



**Aufgabe 1:** Experiment

(5 Punkte)

Erläutern Sie den Versuch und erklären Sie, warum die Kraft zwischen den Drähten attraktiv ist.

**Aufgabe 2:** Kurzfragen

(25 Punkte)

Beantworten Sie so kurz wie möglich:

i) 2 P. Nennen Sie das Gaußsche Gesetz in integraler und differentieller Form und erläutern Sie dieses anschließend.

ii) 2 P. Nennen Sie das elektrostatische Potenzial einer Punktladung und erläutern Sie dieses. Geben Sie außerdem an, wie man aus dem Potenzial das elektrische Feld erhält.

iii) 3 P. Nennen Sie die Kapazität, elektrostatische Energie und die Energiedichte für einen Plattenkondensator und erläutern Sie diese.

- iv) 2 P. Erläutern Sie allgemein die Unterschiede zwischen den Feldlinien des elektrostatischen und magnetischen Feldes mit Hilfe einer Skizze. Sind die Felder konservativ?
- v) 3 P. Was ist der dielektrische Verschiebungsvektor. Erläutern Sie außerdem seine Bedeutung für die Elektrostatik in Dielektrika. Wie sieht dann das Gaußsche Gesetz aus?
- vi) 2 P. Erläutern Sie die Lorentz-Kraft. Warum ist die Arbeit der Lorentz-Kraft ohne elektrisches Feld gleich Null?

vii) 3 P. Nennen Sie die Kirchhoff'schen Regeln für einen Stromkreis und erläutern Sie diese. Welchen Erhaltungsgrößen entsprechen diese?

viii) 3 P. Erläutern Sie die möglichen Ursachen des induzierten Stroms in einer Spule im Magnetfeld. Gehen Sie dabei auf das Induktionsgesetz von Faraday ein. Was ist entscheidend für die Richtung des Stroms?

ix) 3 P. Nennen Sie die zwei Postulate der speziellen Relativitätstheorie

x) 2 P. Warum ist eine elektromagnetische Welle im Vakuum eine transversale Welle?

**Aufgabe 3: Elektrostatik**

(8 Punkte)

- i) 4 P. Ein neutrales Wasserstoff-Atom kann vereinfacht als positive Punktladung  $q_p = +e$  des Protons aufgefasst werden, die von der negativen Ladungswolke

$$\rho(r) = \rho_0 e^{-\frac{2r}{a_B}}$$

des Elektrons mit Gesamtladung  $q_e = -e$  umgeben ist. Dabei ist  $a_B$  der Bohrsche Radius. Der Vorfaktor  $\rho_0$  ergibt sich aufgrund der Neutralitätsbedingung für das ganze Atom zu  $\rho_0 = \frac{q_e}{\pi a_B^3}$ . Welche Ladungsmenge, abgesehen von der des Protons befindet sich innerhalb einer um das Proton zentrierten Kugelschale mit dem Radius  $a_B$ ?

- ii) 4 P. Zwei Metallkugeln sind vertikal in einem Abstand von 1m übereinander angebracht. Sie tragen beide dieselbe Ladung  $Q$  und sind jeweils 1g schwer. Nun wird die Befestigung der oberen Kugel gelöst. Wie groß müsste ihre Ladung mindestens sein, damit sie nicht herunterfällt?

**Aufgabe 4: Magnetostatik**

(8 Punkte)

- i) 4 P. Eine Hall-Sonde dient zur Bestimmung der Stärke eines Magnetfelds. Ein leitfähiger Quader mit den Abmessungen  $l, d$  und  $b$  wird in das Magnetfeld  $\vec{B}$  geführt. Es wird ein Strom  $I$  durch den Quader geschickt, was zur einer Ablenkung durch die Lorentz-Kraft  $\vec{F}_L$  führt und damit zu einem Elektronenüberschuss auf einer Seite des Quaders. Dieser führt zu einem elektrischen Feld und damit zu einer der Lorentz-Kraft entgegengerichteten elektrischen Kraft  $\vec{F}_E$ . Im Gleichgewichtszustand gilt

$$|\vec{F}_L| = |\vec{F}_E|$$

In diesem Zustand ist das elektrische Gegenfeld konstant und sorgt senkrecht zur Stromrichtung für eine konstante elektrische Spannung  $U_H$ , die wir als Hall-Spannung bezeichnen. Leiten Sie eine Formel her, um mittels der Hall-Spannung den Betrag der magnetischen Flussdichte  $\vec{B}$  zu bestimmen. Verwenden Sie dazu den Hall-Koeffizienten

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

wobei  $e$  die Elektronenladung und  $n$  die Elektronenkonzentration im Leiter angibt. Tipp: Zeigen Sie zunächst, dass die Stromdichte  $j = I/A$  (Strom  $I$ , Fläche  $A$ ) hier

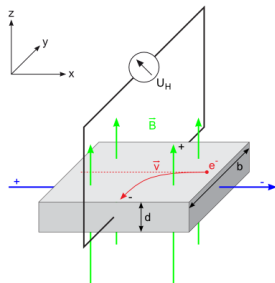


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Hall-Sonde

auch geschrieben werden kann als  $j = n \cdot e \cdot v$  (Elektronendichte/-konzentration  $n = N/V_{\text{olumen}}$ , Geschwindigkeit  $v$  der Elektronen).

- ii) 4 P. Eisen besitzt die Dichte  $\rho = 7.9 \frac{g}{cm^3}$  und das Atomgewicht  $55.8u$ . Berechnen Sie die Sättigungsmagnetisierung von Eisen unter der Annahme, dass das magnetische Moment des Eisenatoms gleich dem Bohrschen Magneton

$$\mu_B = 9.27 \times 10^{-24} \text{ Am}^2$$

ist. Ein Permanentmagnet aus magnetisch gesättigtem Eisen besitzt eine Flussdichte von  $2.1 \text{ T}$ . Berechnen Sie das tatsächliche Verhältnis des magnetischen Moments von Eisen und dem Bohrschen Magneton.



**Aufgabe 5:** Stromkreise

(8 Punkte)

- i) 4 P. Man betrachte einen Kupferdraht mit Durchmesser 2mm. Dieser hat eine Elektronendichte von  $8.5 \times 10^{28} \text{m}^{-3}$ . Es fließen in einer Minute genau  $\frac{1}{100}$  mol Elektronen durch diesen. Wie groß ist die Driftgeschwindigkeit der Elektronen?
- ii) 4 P. Eine Glühlampe in einem Fahrradrücklicht besitzt die Aufschrift 6V|5W. Nach dem Anhalten leuchtet die Lampe noch drei Minuten nach, bis die Spannung  $U$  die Hälfte der Spannung  $U_0$  beträgt, die während des Fahrens anliegt. Berechnen Sie die Kapazität des in dem Rücklicht eingebauten Kondensators.

**Aufgabe 6:** Elektrodynamik

(8 Punkte)

- i) 4 P. Betrachten Sie den elektrischen Schwingkreis in Abbildung 2. Angegeben sind die angelegte Wechselspannung  $U = U_0 \cos(\omega t)$  mit der Grundspannung  $U_0$  und der Frequenz  $\omega$ , die Induktivität der Spule  $L$ , die Kapazität des Kondensators  $C$  sowie der ohmsche Widerstand  $R$ . An der markierten Stelle wird der Gesamtstrom  $I_{Ges}$  gemessen. Geben Sie diesen in Abhängigkeit der gegebenen Größen an. Führen Sie zusätzlich den Grundstrom  $I_0 = \frac{U_0}{R_0}$  ein.

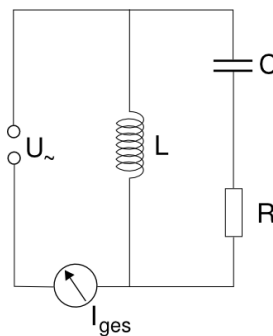


Abbildung 2: Schwingkreis

- ii) 4 P. Eine kreisförmige Leiterschleife befindet sich in einem homogenen Magnetfeld, das senkrecht zur Kreisfläche steht. Diese kreisförmige Leiterschleife wird nun zusammengezogen derart, dass der Radius der Schleife linear mit der Zeit abnimmt. Wie groß ist die in der Leiterschleife induzierte Spannung  $V(t)$ ? In welche Richtung fließt der Strom?

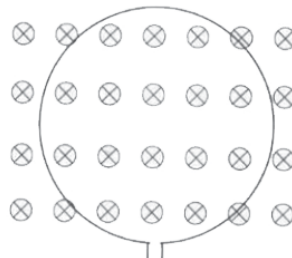


Abbildung 3: Leiterschleife

**Aufgabe 7: Elektromagnetische Wellen**

(8 Punkte)

- i) 4 P. Eine linear polarisierte elektromagnetische Welle pflanzt sich, wie in Abbildung 4 gezeigt, in positive  $z$ -Richtung fort. Der Vektor des elektrischen Feldes schwingt wie angegeben entlang der  $y$ -Achse. Die Maximalamplitude beträgt  $E_0 = 1000 \frac{\text{V}}{\text{m}}$ . Die Welle habe eine Frequenz von 1MHz.

- 1) Was ist die maximale magnetische Feldstärke  $B_0$ ?
- 2) Geben Sie Betrag und Richtung des Vektors des magnetischen Feldes an einem Ort an, wo

$$\vec{E} = \begin{pmatrix} 0 \\ 250 \\ 0 \end{pmatrix} \frac{\text{V}}{\text{m}}$$

ist.

- 3) Was ist die kleinste Entfernung zwischen dem zuvor betrachteten Ort und dem nächsten Durchlaufen des maximalen magnetischen Feldes?

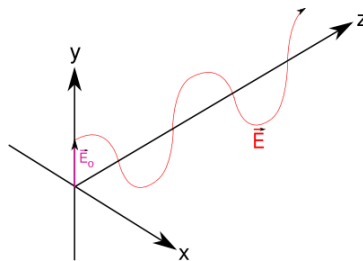


Abbildung 4: Elektromagnetische Welle

- ii) 4 P. Eine gerade elektromagnetische Welle der Frequenz 10GHz läuft senkrecht auf eine Wand zu, in der sich zwei schmale Spalte im Abstand  $g = 10\text{cm}$  befinden. In der Entfernung  $a = 2\text{m}$  von der Spaltebene wird ein Empfänger längs der  $y$ -Achse bewegt.

- 1) Wie viele Maxima und wie viele Minima registriert der Empfänger?
- 2) Berechne alle Stellen  $y_{max,k}$  bzw.  $y_{min,k}$  an denen der Empfänger ein  $k$ -tes Maximum bzw. ein  $k$ -tes Minimum registriert.

*Beachte die Abbildung auf der nächsten Seite*

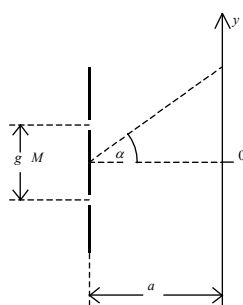


Abbildung 5: Darstellung des Doppelspalts