

Klausur Elektrodynamik E2/E2p SoSe 2019 Braun

Name:

Matrikelnummer:

- E2
- E2p (bitte ankreuzen)

Die mit Stern (*) gekennzeichneten Aufgaben sind für E2-Kandidaten vorgesehen - E2p-Kandidaten dürfen diese auch lösen. Hilfsmittel: Taschenrechner. Maximale Punktzahl: 60 (45 für E2p). Note 1.0 für etwa 2/3 der Punkte, Note 4.0 für etwa 1/3 der Punkte. Bearbeitungszeit: 1.5 Stunden.

Wenn etwas unklar ist, fragen Sie die Tutoren, nicht den Nachbarn :-)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13 *	14 *	15 *	16 *	Summe	Note
2	3	4	3	4	4	4	4	2	4	5	6	5	3	4	3	45/60*	

Formelsammlung Elektrodynamik

Elektrische Felder

$$\vec{E} = -\text{grad}\phi \quad \vec{F} = q\vec{E}$$

Sprungbedingung $\Delta E_{\perp} = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$

Mit Materie: $\epsilon_1 E_{1\perp} - \epsilon_2 E_{2\perp} = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$

Coulomb $|\vec{E}| = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 r^2} q$

Plattenkond. (Vakuum) $E = \frac{Q}{\epsilon_0 A} \quad C = \frac{\epsilon_0 A}{d}$

Dipol $\vec{p} = q\vec{d} \quad W = -\vec{p}\vec{E}$
Drehmoment $\vec{M} = \vec{p} \times \vec{E}$

Magnetfelder

$$\vec{B} = \text{rot}\vec{A} \quad \frac{\vec{F}}{L} = \vec{I} \times \vec{B} \quad \vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$$

Sprungbedingung $\Delta B_{\parallel} = \mu_0 \frac{N}{L} I$

Mit Materie: $\frac{B_{1\parallel}}{\mu_1} - \frac{B_{2\parallel}}{\mu_2} = \mu_0 \frac{N}{L} I$

Biot-Savart $\vec{dB} = \frac{\mu_0 I d\vec{l} \times \vec{r}}{4\pi r^3}$

Ampère-Gesetz $\vec{B} = \frac{\mu_0 \vec{I} \times \vec{r}}{2\pi r^2}$

Lange Spule (Vakuum) $B = \mu_0 \frac{N}{l} I \quad L = \mu_0 \frac{N^2}{l} A$

Dipol $\vec{m} = I\vec{A} \quad W = -\vec{m}\vec{B}$
Drehmoment $\vec{M} = \vec{m} \times \vec{B}$

Kondensator	U = Q/C	Z = (iwC) ⁻¹	Energie: W = CU ² /2	Kirchhoff
Widerstand	U = RI	Z = R	Energie: W = UQ	$\sum I = 0$ an Knoten
Induktivität	U = -L \dot{I}	Z = iwL	Energie: W = LI ² /2	$\sum U = 0$ in Masche

Maxwell-Gesetze

1. $\text{div}\vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$	$\oiint \vec{E} d\vec{A} = \iiint \frac{\rho}{\epsilon_0} dV$	Linke Seite in Materie: $\oiint (\vec{E} + \vec{P}/\epsilon_0) d\vec{A} \quad \vec{P} = \frac{N}{V} \vec{p}$
2. $\text{div}\vec{B} = 0$	$\oiint \vec{B} d\vec{A} = 0$	
3. $\text{rot}\vec{E} = -\dot{\vec{B}}$	$\oint \vec{E} ds = -\iint \dot{\vec{B}} d\vec{A}$ (ruhender Leiter)	$U = -\frac{d}{dt} \iint \vec{B} d\vec{A}$ (Induktionsgesetz)
4. $\text{rot}\vec{B} = \mu_0(\vec{j} + \epsilon_0 \dot{\vec{E}})$	$\oint \vec{B} ds = \mu_0 I$ $\oiint \vec{B} ds = \iint \mu_0(\vec{j} + \epsilon_0 \dot{\vec{E}}) d\vec{A}$	Linke Seite in Materie: $\oint (\vec{B} - \mu_0 \vec{M}) ds \quad \vec{M} = \frac{N}{V} \vec{m}$

Energiedichte $\frac{W}{V} = \frac{\epsilon_0 E^2}{2} + \frac{B^2}{2\mu_0}$ Poynting $\vec{S} = \frac{\vec{E} \times \vec{B}}{\mu_0}$

Elektrische Feldkonstante $\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \frac{As}{Vm}$

Magnetische Feldkonstante $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{Vs}{Am}$

Planck'sches Wirkungsquantum $h = 6.63 \cdot 10^{-34} \frac{kgm^2}{s}$

Elementarladung $e_0 = 1.6 \cdot 10^{-19} C$

Elektronenmasse $m_e = 9.11 \cdot 10^{-31} kg$

1. Feld eines geladenen Drahtes

Berechnen Sie das elektrische Feld im Inneren und außen eines unendlich lang gedachten, homogen geladenen Drahtes (Länge L , Radius R , Ladungsdichte $\rho = \text{const}$). **(3 Punkte)**

2. Induktivitäten

Begründen Sie physikalisch, welche Gesamtinduktivität L entsteht, wenn Sie zwei Induktivitäten L_1 und L_2 parallel verschalten. **(3 Punkte)**

3. Felder an Metallspitzen

- a) Begründen Sie physikalisch mit einer Skizze, weshalb elektrische Felder an Metallspitzen besonders hoch sind. **(2 Punkte)**
- b) Begründen Sie, weshalb die Höhe des elektrischen Feldes umgekehrt proportional zur Krümmung einer Kugel ist. Betrachten Sie hierzu zwei Kugeln, welche leitend verbunden sind. **(2 Punkte)**

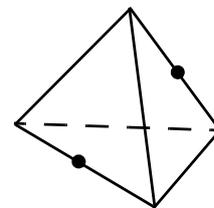
4. Hallspannung

- a) Erläutern Sie den Halleffekt mithilfe einer Skizze.
Leiten Sie einen Ausdruck für die Hallspannung her
- b) Erläutern Sie die Messstrategie, mit der auf die Ladungsträgerdichte des leitenden Materials geschlossen werden kann.

(3 Punkte)

5. Widerstände

Sechs identische Drahtstücke sind jeweils 20 cm lang, 1 mm im Durchmesser und haben einem spezifischen Widerstand von $4 \Omega \text{mm}^2/\text{m}$. Sie sind wie skizziert zu einem Tetraeder verschweißt. In der Mitte zweier gegenüberliegenden Drahtstücke - die dicken Punkte in der Skizze rechts - legt man nun eine Spannung von 3V an. Berechnen Sie den Gesamtwiderstand und den Gesamtstrom der Schaltung!

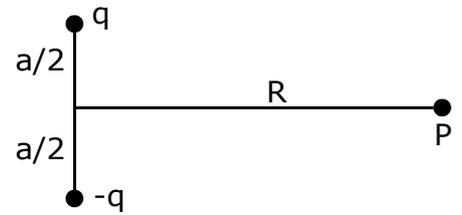


(4 Punkte)

6. E-Feld-Verteilung

Zwei Punktladungen mit q und $-q$ befinden sich im Abstand a und bilden so einen elektrischen Dipol.

- a) Wie groß ist das elektrische Feld am Punkt P, der sich im Abstand R vom Mittelpunkt der Verbindungslinie beider Ladungen befindet? **(2 Punkte)**
- b) Geben Sie einen Ausdruck an, bei dem Sie den Grenzübergang $R \gg a$ durchgeführt haben und in dem nur noch der elektrische Dipol auftritt. **(2 Punkte)**



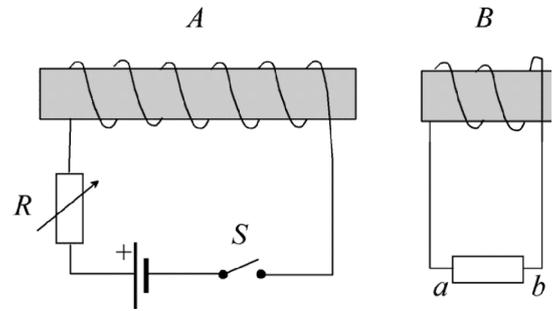
7. Elektromagnetische Welle und Maxwellgleichungen

- a) Skizzieren Sie die Verteilung von E und B Feld einer ebenen Welle für die beiden möglichen linearen Polarisierungen. In welche Richtung breitet sich die Welle aus? **(2 Punkte)**
- b) Welche Terme der Maxwellgleichungen sind dafür verantwortlich, daß es eine sich frei ausbreitende Welle im Vakuum gibt? **(1 Punkt)**
- c) Wie erzeugt man am einfachsten eine stehende Lichtwelle? **(1 Punkt)**

8. Lenz'sche Regel

Zwei Spulen A und B koppeln über das Magnetfeld (Drehsinn der Wicklung beachten!) Bestimmen und begründen Sie mit der Lenzschen Regel die Bewegungsrichtung der Elektronen durch den Widerstand zwischen a und b, wenn:

- der Schalter S geöffnet wird, nachdem er für einige Minuten geschlossen war;
- bei geschlossenem Schalter die Spule B näher an die Spule A geschoben wird;



(4 Punkte)

9. Sprungbedingung des B-Felds.

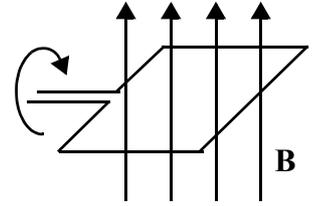
Welchen Sprung macht die parallele B_{\parallel} und senkrechte B_{\perp} Komponente eines B-Feldes an einer dünnen, stromdurchflossenen Platte der Breite L ? Die Stromstärke ist I .

(2 Punkte)

10. Induktion in Leiterschleife

Eine Leiterschleife dreht sich in einem konstanten Magnetfeld B .

- Bei welchem Winkel zwischen Schleifennormalen und Magnetfeld wird die maximale Spannung induziert? **(2 Punkte)**
- Berechnen Sie die induzierte Spannung quantitativ. Benennen Sie die hierzu nötigen Größen. **(2 Punkte)**



11. Verschiebungsstrom.

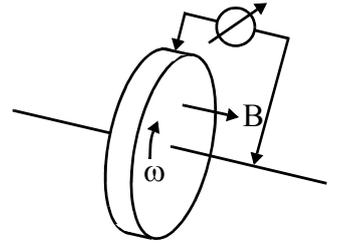
- a) Mit welcher Argumentationslinie wurde der Verschiebungsstrom in die Maxwellgleichungen eingeführt? **(2 Punkte)**
- b) Berechnen Sie für den Fall eines sich aufladenden Plattenkondensators der Fläche A, warum das Maxwellgesetz die folgende Form annehmen muß:

$$\oint \vec{B} d\vec{s} = \iint \mu_0 (\vec{j} + \epsilon_0 \dot{\vec{E}}) d\vec{A} \quad \mathbf{(3\ Punkte)}$$

12. Unipolarinduktor

Durch welche Kraft werden die Elektronen beim Drehen des metallischen, runden Magneten zwischen der Achse und dem äußeren Rand des Magneten in Bewegung gesetzt? Versetzen Sie sich hierzu in die beiden folgenden Bezugssysteme:

- a) das Bezugssystem des Labors (Magnet dreht); **(1 Punkt)**
- b) das Bezugssystem des Magneten (Magnet ruht). **(1 Punkt)**
- c) Warum entsteht keine Spannung, wenn sich sowohl der Magnet als auch die Spannungsabnehmer drehen? **(1 Punkt)**
- d) Bestimmen Sie für den Fall (a) die Spannung vom Zentrum zum Radius R des Magneten. Berechnen Sie die Spannung für eine Drehgeschwindigkeit von 100 Umdrehungen pro Sekunde, einem Magnetfeld $B=0.1\text{T}$ und einem Radius $R=20\text{cm}$. (Tip: gehen Sie von der Lorentz-kraft aus und integrieren Sie die Spannung.) **(3 Punkte)**



13. LR-Schaltung (*)

Ein Widerstand $R=120\Omega$ und eine Spule mit $L=470\text{mH}$ seien in Reihe geschaltet. Zum Zeitpunkt $t=0\text{s}$ wird eine 9V Batterie (Innenwiderstand $R_i=0\Omega$) an die Schaltung angeschlossen. Berechnen Sie:

- a) den Stromverlauf über die Zeit. **(3 Punkte)**
- b) die Zeit, wenn der Strom die Hälfte des Maximums beträgt sowie den maximalen Strom **(2 Punkte)**

14. Relativistik (*)

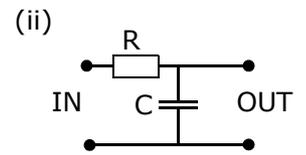
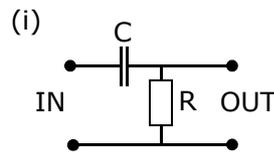
Begründen Sie und illustrieren Sie das Argument mit einer Skizze, weshalb das magnetische Feld auch als relativistische Erweiterung des Coulombgesetzes aufgefaßt werden kann. Argumentieren Sie, weshalb sich gleichgerichtete Ströme magnetisch anziehen. **(3 Punkte)**

14b. Lernpotential durch Generationeninduktion. (0 Punkte, aber ein großes Dankeschön)

Falls Sie wollen: gehen Sie später auf die Homepage der Fachschaft gaf.fs.lmu.de oder ophase@fs.lmu.de und melden sie sich als Tutor für die O-phase an!

15. Wechselstromkreis (*)

Berechnen Sie für die angegebenen Beispiele die Transferfunktion (Verhältnis der Input- und Outputspannung) als Funktion der Frequenz. Begründen Sie, welche der beiden Schaltungen ein Hochpaß und welche ein Tiefpaß ist.



(4 Punkte)

16. Ladungen im cgs System (*)

Das SI-System mit Ampere und Volt wird von Theoretikern nicht sehr geliebt. Man erspart sich Schreibarbeit, wenn man die Einheiten umskaliert und das Coulombgesetz durch $F = q_1 q_2 / r^2$ definiert, also ohne den Einheitenbehafteten Vorfaktor $(4\pi\epsilon_0)^{-1}$. In diesem sogenannten Gauß- oder cgs-System gibt es nur drei Einheiten: cm, gramm und sekunde. Geben Sie mit diesen Einheiten die Elementarladung an.

(3 Punkte)