

# Übungsblatt 10

## E2/E2p Elektromagnetismus

### Besprechung ab Do 10.7.

#### 1. (mittel) Kräfte im Magnetfeld.

Eine sehr lange lineare Spule vom Querschnitt  $q=1\text{cm}^2$  mit  $n=100$  Windungen pro Meter wird vom Strom  $I=5\text{A}$  durchflossen



a) Wie groß sind magnetische Flussdichte  $B_0$  im Inneren der leeren Spule?

b) Die Spule wird anschließend mit zwei Titanstäben (magnetische Suszeptibilität  $\chi = 7.06 \times 10^{-5}$ ) in engem Kontakt ausgefüllt. Wie groß sind jetzt  $B$  in diesem dünnen Spalt?

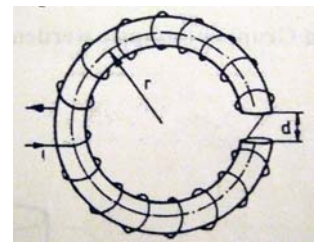
c) Das Magnetfeld bewirkt eine Kraft zwischen den beiden Nägeln. Ist sie abstoßend oder anziehend?

d) Wie groß ist die Kraft zwischen den beiden Nägeln, wenn der Spalt als klein angenommen wird?

e) Nimmt die Induktivität der Spule beim Trennen der Nägel ab oder zu?

#### 2. (mittel) Gekrümmte Spule.

Eine Ringspule mit Eisenkern hat  $N$  Windungen und den mittleren Ringradius  $r$ , die Permeabilitätszahl des Kerns ist  $\mu$ . Der Eisenkern hat einen Luftspalt der Breite  $d$ , welcher als schmal gegenüber dem Eisenkern anzunehmen ist. Berechnen Sie die magnetische Feldstärke  $B$  im Luftspalt für die Spulenstromstärke  $I$  ...



a) ... wenn Sie den Luftspalt als vernachlässigbar klein annehmen

b) ... wenn den Luftspalt nicht vernachlässigen. Tip: wenden Sie  $\oint \vec{B} \cdot d\vec{s}$  über den ringförmigen Spulenkern an und teilen Sie das Integral in einen Teil im Spalt und einen Teil im Eisen. Die Parameter für beide Teilaufgaben sind:  $N=600$ ,  $r=35\text{mm}$ ,  $\mu=500$ ,  $d=1.5\text{mm}$ ,  $I=4\text{A}$ .

#### 3. (leicht) Diamagnetismus

Das durch ein Magnetfeld  $B$  induzierte magnetische Moment eines einzelnen Elektrons der Ladung  $e$  und der Masse  $m_e$  auf einer Kreisbahn mit Radius  $r$ , dessen Bahnebene senkrecht zu einem äußeren Magnetfeld  $B$  liegt ist gegeben durch

$$\Delta m_m = \frac{q^2 r^2}{4m_e} B$$

Eine vernünftige Vereinfachung besagt: In einem Atom mit  $Z$  Elektronen steht im Durchschnitt jede dritte Elektronen"bahn" senkrecht auf  $B$ . Zeigen Sie, daß sich die diamagnetische Suszeptibilität ergibt zu

$$\chi = -\frac{nZq^2 r^2}{12m_e} \mu_0$$

Darin ist  $n$  die Zahl der Atome pro Volumeneinheit. Schätzen Sie  $\chi_m$  ab mit  $n \approx 6 \times 10^{28} \text{m}^{-3}$ ,  $r = 5 \times 10^{-11} \text{m}$  und  $Z \approx 50$ .

4. (mittel) Energie im B-Feld.

a) Zeigen Sie mit dem Induktionsgesetz

$$U_{\text{ind}} = -L \frac{d\phi}{dt}$$

daß die Energie in einer Spule gegeben ist mit  $W = LI^2/2$ .

b) Leiten Sie aus der letzten Formel die Relation für die Energiedichte

$$\frac{W}{V} = \frac{B^2}{2\mu\mu_0}$$

aus dem Magnetfeld einer langen Spule her.

c) Sinkt die Energiedichte innerhalb eines ferromagnetischen Materials ab, weil ja nun in der Formel für die Energiedichte  $\mu_0$  durch ein deutlich höheres  $\mu\mu_0$  ersetzt wird? Begründen Sie!

5. (mittel) Elektromagnetische Wellen.

In der Vorlesung wurde gezeigt, daß eine ebene Welle mit

$$E(x, t) = E_0 \sin k(x - ct)$$

die Maxwellgleichungen erfüllt.

a) Berechnen Sie die Überlagerung von zwei entgegenlaufenden Wellen. Was erhalten Sie als Ergebnis?

b) Sie sehen, daß bei bestimmten Orten  $x_0$  für das elektrische Feld für alle Zeiten gilt:  $E(x=x_0)=0$ .

Warum beschreibt diese Lösung das reflektierte Lichtfeld vor einer leitfähigen Platte? An welchem Ort  $x_0$  würden Sie diese Platte im Raum aufstellen? Hinweis: Sie werden Additionstheoreme für  $\sin(u)+\sin(v)$  benötigen.

c) Spekulieren Sie, wie man dieses periodische Lichtfeld mit einer photographischen Glasplatte nachweisen könnte.

6. (leicht) Poynting-Vektor eines Laserpointers

a) Der Strahl eines grünen Laserpointers habe einen rechteckigen Querschnitt der Intensität mit einem Strahlradius  $b = 1\text{mm}$  und wird durch Luft hindurch geführt. (Typischerweise ist der Strahlquerschnitt gaußförmig, was die Berechnungen aber nur um kleine Faktoren verändert). Berechnen Sie die Energiestromdichte  $S_0$  im Zentrum des Strahls, wenn die Laserleistung über den gesamten Strahl integriert 1 mW beträgt.

b) Unter der Annahme, daß es sich um eine linear polarisierte, kohärente Lichtwelle handelt (in guter Näherung erfüllt), wie groß sind dann die Amplitude des elektrischen Feldes  $E_0$  und des magnetischen Feldes  $B_0$  ?

c) Fokussieren Sie den Strahl mit einem Mikroskopobjektiv auf die Breite seiner Wellenlänge ( $b=\lambda=532\text{nm}$ ). Welche elektrische Feldstärken erhalten Sie dann? Vergleichen Sie diese mit dem elektrischen Feld in einem Wasserstoffatom, aufgespannt durch Elektron und Proton im Abstand von 0.05 nm.

----- Ende Elektromagnetismus für E2p-Kandidaten -----