

Übungen zur Elektrodynamik

Anforderungen an die Lösungen:

Alle Lösungen sind aus den in der Vorlesung behandelten Grundformeln herzuleiten.
Alle Lösungen der Rechenaufgaben sind als Formeln anzugeben, welche nur die Bezeichner von gegebenen Größen enthalten; dann erst soll eine Zahlenrechnung durchgeführt werden.
Alle verwendeten, gegebenen und gesuchten Größen sind in Skizzen zu definieren.

Übung 1: Das Elektron

Ein Elektron kann als ein homogen geladene Kugel mit Durchmesser d betrachtet werden, die sich so schnell um die eigene Achse dreht, dass ein Drehimpuls (Spin) der Größe $L_e = \frac{1}{2} h/2\pi = \frac{1}{2} \cdot 1,055 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$ entsteht.

Bestimmen Sie

- die Ladungsdichte des Elektrons
- den äquivalenten Ringstrom
- das resultierende Magnetische Moment
(NB: tatsächlich ist es aber nur $1/2$ so groß, was als magneto-mechanische Anomalie bezeichnet wird)

Übung 2: Das Wasserstoffatom

Nach dem Bohr'schen Atommodell umkreist im Wasserstoffatom ein Elektron mit der Masse m_e den 1840 mal schwereren Kern, ein Proton, in einem Abstand $r = 0,529 \cdot 10^{-10} \text{ m}$ mit einer Umlauffrequenz von $6,58 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$. Berechnen Sie

- die Anziehungskraft zwischen Elektron und Proton und vergleichen Sie sie mit ihrer Anziehungskraft aufgrund der Gravitation
- die Zentrifugalkraft, die auf das Elektron wirkt
- den Drehimpuls des Elektrons auf seiner Umlaufbahn
- die Stromstärke eines Ringstroms, der dem umlaufenden Elektron entspricht
- das magnetische Moment, den das umlaufende Elektron erzeugt

(NB: ein verbessertes Atommodell zeigte, dass aber der Drehimpuls und das magnetische Moment im Grundzustand des Wasserstoffatoms Null sind und nur der Eigendrehimpuls des Elektrons (s.o.) vorhanden ist)

Übung 3: Wand und Kugel

An einer senkrechten, beliebig großen, mit der Flächenladungsdichte σ homogen geladenen Wand ist an einem Faden der Länge l eine leitende Kugel mit Radius R und Masse m befestigt.

- In welchem Abstand zur Wand steht die Kugel, wenn sie sich auf dieselbe Ladungsdichte wie die Wand aufgeladen hat ?
- Welche Ladung trägt jetzt die Kugel ?
- Welche Kapazität hat diese Anordnung in dieser Position ?

Zahlenwerte: $\sigma = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Cb/m}^2$, $m = 100\text{g}$, $R = 10 \text{ cm}$, $l = 1 \text{ m}$.

Übung 4: Akku

Der NiMH-Akku eines Notebook mit den Abmessungen ($b \cdot h \cdot t = 2 \text{ cm} \cdot 5 \text{ cm} \cdot 3 \text{ cm}$) hat eine Nennspannung von 20 V und eine Ladung von 5200 mAh

- Wieviele Elektronen sind für diese Ladung notwendig, wieviel wiegen sie ?
- Wie groß ist hier die Raumladungsdichte, falls die Ladung homogen verteilt ist ?
- Wie groß ist dann der mittlere Abstand der Ladungsträger ?
- Wie groß ist die Energiedichte ?

Übung 5: Bildröhre

Eine Monitor-Bildröhre arbeitet mit der Beschleunigungsspannung U_a . Die Strahlableitung erfolgt durch einen Plattenkondensator mit der Länge X_c und dem Plattenabstand Y_c . Der Schirm habe den Abstand L vom Anfang dieses Ablenkcondensators.

- Bestimmen Sie die Geschwindigkeit v_0 der Elektronen vor dem Ablenkcondensator.
Führen Sie die Berechnung einmal ohne und einmal mit Berücksichtigung der relativistischen Effekte durch und vergleichen Sie die beiden Ergebnisse.
- Bestimmen Sie die Ablenkspannung U_y für eine Auslenkung d des Strahls von der Mitte bis zum Rand.
- Bestimmen Sie die Geschwindigkeit des Schreibstrahls auf dem Schirm, wenn die Bildfrequenz f_B und die Zeilenzahl z ist.

Zahlenwerte: $U_a = 25 \text{ kV}$, $X_c = 1.5 \text{ cm}$, $Y_c = 1.5 \text{ cm}$, $L = 40 \text{ cm}$, $d = 20$, $f_B = 70 \text{ Hz}$, $z = 1024$.

Übung 6: Bildröhre

In einer Monitor-Bildröhre werden Elektronen mit 25 kV beschleunigt und durch ein Magnetfeld so abgelenkt, daß sich ein Bild der Breite $2b$ ergibt. Die Ablenkspulen, die aus einem Paar mit je 32 Windungen bestehen, haben voneinander den Abstand a und den Durchmesser D . Der Bildschirm befindet sich in einer Entfernung L vom Zentrum der Spulenordnung. Das Magnetfeld sei auf den Innenraum der Spulen begrenzt und dort homogen.

- Berechnen Sie die für die vorgegebene Ablenkung notwendige Feldstärke H .
- Berechnen Sie den dafür notwendigen Strom I durch die Ablenkspulen.

Hinweis: Versuchen Sie zuerst geeignete Vereinfachungen einzuführen, z.B. mit kleinen Ablenkwinkeln α zu rechnen, für die gilt $\alpha = \tan \alpha$.

Zahlenwerte: $a = 6 \text{ cm}$, $D = 6 \text{ cm}$, $2b = 40 \text{ cm}$, $L = 40 \text{ cm}$

Übung 7: Bildröhre

Der Elektronenstrahl in einer Bildröhre wird dadurch erzeugt, daß Elektronen aus einer Glühkathode auf eine Anode mit der Spannung U beschleunigt werden und dort durch ein kleines Loch (eine Blende) mit Durchmesser d_1 austreten. Auf ihrem Weiterflug jedoch üben die Elektronen auf einander elektrische und magnetische Kräfte aus, die den Strahl aufweiten.

Berechnen Sie für 2 Elektronen, die an der Blende im Abstand des Blendendurchmessers d_1 starten, die Kräfte, die sie aufeinander ausüben, und die Strahlaufweitung (näherungsweise) für eine Laufstrecke L . Zeigen Sie, daß eine exakte Berechnung der Strahlaufweitung sehr aufwendig ist !

Zahlenwerte: $U = 20 \text{ kV}$, $d_1 = 0,1 \text{ mm}$, $L = 45 \text{ cm}$

Übung 8: Bildröhre

Warum haben sich für Bildröhren magnetische Ablenkensysteme durchgesetzt ?
Was sind deren Vorteile gegenüber elektrostatischen Ablenkensystemen ?

Übung 9: Notebook-Akku

Ein Notebook benötigt nach Herstellerangaben bei einer Betriebsspannung $U_0 = 20 \text{ V}$ eine Leistung von 28 W . Beim Betrieb an einem Akku mit der Leerlaufspannung U_0 liefert dieser

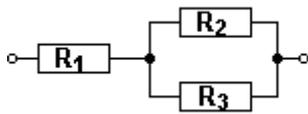
- im voll geladenen Zustand noch $19,4 \text{ Volt}$
- im fast entladenen Zustand nur noch $18,6 \text{ Volt}$.

Bestimmen Sie jeweils die tatsächlich gelieferte Leistung für das Notebook und die im Akku "verbratene" Wärme.

Übung 10: Widerstandsnetze

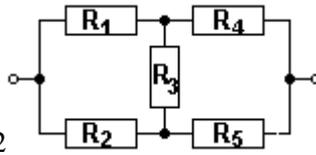
Bestimmen Sie für die untenstehenden Widerstandsnetze bei angelegter Spannung $U_0 = 120 \text{ V}$

- die Spannungen in allen vorhandenen Knoten
- die Ströme in allen vorhandenen Zweigen
- den Gesamtwiderstand der Schaltung



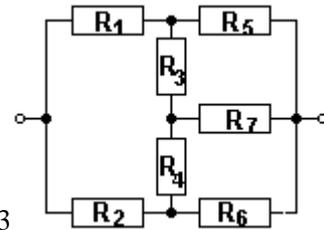
10.1

$R_1 = 100 \Omega$, $R_2 = 200 \Omega$,
 $R_3 = 300 \Omega$



10.2

$R_1 = 100 \Omega$, $R_2 = 200 \Omega$,
 $R_3 = 300 \Omega$, $R_4 = 400 \Omega$, $R_5 = 500 \Omega$



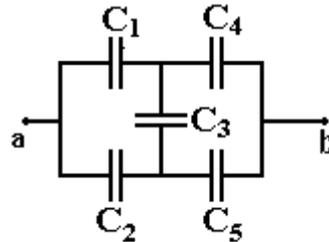
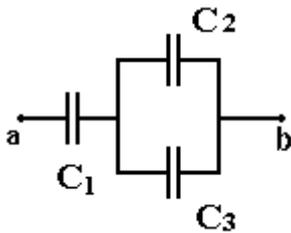
10.3

$R_1 = 100 \Omega$, $R_2 = 200 \Omega$,
 $R_3 = 300 \Omega$, $R_4 = 400 \Omega$,
 $R_5 = 500 \Omega$, $R_6 = 600 \Omega$, $R_7 = 600 \Omega$

Übung 11: Kondensatornetze

Berechnen Sie für die untenstehenden Anordnungen von Kondensatoren, mit der Spannung $U = 200 \text{ V}$ zwischen den Punkte a und b

- a) die Ladung auf jedem der Kondensatoren
 - b) die Gesamtladung $Q = C U$
 - c) die Spannungen an den Kondensatoren,
 - d) die Energieinhalte der Kondensatoren und deren Summe, die Gesamtenergie.
- Benutzen Sie nur die bisher abgeleiteten Grundformel ($Q = C U$).



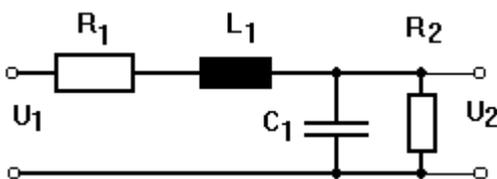
- 11.1: $C_1 = 2 \mu\text{F}$, $C_2 = 2.5 \mu\text{F}$, $C_3 = 3.5 \mu\text{F}$
- 11.2: $C_1 = 2 \mu\text{F}$, $C_2 = 2.5 \text{ nF}$, $C_3 = 3.5 \text{ pF}$
- 11.3: $C_1 = 2 \text{ pF}$, $C_2 = 2.5 \text{ nF}$, $C_3 = 3.5 \mu\text{F}$

- 11.4: $C_1 = 2 \mu\text{F}$, $C_2 = 2.5 \mu\text{F}$, $C_3 = 3.5 \mu\text{F}$, $C_4 = 2 \mu\text{F}$, $C_5 = 1.5 \mu\text{F}$
- 11.5: $C_1 = 2 \mu\text{F}$, $C_2 = 2.5 \text{ nF}$, $C_3 = 3.5 \text{ nF}$, $C_4 = 2 \text{ pF}$, $C_5 = 2.5 \mu\text{F}$
- 11.6: $C_1 = 2 \mu\text{F}$, $C_2 = 2.5 \text{ nF}$, $C_3 = 3.5 \text{ pF}$, $C_4 = 2 \text{ nF}$, $C_5 = 2.5 \mu\text{F}$

Übung 12: Übertragungsfunktionen

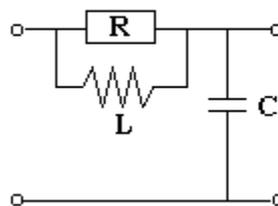
Berechnen Sie für die untenstehende Anordnung von Widerständen R , Spulen L und Kondensatoren C die komplexe Übertragungsfunktion $G = U_2/U_1 = G(\omega)$ und zeichnen Sie

- a) die Ortskurven $\text{Im}(\text{Re}(G))$
- b) als Bode-Diagramme in Abhängigkeit von der Frequenz den Betrag $|G| = (\text{Re}(G)^2 + \text{Im}(G)^2)^{1/2}$ und die Phasenlage $\varphi = \tan^{-1}(\text{Im}(G)/\text{Re}(G))$ für die angegebenen Zahlenwerte:



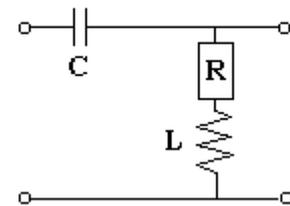
12.1:

$R_1 = 0.5 \Omega$, $L_1 = 120 \text{ mH}$,
 $R_2 = 1.0 \Omega$, $C_1 = 5000 \mu\text{F}$



12.2 :

$R = 1.2 \text{ k}\Omega$, $L = 18 \mu\text{H}$,
 $C = 68 \text{ nF}$



12.3

$R = 4.7 \text{ k}\Omega$, $L = 27 \text{ mH}$,
 $C = 120 \mu\text{F}$

Übung 13: Permeabilitäten

Suchen Sie aus der Literatur die Materialien mit den größten und den kleinsten Permeabilitäten μ .

- a) für ferromagnetische Metalle
- b) für paramagnetische Flüssigkeiten und Gase
- c) für diamagnetische Stoffe

Finden Sie Zusammenhänge mit den sonstigen Eigenschaften dieser Materialien.

Übung 14: Dielektrizitätskonstanten

Suchen Sie aus der Literatur die Materialien mit den größten und den kleinsten Dielektrizitätskonstanten ϵ .

- a) für Metalle
- b) für Flüssigkeiten
- c) für Gase

Finden Sie Zusammenhänge mit den sonstigen Eigenschaften dieser Materialien.

Elektromagnetische Wellen

Übung 15: Wellenformen

Geben Sie in der folgenden Tabelle jeweils den Typ der Wellen an.

Geben Sie auch den hierfür jeweils typischen Frequenzbereich und die üblichen Intensitäten (in W/m^2) an:

	mechanisch elektrisch	longitudinal transversal	linear/ elliptisch polarisiert	typischer Frequenzbereich	übliche Inten- sitäten (W/m^2)
Ultraschall- Fernbedienung					
Infrarot-Fernbedienung					
Infrarotrechnerkopplung					
LWL					
Ethernet (Yellow cable)					
Mikrowellenherd					
Mobiltelefon					
Rundfunk (KLMU) / TV					
Radarflugüberwachung					
Radar-Geschwindigkeits- messung					
CRT Bildschirm					
LCD Bildschirm					

Übung 16: elektromagnetische Wellen

Wieviel Materie enthält eine elektromagnetischen Welle der Intensität $I = 800 \text{ lm} / \text{m}^2$ in einem Kubikmeter ?

- a) gemäß der klassischen Physik
- b) gemäß der Quantenmechanik

Übung 17: Doppler-Effekt

Ein PKW nähert sich einer Radar-Falle mit Tempo 120 km/h, die 3 m abseits der Fahrbahn steht. In 20 m Entfernung wird er vom Radar-Strahl erfaßt, der eine Frequenz von 8,76 GHz besitzt.

- a) welche Differenzfrequenz wird gemessen ?
- b) mit welcher (relativen) Frequenzstabilität muß der Radar-Sender arbeiten, um die Geschwindigkeitsmessung mit einer Genauigkeit von $\pm 2 \text{ km/h}$ durchzuführen ?
- c) welcher Meßfehler ergibt sich aus der Abweichung von der Idealposition der Radar-Falle ?
 Wie kann er korrigiert werden ?

Übung 18: LWL

Ein Lichtwellenleiter habe den Durchmesser $d = 0.2 \text{ mm}$; der Kern habe den Brechungsindex 1.50, der Mantel von 1.22. Berechnen Sie den Laufzeitunterschied auf einer LWL-Länge von $L = 10 \text{ km}$ für die Welle (Mode) mit dem kürzestem und dem längsten Laufweg.

Wie groß kann demnach die maximale Datenübertragungsrate werden ?

Wie kann die Datenübertragungsrate erhöht werden ?

Welche Probleme treten dann auf ?

Bei welchem Krümmungsradius der Leitung treten optische Verluste auf ?

a

^a Anforderungen an die Lösungen:

Alle Lösungen sind aus den in der Vorlesung behandelten Grundformeln herzuleiten.

Alle Lösungen der Rechenaufgaben sind als Formeln anzugeben, welche nur die Bezeichner von gegebenen Größen enthalten; dann erst soll eine Zahlenrechnung durchgeführt werden.

Alle verwendeten, gegebenen und gesuchten Größen sind in Skizzen zu definieren.

Übung 19: Prisma

Beim Wellenlängen-Multiplexing werden Laserstrahlen mit Wellenlängen von ca $1,3 \mu\text{m}$ übertragen, deren Frequenzen sich um jeweils 55 GHz unterscheiden. Zu ihrer Trennung soll ein Glasprisma (mit Brechungsindex $n = 1,61$, Kantenwinkel $= 55^\circ$) in minimaler Ablenkstellung dienen. In welcher Entfernung von der Mittelachse des Prismas ist die räumliche Trennung groß genug, um sie auf getrennte LWL (mit Abstand $d = 0,4 \text{ mm}$) zu lenken ?

Übung 20: Begriffe

Was bedeuten die folgenden Begriffe

- Brechung
- Beugung
- Dispersion
- Wellenlängen-Multiplexing
- Multimodenfaser
- Doppler-Effekt

und welche Bedeutung haben sie in der Informationstechnik ?

Neue Übungen

Übung 1:

Ein eV ist die Energie, die ein Elektron nach der Beschleunigung mit 1 Volt erhalten hat.

Bestimmen Sie die Geschwindigkeit (in m/s)

- a) eines Elektrons, das mit 1000 Volt beschleunigt wurde.
- b) einer Erbse mit $0,12 \text{ g}$ Masse mit der gleichen Energie.

Übung 2:

Ein (kugelförmiges) Teilchen hat bei der (absoluten) Temperatur T die thermische Energie $\frac{3}{2} kT$ (Boltzmann Konstante $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$). Bestimmen Sie für eine Elektron (Masse $= 9,11 \cdot 10^{-30} \text{ kg}$) die Geschwindigkeit und die Energie (in eV) bei den Temperaturen $T = 0^\circ\text{C}$, 100°C und 1000°C .

Übung 3:

In einer Fernrohröhre werden die Elektronen mit 25 kV beschleunigt.

Mit welcher Geschwindigkeit treffen sie auf die Bildfläche auf ?

Welchen relativen Fehler macht man, wenn man die relativistische Massenzunahme nicht berücksichtigt ?

Übung 4:

Welche Größen der Elektrodynamik ergeben sich aus dem Produkt mit einer Fläche ?

Welche flächenbezogenen Größen (pro Flächeneinheit) stehen damit jeweils in Zusammenhang ?

Übung 5:

Die Segmente einer 7-Segment-Anzeige (1..7) sind gemäß nebenstehender Skizze angeordnet.

Stellen Sie für die Anzeige von 4-stelligen Dualzahlen (0..F) die Funktion für die Zuordnung ($D^4 > D^7$) über eine Wertetabelle auf.

Setzen Sie diese Funktion in ein Schaltnetz mit möglichst wenigen Standard-Gattern um.

