Formelsammlung zur Klausur
Physik I

Prof. Dr. Hans-Christoph Mertins

Bachelorstudiengänge

Chemieingenieurwesen

Wirtschaftsingenieurwesen Chemietechnik

27.1.2012

Fachhochschule
Münster University of
Applied Sciences

Erlaubt ist allein diese Formelsammlung, die aber individuell von jedem Studenten ergänzt werden darf durch Text, weitere Formeln oder Umrechnungen.

Verboten ist eine Ergänzung mit Graphiken, Messkurven und Bildern.

https://www.fh-muenster.de/physiklabor/vorlesung/FB01/vorlesung_fb01_wiw_to.php#a4

Mechanik

Bewegung

Verschiebung $\Delta x = x - x_0 \quad (m)$

Geschwindigkeit $v = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{dx}{dt} \quad \left(\frac{m}{s}\right)$

Beschleunigung $a = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{dv}{dt} \quad \left(\frac{m}{s^2}\right)$

Für gleichmäßig beschleunigte Bewegungen gilt:

Geschwindigkeit zur Zeit t $v(t) = v_0 + at$ v_0: Anfangsgeschw. zur Zeit $t = 0$

Verschiebung nach Zeit t $x - x_0 = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$, x_0: Anfangsort zur Zeit $t = 0$

Daraus folgt $v^2 = v_0^2 + 2a(x - x_0)$

$x - x_0 = ½(v_0 + v)t$

$x - x_0 = vt - ½ at^2$

Bewegung im 3-dim. Raum

Ortsvektor: $\vec{r}(t) = r_x(t)\,\vec{e}_x + r_y(t)\,\vec{e}_y + r_z(t)\,\vec{e}_z$

Basis: $\vec{e}_x, \vec{e}_y, \vec{e}_z$ rechtshändiges Koordinatensystem

Geschwindigkeit: $\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt}$ komponentenweise berechnen

Beschleunigung: $\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$

Vektoren:

Skalarprodukt $\vec{a} \cdot \vec{b} = |\vec{a}| \cdot |\vec{b}| \cos\theta$ Projektion von $\vec{a}$ auf $\vec{b}$

Beträge $|\vec{a}| = (a_x^2 + a_y^2 + a_z^2)^{½}$

Winkel $\theta = \arccos[(a_x b_x + a_y b_y + a_z b_z)/ab]$

Kreuzprodukt $\vec{c} = \vec{a} \times \vec{b}$

Es gilt $c = ab \sin\theta$, θ kleinerer Winkel, $\vec{c}$ senkrecht auf $\vec{a}$ und $\vec{b}$

Kräfte

Kraft $\vec{F} = m\vec{a}$ (zweites newtonsches Gesetz)

$\vec{F} = F_x \vec{e}_x + F_y \vec{e}_y + F_z \vec{e}_z$,

$F_x = ma_x$, $F_y = ma_y$, $F_z = ma_z$

Im Koordinatensystem mit Basis $\vec{e}_x, \vec{e}_y, \vec{e}_z$

Reibungskraft: $f_{max} = \mu N$, N: Normalkraft

μ_S: Haftreibungskoeffizient, μ_k: Gleitreibungskoeffizient,

Zentripetalkraft $F = mv^2/r$ (je nur die Beträge)

Zentripetalbeschleunigung $a = v^2/r$

Federkraft $\vec{F} = -k \cdot \vec{d}$ (Hook`sches Gesetz)

k = Federkonstante

Gravitationskraft $F = G\frac{m_1 m_2}{r^2}$ zwischen Massen m_1, m_2 im Abstand r

$G = 6{,}67 \times 10^{-11}\ Nm^2/kg^2$

Gravitation in Erdnähe $F = mg$

$g = 9{,}81\ m/s^2$

Energie & Arbeit

Kinetische Energie $E_{Kin} = ½\, mv^2$

Arbeit $W = \vec{F} \cdot \vec{d}$

Leistung $P = dW/dt$

$P = \vec{F} \cdot \vec{v}$

Potenzielle Energie $E_{pot}(y) = mg\,y$ (Gravitation)

Pot. Federenergie $E_{pot} = ½\, kx^2$ (x = Dehnung der Feder)

Energieerhaltung $E_{mech} = E_{kin} + E_{pot}$ = konstant

Kraft & pot. Energie $F(x) = -d\,E_{pot}/dx$ (Minuszeichen beachten)

Impuls

Impuls $\vec{p} = m\,\vec{v}$

Gesamtimpuls $\vec{P} = \sum \vec{p}_j$

Kraft $\vec{F} = d\vec{p}/dt$ (Zweites Newton`sches Axiom)

Impulserhaltung $\vec{P_i} = \vec{P_f}$ = konstant i: Anfang, f: Endzustand

Rotation

Winkel $\theta = s/r$ s: Bogensegment, für kleine Winkel

Geschwindigkeit $\omega = d\theta/dt$

Beschleunigung $\alpha = d^2\theta/dt^2$

Vektorielle Darstellung:

Ort $d\vec{r} = d\vec{\theta} \times \vec{r}$ (für kleine Winkel)

Geschw $\vec{v} = \vec{\omega} \times \vec{r}$

Beschl. $a = \alpha r + \omega^2 r$

Trägheitsmoment: $I = \Sigma m_i r_i^2$

Satz v. Steiner $I = I_S + Mh^2$

Rotationsenergie $E_{kin} = ½\, I\, \omega^2$

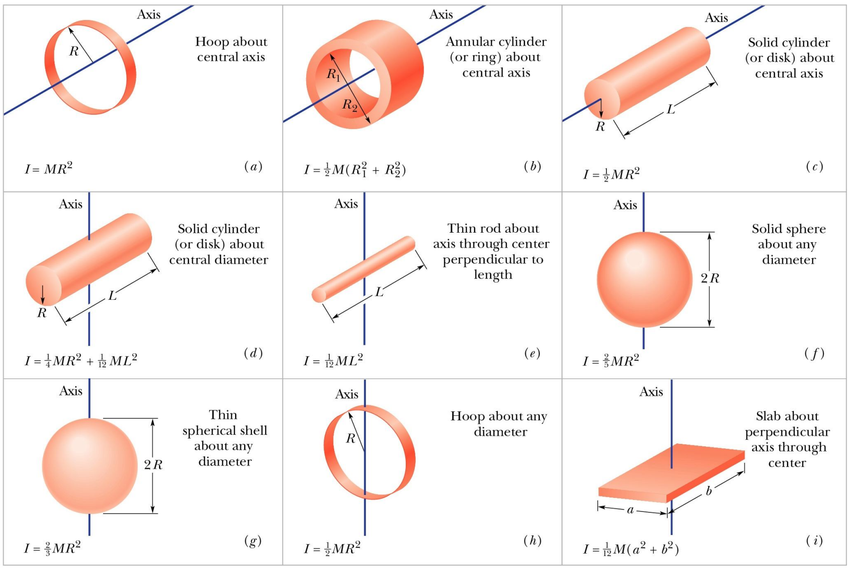
Drehmoment $\vec{T} = \vec{r} \times \vec{F}$

$= rF \sin\theta$

$T = I\alpha$

Drehimpuls $\vec{L} = (\vec{r} \times \vec{p})$

$= rp \sin\theta$



(Halliday, Resnick, Walker „Physik“ Viley VCH)

Drehmoment & Impuls $\vec{T}_{ges} = d\vec{l}_{ges} / dt$

Drehimpuls starrer Körper $L = \omega I$

Drehimpulserhaltung $\vec{L}_i = \vec{L}_f =$ konstant

Arbeit $W = \int T \cdot d\theta$

Leistung (T konst.) $P = \vec{T} \cdot \vec{\omega}$

Fluide:

Dichte $\rho = m/V$

Druck $p = F/A$ Skalar ohne Richtungsabhängigkeit

Hydrostat. Druck $p = p_0 + \rho g h$ in Tiefe h, p_0: Luftdruck auf Flüssigkeitsoberfläche

Archimed. Prinzip $m_F \vec{g} = \vec{F}_A$ (Auftriebskraft)

$$\frac{m_{Körper}}{m_{Fluid}} = \frac{\rho_{Körper} \cdot V}{\rho_{Fluid} \cdot V} = \frac{\rho_{Körper}}{\rho_{Fluid}} < 1$$

Kontinuitätsgleichung $A_1 v_1 = A_2 v_2$

Bernoulligleichung $p + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho g y = p_0 = konstant$

Schwingung & Wellen

Ungedämpfte harmonische Schwingung

$m\frac{\partial^2 x}{\partial t^2} + kx = 0$ Differenzialgleichung (DGl) mit k: Federkonstante, m: Masse

$x(t) = x_0 \cos(\omega t + \varphi)$ Lösung der Dgl., Bewegungsform

$x(t)$: Auslenkung, Ort ändert sich t: Zeit läuft als Variable

$\omega t + \varphi$: Phase, φ: Phasenkonstante x_0 Amplitude, max. Auslenkung

$\omega = 2\pi f$ Kreisfrequenz , f : Frequenz $T = 2\pi$ Periodendauer,

beachte φ in rad

Eigenfrequenz $\omega = (k/m)^{½}$

Gesamtenergie $E = ½\, k\, x_0^2$ (Federsystem)

Einfaches Pendel $\omega = (g/L)^{½}$ g: Gravitationskonstante, L: Pendellänge

Torsionspendel $\omega = (\kappa/I)^{½}$ I: Trägheitsmoment, κ: Torsionskonstante

Gedämpfte Schwingung

Kräfte $ma = -kx - bv$ mit b: Reibungskonstante

Dgl. $(d^2x/dt^2) + 2\delta(dx/dt) + (k/m)\,x = 0$

Lsg: $x(t) = x_0 \cdot \exp\{-\delta t\} \cdot \cos(\omega t + \varphi)$ $\omega = (k/m - \delta^2)^{½}$, $\delta = b/2m$

1) Schwingfall: $4km > b^2 \Rightarrow \omega > 0$

2) aperiodischer Grenzfall: $4km = b^2 \Rightarrow \omega = 0$

3) Kriechfall: $4km < b^2 \Rightarrow \omega$ imaginär

Erzwungene Schwingung

Dem schwingenden Systeme mit seiner Eigenfrequenz wird durch eine periodisch veränderliche extern Kraft F_a mit Kreisfrequenz ω_a eine cosinusförmige Schwingung aufgezwungen:

Kräfte $\underbrace{m(d^2x/dt^2)}_{\text{Kraft für Beschleunigung}} + \underbrace{b(dx/dt)}_{\text{Reibungskraft}} + \underbrace{kx}_{\text{Rückstellkraft}} = \underbrace{F_a\cos(\omega_a t)}_{\text{äußere Kraft}}$

Dgl. $(d^2x/dt^2) + 2\delta(dx/dt) + (k/m)\,x = F_a/m \cos(\omega_a t)$

Nach einer ausreichend langen Einschwingzeit ergibt sich die Lösung:

$x(t) = x_0 \cos(\omega_a t + \varphi)$ Ortes des Teilchens für $t >> 1/\delta$

$x_0 = F_a/[m^2(\omega_0^2 - \omega_a^2)^2 + b^2\omega_a^2]^{½}$ Amplitude

$\omega_0 = (k/m)^{½}$ Eigenfrequenz ohne Dämpfung (b = 0)

$\omega_r = (\omega_0^2 - \delta^2)^{½}$ Eigenfrequenz mit Dämpfung

$\varphi = \arctan\{2\delta\omega_a/(\omega_0^2 - \omega_a^2)\}$ Phasenverschiebung System - äußere Kraft

Welle räumlich und zeitlich periodischer Vorgang

Auslenkung $y(x, t) = y_0 \sin(kx - \omega t)$

Amplitude y_0 max. Auslenkung aus Gleichgewicht

Phase $kx - \omega t$ Argument der Sinusfunkt.

Wellenlänge λ *räumlicher* Abstand zwischen zwei Wiederholungen der Wellenformen

gilt $y(x, 0) = y(x + \lambda)$

Wellenzahl $k = 2\pi/\lambda$ $[k] = \text{rad/m}$

Periode T *zeitlicher* Abstand zwischen zwei Wiederholungen der Wellenfront

Kreisfrequ. $\omega = 2\pi/T$ $[\omega] = 1/\text{s}$

Phasengeschwindigkeit: $c = dx/dt = \omega/k = \lambda f$

Geschw. eines Wellenpunktes $u = \partial y/\partial t$

Gemittelte Leistung P (Energie-Transportrate) der Welle

$P = ½ \mu c \omega^2 y_0^2$ $\mu = M/L$ Massendichte des Seils, c: Phasengeschwindigkeit

$P \sim y_0^2$ y_0 = Amplitude , ω: Kreisfrequenz

Interferenz

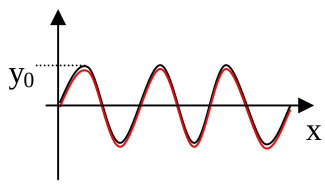
zwei identische Wellen $y_1(x, t) = y_2(x, t)$ laufen in gleiche Richtung, aber mit unterschiedlicher Phasenkonstante φ.

$$y_1(x, t) = y_0 \sin(kx - \omega t),\ y_2(x, t) = y_0 \sin(kx - \omega t + \varphi)$$

Interferenz: $y_1(x, t) + y_2(x, t) = y(x, t) = [2\, y_0 \cos ½\varphi] * \sin(kx - \omega t + ½\varphi)$

Auslenkung = Amplitude * Schwingungsterm

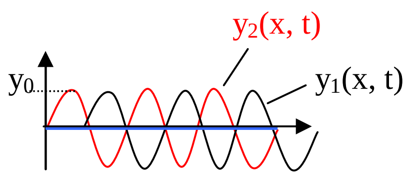
Konstruktive Interferenz



$\varphi = 0$, beide Wellen <u>in</u> Phase

=> $y(x, t) = \mathbf{2}\, y_0 * \sin(kx - \omega t)$, doppelte Amplitude

Destruktive Interferenz



$\varphi = 180$ beide Wellen <u>außer</u> Phase

=> $y(x, t) = 0$ da $\cos 180 = 0$ Amplitude ist immer & überall Null

Gangunterschied Δ ist die Phasendifferenz φ zwei gleicher Wellen, gemessen in der Wellenlänge λ. Die Welle wiederholt sich exakt bei $\varphi = n2\pi$ bzw. $\Delta = n\lambda$, $n = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \ldots$..

Stehende Welle

Zwei identische, in entgegen gesetzte Richtung laufende Wellen (Vorzeichen von ω)

$y_1(x, t) = y_0 \sin(kx - \omega t)$, $y_2(x, t) = y_0 \sin(kx + \omega t)$ überlagern sich zu

$y_1(x, t) + y_2(x, t) = y(x, t) = \sin(kx) * 2\, y_0 \cos\omega t$

Auslenkung = Amplitude * Schwingungsterm

Knoten: $\sin(kx) = 0$ => $kx = n\pi$, $n = 0, 1, 2, 3, \ldots$

Bäuche: $\sin(kx) = 1$ => $kx = (n + ½)\pi$, $n = 0, 1, 2, 3, \ldots$

stehende Wellen bilden sich aus, wenn:

Wellenlänge: $\lambda = 2L/n$, $n = 1, 2, 3, \ldots$

Frequenz: $f = c/\lambda = nc/(2L)$, $n = 1, 2, 3, \ldots$

$n = 1$: Grundschwingung (1. Harmonische)

$n = 2$: erste Oberschwingung (2. Harmonische) usw.

Elektrodynamik

1.1 Coulombsches Gesetz

Zwei Teilchen stehen im Abstand r und tragen die Ladungen q_1 und q_2. Dann wirkt zwischen ihnen die abstoßende / anziehende elektrostatische Kraft

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{|q_1||q_2|}{r^2},$$ $\varepsilon_0 = 8{,}85\ 10^{-12}\ C^2/(Nm^2)$ (Dielektrizitätskonstante)

Kugelschalentheorem

1) Eine homogen über eine Kugelschale verteilte Ladung wirkt auf ein Teilchen außerhalb so, als sei die gesamte Ladung im Zentrum der Kugel lokalisiert.

2) Die resultierende elektrostatische Kraft auf ein geladenes Teilchen im Zentrum einer homogen geladenen Kugelschale ist Null (Abschirmung).

Gleichverteilung: Ladungen auf eine elektrisch leitende Fläche verteilt sich homogen.

Elektrisches Feld

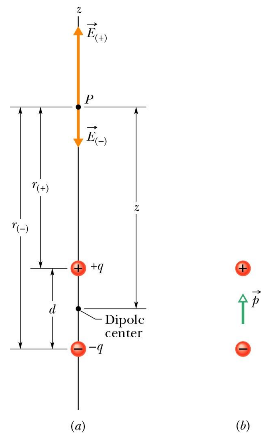
$\vec{F} = q_0\vec{E}$ Kraftwirkung auf Probeladung q_0 durch Feld E übermittelt

Probeladung q_0 ist so klein, dass sie das E-Feld nicht stört, testet E-Feld aus

Punktladung q $$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{|q|}{r^2}$$

Elektron Ladung $e = -1{,}6 \cdot 10^{-19}\,C$ kleinste Ladungseinheit

Masse $m = 9{,}1 \cdot 10^{-31}\,kg$



Elektrischer Dipol

$$E = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 z^2}\left[\frac{2d}{z}\right] = \frac{qd}{2\pi\varepsilon_0 z^3}$$ E-Feld auf Dipolachse

$\vec{p} = q\vec{d}$ Dipolmoment, q: Ladung, d: Ladungsabstand

$\vec{T} = \vec{p} \times \vec{E}$ Drehmoment im externen E-Feld

Ladungsverteilung	Punktladung	lineare Dichte	Flächendichte	Raumdichte
Zeichen	q	λ	σ	ρ
Einheit	C	C/m	C/m^2	C/m^3

Elektrisches Potenzial $\phi(x)$ / Spannung U

Potenzialdifferenz = Spannung zwischen den Punkten x_1 und x_2 im elektrischen Feld

$$U_{12} = \phi(x_2) - \phi(x_1) = -\vec{E} \bullet d\vec{x}$$ wenn E = konstant

[U] = Volt = J/C

Arbeit $W_{12} = qU_{12}$ Ladungstransport im E-Feld von x_1 nach x_2

Potenzielle Energie $E_{el} = qU_{1,2}$

Punktladung $\phi(r) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{r}$ r = Abstand zur Punktladung

Nullniveau bei x = ∞ $\phi(x = \infty) = 0$

E-Feld E = dU/dx

Kondensator Ein Kondensator besitzt zwei voneinander isolierte Leiter beliebiger Form

Ladung: q+, q- betragsmäßig gleich, je auf den beiden Platten ,

Spannung: U zwischen den Platten

Kapazität: C = q/U Einheit Farad [C] = F = C/V

Plattenkondensator $C = \varepsilon_0 A/d$ d: Plattenabstand, A: Plattenfläche

Zylinderkondensator $C = 2\pi\varepsilon_0\, L/\ln(b/a)$ a: Außenradius innerer Zylinder,

b: Innenradius äußere Zylinder, L: Zylinderlänge

Ersatzkondensator C für Schaltung von Kondensatoren mit Kapazität C_i:

a) Parallel $C = \sum_{i=1}^{n} C_i$ b) Reihe $\frac{1}{C} = \sum_{i}^{n} \frac{1}{C_i}$

Energie $E_{el} = \frac{1}{2} CU^2$ gespeichert im E-Feld des Kondensators

Energiedichte $\rho_{el} = \frac{1}{2} \varepsilon_0 E^2$

Dielektrika

$\varepsilon = \frac{C}{C_{vac}}$ Dielektrizitätskonstante des Materials

$\vec{D} = \varepsilon \varepsilon_0 \vec{E}$ D = dielektrische Verschiebung, Polarisation des Dielektrikums

Piezo-Effekt: Spannung in Kristallachsenrichtung anlegen und Kristall staucht / dehnt sich

$E = \delta \frac{\Delta x}{x}$, oder $U = \delta \Delta x$, $\delta \sim 10^{10}$ V/m piezoelektrischer Koeffizient

Strom Strom I ist der effektiver Ladungstransport dq in einer Zeit dt

Strom $I = dq/dt$ [I] = C/s = A (Ampere)

Stromdichte $j = I/A$ Strom durch Querschnittsfläche A

$j = e \underbrace{n}_{\text{Ladungsträ-gerdichte}} \bullet \underbrace{v_D}_{\text{Driftgeschw.}}$

Widerstand R = U / I [R] = V/A = Ω (Ohm) (generelle Definition)

Ohmscher Widerstand: R ist unabhängig von Strom & Spannung

Spezifischer Widerstand ρ $[\rho] = \Omega\, m$ als Materialeigenschaft

$R = \rho\, l/A$ A: Leiterquerschnitt, l: Leiterlänge

$\rho = E/j$

Temperaturabhängigkeit $\rho = \rho_0 (1 + \alpha T)$

Ladungsträgerdichte $n(T) = N \exp\{\frac{-W}{2kT}\}$ als Ursache der Temperaturabh. von ρ

W: Elektronen-Bindungsenergie, $k = 1{,}38 \times 10^{-23}$ J/K

Leitfähigkeit $\sigma = 1/\rho$ => $\vec{j} = \sigma \vec{E}$

Leistung P = UI $[P] = AV = \frac{C}{s} \frac{J}{C} = W$

Stromkreis-Regeln

Maschenregel Die Summe aller Potenzialänderungen beim Durchlaufen eines geschlossenen Weges in einem Stromkreis (Masche) ist Null. (Folge der Energieerhaltung)

Widerstandsregel: Durchläuft man einen Widerstand in Stromrichtung, so fällt das Potenzial um U = - IR, läuft man gegen die Stromrichtung, so wächst es um U = +IR.

Spannungsregel: Läuft man durch eine ideale Spannungsquelle vom neg. zum pos. Pol so wächst das Potential um U_{Bat} .

Verzweigungsregel (Kirchhoffsche Satz): im Verzweigungspunkt eines Stromkreises ist die Summe aller eingehenden Ströme gleich der Summe aller ausgehenden Ströme.

Reihenschaltung: (es gibt nur einen Weg für den Strom). Liegt an einer Reihe von Widerständen R_i die Spannung U, so fließt durch jeden Widerstand der gleiche Strom. Die Potenzialdifferenzen der Einzelwiderstände summieren sich zu U.

$R = \sum R_i$ Ersatzwiderstand

Parallelschaltung: über allen Widerständen R_i besteht die selbe Potenzialdifferenz. Der Gesamtstrom ist die Summe der Einzelströme.

$\frac{1}{R} = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{R_i}$ Ersatzwiderstand

Ladevorgang am Kondensator

Aufladen $q(t) = CU_B\left(1 - e^{-t/RC}\right)$ mit $CU_B = q_0$, U_B = Batteriespannung

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

Zeitkonstante $\tau = RC$

Magnetischer Fluss & Lorentzkraft

Definition des magnetischen Flusses B: Lorentz-Kraft auf Ladung q der Geschwindigkeit v

$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$ Lorentzkraft

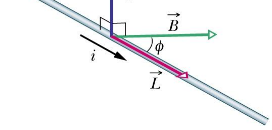
F senkrecht zu B und zu v (Rechte-Hand-Regel UVW)

[B] = Tesla, 1 T = N/(A m), 1 T = 10^4 Gauß

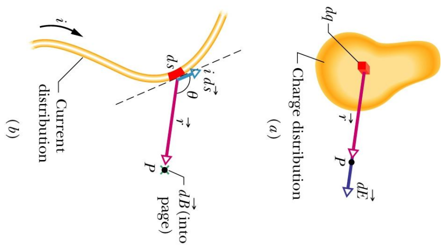
Magnetfeld von Strömen

Magnetische Kraft auf Strom I im geraden Leiter der Länge L im homogenen B-Feld

$\vec{F} = I\vec{L} \times \vec{B}$



Biot-Savartsches Gesetz



gegeben: Leiterelement ds mit Strom I parallel $d\vec{s}$

gesucht: Magnetfeld $d\vec{B}$ am Punkt P

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I\, d\vec{s} \times \vec{r}}{r^3}$$

$\mu_0 = 1{,}26 \text{ x}10^{-6}$ Tm/A (Permeabilität für Vakuum)

$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi\, R}$ B-Feld des ∞ langen geraden Leiters im Abstand R mit Strom I

Magnetfeld einer Spule

Das Feld im Inneren einer Spule, mit der Länge L, (L >> als Spulendurchmesser) ist

$B = \mu_0 I \frac{N}{L}$ N: Windungszahl, L: Spulenlänge, I: Strom

Magnetischer Dipol

$\vec{\mu}$ Dipolmoment

$\vec{T} = \vec{\mu} \times \vec{B}$ Drehmoment des Dipols im B-Feld

$E_{Mag}(\theta) = -\vec{\mu} \bullet \vec{B}$ Magnetische Energie des Dipols im B-Feld

Faradaysches Induktionsgesetz

$\Phi_B = \int \vec{B} \bullet d\vec{A}$ Magnetischer Fluss durch Fläche dA

$[\Phi_B] = \text{Tm}^2 = \text{Wb} = \text{Weber}$

$U_i = -N \frac{d\Phi_B}{dt}$ induzierte Spannung in Spule mit N Windungen,

durchsetzt mit Fluss Φ_B

Lenzsche Regel: Ein induzierter Strom ist so gerichtet, dass das von ihm erzeugte B-Feld der Änderung des magnetischen Flusses entgegenwirkt, die den Strom hervorruft.

Induktivität

$L = \frac{N\Phi_B}{I}$ [L] = Tm^2/A = H = Henry, N: Windungszahl, I: Spulenstrom

$L = \mu_0 n^2 l A$ Zylinderspule mit Länge l, Windungungsdichte $n = N/l$, Querschnitt A

$U_i = -L\frac{dI}{dt}$ Selbstinduktion in einer Spule der Induktivität L

Energie des Magnetfeldes

$E_{mag} = \frac{1}{2}LI^2$ magn. Energie in Spule

$\rho_{mag} = \frac{B^2}{2\mu_0}$ Energiedichte

Transformator

Primärspule P läuft mit Wechselstrom, Eisenkern führt den Fluss durch zwei Spulen mit Windungszahlen $N_P \neq N_S$. Die Spannungs- & Stromverhältnisse der Primär- & Sekundärseite der Spule berechnen sich nach:

$$\frac{U_S}{U_P} = \frac{N_S}{N_P}, \qquad \frac{I_S}{I_P} = \frac{N_P}{N_S}$$

Magnetismus der Materie

$\vec{B} = \mu_0 \mu \vec{H}$ Vakuum μ = 1

$\mu = (1 + \kappa)$ Permeabilitätskonstante (ohne Einheit)

$\kappa \neq 0$ Suszeptibilität (ohne Einheit)

$\vec{B} = \mu_0 (\vec{H} + \vec{M})$ externes Feld + Feld der Materie

Optik

Elektro-Magnetische Welle

$E(t) = E_0 \sin(kx - \omega t)$, $B(t) = B_0 \sin(kx - \omega t)$

c = 299 792 452 m/s Lichtgeschwindigkeit

$\vec{S} = \frac{1}{\mu_0}\vec{E} \times \vec{B}$ Pointingvektor = Leistung pro Fläche

$$I = S_{gem} = \frac{1}{\mu_0 c}\frac{1}{2}E_0^2$$

$I = I_0 \cos^2\omega$ Intensität hinter 2 Polarisatoren unter dem Polarisationswinkel ω

Geometrische Optik

Brechungsindex, $n = c/c_{mat}$ — c_{mat}: Lichtgeschwindigkeit in der Materie

Reflexion $\theta_1 = \theta_1'$ — Einfallswinkel = Ausfallswinkel

Snellius-Gesetz $\frac{n_1}{n_2} = \frac{\sin\theta_2}{\sin\theta_1}$ — Brechung bei Lichtübergang von Medium mit Brechungsindex n_1 (Einfallswinkel θ_1) in das Medium mit Brechungsindex n_2 (θ_2: Brechungswinkel)

Totalreflexion $\sin\alpha_T = \frac{n_2}{n_1}$ — Grenzwinkel bei Lichtübergang von Medium 1 => 2

Brewsterwinkel $\tan\theta_B = \frac{n_2}{n_1}$ — Licht kommt aus Medium 1 & Reflexion an Medium 2

Kugelspiegel f = ½ r — r: Radius des Kugelspiegels, f: Brennweite

Linsengleichung $\frac{1}{f} = \frac{1}{g} + \frac{1}{b}$ — gilt für Linsen und Kugelspiegel

f: Brennweite, g: Gegenstandsweite, b: Bildweite

Brechkraft D = 1/f — [D] Dioptrien 1dpt = 1/m

Linsenkombination: $D = \sum D_j$ — eng beieinander stehende Linsen mit Brechkraft D_j

Abbildungsmaßstab $m = B/G = -b/g$ — B: Bildgröße, G: Gegenstandsgröße

Vergrößerung $v = \varepsilon/\varepsilon_0$ — Winkel ε bezogen auf menschlichen Sehwinkel ε_0 eines Gegenstandes im Augenabstand g = 25 cm

Fernrohr $\Gamma = \frac{\varepsilon'}{\varepsilon} = \frac{B_1/f_2}{B_1/f_1} = \frac{f_1}{f_2}$ — Winkelvergrößerung am Kepplerfernrohr