Übungen zur Physik III (WS 1999/2000)

Blatt 1

Aufgabe 1.1 (): Magnetische Induktion

Berechnen Sie die Induktivität L über $\int \vec{B} \cdot d\vec{f} = LI$ für eine Zylinderspule auf direktem Weg über $\vec{B}$.

Aufgabe 1.2 (): Eichung

Erinnerung

$$\begin{aligned} \mathrm{div}\vec{B} = 0 \quad &\Rightarrow \quad \vec{B} = \mathrm{rot}\vec{A} \\ \mathrm{rot}\vec{E} + \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = 0 \quad &\Rightarrow \quad \mathrm{rot}\left(\vec{E} + \frac{\partial \vec{A}}{\partial t}\right) = 0 \Rightarrow \vec{E} + \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} = -\mathrm{grad}\phi \end{aligned}$$

a) Verifizieren Sie, daß die Felder $\vec{E}$ und $\vec{B}$ invariant unter

$$\vec{A} \mapsto \vec{A} + \mathrm{grad}\chi \ , \quad \phi \mapsto \phi - \frac{\partial \chi}{\partial t}$$

sind, wobei $\chi : \mathbb{R}^3 \times \mathbb{R} \to \mathbb{R}$ eine beliebige (natürlich genügend häufig differenzierbare) skalare Funktion von Raum und Zeit ist. Die Freiheit bei der Wahl von ϕ und $\vec{A}$ auszunutzen, indem man ein spezielles χ wählt, nennt man Festlegen einer „Eichung“.

b) Leiten Sie die Differenzialgleichungen für ϕ und $\vec{A}$ aus den inhomogenen Maxwell-Gleichungen für $\vec{E}$ und $\vec{B}$ ab (rot rot = grad div − Δ).

c) Zeigen Sie, daß man χ so wählen kann, daß für die Potentiale

$$\mathrm{div}\vec{A} + \epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial}{\partial t}\phi = 0$$

gilt. Dies nennt man die „Lorentz-Eichung“.

d) Wie lauten die Gleichungen für ϕ und $\vec{A}$ in der Lorentz-Eichung?

Aufgabe 1.3 (): Frequenzabhängigkeit der Leitfähigkeit

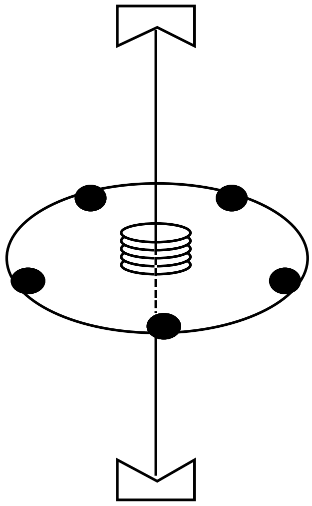
a) Die Leitungselektronen in einem Material haben die Dichte n. Wie lautet die Bewegungsgleichung für das $i$te Leitungselektron? Leiten Sie daraus die Bewegungsgleichung für die Stromdichte ab, indem Sie über einen kleinen Raumbereich mit Volumen V mit N Elektronen mitteln!
Hinweis:

$$\vec{j} = -e\langle \vec{v} \rangle = -e\frac{1}{V}\sum_{i=1}^{N} \vec{v}_i \ .$$

b) Lösen Sie die Gleichung für statische Felder! Bestimmen Sie aus der Lösung die Gleichstromleitfähigkeit σ_0.

$$\vec{j} = \sigma_0 \langle \vec{E} \rangle$$

c) Lösen Sie die Gleichung mit einem zeitlich veränderlichen Feld $\vec{E} = \vec{E}_0 e^{-i\omega t}$. Berechnen Sie die frequenzabhängige Leitfähigkeit $\sigma(\omega)$!



Aufgabe 1.4 (): Wo bleibt der Drehimpuls?

Stellen Sie sich ein Gerät vor, wie es in der Abbildung gezeigt wird. Eine dünne, kreisförmigen Plastikscheibe ist an einer Achse befestigt. Die Achse sei so gut wie reibungsfrei gelagert. Am Rand der Scheibe sind einige Metallkugeln befestigt, die je mit einer Ladung Q aufgeladen sind. In der Mitte der Scheibe ist eine supraleitende Spule befestigt, durch die ein Strom fließt. In supraleitenden Materialien fließt Strom ohne ohmsche Verluste. Die Scheibe sei in Ruhe und der Strom sei stationär.

Jetzt werde die Apparatur erwärmt. Die Spule wird bei einer gewissen Temperatur normalleitend und der ohmsche Widerstand sorgt dafür, daß der Strom in ihr abklingt. So lange die Spule supraleitend war, gab es einen bestimmten magnetischen Fluß durch die Spule. Das Magnetfeld ist etwa parallel zur Achse. Dieser Fluß fällt nun auf Null ab. Also gibt es ein elektrisches Wirbelfeld kreisförmig um die Achse. Die Ladungen erfahren eine Kraft tangential zur Scheibe und die Scheibe beginnt zu rotieren.

Oder?

Bedenken Sie den Drehimpulssatz. In der ursprünglichen Situation war der Drehimpuls der Scheibe mit allen Komponenten 0, daher sollte der Drehimpuls des Aufbaues immer 0 bleiben.

Was stimmt nun? Wird die Scheibe rotieren oder nicht?

Hinweis: Nicht rechnen!

Viel Erfolg!

(Physik III im Netz: `http://pauli.uni-muenster.de/~schnetm/physik3.html`.
Die Übungsgruppe für Mathematiker zu einem anderen Termin wird von Manfred Musigmann, SR C übernommen. Erster Termin ist Freitag, 15.10. 8:30 Uhr. Dann werden die neuen Termine festgelegt.)