

# Ergänzungsvorlesung zur Physik II

## Zusammenfassung Sommersemester 2006

### Elektrostatik

22 Elektrische Ladung

23 Elektrische Felder

24 Der gaußsche Satz

25 Elektrisches Potenzial

26 Kapazität

### Strom und Stromkreise

27 Elektrischer Strom und Widerstand

28 Stromkreise

### Magnetostatik

29 Magnetfelder

30 Magnetfelder aufgrund von Strömen

# Induktion, Magnetismus und Schwingkreise

31 Induktion und Induktivität

32 Magnetismus und Materie: Die Maxwellschen Gleichungen

33 Elektromagnetische Schwingkreise und Wechselstrom

# Elektromagnetische Wellen und Optik

34 Elektromagnetische Wellen

35 Abbildungen

36 Interferenz

37 Beugung

# Elektrostatik

## 22 Elektrische Ladung

22-1 Elektromagnetismus

22-2 Elektrische Ladung

22-3 Leiter und Isolatoren

22-4 Das coulombsche Gesetz

22-5 Die elektrische Ladung ist quantisiert

22-6 Die elektrische Ladung ist eine Erhaltungsgröße

Coulomb-Gesetz (Beträge und zusätzlich vektoriell):

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|q_1| |q_2|}{r^2}; \quad \vec{F}_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{|\vec{r}_1 - \vec{r}_2|^3} (\vec{r}_1 - \vec{r}_2)$$

mit  $\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2 \text{ N}^{-1} \text{ m}^{-2}; \quad \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \approx 9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$

Superposition; Kugelschalentheorem

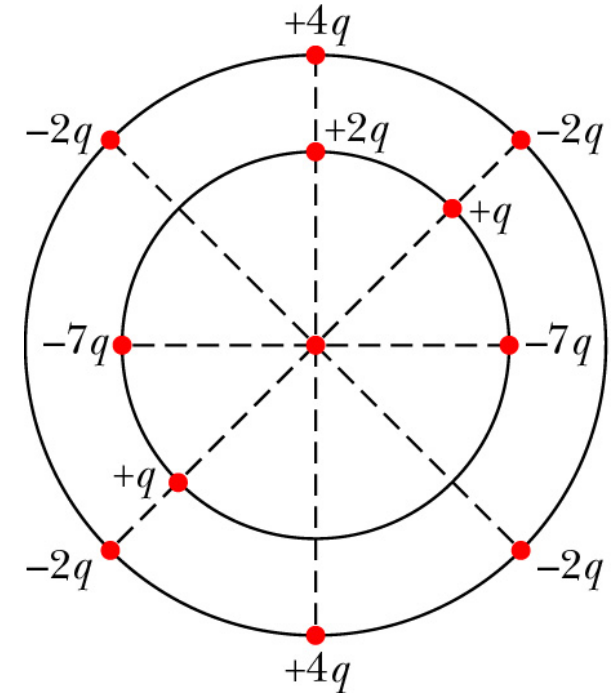
Elementarladung:  $e = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

CT Kraft zwischen 2 Ladungen von je 1 Coulomb in 1 Kilometer Abstand?

CT Die Abbildung zeigt ein zentrales Teilchen mit der Ladung  $-q$ , das auf 2 Kreisen mit Radien  $r$  und  $R$  ( $r < R$ ) von anderen geladenen Teilchen umgeben ist.

Kraft (Betrag und Richtung) auf zentrales Teilchen?

(HR Frage 22-5; Abb. 22-13)



## 23 Elektrische Felder

- 23-1 Ladungen und Kräfte - genauer betrachtet
- 23-2 Das elektrische Feld
- 23-3 Elektrische Feldlinien
- 23-4 Das elektrische Feld einer Punktladung
- 23-5 Das Feld eines elektrischen Dipols
- 23-6 Das elektrische Feld einer linearen Ladungsverteilung
- 23-7 Das elektrische Feld einer geladenen Scheibe
- 23-8 Verhalten einer Punktladung in einem elektrischen Feld
- 23-9 Verhalten eines Dipols in einem elektrischen Feld

Keine Fernwirkung;      Elektrisches Feld einer Punktladung:  $\vec{E}(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \hat{r}$

Multipolentwicklung;      Feld eines Dipols entlang Achse:  $E(z) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{p}{z^3}$

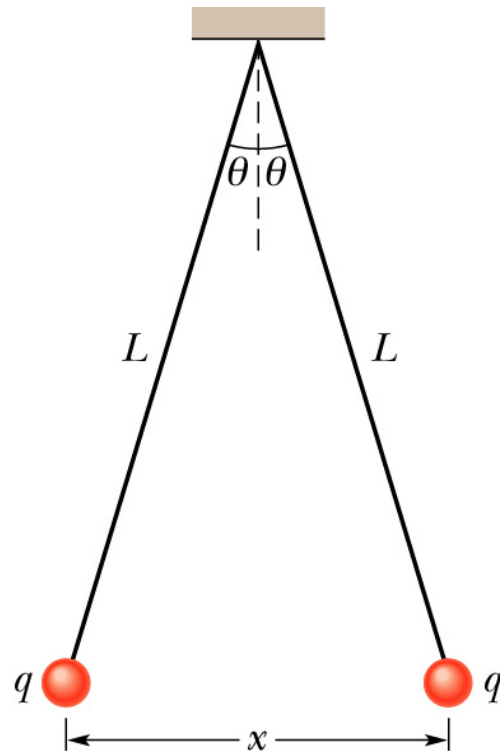
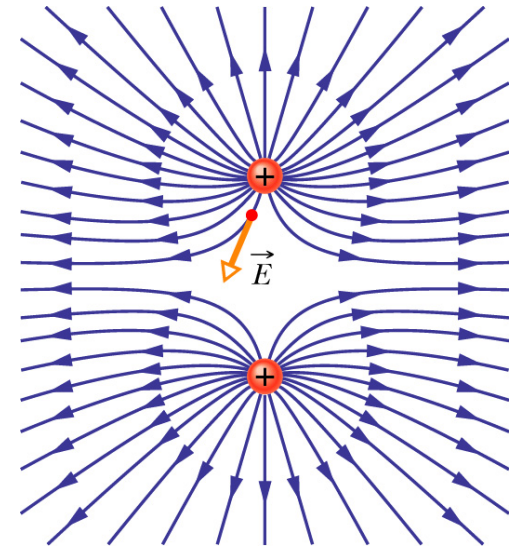
Feld einer Ladungsverteilung:  $\vec{E}(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int_V d^3r' \frac{\rho(\vec{r}')}{|\vec{r} - \vec{r}'|^3} (\vec{r} - \vec{r}')$

Dipol im elektrischen Feld:  $\vec{\tau} = \vec{p} \times \vec{E}; \quad U = -\vec{p} \cdot \vec{E}$

**CT** Wieso laufen in nebenstehender Abbildung der Feldlinien gleichgroßer Punktladungen keine Linien durch die Symmetrieebene?

Wie sähe das Feldlinienbild für entgegengesetzte Ladungen aus?

(HR Abb. 23-4)



**CT** 2 Ladungen  $q$  hängen an Fäden der Länge  $L$  und sind jeweils um einen Winkel  $\theta$  gegenüber der Vertikalen ausgelenkt.

a) Elektrisches Feld (Betrag und Richtung) im Aufhängepunkt?

b) Ergebnis speziell für  $\theta = 60^\circ$ ?

(HR Abb. 22-19)

## 24 Der gaußsche Satz

- 24-1 Das coulombsche Gesetz in neuem Licht
- 24-2 Fluss
- 24-3 Fluss eines elektrischen Feldes
- 24-4 Der gaußsche Satz
- 24-5 Gaußscher Satz und coulombsches Gesetz
- 24-6 Eigenschaften eines geladenen, isolierten Leiters
- 24-7 Anwendung des gaußschen Satzes: Zylindersymmetrie
- 24-8 Anwendung des gaußschen Satzes: Ebene Symmetrie
- 24-9 Anwendung des gaußschen Satzes: Kugelsymmetrie

Gaußscher Satz: 
$$\Phi = \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{q_{\text{ein}}}{\epsilon_0}$$

Keine Überschussladungen im Inneren von Leitern

Elektrisches Feld nahe glatter Leiteroberfläche: 
$$\vec{E} = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \hat{n}$$

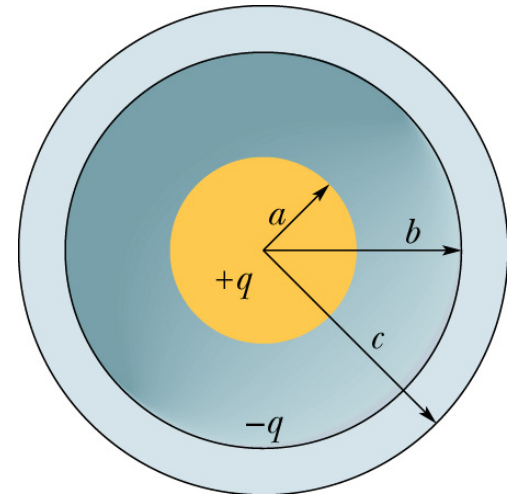
Elektrisches Feld zylindersymmetrischer Ladungsverteilung: 
$$\vec{E} = \frac{\lambda_{\text{ein}}}{2\pi\epsilon_0 r_{\perp}} \hat{r}_{\perp}$$

Elektrisches Feld kugelsymmetrischer Ladungsverteilung: 
$$\vec{E} = \frac{q_{\text{ein}}}{4\pi\epsilon_0 r^2} \hat{r}$$

**CT** Ein (isolierender) langer Zylinder mit Radius  $a$  sei homogen pro Längeneinheit  $L$  mit der Ladung  $q$  belegt und von einem metallischen Zylinder (Innenradius  $b$ ; lineare Ladungsdichte  $-q/L$ ) umgeben.

Berechnen Sie  $\vec{E}(\vec{r})$ .

(HR Abb. 24-34)





## 25 Elektrisches Potenzial

25-1 Elektrische potenzielle Energie

25-2 Elektrisches Potenzial

25-3 Äquipotenzialflächen

25-4 Berechnung des Potenzials aus dem Feld

25-5 Potenzial einer Punktladung

25-6 Potenzial einer Gruppe von Punktladungen

25-7 Potenzial eines elektrischen Dipols

25-8 Potenzial einer kontinuierlichen Ladungsverteilung

25-9 Berechnung des elektrischen Feldes aus dem elektrischen Potenzial

25-10 Elektrische potenzielle Energie eines Systems von Punktladungen

25-11 Potenzial eines geladenen, isolierten leitenden Körpers

Potentielle Energie einer Punktladung:  $\Delta U = -W; \quad U = -W_\infty$

Potentialdifferenz:  $\Delta V = \frac{\Delta U}{q_0} = V_f - V_i = - \int \vec{E} \cdot d\vec{s}; \quad \vec{E} = -\vec{\nabla}V$

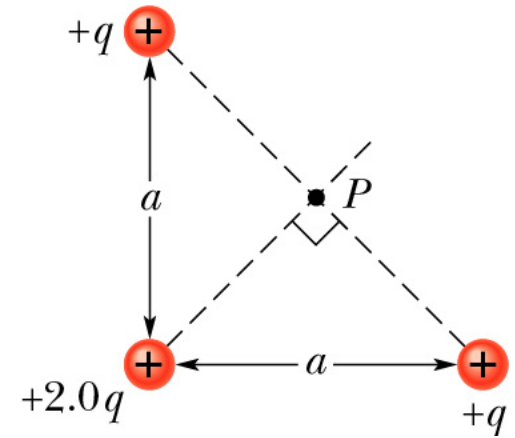
Potential einer Punktladung/Ladungsverteilung:

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r}; \quad V(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int_V d^3r' \frac{\rho(\vec{r}')}{|\vec{r} - \vec{r}'|}$$

Potentielle Energie einer Ladungsverteilung: alle Ladungen aus  $\infty$  heranbringen.

CT Wie groß ist die potentielle Energie der nebenstehenden Ladungsverteilung?.

(HR Abb. 23-29)



## 26 Kapazität

26-1 Kondensatoren und ihre Anwendungen

26-2 Kapazität

26-3 Berechnung der Kapazität

26-4 Parallelschaltungen und Reihenschaltungen von Kondensatoren

26-5 In einem elektrischen Feld gespeicherte Energie

26-6 Kondensator mit Dielektrikum

26-7 Dielektrika - auf atomarem Niveau betrachtet

26-8 Dielektrika und gaußscher Satz

Kondensator: 2 "Platten" mit Ladungen  $\pm q$ ; Kapazität:  $C = q/V$

Plattenkondensator:  $C = \epsilon_0 \frac{A}{d}$       Zylinderkondensator:  $C = 2\pi\epsilon_0 \frac{L}{\ln(b/a)}$

Kugelkondensator:  $C = 4\pi\epsilon_0 \frac{ab}{b-a}$

Parallelschaltung:  $C_{\text{äq}} = \sum C_i$ ;      Reihenschaltung:  $C_{\text{äq}}^{-1} = \sum C_i^{-1}$

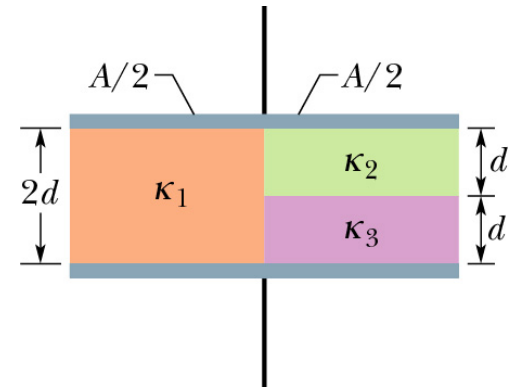
Energie(dichte):  $U = \frac{q^2}{2C} = \frac{1}{2}CV^2$ ;       $u = \frac{1}{2}\epsilon_0 E^2$

Kondensator mit Dielektrikum:  $\epsilon_0 \longrightarrow \kappa\epsilon_0$

CT Nach welchem Prinzip berechnet man die Kapazität von einfachen Kondensatorarten (eben/zylindrisch/spärisch)?

CT Wie groß ist die Kapazität des nebenstehenden Plattenkondensators?.

(HR Aufg. 26-42, Abb. 26-36)



# Strom und Stromkreise

## 27 Elektrischer Strom und Widerstand

- 27-1 Ladung in Bewegung - elektrische Ströme
- 27-2 Elektrischer Strom
- 27-3 Stromdichte
- 27-4 Widerstand und spezifischer Widerstand
- 27-5 Ohmsches Gesetz
- 27-6 Das ohmsche Gesetz, mikroskopisch betrachtet
- 27-7 Elektrische Leistung in Stromkreisen
- 27-8 Halbleiter
- 27-9 Supraleiter

Elektrischer Strom  $i = \frac{dq}{dt} = \int \vec{J} \cdot d\vec{A}; \quad \vec{J} = (nq)\vec{v}_d$

(spezifischer) Ohm-Widerstand  $R = \frac{V}{i}; \quad \rho = \frac{E}{J}; \quad \text{Leitfähigkeit : } \vec{J} = \sigma \vec{E}$

Draht:  $R = \rho \frac{L}{A}; \quad \text{Temperaturabhängigkeit - Taylor: } \rho - \rho_0 = \rho_0 \alpha (T - T_0)$

Leistung, Ohm-Dissipation:  $P = iV; \quad P = i^2 R = \frac{V^2}{R}$

**CT** Ein elektrisches Heizgerät habe eine Leistung von 2000 W bei einer Effektivspannung von 250 V.

- a) Welche Ladungsmenge fließt pro Stunde durch das Gerät?
- b) Wie groß ist der ohmsche Widerstand des Gerätes?
- c) Wie groß müsste der Widerstand bei einer Versorgungsspannung von effektiv 120 V sein? Welche Konsequenzen hat das für die Elektrizitätsversorgung?

## 28 Stromkreise

28-1 "Pumpen" von Ladung

28-2 Arbeit, Energie und Spannung

28-3 Berechnung des Stromes in einem unverzweigten Stromkreis

28-4 Weitere unverzweigte Stromkreise

28-5 Potenzialdifferenzen

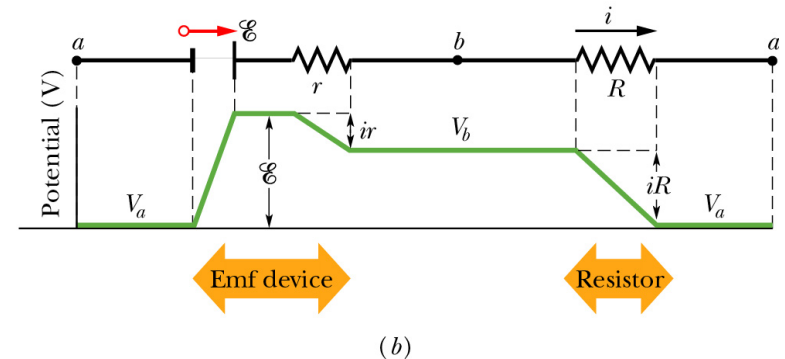
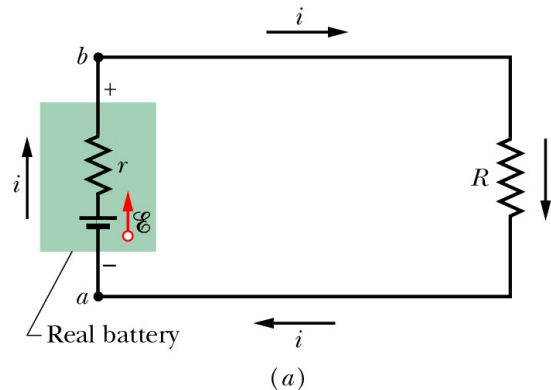
28-6 Verzweigte Stromkreise

28-7 Ampèremeter und Voltmeter

28-8 RC-Kreise

Spannungsquelle:  
Spannung  $\mathcal{E}$  und  
Innenwiderstand  $r$

$$i = \frac{\mathcal{E}}{R_{\text{ext}} + r}$$



Maschenregel:  $\sum_{\text{Masche}} \Delta V_i = 0$

Verzweigungsregel:  $\sum_{\text{Knoten}} J_i = 0$

Reihenschaltung:  $R_{\text{äq}} = \sum R_i$

Parallelschaltung:  $R_{\text{äq}}^{-1} = \sum R_i^{-1}$

Ladung/Entladung eines Kondensators:

$$q = C\mathcal{E}(1 - e^{-t/RC})$$

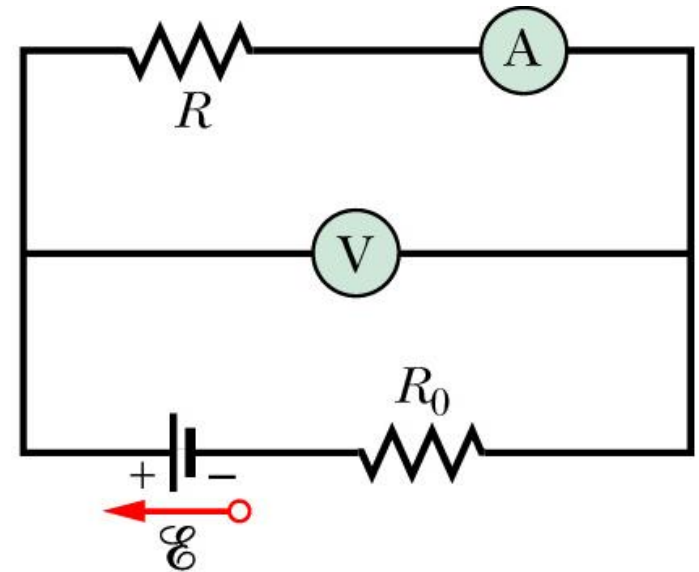
$$q = q_0 e^{-t/RC}$$

**CT** Sie versuchen, einen unbekanntem Widerstand  $R$  mit einem Voltmeter (Innenwiderstand  $R_V$ ) und einem Amperemeter (Innenwiderstand  $R_A$ ) gemäß nebenstehender Schaltung zu bestimmen.

a) Welches Messergebnis erhalten Sie? In welchem Parameterregime wäre diese Schaltung (zur Widerstandsmessung) besonders genau?

b) Wann spielt der Innenwiderstand eines Amperemeters keine Rolle?

(HR Abb. 28-40b)





# Magnetostatik

## 29 Magnetfelder

- 29-1 Das Magnetfeld
- 29-2 Definition von  $\vec{B}$
- 29-3 Gekreuzte Felder: Die Entdeckung des Elektrons
- 29-4 Gekreuzte Felder: Der Hall-Effekt
- 29-5 Geladene Teilchen auf einer Kreisbahn
- 29-6 Zyklotron und Synchrotron
- 29-7 Magnetische Kraft auf einen stromdurchflossenen Draht
- 29-8 Drehmoment auf eine stromdurchflossene Drahtschleife
- 29-9 Magnetisches Dipolmoment

Kraft auf gel. Teilchen:  $\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$

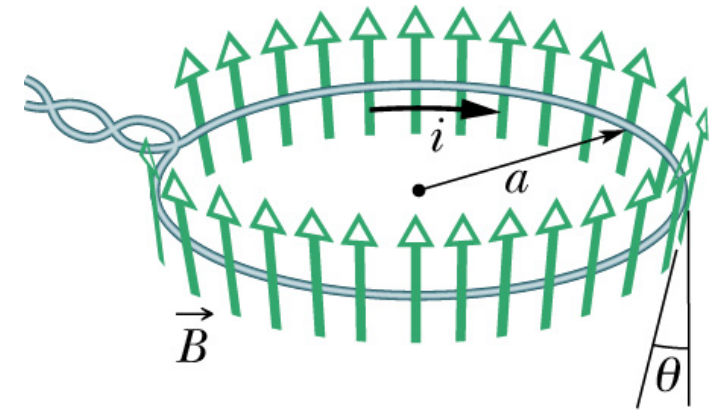
hom. B-Feld: Hall-Effekt      Zyklotronradius/frequenz       $r_{\perp} = \frac{mv}{qB}$ ;       $\omega = \frac{qB}{m}$

magnetische Kraft auf Leiter:  $\vec{F}_B = i\vec{L} \times \vec{B}$

Dipolmoment einer Spule:  $\vec{\mu} = NiA \hat{n}$ ;       $\vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B}$ ;       $U = -\vec{\mu} \cdot \vec{B}$

**CT** Welche Kraft wirkt auf den Drahting (Radius  $a$ ) im zylindersymmetrischen Magnetfeld, das an jedem Punkt des Drahts mit dessen Ebene einen Winkel  $\Theta$  einschließt?

(HR Aufg. 29-43, Abb. 29-37b)



## 30 Magnetfelder aufgrund von Strömen

30-1 Das Magnetfeld eines Stromes

30-2 Die Kraft zwischen parallelen Strömen

30-3 Das ampèresche Gesetz

30-4 Zylinder- und Ringspulen

30-5 Eine stromführende Spule als magnetischer Dipol

Biot-Savart: 
$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{i d\vec{s} \times \vec{i}}{r^3}$$
 Ampère: 
$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 i_{\text{um}}$$

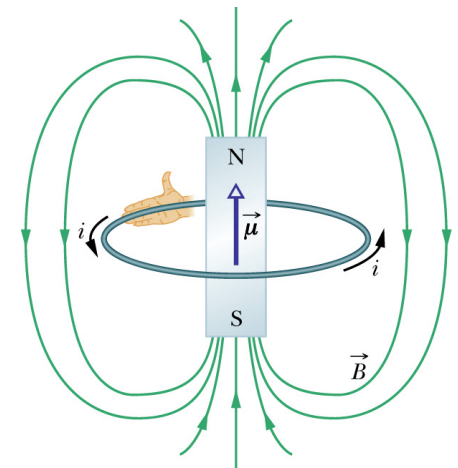
Magnetfeld von langem Leiter: 
$$B = \frac{\mu_0 i}{2\pi r_{\perp}}$$

Magnetfeld im Zentrum von Kreisring: 
$$B = \frac{\mu_0 i}{2R}$$

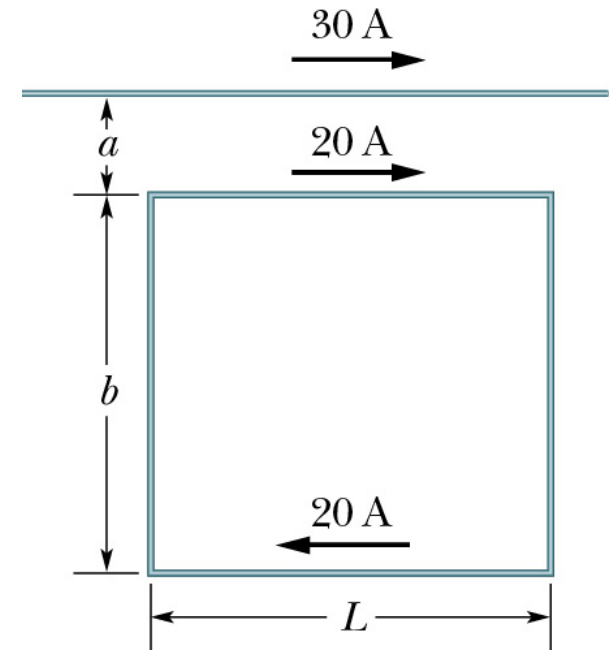
Kräfte zw. langen par. Leitern: 
$$F_{ba}/L = \frac{\mu_0 i_a i_b}{2\pi d}$$

Feld einer langen Zylinderspule: 
$$B = \mu_0 i n; \quad n = N/L$$

Feld eines magnetischen Dipols: 
$$\vec{B}(z) = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{\vec{\mu}}{z^3}$$

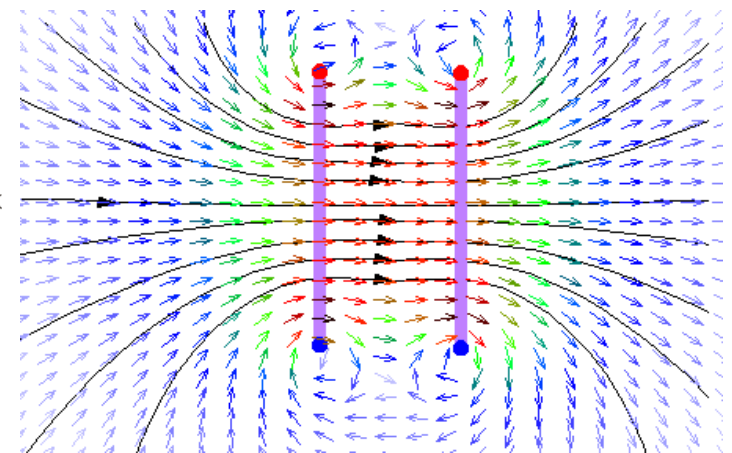
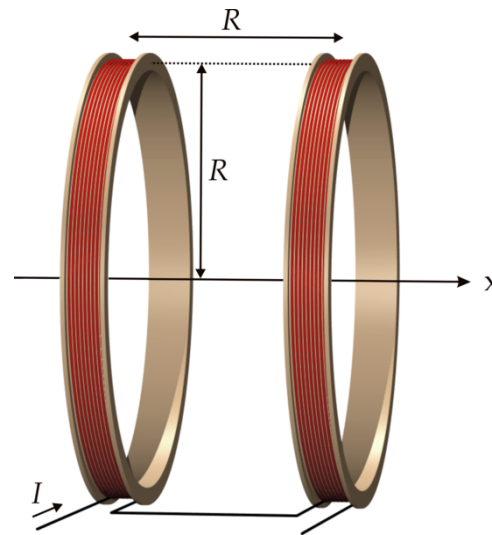


CT Welche Kraft wirkt auf die Leiterschleife?  
 (HR Aufg. 30-29, Abb. 30-44)



CT a) Für welche Fälle können Sie aus einer gegebenen Stromstärke das Magnetfeld ausrechnen (wo, wie)?

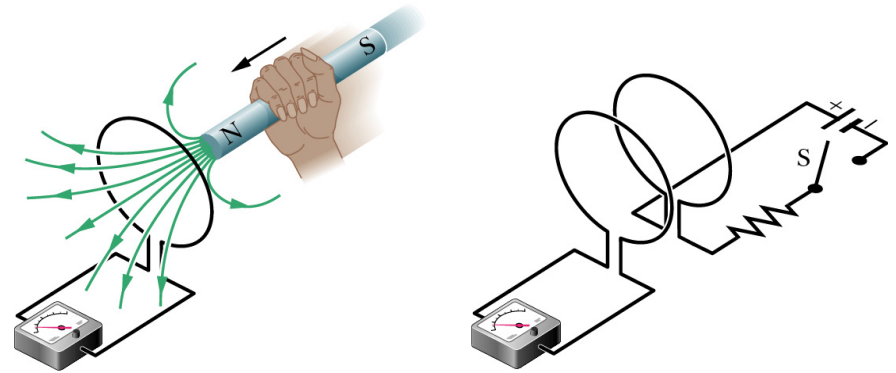
b) Wie gehen Sie für den experimentell sehr relevanten Fall eines Helmholtz-Spulenpaares vor?



# Induktion

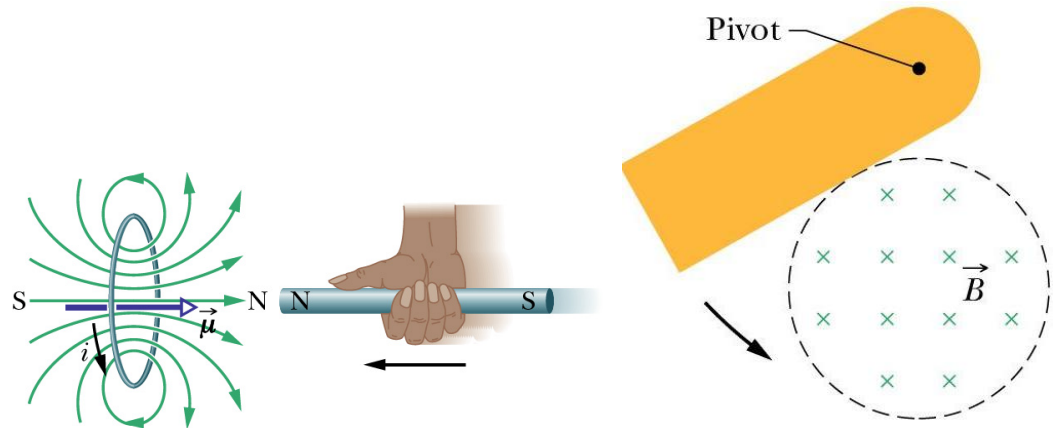
## 31 Induktion und Induktivität

- 31-1 Zwei symmetrische Situationen
- 31-2 Zwei Experimente
- 31-3 Das faradaysche Induktionsgesetz
- 31-4 Die lenzsche Regel
- 31-5 Induktion und Energietransfer
- 31-6 Induzierte elektrische Felder



Faraday-Gesetz / dicht gepackte Spule:  $\mathcal{E} = -N\dot{\Phi}_B$ ;  $\Phi_B = \int \vec{B} \cdot d\vec{A}$

Lenzsche Regel und Wirbelströme:



Induzierte Spannung / E-Feld:  $\mathcal{E} = \oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = -\dot{\Phi}_B \Leftrightarrow \vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$

- 31-7 Induktivität
- 31-8 Selbstinduktion
- 31-9 RL-Glieder
- 31-10 Energiespeicherung im Magnetfeld
- 31-11 Energiedichte eines Magnetfeldes
- 31-12 Gegeninduktion

Selbstinduktion  $L$ :  $\mathcal{E}_L = -L \frac{di}{dt}$ ; für dichte/lange Spule:  $L = \frac{N\Phi_B}{i}$ ;  $\frac{L}{l} = \mu_0 n^2 A$

RL-Glieder:  $i_{\text{an}} = \frac{\mathcal{E}}{R} \left(1 - e^{-t/\tau_L}\right)$ ;  $i_{\text{ab}} = i_0 e^{-t/\tau_L}$ ;  $\tau = L/R$

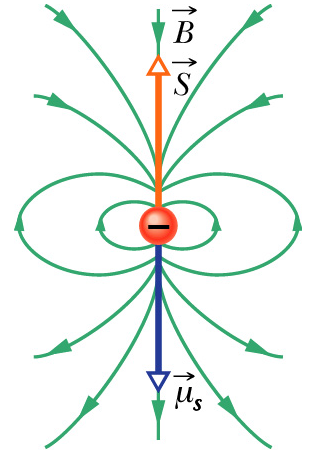
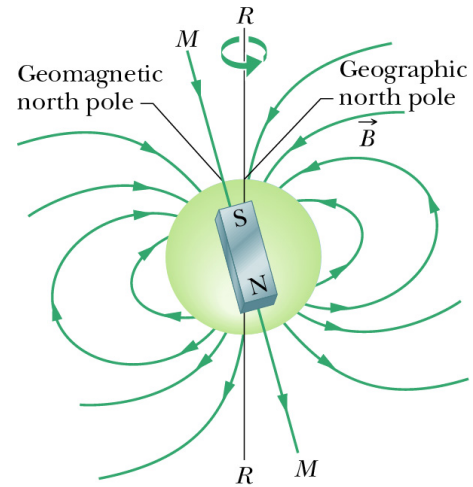
Energie(dichte):  $U_B = \frac{1}{2} Li^2$ ;  $u_b = \frac{B^2}{2\mu_0}$

Gegeninduktion:  $\mathcal{E}_2 = -M \frac{di_1}{dt}$ ;  $\mathcal{E}_1 = -M \frac{di_2}{dt}$

# 32 Magnetismus und Materie: Die maxwellschen Gleichungen

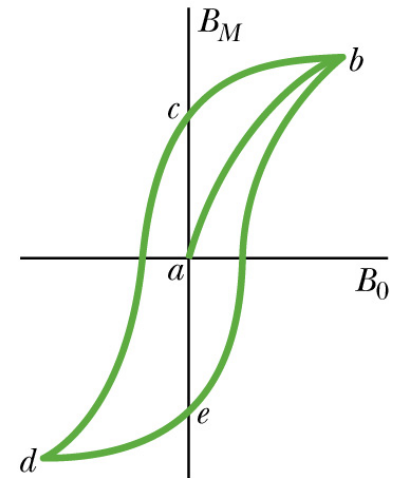
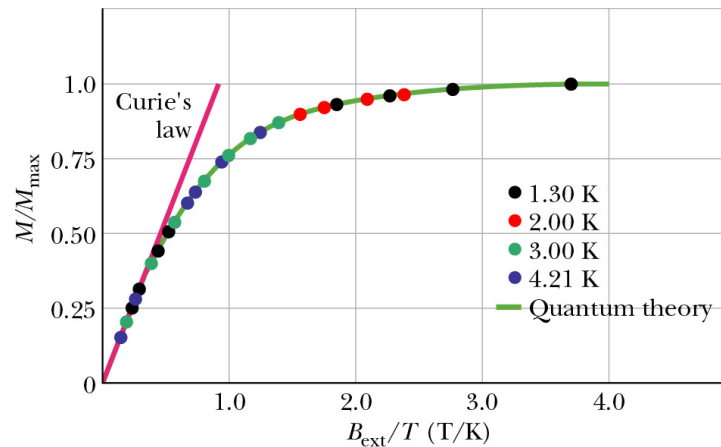
- 32-1 Magnete
- 32-2 Der gaußsche Satz für Magnetfelder
- 32-3 Der Erdmagnetismus
- 32-4 Der Magnetismus von Elektronen
- 32-5 Magnetische Materialien
- 32-6 Diamagnetismus
- 32-7 Paramagnetismus
- 32-8 Ferromagnetismus
- 32-9 Induzierte magnetische Felder
- 32-10 Der Verschiebungsstrom
- 32-11 Die maxwellschen Gleichungen

$$\Phi_B = \oint \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0$$



$$\vec{\mu}_s = -\frac{ge}{2m}\vec{S}; \quad g \approx 2; \quad S_z = \pm m_s \hbar$$

Dia-/Para-/Ferromagnetismus:  
keine/ungeordnete/geordnete  
Dipolmomente



# Die Maxwell'schen Gleichungen

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$$

Gauß  
⇒

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{q_{\text{ein}}}{\epsilon_0} \quad \text{inh.}$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} + \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = 0$$

Stokes  
⇒

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = - \frac{d\Phi_B}{dt} \quad \text{hom.}$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$$

Gauß  
⇒

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0 \quad \text{hom.}$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} - \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} = \mu_0 \vec{j}$$

Stokes  
⇒

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt} + \mu_0 I_{\text{um}} \quad \text{inh.}$$

Materiegleichung:  $\vec{F} = m \ddot{\vec{x}} = q (\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$  (nichtrel.)

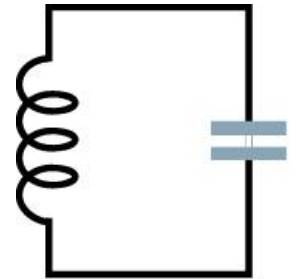


## 33 Elektromagnetische Schwingkreise und Wechselstrom

- 33-1 Neue Physik - alte Mathematik
- 33-2 LC-Schwingungen - eine qualitative Diskussion
- 33-3 Die Analogie zwischen elektrischem und mechanischem Schwingkreis
- 33-4 LC-Schwingungen - eine quantitative Diskussion
- 33-5 Gedämpfte Schwingungen in einem RLC-Kreis
- 33-6 Wechselstrom
- 33-7 Erzwungene Schwingungen
- 33-8 Drei einfache Stromkreise
- 33-9 Der in Reihe geschaltete RLC-Kreis
- 33-10 Die Leistung in Wechselstromkreisen
- 33-11 Transformatoren

LC-Schwingkreis:  $U_E = \frac{q^2}{2C} \leftrightarrow U_B = \frac{Li^2}{2}; \quad \omega = 2\pi f = \frac{1}{\sqrt{LC}}$

CT: Wie lässt sich LC-Kreis anregen? Wie groß ist die Stromamplitude dann theoretisch im Resonanzfall?



Impedanz:  $Z = \frac{\mathcal{E}_m}{I} = |\tilde{X}|; \quad \phi = \arg(\tilde{X}) \rightsquigarrow \tan(\phi) = \frac{\text{Im}(\tilde{X})}{\text{Re}(\tilde{X})};$

$\tilde{X}_R = R; \quad \tilde{X}_L = i\omega L; \quad \tilde{X}_C = \frac{1}{i\omega C};$  Reihen-/Parallelschaltung wie Widerstände

Mittlere Leistung im Stromkreis:  $P_{\text{gem}} = \mathcal{E}_{\text{eff}} I_{\text{eff}} \cos(\phi)$ ;  $\mathcal{E}_{\text{eff}} = \frac{\mathcal{E}_m}{\sqrt{2}}$ ;  $I_{\text{eff}} = \frac{I}{\sqrt{2}}$

Transformator:  $\Phi_p = \Phi_s \Rightarrow V_s = \frac{N_s}{N_p} V_p$ ;  $I_s \approx \frac{N_p}{N_s} I_p$

# Elektromagnetische Wellen und Optik

## 34 Elektromagnetische Wellen

34-1 Maxwells Regenbogen

34-2 Die Fortpflanzung elektromagnetischer Wellen: Qualitative Betrachtung

34-3 Die Fortpflanzung elektromagnetischer Wellen: Quantitative Betrachtung

34-4 Energietransport und Poynting-Vektor

34-5 Der Strahlungsdruck

34-6 Polarisierung

34-7 Reflexion und Brechung

34-8 Innere Totalreflexion

34-9 Polarisierung durch Reflexion

Hertzscher Dipol, Mikrowellen, Lecherleitung, elm. Wellen im Koaxialkabel

freie elm. Wellen:  $\vec{E} \perp \vec{B} \perp \vec{k}; \quad c = \frac{E}{B} = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}}$

Poynting-Vektor:  $\vec{S} = \frac{1}{\mu_0} \vec{E} \times \vec{B}$

Polarisations-Filter:  $I = I_0 \cos^2 \Theta$

Snellius-Brechungsgesetz:  $n_1 \sin(\Theta_1) = n_2 \sin(\Theta_2)$

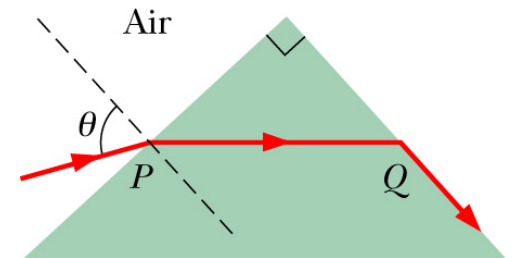
normale/anomale Dispersion: Brechungsindex nimmt mit Frequenz zu/ab.

Totalreflexion:  $\sin(\Theta_{\text{krit}}) = \frac{n_1}{n_2}$

Polarisation durch Reflexion/Streuung:  $\tan(\Theta_B) = \frac{n_1}{n_2}$

Fresnel-Formeln:  $\frac{I_{\perp,\text{refl}}}{I_{\perp,\text{ein}}} = \frac{\sin^2(\Theta_1 - \Theta_2)}{\sin^2(\Theta_1 + \Theta_2)}$ ;  $\frac{I_{\parallel,\text{refl}}}{I_{\parallel,\text{ein}}} = \frac{\tan^2(\Theta_1 - \Theta_2)}{\tan^2(\Theta_1 + \Theta_2)}$

**CT** Wann ist der Ablenkungswinkel des Strahlengangs durch ein Prisma maximal, wann minimal? Wie lautet die Bedingung für Totalreflexion?



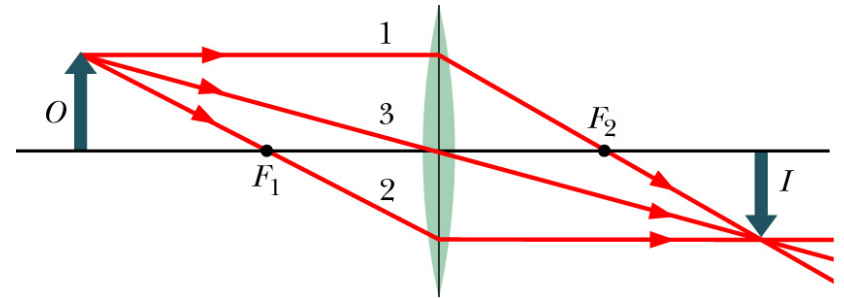
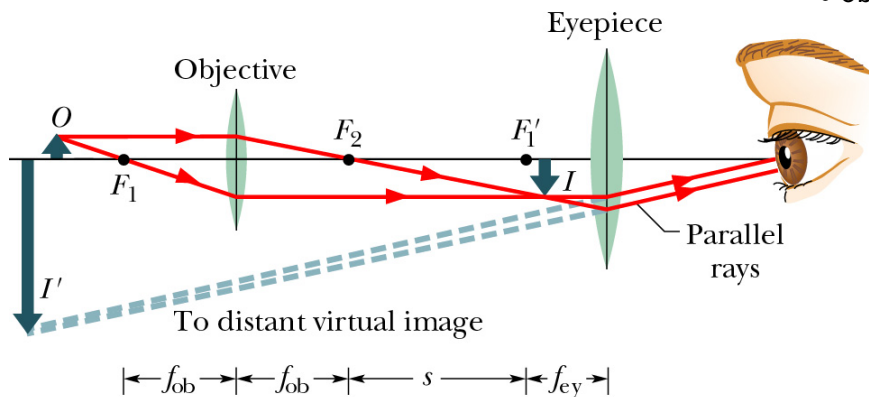
# 35 Abbildungen

- 35-1 Zwei Arten von Bildern
- 35-2 Ebene Spiegel
- 35-3 Kugelspiegel
- 35-4 Abbildungen an Kugelspiegeln
- 35-5 Sphärische brechende Flächen
- 35-6 Dünne Linsen
- 35-7 Optische Instrumente
- 35-8 Drei Herleitungen

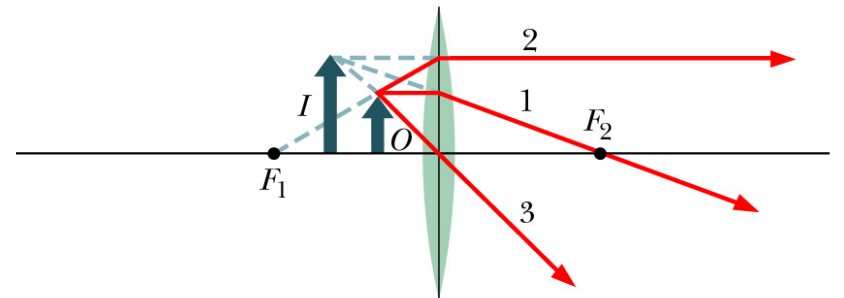
Hauptstrahlen: Parallel-, Brennpunkt-, und Mittelpunktstrahl

Winkelvergrößerung Lupe:  $m_{\Theta} \approx \frac{25\text{cm}}{f}$

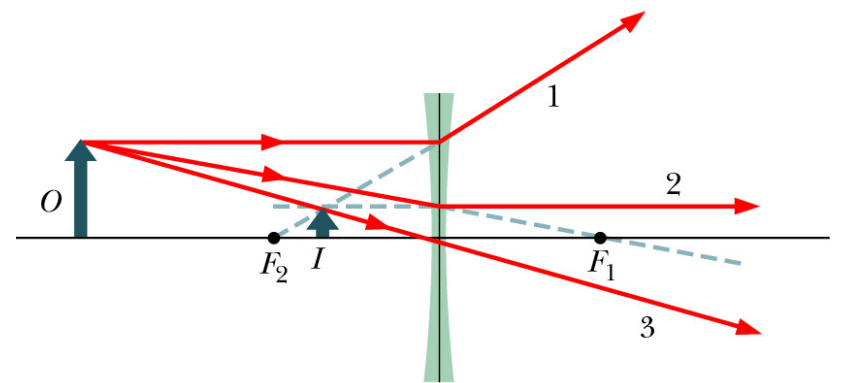
Mikroskop:  $M = mm_{\Theta} = -\frac{s}{f_{ob}} \frac{25\text{cm}}{f}$



(a)



(b)



(c)

## 36 Interferenz

36-1 Interferenz

36-2 Licht als Welle

36-3 Beugung

36-4 Der Doppelspaltversuch von Young

36-5 Kohärenz

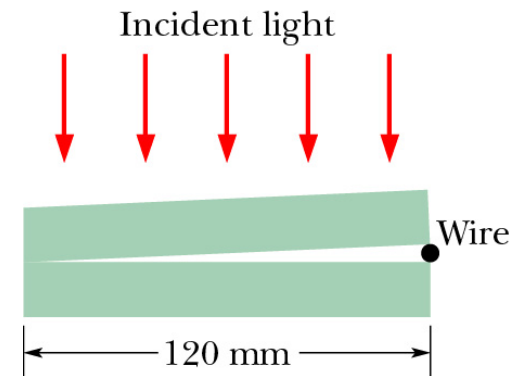
36-6 Intensitäten bei der Interferenz am Doppelspalt

36-7 Interferenz an dünnen Schichten

36-8 Das Michelson-Interferometer

**CT** Welches Interferenzmuster sieht ein Beobachter, der von oben auf die Anordnung sieht, wenn diese mit Licht der Wellenlänge  $\lambda = 683\text{nm}$  beschienen wird und der Draht  $0,048\text{ mm}$  dick ist?

(HR Aufg. 36-43)



## 37 Beugung

- 37-1 Beugung und die Wellentheorie des Lichts
- 37-2 Beugung am Einzelspalt: Lokalisierung der Minima
- 37-3 Intensitäten bei der Beugung am Einzelspalt: Qualitative Betrachtung
- 37-4 Intensitäten bei der Beugung am Einzelspalt: Quantitative Betrachtung
- 37-5 Beugung an einer kreisrunden Öffnung
- 37-6 Beugung am Doppelspalt
- 37-7 Beugungsgitter
- 37-8 Beugungsgitter: Dispersion und Auflösungsvermögen
- 37-9 Röntgenbeugung