

**Aufgabe 1**

Ein Körper der Masse  $m$  gleite auf einer rauen Oberfläche und werde durch eine Schnur auf einer horizontalen Kreisbahn mit dem Radius  $r$  gehalten. Die Geschwindigkeit des Körpers sei am Anfang  $v_0$  und betrage nach einer vollen Umdrehung  $v_0/2$ .

- Wie groß sind zu Beginn die Rotationsenergie  $E_{\text{rot}}$  und der Drehimpuls  $L$  des Körpers bezüglich der Drehachse? Betrachten Sie den Körper hierbei als punktförmig.
- Drücken Sie die Arbeit, die durch die Reibung während einer Umdrehung verrichtet wird in Abhängigkeit von  $m$  und  $v_0$  aus.
- Welchen Wert hat der Gleitreibungskoeffizient?

**Aufgabe.2**

Vater und Sohn spielen auf einer Wippe. Der Sohn wiegt 20 kg und der Vater 80 kg. Der als masselos angenommene Wippbalken hat eine Länge von 4,0 m.

- Zeichnen Sie die Wippe und berechnen Sie die auftretenden Drehmomente aus den wirkenden Kräften für einen beliebigen Auflagepunkt der Wippe.
- Wo muss sich die Drehachse auf dem Wippbalken befinden, damit die Wippe in horizontaler Lage stehenbleiben kann?
- Die Mutter (70 kg) setzt sich nun zum Vater auf die ruhende Wippe. Dabei senkt sich die elterliche Seite der Wippe um den Höhenunterschied  $\Delta h = 50$  cm, bis sie den Boden berührt. Mit welcher Geschwindigkeit trifft sie den Boden?

**Aufgabe.3**

Wasser wird mit einem Massenstrom  $dm/dt$  durch eine Rohrleitung gepumpt, die sich von einem Querschnitt  $A_1$  auf den Querschnitt  $A_2$  verengt.

- Welche Strömungsgeschwindigkeiten  $v_1$  und  $v_2$  hat das Wasser in den beiden Teile des Rohres?
- Welchen statischen Druck  $p_1$  darf die Pumpe im weiten Rohr höchstens erzeugen, damit aus einer seitlichen Bohrung am engen Rohr bei einem Außendruck von  $p_0$  kein Wasser austritt?

**Aufgabe.4**

Ein Metallstück der Masse  $m_M$ , das auf die Temperatur  $T_M$  erwärmt wurde, wird in ein isoliertes Gefäß getaucht, das Wasser der Masse  $m_W$  und der Temperatur  $T_W$  enthält. Es stellt sich eine Endtemperatur  $T_E$  ein.

- Wie groß ist die spezifische Wärme des Metalls?
- Welche Molmasse hat das Metall? Berücksichtigen Sie dabei, dass jedes Metallatom drei Schwingungsfreiheitsgrade besitzt.

Die Wärmekapazität des Gefäßes werde vernachlässigt.

Zahlenwerte:  $T_M = 100^\circ\text{C}$ ;  $T_W = 18^\circ\text{C}$ ;  $T_E = 35^\circ\text{C}$ ;  $m_M = 300$  g;  $m_W = 250$  g;  $c_W = 4,2$  Ws/gK.

**Aufgabe 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  $p_2 = 0,1 p_1$ .

- Skizzieren Sie den Prozess in einem  $p$ - $V$ -Diagramm.
- Berechnen Sie  $T_2$ ,  $V_2$  und  $T_3$  aus den Anfangswerten  $(p_1, V_1, T_1)$ .
- Berechnen Sie für die Schritte 1 bis 3 jeweils die am Gas bzw. vom Gas verrichtete Arbeit.
- Wie lautet der zweite Hauptsatz der Thermodynamik?

**Aufgabe 6**

Eine isolierte, elektrisch leitende Kugel mit dem Radius  $R = 2,00$  cm trage eine Ladung von  $q = 1,45$  nC.

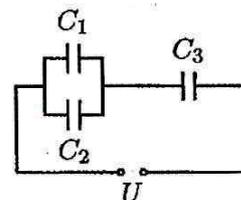
- Wie groß ist die elektrische Ladungsdichte  $\sigma$  auf der Kugeloberfläche?
- Wie groß sind jeweils die elektrische Verschiebungsdichte  $D$  und die elektrische Feldstärke  $E$ , und zwar (i) im Innern der Kugel und (ii) im Außenraum direkt an der Oberfläche der Kugel?

## ExPhysik - H14

- c) Wie groß ist die elektrische Energiedichte  $w$  im Außenraum unmittelbar an der Oberfläche der Kugel?

### Aufgabe 7

Drei Kondensatoren sind entsprechend nebenstehender Darstellung geschaltet. Die Kapazitäten der Einzelkondensatoren seien gegeben durch  $C_1 = 10,0 \mu\text{F}$ ;  $C_2 = 7,0 \mu\text{F}$ ;  $C_3 = 5,0 \mu\text{F}$ .



- Berechnen Sie die äquivalente Kapazität  $C_{123}$  bei Ersetzung der drei Einzelkondensatoren durch einen Kondensator
- Die Potenzialdifferenz  $U$  an der nebenstehenden Schaltung betrage  $U = 18,0 \text{ V}$ . Wie groß ist die Ladung auf der äquivalenten Kapazität  $C_{123}$ ?
- Wie groß sind die jeweiligen Ladungen auf den einzelnen Kondensatoren  $C_1$ ,  $C_2$  und  $C_3$ ?
- Welche Energie ist in  $C_3$  gespeichert?

### Aufgabe 8

Durch einen unendlich langen, dünnen Metalldraht fließe ein Strom von  $I = 2,0 \text{ A}$ .

- Berechnen Sie die magnetische Flussdichte  $B$  im Abstand von  $1,0 \text{ m}$  senkrecht zum Draht. Skizzieren Sie den Verlauf und die Richtung der magnetischen Feldlinien. Wie konnten Sie hierfür die Richtung bestimmen?
- Was versteht man unter Hall-Effekt? Nennen Sie mindestens eine Anwendung des Hall-Effekts. Nennen Sie eine Formel für den Hall-Effekt und benennen Sie alle darin auftretenden Größen.

### Aufgabe 9

Eine Sammellinse erzeugt von einem Gegenstand (Pfeil der Höhe  $G = 2,5 \text{ cm}$ , Gegenstandsweite  $g = 10 \text{ cm}$ ) ein auf die Hälfte verkleinertes Bild.

- Konstruieren Sie die Lage des Bildes und der Brennpunkte in möglichst korrektem Maßstab benennen Sie die einzelnen Strahlen und erklären Sie die Konstruktion.
- Berechnen Sie die Brennweite  $f$  der Linse.

### Aufgabe 10

Die maximale Wellenlänge elektromagnetischer Strahlung, die gerade noch Elektronen durch den Photoeffekt aus einer Aluminium-Oberfläche herauslösen kann ist  $\lambda_g = 295 \text{ nm}$

- Bestimmen Sie hieraus die Austrittsarbeit für Aluminium.
- Wie groß ist die maximale Geschwindigkeit der aus der Aluminium-Oberfläche herausgelösten Elektronen (nicht-relativistische Rechnung), wenn die Wellenlänge der einfallenden Strahlung  $\lambda_g/5$  ist?

## Lösung:

- 1 a) Rotationsenergie eines Körpers allgemein:  $E_{\text{rot}} = \frac{1}{2} \theta \omega^2$   
Trägheitsmoment einer Punktmasse bezüglich der Rotationsachse im Abstand  $r$ :  $\theta = mr^2$   
Tangentialgeschwindigkeit  $v = \omega r$ , damit gilt  $\omega = v/r$

$$E_{\text{rot, Anfang}} = \frac{1}{2} \theta \omega^2 = \frac{1}{2} mr^2 \left( \frac{v_0}{r} \right)^2 = \frac{1}{2} mv_0^2$$

Gesamte kinetische Energie steckt in Rotationsenergie

$$\text{Drehimpuls: } \vec{L} = \vec{r} \times \vec{p}$$

$$\text{Hier } \vec{r} \perp \vec{v}: L = rp = rmv_0$$

- b) Die Arbeit kann über die Energiedifferenz der Rotationsenergie am Ende und am Anfang bestimmt werden.

$$W_R = \Delta E = E_{\text{rot, Ende}} - E_{\text{rot, Anfang}} = \frac{1}{2} m \left( \frac{v_0}{2} \right)^2 - \frac{1}{2} mv_0^2 = -\frac{3}{8} mv_0^2$$

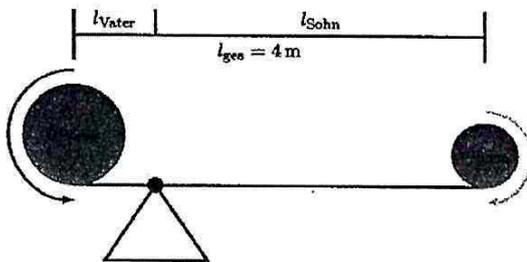
Negativ da der Körper an der Oberfläche Arbeit verrichtet hat.

## ExPhysik - H14

- c) Die Arbeit lässt sich auch durch  $W = \int \vec{F} d\vec{s}$  bestimmen. Die hier auftretende Reibungskraft  $F_R = \mu_{gl} mg$  ist immer entgegen gesetzt zur Richtung der Geschwindigkeit gerichtet, d.h. immer parallel zum Weg in entgegengesetzter Richtung. Der Länge des Weges ist gerade der Umfang eines Kreises.

$$W = \int_0^{2\pi r} -\mu_{gl} mg ds = -\mu_{gl} mg \cdot 2\pi r - \frac{3}{8} m v_0^2 = -\mu_{gl} mg \cdot 2\pi r \quad \mu_{gl} = \frac{3v_0^2}{16\pi r g}$$

2 a)



$$M_{\text{Vater}} = m_{\text{Vater}} \cdot g \cdot l_{\text{Vater}}$$

$$M_{\text{Sohn}} = m_{\text{Sohn}} \cdot g \cdot l_{\text{Sohn}}$$

- b) Gleichgewicht herrscht, wenn beide Drehmomente gleich groß sind. Dies ist der Fall, wenn die Längen der beiden Hebelarme umgekehrt proportional zu den jeweiligen Gewichten sind.

$$M_{\text{Vater}} = M_{\text{Sohn}}$$

$$m_{\text{Vater}} \cdot g \cdot l_{\text{Vater}} = m_{\text{Sohn}} \cdot g \cdot l_{\text{Sohn}}$$

$$\frac{m_{\text{Vater}}}{m_{\text{Sohn}}} = \frac{l_{\text{Sohn}}}{l_{\text{Vater}}}$$

$$\text{mit: } 4 \text{ m} = l_{\text{ges}} = l_{\text{Vater}} + l_{\text{Sohn}}$$

$$\frac{m_{\text{Vater}}}{m_{\text{Sohn}}} = \frac{l_{\text{Sohn}}}{l_{\text{ges}} - l_{\text{Sohn}}}$$

$$\Rightarrow l_{\text{Sohn}} = \frac{m_{\text{Vater}} \cdot l_{\text{ges}}}{m_{\text{Sohn}} + m_{\text{Vater}}} = 3,2 \text{ m}$$

$$\Rightarrow l_{\text{Vater}} = 0,80 \text{ m}$$

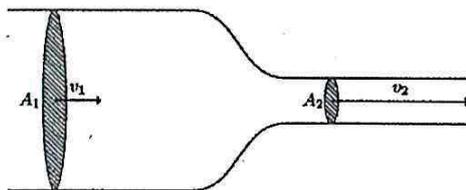
- c) Die Geschwindigkeit kann über den Energieerhaltungssatz bestimmt werden. Die potentielle Energie der Mutter ist gleich der Summe aller kinetischen Energien nachher. Dies ist so, da die potentielle Energie von Vater und Sohn sich immer ausgleichen.

$$m_{\text{Mutter}} \cdot g \cdot \Delta h = \frac{1}{2} (m_{\text{Mutter}} + m_{\text{Vater}}) v^2 + \frac{1}{2} m_{\text{Sohn}} v_{\text{Sohn}}^2$$

$$\text{mit: } v_{\text{Sohn}} = \frac{l_{\text{Sohn}}}{l_{\text{Vater}}} \cdot v = 4 \cdot v$$

$$\Rightarrow v^2 = \frac{m_{\text{Mutter}} \cdot g \cdot \Delta h}{\frac{1}{2} (m_{\text{Mutter}} + m_{\text{Vater}}) + 8 \cdot m_{\text{Sohn}}} = 1,2 \text{ m/s}$$

3 a)



Der Massenstrom  $dm/dt$  soll konstant sein, und es gilt:  $\frac{dm}{dt} = \frac{d(\rho \cdot A \cdot l)}{dt} = \rho \cdot A \cdot \frac{dl}{dt} = \rho \cdot A \cdot v$

Für die Teilstücke gilt somit:  $\frac{dm}{dt} = \rho \cdot A_{1/2} \cdot v_{1/2} \Rightarrow v_1 = \frac{1}{\rho \cdot A_1} \frac{dm}{dt} = 0,75 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

$$v_2 = \frac{1}{\rho \cdot A_2} \frac{dm}{dt} = 8,6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

# ExPhysik - H14

b) Bernoullische Druckgleichung liefert:

$$p_1 + \frac{\rho}{2}v_1^2 = p_0 + \frac{\rho}{2}v_2^2$$

$$p_1 = p_0 + \frac{\rho}{\rho} (v_2^2 - v_1^2) = 1,37 \cdot 10^5 \text{ Nm}^2 \approx 1,37 \text{ bar}$$

Zahlenwerte:  $dm/dt = 6,0 \text{ kg/s}$ ;  $A_1 = 80 \text{ cm}^2$ ;  $A_2 = 7,0 \text{ cm}^2$ ;  $p_0 = 1,0 \text{ bar}$

4 | a)

$$Q_A = Q_E$$

$$c_M m_M T_M + c_W m_W T_W = c_M m_M T_E + c_W m_W T_E$$

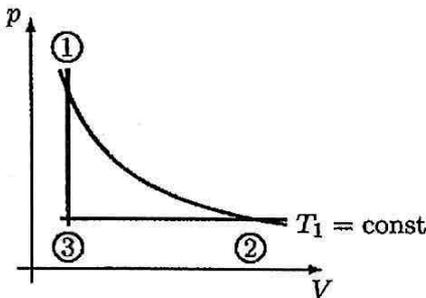
$$c_M = \frac{c_W m_W (T_E - T_W)}{m_M (T_M - T_E)}$$

b) Drei Freiheitsgrade der Vibration (jeweils mit potentieller und kinetischer Energie), beziehungsweise Dulong-Petit-Gesetz ( $c_n = 3R$ ).

$$c_{M, \text{ molar}} = 3R = c_M M_{M, \text{ molar}}$$

$$M_{M, \text{ molar}} = \frac{3R}{c_M} = 27 \text{ g/mol}$$

5 a)



b)  $T_2 = T_1$ , bei 1->2 da isotherm

$$V_2 = V_1 \frac{p_1}{p_2} = V_1 \frac{p_1}{0,1 \cdot p_1} = 10 \cdot V_1$$

$p_3 = p_2$ , bei 2->3 da isobar

$$T_3 = T_2 \frac{V_3}{V_2}, \text{ mit } V_3 = V_1, T_2 = T_1, V_2 = 10V_1$$

$$T_3 = \frac{T_1}{10}$$

$$c) \quad W_{12} = - \int_{V_1}^{V_2} p \, dV = - \int_{V_1}^{V_2} \frac{nRT_1}{V} \, dV = -nRT_1 \ln \frac{V_2}{V_1} = -nRT_1 \ln 10 = -p_1 V_1 \ln 10$$

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

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

d) **Formulierung 1:** Wärmeenergie fließt von selbst immer nur vom wärmeren zum kälteren Körper, nie jedoch umgekehrt.

**Formulierung 2:** Es gibt keine periodisch arbeitende Maschine, die nichts anderes tut, als einem Reservoir Wärmeenergie zu entziehen und diese in mechanische Arbeit umzuwandeln.

**Formulierung 3:** Es gibt keine Wärmekraftmaschine, die einen höheren Wirkungsgrad hat als die (ideale) Carnot-Maschine.

6 a) Die gesamte Ladung befindet sich auf der Oberfläche, da es sich um eine leitende Kugel handelt.

$$\sigma = \frac{Q}{A} = \frac{q}{4\pi R^2} = \frac{1,45 \text{ nC}}{4\pi (2,00 \text{ cm})^2} = \frac{1,45 \cdot 10^{-9} \text{ C}}{5,0 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2} = 2,9 \cdot 10^{-7} \text{ C/m}^2$$

b) (i) Verschiebungsdichte und elektrisches Feld sind im inneren gleich Null, da die Kugel leitend ist.

(ii) elektrisches Feld an der Oberfläche, d.h.  $r \rightarrow R$ :  $E(R) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{R^2} = 32,6 \text{ kV/m}$

Verschiebungsdichte an der Oberfläche:  $D = \epsilon_0 E = \sigma = 2,9 \cdot 10^{-7} \text{ C/m}^2$

## ExPhysik - H14

c) Elektrische Energiedichte:  $w = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2 = 4,7 \cdot 10^{-3} \text{ J/m}^3$

.7 | a)  $C_{12} = C_1 + C_2 = 17,0 \text{ } \mu\text{F}$      $C_{123} = \frac{1}{\frac{1}{C_1+C_2} + \frac{1}{C_3}} = 3,86 \text{ } \mu\text{F}$

b)  $Q_{123} = C_{123} \cdot U = 69,5 \text{ } \mu\text{C}$

c)  $Q_3 = Q_{123} = Q_1 + Q_2 = 69,5 \text{ } \mu\text{C}$

$Q_1 = Q_{123} \frac{C_1}{C_1 + C_2} = 40,88 \text{ } \mu\text{C}$

$Q_2 = Q_{123} \frac{C_2}{C_1 + C_2} = 28,62 \text{ } \mu\text{C}$

d)  $U_3 = \frac{Q_3}{C_3}$

$E_3 = \frac{1}{2} C_3 U_3^2 = \frac{1}{2} \frac{Q_3^2}{C_3} = 483 \text{ } \mu\text{J}$

.8 a) Betrag Magnetfeld:  $B = \frac{\mu_0 \cdot I}{2\pi d} = 4 \cdot 10^{-7} \text{ T}$

Richtung mit der Rechte-Hand-Regel:

Umfasst man mit den Fingern der rechten Hand den Leiter, während der Daumen in Richtung der technischen Stromrichtung zeigt, so umfassen die Finger den Strom in Richtung des magnetischen Feldes, dessen Feldlinien konzentrische Kreise um den Leiter als Symmetrieachse darstellen.

b) Der Hall-Effekt beschreibt das Auftreten einer elektrischen Spannung in einem stromdurchflossenen Leiter, der sich in einem stationären Magnetfeld befindet. Dabei baut sich ein elektrisches Feld auf, das die auf die Elektronen wirkende Lorentzkraft kompensiert. Dieses elektrische Feld ist dabei senkrecht sowohl zur Stromfluss- als auch zur Magnetfeldrichtung. Die aus diesem elektrischen Feld entstehende Spannung wird Hall-Spannung  $U_H$  genannt.

Die Größe der Hall-Spannung kann mit Hilfe der Gleichung

$$U_H = A_H \cdot \frac{I \cdot B}{d}$$

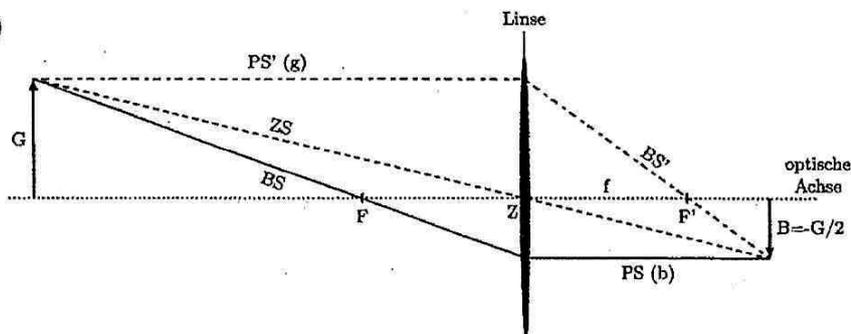
aus der Stromstärke  $I$ , magnetische Fluss  $B$ , der Dicke der Probe (parallel zu  $B$  und quer zur Stromrichtung) und der materialabhängigen Hall-Konstanten  $A_H$  berechnet werden. Wenn die elektrische Leitfähigkeit nur von Ladungsträgern mit einer Elementarladung bestimmt wird, kann man die Hall-Konstante als

$$A_H = \frac{1}{n \cdot e} \text{ ausdrücken.}$$

Anwendung:

- 1) Magnetfeldmessung mittels Hall-Sonde
- 2) Bestimmung von Vorzeichen und Konzentration der beweglichen Ladungsträger

.9 | a)



- (i) Brennpunkt: Parallelstrahl (PS) bei  $B=G/2$  wird zum Brennstrahl (BS) auf der Gegenstandsseite. Der Schnittpunkt zwischen BS und Achse definiert den Brennpunkt F.
- (ii) Der Zentralstrahl (ZS) durch G und den Mittelpunkt Z der Linse wird nicht abgelenkt. Der Schnittpunkt zwischen ZS und PS definiert das Bild B.
- (iii) Der Parallelstrahl durch G-PS' wird auf der Bildseite zum Brennstrahl BS'. Dieser geht ebenfalls durch B. Der Schnittpunkt von BS' mit der Achse ergibt den Brennpunkt F' auf der Bildseite.

## ExPhysik - H14

$$\text{b) } \frac{1}{b} + \frac{1}{g} = \frac{1}{f} \text{ mit } V = \frac{B}{G} = -\frac{1}{2} \rightarrow b = \frac{g}{2}$$
$$\frac{2}{g} + \frac{1}{g} = \frac{3}{g} = \frac{1}{f} \rightarrow f = \frac{g}{3} = 3,3 \text{ cm}$$

10. a) Austrittsarbeit ist die Photonenenergie minus die maximale kinetische Energie der herausgelösten Elektronen. Für die Grenzwellenlänge ist die kinetische Energie der herausgelösten Elektronen gerade Null. Die Austrittsarbeit entspricht der Photonenenergie.

$$W_A = E_\gamma - E_{\text{kin}, e^-}$$
$$= \frac{hc}{\lambda_g} = 6,7 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 4,2 \text{ eV}$$

b) Energie der Photonen:  $E_\gamma = \frac{hc}{\lambda} = \frac{5hc}{\lambda_g}$

Energie der Elektronen:  $E_{\text{kin}, e^-} = E_\gamma - W_A = \frac{4hc}{\lambda_g}$

$$E_{\text{kin}, e^-} = \frac{1}{2} m_e v_e^2 = \frac{4hc}{\lambda_g} \Rightarrow v_e = \sqrt{\frac{8hc}{m_e \lambda_g}}$$
$$= 2,43 \cdot 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 2432 \frac{\text{km}}{\text{s}}$$