

# Übungsblatt ED 5

## E2/E2kompakt Elektrodynamik, Prof. Braun, SoSe 2024

### Transformator und Materie im Magnetfeld, Elektromagnetische Wellen

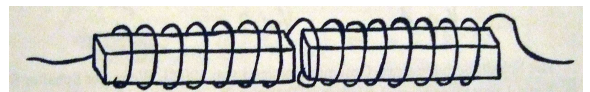
#### Mündliche Aufwärmfragen

Beschreiben Sie mit einfachen Worten, warum ein Transformator beim Einschalten (Ausschalten) die Spannung nur exponentiell langsam ändert? Welche Typen magnetischer Materialien gibt es? Was ist das besondere am Ferromagnetismus? Was ist ein Remanenzfeld und was eine Koerzitivkraft? Welche Terme der Maxwellgleichungen treiben eine ebene Welle im Vakuum an? Was ist ein Poyntingvektor?

#### Aufgaben zum Vorrechnen

1. (mittel) Kräfte im Magnetfeld.

Eine sehr lange lineare Spule vom Querschnitt  $q=4\text{cm}^2$  mit  $n=100$  Windungen pro Meter wird vom Strom  $I=3\text{A}$  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?

2. (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

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

Eine vernünftige geometrische Vereinfachung besagt: In einem Atom mit  $Z$  Elektronen steht im Durchschnitt jede dritte Elektronen"bahn" senkrecht auf  $B$ .

a) Zeigen Sie, daß sich die diamagnetische Suszeptibilität ergibt zu

$$\chi = -\frac{nZq^2r^2}{6m_e} \mu_0$$

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.

b) Zeigen Sie mit dem Induktionsgesetz

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

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

c) 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.

d) 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!

3. (leicht) Poynting-Vektor eines Laserpointers

a) Der Strahl eines grünen Laserpointers habe einen kreisförmigen Querschnitt mit einer konstanten Intensität bei einem Strahlradius  $b = 1\text{mm}$ . Er wird durch Luft hindurch geführt. (Typischerweise ist der Strahlquerschnitt gaußförmig, dies kann aber mit einem effektiven Radius abgebildet werden). Berechnen Sie die Energiestromdichte  $S_0$  im Strahl, wenn die Laserleistung integriert über das Strahlprofil  $1\text{mW}$  beträgt.

b) Unter der Annahme, daß es sich um eine linear polarisierte, kohärente Lichtwelle handelt (in sehr 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  $0.05\text{ nm}$ .