

Klausur Elektrodynamik E2/E2p SoSe 2023 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 *	Summe	Note
6	4	6	7	6	6	4	6	3	5	7	45/60*	

Formelsammlung Elektrodynamik

Elektrische Felder

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

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 $d\vec{B} = \frac{\mu_0 I d\vec{l} \times \vec{r}}{4\pi r^3}$

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. $\text{rot}\vec{B} = \mu_0(\vec{j} + \epsilon_0 \dot{\vec{E}})$	$\oint \vec{B} ds = \mu_0 I$ $\oint \vec{B} ds = \iint \mu_0(\vec{j} + \epsilon_0 \dot{\vec{E}}) d\vec{A}$	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 $m_e = 9.11 \cdot 10^{-31} kg$

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

Gehen Sie später auf die Homepage der Fachschaft gaf.fs.lmu.de und melden sie sich als Tutor für die O-phase an (ophase@fs.lmu.de) !

1. Ebene elektromagnetische Welle und Wellengleichung

Wir betrachten die Ausbreitung von elektromagnetischen Wellen im ladungs- und stromfreien Raum.

- a) Machen Sie einen Ansatz für das elektrische Feld $E(x,y,z)$ und das magnetische Feld $B(x,y,z)$ einer ebenen Welle welche sich in positiver z-Richtung ausbreitet. **(2 Punkte)**
- b) Welche Maxwellgleichungen werden zur Herleitung der Wellengleichung benötigt? **(1 Punkt)**
- c) Leiten Sie die Wellgleichung elektromagnetischer Felder für E her und zeigen Sie, dass Ihr Ansatz aus (a) die Wellengleichung auch tatsächlich löst **(3 Punkte)**

2. Klassischer Elektronenradius

Auf der Oberfläche einer Kugel von Radius r_0 befindet sich verteilt die Ladung eines Elektrons e_0 .

a) Berechnen Sie die zugehörige Feldenergie W im Raum um die Kugel

(kleiner Tip: mit etwas Überlegen geht das ganz einfach!).

(2 Punkte)

b) Wie groß ist r_0 zu wählen, damit $W=m_e c^2$ wird,

also die Feldenergie der Elektronenmasse entspricht?

(2 Punkte)

3. Einfacher Elektromotor

Ein einfacher Elektromotor besteht aus einer langen Spule, welche in einem homogenen B-Feld rotiert.

- a) Durch ihre Rotation sieht die Spule das Magnetfeld $B=B_0\sin(\omega t)$. Welche Spannung U_{ind} wird dann in der Spule induziert? Parametrisieren Sie die Geometrie der Spule wie üblich. **(2 Punkte)**
- b) Der Motor wird von der Wechselspannung $U=U_0\sin(\omega t)$ angetrieben. Welcher Zusammenhang zwischen U und U_{ind} besteht aufgrund welcher Kirchoff'schen Regel? **(2 Punkte)**
- c) Wovon hängt die maximale Drehzahl des Motors ab, wenn an diese keine Kraft wirkt? **(2 Punkte)**

4. Feld und Kapazität eines geladenen Drahtes

- a) Berechnen Sie das elektrische Feld im Inneren und Äußeren eines unendlich lang gedachten, unphysikalisch homogen geladenen Drahts (Länge L , Radius r , Ladungsdichte $\rho = \text{const}$). **(4 Punkte)**
- b) Wenn der Draht wie bei einem BNC-Kabel außen von einem zylindrischen Leiter mit Radius R abgeschlossen wird, wie hoch ist dann seine Kapazität pro Länge L ? **(3 Punkte)**

5. Widerstandsschaltungen

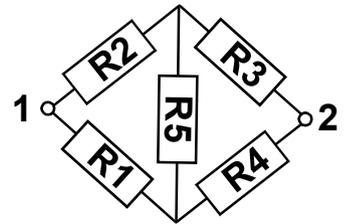
Die Widerstände sind anfangs gegeben mit $R_1=10\Omega$, $R_2=20\Omega$, $R_3=30\Omega$, $R_4=40\Omega$ und $R_5=50\Omega$, Berechnen Sie den Widerstand des skizzierten Netzwerks aus fünf Widerständen zwischen den Punkten 1 und 2 für die folgenden Fälle:

- a) $R_5=0\Omega$
- b) $R_5=\text{unendlich}$.
- c) $R_1=R_3=0\Omega$

(2 Punkte)

(2 Punkte)

(2 Punkte)



6. Sprungbedingung des B-Felds.

- a) Begründen Sie, warum das B-Feld an einer stromdurchflossenen Platte (Länge L senkrecht zum Strom I) einen Sprung der Höhe $\Delta B_{\parallel} = \mu_0 I / L$ macht.
- b) Leiten Sie damit das Magnetfeld B einer langen Spule mit einer Länge L und Wicklungszahl N her. Berechnen Sie B für $I=10\text{A}$, einer Länge der Spule $L=5\text{cm}$ mit $N=300$ Wicklungen.

(3 Punkte)

(3 Punkte)

7. Verschiebungsstrom.

- a) Mit welchem Argument hat Maxwell den Verschiebungsstrom motiviert? **(1 Punkte)**
- b) Leiten Sie für den Fall eines sich aufladenden Plattenkondensators der Fläche A her, warum das Maxwellgesetz die folgende Form annimmt:

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

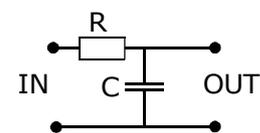
8. LR-Schaltung

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 sei $R_i=0\Omega$) an die Schaltung angeschlossen. Berechnen Sie:

- a) den Stromverlauf über die Zeit. **(4 Punkte)**
- b) die Zeit, bis der Strom auf $1/e$ des Maximums angestiegen ist,
sowie den maximalen Strom. **(2 Punkte)**

9. Tiefpassfilter (*)

Rechts ist die Schaltung eines Tiefpassfilters angegeben. Berechnen Sie den komplexen Gesamtwiderstand, damit Sie den Stromfluß in Abhängigkeit der angelegten Spannung U_{in} angeben können. Berechnen Sie hieraus die Spannung an der Kapazität U_{out} und geben Sie die Transferfunktion $h(\omega) = U_{out}/U_{in}$ an. Wie hoch ist sie im Limit hoher und niedriger Frequenzen und bei welcher Frequenz ist $|h(\omega)| = 0.5$?



(3 Punkte)

10. Kräfte zwischen zwei Strömen (*)

Betrachten Sie zwei Drähte, welche parallel und gleichgerichtet mit Strom durchflossen werden.

- a) Ziehen sich die Drähte an, oder stoßen Sie sich ab? Skizzieren Sie das Magnetfeld und die Lorenzkraft für beide Drähte. **(1 Punkte)**
- b) Wie stark ist die Kraft für eine Länge von 1m, einem Abstand von $r=0.1\text{m}$ und einem Strom von $I=20\text{A}$? **(1 Punkte)**
- c) Betrachten Sie die positiven und negativen Ladungen beider Drähte. Wenn Sie relativistisch argumentieren, welcher Effekt zwischen welchen Ladungen dominiert die Entwicklung der Kraft? **(3 Punkte)**

11. 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? **(2 Punkte)**
- 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 Lorentzkraft aus und integrieren Sie die Spannung.) **(3 Punkte)**

