ExPhys - F2012

1. Ein Fluss der Breite b habe überall die gleiche Strömungsgeschwindigkeit u. Unter welchem Winkel α zur Strömungsrichtung muss man schwimmen, damit man beim Hinüberschwimmen mit der Geschwindigkeit v ($v > u$)
   a) genau gegenüber ankommt, ohne abgetrieben zu werden?
   b) in möglichst kurzer Zeit hinüberkommt? Wie weit wird man in diesem Falle abgetrieben?

2. Von einem horizontalen Förderband in der Höhe h über dem Boden soll Sand in einen Behälter in der Entfernung d abgeworfen werden.
   a) Welche Laufgeschwindigkeit v muß das Band haben?
   b) Welche neue Wurfweite d_2 ergibt sich, wenn das Förderband bei der gleichen Geschwindigkeit einen Steigungswinkel von 20° gegen die Horizontale aufweist?
   c) Auf das horizontale Förderband rieseln von oben 2 kg Sand pro Sekunde. Wie groß muss die Antriebskraft des Förderbandes sein, wenn die Geschwindigkeit des Förderbandes $v = 5$ m/s beträgt und das Förderband reibungsfrei läuft?

   Zahlenwerte: $h = 2{,}5$ m; $d = 1{,}8$ m.

3. Auf trockener Straße sei der Haftreibungskoeffizient zwischen den Rädern eines Autos und der Straße μ_{Haft}.
   a) Wie groß ist der minimale Bremsweg s bei einer Geschwindigkeit v bei Fahrt auf einer ebenen Strecke? Wie groß sind die kinetische Energie E_{kin} und der Impuls p des Autos zu Beginn des Bremsweges?
   b) Um wieviel verlängert sich dieser Bremsweg s durch eine Vollbremsung mit blockierenden Reifen?
   c) Wie ändert sich s, wenn die Strecke um den Winkel α abwärts geneigt ist?
   d) Wie groß ist die maximal erreichbare Verzögerungsleistung bei a) bzw. bei c)?

   Zahlenwerte: $m = 1000$ kg; $\mu_{Haft} = 0{,}8$; $\mu_{Gleit} = 0{,}5$; $v = 100$ km/h; $\tan(\alpha) = 0{,}1$ (Steigung von 10 %).

4. Ein Kupferstab mit kreisförmigem Querschnitt hat die Länge $L = 1$ m und den Durchmesser $d = 1$ cm. Er wird an seinen Enden fest eingespannt, wobei der Andruck vernachlässigbar sein soll. Dann wird er in fest eingespanntem Zustand um $\Delta T = 40$ K erwärmt.
   a) Um wieviel würde sich der Kupferstab während der Erwärmung ausdehnen, wenn er nicht eingespannt wäre?
   b) Mit welcher Kraft drückt er folglich nach der Erwärmung auf die Einspannung, wenn er von Anfang an fest eingespannt ist?

   Zahlenwerte: $\alpha = 1{,}7 \cdot 10^{-5}$ K^{-1}; Elastizitätsmodul $E = 1{,}25 \cdot 10^{11}$ N/m^2.

5. Eine feste Menge eines idealen Gases durchlaufe einen dreistufigen reversiblen Kreisprozess.
   Schritt 1: isotherme Expansion von (p_1, V_1, T_1) nach (p_2, V_2, T_2);
   Schritt 2: isobare Kompression von (p_2, V_2, T_2) nach (p_3, V_3, T_3);
   Schritt 3: isochor zurück von (p_3, V_3, T_3) nach (p_1, V_1, T_1).
   Es sei $p_2 = 0{,}1\, p_1$.
   a) Skizzieren Sie den Prozess in einem pV-Diagramm.
   b) Berechnen Sie T_2, V_2 und T_3 aus den Anfangswerten (p_1, V_1, T_1).
   c) Berechnen Sie für die Schritte 1 bis 3 jeweils die am Gas bzw. vom Gas verrichtete Arbeit.
   d) Berechnen Sie den Wirkungsgrad des Kreisprozesses, wenn dieser mit einem idealen einatomigen Gas geführt wird.

6. 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 $0{,}3 \cdot d_0$ verkleinert. Wie ändert sich die Ladung Q auf den Platten sowie das elektrische Feld E, die Verschiebungsdichte D, der elektrische Fluss ϕ_{el} und die Spannung U zwischen den Platten? Wie ändert sich Kapazität und gespeicherte elektrische Energie?
   c) Berechnen Sie die mechanische Arbeit, die beim Verringern des Plattenabstandes verrichtet wird. Woher kommt diese Energie?

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

7. Berechnen Sie die Gravitationskraft zwischen Elektron und Proton eines Wasserstoffatoms (mittlerer Abstand $r = a_{Bohr}$) und die elektrostatische Kraft zwischen den beiden geladenen Teilchen und vergleichen Sie diese miteinander.

   Zahlenwerte: $a_{Bohr} = 5{,}3 \cdot 10^{-11}$ m; $m_e = 9{,}11 \cdot 10^{-31}$ kg; $m_p = 1{,}67 \cdot 10^{-27}$ kg; $q_e = -e$; $q_p = e$.

8. Ein Strahl einfach ionisierter Ionen der Geschwindigkeit $v = 1{,}0 \cdot 10^5$ m/s tritt senkrecht in ein Magnetfeld $B = 0{,}5\ \text{Vs/m}^2$ ein. Nach Umlenkung um 180° treffen die Ionen auf eine Photoplatte auf.
   a) In welchem Abstand voneinander treffen die Ionen $^{16}O^-$ und $^{18}O^-$ auf?
   b) In welchem Abstand voneinander treffen die Ionen $^{35}Cl^-$ und $^{37}Cl^-$ auf?
   c) Wie groß ist der Drehimpuls eines $^{37}Cl^-$-Ions bei seiner Bahn im Magnetfeld?

   Zahlenwerte: Die Molmassen von $^{16}O^-$ und $^{18}O^-$ betragen 16 g/mol bzw. 18 g/mol, die von $^{35}Cl^-$ und $^{37}Cl^-$ betragen 35 g/mol bzw. 37 g/mol.

9. Im Abstand $g = 10$ cm vor einem Wölbspiegel mit dem Krümmungsradius $r = 10$ cm steht ein $G = 2$ cm großer Gegenstand.
   a) Zeichnen Sie den Strahlengang, skizzieren Sie die Lage des Bildes und benennen Sie alle für die Konstruktion relevanten Strahlen.
   b) Berechnen Sie die Größe und die Lage des Bildes.

10. Ein Elektron wird beschleunigt, bis seine Masse das Dreifache seiner Ruhemasse beträgt.
    a) Berechnen Sie die kinetische Energie des Elektrons.
    b) Wie groß ist seine Geschwindigkeit v, wie groß sein Impuls p?
    c) Mit welcher Spannung U wurde das Elektron beschleunigt?

Erdbeschleunigung	g =	$9{,}81\ \text{m/s}^2$	Elementarladung	e =	$1{,}6 \cdot 10^{-19}$ As
Gravitationskonstante	γ =	$6{,}67 \cdot 10^{-11}\ \text{N m}^2/\text{kg}^2$	Ruhemasse des Elektrons	m_e =	$9{,}1 \cdot 10^{-31}$ kg
Avogadro-Konstante	N_A =	$6{,}02 \cdot 10^{23}$/mol	Dielektrizitätskonstante	ε_0 =	$8{,}9 \cdot 10^{-12}$ As/Vm
Vakuumlichtgeschwindigkeit	c =	$3{,}0 \cdot 10^8$ m/s			

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

ExPhys - F2012

Lösungen zur Klausurprüfung

Aufgabe 1: *Schwimmer im Fluss*

Der Schwimmer stelle seinen Körper unter einen Winkel ϕ gegen die Uferlinie. Daraus ergibt sich als Geschwindigkeit quer zur Flußrichtung
$v_\perp = v\sin\phi$ und parallel zur Flußrichtung $v_\parallel = u + v\cos\phi$

Die Überquerung dauert $t = \frac{b}{v_\perp} = \frac{b}{v\sin\phi}$.

Dabei wird der Schwimmer um $a = t\,v_\parallel = \frac{b}{v\sin\phi}(u + v\cos\phi)$ abgetrieben.

a) Die Abdrift a kann immer gleich Null gehalten werden mit
$u + v\cos\phi = 0 \Rightarrow \phi = \arccos(-\frac{u}{v})$

b) t ist minimal, wenn die Quergeschwindigkeit $v_\perp$ bzw. $\sin\phi$ maximal ist, d.h. man schwimmt senkrecht zur Uferlinie. Man treibt dabei $a = b\frac{u}{v}$ flussabwärts.

Aufgabe 2: *Förderband*

a) Man kann die Bewegung parallel zum Boden und senkrecht dazu unabhängig voneinander betrachten. t sei die Zeit, die der Sand für den Flug in den Behälter benötigt.

$$h = \frac{1}{2}gt^2 \Rightarrow t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

$$d = vt \Rightarrow v = \frac{d}{t} = d\sqrt{\frac{g}{2h}} = 2{,}5\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$$

b) Auch hier sei t wieder die Flugzeit.

$$v_\parallel = v\cos\alpha \Rightarrow d = t\,v\cos\alpha$$

$$v_\perp = v\sin\alpha$$

$$h + t\,v\sin\alpha - \frac{1}{2}gt^2 = 0 \Rightarrow t = \frac{v\sin\alpha + \sqrt{v^2\sin^2\alpha + 2gh}}{g}$$

$$\Rightarrow d = vt\cos\alpha = \frac{v\sin\alpha + \sqrt{v^2\sin^2\alpha + 2gh}}{g}v\cos\alpha = 1{,}9\ \mathrm{m}$$

c) $$F = \frac{dp}{dt} = \frac{d(mv)}{dt} = m\frac{dv}{dt} + v\frac{dm}{dt} = m\cdot 0 + 5\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}\cdot 2\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{s}} = 10\mathrm{N}$$

Aufgabe 3: *Reibung*

a) $$s = \frac{1}{2}at^2 \qquad v = at \qquad \Rightarrow \qquad s = \frac{1}{2}\frac{v^2}{a} \qquad \Rightarrow \qquad s = \frac{m}{2F}v^2$$

$$F = F_R = \mu_{Haft}G = \mu_{Haft}mg \qquad \Rightarrow \qquad s = \frac{m}{2\mu_{Haft}mg}v^2 = \frac{v^2}{2\mu_{Haft}g} = \frac{\left(100\frac{1000\,\mathrm{m}}{3600\,\mathrm{s}}\right)^2}{2\cdot 0{,}8\cdot 9{,}81\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}} = 49{,}2\mathrm{m}$$

$$E_{kin} = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}1000\mathrm{kg}\left(27{,}8\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}\right)^2 = 386\mathrm{kJ}; \qquad p = mv = 1000\mathrm{kg}\cdot 27{,}8\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} = 27800\frac{\mathrm{kg\,m}}{\mathrm{s}}$$

b) $$\Delta s = \frac{v^2}{2\mu_{Gleit}g} - \frac{v^2}{2\mu_{Haft}g} = \frac{v^2}{2g}\left(\frac{1}{\mu_{Gleit}} - \frac{1}{\mu_{Haft}}\right) = \frac{\left(100\frac{1000\,\mathrm{m}}{3600\,\mathrm{s}}\right)^2}{2\cdot 9{,}81\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}}\left(\frac{1}{0{,}5} - \frac{1}{0{,}8}\right) = 29{,}5\mathrm{m}$$

c) $$s = \frac{m}{2F}v^2; \qquad F = F_R - F_H = \mu_{Haft}F_N - mg\sin\alpha = \mu_{Haft}mg\cos\alpha - mg\sin\alpha = mg(\mu_{Haft}\cos\alpha - \sin\alpha)$$

$$s = \frac{m}{2mg(\mu_{Haft}\cos\alpha - \sin\alpha)}v^2 = \frac{v^2}{2g(\mu_{Haft}\cos\alpha - \sin\alpha)} = \frac{\left(100\frac{1000\,\mathrm{m}}{3600\,\mathrm{s}}\right)^2}{2\cdot 9{,}81\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}(0{,}8\cos(\arctan 0{,}1) - \sin(\arctan 0{,}1))} = 56{,}5\mathrm{m}$$

d) $$P = Fv \quad \overset{F=const.}{\Rightarrow} \quad P_{max} = P(v_{max})$$

$$P_a = \mu_{Haft}mgv = 0{,}8\cdot 1000\mathrm{kg}\cdot 9{,}81\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}\cdot\left(100\frac{1000\,\mathrm{m}}{3600\,\mathrm{s}}\right) = 218\mathrm{kW}$$

$$P_c = mgv(\mu_{Haft}\cos\alpha - \sin\alpha) = 1000\mathrm{kg}\cdot 9{,}81\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}\cdot\left(100\frac{1000\,\mathrm{m}}{3600\,\mathrm{s}}\right)(0{,}8\cos(\arctan 0{,}1) - \sin(\arctan 0{,}1)) = 189{,}8\mathrm{kW}$$

ExPhys - F2012

Aufgabe 4: *Kupferstab*

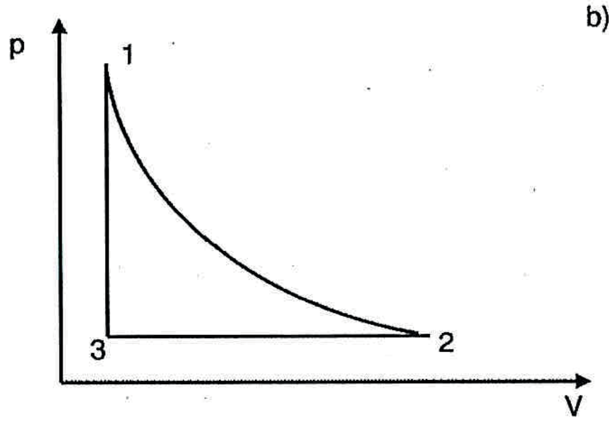
a) $\Delta L_T = \alpha\, L\Delta T = 1{,}7\cdot 10^{-5}\frac{1}{K}\cdot 1\,\text{m}\cdot 40\,\text{K} = 0{,}00068\,\text{m} = 0{,}68\,\text{mm}$

b) $\Delta L_T + \Delta L_E = 0 \qquad \Rightarrow \qquad -\Delta L_E = \Delta L_T$

$$-\Delta L_E = \frac{1}{E}\frac{F}{A}L = \alpha\, L\Delta T = \Delta L_T \Rightarrow F = E\,A\alpha\Delta T = E\pi\left(\frac{d}{2}\right)^2\alpha\Delta T = 6{,}7\,\text{kN}$$

Aufgabe 5: *Ideales Gas*

a)



b) $T_2 = T_1$ da $1\to 2$ isotherm

weiterhin $\Rightarrow p_1V_1 = p_2V_2 \quad \Rightarrow V_2 = V_1\frac{p_1}{p_2} = V_1\frac{p_1}{0{,}1\,p_1} = 10\,V_1$

$2\to 3$ isobar $\Rightarrow p_3 = p_2 \quad \Rightarrow \frac{V_2}{T_2} = \frac{V_3}{T_3} \quad \Rightarrow T_3 = T_2\frac{V_3}{V_2}$

wobei $V_3 = V_1$ (da $3\to 1$ isochor). Mit $T_2 = T_1$

und $V_2 = 10V_1$ (aus Isoth., s.o.) $\Rightarrow T_3 = \frac{T_1}{10}$

c) $W_{12} = -\int_{V_1}^{V_2} p\,dV = -\int_{V_1}^{V_2}\frac{nRT_1}{V}dV = -nRT_1\ln\frac{V_2}{V_1} = -nRT_1\ln 10 = -p_1V_1\ln 10$ (<0, Gas verrichtet Arbeit)

$W_{23} = -\int_{V_2}^{V_3} p\,dV = -p_2(V_3 - V_2) = -\frac{p_1}{10}(V_1 - 10V_1) = \frac{9}{10}p_1V_1$ (>0, Umgebung verrichtet Arbeit)

$W_{31} = -\int_{V_3}^{V_1} p\,dV = 0$ da $V_1 = V_3$

d) Insgesamt wird Arbeit verrichtet (bereits aus dem Umlaufsinn des Diagramms zu erkennen: Stichwort Fläche unter der Kurve im pV-Diagramm!). Es handelt sich also um eine Wärme-Kraftmaschine. Der Wirkungsgrad ist definiert als Quotient: $\eta_{WKM} = \frac{\text{Nutzen}}{\text{Aufwand}} = \frac{|W_{ges}|}{Q_{zugeführt}}$

➲ Arbeit (nach c): $W_{ges} = -p_1V_1\left(\ln 10 - \frac{9}{10}\right)$

➲ Wärme: $\Delta U_{12} = 0 \quad \Rightarrow \Delta Q_{12} = -\Delta W_{12} = p_1V_1\ln 10$ (>0, Wärme zugeführt)

$\Delta Q_{31} = nc_v(T_1 - T_3) = n\frac{3}{2}RT_1(1-0{,}1) = \frac{27}{20}p_1V_1 = 1.35\,p_1V_1$ (>0, Wärme zugeführt)

$$Q_{zugeführt} = \Delta Q_{12} + \Delta Q_{31} = p_1V_1\left(\ln 10 + \frac{27}{20}\right) = 3{,}65\,p_1V_1$$

➲ $\eta = \frac{W_{ges}}{Q_{zugeführt}} = \frac{\ln 10 - \frac{9}{10}}{\ln 10 + \frac{27}{20}} = 0{,}38$

Aufgabe 6: *Plattenkondensator*

a) $C_0 = \frac{Q^*}{U} = \varepsilon_0\frac{A}{d_0} = 26{,}7\,\text{pF}$ (*) Herleitung über Gauß: $Q = \varepsilon_0 EA = \varepsilon_0\frac{U}{d}A$)

$Q_0 = C_0\cdot U_0 = \varepsilon_0\frac{A}{d_0}U_0 = 3{,}2\cdot 10^{-10}\,\text{C}$

$W_0 = \frac{1}{2}C_0U_0^2 = 1{,}92\cdot 10^{-8}\,\text{J}$

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

$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0} = \frac{Q/A}{\varepsilon_0} = E_0;\quad D = \varepsilon_0 E = \varepsilon_0 E_0 = D_0;\quad \Phi = \int_A E_0\,dA = \Phi_0;\quad U = Ed = \frac{3}{10}U_0;$

$C = \frac{Q}{U} = \frac{10}{3}C_0 = 3.3\,C_0$; oder mit Hilfe der Kapazität:

$C = \varepsilon_0\frac{A}{d} = \frac{10}{3}C_0;\quad U = \frac{Q}{C} = \frac{3}{10}U_0;\quad E = \frac{U}{d} = \frac{\frac{3}{10}U_0}{\frac{3}{10}d_0} = E_0;$

$W = \frac{1}{2}\frac{Q^2}{C} = \frac{3}{10}W_0$

c) Die entgegengesetzt elektrisch aufgeladenen Kondensatorplatten ziehen sich an. Beim Verringern des Plattenabstandes wird durch diese Kräfte mechanische Arbeit an der Umgebung verrichtet. Diese mechanische Arbeit entstammt der Feldenergie des geladenen Plattenkondensators. Im Kondensator ist nach der Abstandsverminderung weniger elektrische Energie gespeichert.
Nach dem Energieerhaltungssatz ist:

$$W_{mech} = \Delta W_{el} = W_0 - \frac{3}{10}W_0 = \frac{7}{10}\frac{1}{2}C_0U_0^2 = 1{,}35\cdot 10^{-9}\,\mathrm{J}$$

$$\left(\text{Test: } W_{mech} = \int_{d_0}^{0{,}3d_0} F\,dd = \int_{d_0}^{0{,}3d_0} \frac{E_0}{2}Q_0\,dd = -\frac{1}{2}E_0Q_0\frac{7}{10}d_0 = -\frac{7}{10}\frac{1}{2}U_0Q_0 = -\frac{7}{10}\frac{1}{2}C_0U_0^2\right)$$

Aufgabe 7: *Gravitations- und Coulombkraft*

$$F_{Grav} = -\gamma\frac{m_1 m_2}{r^2} = -\gamma\frac{m_e m_p}{a_{Bohr}^2} = -3{,}61\cdot 10^{-47}\,\mathrm{N}$$

$$F_{Coul} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1 q_2}{r^2} = -\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{e^2}{a_{Bohr}^2} = -8{,}15\cdot 10^{-8}\,\mathrm{N}$$

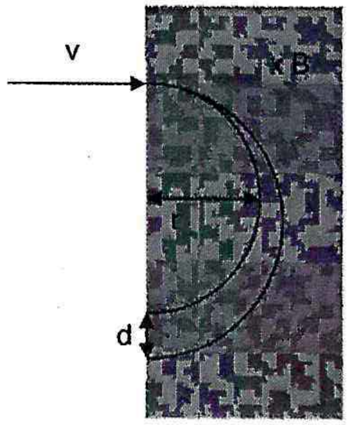
$$\frac{F_{Grav}}{F_{Coul}} = \frac{\gamma\, m_e\, m_p 4\pi\varepsilon_0}{e^2} = 4{,}41\cdot 10^{-40}$$

Aufgabe 8: *Magnetostatik*

$$F_L = q\cdot v\times B$$

$$F_L = qvB\sin\alpha$$

$$F_L = F_z \;\Rightarrow\; evB = \frac{m}{r}v^2 \;\Rightarrow\; r = \frac{m}{e}\frac{v}{B} = \frac{M}{eN_A}\frac{v}{B}$$



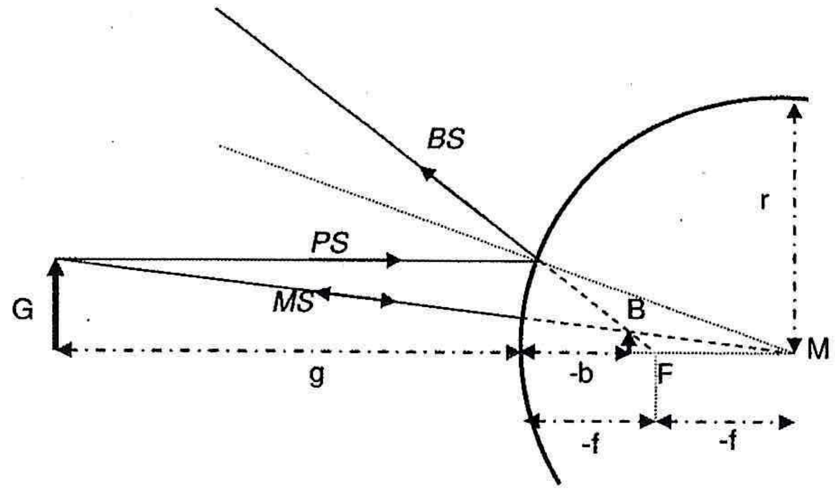
a) $$d = 2\Delta r = \frac{2}{eN_A}\frac{v}{B}\Delta M$$

$$= \frac{2}{1{,}6\,\mathrm{As}\cdot 6\cdot 10^{23}\frac{1}{\mathrm{mol}}}\,\frac{1\cdot 10^5\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}}{0{,}5\cdot\frac{\mathrm{Vs}}{\mathrm{m}^2}}\,(18-16)\frac{\mathrm{g}}{\mathrm{mol}} = 0{,}83\,\mathrm{cm}$$

b) $d = 0{,}83\,cm$, da ΔM gleich groß wie bei a)

c) $$L = mv = \frac{M}{N_A}\frac{M}{eN_A}\frac{v}{B}v = \frac{M^2v^2}{eN_A^2B} = 4{,}75\cdot 10^{-22}\,\frac{\mathrm{kgm}^2}{\mathrm{s}}$$

Aufgabe 9: *Geometrische Optik*



a) Mittelpunktstrahl (MS) wird in sich selbst reflektiert.
(achsennaher) Parallelstrahl (PS)→ Brennstahl (BS): Einfallswinkel = Ausfallswinkel bei Reflexion
$\Rightarrow f = -\frac{r}{2}$ → Vorzeichen ist Konvention,"–„ bei Wölbspiegel; d.h. M hinter dem Spiegel
virtuelles Bild entsteht an Schnittpunkt von MS und BS

b) Abbildungsgleichung:

$$\frac{1}{b}+\frac{1}{g}=\frac{1}{f} \Rightarrow \frac{1}{b}+\frac{1}{g}=-\frac{2}{r} \Rightarrow b=-\frac{1}{\frac{2}{r}+\frac{1}{g}}=-\frac{10}{3}\text{cm}$$

Vergrößerung:

$$V=\frac{B}{G}=-\frac{b}{g} \Rightarrow B=-G\frac{b}{g}=\frac{2}{3}\text{cm}$$

Ganz am Rande (nur zur Erbauung): Herleitung der Formeln über Strahlensatz:

MS: $\frac{G}{g-2f}=\frac{B}{-2f+b}$ (1); BS: $\frac{G}{-f}=\frac{B}{-f+b}$ (2)

nach etwas Rumrechnen folgt aus (1) und (2): $\frac{1}{b}+\frac{1}{g}=\frac{1}{f}$ und $\frac{B}{G}=-\frac{b}{g}$

Aufgabe 10: *Relativistisches Elektron*

a) $E_{kin}=E-E_0=mc^2-m_0c^2=3m_0c^2-m_0c^2=2m_0c^2=2E_0=1{,}022\text{MeV}$

b) $m(v)=\frac{m_0}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \Rightarrow 3m_0=\frac{m_0}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \Rightarrow v=\frac{2\sqrt{2}}{3}c=0{,}94c$

$$p=mv=3m_0\frac{2\sqrt{2}}{3}c=2\sqrt{2}\,m_0c=7{,}72\cdot10^{-22}\frac{\text{kgm}}{\text{s}}$$

Alternativ über relativistische Energie-Impuls-Beziehung:

$$\frac{E^2}{c^2}=p^2+m_0^2c^2 \Rightarrow p=\sqrt{\frac{E^2}{c^2}-m_0c^2}=\sqrt{\frac{\left(3m_0c^2\right)^2}{c^2}-m_0^2c^2}=\sqrt{8m_0^2c^2}=2\sqrt{2}\,m_0c=7{,}72\cdot10^{-22}\frac{\text{kgm}}{\text{s}}$$

c) $E_{kin}=eU \Rightarrow U=\frac{E_{kin}}{e}=1{,}022\text{MV}$