

Elektrostatik

• Coulombkraft: $F = \frac{1}{4\pi \cdot \epsilon_0} \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$

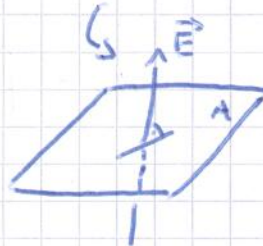
• Elektrisches Feld: $E = \frac{F}{q}$

$[E] = \frac{N}{C} = \frac{V}{m}$



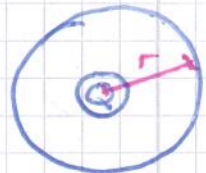
• Satz von Gauß: $\Phi_{el} = E \cdot A = \frac{Q}{\epsilon_0}$

elektrischer Fluss



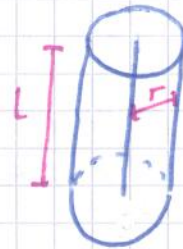
• andere elektrische Felder:

▷ Punktladung: $E = \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \cdot \frac{Q}{r^2}$



▷ langer, gerader Draht: $E = \frac{1}{2\pi \epsilon_0} \cdot \frac{Q}{r \cdot L}$
 $= \frac{1}{2\pi \epsilon_0} \cdot \frac{\lambda}{r}$

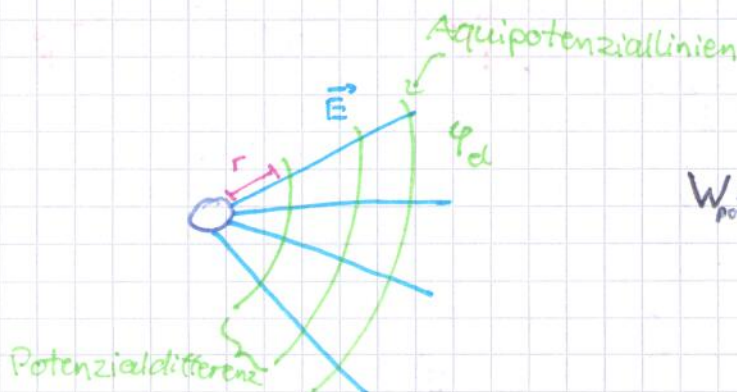
Linienladungsdichte



▷ gerade, unendlich ausgedehnte Platte: $E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} = \frac{Q}{2\epsilon_0 A}$

(nimmt nicht mit r ab!)

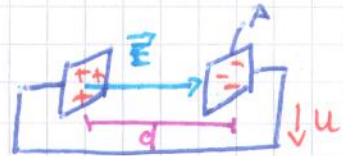
• Potenzial



$W_{pot} = E \cdot r \cdot q$

Plattenkondensator:

$$\triangleright E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} = \frac{Q}{\epsilon_0 A} = \frac{|U|}{d}$$



Kapazität $\triangleright C = \frac{|Q|}{|U|} = \frac{\epsilon_0 A}{d} \quad [C] = \frac{C}{V} = \frac{As}{V} = F$

$$\triangleright W_{\text{pot}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{Q^2}{C} = \frac{1}{2} C U^2$$

Energie el. Felder: $W_{\text{el}} = q \cdot U = \frac{1}{2} \epsilon_0 \cdot E_0^2 \cdot \underset{\text{Volumen}}{V} = \frac{1}{2} \epsilon_0 \epsilon_r E_0^2$

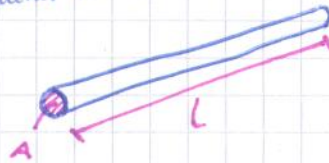
elektrischer Strom:

$$\triangleright I = \frac{dQ}{dt} \quad [I] = A$$

$$\triangleright U = R \cdot I$$

$$\triangleright R = \frac{L}{A \cdot \sigma} = \int \frac{L}{A}$$

Spezifischer Widerstand ($\rho = \frac{1}{\sigma}$)



Leistung, Leitfähigkeit

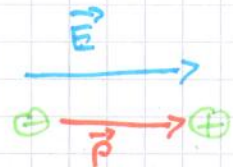
$$\triangleright P = U \cdot I = R \cdot I^2 = \frac{U^2}{R}$$

Beschl. von e^- : $v = \sqrt{\frac{2eU}{m}}$

Dipol im el. Feld:

$$\triangleright \vec{p} = q \cdot \vec{d}$$

$$\triangleright \vec{M} = \vec{p} \times \vec{E}$$

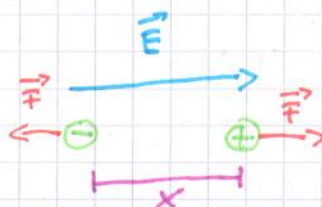


Energie im Feld $\triangleright U = -\vec{p} \cdot \vec{E}_{\text{ext}}$

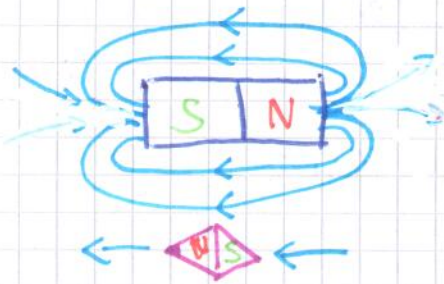
el. Flussdichte $\triangleright \vec{D} = \epsilon_0 \epsilon_r \vec{E}$

$$[D] = \frac{C}{m^2}$$

$$\triangleright F = p \cdot \frac{dE}{dx}$$



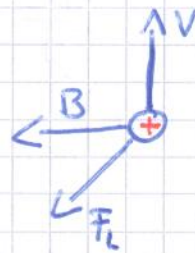
Magnetostatik



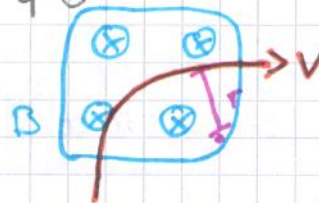
magn. Feld B

• magn. Flussdichte: $B = \frac{F}{q \cdot v}$ $[B] = \frac{N}{Am} = T$

• Lorentzkraft: $F_L = q \cdot v \cdot B$

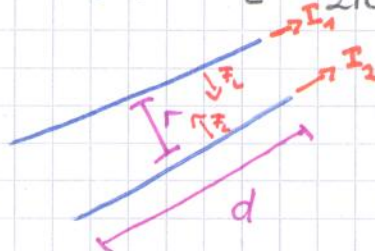


• Kreisbahn im B -Feld: $r = \frac{m \cdot v}{q \cdot B}$



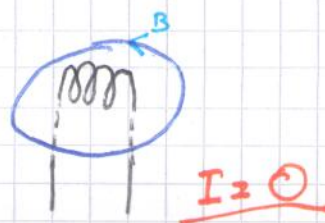
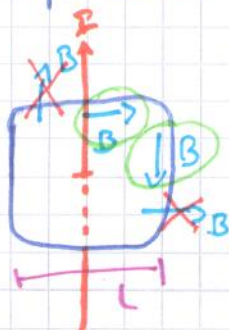
• Lorentzkraft auf Leiter: $F_L = I \cdot B \cdot d$ ← Länge des Leiters

• -"- auf zwei parallele Leiter: $F_L = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{I_1 I_2 d}{r}$



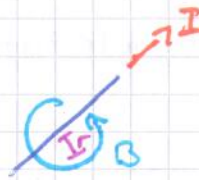
• Hallspannung: $U_{Hall} = \frac{I \cdot B}{e \cdot n \cdot d}$ ← Elektronendichte im Metall

• Ampèresches Durchflussgesetz: $I = \frac{B \cdot L}{\mu_0}$ (vereinfacht)



◦ Stromdurchflossener Leiter:

$$B = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{I}{r}$$



◦ Dipol im B-Feld: $U = -\mu \cdot B_{\text{ext}} = -I \cdot A \cdot B$

◦ Spule:

$$\triangleright B = \mu_0 \cdot \frac{N I}{d}$$

← windungen
← Länge

$$\triangleright W_{\text{Spule}} = \frac{1}{2} \mu_0 \frac{N^2 A}{d} I^2$$

Induk-
tivität $\triangleright$

$$L = \mu_0 \mu_r \frac{N^2}{d} A \quad [L] = \frac{Vs}{A} = \Omega s = H$$

◦ magn. Feldstärke: $H = \frac{B}{\mu_0 \mu_r} \quad [H] = \frac{A}{m}$

◦ Energie im B-Feld: $\frac{1}{2} \cdot \frac{B^2}{\mu_0 \mu_r}$

◦ Permeabilität:

- Diamagnetismus: $\mu_r < 1$

- Vakuum: $\mu_r = 1$

- Paramagnetismus: $\mu_r > 1$

- Ferromagnetismus: $\mu_r \gg 1$

Elektrodynamik

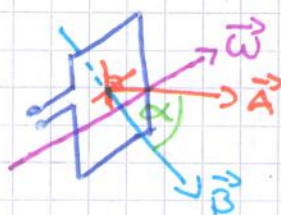
◦ Zusammenhang $\vec{B}$ - $\vec{E}$:

$$\vec{E} = \vec{v} \times \vec{B} \quad \text{bzw.} \quad \vec{B} = -\frac{1}{c^2} \vec{v} \times \vec{E}$$

◦ Induzierte Spannung:

$$\triangleright U_{\text{ind}} = -\frac{d}{dt} \Phi_m = -\frac{d}{dt} (A \cdot B) = \frac{\Delta A \cdot B}{dt} \quad \text{oder} \quad \frac{A \cdot \Delta B}{dt}$$

$$\triangleright \text{Wechselstrom: } U_{\text{ind}} = U_0 \cdot \sin(\omega t) = N \cdot B \cdot A \cdot \omega \cdot \sin(\omega t)$$



$$\triangleright \text{Selbstinduktion: } U_{\text{ind}} = -L \cdot \frac{dI}{dt} = B \cdot d \cdot V$$

$$\hookrightarrow E_{\text{pot}} = \frac{1}{2} L I^2$$

Maxwell-Gleichungen:

◦ Faradaysches Induktionsgesetz:

$$\oint_k \vec{E} \cdot d\vec{x} = -\frac{d}{dt} \int_A \vec{B} \cdot d\vec{A}$$

◦ Nicht-Existenz magnetischer Monopole:

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

◦ Satz von Gauß:

$$\Phi_{\text{el}} = \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q}{\epsilon_0}$$

◦ Ampèresches Durchflussgesetz:

$$\oint_k \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 \epsilon_0 \cdot \frac{d}{dt} \int_A \vec{E} \cdot d\vec{A}$$

Elektronik

◦ Widerstand: $R = \frac{U}{I}$

▷ Kapazitiver Wechselstromwiderstand: $R_C = \frac{U_0}{I_0} = \frac{1}{\omega C}$

▷ Induktiver Wechselstromwiderstand: $R_L = \frac{U_0}{I_0} = \omega \cdot L$

◦ Leistung: $P = U \cdot I$

▷ effektive Leistung: $P_{\text{eff}} = \frac{U_{\text{eff}}^2}{R} = \frac{1}{2} \cdot \frac{U_0^2}{R} = \frac{1}{2} \cdot U_0 \cdot I_0$

◦ effektive Spannung: $U_{\text{eff}} = \frac{1}{\sqrt{2}} U_0$

◦ effektiver Strom: $I_{\text{eff}} = \frac{1}{\sqrt{2}} I_0$

◦ elektrische Netzwerke:

▷ Knotenregel: $\sum_{j=1}^N I_j = 0$

▷ Maschenregel: $\sum_{j=1} U_j = 0$



▷ Widerstände: $\text{---}\square\text{---}$

- Reihe: $R_{\text{ges}} = R_1 + R_2$

- parallel: $R_{\text{ges}} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$

▷ Kondensatoren: $\text{---}| \text{---}| \text{---}$

- Reihe: $C_{\text{ges}} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$

- parallel: $C_{\text{ges}} = C_1 + C_2$

▷ Spulen: $\text{---}\text{m}\text{---}$

- Reihe: $L_{\text{ges}} = L_1 + L_2$

- parallel: $L_{\text{ges}} = \frac{L_1 \cdot L_2}{L_1 + L_2}$

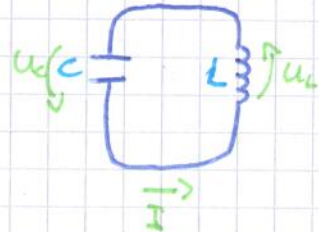
o Transformator: $\frac{I_1}{I_2} = \frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1}$

o Schwingkreis:

▷ $W = \frac{1}{2} L I_0^2 = \frac{1}{2} C U_0^2$

▷ Resonanzfrequenz: $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$

▷ $U_0 = I_0 \cdot L \cdot \Delta\omega$

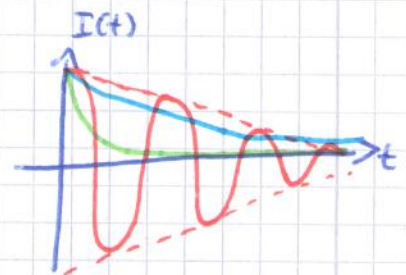


o ω mit Dämpfung: $R_{krit} = 2\sqrt{\frac{L}{C}}$

- Schwingfall: $R < R_{krit}$

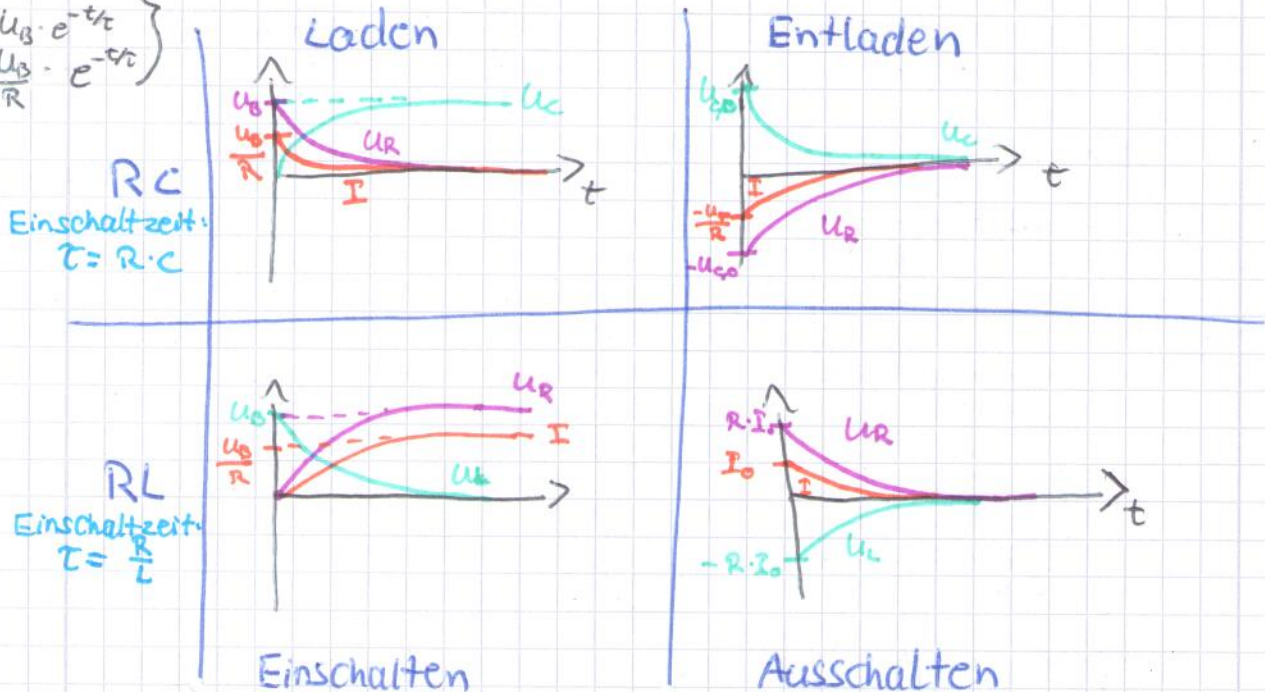
- Aperiodischer Grenzfall: $R = R_{krit}$

- Kriechfall: $R > R_{krit}$



$U_C(t) = U_B (1 - e^{-t/\tau})$
 $U_R(t) = U_B \cdot e^{-t/\tau}$
 $I(t) = \frac{U_B}{R} \cdot e^{-t/\tau}$

RL- / RC- Kreise beim Ein/Ausschalten:



RC
Einschaltzeit:
 $\tau = R \cdot C$

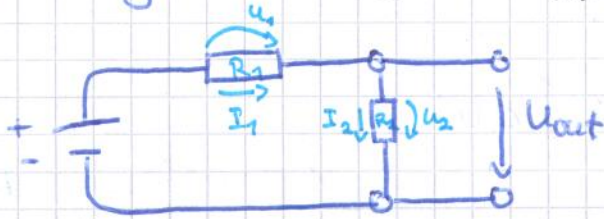
RL
Einschaltzeit:
 $\tau = \frac{R}{L}$

$U_C(t) = U_B \cdot e^{-t/\tau}$
 $U_R(t) = U_B (1 - e^{-t/\tau})$
 $I(t) = \frac{U_B}{R} (1 - e^{-t/\tau})$

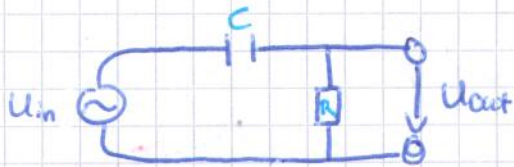
o Abstrahlung elektromagn. wellen: $f_A = \frac{c}{2L} = \frac{c}{\lambda}$

Elektronik (2)

- Spannungsteiler: $U_{\text{out}} = U_{\text{in}} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} = R_2 \cdot I$



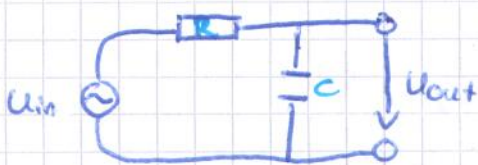
- RC - Hochpassfilter:



=> lässt nur Signale oberhalb der Grenzfrequenz f_{Grenz} durch

$$f_{\text{Grenz}} = \frac{1}{2\pi RC} \quad \left(= \frac{\omega}{2\pi} \right)$$

- RC - Tiefpassfilter:



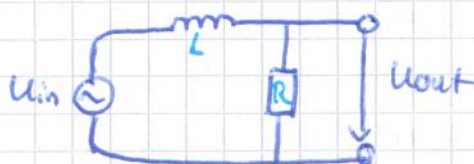
=> lässt nur Signale unterhalb der Grenzfrequenz f_{Grenz} durch

$$f_{\text{Grenz}} = \frac{1}{2\pi RC} \quad \left(= \frac{\omega}{2\pi} \right)$$

- RL - Hochpassfilter:



- RL - Tiefpassfilter:



$$f_{\text{Grenz}} = \frac{R}{2\pi \cdot L}$$

Optik

o Wellen:

$$\triangleright \lambda = \frac{2\pi}{k} \leftarrow \text{Wellenzahl}$$

$$\triangleright f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{T}$$

$$\triangleright c = \lambda \cdot f = \frac{\omega}{k} = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0/\mu_0}}$$

$$\triangleright \omega = \frac{2\pi c}{\lambda}$$

o Energie in Wellen: (/ Intensität)

$$I = \frac{P}{A} = \frac{1}{2} c \epsilon_0 E_0^2 = \frac{1}{2} \frac{E_0^2}{\mu_0 c}$$

o Impuls von Wellen: (/ Strahlungsdruck)

$$P_s = \frac{I}{c}$$

absorbiert

$$P_s = 2 \frac{I}{c}$$

wenn reflektiert

$$(\text{TB Impulse: } p = m \cdot v = \frac{h}{\lambda})$$

o Brechungsindex: $n \approx \sqrt{\epsilon_r}$

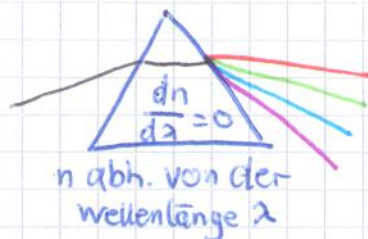
$$\triangleright c_n = \frac{c}{n}$$

$$\triangleright \lambda_n = \frac{\lambda}{n}$$

$$\triangleright k_n = k \cdot n$$

(Frequenz bleibt gleich!)

o Dispersion:



normale Dispersion:

$\frac{dn}{d\lambda} < 0 \rightarrow$ Brechzahl wird für steigende Werte kleiner

o Absorption:

$$P(x) = P_0 \cdot e^{-\mu x}$$

$$\text{bzw. } I(x) = I_0 \cdot e^{-\mu x}$$

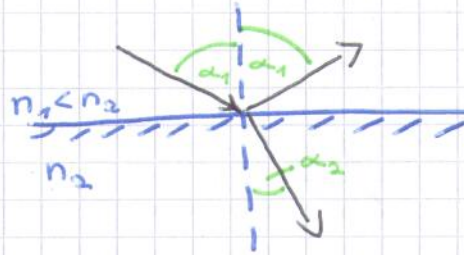
o Halbwertsdicke:

$$x_H = -\frac{\ln(0.5)}{\mu}$$

$$\mu = \frac{1}{m}$$

• Brechung:

▷ Snellius-Gesetz: $n_1 \cdot \sin(\alpha_1) = n_2 \cdot \sin(\alpha_2)$

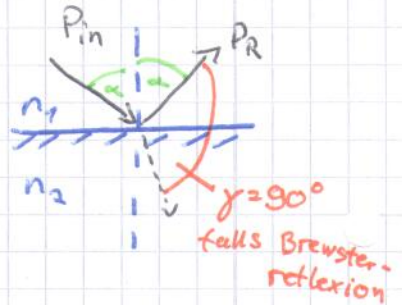


▷ Totalreflexion: $\alpha_T = \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$

($\frac{P_R}{P_{in}} = 1$)

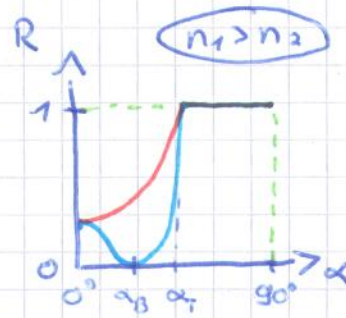
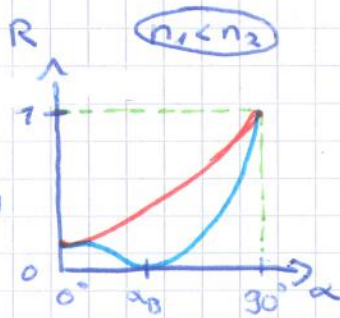
▷ Brewster-Reflexion: $\alpha_B = \arctan\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$

($\frac{P_R}{P_{in}} = 0$)



($R = \frac{P_R}{P_{in}}$)

Fresnel-Gleichung



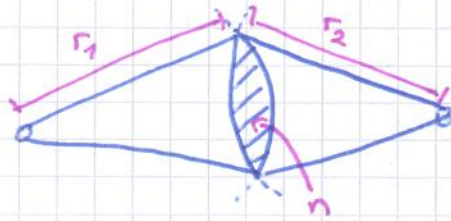
Optik (2)

• Optische Abbildungen:

▷ Konvex: D ; $f > 0$; konkav: K ; $f < 0$

▷ Brennweite: $\frac{1}{f} = (n-1) \cdot \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)$ [f] = m

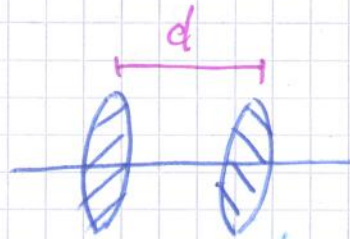
▷ Brechwert: $D = \frac{1}{f}$ [D] = $\frac{1}{m} = \text{dpt}$



• Zusammen gesetzte Linsen:

$$\frac{1}{f_{\text{ges}}} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} - \frac{d}{f_1 \cdot f_2}$$

$$d = -\frac{f_1 \cdot f_2}{f_{\text{ges}}} + f_2 + f_1$$



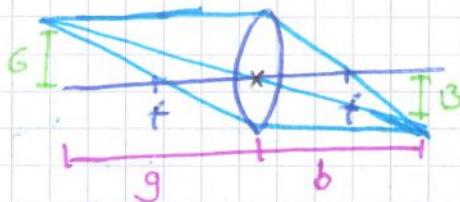
▷ für $d \ll f_1$ und f_2 : $\frac{1}{f_{\text{ges}}} \approx \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}$

• Vergrößerung: $V = \frac{B}{G} = \frac{|b|}{g} = \frac{f}{|g-f|}$

• Abstände: $b = \frac{g \cdot f}{g-f}$

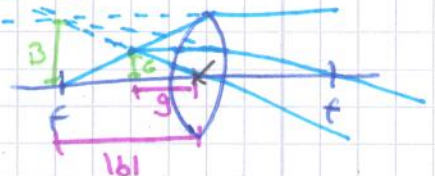
• Brennweite: $f = \frac{b \cdot g}{b+g}$

für $g > f$:



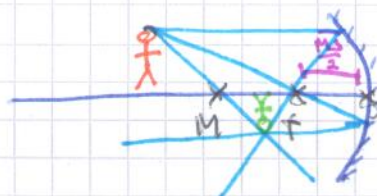
=> reelles Bild

für $g < f$:



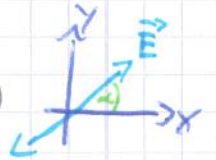
=> Virtuelles Bild

• Hohlspiegel:



o Polarisation:

▷ Linear: $\vec{E}(z,t) = E_0 \begin{pmatrix} \cos(\alpha) \\ \sin(\alpha) \end{pmatrix} \cdot \cos(kz - \omega t)$



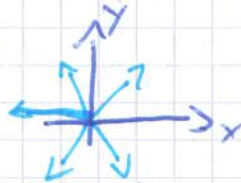
▷ Zirkulierend: $\vec{E}(z,t) = E_0 \begin{pmatrix} \cos(kz - \omega t) \\ \sin(kz - \omega t) \end{pmatrix}$



▷ elliptisch: $\vec{E}(z,t) = \begin{pmatrix} E_{0,x} \cdot \cos(kz - \omega t) \\ E_{0,y} \cdot \sin(kz - \omega t) \end{pmatrix}$



▷ unpolarisiert:



alle mögl. Polarisationen
enthalten

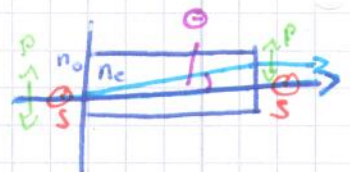
o Gesetz von Malus: $P_t = P_0 \cdot \cos^2(\alpha)$
bzw. $I_t = I_0 \cdot \cos^2(\alpha)$



▷ Zirkulierendes Licht: $P_t = \frac{1}{2} P_0$

▷ Unpolarisiertes Licht: $P_t = \frac{1}{2} P_0$

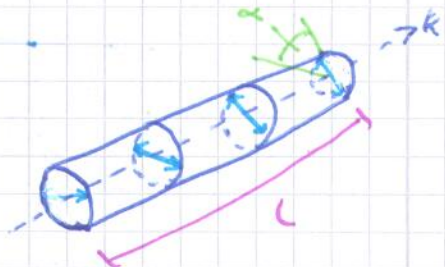
o Doppelbrechung: $n(\theta) = \frac{n_o n_e}{\sqrt{n_o^2 \cos^2(\theta) + n_e^2 \sin^2(\theta)}}$



o Optische Aktivität:

▷ in Feststoffen: $\alpha = \alpha_s \cdot L$
Spezifische Drehung (°/cm)

▷ in Flüssigkeiten: $\alpha = \alpha_s \cdot L \cdot c$
Konzentration (g/cm³)

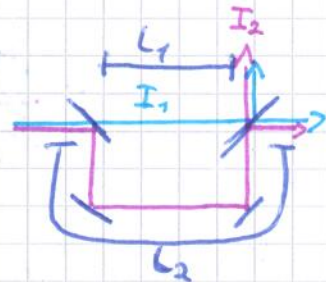


Optik (3)

- Kohärenzzeit: $\tau_c = \frac{1}{\Delta f}$
- Kohärenzlänge: $l_c = \tau_c \cdot c$

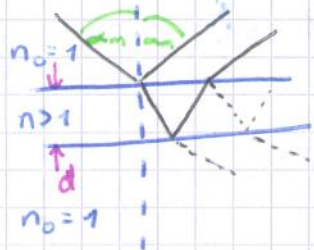
- Mach-Zehnder-Interferometer:

$$\left. \begin{aligned} \triangleright I_1 &= I_0 \cdot \cos^2\left(\frac{k \cdot \Delta L}{2}\right)^2 \\ \triangleright I_2 &= I_0 \cdot \sin^2\left(\frac{k \cdot \Delta L}{2}\right)^2 \end{aligned} \right\} \text{ für } \Delta L \ll l_c$$



- Dünnschichtinterferenz:

$$\triangleright \text{konst. Interferenz: } 2d \sqrt{n^2 - \sin^2(\alpha_m)} = (m - \frac{1}{2}) \lambda \quad (m \in \mathbb{N})$$



- Beugung:

- Einzelspalt: spaltdurchmesser

$$\text{- Maxima: } a \cdot \sin(\alpha) = (m + \frac{1}{2}) \cdot \lambda \quad (m \in \mathbb{N})$$

$$\text{- Minima: } a \cdot \sin(\alpha) = m \cdot \lambda$$

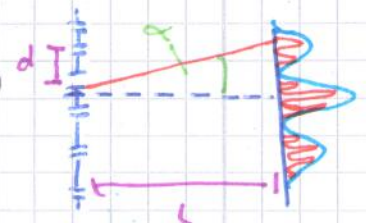


- Gitter / Mehrfachspalt: Spaltabst./ Gitterkonstante

$$\text{- Maxima: } d \cdot \sin(\alpha) = m \cdot \lambda \quad (m \in \mathbb{N})$$

$$\text{- Minima: Gitter: überall sonst}$$

Meh-f.spalt: schwierig...

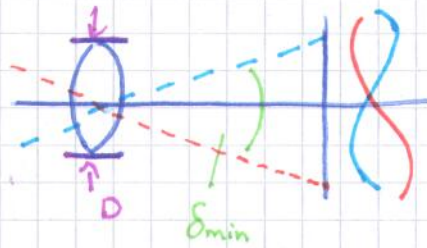


$$(x = \tan(\alpha) \cdot L)$$

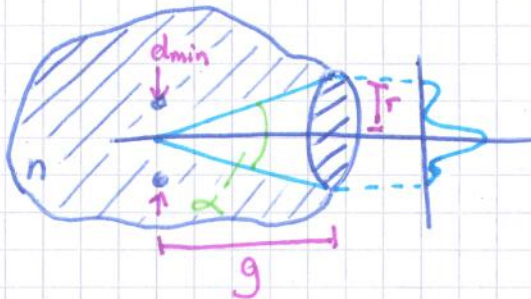
- Linse:

o Auflösungsvermögen:

▷ Rayleigh - Kriterium: $\sin(\delta_{\min}) = 1,22 \cdot \frac{\lambda}{D}$



▷ Abbe - Kriterium: $d_{\min} = \frac{\lambda}{n \cdot \sin(\alpha)} = \frac{\lambda}{n \cdot \sin(\arctan(\frac{r}{g}))}$



o Quantenoptik:

▷ $E_{\text{photon}} = h \cdot f = \hbar \cdot \omega$

Impuls $\downarrow$
▷ $P_z = \frac{h}{\lambda} = \hbar \cdot k = \hbar \cdot \frac{k}{2\pi}$

Leistung $\downarrow$
▷ $P_L = j \cdot \hbar \cdot \omega = j \cdot E$
Photonenrate
($j = \frac{N}{t}$)

TB: $\omega = \frac{2\pi \cdot c}{\lambda} = 2\pi \cdot f$

$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{1}{T}$

$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} m \cdot v^2$

$E_d = U \cdot c$

▷ Wiensches Verschiebungsgesetz: $\lambda_{\max} = \frac{2897,8 \mu\text{mK}}{T}$

▷ Stefan-Boltzman-Gesetz: $P = \sigma \cdot A \cdot T^4$
Boltzman-Konstante $\uparrow$

▷ Austrittsarbeit: $W_A = h \cdot f_{\text{Grenz}}$

▷ Compton-Streuung: $\Delta\lambda = \lambda - \lambda' = \lambda_c (1 - \cos(\phi))$
Streuungswinkel ϕ

▷ Compton-Wellenlänge: $\lambda_c = \frac{h}{m_e \cdot c}$

Quantenphysik

◦ Materiewellen: $\lambda_{\text{deBroglie}} = \frac{h}{p} \quad (= \frac{h}{m_e \cdot v})$

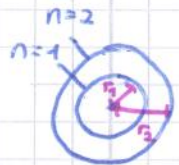
◦ Heisenberg'sche Unschärferelation: $\Delta x \cdot \Delta p \gtrsim h$

bzw.: $\Delta k \gtrsim \frac{2\pi}{\Delta x}$

bzw.: $\Delta p \gtrsim \frac{h}{\Delta x}$ Lechdurchmesser

◦ Kopenhagener Deutung: $W(\vec{r}) = |\Psi_e(\vec{r})|^2$

◦ Quantisierte Bahnen: $r_n = \alpha_{\text{Bohr}} \cdot \frac{n^2}{Z}$ Schale
 $\alpha_{\text{Bohr}} = \frac{e_0 h}{\pi \cdot m_e \cdot e^2} \approx 0,5 \text{ \AA}$ Anzahl Protonen



◦ Quantisierte Energien: $E_n = -E_{Ry} \cdot \frac{Z^2}{n^2}$

◦ Übergangswellenlänge: $\lambda = \frac{h \cdot c}{\Delta E}$



$\Delta E = E_n - E_m = h \cdot f = E_{Ry} \cdot Z^2 \cdot \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$

◦ Bahnmoment des Elektrons: $|\vec{L}_e| = \hbar \sqrt{L(L+1)} \quad L \in \{0, 1, 2, \dots, (n-1)\}$ (n ∈ ℕ)

◦ Magn. Quantenzahl: $L_{z,m} = m \cdot \hbar \quad m \in \{0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm L\}$

◦ Spin Quantenzahl: $m_s = \pm \frac{1}{2}$

◦ Elektronenaufnahme je Hauptquantenzahl:

- n = 1 → 2e ⁻	} 2n ²
- n = 2 → 8e ⁻	
- n = 3 → 18e ⁻	
- n = 4 → 32e ⁻	
- n = 5 → 50e ⁻	

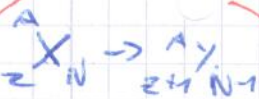
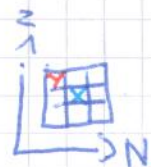
ooo

◦ Bindungsenergie der Nukleonen im Kern: $E_{B,K} = \Delta m_k \cdot c^2$ nuklearer Massendefekt

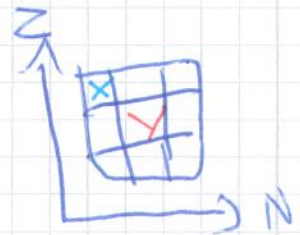
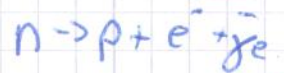
- o isoton: gleiche Anzahl Protonen
- o isobar: gleiche Massenzahl
- o isoton: gleiche Anzahl Neutronen
- o Kernzerfälle:

Kernzerfälle:

- β^- -Zerfall: Kerne mit Neutronenüberschuss
 $\rightarrow e^-$ wird abgegeben

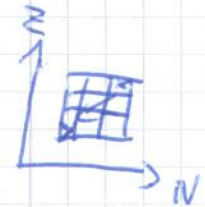


- β^+ -Zerfall: Kerne mit Protonenüberschuss
 $\rightarrow e^+$ wird abgegeben

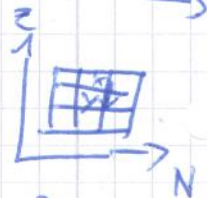


- γ -Zerfall: Kern nach Zerfall in angeregtem Zustand
 $\rightarrow \gamma$ wird abgegeben

- α -Zerfall: ${}_Z^A X_N \rightarrow {}_{Z-2}^{A-4} Y_{N-2} + {}_2^4 \text{He}_2$



- Protonenemission: ${}_Z^A X_N \rightarrow {}_{Z-1}^{A-1} Y_{N-1} + p$



- Neutronenemission: ${}_Z^A X_N \rightarrow {}_Z^{A-1} X_{N-1} + n$



Zerfallsgesetze

zerfallszeit

$$N(t) = N_0 \cdot e^{-t/\tau}$$

Halbwertszeit $N(T_{1/2}) = \frac{N_0}{2} \rightarrow T_{1/2} = \tau \cdot (\ln(2))$

Aktivität:

$$A = \frac{N_0}{\tau} \cdot e^{-t/\tau} \quad [A] = \text{Bq}$$

zerfälle/sekunde

Strahlenschäden

• Dosis: $D_T = \frac{\Delta E}{m} \quad [D] = \frac{\text{J}}{\text{kg}} = \text{Gy}$

• Äquivalentdosis:
(biologische Wirkung)

$$H = D \cdot Q \quad [H] = \text{Sv}$$

Qualitätsfaktor