

Experimentalphysik 2 - Fragenkatalog

15. Juni 2021

Inhaltsverzeichnis

1	Elektrostatik im Vakuum	3
2	Materie im elektrischen Feld	7
3	Elektrischer Strom I	11
4	Elektrischer Strom II	15
5	Statische Magnetfelder	16
6	Materie im elektrischen Feld	17
7	Zeitlich veränderliche Felder	18
8	Elektrische Generatoren und Motoren	20
9	Wechselstrom und Drehstrom	21
10	Wechselstromkreise und Lineare Netzwerke	22
11	Transformator und Gleichrichter	23
12	Elektromagnetische Schwingungen und Entstehung von Wellen	24
13	Elektromagnetische Wellen	25
14	Wellen in Materie	26
15	Wellen an Grenzflächen, optische Anisotropie und Polarisation	27
16	Geometrische Optik I	29
17	Geometrische Optik II	30
18	Interferenz	31
19	Beugung	32
20	Optische Instrumente I	33
21	Optische Instrumente II	34

1 Elektrostatik im Vakuum

Schreiben Sie das Coulomb'sche Gesetz für Punktladungen an. Leiten Sie daraus definitionsgemäß einen Ausdruck für die elektrische Feldstärke und das elektrostatische Potenzial einer einzelnen Punktladung als Funktion des Ortes ab.

$$\mathbf{F}(\mathbf{r}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2} \hat{\mathbf{r}} \quad (1)$$

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}) = \frac{\mathbf{F}}{q} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \hat{\mathbf{r}} \quad (2)$$

$$\phi(\mathbf{r}) = \int_{\mathbf{r}}^{\infty} \mathbf{E} d\mathbf{s} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r} \quad (3)$$

Beschreiben Sie das Superpositionsprinzip der elektrischen Feldstärke und des elektrostatischen Potenzials wenn mehrere Punktladungen vorhanden sind.

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_{i=1}^n \frac{Q_i(\mathbf{r} - \mathbf{r}_i)}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}_i|^3} \hat{\mathbf{r}}_i = \sum_{i=1}^n \mathbf{E}_i \quad (4)$$

$$\phi(\mathbf{r}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}_i|} = \sum_{i=1}^n \phi_i \quad (5)$$

Schreiben Sie das Gauß'sche Gesetz der Elektrostatik an. Beschreiben und definieren Sie alle darin vorkommenden Größen. Die im Raum verteilten Ladungen sind die Quellen und Senken des elektrischen Feldes.

$$\operatorname{div} \mathbf{E}(\mathbf{r}) = \frac{\rho(\mathbf{r})}{\epsilon_0} \quad (6)$$

- \mathbf{r} Ortsvektor $[r] = \text{m}$
- $\mathbf{E} = \frac{\mathbf{F}}{q}$ elektrostatisches Feld $[E] = \text{V m}^{-1}$
- $\rho = \frac{dQ}{dV}$ Raumladungsdichte $[\rho] = \text{C/m}^3$
- ϵ_0 elektrische Feldkonstante $[\epsilon_0] = \text{A s V}^{-1} \text{m}^{-1}$

Was versteht man unter „elektrischer Spannung“ und wie lässt sich diese bei Kenntnis des elektrischen Feldes berechnen? Die Potentialdifferenz zwischen zwei Punkten nennt man elektrische Spannung.

$$U = \phi(P_1) - \phi(P_2) = \int_{P_1}^{P_2} \mathbf{E} d\mathbf{s} \quad (7)$$

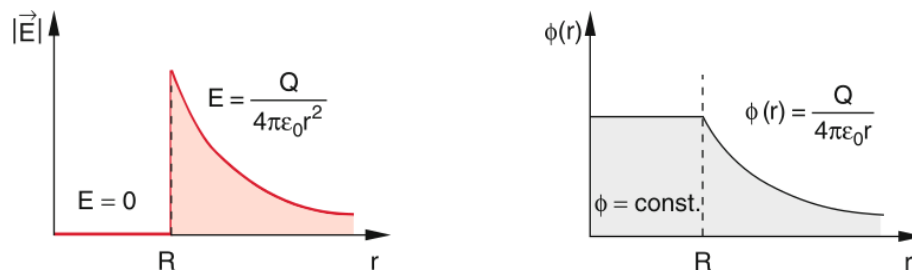
Ein Quader mit Seitenlängen a , b und c umschließt zwei Punktladungen mit gleicher Ladung q . Berechnen Sie für frei wählbare Positionen der Punktladungen innerhalb des Quaders den elektrischen Fluss durch seine Oberfläche. Aus dem Gauß'schen Satz die Unabhängigkeit des elektrischen Flusses von der durchströmten Oberfläche.

$$\phi_{el} = \frac{Q}{\epsilon_0} = \frac{2q}{\epsilon_0} \quad (8)$$

Leiten Sie mit Hilfe des Gauß'schen Gesetzes einen Ausdruck für das elektrische Feld und das elektrostatische Potentiale einer homogen geladenen Kugelfläche her. Erstellen Sie ein Diagramm der beiden Größen als Funktion des Zentrumsabstandes.

$$\oint_A \mathbf{E} d\mathbf{A} = \frac{Q}{\epsilon_0} \implies \mathbf{E}(\mathbf{r}) = \begin{cases} 0 & \text{für } r < R \\ \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \hat{\mathbf{r}} & \text{für } r > R \end{cases} \quad (9)$$

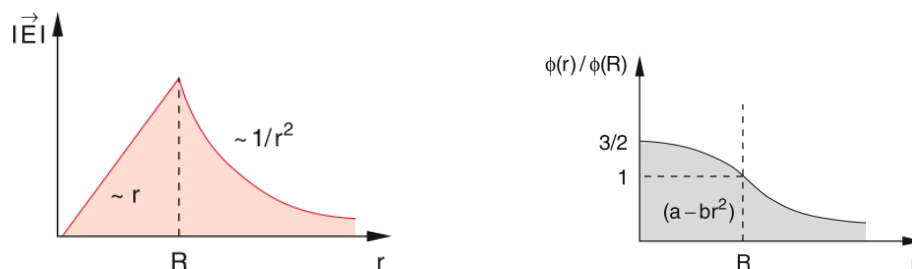
$$\phi(\mathbf{r}) = \int_{\mathbf{r}}^{\infty} \mathbf{E} ds = \begin{cases} \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 R} & \text{für } r < R \\ \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r} & \text{für } r > R \end{cases} \quad (10)$$



Leiten Sie mit Hilfe des Gauß'schen Gesetzes einen Ausdruck für das elektrische Feld und das elektrostatische Potentiale eines homogen geladenen Kugelvolumens her. Erstellen Sie ein Diagramm der beiden Größen als Funktion des Zentrumsabstandes.

$$\oint_A \mathbf{E} d\mathbf{A} = \frac{Q}{\epsilon_0} \implies \mathbf{E}(\mathbf{r}) = \begin{cases} \frac{Qr}{4\pi\epsilon_0 R^3} \hat{\mathbf{r}} & \text{für } r < R \\ \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \hat{\mathbf{r}} & \text{für } r > R \end{cases} \quad (11)$$

$$\phi(\mathbf{r}) = \int_{\mathbf{r}}^{\infty} \mathbf{E} ds = \begin{cases} \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 R} \left(\frac{3}{2} - \frac{r^2}{2R^2} \right) & \text{für } r < R \\ \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r} & \text{für } r > R \end{cases} \quad (12)$$



Leiten Sie mit Hilfe des Gauß'schen Gesetzes einen Ausdruck für das elektrische Feld und das elektrostatische Potentiale einer homogen geladenen, sehr langen Zylinderfläche her. Erstellen Sie ein Diagramm der beiden Größen als Funktion des Zentrumsabstandes.

$$\oint_A \mathbf{E} d\mathbf{A} = \frac{Q}{\epsilon_0} = \frac{\lambda l}{\epsilon_0} = E(r) \cdot 2\pi r l \implies E(r) = \begin{cases} 0 & \text{für } r < R \\ \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 r} & \text{für } r > R \end{cases} \quad (13)$$

$$\phi(r) = \int_r^R E ds = \begin{cases} 0 & \text{für } r < R \\ \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0} \cdot \ln\left(\frac{R}{r}\right) & \text{für } r > R \end{cases} \quad (14)$$

Als Potentialreferenz wird hierbei R anstatt ∞ verwendet.

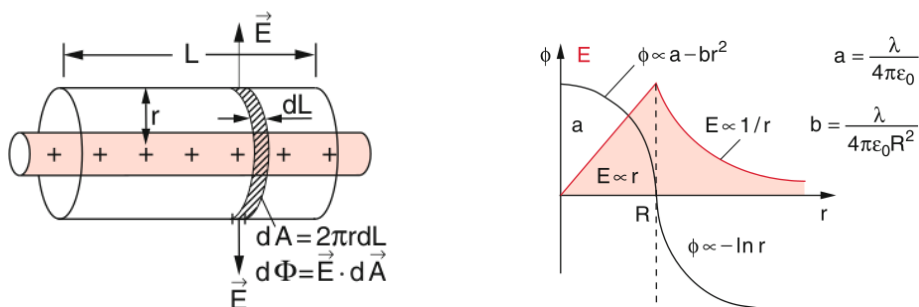


Leiten Sie mit Hilfe des Gauß'schen Gesetzes einen Ausdruck für das elektrische Feld und das elektrostatische Potentiale eines homogen geladenen, sehr langen Zylindervolumnes her. Erstellen Sie ein Diagramm der beiden Größen als Funktion des Zentrumsabstandes.

$$\oint_A \mathbf{E} d\mathbf{A} = \frac{Q}{\epsilon_0} = \frac{\lambda l}{\epsilon_0} = E(r) \cdot 2\pi r l \implies E(r) = \begin{cases} \frac{\lambda r}{2\pi\epsilon_0 R^2} & \text{für } r < R \\ \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 r} & \text{für } r > R \end{cases} \quad (15)$$

$$\phi(r) = \int_r^R E ds = \begin{cases} \frac{\lambda}{4\pi\epsilon_0} \cdot \left(1 - \frac{r^2}{R^2}\right) & \text{für } r < R \\ \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0} \cdot \ln\left(\frac{R}{r}\right) & \text{für } r > R \end{cases} \quad (16)$$

Als Potentialreferenz wird hierbei R anstatt ∞ verwendet.

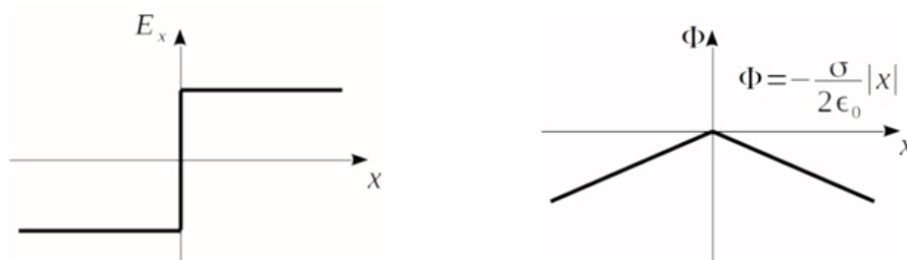


Leiten Sie mit Hilfe des Gauß'schen Gesetzes einen Ausdruck für das elektrische Feld und das elektrostatische Potential einer homogen geladenen, unendlich großen, ebenen Fläche her. Erstellen Sie ein Diagramm der beiden Größen als Funktion des Abstandes von der Fläche.

$$\phi = 2AE = \frac{Q}{\epsilon_0} = \frac{\sigma A}{\epsilon_0} \implies E = \text{sgn}(z) \cdot \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \quad (17)$$

$$\phi = \int_z^0 E ds = -E \cdot z = -\frac{\sigma z}{2\epsilon_0} \quad (18)$$

Als Potentialreferenz wird hierbei 0 anstatt ∞ verwendet.



Berechnen Sie das elektrische Feld einer Anordnung aus zwei sehr großen, parallelen, homogen geladenen ebenen Flächen mit unterschiedlicher Flächenladungsdichte und endlichem Abstand.

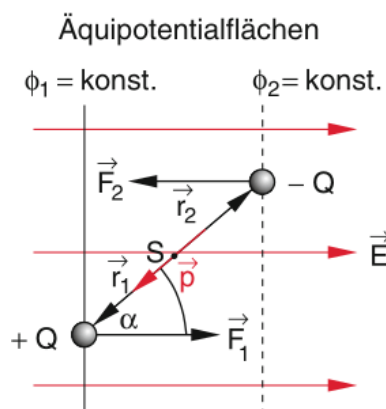
Berechnen Sie das elektrische Feld einer Anordnung aus zwei homogen geladenen Kugel­flächen mit unterschiedlicher Gesamtladung. Der Abstand der Kugelmittelpunkte ist größer als die Summe der Kugelradien.

Berechnen Sie die Kraft, das Drehmoment und die potenzielle Energie eines Dipols im homogenen elektrischen Feld.

$$\mathbf{F} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 = Q\mathbf{E} - Q\mathbf{E} = 0 \quad (19)$$

$$\mathbf{M} = Q(\mathbf{r}_1 \times \mathbf{E}) - Q(\mathbf{r}_2 \times \mathbf{E}) = Q\mathbf{d} \times \mathbf{E} = \mathbf{p} \times \mathbf{E} \quad (20)$$

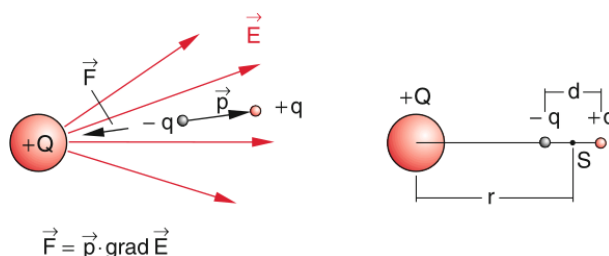
$$W_{\text{pot}} = Q(\phi_1 - \phi_2) \quad (21)$$



Berechnen Sie die Kraft auf einen Dipol in einem inhomogenen elektrischen Feld. Schreiben Sie eine Näherung für diese Kraft für den Grenzfall eines sehr kleinen Dipols an.

$$\mathbf{F} = \mathbf{F}_+ + \mathbf{F}_- = q[\mathbf{E}(\mathbf{r}_+ + d) - \mathbf{E}(\mathbf{r}_-)] \quad (22)$$

$$\mathbf{F} \approx Qd \frac{d\mathbf{E}(\mathbf{r})}{dr} = \mathbf{p} \times \nabla \mathbf{E}(\mathbf{r}) \quad (23)$$



2 Materie im elektrischen Feld

Was ist ein elektrischer Leiter und was passiert wenn ein elektrischer Leiter in ein statisches elektrisches Feld gebracht wird. Wie nennt man den Effekt und welche Bedingungen muss das elektrische Feld und -Potenzial an der Leiteroberfläche und innerhalb des Leiters erfüllen?

Ein elektrischer Leiter ist ein Medium, welches eine hohe Dichte frei beweglicher Ladungsträger und daher eine gute elektrische Leitfähigkeit sowie einen möglichst geringen elektrischen Widerstand besitzt. Er ist dadurch zum Transport geladener Teilchen geeignet, welchen man auch als elektrischen Strom nennt.

Es kommt zu einer Ladungsverschiebung aufgrund des E-Feldes, wodurch sich ein Gegenfeld aufbaut und das äußere Feld kompensiert. Das Innere des Leiters wird dadurch feldfrei, man spricht von Influenz. Die beweglichen Ladungsträger befinden sich an der Leiteroberfläche und bilden somit eine Äquipotentialfläche, auf welche die Feldlinien senkrecht stehen. Das Potential im Inneren des Leiters ist konstant.

Was ist ein Kondensator? Warum kann man eindeutig eine elektrische Spannung zwischen zwei entgegengesetzt geladenen Metallkörpern angeben? Wie ist die elektrische Kapazität definiert und wovon hängt deren Größe ab?

Ein Kondensator ist ein elektrisches Bauelement mit der Fähigkeit, elektrische Ladung und die damit zusammenhängende Energie in einem elektrischen Feld zu speichern.

Da das elektrische Feld im Raum zwischen den Leiterflächen proportional zur Ladung Q und die Spannung U wegen $U = \int \mathbf{E} ds$ proportional zu Q ist gilt die Beziehung

$$C = \frac{Q}{U}, \quad (24)$$

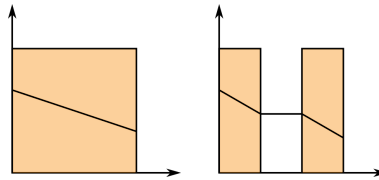
wobei die in Farad angegebene Proportionalitätskonstante C die Kapazität des Kondensators ist. Diese ist sowohl von der Geometrie als auch vom verwendeten Dielektrikum zwischen den Leitern abhängig.

Ein Plattenkondensator mit der Kapazität C und Plattenabstand d_C ist auf die Spannung U geladen und von der Spannungsquelle getrennt. Nun wird eine isolierte Metallplatte (Dicke $d_M < d_C$) parallel zu den Kondensatorplatten zwischen diese eingeschoben. Beschreiben Sie was passiert. Berechnen Sie die elektrische Feldstärken vor- und nach Einschieben der Platte. Zeichnen Sie ein Diagramm der elektrischen Feldstärke und des elektrischen Potenzials zwischen den Kondensatorplatten vor und nach Einschieben der Metallplatte.

Aufgrund der Influenz erfolgt eine Ladungsverschiebung in der Platte, auf dessen Oberfläche sich nun die Ladungsträger sammeln und ein Gegenfeld bewirken, welches das Innere der Platte feldfrei macht. Dadurch sinkt auch die Spannung, da effektiv weniger Plattenabstand vorhanden ist - die Kapazität C des Kondensators steigt.

$$\text{vorher: } E_V = \frac{Q}{A \cdot \epsilon_0} = \frac{U}{d_C} \quad (25)$$

$$\text{nachher: } E_V = \frac{U}{d_C - d_M} \quad E_M = 0 \quad (26)$$

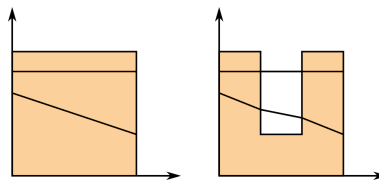


Ein Plattenkondensator mit der Kapazität C und Plattenabstand d_C ist an eine Spannungsquelle mit der Spannung U angeschlossen. Nun wird eine dielektrische Platte (Dicke d_D , Permittivität ϵ_D) parallel zu den Kondensatorplatten zwischen diese eingeschoben. Beschreiben Sie was passiert. Berechnen Sie die elektrische Feldstärken und die elektrischen Verschiebungsdichten vor- und nach einschieben der Platte. Zeichnen Sie ein Diagramm der elektrischen Feldstärke, der dielektrischen Verschiebungsdichte und des elektrischen Potenzials zwischen den Kondensatorplatten vor und nach Einschieben der dielektrischen Platte.

Durch das Feld des Kondensators werden die festen Moleküle im Dielektrikum polarisiert - es bildet sich ein Gegenfeld, welches das äußere jedoch nicht vollständig kompensiert. Die Feldstärke und die Spannung sinken um den Faktor ϵ_D , die Kapazität steigt entsprechend um den Faktor ϵ_D .

$$\text{vorher: } E_V = \frac{Q}{A \cdot \epsilon_0} = \frac{U}{d_C} \quad D_V = E_V \cdot \epsilon_0 \quad (27)$$

$$\text{nachher: } E_V = \frac{U}{d_C - d_D + \frac{d_D}{\epsilon_D}} \quad E_D = \frac{E_V}{\epsilon_0} \quad D_V = D_D \quad (28)$$



Ein Plattenkondensator mit Fläche A , Plattenabstand d , gefüllt mit einem Dielektrikum mit der relativen Permittivität ϵ ist mit der Ladung Q geladen. Wie groß ist die in ihm gespeicherte Energie?

$$E_{el} = \frac{Q^2}{2 \cdot C} = \frac{Q^2}{2 \cdot \epsilon \epsilon_0 \frac{A}{d}} \quad (29)$$

Was ist der Unterschied zwischen Polarisation und Influenz? Welche Arten von Polarisation können bei einem Dielektrikum auftreten? Was für Voraussetzungen müssen die Moleküle des Dielektrikums dafür erfüllen?

Unter Influenz versteht man die räumliche Verschiebung frei beweglicher Ladungsträger im Leiter durch ein äußeres Feld, wodurch sich ein (meist das äußere Feld kompensierendes) Gegenfeld bildet. Die Polarisation ist ein vergleichbarer Effekt im Dielektrikum, allerdings können hier die Ladungen nur innerhalb der Atome oder Moleküle verschoben werden. Es entsteht ein schwächeres Gegenfeld als im Leiter, das äußere Feld kann nicht kompensiert werden.

- Induzierte Polarisation: Die Polarisierbarkeit (Verschiebbarkeit der negativen und positiven Ladungsträger im Atom oder Molekül relativ zueinander) muss ausreichend groß sein.

- Orientierungspolarisation: Die Schwerpunkte der positiven und negativen Ladungen müssen deutlich voneinander getrennt sein, man spricht von Dipolmolekülen oder permanenten Molekülen. Ein Beispiel hierfür sind Wassermoleküle.

Beschreiben Sie die Größen elektrische Polarisation, Suszeptibilität, Dielektrizitätskonstante, dielektrische Verschiebungsdichte und elektrische Feldstärke. Wie hängen sie zusammen und welche Einheiten haben sie?

- Polarisation **P**: Beschreibt, wie stark ein Dielektrikum polarisiert ist beziehungsweise kennzeichnet die Stärke des Dipolmoments in dielektrischen Material. $[P] = \text{As/m}^2$
- Suszeptibilität (Reizbarkeit) χ : Materialeigenschaft, welche die Fähigkeit zur elektrischen Polarisierung in einem eingepprägten elektrischen Feld angibt. $[\chi] = 1$

$$\chi = \frac{P}{E \cdot \epsilon_0} \quad (30)$$

- Dielektrizitätskonstante ϵ : Gibt die Polarisationsfähigkeit eines Materials durch elektrische Felder an. $[\epsilon] = \text{As V}^{-1} \text{m}^{-1}$
- Dielektrische Verschiebungsdichte **D**: Ist ein Maß für die auf einer Fläche im elektrischen Feld durch Influenz hervorgerufenen Ladung. $[D] = \text{C/m}^2$

$$\mathbf{D} = \epsilon \epsilon_0 \mathbf{E} = \epsilon_0 \mathbf{E} + \mathbf{P} \quad (31)$$

- Elektrische Feldstärke **E**: Beschreibt die Stärke und Richtung eines elektrischen Feldes, also die Fähigkeit des Feldes, Kraft auf Ladungen auszuüben. $[E] = \text{V m}^{-1}$

Schreiben Sie die Feldgleichungen der Elektrostatik in Materie an (Integralform) und benennen Sie alle vorkommenden Größen inklusive Einheiten.

$$\oint_A \mathbf{E} d\mathbf{A} = \frac{Q}{\epsilon_0} \quad \oint \mathbf{E} ds = 0 \quad (32)$$

- A : Oberfläche des Volumens $[A] = \text{m}^2$
- **E**: Elektrische Feldstärke $[E] = \text{V m}^{-1}$
- Q : Eingeschlossene Ladung $[Q] = \text{C}$
- ϵ_0 : Elektrische Feldkonstante $[\epsilon_0] = \text{As V}^{-1} \text{m}^{-1}$

Ein Elektron bewegt sich zum Zeitpunkt t_0 mit der Geschwindigkeit v_0 senkrecht zu den elektrischen Feldlinien in einem elektrischen Feld. Stellen Sie die Bewegungsgleichung auf und beschreiben Sie die weitere Bahn des Elektrons.

$$F = q \cdot E = m \cdot a_y \implies a_y = \frac{E \cdot e}{m} \quad (33)$$

$$s_x(t) = v_0 \cdot t \quad (34)$$

$$s_y(t) = \frac{1}{2} \cdot a_y \cdot t^2 \quad (35)$$

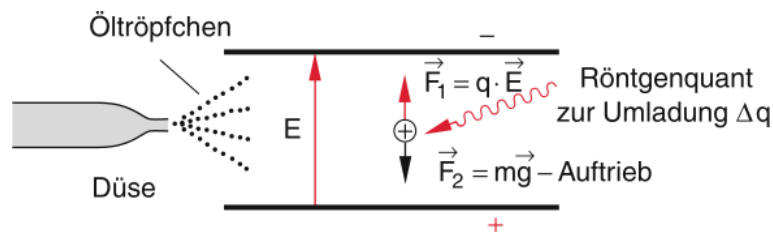
Außerhalb des Feldes gilt für die Beschleunigung $a_y = 0$, die weitere Kurve entspricht einer Geraden.

Beschreiben Sie Zweck und Funktionsprinzip des Millikan Versuches. Wie kann die Masse und die elektrostatische Kraft auf die Öltröpfchen bestimmt werden und wie bestimmt man deren Ladung?

Der Millikan-Versuch dient der experimentellen Ermittlung der Elementarladung e . Durch Zerstäuben von Öl werden kleine Öltröpfchen erzeugt, welche aufgrund der Reibung beim Zerstäubungsvorgang die Ladung $n \cdot e$ besitzen und zwischen die horizontalen Platten eines Kondensators diffundieren.

Im feldfreien Kondensator wird die Schwerkraft $m \cdot g$ durch die Summe der Auftriebskraft $F_A = \rho_{Luft} \cdot \frac{4}{3}\pi R^3 \cdot g$ und der Reibungskraft $F_R = 6\pi\eta R \cdot v$ kompensiert. Die sich einstellende konstante Sinkgeschwindigkeit kann gemessen werden, wodurch sich der Radius und in weiterer Folge die Masse des Tröpfchens ergibt.

Durch Anlegen einer geeigneten Spannung am Kondensator kann nun das Tröpfchen im E-Feld in Schwebe gehalten werden. Eine Ladungsänderung des Tröpfchens durch beispielsweise Röntgenstrahlung erfordert eine Spannungsänderung, um den Schwebezustand aufrecht zu erhalten. Mithilfe der bekannten Spannungswerte kann nun n und in weiterer Folge e bestimmt werden.



3 Elektrischer Strom I

Was bedeuten die Begriffe elektrischer Strom, Stromdichte und Driftgeschwindigkeit und wie sind sie miteinander verknüpft? Welche Einheiten haben diese Größen? Sind es skalare oder vektorielle Größen?

- Elektrischer Strom I : Transport von elektrischen Ladungsträgern $[I] = \text{A}$

$$I = \int_A \mathbf{j} d\mathbf{A} \quad (36)$$

- Stromdichte \mathbf{j} : Verhältnis der Stromstärke I zur Verfügung stehenden Querschnittsfläche A $[j] = \text{A}/\text{m}^2$

$$\mathbf{j} = n \cdot q \cdot \mathbf{v}_D \quad (37)$$

- Driftgeschwindigkeit \mathbf{v}_D : Die mittlere Geschwindigkeit der Ladungsträger aufgrund eines äußeren Feldes $[v] = \text{m s}^{-1}$

Was bedeuten die Begriffe Beweglichkeit und elektrische Leitfähigkeit und spezifischer Widerstand? Welche Einheit haben sie und in welcher Beziehung stehen sie zur Stromdichte?

- Beweglichkeit μ : Gibt die Driftgeschwindigkeit der Ladungsträger bei einer elektrischen Feldstärke von 1 V m^{-1} an $[\mu] = \text{m}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$

$$\mathbf{j} = \sigma \cdot \frac{\mathbf{v}_d}{\mu} \quad (38)$$

- Elektrische Leitfähigkeit σ : Fähigkeit eines Stoffes, den elektrischen Strom zu leiten $[\sigma] = \text{A V}^{-1} \text{ m}^{-1}$

$$\mathbf{j} = \sigma \cdot \mathbf{E} \quad (39)$$

- Spezifischer Widerstand ρ_s : Kehrwert der elektrischen Leitfähigkeit $[\rho_s] = \Omega \text{ m}$

$$\mathbf{E} = \rho \cdot \mathbf{j} \quad (40)$$

Was besagt das Ohm'sche Gesetz? Schreiben Sie das Ohm'sche Gesetz in seiner lokalen und integralen Form an. Was ist ein Ohm'scher Leiter?

Die Stärke des durch ein Objekt fließenden elektrischen Stroms ist proportional der elektrischen Spannung.

$$\mathbf{j} = \sigma \cdot \mathbf{E} \quad R = \int_0^l \frac{\rho}{s} dl \quad (41)$$

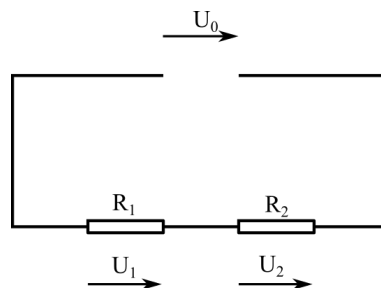
Einen Leiter, für welchen ρ_s unabhängig von Strom I und Spannung U sind, nennt man ohm'schen Leiter. Die Spannung U und der Strom I sind also über R proportional zueinander.

Eine ideale Spannungsquelle liefert eine Klemmspannung von 10 V. Entwerfen und dimensionieren Sie eine einfache Schaltung aus Widerständen, die es ihnen erlaubt eine Spannung von 4 V abzugreifen. Der Gesamtwiderstand der Schaltung sollte 10 kΩ sein.

$$I = \frac{U_0}{R_{ges}} = \frac{U_1}{R_1} = \frac{U_2}{R_2} \quad (42)$$

$$\left. \begin{aligned} R_1 &= R_{ges} \cdot \frac{U_1}{U_0} \\ R_2 &= R_1 \cdot \frac{U_2}{U_1} \end{aligned} \right\} \Rightarrow R_2 = R_{ges} \cdot \frac{U_2}{U_0} = 4 \text{ k}\Omega \quad (43)$$

$$R_1 = R_{ges} - R_2 = 6 \text{ k}\Omega \quad (44)$$



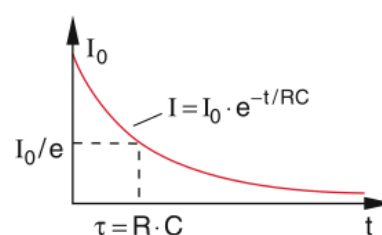
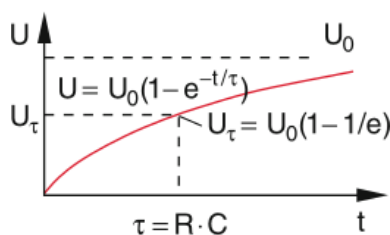
Das Material eines metallischen Leiters (Draht) mit konstanter Querschnittsfläche F und einer Länge L , habe den spezifischen Widerstand ρ . Berechnen Sie den Ohm'schen Widerstand des Drahtes.

$$R = \rho \cdot \frac{L}{F} \quad (45)$$

Beschreiben Sie den Ladungsvorgang eines Kondensators, der über einen Widerstand plötzlich mit einer idealen Spannungsquelle verbunden wird (Strom und Spannungen als Funktion der Zeit).

$$U(t) = U_0 \cdot (1 - e^{-t/(RC)}) \quad (46)$$

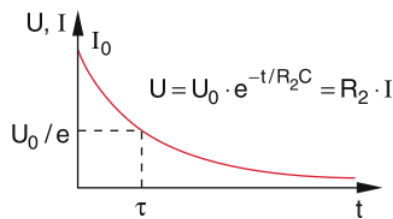
$$I(t) = I_0 \cdot e^{-t/(RC)} \quad (47)$$



Beschreiben Sie den Entladungsvorgang eines geladenen Kondensators, dessen Kontakte über einen Widerstand plötzlich verbunden werden (Strom und Spannungen als Funktion der Zeit).

$$U(t) = U_0 \cdot e^{-t/(RC)} \quad (48)$$

$$I(t) = I_0 \cdot e^{-t/(RC)} \quad (49)$$



Beschreiben Sie die elektrische Leitung in Metallen. Wie ändert sich der spezifische Widerstand mit der Temperatur? Begründen Sie.

Das Anlegen einer Spannung bewirkt ein elektrisches Feld im Metall, welches die Elektronen zum positiven Pol der Spannungsquelle hin beschleunigt. Durch die Kollision der Elektronen mit den Ionen im Kristallgitter verlieren erstere kinetische Energie, welche in Wärmeenergie umgewandelt wird.

Bei höheren Temperaturen kommt es zu stärkeren Schwingungen der Metallionen, wodurch die Bewegung der Elektronen noch stärker beschränkt wird. Der spezifische Widerstand steigt also mit der Temperatur.

Bei sehr tiefen Temperaturen können viele Metalle ihren Widerstand völlig verlieren, man spricht dann von Supraleitung.

Beschreiben Sie die elektrische Leitung in Halbleitern. Wie ändert sich der spezifische Widerstand mit der Temperatur? Begründen Sie.

Die Atome im Halbleiter bilden stabile Elektronenpaarbindungen, bei tiefen Temperaturen sind also keine freien Elektronen verfügbar. Mit steigender Temperatur können aufgrund ihres höheren Energie-Niveaus jedoch Elektronen frei werden, die Leitfähigkeit steigt also während der elektrische Widerstand mit steigender Temperatur sinkt.

Durch das Fehlen von Elektronen im Gitter entstehen Löcher, welche als positive Ladungsträger betrachtet werden können. Diese Löcher werden durch von Loch zu Loch springende Elektronen gefüllt, wodurch sie scheinbar in entgegengesetzter Richtung der Elektronen wandern und damit ebenso dem Ladungstransport dienen.

Beschreiben Sie die elektrische Leitung in Gasen.

Der Ladungstransport in ionisierten Gasen, die auch als Plasma bezeichnet werden, erfolgt sowohl durch Elektronen als auch durch Ionen. Neben der Existenz dieser frei beweglichen Ladungsträger ist ein elektrisches Feld Voraussetzung für die Leitung in Gasen.

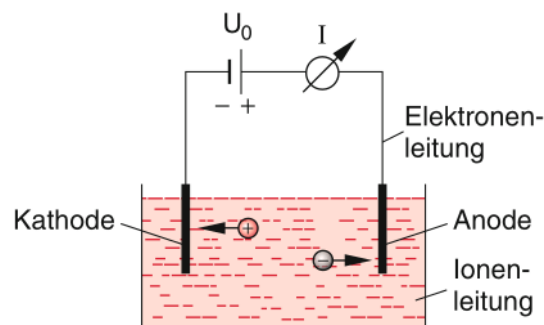
Die Erzeugung von Ladungsträgern im Gas kann über verschiedene Methoden erfolgen:

- Thermische Ionisation: Durch eine Kombination der thermischen Anregung und der damit initiierten chemischen Prozesse entstehen Ladungsträger. Die erforderliche, sehr hohe Temperatur kann durch Verwendung eines Katalysators verringert werden.
- Elektronenstoßionisation: Elektronen mit ausreichend hoher Energie können beim Stoß mit Atomen oder Molekülen Elektronen aus der Elektronenhülle ausschlagen und damit ein Elektron-Ion-Paar bilden.
- Photoionisation: Durch kurzwellige Strahlung wie etwa UV- oder Röntgenstrahlung können Atome oder Moleküle aufgrund der hochenergetischen Photonen ihrer Elektronen beraubt werden. Dies führt ebenfalls zur Entstehung von Elektron-Ion-Paaren.

Beschreiben Sie die Ionenleitung in Flüssigkeiten.

Flüssigkeiten, in denen Säuren, Laugen oder Salze gelöst sind, nennt man Elektrolyte. Im Gegensatz zu Metallen ist hier der Stromdurchgang mit einer chemischen Zersetzung des Elektrolyten verbunden. Sowohl an der Anode als auch an der Kathode werden Stoffe in fester oder gasförmiger Form abgeschieden.

Durch Dissoziation - also durch Aufspaltung von Molekülen in kleinere Bestandteile - entstehen positiv und negativ geladene Ionen. Diese ermöglichen bei einer angelegten Spannung den Ladungstransport mit der sogenannten Driftgeschwindigkeit. Während die positiven Ionen zur Kathode wandern und dort Elektronen aufnehmen geben die negativen Ionen an der Anode ihre überschüssigen Elektronen ab. Dabei scheiden sie als neutrale Atome an der jeweiligen Elektrode ab.



4 Elektrischer Strom II

Beschreiben Sie die Funktionsweise eines galvanischen Elementes. Wodurch ist die erzielbare Spannung bestimmt?

Beschreiben Sie die Funktionsweise einer Brennstoffzelle.

Beschreiben Sie den Seebeck-Effekt und die Ursache der Thermospannung.

Was ist der Innenwiderstand einer Spannungsquelle? Wie groß ist der Innenwiderstand einer idealen Spannungsquelle bzw. einer idealen Stromquelle?

Wie kann man den Kurzschlussstrom und den Innenwiderstand eines Akkumulators durch Strom und Spannungsmessung ermitteln, ohne den Akku wirklich kurz zu schließen? Der Akkumulator sei in guter Näherung eine lineare Spannungsquelle. Schaltungsskizze!

Zeichnen Sie das Ersatzschaltbild einer mit einem Widerstand R belasteten linearen Spannungsquelle mit Innenwiderstand R_i und elektromotorischer Kraft U . Berechnen Sie einen Ausdruck für die Klemmspannung.

Was versteht man unter Leistungsanpassung bei einer Spannungsquelle? Bei welchem Last- bzw. Innenwiderstand ist dies erfüllt?

Beschreiben und erklären Sie die Funktionsweise eines Dual-Slope Analog-Digital Umsetzers.

Beschreiben und erklären Sie die Funktionsweise eines Flash Analog-Digital Umsetzers.

Aus welchen Beiträgen setzt sich die Gesamtunsicherheit eines Digitalvoltmeters zusammen?

Die maximal messbare Spannung eines Voltmeters mit Innenwiderstand R_i ist U_m . Der Messbereich soll auf $10 \cdot U_m$ erweitert werden. Zeichnen und dimensionieren Sie eine Widerstandsschaltung die dies ermöglicht. Wie groß ist der Gesamtwiderstand dieser Schaltung?

Die maximal mit einem Amperemeter (Innenwiderstand R_i) messbare Strom sei I_m . Der Messbereich soll auf $10 \cdot I_m$ erweitert werden. Zeichnen und dimensionieren Sie eine Widerstandsschaltung die dies ermöglicht. Wie groß ist der Gesamtwiderstand dieser Schaltung?

5 Statische Magnetfelder

Schreiben Sie das Ampere'sche Gesetz an. Leiten Sie daraus einen Ausdruck für das Magnetfeld eines geraden, sehr langen, zylindrischen Leiters ab, durch den ein elektrischer Strom mit über den Leiterquerschnitt homogener Stromdichte fließt.

Schreiben Sie das Ampere'sche Gesetz an. Leiten Sie daraus einen Ausdruck für das Magnetfeld im Inneren einer geraden, sehr langen, zylindrischen Leiterspule ab.

Schreiben Sie einen Ausdruck für die Lorentzkraft (nicht die verallgemeinerte Lorentzkraft) einer bewegten Ladung im Magnetfeld an. Beschreiben Sie alle verwendeten Formelsymbole und leiten Sie damit die Kraft auf einen geraden, stromdurchflossenen Leiter im homogenen Magnetfeld her.

Schreiben Sie einen Ausdruck für das Magnetfeld zweier paralleler, stromdurchflossener, zylindrischer Leiter an. Erstellen Sie ein Diagramm der magnetischen Feldstärke als Funktion des Ortes entlang einer Linie, die die Achsen beider Leiter unter 90° schneidet. Welche Richtung hat das Magnetfeld entlang dieser Linie?

Leiten Sie ausgehend von der Kraft auf einen stromdurchflossenen, geraden Draht im homogenen Magnetfeld einen Ausdruck für das Drehmoment einer rechteckigen Leiterschleife im homogenen Magnetfeld her. Die Drehachse ist parallel zu zwei Seiten der Leiterschleife und senkrecht zur Richtung des Magnetfeldes. Bei welchem Winkel zwischen Leiterschleife und Magnetfeldrichtung ist das Drehmoment maximal? Bei welchem Winkel ist der magnetische Fluss durch die Leiterschleife maximal?

Ein geladenes Teilchen ist bei $t = 0$ am Ort $x = (0,0,0)$ mit der Geschwindigkeit $v = (v_x, 0, v_z)$ in einem homogenen Magnetfeld $B = (0,0,B_z)$. Wie wird die weitere Bahn des Teilchens qualitativ aussehen und warum? Berechnen Sie die Kreisfrequenz und Radius.

Beschreiben Sie die Funktion und Aufbau eines Wien-Filters und leiten Sie einen Ausdruck für die Filter-Geschwindigkeit her.

Beschreiben Sie den Hall-Effekt und leiten Sie ausgehend von der Lorentzkraft einen Ausdruck für die Hall-Spannung für einen Leiter mit rechteckigem Querschnitt im homogenen Magnetfeld her.

Wie beeinflussen Stromdichte, Querschnittsabmessungen, Ladungsträgerdichte und Ladung der Ladungsträger die Hall-Spannung? Geben Sie an, ob die Parameter groß oder klein sein sollten, um eine möglichst große Hall-Spannung zu beobachten.

6 Materie im elektrischen Feld

Ein kleiner Probekörper mit bekanntem Volumen befindet sich in einem inhomogenen magnetischen Feld. Der Probekörper wird durch das äußere Magnetfeld magnetisiert und erfährt daher eine Kraft. Wie groß ist diese Kraft und welche Richtung hat sie bei positiver oder negativer magnetischer Suzeptibilität?

Welche magnetischen Stoffklassen gibt es und wie unterscheiden sie sich in ihren magnetischen Eigenschaften?

Was versteht man unter Diamagnetismus und Paramagnetismus? Welche spezielle Eigenschaft haben Moleküle oder Atome eines dia- oder paramagnetischen Stoffes?

Beschreiben Sie die Eigenschaften eines ferromagnetischen Stoffes? Nennen Sie drei Beispiele für ferromagnetische Stoffe.

Was sind antiferromagnetische und ferrimagnetische Stoffe?

Schreiben Sie die Feldgleichungen der Elektro- und Magnetostatik an. Welche Stetigkeitsbedingungen müssen die elektrischen und magnetischen Felder an Grenzflächen erfüllen?

7 Zeitlich veränderliche Felder

Schreiben Sie das Faradaysche Induktionsgesetz an. Welche Prozesse können zu einer induzierten Spannung in einer Leiterschleife führen?

Eine quadratische Leiterschleife (Schleifenfläche A) dreht sich im homogenen Magnetfeld mit der Winkelgeschwindigkeit ω um eine Achse, die senkrecht zu den magnetischen Feldlinien steht. Schreiben Sie einen Ausdruck für die induzierte Spannung als Funktion des Winkels und der Zeit an. Bei welcher Orientierung der Leiterschleife relativ zum Magnetfeld ist die induzierte Spannung maximal (Skizze!)?

Eine offene Leiterschleife befindet sich in einem homogenen Magnetfeld. Der Flächennormalvektor steht parallel zu den Feldlinien. Die magnetische Feldstärke nimmt mit der Zeit zu. Skizzieren Sie die Situation und zeichnen Sie die Richtung der induzierten elektrischen Feldstärke sowie die Polarität der beiden offenen Enden der Leiterschleife ein.

Beschreiben Sie Aufbau und Funktion einer Induktionsschleuder.

Was versteht man unter Selbstinduktion? Was bedeutet der Selbstinduktionskoeffizient?

Eine Doppelleitung besteht aus zwei zylindrischen, parallelen Leitern, durch die der gleiche Strom aber mit unterschiedlichen Vorzeichen fließt. Fertigen Sie eine Skizze an, skizzieren Sie das Magnetfeld der Anordnung und schreiben Sie das Magnetfeld zwischen den Leitern analytisch an. Zeigen Sie, wie man daraus (im Prinzip) den Selbstinduktionskoeffizienten der Doppelleitung berechnen kann.

Was versteht man unter Gegeninduktion? Wie kann man sie formal beschreiben?

Beschreiben Sie den Strom- und Spannungsverlauf einer Serienschaltung aus idealer Induktivität und ohm'schen Widerstand, wenn diese über einen Schalter mit einer idealen Spannungsquelle verbunden werden (Einschaltvorgang). Schreiben Sie die Funktionen $I(t)$ sowie $U(t)$ für Widerstand und Spule an und erstellen Sie die entsprechenden Diagramme.

Beschreiben Sie den Strom- und Spannungsverlauf einer Serienschaltung aus idealer Induktivität und ohm'schen Widerstand, wenn diese über einen Schalter von einer Spannungsquelle plötzlich getrennt werden (Ausschaltvorgang). Schreiben Sie die Funktionen $I(t)$ sowie $U(t)$ für Widerstand und Spule an und erstellen Sie die entsprechenden Diagramme.

Wie kann man im Prinzip die Induktivität z.B. einer Spule durch eine Zeitmessung bestimmen (Schaltplan und Beschreibung)?

Zwei dünne, lange Spulen sind auf den gleichen Kern gewickelt, sodass der gesamte magnetische Fluss der einen Spule durch die andere fließt. Berechnen Sie die in einer Spule induzierte Spannung, wenn sich in der andern der Strom ändert. Die Spulenlängen, die Anzahl der Windungen, die Spulenquerschnitte, und die magnetischen Eigenschaften des Spulenkerns seien bekannt.

Berechnen Sie die im magnetischen Feld einer dünnen, langen Spule gespeicherte Energie als Funktion des Stromes. Die Spulenlänge, die Anzahl der Windungen, der Spulenquerschnitt, und die magnetischen Eigenschaften des Spulenkerns seien bekannt.

Schreiben Sie die Maxwell-Gleichungen an und visualisieren Sie die Quellen der elektrischen und magnetischen Felder sowie die Ursache der elektrischen und magnetischen Wirbelfelder. (vgl. Folie 23).

8 Elektrische Generatoren und Motoren

Erklären Sie das Prinzip eines einfachen Wechselstromgenerators mit einer Spule im homogenen äußeren Magnetfeld. Schreiben Sie die Beziehung für den elektrischen Fluss an und leiten Sie daraus die induzierte Spannung bei konstanter Winkelgeschwindigkeit als Funktion der Zeit her.

Doppel-T Anker und Trommelanker: Beschreiben Sie die Funktion eines permanenterregten Generators mit Doppel-T Anker und Kommutator. Skizzieren Sie den Anker inklusive Stellung und Anschluss des Kommutators relativ zur Spulenorientierung. Erstellen Sie ein Diagramm der Klemmspannung als Funktion der Zeit für konstante Drehgeschwindigkeit. Welche Vorteile bringt ein Trommelanker?

Skizzieren Sie den Aufbau und Schaltplan einer Hauptschlussmaschine. Wie sieht bei einem Generator dieser Bauart die Klemmspannung als Funktion des Stromes aus? Wie sieht bei einem Motor dieser Bauart der Strom und das Drehmoment als Funktion der Drehzahl bei konstanter Versorgungsspannung aus?

Skizzieren Sie den Aufbau und Schaltplan einer Nebenschlussmaschine. Wie sieht bei einem Generator dieser Bauart die Klemmspannung als Funktion des Stromes aus? Wie sieht bei einem Motor dieser Bauart der Strom und das Drehmoment als Funktion der Drehzahl bei konstanter Versorgungsspannung aus?

Nennen und erklären Sie drei Arten von Erregung bei Gleichstrommaschinen.

9 Wechselstrom und Drehstrom

Zeichnen Sie den zeitlichen Spannungsverlauf einer Wechselspannung. Zum Zeitpunkt 0 sei die Phase $\phi \neq 0$. Zeichnen Sie das Zeigerdiagramm für die Spannung zum Zeitpunkt $t = 0$ und $t = T/4$, wobei T die Periodendauer ist. Zeichnen Sie Periodendauer, Scheitelwert und Effektivwert ein.

Eine Wechselspannungsquelle liefert an einen Verbraucher Spannung und Strom. Der Strom eilt der Spannung um einen Phasenwinkel von 45° nach. Zeichnen Sie den zeitlichen Spannungs- und Stromverlauf und das Zeigerdiagramm mit Spannung und Strom zum Zeitpunkt $t = 0$ bei dem die Spannung gerade ihr Maximum hat, und zum Zeitpunkt $t = T/4$, wobei T die Periodendauer ist.

Eine Wechselspannungsquelle liefert an einen Verbraucher Spannung und Strom. Der Strom eilt der Spannung um einen Phasenwinkel von 45° voraus. Zeichnen Sie den zeitlichen Spannungs- und Stromverlauf sowie den zeitlichen Verlauf der abgegebenen Leistung. Erklären und berechnen Sie Wirk-, Blind-, und Scheinleistung.

Zeichnen Sie den zeitlichen Spannungsverlauf einer dreiphasigen Wechselspannung sowie das zugehörige Zeigerdiagramm.

Zeichnen Sie die Schaltpläne für drei Widerstände, die in Stern- oder Dreieckschaltung an eine dreiphasige Wechselspannung angeschlossen sind. Erstellen Sie die zugehörigen Zeigerdiagramme. Berücksichtigen Sie im Zeigerdiagramm bei der Dreieckschaltung sowohl die Strangspannungen U_i als auch die Außenleiterspannungen U_{ij} und deren Konstruktion.

Beschreiben und erklären Sie den Aufbau eines Asynchron-Motors mit Kurzschluss-Läufer. (Skizze und Benennung aller wesentlicher Bauteile)

Zeichnen Sie die Schaltpläne für drei Widerstände, die in Stern- oder Dreieckschaltung an eine dreiphasige Wechselspannung mit Scheitelwert U_0 angeschlossen sind. Berechnen Sie die in den beiden Schaltungen an den Widerständen anliegende Spannung, die elektrische Leistung sowie das Verhältnis der Leistungen für beide Schaltungsvarianten.

Was versteht man unter Wirk-, Blind-, und Scheinleistung und wie kann man sie aus Strom- und Spannung berechnen?

10 Wechselstromkreise und Lineare Netzwerke

Schreiben Sie die komplexen Impedanzwerte einer Spule, eines Widerstandes und eines Kondensators an. Wie ist die komplexwertige Impedanz definiert und in welchen Fällen kann man Sie zur Berechnung von Schaltungen verwenden?

Eine Serienschaltung von Widerstand, Spule und Kondensator ist an einer Wechselspannungsquelle $U = U_0 \cos(\omega t)$ angeschlossen. Zeichnen Sie das Zeigerdiagramm für Spannung und Strom an der Schaltung und an den einzelnen Elementen. Die Phasenlagen aller Größen muss ersichtlich sein. Berechnen Sie Effektivwert und Phasenlage des Stromes, der in die Schaltung fließt.

Erklären Sie einen passiven Hochpass. Zeichnen Sie das Zeigerdiagramm für Strom und Spannungen, leiten Sie einen Ausdruck für die Ausgangsspannung her und skizzieren Sie das Bode-Diagramm für Ausgangsspannung und -phase.

Erklären Sie einen passiven Tiefpass. Zeichnen Sie das Zeigerdiagramm für Strom und Spannungen, leiten Sie einen Ausdruck für die Ausgangsspannung her und skizzieren Sie das Bode-Diagramm für Ausgangsspannung und -phase.

Erklären Sie Aufbau und Funktion eines einfachen Bandpassfilters (Frequenzfilter) incl. Zeigerdiagramm und Ausdruck für die Ausgangsspannung.

Erklären Sie Aufbau und Funktion eines einfachen Bandstoppfilters (Frequenzfilter) incl. Zeigerdiagramm und Ausdruck für die Ausgangsspannung.

11 Transformator und Gleichrichter

Erklären Sie Aufbau, Sinn und Funktionsprinzip eines Transformators.

Zeigen Sie, dass bei einem unbelasteten Transformator das Spannungsverhältnis gleich dem Verhältnis der Wicklungsanzahl von Primär- und Sekundärseite ist (Beträge). Wie ändert sich die Sekundärspannung qualitativ bei Belastung.

Zeigen Sie, dass beim unbelasteten Trafo der primärseitig aufgenommene Strom nicht null ist, dass aber die aufgenommene Wirkleistung null ist.

Leiten Sie einen Ausdruck für das Verhältnis der Ströme von Primär- und Sekundärseite eines belasteten Transformators ab. Die Impedanz der Last sei Z .

Erklären Sie die charakteristischen Eigenschaften einer Diode anhand einer typischen Diodenkennlinie.

Erklären Sie Aufbau und Funktion einer Röhrendiode.

Beschreiben Sie die Einweg- und Zweiweggleichrichtung sowie die Grätz-Schaltung mit Schaltplan und zeitlichem Verlauf der Eingangs- und Ausgangsspannung.

Erklären Sie die Glättung einer pulsierenden Gleichspannung mit einem Kondensator, wenn die Schaltung mit einem ohm'schen Widerstand belastet ist. Stellen Sie Eingangs- und Ausgangsspannung als Funktion der Zeit in einem Diagramm dar und erklären Sie den Spannungsverlauf.

Erklären Sie Aufbau und Funktionsweise eines einfachen Röhrenverstärkers.

12 Elektromagnetische Schwingungen und Entstehung von Wellen

Zeichnen Sie den Schaltplan eines gedämpften Serienschwingkreises und erstellen Sie ein Diagramm der im Schwingkreis verbrauchten Wirkleistung als Funktion der Frequenz.

Zeichnen Sie den Schaltplan eines gedämpften Parallelschwingkreises der an eine Wechselspannungsquelle angeschlossen ist und erstellen Sie ein Diagramm der im Schwingkreis verbrauchten Wirkleistung als Funktion der Frequenz der Wechselspannung.

Erstellen Sie das Zeigerdiagramm für Strom und Spannung eines an eine Wechselspannungsquelle angeschlossenen, gedämpften Serienschwingkreis für eine Frequenz unterhalb, oberhalb und bei der Resonanzfrequenz. Zeichnen Sie auch alle Teilspannungen bzw. Ströme an den einzelnen Bauelementen ein.

Gegeben sei ein gedämpfter Serienschwingkreis. Zeichnen Sie ein Diagramm des Stromes als Funktion der Zeit nach einem Spannungssprung ($I(0) = 0$; $\dot{I}(0) \neq 0$) am Schwingkreis für den Kriechfall, den Aperiodischen Grenzfall und eine gedämpfte Schwingung.

Wie sieht die Abstrahlcharakteristik (räumliche Verteilung der Leistungsabstrahlung in großer Entfernung) eines schwingenden Dipols aus?

Was ist Bremsstrahlung und mit welchen Geräten wird sie technisch Erzeugt?

13 Elektromagnetische Wellen

Was sind ebene elektromagnetische Wellen? Schreiben Sie die Gleichung für das elektrische Feld einer ebenen, harmonischen, elektromagnetischen Welle an.

Skizzieren Sie zeitlichen und örtlichen Verlauf des elektrischen Feldes einer ebenen, harmonischen, elektromagnetischen Welle. Geben Sie die Wellengleichung an und markieren Sie Wellenlänge und Periodendauer in Ihren Skizzen. Wie gehen diese beiden Größen in die Wellengleichung ein?

Was versteht man unter linearer, elliptischer, zirkularer Polarisation bzw. unter unpolarisiertem Licht?

Skizzieren Sie den räumlichen Verlauf des elektrischen und magnetischen Feldes einer harmonischen, ebenen elektromagnetischen Welle zu einem Zeitpunkt (Vektoren!).

Was versteht man unter Energiestromdichte und Intensität? Welche Einheiten haben sie?

Beschreiben Sie die Entstehung und Eigenschaften einer stehenden elektromagnetischen Welle.

14 Wellen in Materie

Beschreiben Sie die Leitung elektromagnetischer Wellen zwischen zwei elektrisch leitenden, ebenen Platten.

Wellenleitung auf Kabeln: Leiten Sie einen Ausdruck für die Eingangsimpedanz (Wellenwiderstand) eines Kabels mit bekanntem Induktivitäts- und Kapazitätsbelag her.

Erklären Sie das elektromagnetische Frequenzspektrum. Welchen Spektralbereich hat UV, sichtbares Licht, Infrarot, Mikrowellen und Radiowellen?

Was versteht man unter Brechungsindex und was bedeutet ein komplexwertiger Brechungsindex? Wie geht ein komplexwertiger Brechungsindex in die Wellengleichung ein?

Schreiben Sie das Beer'sche Absorptionsgesetz an (Skizze). Erstellen Sie ein Diagramm der Intensität als Funktion der Ausbreitungslänge der Welle.

Wie sieht der frequenzabhängige Verlauf von Real- und Imaginärteil des Brechungsindex qualitativ aus? Erstellen Sie Diagramme. Eine Absorptionslinie sollte im betrachteten Frequenzbereich enthalten sein.

15 Wellen an Grenzflächen, optische Anisotropie und Polarisation

Zeichnen Sie ein Diagramm mit dem winkelabhängigen Verlauf des Reflexionsvermögens für s- und p-polarisiertes Licht als Funktion des Einfallswinkels für Reflexion am optisch dichteren Medium.

Zeichnen Sie ein Diagramm mit dem winkelabhängigen Verlauf des Reflexionsvermögens für s- und p-polarisiertes Licht als Funktion des Einfallswinkels für Reflexion am optisch dünneren Medium.

Was bedeutet „Reflexionskoeffizient“ und „Reflexionsvermögen“ (Reflektivität), „Transmissionskoeffizient“ und „Transmissionsvermögen“ (Transmissionsgrad)? Wie groß ist das Reflexionsvermögen einer Grenzfläche zwischen zwei transparenten Medien bei Lichteinfall senkrecht auf die Grenzfläche.

Erklären Sie mithilfe einer Skizze die Begriffe „Einfallswinkel“, „Reflexionswinkel“, „Brechungswinkel“, „Einfallsebene“. Was bedeutet s- bzw. p-Polarisation? Leiten Sie das Reflexions- und Brechungsgesetz her.

Was ist der Brewsterwinkel? Erstellen Sie eine Skizze einer Luft-Glas Grenzfläche und zeichnen Sie alle mögliche Brewsterwinkel ein. Wie ist der Polarisationszustand der reflektierten und transmittierten Welle bei unpolarisierter einfallender Welle?

Was ist Totalreflexion und unter welchen Bedingungen tritt sie auf? Welche Rolle spielt die Polarisation dabei?

Was sind optisch anisotrope Kristalle und wie lassen sich die unterschiedlichen Richtungen der elektrischen Feldstärke und der dielektrischen Verschiebungsdichte mit dem mechanischen Analogmodell verstehen? Wie sieht der Zusammenhang zwischen elektrischer Feldstärke und dielektrischer Verschiebungsdichte dabei formal aus?

Was sind optisch einachsige bzw. optisch zweiachsige Kristalle. Wodurch unterscheidet sich deren ϵ -Tensoren in Hauptachsendarstellung? Was ist die optische Achse eines doppelbrechenden Kristalles?

Zeichnen und erklären Sie eine zweidimensionale Darstellung des Indexellipsoides eines optisch einachsigen Kristalles. Wie unterscheidet sich das Verhalten von ordentlichem und außerordentlichem Strahl bei optisch einachsigen Kristallen?

Beschreiben Sie die Funktion eines dichroitischen und eines Glan-Thompson Polarisators. (Skizze!)

Beschreiben Sie die Funktion eines $\lambda/4$ -Plättchens. Welche Bedingungen muss es erfüllen? (Skizze!)

Beschreiben Sie die Funktion eines $\lambda/2$ -Plättchens. Welche Bedingungen muss es erfüllen? (Skizze!)

Was ist optische Aktivität und wie lässt sich eine Platte aus optisch aktivem Material von einer $\lambda/2$ -Platte unterscheiden?

16 Geometrische Optik I

Nennen Sie die Axiome der Geometrischen Optik und erklären Sie unter welchen Bedingungen diese gut erfüllt sind.

Beschreiben Sie die Abbildung in einem ebenen Spiegel. Zeichnen Sie den Strahlengang für die Abbildung von zwei Gegenständen in unterschiedlichem Abstand vom Spiegel.

Erklären Sie den Unterschied zwischen einem reellen und einem virtuellen Bild.

Zeichnen Sie die 3 Konstruktionsstrahlen bei der Abbildung durch eine dünne Linse. Erklären sie, warum diese Strahlen für die Bildkonstruktion gewählt werden und warum sie so verlaufen wie sie es eingezeichnet haben. Zeichnen Sie Bildweite, Gegenstandsweite und Brennweite ein.

Konstruieren Sie das Bild eines Gegenstandes durch eine dünne Sammellinse wenn (a) der Gegenstand mehr als $2f$ von der Linse entfernt ist und (b) wenn der Gegenstand weniger als $2f$ von der Linse entfernt ist. Dabei ist f die Brennweite der Linse.

Konstruieren Sie das Bild eines Gegenstandes durch eine dünne Zerstreuungslinse wenn (a) der Gegenstand mehr als $2f$ von der Linse entfernt ist und (b) wenn der Gegenstand weniger als $2f$ von der Linse entfernt ist. Dabei ist f die Brennweite der Linse.

Wie ist die Vergrößerung definiert? Zeichnen Sie die Abbildung mit einer dünnen Sammellinse und leiten Sie eine Formel zur Berechnung der Vergrößerung aus Bild- und Gegenstandsweite her.

Wie ist die Vergrößerung definiert? Zeichnen Sie die Abbildung mit einer dünnen Zerstreuungslinse und leiten Sie eine Formel zur Berechnung der Vergrößerung aus Bild- und Gegenstandsweite her.

17 Geometrische Optik II

Erklären Sie die Bedeutung der Hauptebenen dicker Linsen sowie die Bildkonstruktion bei dicken Linsen.

Zeichnen Sie zwei Sammellinsen, deren Abstand kleiner als die kleinere von den beiden Brennweiten ist. Konstruieren Sie den Strahlengang für die Abbildung eines Objektes durch das Linsensystem.

Zeichnen Sie zwei Sammellinsen, deren Abstand größer als die Summe der beiden Brennweiten ist. Konstruieren Sie den Strahlengang für die Abbildung eines Objektes durch das Linsensystem.

Nennen und erklären Sie die unterschiedlichen Abbildungsfehler, die bei einer Abbildung mit einer Linse entstehen können.

18 Interferenz

Was versteht man unter „Interferenz“ und „Kohärenz“?

Erklären Sie die Beugung von Licht am Young'schen Doppelspalt durch Interferenz. Bei Welchen Winkeln trete im Fraunhoferschen Limit Intensitätsmaxima auf? Leiten Sie die Formel für diese Winkel her.

Beschreiben Sie den Aufbau und Funktion eines Michelson-Interferometers und schreiben sie einen Ausdruck für die Intensität am Detektor als Funktion der Längendifferenz der Lichtwege an.

Was versteht man unter „zeitlicher Kohärenz“? Wovon hängt sie ab bzw. wie kann man sie beeinflussen? Mit welchem Gerät könnte man sie wie bestimmen?

Was versteht man unter „räumlicher Kohärenz“? Wovon hängt sie ab bzw. wie kann man sie beeinflussen? Mit welchem Gerät könnte man sie wie bestimmen?

Zeichnen Sie den prinzipiellen Aufbau / Strahlengang eines Sagnac und eines Mach-Zehnder Interferometers.

Erklären Sie Aufbau, Funktion und Transmissionsverhalten eines Fabry-Perot-Interferometers. Skizzieren Sie den spektralen Verlauf der Transmission als Funktion der Finesse. Wie ist die Finesse definiert?

Beschreiben Sie die Funktionsweise einer einfachen Antireflexbeschichtung aus einer dielektrischen Schicht.

19 Beugung

Leiten Sie die Formel für die Intensitätsverteilung einer regelmäßigen Anordnung von kohärenten Emittoren her und skizzieren Sie diese in einem Diagramm (Intensität vs. Winkel).

Beugung am Einzelspalt: Schreiben Sie einen Ausdruck für die Intensitätsverteilung im Fraunhofer'schen Beugungsbild eines einzelnen, mit einer ebenen Welle beleuchteten Spaltes an und skizzieren Sie diese in einem Diagramm. Bei welchem Winkel liegt das erste Beugungsminimum und wie lässt sich dies einfach erklären?

Beugung am Gitter: Schreiben Sie einen Ausdruck für die Intensitätsverteilung im Fraunhofer'schen Beugungsbild eines mit einer ebenen Welle beleuchteten Spaltgitters an und skizzieren Sie diese in einem Diagramm. Bei welchen Winkeln liegen die Hauptmaxima und wie lassen sich diese Winkel einfach erklären?

Skizzieren Sie den Aufbau eines geblätzten Gitters und erklären Sie dessen Funktion.

Erklären und Skizzieren Sie Aufbau und Funktion einer Fresnel'schen Zonenplatte.

Beugung am Gitter: Schreiben Sie einen Ausdruck für die Intensitätsverteilung im Fraunhofer'schen Beugungsbild einer mit einer ebenen Welle beleuchteten Kreisblende an und skizzieren Sie diese in einem Diagramm.

20 Optische Instrumente I

Skizzieren und beschreiben Sie den Aufbau des Auges. Welche Arten von Sehzellen sind vorhanden und welche spektrale empfindlichkeit haben diese (Diagramm)?

Zeichnen Sie den Strahlengang für eine Lupe, wobei das Auge auf unendlich eingestellt sein soll um ein scharfes Bild des Gegenstandes durch die Lupe zu sehen. Leiten Sie einen Ausdruck für die Winkelvergrößerung der Lupe her.

Zeichnen Sie den prinzipiellen Aufbau eines Mikroskopes mit dem Abbildungsstrahlengang (von einem Objektpunkt zum Bildpunkt). Wie ist die Vergrößerung definiert und wie kann man sie berechnen?

Zeichnen Sie den prinzipiellen Aufbau eines Keplerschen Fernrohres mit dem Abbildungsstrahlengang (von einem weit entfernten Objektpunkt zum Bildpunkt). Wie ist die Vergrößerung definiert und wie kann man sie berechnen?

Zeichnen Sie den prinzipiellen Aufbau eines Gallileischen Fernrohres mit dem Abbildungsstrahlengang (von einem weit entfernten Objektpunkt zum Bildpunkt). Wie ist die Vergrößerung definiert und wie kann man sie berechnen?

Zeichnen Sie den prinzipiellen Aufbau eines Projektors mit dem Abbildungsstrahlengang und dem Beleuchtungsstrahlengang.

Was versteht man unter Schärfentiefe und Lichtstärke? Wie kann man diese Größen bei einer gegebenen Linse beeinflussen? Beschreiben Sie wie sich die Größen ändern.

Welchen Einfluß hat Beugung auf die Abbildung mit einer Linse? Wie ist das Auflösungsvermögen definiert? Wie groß ist das Auflösungsvermögen einer Linse mit gegebenem Durchmesser und Brennweite für die Abbildung weit entfernter Gegenstände?

21 Optische Instrumente II

Erklären Sie kurz die Abbé'sche Abbildungstheorie zur Bildenstehung

Berechnen Sie am Beispiel eines Liniengitters das Auflösungsvermögen einer Abbildung durch ein Objektiv.

Was besagt die Abbe'sche Sinusbedingung? Erklären Sie anhand eines Gitters als Objekt warum sie gelten muss, um eine gute Abbildung zu erreichen.

Zeichnen Sie den Strahlengang für die Abbildung eines Gitters durch eine oder zwei Linsen sowohl für das Beugungsbild (und weiterer Strahlengang) als auch für das Bild. Achten Sie auf die korrekte Konstruktion der Bild- bzw. Beugungsbildpunkte.

Schreiben Sie das Auflösungsvermögen für ein Mikroskopobjektiv an, wenn die Gegenstandspunkte inkohärent leuchten bzw. inkkohärent beleuchtet sind. Wie ist die Numerische Apertur definiert (Skizze)?

Zeichnen Sie den optischen Strahlengang eines Gittermonochromators (Czerny-Turner) und bezeichnen Sie alle wesentlichen Elemente.

Wie ist das spektrale Auflösungsvermögen definiert? Schreiben Sie einen Ausdruck für das spektrale Auflösungsvermögen eines Gittermonochromators an.