

1. Nochmal - Magnetfeld bewegter Ladungen - Ampere'sche Gesetz

Ein unendlich langer nicht-magnetischer zylindrischer Leiter mit Innenradius a und Aussenradius b wird von einem Strom I durchflossen (Leiter und Strom Richtung sei die z -Achse). Die Stromdichte sei im Leiter homogen. Wie groß ist das durch den Strom I erzeugte Magnetfeld $B = (B_r, B_\Theta, B_z)$ als Funktion der Zylinderkoordinaten (r, Θ, z) ? Nutzen Sie das Ampere'sche Gesetz. Nutzen Sie Geometrieüberlegungen.

- (a) innerhalb des Hohlleiters ($r < a$),
- (b) im Leiter selbst ($a < r < b$),
- (c) außerhalb des Leiters ($r > b$).

In den Musterlösungen findet sich zusätzlich die Rechnung für ein Koaxialkabel.

2. BOHRsches Magneton

Gemäß dem BOHRschen Atommodell kreist im Wasserstoffatom (im Grundzustand) ein Elektron mit der geschwindigkeit $v = 2,19 \cdot 10^6 m/s$ im Abstand $a_H = 0,529 \cdot 10^{-10} m$ um ein Proton als Atomkern.

- (a) Welcher Stromstärke entspricht diese Ladungsbewegung?
- (b) Wie groß ist das magnetische Dipolmoment dieses Kreisstroms?
- (c) Wie stark ist das Magnetfeld, das das kreisende Elektron am Ort des Protons erzeugt?

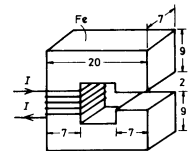
Masse des Elektrons: $m_e = 9,109 \cdot 10^{-31} kg$; Elementarladung: $e = 1,620 \cdot 10^{-19} As$.

3. Ferromagnetismus – Hysteresis

Erklären Sie die Begriffe Hysteresis (mit Zeichnung), Koerzitivfeldstärke, Sättigung, Remanenz! Was stellt die Fläche der Hysteresiskurve dar?

4. Magnetfeld einer Spule

Ein Eisenmagnet mit C-förmiger Geometrie habe die Abmessungen in cm wie in der Abbildung angegeben. Die relative magnetische Permeabilität des weichen Eisenjochs sei $\mu_r = 3000$. Wie viele Windungen werden benötigt, damit ein durch die Windungen fließender Strom von $I = 1 A$ ein Magnetfeld der Stärke $B = 0.01 T$ in dem Luftspalt erzeugt?



5. Induziertes elektrisches Feld

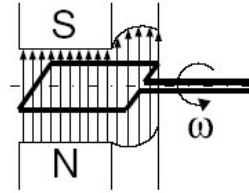
Diskutieren Sie die folgenden Aussagen und entscheiden Sie, welche zutrifft:

- (a) Die Feldlinien eines induzierten, elektrischen Feldes bilden geschlossene Schleifen.
- (b) Das induzierte elektrische Feld ist konservativ.

6. Spule im Magnetfeld

Eine rechteckige Leiterschleife mit den Seitenlängen a und b rotiert mit konstanter Winkelgeschwindigkeit ω in einem Magnetfeld, wie in der unteren Abbildung zu sehen.

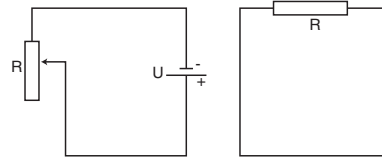
Berechnen Sie die durch die Rotation in der Leiterschleife induzierte Spannung.



7. Lenz'sche Regel

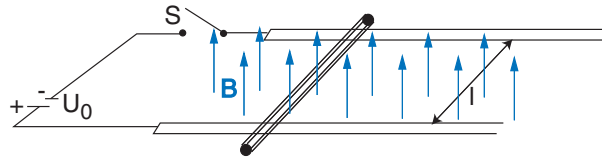
In welche Richtung fließt der induzierte Strom im rechten Stromkreis der Abbildung, wenn der Widerstand im linken Kreis

- (a) erhöht wird?
- (b) erniedrigt wird?



Diskutieren Sie zunächst das Magnetfeld, das sich bei konstanten Bedingungen einstellt.

8. Lorentz-Kraft und Induktion



Ein Stab mit der Masse m und dem Ohm'schen Widerstand R kann sich reibungsfrei auf zwei parallelen Schienen bewegen. Zwischen den Schienen, die den Abstand l besitzen, herrsche ein senkrecht, homogenes Magnetfeld B (siehe Abbildung). Durch Schließen des Schalters S werde eine Spannungsquelle mit der Spannung U_0 zwischen den Schienen angeschlossen. Der Ohm'sche Widerstand der Schienen sei null.

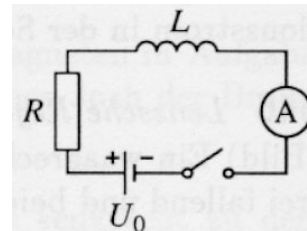
- (a) Berechnen Sie die Kraft auf den Stab als Funktion des Stroms I im Stab.
- (b) Berechnen Sie die Geschwindigkeit $v_s = v_s(t)$ des Stabs unter Berücksichtigung der Induktion. Gehen Sie hierzu von der Bewegungsgleichung $F = m\dot{v}$ aus. Zeigen Sie, dass für $t \rightarrow \infty$ eine (konstante) Endgeschwindigkeit v_e erreicht wird. Welcher Strom I_e fließt dann?

9. Selbstinduktion

- (a) Durch eine auf einem geschlossenen ringförmigen Eisenkern (Durchmesser des Kerns $d_e = 2\text{cm}$, mittlerer Durchmesser des Rings $d_s = 10\text{cm}$, Permeabilitätszahl $\mu_r = 600$) einlagig gewickelte Spule mit $N=300$ Windungen fließt bei einer anliegenden Gleichspannung von $U_0 = 133\text{V}$ ein Strom von $I = 3,5\text{A}$. Auf elektronischem Wege ist die Stromstärke in der Spule $t = 10^{-3}\text{s}$ nach dem Abschalten?

Der Stromkreis bestehend aus einer Spule mit der Induktivität $L = 0,8\text{H}$, einem ohmschen Widerstand $R = 10\Omega$ und einer

- (b) Spannungsquelle U_0 wird zum Zeitpunkt $t = 0$ geschlossen. Nach welcher Zeit hat die Stromquelle die Stromstärke 99% ihres Endwertes erreicht?



10. Quellen? Wirbel?

- (a) Was bedeutet *wirbelfrei*? Bildlich und mathematisch!
- (b) Was bedeutet *quellenfrei*? Bildlich und mathematisch!
- (c) Was ist $\text{div rot } \vec{A}$?
- (d) Was $\text{rot grad } \Phi$?

11. Induktion

Welche Aussagen bzw. Formel sind korrekt?

1. Eine zeitliche Veränderung eines Magnetfeldes (besser magnetischer Fluss) induziert Ströme in einem Leiter
2. Ein zeitlich veränderlicher magnetischer Fluss erzeugt ein elektrisches Feld
3. Es gilt $U_{ind} = \oint \vec{E} d\vec{s} = -\frac{d\Phi_m}{dt}$
4. Die Induktionsspannung und der hervorgerufene Strom sind mit der Ursache (wechselnder Fluss) gleich bzw. verstärkend gerichtet - LENZsche Regel
5. Die Induktionsspannung und der hervorgerufene Strom sind mit der Ursache (wechselnder Fluss) entgegengerichtet - LENZsche Regel
6. Induktion wird in einem Stromgenerator ausgenutzt, d.h. eine Spule wird in einem Magnetfeld gedreht (z.B. industrielle Turbine, Wasserrad)
7. Die induzierte Spannung in einem Generator mit einer Spule (Windung N ; Querschnitt A) im Magnetfeld B lautet
$$U_{ind} = -\frac{d\Phi_m}{dt} = N \cdot B \cdot A \cdot \omega \sin(\omega t)$$
8. Mit einem solchen Generator kann auch direkt Gleichstrom erzeugt werden
9. die lineare Konstante zwischen Strom und magnetischem Fluss lautet Induktivität L : $\Phi = LI$
10. die Einheit der Induktivität L ist Meter
11. die Einheit der Induktivität L ist Sekunde
12. die Einheit der Induktivität L ist Henry
13. die Einheit der Induktivität L ist H
14. die Einheit der Induktivität L ist Ampere
15. die Einheit der Induktivität L ist Vs/A
16. die Einheit der Induktivität L ist $V s^2/A$
17. die Induktivität einer Spule lautet $L = \mu_0 \mu_r \frac{N^2}{l} \cdot A$

Virtuelles Rechnen - Aufteilung: ||1||2||3||4||5||6||7||8||9||10||11||

Übungsleiter: Frank Hartmann, IEKP, CN, KIT

Tel.: +41 75411 4362; Mobil - immer

Tel.: +49 721 608 23537 - ab und zu

Email: Frank.Hartmann@kit.edu

www-ekp.physik.uni-karlsruhe.de/~hartmann/EDYN.htm

Anmerkung: Ich habe versucht das Stoffgebiet in den Aufgaben vollständig abzudecken, was manchmal zu einer Fülle von Aufgabe führte (sorry about that), aber selbst in 12 Übungsblättern kann das Gebiet nicht vollständig abgedeckt werden. Zu Blatt 11 und eigentlich der ganzen Vorlesung:

Die **Essenz der Elektrodynamik** und einige Zeit der Gedanke, dass damit die gesamte Physik-Forschung abgeschlossen ist: *Die Maxwellgleichungen*.

Lexikon: "War es ein Gott, der diese Zeilen schrieb..." von Boltzmann 1893, über die eindrucksvolle Schönheit und weltweite Bedeutung der Maxwellgleichungen. James Clerk Maxwell *1831 †1879

Maxwellgleichungen in integraler Form:

$$\oint_{\partial F} \vec{H} \cdot d\vec{l} = \int \int_F \vec{J} \cdot d\vec{F} + \frac{d}{dt} \int \int_F \vec{D} \cdot d\vec{F} \quad (1)$$

$$\oint_{\partial F} \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d}{dt} \int \int_F \vec{B} \cdot d\vec{F} \quad (2)$$

$$\int \int_{\partial V} \vec{D} \cdot d\vec{F} = \int \int_V \rho dV \quad (3)$$

$$\int \int_{\partial V} \vec{B} \cdot d\vec{F} = 0 \quad (4)$$

Maxwellgleichungen in differentieller Form: Übergang mittels Gauss'schen bzw. Stoke'schem Satz!!!

$$\nabla \times \vec{H}(\vec{r}, t) = \text{rot } \vec{H}(\vec{r}, t) = \vec{J}(\vec{r}, t) + \frac{\partial}{\partial t} \vec{D}(\vec{r}, t)$$

$$\nabla \times \vec{E}(\vec{r}, t) = \text{rot } \vec{E}(\vec{r}, t) = -\frac{\partial}{\partial t} \vec{B}(\vec{r}, t)$$

$$\nabla \cdot \vec{D}(\vec{r}, t) = \text{div } \vec{D}(\vec{r}, t) = \rho(\vec{r}, t)$$

$$\nabla \cdot \vec{B}(\vec{r}, t) = \text{div } \vec{B}(\vec{r}, t) = 0$$

mit Materialgleichungen (oft auch 5. und 6. Maxwellgleichung genannt):

$$\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P}, \quad \vec{B} = \mu_0 (\vec{H} + \vec{M}); \quad \text{linear: } \vec{P} = \epsilon_0 \xi_e \vec{E} \Rightarrow \vec{D} = \epsilon \vec{E}, \quad \vec{M} = \xi_m \vec{H} \Rightarrow \vec{B} = \mu \vec{H}; \quad \vec{J} = \sigma \vec{E}$$

(1) *Ampersches Gesetz: Durchflutungsgesetz:* Ein sich zeitlich änderndes Magnetfeld erzeugt ein Elektrisches Wirbelfeld, bzw. einen Strom!

(2) *Faraday-Lorentz-Gesetz: Induktionsgesetz:* Jedes zeitlich sich ändernde elektrische Feld erzeugt ein magnetisches Wirbelfeld, und umgekehrt.

(3),(4) Elektrische Ladungen sind Quellen und Senken des D-Feldes. Das B-Feld hat keine Quellen oder Senken, d.h. es gibt keine magnetische Ladungen (Monopole).

Etwas zum merken:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$$

Satz von Gauss:

$$\int \int \int_V \text{div } \vec{A} dV = \int \int_F \vec{A} \cdot d\vec{F}$$



Carl-Friedrich Gauß
(1777-1855)

Satz von Stokes:

$$\int \int_F \text{rot } \vec{A} d\vec{F} = \oint_{\partial F} \vec{A} \cdot d\vec{r}$$



George Gabriel Stokes
(1819-1903)

Das elektrische Feld: Was also ist das elektrische Feld? Es ist wie das Grinsen der Grinsekatz in Lewis Carrolls Buch Alice im Wunderland:

\Na, Katzen ohne Grinsen habe ich schon oft gesehen\ sagte Alice. \ Aber Grinsen ohne Katzen! Das ist das Wunderlichste, was ich je erlebt habe.\

Das elektrische Feld ist nichts weiter als ein mathematischer Begriff, der uns die Beschreibung der elektrischen Kräfte zwischen Ladungen erleichtert.