Technische Universität Braunschweig

INSTITUT FÜR THEORETISCHE PHYSIK

Prof. Dr. Wolfram Brenig
Alexander Schwenke
Erik Wagner

11 . Übungsblatt — Elektrodynamik — SS 2022

Abgabe: Mo., 18.07.2022 bis 12:00 Uhr in Stud.IP

Übungsblätter gibt es unter `https://lnk.tu-bs.de/hOZ6Hb`.
Aufgaben mit △ müssen von Studierenden im Lehramt nicht bearbeitet werden.

Das Sommerfest der Physik ist am 22.07. - weitere Infos auf Instagram und am schwarzen Brett

45. **Wissensfragen (3 Punkte)**

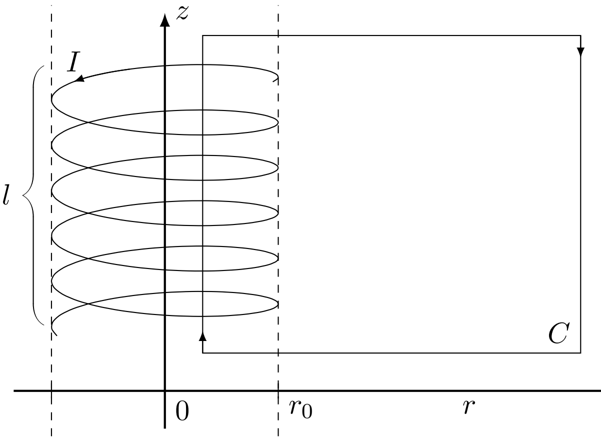
(a) Wie hängen die magnetische Induktion $\vec{B}$, das Magnetfeld $\vec{H}$ und die Magnetisierung $\vec{M}$ zusammen?

(b) Geben Sie die Maxwell-Gleichungen im Gaußschen Einheitensystem in einem Dielektrikum mit Permeablität $\mu =$ const und Permittivität $\epsilon =$ const an.

(c) Geben Sie das Poynting-Theorem im Vakuum an.

46. **Selbstinduktion einer unendlich langen Spule (5 Punkte)**

Betrachten Sie eine unendlich lange Spule mit Radius r_0 und Windungszahl w pro Längeneinheit l, durch die ein Strom I fließt.



(a) Begründen Sie, dass das Magnetfeld $\vec{B}$ nur vom Radius abhängt.

In welche Richtung ist das Magnetfeld orientiert?

(b) Berechnen Sie das Magnetfeld pro Längeneinheit l innerhalb der Spule.

Was gilt für das Magnetfeld außerhalb der Spule?

Hinweis: Benutzen Sie den Satz von Stokes entlang der Kontur C.

(c) Nutzen Sie Ihr Ergebnis aus (b), um den Selbstinduktionskoeffizienten L der Spule zu bestimmen.

△ 47. **Induktionskoeffizienten (5 Punkte)**

Bestimmen Sie den Gegen-Induktionskoeffizienten L_{12} zweier infinitesimal dünner Kreisringe mit Radius R, die parallel zueinander und senkrecht zur z-Achse angeordnet sind. Der Abstand beträgt d. Die Mittelpunkte der Kreisringe sind $\vec{M}_1 = \vec{0}$ und $\vec{M}_2 = d\vec{e}_z$.

Hinweis: Parametrisieren Sie die Kreisringe geeignet und stellen Sie das zu berechnende Integral auf. Dieses muss nicht berechnet werden.

48. **Homogen magnetisierter Stab (6 Punkte)**

Ein zylindrischer Stab (Länge $2L$, Radius R) sei in Längsrichtung homogen magnetisiert.

(a) Zeigen Sie allgemein, dass die magnetische Feldstärke $\vec{H}$ ein skalares Potential Ψ besitzt, wenn keine Ströme $\vec{j}$ vorhanden sind.

(b) Bestimmen Sie das skalare Potential Ψ und die magnetische Feldstärke für die Punkte auf der Symmetrieachse ($= x_3$-Achse).

(c) Berechnen Sie $\vec{H}(x_3 = 0)$ und diskutieren Sie das asymptotische Verhalten für $x_3 \gg L$.

Bitte wenden! →

49. **Entmagnetisierungsfaktor (6 Punkte)**

Eine Kugel mit Radius R sei mit $\vec{M} = M_0 \vec{e}_1$ magnetisiert. Im Inneren wird dadurch ein $\vec{M}$ *entgegengesetztes* Feld $\vec{H}_i = H_i \vec{e}_1$ erzeugt (Entmagnetisierung).

Zeigen Sie, dass die Randbedingungen für $\vec{B}$ und $\vec{H}$ erfüllt werden können, wenn man annimmt, dass das Feld $\vec{H}_a$ dem eines Dipols $\vec{m} = (4\pi R^3/3)\vec{M}$ entspricht.

Berechnen Sie den Entmagnetisierungsfaktor $N = -H_i/(4\pi M_0)$.

Hinweis: Leiten Sie zunächst die Randbedingungen an Grenzflächen für $\vec{H}$ und $\vec{B}$ aus den Maxwell-Gleichungen in Materie ab.

△ 50. **Poynting-Theorem in Materie (5 Punkte)**

Für ein homogenes, isotropes und lineares Medium sind die dielektrische Verschiebung $\vec{D}$ und das Magnetfeld $\vec{H}$ jeweils linear mit dem elektrischen Feld $\vec{E}$ bzw. der magnetischen Induktion $\vec{B}$ verknüpft. Es gilt

$$\vec{D} = \epsilon \, \vec{E} \qquad (1)$$

$$\vec{B} = \mu \, \vec{H} \qquad (2)$$

mit der Permittivität $\epsilon \in \mathbb{R}$ und Permeabilität $\mu \in \mathbb{R}$.

Leiten Sie damit aus den Maxwell-Gleichungen das Poynting-Theorem für ein solches Medium ab.

Geben Sie die physikalische Bedeutung der im Poynting-Theorem auftretenden Größen an. Vergleichen Sie mit dem Poynting-Theorem im Vakuum.

51. **Nabla-Operator in Zylinder- und Kugelkoordinaten (10 Bonuspunkte)**

Der $\vec{\nabla}$-Operator in kartesischen Koordinaten (x, y, z) lautet

$$\vec{\nabla} = \vec{e}_x \frac{\partial}{\partial x} + \vec{e}_y \frac{\partial}{\partial y} + \vec{e}_z \frac{\partial}{\partial z} = \begin{pmatrix} \frac{\partial}{\partial x} \\ \frac{\partial}{\partial y} \\ \frac{\partial}{\partial z} \end{pmatrix} . \qquad (3)$$

(a) Leiten Sie den $\vec{\nabla}$-Operator in Zylinderkoordinaten (ρ, ϕ, z) her.
Geben Sie das Ergebnis sowohl bzgl. $\vec{e}_x$, $\vec{e}_y$, $\vec{e}_z$ als auch bzgl. $\vec{e}_\rho$, $\vec{e}_\phi$, $\vec{e}_z$ an.

(b) Leiten Sie den $\vec{\nabla}$-Operator in Kugelkoordinaten (r, ϕ, θ) her.
Geben Sie das Ergebnis sowohl bzgl. $\vec{e}_x$, $\vec{e}_y$, $\vec{e}_z$ als auch bzgl. $\vec{e}_r$, $\vec{e}_\phi$, $\vec{e}_\theta$ an.