EXPERIMENTALPHYSIK 2

Konstanten

Elektrische Feldkonstante:
$\varepsilon_0 \approx 8.8541878128 \cdot 10^{-12} \frac{C^2}{Nm^2}$
Elementarladung:
$e = 1.602176634 \cdot 10^{-19} C$
Elektronenmasse:
$m_{e^-} \approx 9.1093837015 \cdot 10^{-31} kg$
Protonenmasse:
$m_{p^+} \approx 1.67262192369 \cdot 10^{-27} kg$
Magnetische Feldkonstante:
$\mu_0 \approx 1.25663706212 \cdot 10^{-6} \frac{N}{A^2}$
Lichtgeschwindigkeit:
$c = 299792458 \frac{m}{s} \approx 3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$

1 Elektrostatik

$\vec{F}_C = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \vec{e}_r$
$\vec{E}(\vec{r}) = \frac{\vec{F}_C(\vec{r})}{q} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{Q}{r^2} \vec{e}_r$
$Q(\vec{r}) = \int \rho(\vec{r}) dV$
$\vec{E}(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \int \frac{\vec{R}-\vec{r}}{|\vec{R}-\vec{r}|^3} \rho(\vec{r}) dV$
Dipolmoment:
$\vec{p} = q \cdot \vec{a}$
Drehmoment auf einen elek. Dipol:
$\vec{M}_{el} = \vec{p} \times \vec{E}$
Elektrischer Fluss:
$\Phi_{el} = \int \vec{E} d\vec{A}$, $[\Phi_{el}] = \frac{N}{C \cdot m^2}$
Im R-feld: $\Phi_{el} = \frac{Q}{\varepsilon_0}$ unabh. von R
Gauß'scher Satz (Erste Maxwell Gl.):
$\oint_A \vec{E} d\vec{A} = \frac{Q_{innen}}{\varepsilon_0}$
E-Feld auf einer Kondensatorplatte:
$\vec{E} = \frac{\sigma}{\varepsilon_0} \vec{n}$
E-Feld um einen langen Draht:
$E = \frac{1}{2\pi\varepsilon_0} \frac{\lambda}{R}$
(mit Linienladungsdichte: $\lambda = \frac{Q}{L}$)
Potential Punktladung:
$E_{pot} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{qQ}{r}$
Coulombpotential:
$\varphi(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{Q}{r}$
Dipol:
$\varphi(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} [\frac{q}{\vec{r}-\frac{\vec{a}}{2}} + \frac{-q}{\vec{r}+\frac{\vec{a}}{2}}]$
für $r >> d$;$\varphi(\vec{r}) = \frac{\vec{p} \cdot \vec{r}}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$
Drehmoment und Arbeit eines Dipols:
$\vec{M} = \vec{d} \times \vec{F} = \vec{p} \times \vec{E}$
$E_{pot} = -\vec{p}\vec{E}$
Elektrisches Potential:
$\varphi(\vec{r}) = \frac{E_{pot}(\vec{r})}{q}$; $[\varphi] = \frac{J}{C} = V$
$\vec{E}_{(\vec{r})} = -grad(\varphi_{(\vec{r})})$
El. Potential beliebiger Ladungsvert.:
$\varphi(\vec{R}) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \int \frac{\rho(\vec{r})}{|\vec{R}-\vec{r}|} dv$
Elektrische Spannung:
$U_{12} = \Delta\varphi_{12} = \varphi_2 - \varphi_2 = -\int \vec{E} d\vec{s}$
Laplacegleichung:
$\Delta\varphi = -\frac{\rho}{\varepsilon_0}$

1.1 Kondensator:

Flächenladungsdichte:
$\vec{\sigma} = \frac{Q}{A}$
Kapazität:
$C = \frac{Q}{U}$;$[C] = \frac{C}{V} = F$
Kapazität einer Kugel:
$C_{Kugel} = 4\pi\varepsilon_0 R$
Kapazität Plattenkondensator:
$C_0 = \frac{A\varepsilon_0}{d}$ *(d = Abstand; A = Fläche)*
Energie im Kondensator:
$E_C = \frac{1}{2} C U^2 = \frac{1}{2} \varepsilon_0 \cdot A \cdot d \cdot \vec{E}^2$
(E_C = Energie; $\vec{E}$ = El. Feldstärke)
Reihenschaltung:
$\frac{1}{C_{ges}} = \sum \frac{1}{C}$; $U_{ges} = \sum U$
$\frac{U_1}{U_{Ges}} = \frac{C_{Ges}}{C_1}$ *(U-Abfall an 1. Kond.)*
Parallelschaltung:
$C_{ges} = \sum C$; $\frac{1}{U_{ges}} = \sum \frac{1}{U}$

1.2 Dielektrika:

Kapazität mit Dielektrikum:
$C_{Diel} = \varepsilon_r C_0 = \frac{A\varepsilon_r\varepsilon_0}{d}$
E-Feld mit Dielektrikum:
$\vec{E}_{Diel} = \frac{\vec{E}_0}{\varepsilon_r} = \frac{1}{\varepsilon_0}(\sigma_{Platte} - \sigma_{Isolator})$
$E_0 = \frac{\varepsilon_r}{\varepsilon_0} \cdot \sigma_{tot}$
Polarisierbarkeit:
$\vec{P} = \frac{1}{V} \sum_{i=1}^{n} \vec{p_i}$
$\vec{p_i} = q \cdot \vec{d_i}$; $[P] = \frac{C}{m^2}$
$\vec{P} = \varepsilon_0 \vec{E}_0 (1 - \frac{1}{\varepsilon_r}) =$
$\varepsilon_0 \vec{E}_{Diel} (\varepsilon_r - 1) = \chi \varepsilon_0 \vec{E}_{Diel}$
mit Elek. Suszeptibilität $\chi = (\varepsilon_r - 1)$
Dielektrische Verschiebung:
$\vec{D} = \varepsilon_0 \cdot \vec{E}_{Diel} + \vec{P} = \varepsilon_r \varepsilon_0 \vec{E}_{Diel} =$
$\varepsilon_0 \vec{E}_0$
$[\vec{D}] = \frac{C}{m^2}$
$\vec{D} = \frac{Q}{A}$ *(Kondens.:Ladung/Fläche)*
$\vec{E}_{Diel}$ = Feld im Medium
$\vec{E}_0$ =Feld im Vakuum
Energiedichte im Dielektrikum:
$w_e = \frac{1}{2} \vec{E} \cdot \vec{D}$

2 Elektrische Gleichströme

Strom:
$I = \frac{\mathrm{d}Q}{\mathrm{d}t}$
$I = \int_A \vec{j} d\vec{A} = \int_V \dot{\rho} dV$
Stromdichte:
$j = \frac{I}{A} = \rho\vec{v} = nq\vec{v}_D = \sigma\vec{E}$
(n Ladungsträgerdichte, q Einzelladg., v Geschw., $\sigma = \frac{l}{RA}$ *spez. Leitfähkt.)*
Spez. Leitfähigkeit:
$\sigma = \mu n q_e$
(μ Beweglichkeit Ladungsträger)
Kontinuitätsgleichung:
$\frac{d\rho}{dt} + div\vec{j} = 0$
Widerstand/Spannung:
$U = RI$
El. Leistung für ohmsche Leiter:
$P = U \cdot I = R \cdot I^2 = \frac{U^2}{R}$
Reihenschaltung:
$R_{ges} = \sum_i R_i$; $U_{ges} = \sum_i U_i$
Parallelschaltung:
$\frac{1}{R_{ges}} = \sum_i \frac{1}{R_i}$; $I = \sum_i I_i$;
$U_{ges} = \sum_i U_{i,a}$
Kirchhoffsche Regeln:
Knoten:$\sum I = 0$;Masche:$\sum U = U_{quell}$

3 Magnetostatik

Magnetischer Fluss:
$\Phi_m = \int_A \vec{B} d\vec{A}$
$[B] = \frac{Vs}{m^2} = 1T$; $[\Phi_m] = 1Vs = 1Wb$
Die Lorentzkraft auf ein Kabel:
$\vec{F}_L = I \cdot (\vec{l} \times \vec{B})$
Lorentzkraft auf einen Ladungsträger:
$\vec{F}_L = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$
Zyklotronfrequenz:
$\omega = \frac{q}{m} \cdot B$ unabh. von v
für relativistische Energien:
$\omega_{rel} = \frac{q}{\gamma m} \cdot B$
Drehmoment einer Leiterschleife:
$\vec{M} = I(\vec{A} \times \vec{B})$
Magnetisches Moment:
$\vec{\mu} = I \cdot \vec{A}$; $[\mu] = Am^2$
Drehmoment auf einen mag. Dipol:
$\vec{M} = \vec{\mu} \times \vec{B}$
Hall-Effekt:
$\vec{F}_{el} = \vec{F}_{mag}$
$U_H = R_H \frac{I}{d} B$; $R_H = \frac{1}{nq}$
Magnetfeld um Kabel:
$r > R \Longrightarrow B_{(r)} = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$
$r < R \Longrightarrow B_{(r)} = \frac{\mu_0 I}{2\pi R^2} r$
B-Feld eines Leiters:
$\vec{B} = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I}{r} (\vec{l} \times \vec{r})$
B-Kraft zwischen 2 Leitern:
$\vec{F}_{21} = -\frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I_1 I_2 l}{r_{21}} \hat{e}_{21}$
B-Feld einer langen Spule:
$B_{Spule} = \mu_0 n I$; $n = \frac{N}{L}$
Biot-Savart-Gesetz:
$d\vec{B}(\vec{r}) = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{\vec{j}(\vec{r}') \times (\vec{r} - \vec{r}')}{|\vec{r} - \vec{r}'|^3} dV'$ bzw.
$\vec{B}(\vec{r}) = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int \frac{d\vec{s}' \times (\vec{r} - \vec{r}')}{\|\vec{r} - \vec{r}'\|^3}$
Allg. Lösung für Stromschleifen beliebiger Form:
$\vec{B}(\vec{r}) = \frac{\mu_0}{4\pi} (3 \frac{\vec{\mu} \cdot \vec{r}}{r^5} \cdot \vec{r} - \frac{1}{r^3} \vec{\mu})$

4 Materie im Magnetfeld

$\oint (\vec{B} - \mu_0 \vec{M}) d\vec{s} = \mu_0 I_{frei}$
Magnetische Erregung:
$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{M}$; $[M] = [H] = \frac{A}{m}$
$\oint \vec{H} d\vec{s} = I_{frei}$
$\vec{B} = \mu_0 \mu \vec{H} = \mu_0 (\chi_m + 1) \vec{H}$
Die Magnetisierung:
$\vec{M} = \chi_m \vec{H} = \frac{1}{V} \sum_i \vec{\mu}_i$
χ_m *mag. Suszeptibilität (dimlos)*
Diamagnetismus:
orientiert sich gegen das Feld und schwächt das Feld
Paramagnetismus:
zusätzliches mag. Dipolmoment im Material, verstärkt das Feld lokal
Ferromagnetismus:
Material mit einer hohen Dichte von inneren mag. Dipolmomenten, geht überhalb einer T_{krit} *verloren*
Curie-Weiss-Gesetz:
$\chi_m = \frac{C}{T - T_C}$,$T_C$ krit. Temp.

5 Induktion, Wechselfelder

$U_i = \oint E dl = vBl$
Faraday'sches Induktionsgesetz:
$U_{ind} = N \oint_c \vec{E}_{ind} d\vec{s} = -N \cdot \dot{\Phi}_m$
$\Phi_m = \int_A \vec{B} dA$
$U_i =$
$-\dot{B} A \cos\omega t - B\dot{A} \cos\omega t + \omega BA \sin\omega t$
Daher Strom im Dynamo:
$I_{ind} = \frac{U_{ind}}{R} = \frac{-N\dot{\Phi}_m}{R} =$
$\frac{-N \int_A \frac{\mathrm{d}\vec{B}}{\mathrm{d}t} dA}{R}$
Lenz'sche Regel:
Die durch Ind. entstehenden Ströme, Kräfte usw. wirken der die Ind. hervorrufenden Ursache stets entgegen. $\Longrightarrow$ *Energieerhaltung*
Idealer Transformator:
$U_1 = -N_1 \dot{\Phi}_m$; $U_2 = -N_2 \dot{\Phi}_m$
$U_2 = \frac{N_2}{N_1} \cdot U_1$
$I_2 = \frac{N_1}{N_2} I_1$
$P_1 = P_2 = U_2 I_2 = U_1 I_1$
Induktivität:
$\Phi_m = L \cdot I$; $[L] = \frac{Vs}{A} = 1H$
Induktivität einer Spule: $L = \mu\mu_0 \frac{N^2}{l} A$
Ind. einer Drahtschleife: $L = \mu_0 R \ln \frac{R}{r}$
Doppelleitung: $L = \mu_0 l \frac{1}{\pi} \ln \frac{a}{r}$
Koaxialkabel: $L = \frac{\mu_0 l}{2\pi} \ln \frac{r_a}{r_i}$
Selsbtinduktionspannung:
$U_{ind} = -\dot{\Phi}_m = -L\dot{I}$

6 Schaltvorgänge

6.1 Induktivität im Stromkreis(LR-Glied):

Einschalten:
$I(t) = \frac{U_0}{R} (1 - e^{-\frac{R}{L} \cdot t})$
Ausschalten:
$I(t) = \frac{U_0}{R} e^{-\frac{t}{\tau}}$
mit $\frac{L}{R} = \tau$ Abklingzeit

6.2 Kapazität im Stromkreis(RC-Glied)

Einschalten:
$\dot{I} R + \frac{I}{C} = 0$
$\Longrightarrow I(t) = \frac{U_0}{R} e^{-\frac{t}{R \cdot C}}$ mit $R \cdot C = \tau$
$I_0 = \frac{U_0}{R}$
$U_C(t) = U_0 (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$
Ausschalten:
$I \cdot R + \frac{Q}{C} = 0$
$I(t) = -\frac{U_0}{R} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$
$U(t) = U_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$

7 Wechselstrom, Schwingkreise

Ohmscher Widerstand: $\phi = 0$
Spule: $\phi = -\frac{\pi}{2}$
Kondensator: $\phi = \frac{\pi}{2}$
Im Komplexen: $tan(\phi) = \frac{Im(Z)}{Re(Z)}$
Komplexer Strom/Spannung:
$U_t = U_0 e^{i\omega t} = \hat{U} e^{i\omega t}$
$I_t = I_0 e^{i(\omega t - \varphi)} = \hat{U} e^{i\omega t}$
Feldenergien:
$W_{el} = \int_0^t P(t) dt$ *(Allgemein)*
$W_{RC} = \frac{1}{2} C U(t)^2 = \frac{1}{2} \varepsilon\varepsilon_0 A \cdot d \cdot \vec{E}^2$
(RC-Schwingkreis)
$W_{RL} = \frac{1}{2} L I^2 = \frac{1}{2} \mu\mu_0 A \cdot l \cdot \vec{H}^2$
(RL-Schwingkreis)
Energiedichten:
$w_{el} = \frac{1}{2} \vec{E} \cdot \vec{D}$
$w_{mag} = \frac{1}{2} \vec{B} \cdot \vec{H}$
$w_{el+mag} = \frac{1}{2} (\vec{E} \cdot \vec{D} + \vec{B} \cdot \vec{H})$

7.1 RCL-Schwingkreis:

Mittlere Leistung:
$\bar{P}(t) = \frac{1}{T} \int_0^T P(t) dt$
komplexe Impedanzen:
$\hat{Z}_R = R$;$\hat{Z}_L = i\omega L$, $\hat{Z}_C = \frac{1}{i\omega C} =$
$-i \frac{1}{\omega C}$ Frequenz und Dämpfung:
$\omega_0^2 = \frac{I}{LC}$; $\gamma = \frac{R}{2L}$
Schwingfälle:
$\omega_0 > \gamma \Longrightarrow$ *Schwingfall*
$\omega_0 < \gamma \Longrightarrow$ *Kriechfall*
$\omega_0 = \gamma \Longrightarrow$ *Aperiodischer Grenzfall*

8 Elektromagnetische Wellen

Transversal oder longitudinal
Harmonische ebene Welle:
$y(\vec{x}, t) = A \cdot \sin(\vec{k} \cdot \vec{x} - \omega \cdot t)$
fester Ort x_0:
$y(\vec{x_0}, t) = -A \cdot \sin(\omega \cdot t + \hat{\varphi})$
feste Zeit t_0:
$y(\vec{x}, t_0) = A \cdot \sin(\vec{k} \cdot \vec{x} + \hat{\varphi})$

Superposition:
$y(\vec{x},t)=\sum\limits_{i=1}^{n} y_i(\vec{x},t)$
$v_{ph}=\frac{\lambda}{T}=\frac{\omega}{k}$
Überlagerung zweier Wellen mit unt. Frequenz und gleicher Amplitude:
$\Psi_1(x,t)=A\cdot\cos k_1x-\omega_1t$
$\Psi_2(x,t)=A\cdot\cos k_2x-\omega_2t$
$\Psi_{ges}=2A\cos k^*x-\omega^*t\cdot$
$\cos\frac{k_1-k_2}{2}x-\frac{\omega_1-\omega_2}{2}t$
mit $k^*=\frac{k_1+k_2}{2}$ und $\omega^*=\frac{\omega_1+\omega_2}{2}$
Das Fourier-Integral:
$f(t)=\frac{1}{\pi}\int\limits_0^\infty[a(\omega)\cos\omega t+b(\omega)\sin\omega t]d\omega$
Die D'Alembert-Gleichung:
$\frac{\partial^2\Psi}{\partial t^2}=v^2\frac{\partial^2\Psi}{\partial x^2}=v^2\Delta\Psi$
$\frac{\partial}{\partial t}rot(\vec{B})=rot(\frac{\partial}{\partial t}\vec{B})$
$rot(rot(\vec{E}))=-div(grad(\vec{E}))=\Delta\vec{E}$
$\frac{\partial^2\vec{E}}{\partial t^2}=\frac{1}{\varepsilon_0\mu_0}\Delta\vec{E}$
$\frac{\partial^2\vec{B}}{\partial t^2}=\frac{1}{\varepsilon_0\mu_0}\Delta\vec{B}$
In Materie:
$\sqrt{\frac{1}{\varepsilon\mu\varepsilon_0\mu_0}}=\frac{c}{n}$
mit Brechungsindex $n=\sqrt{\varepsilon\mu}$
Ebene Welle:
$\vec{E}(\vec{r},t)=\vec{E}_0\cdot\sin\vec{k}\vec{r}-\omega t$
Im Vakuum gibt es nur transversale el.mag. Wellen
Betrag der Felder:
$|\vec{B}|=\frac{|\vec{E}|}{c}\Longrightarrow B_0=\frac{E_0}{c}$
Für eine Welle der Form $E_y(x,t)$ gilt
$rot\vec{E}=-\frac{\partial B_z}{\partial t}$
Phasengeschwindigkeit: $v_{ph}=\frac{\omega}{k}$
Gruppengeschwindigkeit: $v_{gr}=\frac{\mathrm{d}\omega}{\mathrm{d}k}$
Linear polarisierte Welle:
E und B sind immer senkrecht zueinander und schwingen in Phase
Zirkularpolarisierte Welle:
$E_{0,z}=E_{0,y}$
Elliptisch polarisierte Welle
$E_{0,z}\neq E_{0,y}$
Unpolarisierte Welle:
Keine feste Phasenbeziehung
Kugelwelle:
$\vec{E}=\frac{\vec{E}_0}{r}\cdot\sin\vec{k}\cdot\vec{r}-\omega t$
$\vec{B}=\frac{\vec{B}_0}{r}\cdot\sin\vec{k}\cdot\vec{r}-\omega t$
Poynting-Vektor (*Gibt gerichteten Energiefluss bzw. die Energieflussdichte/Leistung an)*:
$\vec{S}_t=\frac{1}{\mu_0}(\vec{E}\times\vec{B})$; $|\vec{S}|=w_{em}c=$
$\varepsilon_0c|\vec{E}|^2=\varepsilon_0c^2|\vec{E}||\vec{B}|=|\vec{E}||\vec{H}|$
Herzscher Dipol:
Nahfeldnäherung: $E\propto\frac{1}{r^3}$; $B\propto\frac{1}{r^2}$
Fernfeldnäherung: $E\propto\frac{1}{r^2}$; $B\propto\frac{1}{r}$

9 Optik

Huygensches Prinzip:
Eine Welle breitet sich so aus, dass jeder erreichte Punkt selbst zum Zentrum einer Kugelwelle wird.

9.1 Einzelspalt:

Destruktive Interferenz:
$\Delta s=(n-\frac{1}{2})\lambda$
Konstruktive Interferenz:
$\Delta s=n\lambda,\ n\in\{0,1,2,..\}$
Energievert. auf Schirm:
$E(K)=\frac{2A_0}{Ka}\sin\frac{Ka}{2}$?????
Intensitätsvert. auf Schirm:
$I(K)=I_0\left(\frac{\sin(K\frac{a}{2})}{K\frac{a}{2}}\right)^2$ *mit* $I\propto E^2$
Intensitätsminima:
$a\sin\Theta=n\lambda$ *; n = 1,2,3...;a=*$\frac{Spaltbreite}{2}$

9.2 Doppelspalt:

Gangunterschied: $\delta x=d\sin(\theta)$
Konstr. Int.: $\delta x=d\sin(\theta)=n\lambda$
Destr. Int.: $\delta x=d\sin(\theta)=(n+\frac{1}{2})\lambda$
Intensität: $I_{max}=4I_0\cos^2(\frac{1}{2}\delta)$
Energievert. auf Schirm:
$E(K)=2\cos(K\frac{d}{2})\frac{\sin(K\frac{a}{2})}{K\frac{a}{2}}$
Intensitätsvert. auf Schirm:
$I(K)=4I_0\cos^2(K\frac{d}{2})\left(\frac{\sin(K\frac{a}{2})}{K\frac{a}{2}}\right)^2$
mit $I\propto E^2$

9.3 Mehrfachspalt:

Hauptmaxima: $sin(\theta)=n\frac{\lambda}{d}$
Intensitätsvert. auf Schirm:
$I(K)\propto\left(\frac{\sin(n-K\frac{a}{2})}{\sin(K\frac{a}{2})}\right)^2\left(\frac{\sin(K\frac{a}{2})}{K\frac{a}{2}}\right)^2$
mit $I\propto E^2$

9.4 Sonstiges:

Kohärenz:
$L=c\tau$ *(L (τ) Kohärenzlänge (-zeit))*
Fraunhoferbeugung:
$E(\Theta,t)=e^{-i\omega t}\int A(x)e^{-iKx}dx$ *; mit* $K=k\sin\Theta$*, in Fernfeldnäherung*
Fermatsches Prinzip:
Das Licht beschreibt immer den Weg, bei dem die Zeit ein lokales Minimum aufweist
Der optische Weg:
$s'=\int n(s)ds$
Reflexion:
Einfallswinkel=Ausfallswinkel
Brechungsindex:
$n=\sqrt{\varepsilon_r\mu_r}=\frac{c_{vac}}{c_{med}}$

9.5 Polarisation und Frenelsche Formeln

Sonne und Glühlampe liefern unpol. Licht Polarisation kann erzeugt werden durch:
1) Absorption
2)Streuung
3)Reflexion
4)Doppelbrechung
Gesetz von Malus:
$I=I_0\cdot\cos\theta^2$
mit I Intensität hinter dem Analysator und I_0 Intensität am Analysator und θ Wk zw. Transmissionsachsen
Fresnelsche Formeln: für Reflexion und Transmission:
$R_\perp(\alpha,\beta)=(\frac{sin(\alpha-\beta)}{sin(\alpha+\beta)})^2$
$R_\|(\alpha,\beta)=(\frac{tan(\alpha-\beta)}{tan(\alpha+\beta)})^2$
$T_\perp(\alpha,\beta)=(\frac{2sin\beta\cdot cos\alpha}{sin(\alpha+\beta)})^2$
$T_\|(\alpha,\beta)=(\frac{2sin\beta\cdot cos\alpha}{sin(\alpha+\beta)\cdot cos(\alpha+\beta)})^2$
Gesetz von Brewster: $\tan\theta_{Br}=\frac{n_2}{n_1}$

9.6 Linsenoptik:

Abbbildungsgleichung dünner Linsen:
$\frac{1}{f}=\frac{1}{g}+\frac{1}{b}$
Linsenschleifergleichung:
$\frac{1}{f}=(n-1)(\frac{1}{R_1}-\frac{1}{R_2})$

10 Spezielle Relativitätstheorie

Mit gestrichenem bewegtem Bezugssystem:
$t'=\gamma t$; $L'=\frac{L}{\gamma}$; $ct'=\gamma ct-\beta\gamma x$
Trafo: $\begin{pmatrix} ct' \\ x_1' \end{pmatrix}=\Lambda\begin{pmatrix} ct \\ x_1 \end{pmatrix}$
Zeitdilatation: $t=\gamma t_0$
Längenkontraktion: $L=\frac{L_0}{\gamma}$

10.1 Minkowski-Raum:

$\eta=\begin{pmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix},\Lambda=\begin{pmatrix} \gamma & \beta\gamma \\ \beta\gamma & \gamma \end{pmatrix}$
$\beta=\frac{v}{c},\gamma=\frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}}=\frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$
x^μ Vektor, $\eta x=\eta_{\mu\nu}x^\nu=x_\mu$
x_μ Dualvektor,
$x^\mu(\eta x)_\mu=x^\mu(\eta_{\mu\nu}x^\nu)=x^\mu x_\mu$

11 MAXWELL-GLEICHUNGEN

Lorentzkraft: $\vec{F}=q(\vec{E}+\vec{v}\times\vec{B})$

11.1 Im Vakuum:

- $rot(\vec{B})=\mu_0\vec{j}+\underbrace{\frac{1}{c^2}\frac{\partial\vec{E}}{\partial t}}_{\text{Verschiebungsstrom}}$
  $\Longleftrightarrow\oint\vec{B}d\vec{s}=$
  $\mu_0\int\vec{j}d\vec{A}+\frac{1}{c^2}\int\frac{\partial\vec{E}}{\partial t}d\vec{A}$
- $div(\vec{E})=\frac{\rho}{\varepsilon_0}$
  $\Longleftrightarrow\oint\limits_A\vec{E}d\vec{A}=\frac{Q}{\varepsilon_0}$
- $rot(\vec{E})=-\frac{\partial\vec{B}}{\partial t}$
  $\Longleftrightarrow\oint\vec{E}d\vec{s}=-\frac{d}{dt}\int\vec{B}d\vec{A}$
- $div(\vec{B})=0$
  $\Longleftrightarrow\oint\vec{B}d\vec{A}=0$

11.2 In Materie:

- $rot(\vec{E})=-\frac{\partial\vec{B}}{\partial t}$
- $rot(\vec{H})=\vec{j}+\frac{\partial\vec{D}}{\partial t}$
- $div(\vec{D})=\rho_{frei}$; $div(\vec{E})=\frac{\rho_{frei}}{\varepsilon\varepsilon_0}$
- $\Longleftrightarrow\oint_A\vec{D}d\vec{A}=Q_{frei}$ bzw.
  $\oint_A\vec{E}d\vec{A}=\frac{Q_{frei}}{\varepsilon_0\varepsilon_r}$
- $div(\vec{B})=0$
- $\mu_0\varepsilon_0=\frac{1}{c^2}$

12 Sonstiges:

12.1 Kreuzprodukt:

$\vec{a}\times\vec{b}=\begin{pmatrix} a_yb_z-a_zb_y \\ a_zb_x-a_xb_z \\ a_xb_y-a_yb_x \end{pmatrix}$

12.2 Rotation:

$rot(\vec{a})=\vec{\nabla}\times\vec{a}=\begin{pmatrix} \nabla_ya_z-\nabla_za_y \\ \nabla_za_x-\nabla_xa_z \\ \nabla_xa_y-\nabla_ya_x \end{pmatrix}$

12.3 Kreisbewegung:

Zentripetalkraft: $F_{zp}=m\omega^2r=m\frac{v^2}{r}$
Frequenz: $\omega=2\pi f$

12.4 Komplexe Zahlen:

$\frac{1}{i}=-i$
$tan(\phi)=\frac{Im(Z)}{Re(Z)}$

12.5 Krummlinige Koordinaten

12.5.1 Kugelkoordinaten

$\vec{x}=\begin{pmatrix} r\cos\varphi\sin\theta \\ r\sin\varphi\sin\theta \\ r\cos\theta \end{pmatrix}$
$\det(J)=r^2\sin\theta$

12.5.2 Zylinderkoordinaten

$\vec{x}=\begin{pmatrix} r\cos\varphi \\ r\sin\varphi \\ z \end{pmatrix}$
$\det(J)=r$

12.5.3 Polarkoordinaten

$\vec{x}=\begin{pmatrix} r\cos\varphi \\ r\sin\varphi \end{pmatrix}$
$\det(J)=r$.
.
Stetigkeit in Randbereichen Optische Spalte/Gitter Gleichungen?