

Übungsaufgaben Thermodynamik

Experimentalphysik II, SoSe 2020

PD Dr. habil. H. von Wenckstern

TD01. Aufschumpfen

Eine Stahlstange habe bei 25°C einen Durchmesser von $3,000\text{ cm}$, ein Messingring bei 25°C einen Innendurchmesser von $2,992\text{ cm}$. Bei welcher gemeinsamen Temperatur passt der Messingring gerade über die Stahlstange?

Bitte verwenden Sie folgende lineare Ausdehnungskoeffizienten: $\alpha_{\text{Stahl}} = 1,1 \cdot 10^{-5}\text{ K}^{-1}$,
 $\alpha_{\text{Messing}} = 1,9 \cdot 10^{-5}\text{ K}^{-1}$.

[3 Punkte]

TD03. Volumenausdehnung und Auftrieb

Ein schwimmender quaderförmiger Körper aus Aluminium ($\alpha = 2,3 \cdot 10^{-5}\text{ K}^{-1}$) taucht bei 0°C zu $4/5$ seiner Höhe H in Wasser ($\gamma = 2,1 \cdot 10^{-4}\text{ K}^{-1}$) ein. Um welchen Betrag ändert sich die Eintauchtiefe, wenn die Temperatur auf 90°C zunimmt? Für welche Kombination der Werte von α und γ würde sich die Eintauchtiefe nicht ändern?

[6 Punkte]

TD07. Isobare Zustandsänderung

Die in einem Raum von $V_0 = 60\text{ m}^3$ bei der Temperatur $\theta_0 = 0^\circ\text{C}$ und dem Normalluftdruck $p_0 = 1013,25\text{ hPa}$ befindliche Menge Luft (Molmasse $28,85\text{ g/mol}$) wird bei gleichbleibendem Druck durch eine Raumheizung auf $\theta_1 = 25^\circ\text{C}$ erwärmt.

- Welches Volumen nimmt die Luft nach der Erwärmung ein und auf welchen Wert ändert sich dabei ihre Dichte?
- Wie groß ist Masse der Luft vor der Erwärmung und welche Masse hat die entwichene Luft?

[5 Punkte]

TD08. Isochore Zustandsänderung

Die Luft in einem Autoreifen stehe bei $\theta_1 = 18^\circ\text{C}$ unter einem Überdruck von $2,5\text{ bar}$.

- Wie ändert sich der Reifendruck bei Erwärmung auf $\theta_2 = 38^\circ\text{C}$, wenn das Reifenvolumen als konstant betrachtet werden kann?
- Welcher Anteil der im Reifen befindliche Luft müsste abgelassen werden, um bei der Temperatur θ_2 den ursprünglichen Reifendruck wiederherzustellen?

(Die spezifische Gaskonstante von Luft ist $R = 288,2 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$.)

[6 Punkte]

TD09. Isotherme Zustandsänderung

Zwei Gase der Volumina $V_1 = 2 \text{ m}^3$ und $V_2 = 4 \text{ m}^3$ sind durch einen bewegliche, wärmeleitenden Kolben der Querschnittsfläche $A = 0,01 \text{ m}^2$ und der Masse $m = 2 \text{ kg}$ getrennt. Die Drücke und Temperaturen auf beiden Seiten des Kolbens seien gleich, der Druck betrage $p = 1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$.

- Welche Kraft ist erforderlich, um den Kolben bei gleichbleibender Temperatur der Gase um die Strecke $x = 10 \text{ cm}$ in Richtung V_2 zu verschieben?
- Wie groß ist die Periodendauer der Schwingungsbewegung, die der Kolben vollführt, wenn er danach losgelassen wird?

Hinweis: Nutzen Sie die Näherung $\frac{a}{a+b \cdot x} \approx 1 - \frac{b}{a}x$

[5 Punkte]

TD10. Bei welcher Geschwindigkeit der Gasteilchen liegt das Maximum der Geschwindigkeitsverteilung für Wasserstoff (relative Molekülmasse $M_r = 2$), Helium (relative Atommasse $A_r = 4$) und Stickstoff (relative Molekülmasse $M_r = 28$) bei einer Temperatur von 100°C ?

[3 Punkte]

TD12. Bestimmen Sie die Gastemperatur, bei der

- die mittlere quadratische Geschwindigkeit von Wasserstoffmolekülen deren wahrscheinlichste (bzw. häufigste) Geschwindigkeit um 400 m/s übersteigt!
- die Geschwindigkeitsverteilung für Sauerstoffmoleküle ihr Maximum bei einer Geschwindigkeit von 420 m/s hat.

[4 Punkte]

TD13. Ein auf die Temperatur $\theta_A = 100^\circ\text{C}$ erwärmter Aluminiumquader mit der Dichte $\rho_A = 2,72 \text{ g/cm}^3$ und den Kantenlängen $l = 5,0 \text{ cm}$, $b = 4,0 \text{ cm}$ und $h = 2,0 \text{ cm}$ wird in Wasser der Masse $m_W = 200 \text{ g}$, mit spezifischer Wärmekapazität $c_W = 4,19 \text{ kJ}/(\text{kg K})$ und der Temperatur $\theta_W = 17,0^\circ\text{C}$ gebracht. Nachdem das thermodynamische Gleichgewicht erreicht ist, beträgt die Temperatur $\theta = 24,1^\circ\text{C}$. Bestimmen Sie die spezifische Wärmekapazität des Aluminiums!

Die Wärmekapazität des verwendeten Kalorimeters ist $C = 209 \text{ J/K}$.

[3 Punkte]

TD15. In ein Gefäß mit Wärmekapazität $C = 209 \text{ J/K}$ befindet sich Wasser der Masse $m_W = 100 \text{ g}$ und der Temperatur $\theta_W = 95^\circ\text{C}$ ($c_W = 4,19 \text{ kJ}/(\text{kg K})$). In das Wasser wird nun eine Eisenkugel der Masse $m_E = 35 \text{ g}$ und der spezifischen Wärmekapazität $c_E = 465 \text{ J}/(\text{kg K})$ gebracht. Dabei verdampft Wasser der Masse $m_D = 3,0 \text{ g}$ (Verdampfungswärme $q_D = 2,26 \text{ MJ/kg}$). Welche Temperatur hatte die Eisenkugel?

[4 Punkte]

TD16. Eine bestimmte Menge Eis (Masse $m_E = 100 \text{ g}$, spezifische Wärmekapazität $c_E = 2,09 \text{ kJ}/(\text{kg K})$, spezifische Schmelzwärme $q_s = 334 \text{ kJ/kg}$) wird in ein Messingkalorimeter ($m_{Me} = 250 \text{ g}$, $c_{Me} = 0,385 \text{ kJ}/(\text{kg K})$) gebracht, das Wasser der Masse $m_W = 300 \text{ g}$ ($c_W = 4,19 \text{ kJ}/(\text{kg K})$) der Temperatur $\theta_W = 90^\circ\text{C}$ enthält. Als Mischtemperatur wird eine Temperatur von 49° bestimmt. Welche Temperatur hatte das Eis?

[4 Punkte]

TD19. 4 mol eines idealen zweiatomigen Gases (Rotation, keine Schwingungen) erfahren unter konstantem Druck einen Temperaturanstieg von 60 K.

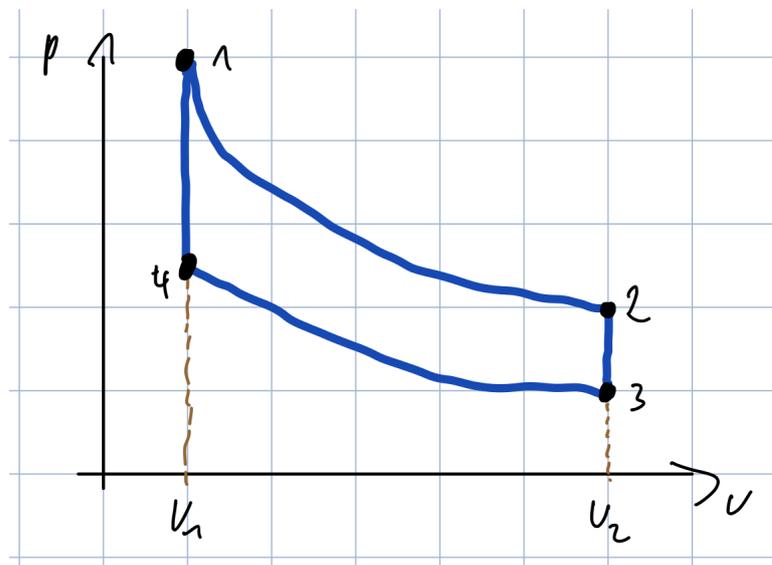
- Wie viel Wärmeenergie wurde dem Gas zugeführt?
- Um wie viel hat die innere Energie des Gases zugenommen?
- Wie viel Arbeit wurde von dem Gas geleistet?
- Um wie viel hat die kinetische Translations-Energie des Gases zugenommen?

[4 Punkte]

TD22. Stirling-Prozeß

Ein ideales, zweiatomiges Gas durchläuft zwischen zwei Wärmespeichern der Temperaturen $\theta_1 = 600^\circ\text{C}$ und $\theta_2 = 20^\circ\text{C}$ folgenden Kreisprozeß: 1)→2) isotherme Expansion vom Volumen $V_1 = 0,5\text{ l}$ auf $V_2 = 3\text{ l}$, 2)→3) isochore Abkühlung, 3)→4) isotherme Kompression wieder auf V_1 und 4)→1) isochore Erwärmung.

- Man berechne die zu- und abgeführte Wärme sowie die Arbeit einer Periode (Gasmasse $m = 3,6\text{ g}$, $R = 288,2\text{ J/(kg K)}$)
- Man vergleiche quantitativ den Wirkungsgrad der Maschine mit dem Wirkungsgrad des Carnot-Prozesses bei gleichen Temperaturen!
- Welcher Wirkungsgrad ergibt sich, wenn die zur isochoren Aufheizen benötigte Wärme Q_{41} durch die bei der isochoren Abkühlung freiwerdende Abwärme $Q_{23} = -Q_{41}$ gedeckt wird (Regeneration mittels internen Wärmetauschers)?



[7 Punkte]

TD23. Stickstoff der Masse $m = 2,0\text{ g}$ erfährt eine

- isochore,
- isobare Zustandsänderung.

In beiden Fällen steigt dabei seine Temperatur von $\theta_0 = 0^\circ\text{C}$ auf $\theta_1 = 30^\circ\text{C}$. Berechnen Sie die Entropieänderungen ΔS_V und ΔS_p ! Stickstoff hat die Wärmekapazität $c_V = 741\text{ J/(kg K)}$ und $c_p = 1,04\text{ kJ/(kg K)}$.

[4 Punkte]

TD28. Dampfdruckerniedrigung und Siedepunktserhöhung

- (a) Wie groß ist der Dampfdruck einer Lösung aus $m_A = 200$ g Wasser (Molmasse $M_A = 18$ g/mol) und $m_B = 100$ g Zucker (Molmasse $M_B = 342$ g/mol), wenn der Dampfdruck des reinen Wassers $p_D = 3,166$ kPa beträgt?
- (b) Welche Siedetemperatur hat die Lösung unter Normdruck? Die spezifische Verdampfungswärme von reinem Wasser $q_V = 2257$ kJ/kg.

[5 Punkte]

TD29. Osmotischer Druck

Ein offenes Rohr mit Querschnitt $A = 1$ cm², das am unteren Ende durch eine nur für Wasser durchlässige semipermeable Wand abgeschlossen ist (ähnlich zur PFEFFERschen Zelle), taucht $h_1 = 50$ cm tief in ein Wasserbad ein. Auf welche Höhe h_2 steigt der Flüssigkeitsspiegel im Rohr, wenn in dem im Rohr befindlichen Wasser Zucker der Masse $m_B = 1$ g (Molmasse $M_B = 342$ g/mol) gelöst wird und die Temperatur 20°C beträgt?

[4 Punkte]

TD32. Druckbedingte Änderung der Schmelztemperatur

Bestimmen Sie die Änderung der Schmelztemperatur von Eis um 0°C wenn sich der Druck um $\Delta p = 1,0$ atm erhöht! Das spezifische Volumen von Eis übersteigt das von Wasser um 0,091 cm³/g.

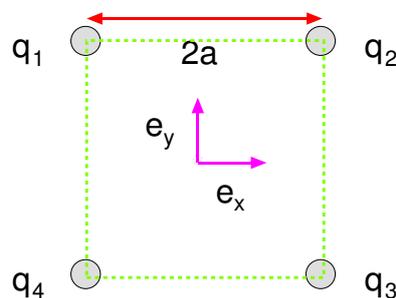
[3 Punkte]

Übungsaufgaben Elektromagnetismus

Experimentalphysik II, SoSe 2020

PD Dr. habil. H. von Wenckstern

- EM01.** In den Ecken eines Quadrates mit der Kantenlänge $2a$ befinden sich Punktladungen $q_1 = 1 \cdot q$, $q_2 = -2 \cdot q$, $q_3 = 3 \cdot q$ und $q_4 = -4 \cdot q$. Bestimmen Sie den elektrischen Feldstärkevektor in Betrag und Richtung im Zentrum des Quadrates!

**[5 Punkte]**

- EM02.** Zwei kleine Kugeln, die beide die Masse $m = 1,0 \text{ g}$ haben, sind an Fäden der Länge $l = 30 \text{ cm}$ aufgehängt. Beide tragen die gleiche positive Ladung Q . Ihre Mittelpunkte haben aufgrund der elektrostatischen Ablenkung einen Abstand $d = 1,0 \text{ cm}$. Berechnen Sie die Ladung Q !

[4 Punkte]

- EM05.** Die Coulombkraft ist die entscheidende Kraft bei der Bildung von Festkörpern aus atomaren Bausteinen.

- (a) Die Coulombkraft zwischen zwei identischen, positiv geladenen Ionen, welche einen Abstand von $5,0 \cdot 10^{-10} \text{ m}$ haben, sei $3,7 \cdot 10^{-9} \text{ N}$. Bestimmen Sie die elektrische Ladung der beiden Ionen und geben Sie an, wie viel Elektronen jedem Ion „fehlen“ (Welchen Ladungszustand haben die Ionen).
- (b) Berechnen Sie die Coulombkraft zwischen jeweils einfach geladenem Natrium- und Chlorion, welche den gleichen Abstand wie im Kochsalzkristall von $2,82 \cdot 10^{-10} \text{ m}$ haben.

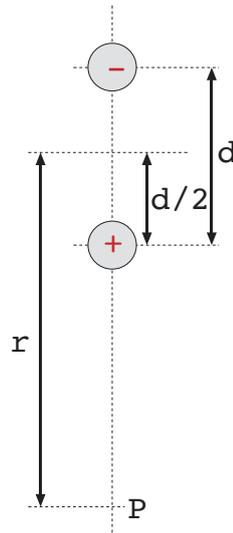
[3 Punkte]

- E06.** Das elektrische Feld eines Dipols kann für $r > d$ durch:

$$E_{\text{appr}} = \frac{2qd}{4\pi\epsilon_0 r^3} \quad (\text{E6.1})$$

genähert werden.

- (a) Bestimmen Sie das Verhältnis $\frac{E_{\text{exact}}}{E_{\text{appr}}}(r)$ der eigentlichen elektrischen Feldstärke und der obigen Näherungslösung an einem Punkt P , welcher sich auf der verlängerten Verbindungslinie der Ladungen des Dipols mit Abständen von $r = 2d$, $r = 4d$ und $r = 8d$ befindet!



[3 Punkte]

- (b) Geben Sie $E_{\text{exact}}/E_{\text{appr}}$ analytisch an und stellen Sie $E_{\text{exact}}/E_{\text{appr}}(r)$ für $r \in [d, 10d]$ grafisch dar.

[2 Punkte]

E07. Ionengitter des NaCl

- (a) Berechnen Sie das Verhältnis der Gravitations- und der Coulombkraft $\frac{F_G}{F_C}$ für zwei Elektronen! [1 Punkte]

- (b) Natrium und Chlor gehen eine ionische Bindung ein, in der Natrium respektive Chlor einfach positiv bzw. einfach negativ geladen ist. Der Gleichgewichtsabstand der beiden Ionen beträgt $1,77 \text{ \AA}$. Ein „Na-Cl-Dipol“ ist anfänglich senkrecht zu einem horizontal verlaufendem, homogenen elektrischen Feld \vec{E} ausgerichtet und richtet sich dann in diesem aus. Beim Ausrichten des Dipols wurde eine Arbeit von $2,836 \cdot 10^{-24} \text{ J}$ verrichtet.

- Bestimmen Sie den Betrag der Feldstärke \vec{E} ! [2 Punkte]
- Bestimmen Sie das Drehmoment, welches
 - anfänglich auf den Dipol wirkt
 - auf den Dipol wirkt, wenn $\angle(\vec{p}, \vec{E}) = 45^\circ$ beträgt

[2 Punkte]

E10. Homogene, kugelförmige Ladungsverteilung

Auf der Oberfläche (diese stellt eine Äquipotenzialfläche dar) eines kugelförmigen, homogen geladenen Tropfen Wassers ($Q = 3 \cdot 10^{-11} \text{ C}$) herrscht ein Potenzial von $U = 500 \text{ V}$ (im Unendlichen sei $U = 0 \text{ V}$).

- a) Welchen Radius R hat der Tropfen? [2 Punkte]

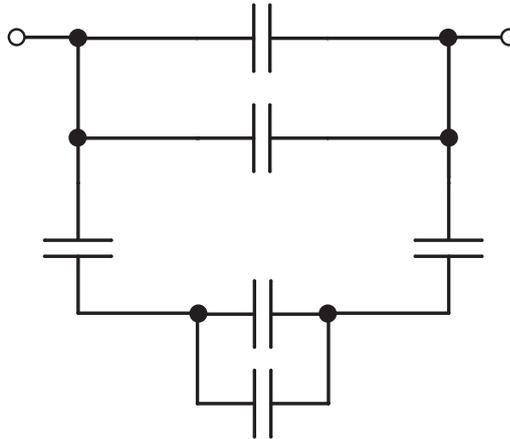
- b) Zwei derartige Tropfen mit demselben Radius und derselben Ladung wie unter a) kombinieren durch Berührung und bilden einen einzigen kugelförmigen, homogen geladenen Tropfen. Wie groß ist das Potenzial auf der Oberfläche dieses Tropfens? [3 Punkte]

- E13.** Ein Plattenkondensator der Dicke d und Fläche A sei mit einem isotropen Dielektrikum gefüllt, dessen Dielektrizitätskonstante $\varepsilon(x)$ linear von einer Platte zur anderen zunimmt. Die Dielektrizitätskonstante an einer Platte ist gegeben mit ε_1 und die an der anderen Platte mit ε_2 ($\varepsilon_2 > \varepsilon_1$). Berechnen Sie die Kapazität C des Kondensators und die Dichte der Polarisationsladungen $\rho_P(x)$ im Dielektrikum in Abhängigkeit von der Dielektrizitätskonstante $\varepsilon(x)$ und der Ladung Q des

Kondensators, wenn das elektrische Feld \vec{E} in Richtung der höheren Dielektrizitätskonstante zeigt! **[7 Punkte]**

E14. Gegeben sind sechs Kondensatoren mit gleicher Kapazität $C_0 = 1 \mu\text{F}$.

- Welche Gesamtkapazität C hat die angegebene Schaltung? **[3 Punkte]**
- Durch welche Schaltung kann man mit den sechs Kondensatoren die größte bzw. kleinste Gesamtkapazität erreichen? Bestimmen Sie C_{max} und C_{min} ! **[2 Punkte]**

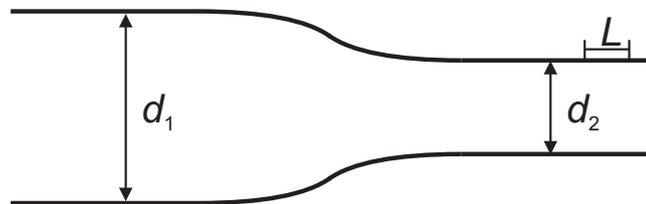


E15. Ein mit Glimmer ($\epsilon_r = 8$) gefüllter Plattenkondensator mit einer Fläche von $A = 16 \text{ cm}^2$ und einem Plattenabstand $d = 25 \mu\text{m}$ entlädt sich aufgrund der Leitfähigkeit des Dielektrikums.

- (a) Wie groß sind spezifischer elektrischer Widerstand ρ und Widerstand R des Dielektrikums, wenn die Ladung des Kondensators nach 70 s auf $1/e$ abgefallen ist? **[4 Punkte]**
- (b) Wie lange dauert es, bis sich der Kondensator halb entladen hat? Wie groß ist die Kapazität des Kondensators? **[2 Punkte]**

E16. In untenstehender Skizze ist ein Draht mit verschiedenen kreisförmigen Querschnittsflächen gezeigt. Der Durchmesser in der breiteren Sektion ist d_1 der der schmaleren Sektion ist $d_2 = d_1/2$. Der Draht besteht aus Kupfer (Kupfer enthält $8,49 \cdot 10^{28}$ Atome pro Kubikmeter, pro Atom wird ein Leitungselektron beigesteuert, der spezifische Widerstand von Kupfer ist $\rho = 1,69 \cdot 10^{-8} \Omega\text{m}$) und wird von einem Strom, welcher auf einer beliebigen Querschnittsfläche des Drahtes uniform verteilt ist, durchflossen. Der Spannungsabfall entlang dem mit L gekennzeichnetem Stück beträgt $0,13 \text{ mV}$ und $L = 2 \text{ mm}$.

Wie hoch ist die Driftgeschwindigkeit der Elektronen in der breiteren Sektion des Drahtes?

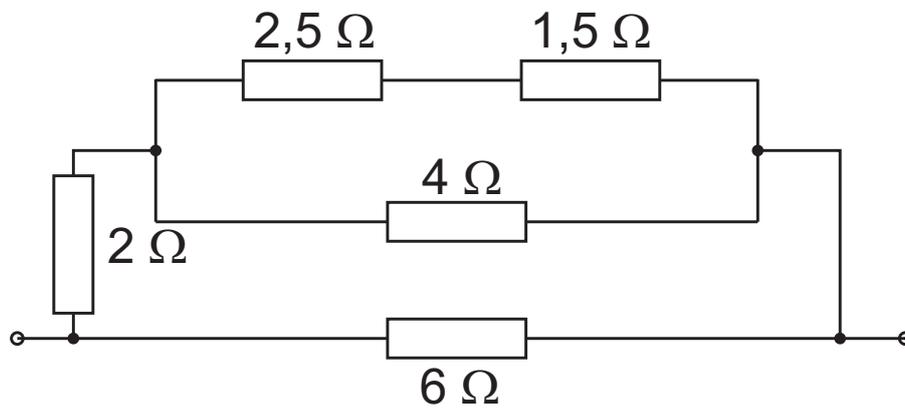


[4 Punkte]

E18. Ermitteln Sie den Gesamtwiderstand des gezeigten Widerstandsnetzwerkes!

[3 Punkte]

E21. Magnetischer Fluß; Kraftwirkung auf Leiter



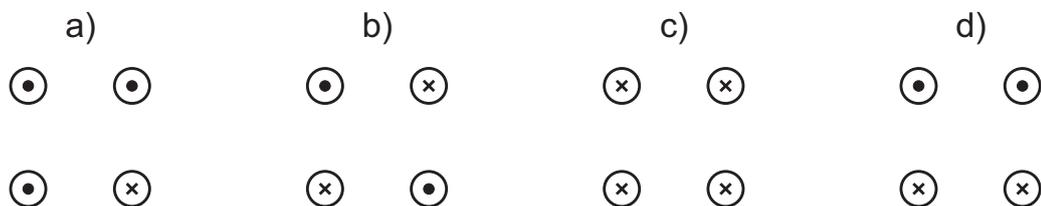
(a) Berechnen Sie den magnetischen Fluß Φ eines homogenen Magnetfeldes $B = 0,070 \text{ T}$ durch eine Kreisfläche ($r = 5,0 \text{ cm}$), die in der xy -Ebene liegt; der Neigungswinkel des Magnetfeldes zur xy -Ebene ist $\alpha = 20^\circ \text{C}$.

[2 Punkte]

(b) Ein von einem Strom $I = 4 \text{ A}$ durchflossener Leiter der Länge $l = 5 \text{ cm}$ erfährt in einem homogenen Magnetfeld der Feldstärke $B = 0,3 \text{ T}$ die Kraft $F = 0,04 \text{ N}$. Welchen Winkel bildet der Leiter mit den magnetischen Feldlinien?

[2 Punkte]

E22. In untenstehender Skizze sind Anordnungen von unendlich langen, parallelen Drähten dargestellt. Die Drähte werden von vom Betrage her gleich großen Strömen durchflossen und befinden sich an den Eckpunkten identischer Quadrate. Ordnen Sie die Fälle a)-d) nach dem Betrag des magnetischen Feldes im Zentrum des jeweiligen Quadrates.



[3 Punkte]

E23. Ein geladenes Teilchen bewegt sich auf einer Kreisbahn mit dem Radius r . Das Teilchen habe die Ladung Q , die Masse m und die Winkelgeschwindigkeit ω bei seiner Bewegung auf der Kreisbahn.

a) Zeigen Sie, dass der Mittelwert des durch die Teilchenbewegung hervorgerufenen Stromes $I = q\omega/(2\pi)$ und der Betrag des magnetischen Momentes $\mu = \frac{1}{2}q\omega r^2$ ist. [2 Punkte]

b) Zeigen Sie weiter, dass der Betrag des Drehimpulses $L = mr^2\omega$ ist und dass die Beziehung zwischen den Vektoren des magnetischen Momentes und des Drehimpulses $\vec{\mu} = \left(\frac{1}{2}q/m\right)\vec{L}$ lautet.

[5 Punkte]

E28. Messung der magnetischen Feldstärke

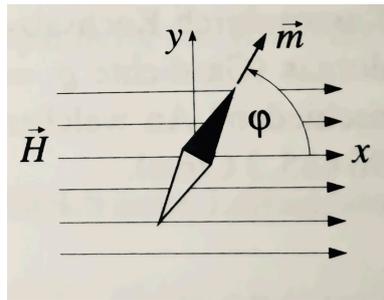
Zur Messung der magnetischen Feldstärke \vec{H} eines horizontal verlaufenden homogenen Magnetfeldes wird eine in der Horizontalebene (x, y)-Ebene frei drehbare Magnetnadel mit dem magnetischen Dipolmoment $m = 2 \cdot 10^{-6} \text{ Vs m}$ an einem Torsionsfaden im Feld aufgehängt. Der Aufhängepunkt des Torsionsfadens wird so verdreht, dass die ursprünglich in x -Richtung zeigende Magnetnadel um den Drehwinkel $\phi = 90^\circ \text{C}$ aus ihrer Gleichgewichtslage ausgelenkt wird. Dabei wird ein rücktreibendes Drehmoment von $D_z = 3 \times 10^{-4} \text{ Nm}$ gemessen.

(a) Welche Feldstärke \vec{H} hat das Magnetfeld?

[2 Punkte]

(b) Wie groß ist die Arbeit bei der Drehung der Magnetnadel?

[3 Punkte]



E30. Wienfilter

Protonen mit einer Geschwindigkeit von $\vec{v}_0 = v_0 \cdot \vec{e}_x$, $v_0 = 0,1 c$ (c : Lichtgeschwindigkeit im Vakuum) treten in einen Wienfilter ein. Dieser Filter hat eine Länge l in x -Richtung von 1 m; das homogene elektrische Feld im Filter ist $\vec{E} = E \cdot \vec{e}_z$, $E = 30 \text{ kV/cm}$. Das magnetische Feld \vec{B} des Filters liegt demnach in y -Richtung.

a) Für welches \vec{B} erfahren die Protonen keine Ablenkung?

[3 Punkte]

b) als Zusatzaufgabe: Am Ende des Filters befindet sich ein Spalt, der nur von Protonen passiert werden soll, deren Geschwindigkeit maximal 0,01% von der Sollgeschwindigkeit \vec{v}_0 abweichen soll. Wie groß muss die Öffnung des Spaltes in z -Richtung sein, um dies zu gewährleisten?

Hinweis: Für das Lösen der Aufgabe kann folgende Näherung verwandt werden:

$$\frac{l}{v_0 + \Delta v} \approx \frac{l}{v_0}$$

für $\Delta v \ll v_0$.

Die Masse des Protons beträgt $1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$. Relativistische Effekte sollen nicht berücksichtigt werden.

[5 Punkte]

E32. Fünf 10 m lange Drähte verlaufen parallel zueinander in einem Abstand von jeweils $d = 8 \text{ cm}$ zwischen benachbarten Drähten.

Jeder trägt einen Strom von 3 A aus der Ebene heraus. Jeder Draht erfährt eine Kraft aufgrund der magnetischen Felder der anderen Drähte. Bestimmen Sie die Gesamtkraft, welche auf die Drähte 1, 2 und 3 wirkt!



Abbildung E32.1: Anordnung der Drähte

[4 Punkte]