Physik

Konstanten

- $g = 9,81 \frac{m}{s^2}$
- $G = 6,674 \cdot 10^{-11} \frac{m^3}{kgs^2}$
- $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{As}{Vm}$
- $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{Vs}{Am}$
- $k_B = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K}$
- $R = 8,314 \frac{J}{molK}$
- $N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \frac{1}{mol}$
- $\vartheta_0 = -273,15°\mathrm{C}$
- $c_0 = 2,998 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$

Allgemeines

Kleinwinkelnäherung

$\tan\phi \approx \sin\phi \approx \phi$
$\cos\phi \approx 1$

Additionstheoreme

$\sin(x \pm y) = \sin x \cos y \pm \sin y \cos x$
$\cos(x \pm y) = \cos x \cos y \mp \sin x \sin y$

Kreuzprodukt

$\vec{v} \times \vec{u} = (v_2u_3 - v_3u_2, v_3u_1 - v_1u_3, v_1u_2 - v_2u_1)$

Polarkoordinaten

$e^{i\varphi} = \cos(\varphi) + i\sin(\varphi)$
$z = |z|\, e^{i\varphi}$

1 Mechanik

v	$\frac{m}{s}$	Geschwindigkeit
a	$\frac{m}{s^2}$	Beschleunigung
ω	$\frac{rad}{s}$	Winkelgeschwindigkeit
p	$\frac{kgm}{s}$	Impuls
F	$\frac{kgm}{s^2} = N$	Kraft
W	$\frac{kgm^2}{s^2}$	Arbeit
P	$\frac{J}{s} = W$	Leistung
ϱ	$\frac{kg}{m^3}$	Massendichte
M	Nm	Drehmoment
I	kgm^2	Trägheitsmoment
L	Nsm	Drehimpuls
α	$\frac{rad}{s^2}$	Winkelbeschleunigung
$D;k$	$\frac{N}{m}$	Federkonstante

1.1 Kinematik

$\vec{v}(t) = \frac{\partial \vec{r}(t)}{\partial t} = \dot{\vec{r}}$

$\vec{a}(t) = \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} = \dot{\vec{v}} = \ddot{\vec{x}}$

$\Delta v = \int_{t_1}^{t_2} a(t)\mathrm{d}t$

$\Delta x = \int_{t_1}^{t_2} v(t)\mathrm{d}t$

$v = v_0 + a_0(t - t_0)$

$x = x_0 + v_0(t - t_0) + \frac{1}{2}a(t - t_0)^2$

$v = \sqrt{v_0^2 + 2a(x - x_0)^2}$

Kreisbewegung

$\vec{v} = \frac{\partial \vec{s}}{\partial t} = R\frac{\partial \varphi}{\partial t}\vec{e}_\varphi =: R\omega\vec{e}_\varphi$

$\vec{a} = \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} = -v\frac{\partial \varphi}{\partial t}\vec{e}_r = -v\omega\vec{e}_r = -R\omega^2\vec{e}_r$

$\omega = \frac{\partial \varphi}{\partial t} = \frac{2\pi}{T} = \frac{v}{r}$
$\varphi = \frac{x}{r}$
$\alpha = \dot{\omega} = \ddot{\varphi}$

1.2 Newtonsche Axiome

1. Ein Körper verharrt im Zustand der Ruhe oder der gleichförmig-geradlinigen Bewegung, solange keine Kräfte auf ihn wirken.
   $\vec{p} = m\vec{v}$
2. Die Ursache für eine Impulsänderung ist eine Kraft.
   $\vec{F} = \frac{\partial \vec{p}}{\partial t}$
   $m = \mathrm{const} : \vec{F} = m\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} = m\vec{a}$
   $\vec{F} = 0 \rightarrow \vec{p} = \mathrm{const}$
3. actio = reactio
   $\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$

Wichtige Kräfte

1. Gravitationskraft: $\vec{F} = -G\frac{mM}{r^2}\frac{\vec{r}}{r}$
2. Coulomb-Kraft: $\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon}\frac{qQ}{r^2}\frac{\vec{r}}{r}$
3. Hooke'sches Gesetz: $F = -kx$; $\frac{F}{A} = E\frac{\Delta L}{L}$
4. Haft-/Gleitreibung: $F_R = \mu F_N$
5. Rollreibung: $M_R = \mu F_N$
6. Viskose Reibung: $\vec{F}_R = -\gamma\vec{v}$
7. Trägheitskräfte: Können durch einen Wechsel des Bezugssystems „wegtransformiert" werden.
8. Zentripetalkraft: $\vec{F} = -m\omega^2 r\vec{e}_r = -\frac{mv^2}{r}\vec{e}_r$
9. Corioliskraft: $\vec{a_c} = 2(\vec{v} \times \vec{\omega})$

1.3 Arbeit

$W = \int_{P1}^{P2} \vec{F}(\vec{r})\mathrm{d}\vec{r}$

$W_{Feder} = \frac{1}{2}k(x - x_0)^2$

$P = \frac{\mathrm{d}W}{\mathrm{d}t}$

1.4 Kraftstoß

Elastischer Stoß: $p = \mathrm{const}$; $E = \mathrm{const}$
Unelastischer Stoß: $p = \mathrm{const}$; $E \neq \mathrm{const}$
$p = m_1v_1 + m_2v_2 = m_1v_1' + m_2v_2'$
$E = \frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2 = \frac{1}{2}m_1v_1'^2 + \frac{1}{2}m_2v_2'^2$

$v_1' = \frac{v_1(m_1 - m_2) + 2m_2v_2}{m_1 + m_2}$

$v_2' = \frac{v_2(m_2 - m_1) + 2m_1v_1}{m_1 + m_2}$

1.5 Schwerpunkt

$\vec{r}_s = \frac{\sum\limits_i m_i\vec{r}_i}{\sum\limits_i m_i} = \frac{1}{\int_V \varrho(\vec{r})\mathrm{d}V}\int_V \vec{r}\varrho(\vec{r})\mathrm{d}V$

$\vec{v_s} = \dot{\vec{r_s}} = \frac{\sum_i m_i \cdot \vec{v_i}}{\sum_i m_i}$

1.6 Rotationsbewegungen

$\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F} = rF\sin\phi$

$I = \sum\limits_i m_i r_\perp^2 = \int_M r_\perp^2 \mathrm{d}m = \varrho\int_V r_\perp^2 \mathrm{d}V$

$E = \frac{1}{2}\sum\limits_i m_i(\vec{r}_i \times \vec{\omega})^2 = \frac{1}{2}\omega^2\sum\limits_i m_i r_{i\perp}^2 = \frac{1}{2}I\omega^2$

$I = I_{\mathrm{SP}} + Md^2$ (Satz von Steiner)

Wichtige Trägheitsmomente

- Massepunkt, dünner Kreisring: $I = m \cdot r^2$
- Vollzylinder $I = \frac{1}{2}m \cdot r^2$
- Kugel $I = \frac{2}{5}m \cdot r^2$
- Hohlzylinder $\frac{1}{2}m(r_a^2 + r_i^2)$
- gerader Kreiskegel $I = \frac{3}{10}m \cdot r^2$
- Quader $I = \frac{1}{12}m(b^2 + c^2)$
- Stab (Rotationsachse bei $\frac{l}{2}$) $I = \frac{1}{12}m \cdot l^2$

1.7 Drehimpuls

$\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p} = m\vec{r} \times \vec{v}$

$\frac{\partial \vec{L}}{\partial t} = \vec{r} \times \vec{F}_{\mathrm{ext}} = \vec{M}_{\mathrm{ext}}$

$\vec{L} = I\vec{\omega} = I\frac{\partial}{\partial t}\phi$

$\frac{\partial \vec{L}}{\partial t} = I\frac{\partial \vec{\omega}}{\partial t} = I\vec{\alpha} = \vec{M}$

$M = -D\phi$

$\ddot{\phi} = \frac{M}{I}$

2 Schwingungen und Wellen

Überlagerung: $x(t) = x_1(t) + x_2(t)$

2.1 Harmonischer Oszillator

$\frac{\mathrm{d}^2}{\mathrm{d}t^2}x + \omega_0^2 x = 0$

$x(t) = A\mathrm{e}^{\pm i\omega_0 t} = A\cos(\omega_0 t + \phi)$

$m\ddot{x} = -k(x - x_0)$

$w_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$

2.2 Gedämpfte Schwingung

$\ddot{x} + \frac{\gamma}{m}\dot{x} + w_0^2 x = 0$

$x(t) = C\mathrm{e}^{\lambda t}; \beta = \frac{\gamma}{2m}; \lambda_{12} = -\beta \pm \sqrt{\beta^2 - \omega_0^2}$

1. $\beta > \omega_0$ (starke Dämpfung)
   $x(t) = \mathrm{e}^{-\beta t}(c_1\mathrm{e}^{\sqrt{\beta^2 - \omega_0^2}t} + c_2\mathrm{e}^{-\sqrt{\beta^2 - \omega_0^2}t})$
2. $\beta < \omega_0$ (schwache Dämpfung)
   $x(t) = \mathrm{e}^{-\beta t}(c_1\mathrm{e}^{i\omega t} + c_2\mathrm{e}^{-i\omega t}) = A\mathrm{e}^{-\beta t}\cos(\omega t + \phi)$
3. $\beta = \omega_0$ („aperiodischer Grenzfall")
   $x(t) = (c_1 + c_2t)\mathrm{e}^{-\beta t}$

2.3 Erzwungene Schwingungen

$m\ddot{x} + \gamma\dot{x} + m\omega_0^2 x = f(t)$

$x(t) = x_0\cos(\omega t + \phi)$

$x_0(\omega) = \frac{f_0}{m\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + \frac{\gamma^2\omega^2}{m^2}}}$

$\omega \approx \omega_0 : x_0(\omega) \approx \frac{f_0}{2m\omega_0\sqrt{(\omega_0 - \omega)^2 + \beta^2}}$

„Güte" des Oszillators: $Q = \frac{\omega_0}{\Delta\omega_H} = \frac{\omega_0}{2\beta} = \frac{x_0(\omega_0)}{x_0(0)}$

$\beta \ll \omega_0 \Rightarrow$ Resonanz

2.4 Energie des harmonisches Oszillators

1. Ungedämpfter Oszillator
   $E_{\mathrm{kin}} = \frac{1}{2}m\dot{x}^2 = \frac{1}{2}m\omega_0^2 A^2\sin^2\omega_0 t$
   $E_{\mathrm{pot}} = \frac{1}{2}m\omega_0^2 x^2 = \frac{1}{2}m\omega_0^2 A^2\cos^2\omega_0 t$
   $E = E_{\mathrm{kin}} + E_{\mathrm{pot}} = \frac{1}{2}m\omega_0^2 A^2 = \mathrm{const}$
2. Gedämpfter Oszillator
   $\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\left(\frac{1}{2}m\dot{x}^2 + \frac{1}{2}m\omega_0 x^2\right) = -\gamma\dot{x}^2$
   $E \sim \frac{1}{2}m^2\omega_0^2 A^2\mathrm{e}^{-2\beta t}$
3. Erzwungene Schwingung
   $\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}(E_{\mathrm{kin}} + E_{\mathrm{pot}}) = -\gamma\dot{x}^2 + f\dot{x} = 0$
   Energieverlust/-aufnahme: $E = \frac{1}{2}\gamma\omega_0^2\omega^2T^2 = \beta m x_0^2\omega^2 T$

2.5 Gekoppelte Oszillatoren

Parallelschaltung: $k_{\mathrm{ges}} = k_1 + k_2$
Serienschaltung: $k_{\mathrm{ges}} = k_1 \parallel k_2$

3 Wellen

λ	m	Wellenlänge
ν	$\frac{1}{s} = Hz$	Frequenz
v_p	$\frac{m}{s^2}$	Phasengeschwindigkeit
I	$\frac{W}{m^2} = \frac{kg}{s^3}$	Intensiät
δ	1	Phasenunterschied
Δx	m	Gangunterschied

3.1 Harmonische Welle

$\Psi(x,t) = A\cos(\omega t - kx)$ bzw. $A\mathrm{e}^{i(\omega t - kx)}$
$(-)$ nach rechts laufend
$(+)$ nach links laufend

$k = \frac{\omega}{v_p}; \lambda = \frac{2\pi}{k}; \nu = \frac{\omega}{2\pi}$
$v_p = \lambda\nu = \frac{\omega}{k}$

$v_{ph} = \sqrt{\frac{E}{\varrho}}$

$v_{schwingendesTeilchen} = \dot{\Psi}(x,t)$

3.2 Wellengleichung

$\frac{1}{v^2}\frac{\partial^2}{\partial t^2}\Psi(x,t) = \frac{\partial^2}{\partial x^2}\Psi(x,t)$

3.3 Harmonische Welle in 3D

$\Psi(\vec{r},t) = \vec{A}\cos\left(\omega t - \vec{k}\vec{r}\right)$

$\vec{k} \perp$ Phasenfläche

3.4 Wellengleichung in 3D

$\frac{1}{v^2}\frac{\partial^2}{\partial t^2}\vec{\Psi} = \nabla^2\vec{\Psi} = \Delta\vec{\Psi}$

3.5 Energie von Wellen

$\frac{E_{\mathrm{kin}}}{V} = \frac{1}{2}\varrho\dot{\xi}^2 = \frac{1}{2}\varrho\xi_0^2\omega^2\cos^2\left(\omega t - \vec{k}\vec{r}\right)$

Elastische Welle: $\overline{E_{\mathrm{kin}}} = \overline{E_{\mathrm{pot}}} = \frac{1}{2}\overline{E}$
$\frac{\overline{E}}{V} = \frac{1}{2}\varrho\xi_0^2\omega^2$

3.6 Intensität von Wellen

$I = \frac{\overline{E}}{At} = \frac{\overline{E}}{V}v_p = \frac{p}{A}$
$I = \frac{1}{2}\varrho v_p\xi_0^2\omega^2$

3.7 Schall

$\Delta p_0 = \xi_0 \varrho \omega v_p; I = \frac{1}{2}\Delta p_0 \xi_0 \omega = \frac{\Delta p_0}{2\varrho v_p}$

Schalldruckpegel: $L_p = 10 \log \left(\frac{\Delta \tilde{p}^2}{p_0^2} \right) dB$

Druckamplitude: $\Delta \tilde{p} = \frac{\Delta p_0}{\sqrt{2}}$

Hördruckschwelle: $p_0 = 2 \cdot 10^{-5} Pa \;\widehat{=}\; I = 10^{-12} \frac{W}{m^2}$

3.8 Superposition von Wellen

$\Delta x = \frac{\delta}{k}$

3.9 Doppler Effekt

1. Allgemein:
   $\nu' = \nu \frac{v \pm v_E}{v \mp v_Q}$
   oben: Annäherung, unten: Entfernung
2. Ruhende Quelle, bewegter Empfänger
   $\nu' = \nu \left(1 + \frac{v}{v_p}\right)$
3. Bewegte Quelle, ruhender Empfänger
   $\nu' = \frac{v_p}{\lambda'} = \frac{\nu}{1 \pm \frac{v}{v_p}}$

4 Wärmelehre

$\overline{p}$	$\frac{N}{m^2} = Pa$	Druck
T	K	Temperatur
ν	mol	Molzahl
f	1	Anzahl der Freiheitsgrade
C	$\frac{J}{K}$	„Wärmekapazität"
c	$\frac{J}{kgK}$	spezifische Wärmekapazität
C_p	$\frac{J}{molK}$	molare WK (p = const)
C_V	$\frac{J}{molK}$	molare WK (V = const)
κ	1	Adiabatenexponent
Ω	1	Zustandskombinationen
λ_s, λ_v	$\frac{J}{kg}$	Latente Wärmen
λ	$\frac{W}{mK}$	Wärmeleitfähigkeit

$\boxed{\text{Wärme ist ungeordnete Teilchenbewegung}}$

Hinzunahme von „innerer Energie"
$\Delta \left(E_{\text{kin}} + E_{\text{pot}} + U\right) = 0$

4.1 Nullter Hauptsatz der Thermodynamik

Sind Körper A und B im „thermischen Gleichgewicht", sowie Körper B und C, so sind auch A und C im Gleichgewicht. Die Temperaturen von A, B, C sind dann gleich.

Das ideale Gas

Teilchendichte: $n = \frac{N}{V}; R = N_A k_B$

$\overline{E_{\text{kin}}} = \frac{1}{2} m \overline{v^2} = \frac{f}{2} k_B T$

$\overline{p} = \frac{F}{A} = \frac{1}{f} n m \overline{v^2} = \frac{2}{f} n \overline{E_{\text{kin}}}$

$pV = \frac{2}{f} N \overline{E_{\text{kin}}} = N k_B T = \nu R T$

4.2 Spezialfälle

Falls p, V oder T konstant: $\frac{pV}{T} = \frac{p_0 V_0}{T_0} = \text{const}$

4.3 Der erste Hauptsatz der Thermodynamik

Beim Aufheizen eines Materials ist der Temperaturanstieg ΔT ein Maß der aufgenommenen „Wärme" ΔQ, wobei $\Delta Q = C \Delta T$

1. Die Wärmemenge ist eine Form der Energie
2. Die Gesamtenergie eines Systems ist $E_{\text{pot}} + E_{\text{kin}} + U$
3. Bleibt das System makroskopisch in Ruhe, so ändert sich bei einem thermodynamischen Prozess nur U
4. Die innere Energie U eines Systems wird erhöht (erniedrigt), wenn Wärme oder Arbeit zugeführt (abgegeben) wird. Es gilt: $\boxed{\Delta U = \Delta Q + \Delta W}$ (Ideales Gas: $U = \frac{f}{2} N k_B T = \frac{f}{2} \nu R T$).

4.4 Festkörper und Flüssigkeiten

$\Delta Q = cm\Delta T = \nu C_p \Delta T = \nu C_V \Delta T$

$C_p \approx C_V$ (Nicht bei Gasen!)

$U = \frac{f}{2} N k_B T = \frac{2 \cdot 3}{2} N k_B T = 3 \nu R T$

4.5 Spezifische Wärme des idealen Gases

$\mathrm{d}U = \partial Q + \partial W$

„Volumenarbeit": $\partial W = -p\mathrm{d}V$

$C_V = \frac{1}{\nu} \left(\frac{\partial Q}{\partial T}\right)_{V=\text{const}} = \frac{1}{\nu} \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_{V=\text{const}} = \frac{f}{2} R$

Enthalpie: $H = U + pV$

$\left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_{p=\text{const}} = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_p + p \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p = \left(\frac{\partial Q}{\partial T}\right)_p = \nu C_p$

Ideales Gas: $C_p = C_V + R$

Isotopenexponent: $\kappa = \frac{C_p}{C_V} = \frac{f+2}{f}$

4.6 Zustandsänderungen des idealen Gases

$\mathrm{d}U = \partial Q - p\mathrm{d}V$

1. isotherm: $\mathrm{d}T = 0$
   $\partial Q = p\mathrm{d}V = \nu R T \ln \frac{V_2}{V_1} = \int p\mathrm{d}V = \int \frac{\nu R T}{V} \mathrm{d}V$
2. isochor: $\mathrm{d}V = 0$
   $\partial W = -p\mathrm{d}V = 0$
   $\Delta Q = \nu C_V \Delta T$
3. isobar: $\mathrm{d}p = 0$
   $\Delta W = -\int_{V_1}^{V_2} p\mathrm{d}V = -p(V_2 - V_1)$
   $\Delta Q = \nu C_p \Delta T$
4. adiabatisch: $\partial Q = 0$
   $\mathrm{d}U = -p\mathrm{d}V$
   $TV^{\kappa - 1} = \text{const}$
   $pV^{\kappa} = \text{const}$

4.7 Wirkungsgrad eine Wärmekraftmaschine

$\eta = \left|\frac{\Delta W}{\Delta Q_{\text{in}}}\right| \quad \Delta W = R(T_2 - T_1) ln \frac{V_2}{V_1}$

$\eta = 1 - \frac{T_1}{T_2} < 1$ (Stirling-Maschine)

Carnot-Zyklus $\Delta s_{12} = R \ln \frac{V_2}{V_1}$

4.8 Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik

1. Wärme fließt spontan nur von warm nach kalt.
2. Es gibt kein Perpetuum mobile 2. Art (= eine Maschine, die einem einzelnen Reservoir Wärme entzieht und in Arbeit umwandelt)
3. Es ist unmöglich Wärme komplett in Arbeit zu verwandeln.
4. Bei einem „reversiblen" Kreisprozess bleibt die Entropie pro Umlauf konstant.

4.9 Entropie

$\mathrm{d}S = \frac{\mathrm{d}Q_{\text{rev}}}{T} \geq 0$

$\mathrm{d}U = T\mathrm{d}S - p\mathrm{d}V$

$\mathrm{d}S = \frac{1}{T}\left(\mathrm{d}U + p\mathrm{d}V\right)$

$S = k_B \ln \Omega$

$S = \max$ im thermodynamischen Gleichgewicht

4.10 Clausiussche Ungleichung

$\oint \mathrm{d}S \leq 0$

4.11 Phasenübergänge

Schmelzen	fest	$\rightarrow$	flüssig
Gefrieren	flüssig	$\rightarrow$	fest
Sublimieren	fest	$\rightarrow$	gasförmig
Resublimieren	gasförmig	$\rightarrow$	fest
Verdampfen	flüssig	$\rightarrow$	gasförmig
Kondensieren	gasförmig	$\rightarrow$	flüssig

4.12 Latente Wärme

Z.B.: $\Delta Q = m\left[C_{\text{p,Eis}}(T_m - T_0) + \lambda_s + C_{\text{p,H}_2\text{O}}(T_1 - T_m)\right]$

4.13 Steigung der Koexistenzkurven

$\frac{\mathrm{d}p}{\mathrm{d}T} = \frac{\nu \Lambda}{T \Delta V}$

4.14 Wärmeleitung

$\frac{\mathrm{d}Q}{\mathrm{d}t} = -\lambda A \frac{\mathrm{d}T}{\mathrm{d}x}$

$\frac{\partial}{\partial t} T(x,t) = \frac{\lambda}{\varrho c} \frac{\partial^2}{\partial x^2} T(x,t)$

5 Optik

c	$\frac{m}{s}$	Lichtgeschwindigkeit
n	1	Brechungsindex
g	m	Gegenstandsweite
b	m	Bildweite
G	m	Gegenstandsgröße
B	m	Bildgröße
f	m	Brennweite
D	$\frac{1}{m} = \text{dpt}$	Brechkraft
v	1	Vergrößerung

$c = \frac{c_0}{n} = c_0 \frac{\lambda'}{\lambda} = \lambda \cdot f$

5.1 Brechungsgesetz

$n_1 \sin \alpha_1 = n_2 \sin \alpha_2$

Totalreflexion: $\frac{n_1}{n_2} = \frac{\sin \alpha_2}{\sin \alpha_1} > 1$

5.2 Sphärischer Spiegel

$\frac{1}{g} + \frac{1}{b} = \frac{2}{r} = \frac{1}{f} = D; f = \frac{r}{2}; D = \frac{1}{f}$

$v = \frac{B}{G} = -\frac{b}{g}$

5.3 Kugelförmige Oberfläche

$\frac{n_1}{g} + \frac{n_2}{b} = \frac{n_2 - n_1}{r}$

$v = \frac{B}{G} = -\frac{n_1}{n_2} \frac{b}{g}$

5.4 Dünne Linsen

$\frac{1}{g} + \frac{1}{b} = \left(\frac{n_2}{n_1} - 1\right)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) = \frac{1}{f} = D$

$r > 0 \rightarrow M$ auf Transmissionsseite

6 Licht und Materie

α_B	rad	Brewster-Winkel
$\Delta\phi$	rad	Phasenunterschied

6.1 Licht als elektromagnetische Welle

$\Delta \vec{B} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t} \vec{B}$

$\Delta \vec{E} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \vec{E}$

$\frac{1}{c^2} = \mu \epsilon$

$c_0 = \sqrt{\frac{1}{\mu_0 \epsilon_0}}$

$c = \frac{c_0}{n} = \frac{c_0}{\sqrt{\mu_r \epsilon_r}}$

6.2 Reflexion

$\alpha_1 + \alpha_2 = \frac{\pi}{2}$

$n_1 \sin \alpha_1 = n_2 \sin \alpha_2 = n_2 \cos \alpha_1$

$\tan \alpha_B = \frac{n_2}{n_1}$

6.3 Interferenz

$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos \Delta\phi$
$I \sim |\overline{E}|^2$

6.4 Phasenverschiebung bei Reflexion

$n_1 < n_2$: Phasenverschiebung um π
$n_1 > n_2$: keine Phasenverschiebung

6.5 Interferenz am Doppelspalt

$m \in \mathbb{N}_0 : d \sin \theta_m = m\lambda$ (Interferenzmaxima)

$m \in \mathbb{N} : d \sin \theta_m = \left(m - \frac{1}{2}\right) \lambda$ (Interferenzminima)

Auflösung falls $\Delta x \geq 1,22 \lambda \frac{f}{d} \quad \alpha_{min} \approx 1,22 \frac{\lambda}{d}$

Winkelvergrößerung $v = \frac{\text{Sehwinkel mit Instrument}}{\text{Sehwinkel ohne Instrument}}$