

Φ-Formelsammlung

10. - 12. Schuljahr

KZU Bülach, Fachschaft Physik

7. Auflage 2024
C. Marchica, R. Brüderlin

Inhaltsverzeichnis

I Formelsammlung	1
B Mechanik der Massenpunkte	1
B.1 Kinematik	1
B.2 Dynamik	2
B.3 Energie und Impuls	3
B.4 Himmelsmechanik	4
C Mechanik starrer Körper	5
C.1 Statik starrer Körper	5
C.2 Dynamik starrer Körper	5
D Mechanik deformierbarer Körper	6
D.1 Hydrostatik	6
D.2 Hydrodynamik	6
E Schwingungen und Wellen	7
E.1 Harmonische Schwingungen	7
E.2 Mechanische Wellen	7
F Wärmelehre	8
F.1 Längen-/Volumenausdehnung	8
F.2 Ideales Gas	8
F.3 Hauptsätze der Wärmelehre	9
G Eletrizitätslehre	10
G.1 Elektrostatik	10
G.2 Elektrische Ströme	11
G.3 Magnetismus	12
G.4 Wechselstromkreis	13
G.5 Elektromagnetische Schwingungen und Wellen	13
I Moderne Physik	14
I.1 Spezielle Relativitätstheorie	14
I.2 Quantenphysik	15
I.3 Kern und Teilchen	15
M Mathematische Formelsammlung	16
II Tabellen zur Physik	19
A Einheiten und Konstanten	19
B Mechanik der Massenpunkte	21
C Mechanik starrer Körper	22
F Wärme	23
G Elektrizität	25
H Optik	25
I Moderne Physik	26
J Astronomie	28
Periodensystem der Elemente	30

I. Formelsammlung

B. Mechanik der Massenpunkte

B.1 Kinematik

Ortsänderung	$\Delta \vec{s}$	$[s] = \text{m}$
Zeitänderung	Δt	$[t] = \text{s}$
Geschwindigkeit (Def.)	$\vec{v} = \frac{\Delta \vec{s}}{\Delta t}$	$[v] = \frac{\text{m}}{\text{s}}$
Beschleunigung (Def.)	$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$	$[a] = \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
Gleichm. beschl. Beweg.	$\vec{s}(t) = \frac{1}{2} \vec{a} t^2 + \vec{v}_0 t + \vec{s}_0$ $\vec{v}(t) = \vec{v}_0 + \vec{a} t$ $v^2 = v_0^2 + 2a\Delta s$	\vec{v}_0 : Anfangsgesch. \vec{s}_0 : Startpkt. $\Delta s = s - s_0$

Wurfbewegungen

Freier Fall	$y(t) = y_0 - v_0 t - \frac{1}{2} g t^2$ $v(t) = v_0 + gt$	Fallbeschleunigung $g \approx 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
Vertikaler Wurf	$y(t) = y_0 + v_0 t - \frac{1}{2} g t^2$ $v(t) = v_0 - gt$	
Horizontaler Wurf	$x(t) = v_0 t, \quad y(t) = y_0 - \frac{1}{2} g t^2$ $v_y(t) = gt$	
Schiefer Wurf	$x(t) = v_{0x} t, \quad y(t) = y_0 + v_{0y} t - \frac{1}{2} g t^2$ $v_y(t) = v_{0y} - gt$	$v_{0x} = v_0 \cos \alpha$ $v_{0y} = v_0 \sin \alpha$
- Bahnkurve	$y(x) = \tan \alpha \cdot x - \frac{g}{2v_0^2 \cos^2 \alpha} \cdot x^2$	α : Abwurfwinkel
- Wurfweite	$x_w = \frac{v_0^2}{g} \cdot \sin(2\alpha)$	
- Scheitelhöhe	$y_h = \frac{v_0^2}{2g} \cdot \sin^2 \alpha$	

B.2 Dynamik

Resultierende Kraft (Def.)	$\vec{F}_{\text{res}} = \sum_i \vec{F}_i$	$[F] = \frac{\text{kg m}}{\text{s}^2} = \text{N}$ (Newton)
Trägheitsgesetz (N.I)	$\vec{F}_{\text{res}} = \vec{0} \quad \Rightarrow \quad \vec{v} = \text{konst.}$	
Aktionsgesetz (N.II)	$\vec{F}_{\text{res}} = m\vec{a}$	m : Masse
Wechselwirkungsg. (N.III)	$\vec{F}_{X,12} = -\vec{F}_{X,21}$	
Dichte (Def.)	$\varrho = \frac{m}{V}$	V : Volumen, $[\varrho] = \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ▷ S. 21
Gewichtskraft	$\vec{F}_g = m\vec{g}$	\vec{g} : Fallbeschl.
Federkraft	$\vec{F}_F = -D\Delta\vec{y}$	D : Federkonst., $[D] = \frac{\text{N}}{\text{m}}$
Gleitreibungskraft	$F_{R_G} = \mu_G F_N$	F_N : Normalkraft
Haftreibungskraft	$F_{R_H} \leq \mu_H F_N$	$\mu_{G,H}$: Reibungszahl ▷ S. 21

Kreisbewegung

Periode (Umlaufszeit)	T	$[T] = \text{s}$
Frequenz	$f = \frac{1}{T}$	$[f] = \frac{1}{\text{s}} = \text{Hz}$ (Hertz)
Winkeländerung	$\Delta\varphi$	$[\varphi] = \text{rad}$
Winkelgeschwindigkeit (Def.)	$\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$	$[\omega] = \frac{\text{rad}}{\text{s}}$
Winkelbeschleunigung (Def.)	$\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$	$[\alpha] = \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$
Beziehung zw. ω, T, f	$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$	
Transformationen	$s = \varphi r, \quad v = \omega r, \quad a = \alpha r$	r : Radius
Zentripetalbeschleunigung	$\vec{a}_z = -\omega^2 \vec{r} \quad \Rightarrow \quad \vec{F}_{\text{res}} = m\vec{a}_z$	

B.3 Energie und Impuls

Arbeit (Def.)	$W = F s \cos \alpha, \quad \alpha = \angle(\vec{F}, \vec{s})$	$[W] = \text{N m} = \text{J}$ (Joule)
Arbeit (allg. Form)	$W_{AB} = \int_{s_A}^{s_B} \vec{F} \cdot d\vec{s}$	
Reibungsarbeit	$W_R = -F_R \Delta x$	
Energiesatz der Mechanik	$\Delta E_{\text{kin}} = W$	
Kinetische E. (Bewegungen.)	$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2}m v^2$	$[E_{\text{kin}}] = \text{J}$
Potentielle E. (Lageenergie)	$E_{\text{pot,S}} = m g y$	$[E_{\text{pot,S}}] = \text{J}$
Potentielle E. (Federenergie)	$E_{\text{pot,F}} = \frac{1}{2}D x^2$	$[E_{\text{pot,F}}] = \text{J}$
Energieerhaltung	$E_{\text{ges}} = \sum_i E_i = \text{konst.}$	
Leistung (Def.)	$P = \frac{\Delta W}{\Delta t}$	$[P] = \frac{\text{J}}{\text{s}} = \text{W}$ (Watt)
	$P = \frac{dW}{dt} = \vec{F} \cdot \vec{v}$	
Wirkungsgrad (Def.)	$\eta = \frac{E_N}{E_A}$	E_N : Nutzenergie, E_A : Antriebsenergie
Impuls (Def.)	$\vec{p} = m \vec{v}$	$[p] = \text{kg} \frac{\text{m}}{\text{s}}$
Kraftstoss	$\Delta \vec{p} = \vec{F} \Delta t$	$[\Delta p] = \text{Ns}$
allg. Bewegungsgleichung	$\vec{F}_{\text{res}} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t}$	
Impulserhaltung	$\vec{p}_{\text{ges}} = \sum_i \vec{p}_i = \text{konst.}$	
Vollk. elastischer Stoss:	$\vec{v}'_1 = \frac{(m_1 - m_2)\vec{v}_1 + 2m_2\vec{v}_2}{m_1 + m_2}$	
	$\vec{v}'_2 = \frac{(m_2 - m_1)\vec{v}_2 + 2m_1\vec{v}_1}{m_1 + m_2}$	

B.4 Himmelsmechanik

2. Keplersches Gesetz	$\frac{\Delta A}{\Delta t} = \text{konst.}$	ΔA : Flächenänderung
3. Keplersches Gesetz	$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}$	a : grosse Halbachse, M : Masse Zentralk. \triangleright ab S. 28
	$\frac{a^3}{T^2} = \frac{GM}{4\pi^2}$	
Gravitationsgesetz	$F_G = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$	Gravitationskonstante $G \approx 6.67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Nm}^2}{\text{kg}^2}$
	$\vec{F}_G = -G \frac{m_1 m_2}{r^2} \cdot \frac{\vec{r}}{r}$	
Allg. Gravitationsbeschl.	$g(r) = G \frac{M}{r^2}$	
Gravitationsfeld	$\vec{G}(r) = \frac{\vec{F}_G}{m}$	m : Probemasse
Hubarbeit im Grav.feld	$W_{\text{Hub}} = GMm \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_n} \right)$	
Pot. Energie im Grav.feld	$E_{\text{pot}} = -\frac{GMm}{r_p}$	r_p : Radius Planet
Kreisbahngeschwindigkeit	$v_1 = \sqrt{\frac{GM}{r_p}}$	
Fluchtgeschwindigkeit	$v_2 = \sqrt{\frac{2GM}{r_p}} = \sqrt{2}v_1$	

C. Mechanik starrer Körper

C.1 Statik starrer Körper

Drehmoment (Def.) $\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F}$ $[M] = \text{N m}$
 $M = F r \sin \varphi, \quad \varphi = \angle(\vec{F}, \vec{r})$

Hebelgesetz $F_1 r_1 = F_2 r_2$

Schwerpunkt (Def.) $\vec{r}_{\text{SP}} = \frac{\sum_i \vec{r}_i m_i}{\sum_i m_i}$

Gleichgewichtsbedingungen $\vec{F}_{\text{res}} = \vec{0} \quad \text{und} \quad \vec{M}_{\text{res}} = \vec{0}$

C.2 Dynamik starrer Körper

Trägheitsmoment (Def.) $J \approx \sum_{i=1}^n m_i r_i^2$ $[J] = \text{kg m}^2$ ▷ S. 22

Trägheitsmoment (allg. Form) $J = \int_K r^2 dm$ $K:$ Körper

Aktionsgesetz $\vec{M}_{\text{res}} = J \vec{\alpha} = \frac{\Delta \vec{L}}{\Delta t}$

Bewegungsgleichungen $\vec{F}_{\text{res}} = m \vec{a} \quad \text{und} \quad \vec{M}_{\text{res}} = J \vec{\alpha}$

Satz v. Steiner $J = J_s + ma^2$ $a:$ Abstand zur Drehachse

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

Drehimpuls (Def.) $\vec{L} = J \vec{\omega} = \vec{r} \times \vec{p}$ $[L] = \frac{\text{kg m}^2}{\text{s}}$

Drehimpulserhaltung $\vec{L}_{\text{ges}} = \sum_i \vec{L}_i = \text{konst.}$

D. Mechanik deformierbarer Körper

D.1 Hydrostatik

Druck (Def.)	$p = \frac{F}{A}$	$[p] = \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = \text{Pa}$ (Pascal) \triangleright S. 19
Schweredruck	$p = \varrho_{\text{Fl}} g h$	ϱ_{Fl} : Dichte Flüssigkeit, \triangleright S. 21 h : Flüssigkeitssäule
Auftrieb	$F_A = \varrho_{\text{Fl}} V_{\text{Ver.}} g$	$V_{\text{Ver.}}$: Verdrängtes Vol.

D.2 Hydrodynamik

Volumenstrom (Def.)	$\dot{V} = av$	$[\dot{V}] = \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$
Kontinuitätsgleichung	$\dot{V} = \text{konst.}$	
Bernoulli-Gleichung	$p + \frac{1}{2} \varrho v^2 + \varrho gh = \text{konst.}$	

Die Gesetze zum *Schweredruck* und zum *Auftrieb* gelten analog auch für Gase.

E. Schwingungen und Wellen

E.1 Harmonische Schwingungen

Harm. Schwingung (Def.)	$\ddot{y} + \omega_0^2 y = 0$	ω_0 : Eigenkreisfrequenz
Lsg. harm. Schwingung	$y(t) = \hat{y} \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$	φ_0 : Phasenversch.
Gedämpfte Schwing. (Def.)	$\ddot{y} + 2\delta\dot{y} + \omega_0^2 y = 0$	δ : Dämpfungskonstante
Lsg. gedämpfte Schwingung	$y(t) = \hat{y} e^{-\delta t} \cos(\omega t + \varphi_0)$	$\omega^2 = \omega_0^2 - \delta^2$
Arten von Dämpfung	$\omega_0^2 > \delta^2$, unterkritisch $\omega_0^2 = \delta^2$, kritisch $\omega_0^2 < \delta^2$, überkritisch	

E.2 Mechanische Wellen

Fortpflanzungsgeschw.	$v = \frac{\lambda}{T} = f\lambda = \frac{\omega}{k}$	λ : Wellenlänge, k : Wellenzahl
harm. Wellenfunktion (rechts (-), links (+) laufend)	$y(x, t) = \hat{y} \sin(kx \pm \omega t + \varphi)$	
Fortpflanzungsge. im Seil	$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$	F : Kraft im Seil, μ : Masse pro Länge
Stehende Wellen (2 feste Enden im Abstand l)	$k_n = n \frac{\pi}{l}, \quad l = n \frac{\lambda}{2}$	$n = 1, 2, 3, \dots$
Stehende Wellen (1 festes, 1 freies Ende)	$k_n = n \frac{\pi}{2l}, \quad l = n \frac{\lambda}{4}$	$n = 1, 3, 5, \dots$
Brechung (von Medium A zu B)	$f_A = f_B, \quad \frac{v_A}{v_B} = \frac{\lambda_A}{\lambda_B}$	
Gesetz von Snellius	$n_A \sin \alpha = n_B \sin \beta$	$n_{A,B}$: Brechzahl ▷ S. 25
Totalreflexionswinkel	$\alpha_T = \arcsin \left(\frac{n_B}{n_A} \right)$	
Doppelspalt (konstruktiv)	$d \sin \vartheta = m\lambda$	d : Spaltabstand $m = 1, 2, 3, \dots$
Doppelspalt (destruktiv)	$d \sin \vartheta = (m + \frac{1}{2})\lambda$	
Einfachspalt (destruktiv)	$a \sin \vartheta = m\lambda$	a : Spaltbreite

F. Wärmelehre

F.1 Längen-/Volumenausdehnung

absolute Temperatur	T	$[T] = \text{K}$
Celsius-Temperatur	ϑ	$[\vartheta] = {}^\circ\text{C}$
Celsius aus Fahrenheit	$\vartheta_C = \frac{5}{9}\vartheta_F - 17.8^\circ$	$[\vartheta_F] = {}^\circ\text{F}$
Längenausdehnung	$\Delta l = \alpha l_0 \Delta T$	α : Ausdehnungskoeff. ▷ S. 23
Volumenausdehnung	$\Delta V = \gamma V_0 \Delta T,$	γ : Volumenausd. ▷ S. 23 für Festkörper: $\gamma \approx 3\alpha$

F.2 Ideales Gas

Boyle-Mariotte	$pV = \text{konst.}$ $T = \text{konst.}$	isotherm
Amontons	$\frac{p}{T} = \text{konst.}$ $V = \text{konst.}$	isochor
Gay-Lussac	$\frac{V}{T} = \text{konst.}$ $p = \text{konst.}$	isobar
Gasgesetz	$\frac{pV}{T} = \text{konst.}$	
Stoffmenge	$n = \frac{m}{M}$	$[n] = \text{mol},$ $[M] = \frac{\text{kg}}{\text{mol}},$ M : Molare Masse ▷ ab S. 26
Teilchenzahl	$N = n N_A$	Avogadrokonstante $N_A \approx 6.022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
Zustandsgl. idealer Gase	$pV = nRT$	univers. Gaskonstante $R \approx 8.314 \frac{\text{J}}{\text{mol K}}$
	$pV = Nk_B T$	Boltzmann-Konst. $k_B \approx 1.38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{K}}$
Universelle Gaskonstante	$R = N_A k_B$	
Mittlere Translationsenergie (eines Gasteilchens)	$\langle E_{\text{kin}} \rangle = \langle \frac{1}{2} m_0 v^2 \rangle$	m_0 : Masse Gasteilchen
Druck eines idealen Gases	$p = \frac{2}{3} \frac{N}{V} \langle E_{\text{kin}} \rangle$	
Äquivalenzprinzip	$\langle E_{\text{kin}} \rangle = f \frac{1}{2} k_B T$	f : Anzahl Freiheitsgrade
Innere Energie (Def.)	$U = N \langle E_{\text{kin}} \rangle$ $U = f \frac{1}{2} nRT$	$[U] = \text{J}$

F.3 Hauptsätze der Wärmelehre

Wärmemenge	Q	$[Q] = \text{J}$
1. Hauptsatz	$\Delta U = Q + W$	$Q > 0$: zugef. Wärme, $W > 0$: am System verrichtete. Arbeit
Molare Wärmekapazität C	$Q = C n \Delta T$	$[C] = \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$ ▷ S. 23
Spezifische Wärmekap. c	$Q = c m \Delta T$	$[c] = \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$ ▷ S. 23
Spez. Verdampfungswärme	$Q = \pm L_v m$	$[L_v] = \frac{\text{J}}{\text{kg}}$ ▷ S. 23
Spez. Schmelzwärme	$Q = \pm L_f m$	$[L_f] = \frac{\text{J}}{\text{kg}}$ ▷ S. 23
Spez. Heizwert H	$Q = H m$	$[H] = \frac{\text{J}}{\text{kg}}$ ▷ S. 23
Wärmestrom	$\dot{Q} = \lambda \frac{A}{l} \Delta T$	λ : Leitfähigkeit A : Fläche, l : Wanddicke ▷ S. 24
Volumenarbeit (Def.)	$W = -p \Delta V$	
1. Hauptsatz idealer Gase	$\Delta U = Q - p \Delta V$	
Isochore Wärmemenge	$Q_V = C_V n \Delta T$	C_V : mol. Wärmekap. bei konstantem Volumen ▷ S. 23
Isobare Wärmemenge	$Q_p = C_p n \Delta T$	C_p : mol. Wärmekap. bei konstantem Druck ▷ S. 23
Molare Wärmekapazität	$C_p - C_V = R$	$C_V = \frac{f}{2} R$
Isotherme Wärmemenge	$Q_T = n R T \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right)$	
Adiaba. Zustandsänderung	$p V^\kappa = \text{konst.}$ $T V^{\kappa-1} = \text{konst.}$	$\kappa = \frac{C_p}{C_V}$ ▷ S. 23
Entropie (Def.)	$\Delta S = \frac{Q}{T}$ $S = k_B \ln W$	$[S] = \frac{\text{J}}{\text{K}}$
2. Hauptsatz	$\Delta S \geq 0$	
Wirkungsgrad	$\eta = \frac{ W }{Q_{zu}}, \quad \eta_{\max} = 1 - \frac{T_k}{T_w}$	
Thermody. bzw. Carnot		
Leistungszahl (Wärmepumpe)	$\varepsilon_{WP} = \frac{Q_{zu}}{W} = 1 + \frac{Q_{weg}}{W}$	
Leistungszahl (Kompressor)	$\varepsilon_K = \frac{Q_{weg}}{W}$	

G. Eletrizitätslehre

G.1 Elektrostatik

Ladung	Q	$[Q] = \text{C}$ (Coulomb)
Quantisierung der Ladung	$Q = \pm N e$	$N \in \mathbb{N}$, Elementarladung $e \approx 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
Coulombgesetz	$F_C = \frac{1}{4\pi\epsilon} \cdot \frac{ Q_1 Q_2 }{r^2}$ $\vec{F}_C = \frac{1}{4\pi\epsilon} \cdot \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \cdot \frac{\vec{r}}{r}$	r : Abstand Ladungen, $\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$, ▷ S. 25 $\epsilon_0 \approx 8.85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{As}}{\text{Vm}}$
el. Feldstärke (Def.)	$\vec{E} = \frac{\vec{F}_{\text{el}}}{q_p}$	$[E] = \text{N/C}$, q_p : Probeladung
el. Feld einer Punktladung	$E = \frac{1}{4\pi\epsilon} \cdot \frac{Q}{r^2}$ $\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon} \cdot \frac{Q}{r^2} \cdot \frac{\vec{r}}{r}$	
Verschiebungsarbeit (E -Feld)	$W = q \vec{E} \cdot \Delta \vec{r}$	
Spannung (Def.)	$U = \frac{W}{q}$	$[U] = \frac{\text{J}}{\text{C}} = \text{V}$ (Volt)
Kapazität (Def.)	$C = \frac{Q}{U}$	$[C] = \frac{\text{C}}{\text{V}} = \text{F}$ (Farad)
Kapazität (Plattenkond.)	$C = \epsilon \frac{A}{d}$	$d \ll \sqrt{A}$
el. Feldstärke (Kondensator)	$E = \frac{Q}{\epsilon A} = \frac{U}{d}$	
Energie (Kondensators)	$E_{\text{Kond}} = \frac{1}{2} Q U = \frac{1}{2} C U^2$	
Energiedichte el. Feld	$w_{\text{el}} = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2$	

G.2 Elektrische Ströme

Stromstärke (Def.)	$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$	$[I] = \text{A}$ (Ampere)
Strom im Leiter	$I = nqv_{\text{D}}A$	n : Ladungsdichte, v_{D} : Driftgeschw. ▷ S. 25
Widerstand (Def.)	$R = \frac{U}{I}$	$[R] = \Omega$ (Ohm)
Ohmsches Gesetz	$U \propto I$	
Ohmscher Widerstand	$R = \text{konst.}$	
Spezifischer Widerstand	$R = \varrho_{\text{el}} \frac{l}{A}$	$[\varrho_{\text{el}}] = \Omega \text{ m}$, l : Leiterlänge, A : Leiterquerschnitt ▷ S. 25
Arbeit (el. Stroms)	$W = UI\Delta t$	
Leistung (el. Stroms)	$P = UI$	
Knotenregel	$\sum_i I_i = 0$	
Maschenregel	$\sum_i U_i = 0$	
Serienschaltung (Widerständen)	$R_{\text{ers}} = \sum_i R_i$	
Parallelenschaltung (Widerständen)	$\frac{1}{R_{\text{ers}}} = \sum_i \frac{1}{R_i}$	
Serienschaltung (Kapazitäten)	$\frac{1}{C_{\text{ers}}} = \sum_i \frac{1}{C_i}$	
Parallelenschaltung (Kapazitäten)	$C_{\text{ers}} = \sum_i C_i$	

G.3 Magnetismus

Biot-Savart-Gesetz	$\Delta \vec{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \cdot \frac{\Delta \vec{s} \times \vec{r}}{r^3}$	$[B] = \text{T}$ (Tesla) $\mu_0 \approx 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{N}}{\text{A}^2}$
magn. Feld langer Leiter	$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$	
magn. Feld Kreisstrom	$B = \frac{\mu_0 I}{2r}$	
magn. Feld in Spule	$B = \frac{\mu_0 N I}{\sqrt{l^2 + d^2}}$	l : Länge, d : Durchmesser, N: Windungen
	$B \approx \frac{\mu_0 N I}{l}$	$l \gg d$
Lorentzkraft auf Leiter	$\vec{F}_L = I \vec{s} \times \vec{B}$ $F_L = I s B \sin \varphi$	$\varphi : \sphericalangle(\vec{B}, \vec{s})$
Lorentzkraft auf Ladung	$\vec{F}_L = q \vec{v} \times \vec{B}$ $F_L = q v B \sin \varphi$	$\varphi : \sphericalangle(\vec{B}, \vec{v})$
Drehmoment Leiterschleife	$M = NIBA$	A : Fläche der Schleife
Magnetischer Fluss (Def.)	$\Phi_m = \vec{A} \cdot \vec{B}$	$[\Phi_m] = \text{Wb}$ (Weber)
Induktionsgesetz	$U_{\text{ind}} = -\frac{d\Phi_m}{dt}$	
Selbstinduktion (Induktivität)	$\Phi_m = LI$	
Spannung über Induktivität	$U_L = L \frac{dI}{dt}$	
Energiedichte mag. Feld	$w_m = \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu_0}$	

G.4 Wechselstromkreis

Wechselspannung (Def.) $U(t) = U_0 \sin(\omega t + \varphi)$

Effektivwerte Spannung $U_{\text{eff}} = \frac{U_0}{\sqrt{2}}$

Effektivwerte Strom $I_{\text{eff}} = \frac{I_0}{\sqrt{2}}$

Blindwiderstand (Kapazitiver) $X_C = \frac{1}{\omega C}$

Blindwiderstand (Induktiver) $X_L = \omega L$

Transformator $U_2 = -\frac{N_2}{N_1} U_1$

G.5 Elektromagnetische Schwingungen und Wellen

komplexer Widerstand $Z = \frac{U}{I}$

Impedanz (SerienSchaltung) $|Z| = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$

Phasenverschiebung
(SerienSchaltung) $\tan \varphi = \frac{X_L - X_C}{R}$

Impedanz (Parallelschaltung) $\frac{1}{|Z|} = \sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\frac{1}{X_L} - \frac{1}{X_C}\right)^2}$

Phasenverschiebung
(Parallelschaltung) $\tan \varphi = \frac{\frac{1}{X_L} - \frac{1}{X_C}}{\frac{1}{R}}$

Intensität (em-Welle) $I = \frac{\Delta P}{\Delta A}$ P : Leistung, A : Fläche

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

Impuls (em-Welle) $p = \frac{E_{\text{kin}}}{c}$ c : Lichtgeschwindigkeit

Strahlungsdruck (em-Welle) $p_{\text{str}} = \frac{I}{c}$

Strahlungsleistung
schwarzer Körper $P_{\text{SK}}(T) = \sigma AT^4$ Stefan-Boltzmann-Konst.
 $\sigma \approx 5.67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}^4}$,
 T : Temperatur

Strahlungsleistung
(beliebige Körper) $P_K = \varepsilon \cdot P_{\text{SK}}$ ε : Emissionszahl ▷ S. 24

Rayleigh-Jeas-Gesetz $P(\lambda, T) = \frac{2ck_B T}{\lambda^4}$

Wien'sche Verschiebungsg. $\lambda_{\text{max}} = \frac{2.898 \text{ mm K}}{T}$

I. Moderne Physik

I.1 Spezielle Relativitätstheorie

Lorentztransformationen	$x' = \gamma(x - vt)$	$t' = \gamma \left(t - \frac{vx}{c^2} \right)$
Lorentzfaktor	$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}}$	$\beta = \frac{v}{c}$
Geschwindigkeitstransf.	$u'_x = \frac{u_x - v}{1 - \frac{v}{c^2} u_x}$	
Zeitdilatation	$\Delta t = \gamma \Delta \tau,$	$\Delta \tau:$ Eigenzeit
Längenkontraktion	$\Delta l = \frac{\Delta l_R}{\gamma}$	$\Delta l_R:$ Eigenlänge
relativistischer Impuls	$\vec{p} = \gamma m \vec{v}$	$[p] = \frac{\text{eV}}{c}$
Ruheenergie	$E_0 = mc^2$	$[m] = \frac{\text{eV}}{c^2}$
rel. kinetische Energie	$E_{\text{kin}} = (\gamma - 1)E_0$	
rel. Gesamtenergie	$E = E_{\text{kin}} + E_0 = \gamma E_0$	$[E] = \text{eV}$
Energie-Impuls-Beziehung	$E^2 - (pc)^2 = (mc^2)^2$	

I.2 Quantenphysik

Strahlungsgesetz (Plancksches)	$P(\lambda, t) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{hc}{k_B T \lambda}} - 1}$	$hc \approx 1.24 \text{ keV} \cdot \text{nm}$
Wirkungsquantum	$\hbar = \frac{h}{2\pi}$	$h \approx 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ J s}$
Plancksche Hypothese	$E = \hbar\omega$	ω : Kreisfrequenz
Photoelektrischer Effekt	$E_{\text{kin}} = hf - W_{\text{A}}$	W_{A} : Austrittsarbeit
Compton-Effekt	$\Delta\lambda = \lambda_{\text{C}}(1 - \cos\vartheta)$	$\lambda_{\text{C}} = \frac{h}{mc} \approx 2.43 \text{ pm}$, ϑ : Streuwinkel
Bohrsche Postulate	$f = \frac{ E_1 - E_2 }{h}$	f : Frequenz
	$L = n\hbar$	L : Drehimpuls
Bohr-Radius	$a_0 = \frac{4\pi\varepsilon_0\hbar^2}{me^2}$	$a_0 \approx 5.29 \cdot 10^{-11} \text{ m}$
Rydberg-Konstante	$R_{\infty} = \frac{me^4}{(4\pi\hbar)^3\varepsilon_0^2 c}$	$R_{\infty} \approx 10.97 (\mu\text{m})^{-1}$
Energieniveau (H-Atom)	$E_n = -hcR_{\infty} \cdot \frac{1}{n^2}$	$E_1 \approx -13.6 \text{ eV}$
De-Broglie-Impuls	$p = \frac{\hbar}{\lambda}$	λ : Wellenlänge
Unschärferelation	$\Delta x \Delta p_x \geq \frac{\hbar}{2}$	Δx : Ortsunschärfe, Δp : Impulsunschärfe
Schrödinger-Gleichung (zeitunabhängig)	$E\Psi(x) = -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2\Psi(x)}{dx^2} + V(x)\Psi(x)$	$\Psi(x)$: Wellenfunktion

I.3 Kern und Teilchen

Massenzahl von Kernen	$A = N + Z$	N : Neutronenzahl, ▷ ab S. 26
Z: Ordnungszahl		▷ ab S. 26
Kernradius eines Atoms	$R \approx R_0 \sqrt[3]{A}$	$R_0 \approx 1.5 \text{ fm}$
Bindungsenergie (Kern A_X)	$E_B = (Zm_{\text{H}} + (A - Z)m_{\text{N}} - M_{A_X}) c^2$	m_{H} : Masse H-Atom, m_{N} : Masse Neutron
Aktivität	$A(t) = -\frac{\Delta N}{\Delta t}$	ΔN : Anzahl Zerfälle
Zerfallskonstante	$\lambda = \frac{A}{N}$	
Zerfallsgesetz	$N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$	N_0 : Anzahl Atom ($t = 0$)

M. Mathematische Formelsammlung

Einfache Formeln

Dreiecksfläche	$A = \frac{1}{2} g h$	g : Grundlinie, h : zugehörige Höhe
Bogenmass (Def.)	$\varphi [\text{rad}] = \frac{b}{r}$	b : Bogenlänge, r : Radius
Umrechnung (Grad - Bogenmass)	$\varphi [\text{rad}] = \varphi [^\circ] \cdot \frac{\pi}{180^\circ}$	
Kreisumfang	$U = 2\pi r = \pi d$	d : Durchmesser
Kreisfläche	$A = \pi r^2 = \pi \frac{d^2}{4}$	
Kugelvolumen	$V = \frac{4\pi}{3} r^3$	
Kugeloberfläche	$A = 4\pi r^2$	

Trigonometrische Funktionen

Sinus	$\sin \alpha = \frac{\text{Gegenkathete}}{\text{Hypotenuse}}$
Cosinus	$\cos \alpha = \frac{\text{Ankathete}}{\text{Hypotenuse}}$
Tangens	$\tan \alpha = \frac{\text{Gegenkathete}}{\text{Ankathete}}$
Zusammenhang (sin, cos und tan)	$\frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \tan \alpha$
	$\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1$
Additionstheorem	$\sin(\alpha \pm \beta) = \sin \alpha \cos \beta \pm \cos \alpha \sin \beta$
Summe	$\sin \alpha \pm \sin \beta = 2 \sin\left(\frac{\alpha \pm \beta}{2}\right) \cos\left(\frac{\alpha \mp \beta}{2}\right)$

Ableitungen

Definition

$$\frac{df(x)}{dx} = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{f(x+h) - f(x)}{h}$$

Notation

$$\frac{df(x)}{dx} = f'(x) \quad \text{und} \quad \frac{df(t)}{dt} = \dot{f}(t)$$

Sinus

$$(\sin x)' = \cos x$$

Kosinus

$$(\cos x)' = -\sin x$$

Exponential-Funktion

$$(\mathrm{e}^x)' = \mathrm{e}^x$$

Natürlicher Logarithmus

$$(\ln x)' = \frac{1}{x}$$

Produktregel

$$(fg)' = f'g + fg'$$

Kettenregel

$$(f(g(x)))' = f'(g(x)) \cdot g'(x)$$

Mathematische Relationszeichen

$=$ ist gleich (bei Definitionen und Gesetzen)

\approx ist ungefähr gleich (z. B. bei stark gerundeten Werten)

\sim ist proportional zu

$\hat{=}$ entspricht

\equiv ist identisch

$\stackrel{!}{=}$ soll gleich sein (ist zu beweisen)

\Rightarrow daraus folgt

\Leftrightarrow ist äquivalent

\ll vernachlässigbar

II. Tabellen zur Physik

A. Einheiten und Konstanten

Basiseinheiten			
Grösse	Symbole	Basiseinheit	Abkürzung
Länge	l	Meter	m
Masse	m	Masse	kg
Zeit	t	Sekunde	s
Elektrische Stromstärke	I	Ampère	A
Temperatur	T	Kelvin	K
Lichtstärke	I_v	Candela	cd
Stoffmenge	n	Mol	mol

Physikalische Größen, Symbole und Einheiten			
Grösse	Symbole	Einheitenname	Abkürzung
Aktivität	A	Becquerel	$Bq = 1/s$
Äquivalentdosis	H	Sivert	$Sv = J/kg$
Arbeit	W	Joule	$J = N\ m$
Brechkraft	D	Dioptrie	$Dptr = 1/m$
Brennweite	f		m
Elektrische Kapazität	C	Farad	$F = C/V$
Elektrische Spannung	U	Volt	V
Elektrischer Widerstand	R	Ohm	$\Omega = V/A$
Elektrische Ladung	Q	Coulomb	$C = A\ s$
Energiedosis	D	Gray	$Gy = J/kg$
Federkonstante	D		N/m
Frequenz	f	Hertz	$Hz = 1/s$
Impuls	p	Huygens	$Hy = N\ s = kg\ m/s$
Leistung	P	Watt	$W = J/s$
Magnetisches Feld	B	Tesla	$T = V\ s/m^2$
Magnetischer Fluss	Φ	Weber	$Wb = T\ m^2 = Vs$
Wärmemenge	Q	Joule	J
Winkel	φ	Radian	$rad = 1$
Winkelgeschwindigkeit	ω		rad/s

Griechisches Alphabet							
Klein-buchstabe	Name	Klein-buchstabe	Name	Klein-buchstabe	Name	Klein-buchstabe	Name
α	Alpha	η	Eta	ν	Nü	τ	Tau
β	Beta	θ, ϑ	Theta	ξ	Xi	v	Ypsilon
γ	Gamma	ι	Jota	o	Omkron	ϕ, φ	Phi
δ	Delta	κ	Kappa	π	Pi	χ	Chi
ϵ	Epsilon	λ	Lambda	ρ, ϱ	Rho	ψ	Psi
ζ	Zeta	μ	Mü	σ	Sigma	ω	Omega

Präfixe

Faktor	Präfix	Zeichen	Faktor	Präfix	Zeichen	Faktor	Präfix	Zeichen
10^{-21}	Zepto	z	10^{-3}	Milli	m	10^6	Mega	M
10^{-18}	Atto	a	10^{-2}	Zenti	c	10^9	Giga	G
10^{-15}	Femto	f	10^{-1}	Dezi	d	10^{12}	Tera	T
10^{-12}	Pico	p	10^1	Deka	da	10^{15}	Peta	P
10^{-9}	Nano	n	10^2	Hekto	h	10^{18}	Exa	E
10^{-6}	Mikro	μ	10^3	Kilo	k	10^{21}	Zetta	Z

Umrechnungen von Einheiten

Länge		Kraft Druck		
1 in (inch, Zoll)	$= 2.540 \cdot 10^{-2} \text{ m}$	1 lb (pound-force)	$=$	4.448 N
1 ft (foot)	$= 12 \text{ in}$	1 bar	$=$	$1 \cdot 10^5 \text{ Pa}$
1 mi (mile)	$= 1609.344 \text{ m}$	1 atm	$=$	101 325 Pa
1 Seemeile	$= 1852 \text{ m}$	1 mmHg	$= 1 \text{ Torr}$	$\approx 133.3 \text{ Pa}$
1 AE (Astronomische Einheit)	$= 1.496 \cdot 10^{11} \text{ m}$	1 mmWS (Wassersäule)	$=$	9.806 Pa
1 LJ (Lichtjahr)	$= 9.461 \cdot 10^{15} \text{ m}$	1 psi	$=$	$6.89 \cdot 10^3 \text{ Pa}$
1 pc (Parallaxensekunde/Parsec*)	$= 3.086 \cdot 10^{16} \text{ m}$	(pound-force per square inch)		
Energie, Leistung		Geschwindigkeit, Masse		
1 cal	$= 4.1868 \text{ J}$	1 Knoten	$= 1.852 \text{ km/h}$	$\approx 0.5411 \text{ m/s}$
1 kWh	$= 3.6 \cdot 10^6 \text{ J}$	1 lb (pound mass)	$=$	0.45359 kg
1 Elektronvolt (eV)	$= 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$	1 ct (Karat)	$=$	$2 \cdot 10^{-4} \text{ kg}$
1 PS	$\approx 735.5 \text{ W}$			

* Entfernung, aus der der Erdbahnradius unter dem Winkel von einer Bogensekunde erscheint.

Physikalische Konstanten

Grösse	Symbol	Wert	Einheit
Gravitationskonstante	G	$6.673 \cdot 10^{-11}$	$\text{N m}^2/\text{kg}^2$
Lichtgeschwindigkeit im Vakuum	c	$2.99792458 \cdot 10^8$	m/s
Magnetische Feldkonstante	μ_0	$4\pi \cdot 10^{-7}$	$\text{Vs}/(\text{A m})$
Elektrische Feldkonstante	ϵ_0	$8.85418782 \cdot 10^{-12}$	$\text{As}/(\text{Vm})$
Elementarladung	e	$1.60217646 \cdot 10^{-19}$	C
Plancksches Wirkungsquantum	h	$6.62606876 \cdot 10^{-34}$	J s
Masse des Elektrons	m_e	$9.10938188 \cdot 10^{-31}$	kg
Masse des Protons	m_p	$1.67262158 \cdot 10^{-27}$	kg
Masse des Neutrons	m_n	$1.67492716 \cdot 10^{-27}$	kg
Atommassen-Einheit	u	$1.66053873 \cdot 10^{-27}$	kg
Bohrscher Radius	a_0	$5.2917721 \cdot 10^{-11}$	m
Normwert der Fallbeschleunigung	g	9.80665	m/s^2
Normdruck	p_0	101 325	Pa
Normtemperatur	T_0	273.15	K
Molares Volumen des idealen Gases	V_0	$22.413996 \cdot 10^{-3}$	m^3/mol
Avogadro-Konstante	N_A	$6.02214199 \cdot 10^{23}$	1/mol
Universelle Gaskonstante	R	8.314472	$\text{J}/(\text{mol K})$
Boltzmann-Konstante	k_B	$1.3806503 \cdot 10^{-23}$	J/K
Stefan-Boltzmann-Konstante	σ	$5.670400 \cdot 10^{-8}$	$\text{W}/(\text{m}^2 \text{K}^{-4})$

B. Mechanik der Massenpunkte

Dichte

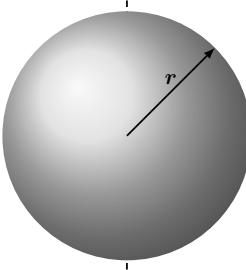
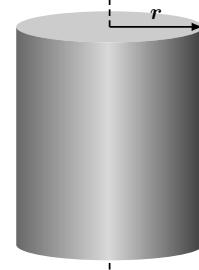
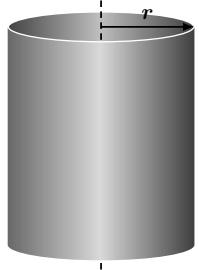
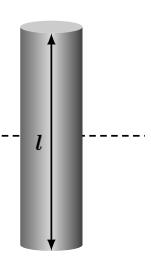
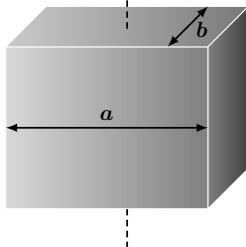
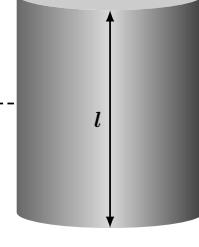
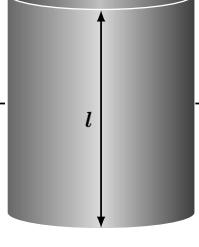
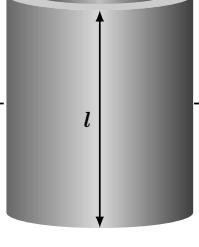
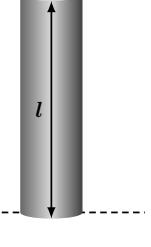
Feste Stoffe bei 20 °C	ϱ [kg/m ³]	Flüssigkeiten bei 20 °C	ϱ [kg/m ³]
Aerogel (ohne enthaltene Luft)	0.16	Aceton	(CH ₃) ₂ CO 791
Aluminium	2 700	Benzol	C ₆ H ₆ 879
Beton	2 200	Benzin	744
Blei	11 340	Diethylether	(C ₂ H ₅) ₂ O 714
Buchen- und Eichenholz (trocken)	700	Ethanol	C ₂ H ₅ OH 789
Diamant	3 510	Glycerin	C ₃ H ₅ (OH) ₃ 1 261
Eis (bei 0 °C)	917	Heizöl	840
Eisen	7 860	Methanol	CH ₃ OH 798
Glas	2 500	Olivenöl	920
Gold	19 290	Quecksilber	Hg 13 546
Graphit	2 240	Schefelsäure	H ₂ SO ₄ 1 840
Invar (64% Fe, 36% Zn)	800	Tetrachlorkohlenstoff	CCl ₄ 1 594
Kalkstein (Marmor)	2 700	Wasser	H ₂ O 998
Kork	300	Wasser (schwer)	D ₂ O 1 105
Kupfer	8 920		
Messing (65% Cu, 35% Zn)	8 470	Gase bei 0 °C und 1.013 · 10 ⁵ Pa	
Natrium	970	Ammoniak	NH ₃ 0.771
Nickel	8 900	Argon	Ar 1.784
Paraffin	900	Butan	C ₄ H ₁₀ 2.732
Platin	21 450	Erdgas	0.83
Plexiglas	1 180	Helium	He 0.1785
Porzellan	2 400	Kohlendioxid	CO ₂ 1.977
Quarzglas	2 200	Kohlenmonoxid	CO 1.250
Silber	10 500	Luft	1.293
Silizium	2 420	Methan	CH ₄ 0.717
Styropor	20	Neon	Ne 0.900
Tannenholz (trocken)	500	Propan	C ₃ H ₈ 2.010
Uran	18 700	Sauerstoff	O ₂ 1.429
Wolfram	19 300	Schwefeldioxid	SO ₂ 2.926
Ziegelstein	1 600	Stickstoff	N ₂ 1.250
Zink	7 140	Wasserstoff	H ₂ 0.0899
Zinn	7 290	Xenon	Xe 5.897

Reibungszahl

Material-kombination	Gleit-reibung μ_G	Haft-reibung μ_H	Material-kombination	Gleit-reibung μ_G	Haft-reibung μ_H
Holz/Holz	0.4	0.6	Pneu/trockener Strasse	0.6	1.0
Stahl/Stahl	0.1	0.15	Pneu/nasse Strasse	0.3	0.5
Stahl/Eis	0.014	0.027	Pneu/Eis	0.05	0.1

C. Mechanik starrer Körper

Trägheitsmomente

Kugel	Vollzylinder	Zylindermantel	Hohlzylinder	Dünner Stab
				
$J = \frac{2}{5}mr^2$	$J = \frac{1}{2}mr^2$	$J = mr^2$	$J = \frac{1}{2}m(r_1^2 + r_2^2)$	$J = \frac{1}{12}ml^2$
Quader	Vollzylinder	Zylindermantel	Hohlzylinder	Dünner Stab
				
$J = \frac{1}{12}m(a^2 + b^2)$	$J = \frac{1}{4}mr^2 + \frac{1}{12}ml^2$	$J = \frac{1}{2}mr^2 + \frac{1}{12}ml^2$	$J = \frac{1}{4}m(r_1^2 + r_2^2) + \frac{1}{2}ml^2$	$J = \frac{1}{3}ml^2$

F. Wärme

Thermische Daten

α	Längenausdehnungskoeffizient bei 20°C	ϑ_f	Schmelztemperatur
γ	Volumenausdehnungskoeffizient bei 20°C	L_f	spez. Schmelzwärme
c_p	spez. Wärmekapazität bei 20°C	ϑ_V	Siedetemperatur
C_p	molare Wärmekapazität bei 20°C (c_p, C_p : Werte bei konst. Druck)	L_V	spez. Verdampfungswärme
		λ	Wärmeleitfähigkeit bei 20°C

Festkörper	$\alpha [10^{-6} \text{ K}]$	$c_p [\text{J}/(\text{kg K})]$	$\vartheta_f [\text{°C}]$	$L_f [10^5 \text{ J/kg}]$	$\vartheta_V [\text{°C}]$	$L_V [10^5 \text{ J/kg}]$	$\lambda [\text{W}/(\text{m K})]$
Aluminium	23.8	896	660.1	3.97	2 467	109	239
Blei	31.3	129	327.4	0.23	1 740	86	34.8
Eis (0°C)	37.0	2 100	0	3.338	100	22.5	2.2
Eisen	12.0	450	1 535	2.77	2 750	63.4	80
Glas	8.5	800					1.0
Invar	0.2 – 1.6	460	1 427	5.15			11
Kupfer	16.8	383	1 083	2.05	2 567	47.9	390
Silber	19.7	235	960.8	1.045	2 212	23.5	428
Silizium	7.6	705	1 410	1.654	2 355	140.5	153
Stahl	16.0	510					14
Wolfram	4.3	134	3 380	1.92	5 660	43.5	177
Flüssigkeiten	$\gamma [10^{-3} \text{ K}]$	$c_p [\text{J}/(\text{kg K})]$	$\vartheta_f [\text{°C}]$	$L_f [10^5 \text{ J/kg}]$	$\vartheta_V [\text{°C}]$	$L_V [10^5 \text{ J/kg}]$	$\lambda [\text{W}/(\text{m K})]$
Aceton	1.49	2 160	-94.86	0.98	56.25	5.25	0.162
Benzin		2 020	-40		67...100		0.13
Ethanol	1.10	2 430	-114.5	1.08	78.33	8.40	0.165
Glycerin	0.5	2 390	18.4	2.01	290.5	8.54	0.285
Heizöl	0.92		-5		~ 275		0.14
Quecksilber	0.182	139	-38.87	0.118	356.58	2.85	8.2
Wasser	0.21	4 182	0	3.338	100	22.56	0.598
Gase	$C_p [\text{J}/(\text{mol K})]$	$\kappa = C_p/C_v$	$\vartheta_f [\text{°C}]$	$L_f [10^5 \text{ J/kg}]$	$\vartheta_V [\text{°C}]$	$L_V [10^5 \text{ J/kg}]$	$\lambda [\text{W}/(\text{m K})]$
Ammoniak	36.8	1.305	-77.7		-33.35	13.70	0.022
Helium	20.9	1.63	-272.2	5	-268.93	20	0.143
Kohlendioxid	36.8	1.293		1.81	-78.45	1.37	0.015
Luft	29.1	1.402			-191.4		0.024
Methan	35.6	1.308	-182.52	0.59	-161.5	5.10	0.030
Sauerstoff	29.3	1.398	-218.79	0.14	-182.97	2.13	0.024
Stickstoff	29.1	1.401	-210.00	0.26	-195.82	1.98	0.024
Wasserstoff	28.9	1.41	-259.20	60	-252.77	450	0.171

Heizwert (ohne Kondensation des Wasserdampfes)

Material	$H [\text{MJ/kg}]$	Material	$H [\text{MJ/kg}]$	Material	$H [\text{MJ/kg}]$
Braunkohle	8.9	Benzin	42	Butan	45.7
Holz (trocken)	15.5	Ethanol	26.7	Erdgas	38
Steinkohle	29.3	Heizöl	42.7	Wasserstoff	120

Wärmeleitfähigkeit von Baustoffen bei 20 °C

Material	λ [W/(m K)]	Material	λ [W/(m K)]	Material	λ [W/(m K)]
Backstein	0.44	Holztäfer	0.15	Stahlbeton	1.8
Beton	1.4	Kork	0.045	Steinwolle	0.040
Fensterglas	1.0	Leichtbeton	0.22	Polystyrolschaum	0.040

Emissionszahl von Oberflächen bei 20 °C

Material	ε	Material	ε	Material	ε
Aluminium (poliert)	0.04	Kupfer (oxidiert)	0.6	Menschliche Haut	0.98
Aluminium (oxidiert)	0.3	Anstrichfarbe	0.9	Vegetation	0.95
Kupfer (poliert)	0.04	Sand	0.45	Wasser	0.96

G. Elektrizität

Spezifischer elektrischer Widerstand bei 20 °C (Leiter und Halbleiter)

Material	ρ [Ωm]	Material	ρ [Ωm]	Material	ρ [Ωm]
Aluminium	$2.65 \cdot 10^{-8}$	Konstantan	$4.90 \cdot 10^{-8}$	Silber	$1.59 \cdot 10^{-8}$
Blei	$21.0 \cdot 10^{-8}$	Kupfer	$1.7 \cdot 10^{-8}$	Tellur	$5.0 \cdot 10^{-3}$
Eisen	$9.7 \cdot 10^{-8}$	Messing	$7.0 \cdot 10^{-8}$	Silizium	$1.7 \cdot 10^{+4}$
Germanium	$6.8 \cdot 10^{-1}$	Nickel	$7.8 \cdot 10^{-8}$	Wolfram	$5.3 \cdot 10^{-8}$
Gold	$2.2 \cdot 10^{-8}$	Platin	$10.0 \cdot 10^{-8}$	Zink	$5.8 \cdot 10^{-8}$

Spezifischer elektrischer Widerstand bei 20 °C und Dielektrizitätszahl (Isolatoren)

Material	ρ [Ωm]	ε_r	Material	ρ [Ωm]	ε_r
Bernstein	$1 \cdot 10^{18}$	2.6	Polyvinylchlorid	$1 \cdot 10^{13}$	6.1
Glimmer	$5 \cdot 10^{14}$	7	Quarzglas	$3 \cdot 10^{14}$	4
Hartgummi	$1 \cdot 10^{16}$	3.5	Wasser (destilliert)	$2 \cdot 10^{12}$	80
Plexiglas	$1 \cdot 10^{13}$	3.4	Luft		1.00006

Ladungsträgerdichte

Material	n [1/m³]	Material	n [1/m³]
Kupfer	$8.47 \cdot 10^{28}$	Eisen	$17.0 \cdot 10^{28}$
Aluminium	$18.1 \cdot 10^{28}$	Gold	$5.9 \cdot 10^{28}$
Silber	$5.86 \cdot 10^{28}$	Zink	$13.2 \cdot 10^{28}$

H. Optik

Brechzahl/Brechungsindex bei 20 °C

Material	n	Material	n	Material	n
Diamant	2.417	Plexiglas	1.491	Titandioxid	2.52
Eis	1.31	Quarzglas	1.458	Wasser	1.333
Ethanol	1.362	Rubin	1.76	Zirkon	1.92
Fensterglas	1.5	Steinsalz	1.544	Zuckerlösung (30%)	1.38

I. Moderne Physik

Austrittsarbeit und Grenzwellenlänge

Material	W_A [eV]	λ_{\max} [nm]	Material	W_A [eV]	λ_{\max} [nm]
Aluminium	4.20	295	Nickel	5.09	243
Caesium	1.94	639	Silber	4.43	273
Kupfer	4.84	256	Zink	4.34	285

Ausgewählte Nuklide

Z	Ordnungszahl	rel. H.	relative Häufigkeit
Sy	chemisches Symbol	$T_{1/2}$	Halbwertszeit
A	Nukleonenzahl		(a Jahre, d Tage, m Minuten, s Sekunden)
M	molare Masse	E	Zerfallsenergie

Z	Name	Sy	A	M [g/mol]	rel. H. [%]	$T_{1/2}$	Zerfallsart	E [MeV]
1	Wasserstoff	H	1	1.008	99.989			
			2	2.014	0.015			
			3	3.016		12.33 a	β^-	0.0186
2	Helium	He	3	3.016	0.00014			
			4	4.003	99.999			
6	Kohlenstoff	C	12	12.000	98.93			
			13	13.003	1.07			
			14	14.003		5 730 a	β^-	0.1565
7	Stickstoff	N	14	14.003	99.632			
			15	15.000	0.368			
8	Sauerstoff	O	16	15.995	99.757			
			17	16.999	0.038			
			18	17.999	0.205			
10	Neon	Ne	20	19.992	90.48			
			21	20.993	0.27			
			22	21.991	9.25			
11	Natrium	Na	22	21.990		2.6019 a	$\beta^+ \epsilon$	0.545
			23	22.989	100			
			24	23.991		14.959 h	$\beta^- \gamma$	1.393
13	Aluminium	Al	27	26.981	100			
19	Kalium	K	39	38.964	93.258			
			40	39.964	0.012	1.28 · 10 ⁹ a	$\beta^- \gamma$	1.311
			41	40.962	6.730			
26	Eisen	Fe	54	53.940	5.845			
			56	55.935	91.754			
			57	56.935	2.119			
			58	57.933	0.282			
27	Kobalt	Co	59	58.933	100			
			60	59.934		5 271 a	$\beta^- \gamma$	2.824
28	Nickel	Ni	58	57.935	68.0767			
			60	59.931	26.223			
			62	61.928	3.635			

Ausgewählte Nuklide (Fortsetzung)

Z	Name	Sy	A	M [g/mol]	rel.	H. [%]	$T_{1/2}$	Zerfallsart	E [MeV]
29	Kupfer	Cu	63	62.930		69.17			
			65	61.928		30.83			
32	Germanium	Ge	70	69.924		20.84			
			72	71.922		27.54			
			73	72.923		7.73			
			74	73.921		36.28			
			76	75.921		7.61			
			84	83.913		0.56			
38	Strontium	Sr	86	85.909		9.86			
			87	86.909		7.00			
			88	87.906		82.58			
			90	89.908			28.79 a	β^-	0.546
			107	106.905	51.839				
			108	107.906			2.37 m	β^-	1.649
47	Silber	Ag	109	108.905	48.161				
			110	109.906			24.6 s	$\beta^- \gamma$	2.892
			127	126.904	100				
			128	127.906			25.00 m	$\beta^- \gamma$	2.118
53	Iod	I	131	130.906			8.040 d	$\beta^- \gamma$	0.971
			133	132.905	100				
			137	136.907			30.07 a	$\beta^- \gamma$	1.176
78	Platin	Pt	192	191.961	0.782				
			194	193.963	32.967				
			195	194.965	33.832				
			196	195.965	25.242				
			198	197.968	7.163				
			197	196.967	100				
79	Gold	Au	198	197.968			2.695 d	$\beta^- \gamma$	1.372
			196	195.966	0.15				
80	Quecksilber	Hg	198	197.967	9.97				
			199	198.968	16.87				
			200	199.968	23.10				
			201	200.970	13.18				
			202	201.971	29.86				
			204	203.973	6.87				
			204	203.973	1.4				
			206	205.974	24.1				
82	Blei	Pb	207	206.976	22.1				
			208	207.977	52.4				
			210	209.984			22.3 a	$\beta^- \gamma$	0.0635
			220	220.011			22.3 a	α	0.0635
			222	222.018			55.6 s	α	6.29
92	Uran	U	235	235.044	0.720	$7.04 \cdot 10^8$ a	$\alpha \gamma$		4.679
			238	238.051	99.2745	$4.46 \cdot 10^9$ a	$\alpha \gamma$		4.2
94	Plutonium	Pu	239	239.052		$2.41 \cdot 10^4$ a	$\alpha \gamma$		5.2

J. Astronomie

Kosmische Umgebung der Erde

Milchstrasse

Durchmesser	$111\,000 \text{ LJ}$	Gesamtmasse	$1.4 \cdot 10^{12} \cdot m_{\odot}$
Dicke im Zentrum	$16\,000 \text{ LJ}$	Scheibenmasse	$2 \cdot 10^{11} \cdot m_{\odot}$
Dicke aussen	$3\,000 \text{ LJ}$	Mittlere Dichte	$7 \cdot 10^{-2} \text{ kg/m}^3$
Halodurchmesser	$160\,000 \text{ LJ}$	Rotationsgeschwindigkeit (am Ort der Sonne)	225 km/s

Sonne \odot

Radius Äquator	$6.96 \cdot 10^8 \text{ m}$	Oberflächentemperatur	$5\,778 \text{ K}$
Masse	$1.989 \cdot 10^{30} \text{ kg}$	Strahlungsleistung	$3.826 \cdot 10^{26} \text{ W}$
Fallbeschleunigung	274 m/s^2	Solarkonstante	$1\,380 \text{ W/m}^2$
Dichte im Zentrum	$1.62 \cdot 10^5 \text{ kg/m}^3$	Abstand vom Zentrum	$25\,000 \text{ LJ}$
Druck im Zentrum	$2.45 \cdot 10^{11} \text{ bar}$	Abstand von der Hauptebene	40 LJ
Temperatur im Zentrum	$1.57 \cdot 10^7 \text{ K}$		

Erde \oplus

Radius		Fluchtgeschwindigkeit	$11\,186 \text{ m/s}$
- Äquator	$6.378 \cdot 10^6 \text{ m}$	Oberflächentemperatur	288 K
- Pol	$6.356 \cdot 10^6 \text{ m}$	grosse Bahnhalbachse	$1.496 \cdot 10^{11} \text{ m}$
Masse	$5.975 \cdot 10^{24} \text{ kg}$	numerische Exzentrizität	0.01671
Fallbeschleunigung		siderische* Umlaufszeit	365.25636 d
- Normwert	9.80665 m/s^2	Sterntag	$86\,164.09 \text{ s}$
- Äquator	9.7803 m/s^2	Sonnentag	$86\,000.00 \text{ s}$
- Pol	9.8322 m/s^2		

Mond \mathbb{C}

Radius	$1.7375 \cdot 10^6 \text{ m}$	grosse Bahnhalbachse	$3.844 \cdot 10^8 \text{ m}$
Masse	$7.349 \cdot 10^{22} \text{ kg}$	numerische Exzentrizität	0.0549
Fallbeschleunigung	1.622 m/s^2	siderische Umlaufszeit	27.322 d

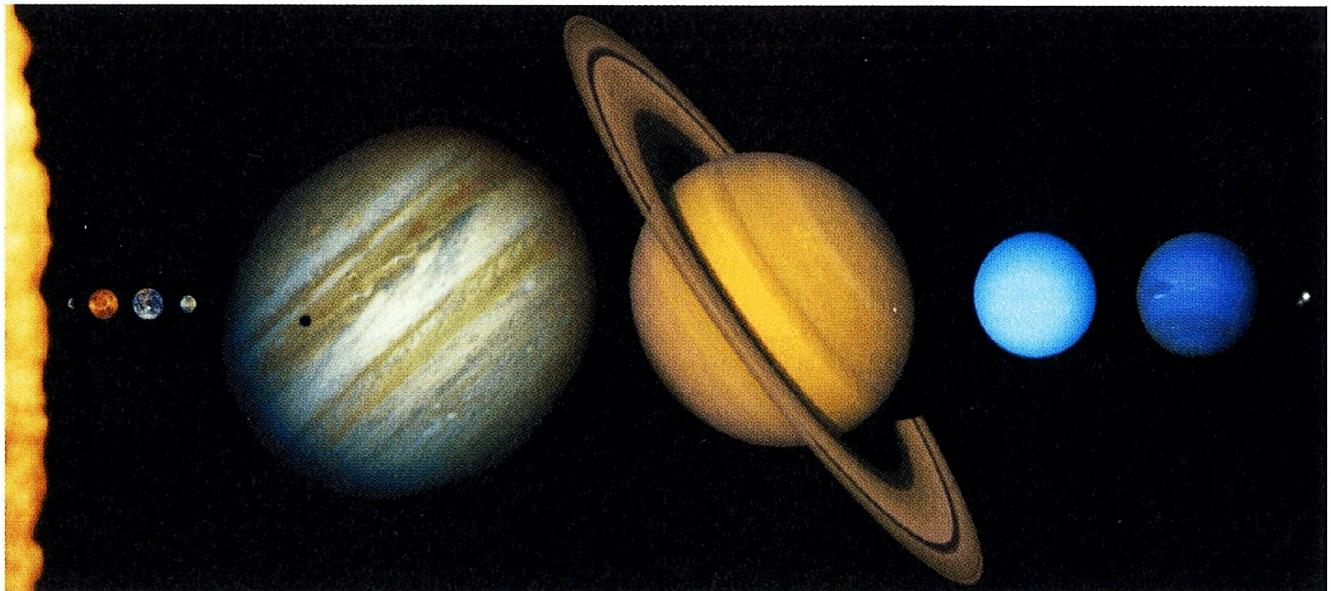
* Siderisch heisst, auf die Fixsterne bezogen.



Milchstrasse, x : Ort der Sonne im Abstand von etwa $25\,000 \text{ LJ}$ vom Zentrum aus gemessen.

Planeten und Zwergeplaneten

R	Planetenradius	T_A	Oberflächentemperatur	T	Umlaufzeit
M	Planetenmasse	a	grosse Bahnhalbachse		
g	Fallbeschleunigung	ε	numerische Exzentrizität		
Planeten					
	R [10 ⁶ m]	M [10 ²² kg]	g [m/s ²]	T_A [K]	a [AE] ε T [a]
Merkur	♀	2.4397	33.022	3.70	440 0.3871 0.20563 0.241
Venus	♀	6.0518	486.90	8.83	737 0.7233 0.00673 0.615
Erde	⊕	6.37814	597.42	9.81	288 1.0000 0.01671 1.000
Mars	♂	3.3962	64.191	3.7	210 1.5237 0.09341 1.881
Jupiter	♄	71.492	189 880	23.1	165 5.2034 0.04839 11.862
Saturn	♃	60.268	56 852	9.0	134 9.5371 0.05415 29.457
Uranus	♅	25.559	8 684.0	8.7	76 19.19 0.05415 84.01
Netpun	♆	24.764	10 245	11.0	72 30.07 0.00859 164.78
Zwergeplaneten					
Ceres		0.4785	0.0946	0.27	167 2.7668 0.080 4.60
Pluto		1.195	0.13	0.6	50 39.48 0.24881 247.67
Eris		1.20	1.66	0.8	43 67.6659 0.44 556.6



Planetengrößen massstäblich; Abstände nicht massstäblich

Periodensystem der Elemente

1.008															4.003
H 1															He 2
6.941															20.18
Li 3															Ne 10
22.99															38.95
Na 11															Mg 12
39.10															Al 13
K 19															Si 14
85.47															B 5
Rb 37															Sc 21
132.9															Ti 22
Cs 55															V 23
(223)															Cr 24
(226)															Mn 25
Fr 87															Fe 26
La 57															Co 27
138.9															Ni 28
Ce 58															Cu 29
(227)															Pt 78
Ac 89															Ir 77
Th 90															Re 75
(231)															W 74
Pa 91															Os 76
(238)															Pm 61
U 92															Np 93
(237)															Pu 94
(244)															Am 95
(243)															Cm 96
(247)															Bk 97
(247)															Cf 98
(251)															Fm 100
(252)															Es 99
(257)															Md 101
(258)															Yb 70
(285)															(287)
(278)															(282)
(293)															(294)
(298)															(294)
(299)															(294)
(294)															(294)
(294)															(294)
(294)															(294)
(294)															(294)
(294)															(294)
(294)															(294)
(294)															(294)
(294)															(294)
(294)															(294)
(294)															(294)
(294)															(294)
(294)															(294)
(294)															(294)
(294)															(294)
(294)															(294)
(294)															(294)
(294)															(294)
(294)															(294)
(294)															(294)
(294)															(294)
(294)															(294)
(294)															(294)
(294)															(294)
(294)															(294)
(294)															(294)
(294)															(294)
(294)															(294)
(294)															(294)
(294)															(294)
(294)															(294)
(294)															(294)
(294)															(294)
(294)															(294)
(294)															(294)
(294)															(294)
(294)															(294)
(294)															