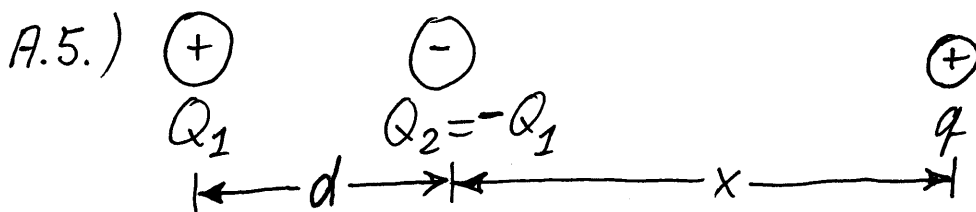


Musterprüfung PAM

- Themen:
- A. Elektrostatik
 - B. Satz von Gauss
 - C. Kirchhoffsche Gesetze
 - D. Magnetismus
 - E. Halleffekt

- A.1.) Welche Zentripetalkraft wirkt auf ein Elektron in einem H-Atom, das, gemäss Bohrschem Atommodell, den Atomkern im Abstand von $a_0 = 0.0529$ nm (Bohrscher Radius) umkreist?
- A.2.) Ein anfänglich ruhendes Elektron durchläuft eine Beschleunigungsspannung U_0 . Wie gross müsste U_0 gemäss Gesetzen der klassischen Physik sein, damit es sich mit Lichtgeschwindigkeit bewegt?
- A.3.) Eine kleine Kugel im Abstand von 4cm von einer grossen Metallplatte trägt eine Ladung von 60nC . Mit welcher Kraft wird die Kugel von der Platte angezogen?
- A.4.) Auf den Eckpunkten eines Quadrats befinden sich vier gleiche Ladungen $Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q_4 = 90\text{nC}$. Welche Ladung muss ins Zentrum des Quadrats platziert werden, damit alle Ladungen im Gleichgewicht sind?



Mit welcher Potenz von x nimmt die Anziehung der Probeladung durch den Dipol mit zunehmendem

x ab?

A.6.) Wie viel Ladung befindet sich auf den je 0.15 m^2 grossen Platten eines Plattenkondensators im Abstand von 4.0 cm , wenn er an eine Spannungsquelle von 24 V angeschlossen wird?

A.7.) Bei welcher elektrischen Feldstärke ist die Stromdichte ($J = I/A$) in Kupfer gleich 20 A/mm^2 ? Für Kupfer gilt $\rho_e = 1.7 \cdot 10^{-8} \text{ } \Omega \text{ m}$.

B.1.) Eine dünnwandige Hohlkugel aus Metall wird durch eine Spannung von 11 kV gegenüber der Erdung positiv aufgeladen. Der Aussendurchmesser der Kugel misst 15 cm

a) Wie gross ist die Ladung auf der Kugel?

b) Wie gross ist die Feldstärke auf der Oberfläche der Kugel?

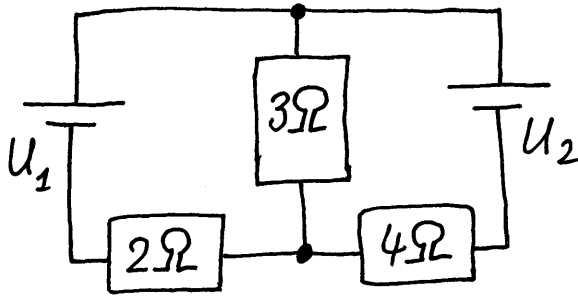
c) Wie gross ist die elektr. Feldstärke im Innern der Kugel im Abstand von 12 mm von der Wand der Kugel?

B.2.) Zwei lange dünne Drähte verlaufen parallel im Abstand von 24 cm . Sie sind entgegengesetzt geladen mit $\pm 5.0 \text{ nC}$ pro Meter Länge. Wie gross ist die elektrische Feldstärke in der Mitte zwischen den beiden Drähten?

B.3.) In der Nähe der Erdoberfläche ist die elektrische Feldstärke in der Erdatmosphäre rund 130 V/m (vertikal nach unten gerichtet). Berechne daraus die Ladungsdichte der Erdoberfläche und alsdann die Ladung der Erdkugel, wenn ihre

Oberfläche $5.1 \cdot 10^{14} \text{ m}^2$ misst.

C.1.)



Wie viel Strom fließt durch die zwei Spannungsquellen $U_1 = 3\text{V}$ und $U_2 = 5\text{V}$ nebeneinander Schaltung?

D.1.) Mit welcher Winkelgeschwindigkeit rotiert ein Elektron in einem homogenem Magnetfeld mit $B = 0.25 \text{ mT}$?

D.2.) Eine 60 cm lange Spule mit einer Querschnittsfläche von 35 cm^2 hat 1000 Windungen

a) Wie gross ist die Induktivität der (leeren) Spule?

b) Wie gross ist die magnetische Flussdichte in der (leeren) Spule bei einem Erregerstrom von 0.2 A ?

c) Wie stark steigt die Stromstärke beim Einschalten der (leeren) Spule bei $U = 200 \text{ V}$?

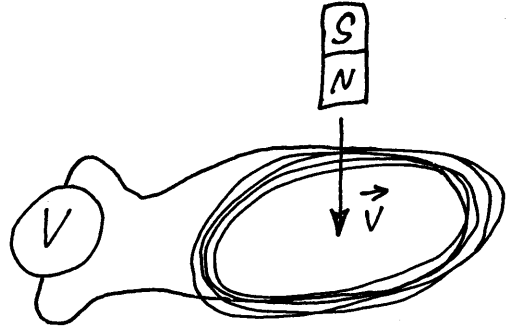
d) Wie gross ist die magnetische Flussdichte in der Spule bei einem Erregerstrom von 0.2 A , wenn sie mit Eisen ($\mu_r \approx 1000$) gefüllt ist?

D.3.) Ein 80 cm langer Metallstab wird mit einer Geschwindigkeit von 2.0 m/s senkrecht zu den Feldlinien des Magnetfelds der Erde der Stärke $40 \mu\text{T}$ bewegt.

a) Wie gross ist die elektrische Spannung zwischen den Stabenden?

b) Wie verändert sich die Spannung, wenn sich der Stab mit gleicher Geschwindigkeit in Gegenrichtung bewegt?

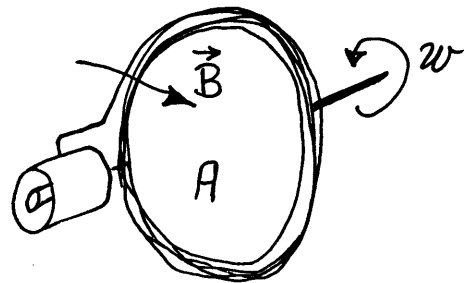
D.4.) Ein Stabmagnet fällt durch eine horizontale Leiterschleife.



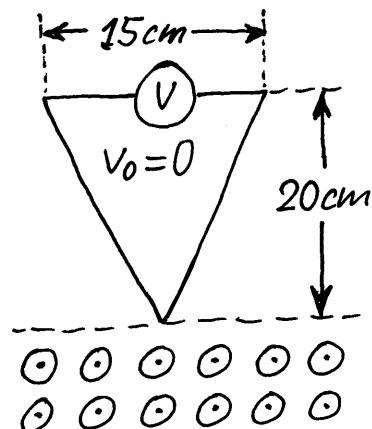
a) Skizziere den zeitlichen Verlauf des Stromflusses durch die Leiterschleife.

b) Wie beeinflusst der Induktionsstrom die Fallbewegung? Begründe!

D.5.) Eine Leiterschleife mit einer Fläche $A = 80 \text{ cm}^2$ und mit 500 Windungen rotiert mit 200 U/min in einem homogenen Magnetfeld der Stärke $B = 50 \text{ mT}$. Die Drehachse steht senkrecht zur Richtung des Magnetfelds. Wie gross ist der Scheitelwert der induzierten Wechselspannung?

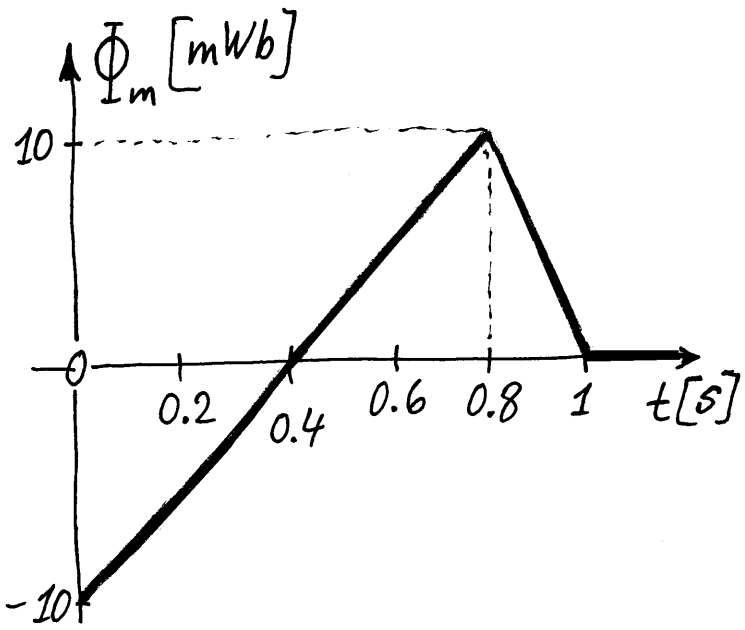


D.6.) Eine dreieckige 15 cm breite und 20 cm hohe Drahtschleife fällt in ein homogenes Magnetfeld mit $B = 45 \text{ mT}$.



- a) Skizziere schematisch den Verlauf der induzierten Spannung in der Schlaufe.
- b) Welche maximale Spannung wird in der Schlaufe induziert?

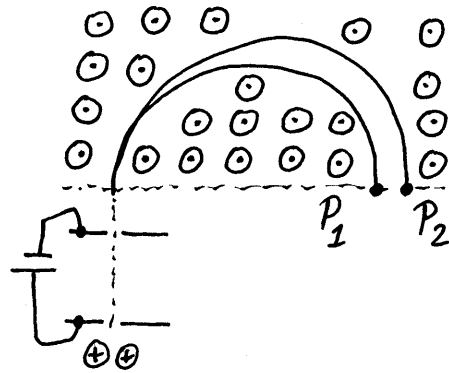
D.7.) Der magnetische Fluss durch eine Spule mit 500 Windungen sei wie in nebenstehender Grafik dargestellt. Berechne den zeitlichen Verlauf der in der Spule induzierten Spannung.



- D.8.) Wie stark ziehen sich zwei parallele Drähte im Abstand von 20 cm an, wenn sie von gleich gerichteten Strömen von je 4.0 A durchflossen werden? Die Anziehung soll pro Meter Länge der Drähte angegeben werden.
- D.9.) Gemäss Bohrschem Atommodell umkreist das Elektron im H-Atom im Grundzustand den Atomkern mit einer Bahngeschwindigkeit von $2.18 \cdot 10^6$ m/s auf einer Kreisbahn mit Bahnradius $r = a_0 = 0.529 \cdot 10^{-10}$ m. Betrachte das rotierende Elektron als Kreisstrom der Stromstärke $I = \Delta Q / \Delta t = e / T = e \cdot v / (2\pi a_0)$. Dieser Kreisstrom erzeugt ein Magnetfeld. Berechne die magnetische Flussdichte beim Atomkern. Das durch den Kreisstrom erzeugte Magnetfeld

ist experimentell nicht nachweisbar. Kommentiere!

D.10.) Anfänglich ruhende
Kationen $^{235}\text{UF}_6^+$
und $^{238}\text{UF}_6^+$
durchlaufen eine
Beschleunigungs-
spannung von 200V.
Die beschleunigten



Ionen mit Massen von 349.03u und 352.04u
treffen senkrecht auf ein homogenes Magnetfeld
mit $B = 0.8\text{T}$. Im Magnetfeld durchlaufen sie
halbkreisförmige Bahnen. Sie verlassen das Mag-
netfeld in den Punkten P_1 und P_2 .

- Mit welcher Geschwindigkeit treten die Ionen
aufs Magnetfeld?
- Wie weit sind die Punkte P_1 und P_2 vonei-
nander entfernt?

E.1.) Für die Hall-
spannung gilt

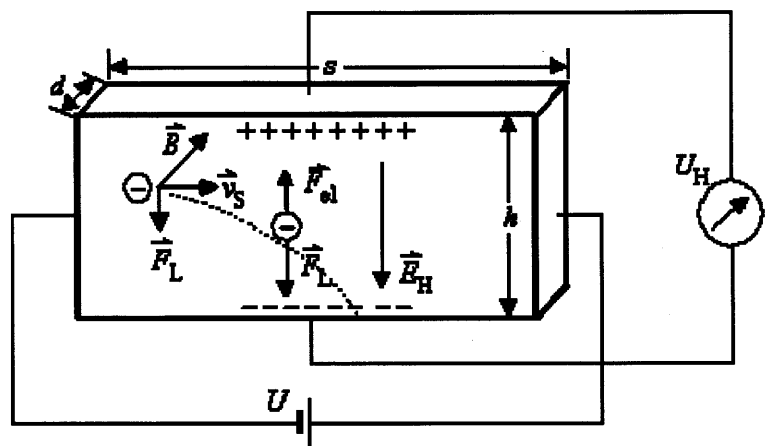
$$U_H = R_H \cdot \frac{I B}{d}$$

Für die Hall-
konstante gilt

$$R_H = \frac{1}{n \cdot e}$$

Dabei ist n die
Ladungsträgerdichte.

Bei einem Plättchen aus dem Halbleiter Germa-
nium der Breite 12mm und der Dicke 1mm
misst man für $B = 106\text{mT}$ und $I = 30\text{mA}$



eine Hallspannung -20.6 mV . Bestimme die Hallkonstante von Germanium, sowie die Ladungsträgerdichte. In einem m^3 Germanium hat es rund $4.4 \cdot 10^{28}$ Germaniumatome. Auf wie viele Germaniumatome trifft es ein Leitungselektron?

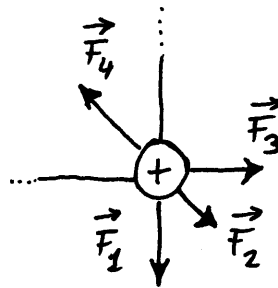
Musterlösungen

$$\begin{aligned} \text{A.1.) } F_{zp} = F_c &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{a_0^2} = \frac{1}{4\pi \cdot 8.854 \cdot 10^{-12}} \left(\frac{1.602 \cdot 10^{-19}}{0.0529 \cdot 10^{-9}} \right)^2 \text{ N} \\ &= \underline{\underline{82.4 \text{ nN}}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{A.2.) } U_0 e &= \frac{1}{2} m_e c^2 \rightarrow U_0 = \frac{m_e c^2}{2e} = \frac{9.11 \cdot 10^{-31} \cdot (3 \cdot 10^8)^2}{2 \cdot 1.602 \cdot 10^{-19}} \text{ V} \\ &= \underline{\underline{0.26 \text{ MV}}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{A.3.) Anziehung durch Spiegelladung: } r &= 2.4 \text{ cm} = 0.024 \text{ m} \\ F &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \left(\frac{Q}{r} \right)^2 = \frac{1}{4\pi \cdot 8.854 \cdot 10^{-12}} \left(\frac{60 \cdot 10^{-9}}{0.024} \right)^2 \text{ N} \\ &= \underline{\underline{5.0 \text{ mN}}} \end{aligned}$$

A.4.) q : Ladung im Zentrum
 s : Quadratseite
 $Q = Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q_4$



$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Qq}{(s/\sqrt{2})^2} = \frac{Q^2}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{\sqrt{2}}{s^2} + \frac{1}{(\sqrt{2}s)^2} \right) \rightarrow$$

$$\frac{q}{s^2/2} = Q \left(\frac{\sqrt{2}}{s^2} + \frac{1}{2s^2} \right) \rightarrow q = Q \left(\frac{2\sqrt{2}+1}{4} \right) = \underline{\underline{86 \text{ nC}}}$$

$$\begin{aligned}
 \text{A.5.) } Q &= Q_1 = -Q_2 \\
 F &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \left(\frac{Qq}{x^2} - \frac{Qq}{(x+d)^2} \right) = \frac{Qq}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{(x+d)^2 - x^2}{x^2(x+d)^2} \\
 &= \frac{Qqd}{2\pi\epsilon_0} \cdot \frac{x+d/2}{x^2(x+d)^2}
 \end{aligned}$$

Es gilt $\lim_{x \rightarrow \infty} (x+d) = x$ und $\lim_{x \rightarrow \infty} (x+d/2) = x$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} F = \frac{Qqd}{2\pi\epsilon_0 x^3} \rightarrow \underline{\underline{\text{Abnahme mit } x^{-3}}}$$

$$\begin{aligned}
 \text{A.6.) } Q &= CU = \epsilon_0 AU/d = (8.854 \cdot 10^{-12} \cdot 0.15 \cdot 24 / \\
 &0.04) C = \underline{\underline{0.80 \text{ nC}}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{A.7.) } J &= I/A = U/(R \cdot A) = U/([g_e L/A] \cdot A) = \\
 &U/(g_e L) = (U/L)/g_e = E/g_e \rightarrow E = J g_e = \\
 &(20/0.001^2) \cdot 1.7 \cdot 10^{-8} \text{ V/m} = \underline{\underline{0.34 \text{ V/m}}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{B.1a) } Q &= C \cdot U = 4\pi\epsilon_0 r U = 4\pi \cdot 8.854 \cdot 10^{-12} \cdot 0.075 \cdot 11'000 \\
 &= \underline{\underline{92 \text{ nC}}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{b) Satz v. Gauss: } \Phi_e &= E \cdot 4\pi r^2 = Q/\epsilon_0 \rightarrow \\
 E &= Q/(4\pi r^2 \epsilon_0) = U/r = 11'000 \text{ V}/(0.075 \text{ m}) = \\
 &\underline{\underline{147 \text{ kV/m}}}
 \end{aligned}$$

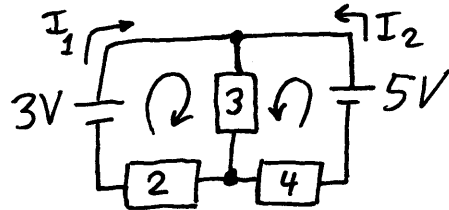
c) Die Hohlkugel wirkt als Faradayscher Käfig, auch wenn sie geladen ist. Das Innere der Hohlkugel ist feldfrei $\rightarrow \underline{\underline{E=0}}$

$$\begin{aligned}
 \text{B.2.) } E \cdot 2\pi(r/2)L &= 2 \cdot Q/\epsilon_0 \rightarrow E = \frac{2Q/L}{\pi\epsilon_0 r} = \\
 &\frac{2 \cdot 5 \cdot 10^{-9} / 1}{\pi \cdot 8.854 \cdot 10^{-12} \cdot 0.24} \text{ V/m} = \underline{\underline{1.5 \text{ kV/m}}}
 \end{aligned}$$

B.3.) Satz von Gauss: $E \cdot S = Q/\epsilon_0 \rightarrow Q/S = E \cdot \epsilon_0$
 $= 130 \cdot 8.854 \cdot 10^{-12} \text{ C/m}^2 = \underline{\underline{1.15 \text{ nC/m}^2}}$

$$Q = S \cdot (Q/S) = 1.15 \cdot 10^{-9} \cdot 5.1 \cdot 10^{14} \text{ C} = \underline{\underline{5.9 \cdot 10^5 \text{ C}}}$$

C.1.) $3(I_1 + I_2) + 2I_1 = 3$
 $3(I_1 + I_2) + 4I_2 = 5$



$$5I_1 + 3I_2 = 3$$

$$3I_1 + 7I_2 = 5$$

$$\left. \begin{array}{l} 15I_1 + 9I_2 = 9 \\ 15I_1 + 35I_2 = 25 \end{array} \right\} -$$

$$\underline{\underline{26I_2 = 16}}$$

$$I_2 = (8/13) \text{ A}$$

$$I_1 = (3 - 3I_2)/5 = (3/13) \text{ A}$$

$$I_1 = 0.23 \text{ A} \parallel$$

$$I_2 = 0.62 \text{ A} \parallel$$

D.1.) $F_{zp} = m_e \omega^2 r = e v B = e \omega r B \rightarrow \omega = eB/m_e$
 $= (1.602 \cdot 10^{-19} \cdot 0.25 \cdot 10^{-3} / (9.109 \cdot 10^{-31})) \text{ s}^{-1}$
 $= \underline{\underline{44 \cdot 10^6 \text{ s}^{-1}}}$

D.2a) $L = \mu_0 N^2 \cdot A / l = (4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 1000^2 \cdot 35 \cdot 0.01^2 / 0.6) \text{ H}$
 $= \underline{\underline{7.3 \text{ mH}}}$

b) $d = \sqrt{4A/\pi} = \sqrt{4 \cdot 35/\pi} \text{ cm} = 6.7 \text{ cm}$

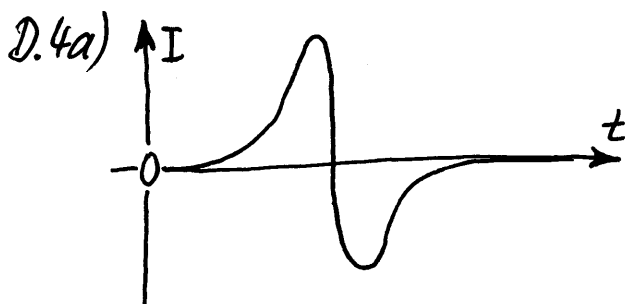
$$B_0 = \frac{\mu_0 N I}{\sqrt{l^2 + d^2}} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 1000 \cdot 0.2}{\sqrt{0.6^2 + 0.067^2}} \text{ T} = \underline{\underline{0.42 \text{ mT}}}$$

c) $dI/dt = U/L = (200/0.0073) \text{ A/s} = \underline{\underline{27 \cdot 10^3 \text{ A/s}}}$

d) $B = \mu_0 \mu_r N I / \sqrt{l^2 + d^2} = \mu_r B_0 = \underline{\underline{0.42 \text{ T}}}$

$$D.3a) F_L = evB = U \cdot e / s \rightarrow U = svB = 0.8 \cdot 2 \cdot 40 \cdot 10^{-6} V \\ = \underline{\underline{64 \mu V}}$$

b) Die Richtung der Spannung ändert sich, aber der Betrag bleibt gleich.

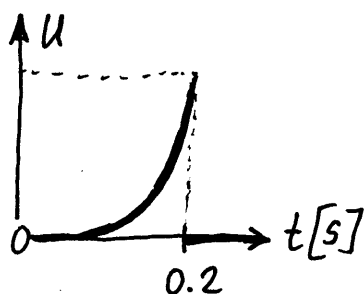


b) Der Stromfluss hemmt die Fallbewegung. Gemäss Lenzscher Regel!

$$D.5.) U_{ind} = -N \frac{d\Phi_m}{dt} = -N \frac{d}{dt} (BA \cos(\omega t)) = NBA\omega \sin(\omega t)$$

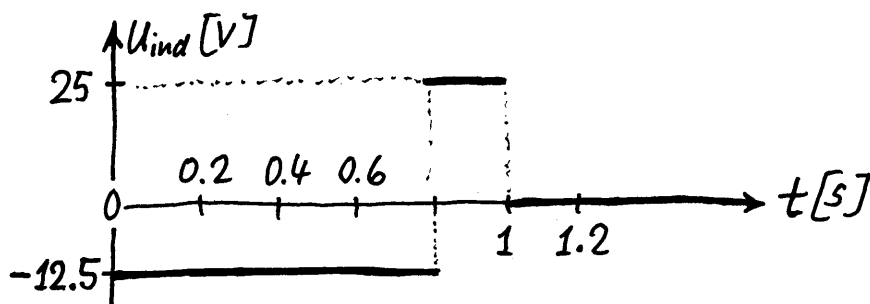
$$\hat{U} = NBA\omega = (500 \cdot 0.05 \cdot 80 \cdot 0.01^2 \cdot 200 \cdot 2\pi / 60) V \\ = \underline{\underline{4.2 V}}$$

$$D.6a) t = \sqrt{2h/g} = \sqrt{2 \cdot 0.2 / 10} s = 0.2 s$$



$$b) U_{max} = B \cdot \frac{\Delta A}{\Delta t} = B \cdot 0.15 m \cdot v \\ = B \cdot 0.15 m \cdot g t = 0.045 \cdot \\ 0.15 \cdot 10 \cdot 0.2 V = \underline{\underline{13.5 mV}}$$

$$D.7.) \text{Für } 0 \leq t \leq 0.8 s : U_{ind} = -500 \cdot (0.02 / 0.8) V = -12.5 V \\ \text{Für } 0.8 s < t \leq 1 s : U_{ind} = -500 \cdot (-0.01 / 0.2) V = 25 V \\ \text{Für } t > 1 s : U_{ind} = 0$$



$$D.8.) \quad B = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi r}, \quad F = I_2 l B = \frac{\mu_0 I_1 I_2 l}{2\pi r} =$$

$$\frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 4 \cdot 4 \cdot 1}{2\pi \cdot 0.2} \text{ N} = \underline{\underline{16 \mu\text{N}}}$$

$$D.9.) \quad I = e \cdot v / (2\pi a_0) = (1.602 \cdot 10^{-19} \cdot 2.18 \cdot 10^6 / (2\pi \cdot 0.529 \cdot 10^{-10})) \text{ A} = 1.05 \text{ mA}$$

$$B = \mu_0 I / (2a_0) = (4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 0.00105 / (2 \cdot 0.529 \cdot 10^{-10})) \text{ T} = \underline{\underline{12.5 \text{ T}}}$$

Das Bohrsche Atommodell nimmt an, dass das Elektron sich in einer Ebene auf einer Kreisbahn bewegt. Das ist falsch!

$$D.10a) \quad \text{Energiesatz: } U_e = \frac{1}{2} m v^2 \rightarrow v = \sqrt{2U_e/m}$$

$$v_{235} = \sqrt{2 \cdot 200 \cdot 1.602 \cdot 10^{-19} / (349.03 \cdot 1.6606 \cdot 10^{-27})} \text{ m/s}$$

$$v_{238} = \sqrt{2 \cdot 200 \cdot 1.602 \cdot 10^{-19} / (352.04 \cdot 1.6606 \cdot 10^{-27})} \text{ m/s}$$

$$\left. \begin{array}{l} v_{235} = 10.5 \text{ km/s} \\ v_{238} = 10.470 \text{ km/s} \end{array} \right\} \quad 10.515 \text{ km/s}$$

$$b) \quad \frac{m v^2}{r} = e v B \rightarrow r = m v / (e B) = \sqrt{2U_e m} / (e B)$$

$$\Delta r = 2(r_{238} - r_{235}) = \frac{2\sqrt{2U_e}}{e B} [\sqrt{m_{238}} - \sqrt{m_{235}}]$$

$$= \frac{2\sqrt{2 \cdot 200 \cdot 1.602 \cdot 10^{-19}}}{1.602 \cdot 10^{-19} \cdot 0.8} [\sqrt{352.04} - \sqrt{349.03}] \cdot$$

$$\sqrt{1.6606 \cdot 10^{-27}} \text{ m} = \underline{\underline{0.41 \text{ mm}}}$$

$$E.1.) \quad R_H = U_H d / (I B) = [0.0206 \cdot 0.001 / (0.03 \cdot 0.106)] \text{ m}^3/\text{C}$$

$$= 0.0065 \text{ m}^3/\text{C} \rightarrow n = 1 / (R_H \cdot e) = (1 / (0.0065 \cdot$$

$$1.602 \cdot 10^{-19})) / \text{m}^3 = \underline{\underline{9.6 \cdot 10^{20} / \text{m}^3}}$$

$$4.4 \cdot 10^{28} / (9.6 \cdot 10^{20}) = 46 \cdot 10^6 \rightarrow$$

1 Leitungselektron auf 46 Mio. Germaniumatome