Formelsammlung Klassische Physik

Mechanik

Kinematik

Ortsvektor: $\vec{r}(t)$

Geschwindigkeit: $\vec{v}(t) = \frac{\mathrm{d}\vec{r}}{\mathrm{d}t}$

Beschleunigung: $\vec{a}(t) = \frac{\mathrm{d}\vec{v}}{\mathrm{d}t}$

Kreisbewegung

Winkel: $\varphi = \frac{b}{r} = \frac{\text{Bogenlänge}}{\text{Radius}}$

Winkelgeschwindigkeit: $\vec{\omega}(t) = \frac{\mathrm{d}\vec{\varphi}}{\mathrm{d}t}$

Bahngeschwind.: $\vec{v} = \vec{\omega} \times \vec{r}$

Zentripetalbeschl.: $\vec{a}_\mathrm{Z} = -r\omega^2\vec{e}_\mathrm{r}$

Kraft und Impuls

Impuls: $\vec{p} = m \cdot \vec{v}$

Kraft: $\vec{F} = \frac{\mathrm{d}\vec{p}}{\mathrm{d}t}$

Hookesche: $F(x) = -Dx$

Stauchung/Dehnung x

Arbeit, Energie, Leistung

Kin. Energie: $E_\mathrm{kin} = \frac{1}{2}mv^2$

Arbeit: $W = \int_{\vec{r}_1}^{\vec{r}_2} \vec{F} \cdot \mathrm{d}\vec{r}$

Pot. Energie: $E_\mathrm{pot}(\vec{r}) = -\int_{\vec{r}_0}^{\vec{r}} \vec{F}(\vec{r}') \cdot \mathrm{d}\vec{r}'$

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

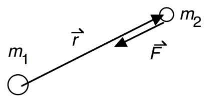
Gravitationsfeld

Gravitationskraft:

$\vec{F}_\mathrm{G} = -G\frac{m_1 \cdot m_2}{r^2} \cdot \vec{e}_r$

Feldstärke: $\vec{g} = \frac{\vec{F}}{m_2}$

Potential: $\phi_\mathrm{pot} = \frac{E_\mathrm{pot}}{m_2}$



Drehbewegung, Rotation starrer Körper

Massenmittelpunkt: $\vec{r}_\mathrm{SP} = \frac{\sum m_i \vec{r}_i}{M_\mathrm{ges}} = \frac{1}{M}\int \vec{r} \cdot \mathrm{d}M$

Drehimpuls: $\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p}$

Drehmoment: $\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F} = \frac{\mathrm{d}\vec{L}}{\mathrm{d}t}$

Feste Achse A: $\vec{L} = J_\mathrm{A} \cdot \vec{\omega}_\mathrm{A}$

Trägheitsmoment: $J = \int r^2 \,\mathrm{d}m$

Satz von Steiner: $J_\mathrm{d} = J_\mathrm{Schwerpunkt} + md^2$

Rotationsenergie: $E_\mathrm{rot} = \frac{1}{2}J\omega^2$

Arbeit: $W = \int \vec{M} \cdot \mathrm{d}\vec{\varphi}$

Scheinkräfte

gleichförmig rotierendes Bezugssystem

Zentrifugalkraft: $\vec{F}_\mathrm{ZF} = -m\vec{\omega} \times (\vec{\omega} \times \vec{r})$

Corioliskraft: $\vec{F}_\mathrm{C} = -2m\vec{\omega} \times \vec{v}$

Reibung

Reibungskraft: $\left|\vec{F}_\mathrm{R}\right| = \mu \left|\vec{F}_\mathrm{N}\right|$

Stoke'sche Reibung: $\vec{F}_\mathrm{R} = -6\pi\eta r\vec{v}$

Newton'sche Reibung: $\vec{F}_\mathrm{R} = -\frac{1}{2}c_\mathrm{W}\rho A\,|\vec{v}|\,\vec{v}$

Harmonische Schwingung

	frei	**gedämpft**	**erzwungen**
BGL:	$m\ddot{x} = -Dx$	$m\ddot{x} = -Dx - \beta\dot{x}$	$m\ddot{x} = -Dx - \beta\dot{x} + F_\mathrm{extern}(t)$
Ansatz:	$x(t) = x_0\sin(\omega_0 t + \varphi)$	$x(t) = Ae^{-\delta t}\cos(\omega t + \varphi)$	
	$\omega_0 = \sqrt{\frac{D}{m}}$	$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}$, $\delta = \frac{\beta}{2m}$	

(Harmonische) Wellen 1D

$\frac{\partial^2 \xi(x,t)}{\partial x^2} = \frac{1}{v_{\text{Phase}}^2} \frac{\partial^2 \xi(x,t)}{\partial t^2}$

Phasengeschwindigkeit v_{Phase}

$\xi(x,t) = A \cos(\omega t - kx)$

Amplitude A, Wellenzahl k, Kreisfrequenz ω

Doppler-Effekt

Geschwindigkeit des Empfängers/Senders v

Bewegter Sender: $f_\text{e} = f_\text{s} \left(\frac{v_{\text{Phase}}}{v_{\text{Phase}} \pm v} \right)$

Bewegter Empfänger: $f_\text{e} = f_\text{s} \left(1 \pm \frac{v}{v_{\text{Phase}}} \right)$

Ruhende Flüssigkeiten

Druck: $p = \frac{|\vec{F}|}{|\vec{A}|}$

Kompressibilität: $\kappa = -\frac{1}{V} \cdot \frac{\partial V}{\partial p}$

Schweredruck: $p = \rho g h$

Auftrieb: $F_{\text{Auftrieb}} = \rho_{\text{Fluid}} V_{\text{verdrängt}} g$

Oberflächenspannung: $\sigma = \frac{\Delta W}{\Delta A}$

Strömende Flüssigkeiten

Bernoulli-Gleichung: $p + \frac{1}{2}\rho u^2 + \rho g h = \text{const}$

Kontinuitätsgl.: $A_1 u_1 = A_2 u_2$

Hagen-Poiseuille: $\frac{V}{t} = \frac{\pi R^4}{8\eta} \frac{\Delta p}{L} = \frac{\pi R^4}{8\eta} \frac{\partial p}{\partial z}$

Thermodynamik und ideale Gase

Ideale Gase

Stoffmenge: ν, allg. Gaskonstante: R

Teilchenzahl: N, Boltzmann-Konst.: k_B

Freiheitsgrade: f

$pV = \nu RT = N k_\text{B} T$

Innere Energie: $U = \nu f \frac{1}{2} RT = \nu c_V T$

Entropie: $\mathrm{d}S = \frac{\mathrm{d}Q}{T}$

barometr. Höhenformel: $p(h) = p_0 \cdot e^{-\frac{\rho_0 g h}{p_0}}$

Adiabate: $pV^{\frac{c_p}{c_V}} = pV^{1+\frac{2}{f}} = pV^\gamma = \text{konst.}$

Wirkungsgrad: $\eta = \left| \frac{\Delta W_{\text{ges}}}{Q_{\text{ein}}} \right|$

Wärme-menge, -leitung, -ausdehnung

Wärmekapazität (WK): C, massenspez. WK: c

molare WK: c_{molar}, Stefan-Boltzmann-Konst.: σ_{SB}

$\mathrm{d}Q = C \cdot \mathrm{d}T = c \cdot m \cdot \mathrm{d}T = c_{\text{molar}} \cdot \nu \cdot \mathrm{d}T$

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

Strahlungsleistung (schw. Körper): $P = \sigma_{\text{SB}} A T^4$

lin. Ausdehnung: $l(\vartheta) = l_0(1 + \alpha(\vartheta - \vartheta_0))$

Volumenausdehnung: $V(\vartheta) = V_0(1 + \gamma(\vartheta - \vartheta_0))$

1. Hauptsatz der Thermodynamik

$\Delta U = \Delta Q + \Delta W$ mit $\Delta W = -\int p \mathrm{d}V$

Elektromagnetismus

Elektrisches Feld

Coulombkraft: $\vec{F}_\mathrm{C} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} \cdot \vec{e}_r$

Feldstärke: $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_2}$

Potential: $\varphi_\mathrm{pot} = \frac{E_\mathrm{pot}}{q_2}$

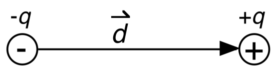
Fluss: $\Phi_E = \int_A \vec{E} \cdot \mathrm{d}\vec{A}$

Punktladung:

$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1}{r^2} \cdot \vec{e}_r$

$\varphi_\mathrm{pot} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1}{r} + \mathrm{konst}$

Elektrischer Dipol



Diplomoment: $\vec{p}_e = q \cdot \vec{d}$

im homogenen Feld

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

$E_\mathrm{pot} = -\vec{p}_e \cdot \vec{E}$

Felder mit Dielektrikum

$\vec{D} = \varepsilon_0\varepsilon_r\vec{E} = \varepsilon_0\vec{E} + \vec{P}$

Polarisation:

$\vec{P} = \frac{N}{V} \cdot \vec{p}_e = n \cdot \vec{p}_e$

Energiedichte:

$w_e = \frac{\mathrm{d}W_e}{\mathrm{d}V} = \frac{1}{2}\vec{E} \cdot \vec{D}$

Elektrischer Strom, Widerstand, Leistung

Stromstärke $I = \frac{\mathrm{d}Q}{\mathrm{d}t} = \int \vec{j}\mathrm{d}\vec{A}$

Stromdichte: $\vec{j} = n \cdot q \cdot \vec{v}_\mathrm{d}$

Ladungsträgerbeweglichkeit: $\mu = \frac{v_\mathrm{d}}{E}$

Driftgeschwindigkeit: $\vec{v}_\mathrm{d}$

Ladungsträgerdichte: n

Widerstand: $R = \frac{U}{I}$

Ohmsches Gesetz: $\vec{j} = \sigma \cdot \vec{E}$

spez. Leitfähigkeit σ

el. Leistung: $P = U \cdot I$

Kontinuitätsgleichung:

$\nabla \cdot \vec{j}(\vec{r},t) = -\frac{\partial}{\partial t}\rho(\vec{r},t)$

Raumladungsdichte ρ

Kondensator

Kapazität: $C = \frac{Q}{U}$

Spannung/Potentialdifferenz U

Feldenergie: $W_e = \frac{1}{2}CU^2$

Plattenkondensator:

$C = \varepsilon_0\varepsilon_r\frac{A}{d}$

$E = \frac{U}{d}$

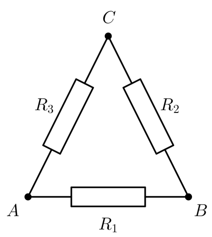
Homogener Leiter, Schaltung von Widerständen/Kondensatoren

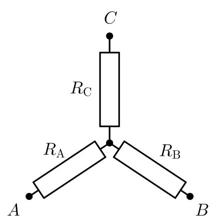
homogener Leiter: $R = \frac{1}{\sigma}\frac{l}{A}$

$R_\mathrm{A} = \frac{R_1R_3}{R_1+R_2+R_3}$

$R_\mathrm{B} = \frac{R_1R_2}{R_1+R_2+R_3}$

$R_\mathrm{C} = \frac{R_2R_3}{R_1+R_2+R_3}$





in Reihe: $R_\mathrm{ges} = \sum_i R_i$

$\frac{1}{C_\mathrm{ges}} = \sum_i \frac{1}{C_i}$

parallel: $\frac{1}{R_\mathrm{ges}} = \sum_i \frac{1}{R_i}$

$C_\mathrm{ges} = \sum_i C_i$

Magnetfeld, Lorentzkraft, Magnetischer Dipol

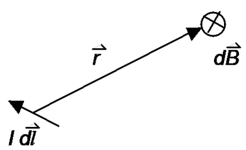
Biot-Savart-Gesetz:

$\mathrm{d}\vec{B} = \frac{\mu_r \cdot \mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I \cdot \mathrm{d}\vec{l} \times \vec{r}}{r^3}$

Lorentzkraft:

$\vec{F}_\mathrm{L} = q \cdot \left(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}\right)$

$\vec{F}_\mathrm{m} = I \cdot \vec{l} \times \vec{B}$

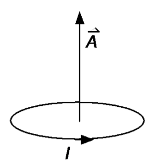


Dipolmoment $\vec{p}_\mathrm{m} = I \cdot \vec{A}$

in homogenen B-Feld:

$\vec{M} = \vec{p}_\mathrm{m} \times \vec{B}$,

$E_\mathrm{pot} = -\vec{p}_\mathrm{m} \cdot \vec{B}$



Magnetischer Fluss, Induktion

Fluss durch Fläche A: $\phi_B = \int_A \vec{B} \cdot \mathrm{d}\vec{A}$

Induktionsspannung: $|U_i| = N \cdot \left|\frac{\mathrm{d}\phi_B}{\mathrm{d}t}\right| = L \cdot \left|\frac{\mathrm{d}I}{\mathrm{d}t}\right|$

Induktivität: $L = N \cdot \frac{\mathrm{d}\phi_B}{\mathrm{d}I}$

Energie

Energie des Magnetfeldes einer Induktivität:

$W_\mathrm{m} = \frac{1}{2}LI^2$

Energiedichte: $w_\mathrm{m} = \frac{\mathrm{d}W_\mathrm{m}}{\mathrm{d}V} = \frac{1}{2}\vec{H} \cdot \vec{B} = \frac{\vec{B}^2}{2 \cdot \mu_r \cdot \mu_0}$

Komplexe Wechselstromwiderstände

$Z = \frac{U}{I} = R + iX$

mit $U = U_0 \cdot e^{i\omega t}$, $I = I_0 \cdot e^{i(\omega t + \varphi)}$

Wirkwiderstand: R, Blindwiderstand: X,

Scheinwiderstand: $|Z|$

Kondensator: $Z_\mathrm{C} = \frac{1}{i\omega C}$

Ideale Spule: $Z_\mathrm{L} = i\omega L$

Reale Spule: $Z_\mathrm{L} = R_\mathrm{Sp} + i\omega L$

Elektromagnetische Wellen im Vakuum

Wellengleichung 1D: $\frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial x^2} = \frac{1}{c^2} \cdot \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2}$

$\vec{B} = \frac{1}{\omega} \cdot \left(\vec{k} \times \vec{E}\right)$

Phasengeschwindigkeit: $c^2 = \frac{1}{\mu_0 \epsilon_0}$

Wellenwiderstand des Vakuums:

$Z = \frac{E}{H} = \mu_0 \cdot \frac{E}{B}$

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

Maxwell-Gleichungen (hier für $\varepsilon_r = \mu_r = 1$)

Bezeichnung	Integralform	Differenzielle Form
Gaußscher Satz: E-Feld	$\oint \vec{E} \cdot \mathrm{d}\vec{A} = \frac{Q_\mathrm{ein}}{\varepsilon_0}$	$\mathrm{div}\vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon_0}$
Gaußscher Satz: B-Feld	$\oint \vec{B} \cdot \mathrm{d}\vec{A} = 0$	$\mathrm{div}\vec{B} = 0$
Faradaysches Induktionsgesetz	$\oint \vec{E} \cdot \mathrm{d}\vec{s} = -\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t} \int \vec{B} \cdot \mathrm{d}\vec{A}$	$\mathrm{rot}\vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$
Amperesches Durchflutungsgesetz	$\oint \vec{B} \cdot \mathrm{d}\vec{s} = \mu_0 \left(I + \varepsilon_0 \frac{\partial}{\partial t} \int \vec{E} \cdot \mathrm{d}\vec{A}\right)$	$\mathrm{rot}\vec{B} = \mu_0 \left(\vec{j} + \vec{j}_V\right)$

Verschiebungsstromdichte: $\vec{j}_V = \varepsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$