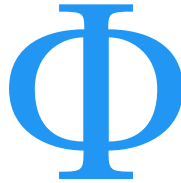


Alles ist schwer, bevor es leicht ist.



Physik

Formelsammlung

Dr. Florian Leupold
Kantonsschule Uster

16. August 2025

Inhaltsverzeichnis

1 Physik Allgemein	3
1.1 Physikalische Grössen	3
1.2 Messung und Messungenauigkeit	3
2 Klassische Mechanik	4
2.1 Kinematik	4
2.2 Dynamik des Massenpunkts	6
2.3 Fluidstatik	9
2.4 Starrer Körper	9
3 Thermodynamik	10
3.1 Temperatur und Ausdehnung	10
3.2 Ideales Gas	10
3.3 Zustandsänderungen und Wärmemengen	11
3.4 Wärmetransport	11
4 Elektrizität	12
4.1 Elektrostatik	12
4.2 Gleichstrom	14
4.3 Magnetismus und Induktion	15
4.4 Wechselstrom (AC)	16
5 Schwingungen und Wellen	17
5.1 Harmonische Schwingung	17
5.2 Harmonische Welle	17
5.3 Strahlenoptik	18
5.4 Akustik	18
5.5 Wellenoptik	19
6 Moderne Physik	20
6.1 Kernphysik	20
6.2 Spezielle Relativitätstheorie	21
6.3 Quantentheorie	22
A Mathematik	23
A.1 Geometrie	23
A.2 Algebra	23
A.3 Proportionalitäten und Funktionen	24
A.4 Vektoren	25
A.5 Differentialrechnung	26
A.6 Komplexe Zahlen	27
B Tabellen	28

1. Physik Allgemein

1.1. Physikalische Grössen

Grössenwert	$G = \{G\} \cdot [G]$	$\{G\}$: Zahlenwert $[G]$: Einheit
Signifikante Stellen	Aussagekräftige Ziffern einer Zahl, d.h. die erste von Null verschiedene Stelle bis zur Rundungsstelle.	
Faustregel Multiplikation	Das Produkt bekommt genauso viele signifikante Stellen wie der Faktor mit den wenigsten signifikante Stellen.	
Faustregel Addition	Die Summe bekommt genauso viele Nachkommastellen wie der Summand mit den wenigsten Nachkommastellen.	

1.2. Messung und Messungenauigkeit

Arithmetischer Mittelwert wiederholter Messungen	$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$	x_i : i -ter Messwert n : Anzahl Messwerte
Standardabweichung	$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$	68 % aller Messwerte zwischen $\bar{x} - s$ und $\bar{x} + s$
Mittlerer Fehler von $\bar{x}$	$\Delta x = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$	
Angabe des Resultats	$x = \bar{x} \pm \Delta x$	
Relativer Fehler von $\bar{x}$	$\delta x = \frac{\bar{x}}{\Delta x}$	$[\delta x] = \%$

Fehler und Anmerkungen bitte adressieren an: florian.leupold@ksuster.ch.

Quellen schliessen ein:

- DMK, DPK, DCK, *Formeln, Tabellen, Begriffe*, Orell Füssli Verlag, 6. Auflage (2017)
- Wikipedia

2. Klassische Mechanik

2.1. Kinematik

Ort, Geschwindigkeit, Beschleunigung

Zeitpunkt $\leftrightarrow$ Zeitintervall	$t_1, t_2 \leftrightarrow \Delta t = t_2 - t_1$	$[t] = \text{s}$
Ort $\leftrightarrow$ Verschiebung	$x_1, x_2 \leftrightarrow \Delta x = x_2 - x_1$	$[x] = \text{m}$
Mittlere Geschwindigkeit	$\overline{v}_x = \frac{\Delta x}{\Delta t}$	$[v] = \text{m/s}$
Momentane Geschwindigkeit	$v_x = \frac{dx}{dt} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t}$	$(v = v_x : \text{Tempo})$
Mittlere Beschleunigung	$\overline{a}_x = \frac{\Delta v_x}{\Delta t}$	$[a] = \text{m/s}^2$

Gleichmässig beschleunigte Bewegung

Ort, Position:

$$x = x_0 + v_{x,0} \cdot t + \frac{1}{2} \cdot a_x \cdot t^2$$

$$v_x = \frac{dx}{dt} \quad \left\| \quad \Delta x = \overline{v}_x \cdot \Delta t \right.$$

Geschwindigkeit:

$$v_x = v_{x,0} + a_x \cdot t$$

$$a_x = \frac{\Delta v_x}{\Delta t} \quad \left\| \quad \Delta v_x = a_x \cdot \Delta t \right.$$

Beschleunigung:

$$a_x = \text{konstant}$$

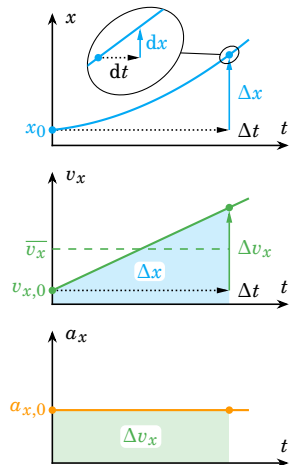
Spezielle Formeln

$$v_x^2 = v_{x,0}^2 + 2a_x(x - x_0)$$

(ohne t)

$$x = x_0 + \frac{v_x + v_{x,0}}{2} \cdot t$$

(ohne a_x)



Räumliche Bewegung

Ortsvektor, Geschwindigkeit $\vec{r} = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}, \quad \vec{v} = \begin{pmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z \end{pmatrix}$

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

Bahngeschwindigkeit $v = |\vec{v}| = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}$

Gleichmässig beschleunigte $\vec{a} = \text{konst.}$

Bewegung $\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t$

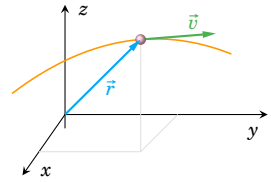
$$\vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{v}_0 t + \frac{1}{2} \vec{a} t^2$$

Schiefer Wurf $\vec{a} = \begin{pmatrix} 0 \\ -g \end{pmatrix}$

$$y = x \tan \alpha_0 - \frac{g \cdot x^2}{2v_0^2 \cos^2 \alpha_0}$$

$$y_{\max} = \frac{v_0^2}{2g} \sin^2 \alpha_0$$

$$x_w = \frac{v_0^2}{g} \sin 2\alpha_0$$

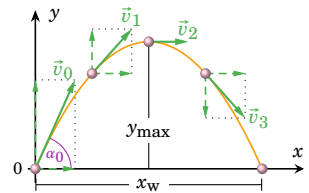


$\vec{a} = 0$: unbeschleunigt

$\vec{v}_0$: Startgeschwindigkeit

$\vec{r}_0$: Startort

g : Ortsfaktor



Gleichförmige Kreisbewegung ($\omega = \text{konst.}$)

Umlaufzeit T

$[T] = \text{s}$

Frequenz $f = \frac{1}{T}$

$[f] = \text{Hz (Hertz)}$

Winkelkoordinate $\varphi = \frac{b}{r}$

$[\varphi] = \text{m/m} = \text{rad (Radian)}$

b : Bogenlänge

r : Kreisbahnradius

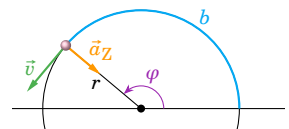
Winkelgeschwindigkeit $\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$

$[\omega] = \text{rad/s} = \text{s}^{-1}$

Bahngeschwindigkeit $v = r\omega$

Zentripetalbeschleunigung $a_z = r\omega^2 = \frac{v^2}{r}$

Kreisbahnbedingung $\vec{F}_{\text{res}} = m\vec{a}_Z$



2.2. Dynamik des Massenpunkts

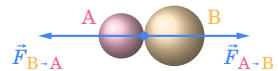
Masse	m	$[m] = \text{kg}$
Dichte	$\varrho = \frac{m}{V}$	$[\varrho] = \text{kg/m}^3$ $[V] = \text{m}^3$ (Volumen)

NEWTON'sche Gesetze

Trägheitsprinzip (NEWTON I) In einem Inertialsystem beschleunigt ein Körper nicht, wenn die Summe der an ihm angreifenden Kräfte Null ist.

Aktionsprinzip (NEWTON II) $\vec{F}_{\text{res}} = m\vec{a}$ $[F] = \text{kgm/s}^2 = \text{N}$ (Newton)

Wechselwirkungsprinzip $\vec{F}_{B-A} = -\vec{F}_{A-B}$
(Actio = Reactio, NEWTON III)



Kräfte

Gewichtskraft, Gewicht	$F_G = mg$	g : Fallbeschleunigung
Federkraft (HOOKE'sches Gesetz)	$F_F = Dy = D(l - l_0)$	$[D] = \text{N/m}$ Federkonstante y : Dehnung (positiv) l_0 : Länge entspannte Feder
Normalkraft	F_N	senkrecht zur Kontaktfläche
Haftreibungskraft	$F_H \leq F_H^{(\text{max})} = \mu_H F_N$	μ_H : Haftreibungszahl
Gleitreibungskraft	$F_{GR} = \mu_G F_N$	μ_G : Gleitreibungszahl
Rollreibungskraft	$F_{RR} = \mu_R F_N$	μ_R : Rollreibungszahl
Strömungswiderstand	$F_W = \frac{1}{2} c_W A \varrho_{\text{fl}} v^2$	$[c_W] = 1$ (Widerstandszahl) A : Stirnfläche ϱ_{fl} : Dichte des Fluids v : Relativgeschwindigkeit

Energetik

Energie

Energieerhaltung beim abgeschlossenen System

Potenzielle Energie

Kinetische Energie

Spannenergie einer Feder

Arbeit ($\vec{F} = \text{konst.}$)

Reibungsarbeit

Energie und Arbeit beim geschlossenen System

Leistung (mittlere)

Wirkungsgrad

$$E$$

$$E = \sum_i E_i = \text{konst.}$$

$$E_{\text{pot}} = mgh$$

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2}mv^2$$

$$E_F = \frac{1}{2}Dy^2$$

$$W = \vec{F} \cdot \vec{s} = F_s \cdot s = F s \cos \alpha$$

$$W_R = \vec{F}_R \cdot \vec{s} = -F_R s$$

$$\Delta E = \sum_i \Delta E_i = W$$

$$W > 0 \quad \text{vs.} \quad W < 0$$

$$\bar{P} = \frac{W}{\Delta t} = \frac{\Delta E}{\Delta t}$$

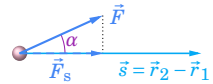
$$\eta = \frac{W_{\text{nutz}}}{W_{\text{zu}}} = \frac{P_{\text{nutz}}}{P_{\text{zu}}}$$

$$[E] = \text{Nm} = \text{Ws} = \text{J (Joule)}$$

E : Gesamtenergie

E_i : Teilenergien

h : Höhe über Bezugsniveau



ΔE : Energieänderung

verrichtet *am/vom* System

$$[P] = \text{J/s} = \text{W (Watt)}$$

$$[\eta] = \%$$

Impuls und Stöße

Impuls

Impulserhaltung

Vollk. elastischer Stoß

Vollk. inelastischer Stoß

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

$$\sum_i \vec{p}_i = \text{konst.}$$

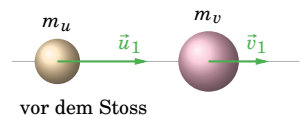
$$\vec{u}_2 = \frac{(m_u - m_v)\vec{u}_1 + 2m_v\vec{v}_1}{m_u + m_v}$$

$$\vec{v}_2 = \frac{(m_v - m_u)\vec{v}_1 + 2m_u\vec{u}_1}{m_u + m_v}$$

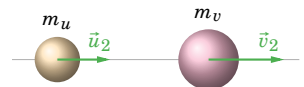
$$\vec{u}_2 = \vec{v}_2 = \frac{m_u\vec{u}_1 + m_v\vec{v}_1}{m_u + m_v}$$

$$\Delta E_{\text{kin}} = -\frac{m_u m_v (\vec{u}_1 - \vec{v}_1)^2}{2(m_u + m_v)}$$

$$[p] = \text{kgm/s}$$



vor dem Stoß



nach dem Stoß

KEPLER'sche Gesetze

Bahnkurve (KEPLER I)

Ellipse mit M in einem der beiden Brennpunkte.

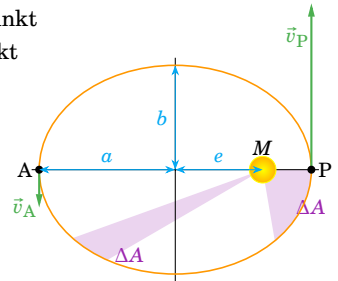
Perihel P: sonnennächster Punkt

Aphel A: sonnenfernster Punkt

Flächensatz (KEPLER II)

$$\frac{\Delta A}{\Delta t} = \text{konst.}$$

$$\frac{\Delta A}{\Delta t} = \frac{(a-e)}{2} v_P = \frac{\Delta t}{(a+e)} v_A$$



KEPLER III

$$\frac{a^3}{T^2} = \text{konst.} \left(= \frac{GM}{4\pi^2} \right)$$

Numerische Exzentrizität

$$\varepsilon = \frac{e}{a}$$

e : lineare Exzentrizität

Gravitation und KEPLER-Bahnen

Gravitationskraft

$$\vec{F}_{\text{Gr}} = -G \frac{mM}{r^2} \cdot \frac{\vec{r}}{r}$$

(Massenpunkte oder Kugeln)

G : Gravitationskonstante

M : Masse des Zentralkörpers

$\vec{r}$: Abstandsvektor

Potenzielle Energie

$$E_{\text{pot}} = -G \frac{mM}{r}$$

$E_{\text{pot}} = 0$ für $r \rightarrow \infty$

Gravitationspotenzial

$$\Phi = \frac{E_{\text{pot}}}{m} = -G \frac{M}{r}$$

$\Phi = 0$ für $r \rightarrow \infty$

Perihel-Geschwindigkeit

$$v_P = \sqrt{\frac{GM}{a} \frac{a+e}{a-e}}$$

Aphel-Geschwindigkeit

$$v_A = \sqrt{\frac{GM}{a} \frac{a-e}{a+e}}$$

1. kosmische Geschwindigkeit

$$v_1 = \left(\frac{GM}{r} \right)^{1/2}$$

Kreisbahngeschwindigkeit

2. kosmische Geschwindigkeit

$$v_2 = \left(\frac{2GM}{r} \right)^{1/2}$$

Fluchtgeschwindigkeit

Gesamtenergie

$$E = -G \frac{mM}{2a}$$

Vis-Viva-Gleichung

$$v = \sqrt{GM \cdot \left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right)}$$

2.3. Fluidstatik

Druck	$p = \frac{F_N}{A}$	$[p] = \text{N/m}^2$ F_N : Kraft $\perp$ Fläche A
Gesamt- und Schweredruck (inkompressible Fluide)	$p = p_0 + p_S$ $p_S = \rho_{\text{fl}} g h$	p_0 : Druck an der Oberfläche ρ_{fl} : Dichte des Fluids h : Eintauchtiefe im Fluid
Barometrische Höhenformel	$p = p_0 \cdot e^{-\frac{\rho_0 g}{p_0} \cdot h}$	ρ_0, p_0 : Werte bei $h = 0$ (ideales Gas, T konstant)
Auftrieb	$F_A = m_{\text{fl}} g = \rho_{\text{fl}} V_v g$	m_{fl} : verdrängte Fluidmasse V_v : verdrängtes Volumen

2.4. Starrer Körper

Drehmoment	$\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F}$ $M = r F \sin \varphi = r F_{\perp}$	$[M] = \text{Nm}$ $\varphi = \angle(\vec{r}, \vec{F})$
Gleichgewichtsbedingungen	$\vec{F}_{\text{res}} = \sum_i \vec{F}_i = 0$ $\vec{M} = \sum_i \vec{M}_i = 0$	Kräftegleichgewicht Drehmomentengleichgewicht (Bezugspunkt frei wählbar)

3. Thermodynamik

Thermodynamisches System	Ein thermodynamisches System ist ein wohl definierbares Teilstück der Welt, beschrieben durch Zustandsgrößen wie Temperatur, Druck, Volumen und Teilchenzahl.	
• offenes System:	Energie- und Materieaustausch mit der Umgebung	
• geschlossenes System:	Energie-, aber kein Materieaustausch mit der Umgebung	
• abgeschlossenes System:	weder Energie- noch Materieaustausch mit der Umgebung	

3.1. Temperatur und Ausdehnung

Temperaturskalen	$\{T\} = \{\vartheta\} + \{T_n\}$	$[T] = K; [\vartheta] = ^\circ C$ $T_n = 273.15 K$ (Normtemp.)
Temperaturdifferenz	$\{\Delta T\} = \{\Delta \vartheta\}$	
Längenausdehnung	$\Delta l = \alpha l_0 \Delta T$	$[\alpha] = K^{-1}$ (LA-Koeffizient) l_0 : Anfangslänge
Volumenausdehnung	$\Delta V = 3\alpha V_0 \Delta T = \gamma V_0 \Delta T$	$[\gamma] = K^{-1}$ (VA-Koeffizient) V_0 : Anfangsvolumen

3.2. Ideales Gas

Stoffmenge	$n = \frac{N}{N_A} = \frac{m}{M}$	$[n] = \text{mol}$ N : Teilchenzahl N_A : AVOGADRO-Konstante
Molare Masse	$M = \frac{m}{n} = N_A \cdot m_M$	$[M] = \text{kg/mol}$ m : Masse der Substanz m_M : Teilchenmasse
Zustandsgleichung	$pV = nRT = Nk_B T$	R : univers. Gaskonstante k_B : BOLTZMANN-Konstante
Mittlere Translationsenergie	$\overline{E}_{\text{kin},M} = \frac{1}{2} m_M \overline{v^2} = \frac{3}{2} k_B T$	
Teilchengeschwindigkeiten	$\overline{v} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}}$	$v_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$ $v_w = \sqrt{\frac{2RT}{M}}$

3.3. Zustandsänderungen und Wärmemengen

Wärmemenge, innere Energie	Q, U	$[Q] = [U] = \text{J}$
Erster Hauptsatz der Thermodynamik	$\Delta U = Q + W$	$Q > 0$: Wärme zugeführt $W > 0$: verrichtet am System
Spezifische Wärmekapazität c	$Q_c = cm\Delta T$	$[c] = \text{J}/(\text{kg K})$
Spez. Schmelzwärme L_f	$Q_f = L_fm$	$[L_f] = \text{J}/\text{kg}$
Spez. Verdampfungswärme L_v	$Q_v = L_v m$	$[L_v] = \text{J}/\text{kg}$
Spez. Heizwert H	$Q_H = Hm$	$[H] = \text{J}/\text{kg}$

3.4. Wärmetransport

Wärmeleitfähigkeit λ	$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = -\lambda A \frac{\Delta T}{\Delta x}$	$[\lambda] = \text{W}/(\text{Km})$ A : Querschnittfläche $\Delta T/\Delta x$: Temperaturgradient
Wärmedurchgangskoeff. U	$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = -U A \Delta T$	$[U] = \text{W}/(\text{Km}^2)$ ΔT : Differenz innen–aussen
Wärmestrahlung (STEFAN-BOLTZMANN-Gesetz)	$P = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \varepsilon \sigma A T^4$	ε : Emissionszahl σ : STEFAN-BOLTZMANN-K. A : Oberfläche T : Oberflächentemperatur

Licht und Schwarzkörperstrahlung

Lichtgeschwindigkeit c	$c = \lambda f$	λ : Wellenlänge f : Frequenz
Photonenenergie	$E = hf = \frac{hc}{\lambda}$	h : PLANCK'sches Wirkungsq.
WIEN'sches Verschiebungsges.	$\lambda_{\max} T = b$	$\lambda_{\max}$: λ des Strahlungsmax. b : WIEN'sche Konstante

4. Elektrizität

4.1. Elektrostatik

Ladung	Q, q	$[Q] = [q] = \text{As} = \text{C} \text{ (Coulomb)}$
Elektrische Feldstärke	$\vec{E}$	$[E] = \text{V/m} = \text{N/C}$
Elektrische Kraft	$\vec{F}_E = q \cdot \vec{E}$	q : Probeladung
Potenzial (im Punkt A)	$\varphi_A = \frac{E_{E,A}}{q}$	$[\varphi] = \text{J/C} = \text{V (Volt)}$ E_E : el. pot. Energie
Spannung	$U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B$	zwischen Punkten A und B
Umwandlung el. Energie	$\Delta E_E = -q \cdot U_{AB}$	

Punktladung

COULOMB'sches Gesetz für die elektrische Kraft	$\vec{F}_E = k_C \frac{qQ}{r^2} \frac{\vec{r}}{r}$	k_C : Coulomb-Konstante $\vec{r}$: Abstandsvektor
Elektrische Feldstärke	$\vec{E} = k_C \frac{Q}{r^2} \frac{\vec{r}}{r}$	
Potenzial	$\varphi = k_C \frac{Q}{r}$	Bezugspunkt bei $r \rightarrow \infty$

Homogenes Feld

Elektrische Arbeit	$W_E = \vec{F}_E \cdot \vec{s} = q\vec{E} \cdot \vec{s}$ $= qEs \cdot \cos(\varphi)$	$\vec{s}$: Verschiebung $\varphi = \angle(\vec{E}, \vec{s})$
Spannung	$U_{AB} = \vec{E} \cdot \vec{s}$ $= Es \cdot \cos(\varphi)$	$\vec{s} = \overrightarrow{AB}$ $\varphi = \angle(\vec{E}, \vec{s})$

Kondensator

Kapazität

$$C = \frac{Q}{U}$$

$$[C] = C/V = F \text{ (Farad)}$$

Kapazität eines
Plattenkondensators

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \cdot \frac{A}{d}$$

ϵ_0 : elektrische Feldkonstante

ϵ_r : relative Permittivität

A : Fläche einer Platte

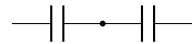
d : Plattenabstand; $d \ll \sqrt{A}$

Spannung

$$U = Ed$$

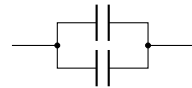
Serieschaltung

$$\frac{1}{C_{\&}} = \sum_i \frac{1}{C_i}$$



Parallelschaltung

$$C_{\parallel} = \sum_i C_i$$



Elektrische Energie im
geladenen Kondensator

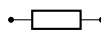
$$E_E = \frac{QU}{2} = \frac{CU^2}{2} = \frac{Q^2}{2C}$$

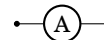
4.2. Gleichstrom

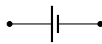
Stromstärke	$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$	$[I] = \text{A (Ampere)}$
Technische Stromrichtung	Flussrichtung positiver Ladungsträger	
Widerstand (absolut)	$R = \frac{U}{I}$	$[R] = \text{V/A} = \Omega \text{ (Ohm)}$
OHM'sches Gesetz	$R = \text{konst.} \Rightarrow U \propto I$	
Spezifischer Widerstand ρ_E	$R = \rho_E \frac{l}{A}$	$[\rho_E] = \Omega \text{m}$ l/A : Leiterlänge/-querschnitt

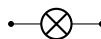
Schaltzeichen

 Schalter

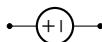
 Widerstand

 Amperemeter

 Batterie

 Glühlampe

 Voltmeter

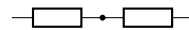
 Spannungsquelle

 Erdung

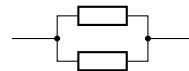
 Gerät

Kombination von Widerständen

Serieschaltung $R_{\&} = \sum_i R_i$



Parallelschaltung $\frac{1}{R_{\parallel}} = \sum_i \frac{1}{R_i}$



Umwandlung elektrischer Energie

Leistung $P = UI$ verrichtet *von* elektr. Strom

JOULE'sche Wärme $P = RI^2 = \frac{U^2}{R}$

4.3. Magnetismus und Induktion

Magnetfelder und Kräfte im magnetischen Feld

Magnetische Flussdichte	$\vec{B}$	$[B] = \text{Vs/m}^2 = \text{T (Tesla)}$
Magnetische Permeabilität	$\mu = \mu_r \mu_0$	μ_0 : magn. Feldkonstante μ_r : relative Permeabilität
Magnetfeld eines unendlich langen, geraden Leiters	$B = \frac{\mu}{2\pi} \cdot \frac{I}{r}$	r : Abstand zum Leiter
Magnetfeld in einer langen, dünnen Zylinderspule	$B = \mu \cdot \frac{NI}{l}$	N : Anzahl Windungen l : Länge der Spule
Magnetfeld im Zentrum einer HELMHOLTZ-Spule	$B = \left(\frac{4}{5}\right)^{3/2} \cdot \frac{\mu NI}{R}$	R : Spulenradius
Magnetische Kraft auf stromführenden Leiter	$\vec{F}_B = I \cdot \vec{l} \times \vec{B}$ $F_B = IlB \cdot \sin(\varphi)$	$\vec{l}$: Leiterrichtung $\varphi = \angle(\vec{l}, \vec{B})$
Magnetische Kraft auf bewegte Ladung	$\vec{F}_B = q \cdot \vec{v} \times \vec{B}$ $F_B = q vB \cdot \sin(\varphi)$	$\vec{v}$: Geschwindigkeit $\varphi = \angle(\vec{v}, \vec{B})$
Drei-Finger-Regel	Daumen: $I/\vec{v}$ — Zeigefinger: $\vec{B}$ — Mittelfinger: $\vec{F}_B$	

Induktion

Magnetischer Feldfluss	$\Phi_m = \vec{B} \cdot \vec{A} = BA \cdot \cos \alpha$	$\vec{A}$: Flächennormale $\alpha = \angle(\vec{B}, \vec{A})$
Induktionsgesetz (FARADAY)	$U_{\text{ind}} = -N \cdot \frac{d\Phi_m}{dt}$	(Ableitung nach der Zeit)
LENZ'sche Regel	Die Induktionswirkung hemmt ihre eigene Ursache.	
Induktivität und induzierte Spannung in einer schlanken Zylinderspule	$L = \mu \cdot \frac{N^2 A}{l}$ $U_{\text{ind}} = -L \cdot \frac{dI}{dt}$	$[L] = \text{Vs/A} = \text{H (Henry)}$ A : Querschnittsfläche l : Länge der Spule; $l \ll \sqrt{A}$
Transformatorgleichung	$\frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1}$	unbelasteter Transformator

4.4. Wechselstrom (AC)

Wechselspannung	$u = \hat{u} \sin(\omega t + \varphi_u)$ $\tilde{u} = \hat{u} e^{j(\omega t + \varphi_u)}$ $U = \frac{\hat{u}}{\sqrt{2}}$	u, i : Momentanwerte $\hat{u}, \hat{i}$: Amplituden $\tilde{u}, \tilde{i}$: komplexe Werte j : imaginäre Einheit U, I : Effektivwerte φ_u, φ_i : Nullphasen
Wechselstrom	$i = \hat{i} \sin(\omega t + \varphi_i)$ $\tilde{i} = \hat{i} e^{j(\omega t + \varphi_i)}$ $I = \frac{\hat{i}}{\sqrt{2}}$	
Impedanz	$\tilde{Z} = \frac{\tilde{u}}{\tilde{i}}$ $= Z \cdot e^{j\Delta\varphi}$ $= R + jX$	$[Z] = \Omega$ Z : Scheinwiderstand $\Delta\varphi$: Phasenverschiebung R : Resistanz X : Reaktanz
Scheinwiderstand	$Z = \tilde{Z} = \frac{\hat{u}}{\hat{i}} = \frac{U}{I}$	
Serie- und Parallelschaltung	$\tilde{Z} = \sum_i \tilde{Z}_i \quad (\text{seriell})$	$\frac{1}{\tilde{Z}} = \sum_i \frac{1}{\tilde{Z}_i} \quad (\text{parallel})$
Wirkleistung	$P = UI \cdot \cos(\Delta\varphi)$	$[S] = W$
Scheinleistung	$S = UI$	$[S] = VA$
Blindleistung	$Q = UI \cdot \sin(\Delta\varphi)$	$[Q] = \text{var}$

Passive Bauelemente

	Ohm'scher Wdst.	Kondensator	Ideale Spule
Komplexe Spannung	$\tilde{u}_R = R \cdot \tilde{i}$	$\tilde{u}_C = \frac{1}{C} \cdot \int dt \tilde{i}$	$\tilde{u}_L = L \cdot \frac{d\tilde{i}}{dt}$
Impedanz	$\tilde{Z}_R = R$	$\tilde{Z}_C = \frac{1}{j\omega C}$	$\tilde{Z}_L = j\omega L$
Scheinwiderstand	$Z_R = R$	$Z_C = \frac{1}{\omega C}$	$Z_L = \omega L$
Phasenverschiebung	$\Delta\varphi_R = 0$	$\Delta\varphi_C = -\frac{\pi}{2}$	$\Delta\varphi_L = +\frac{\pi}{2}$
Resistanz $R = \text{Re}\{\tilde{Z}\}$	$R_R = R$	—	—
Reaktanz $X = \text{Im}\{\tilde{Z}\}$	—	$X_C = -\frac{1}{\omega C}$	$X_L = \omega L$

5. Schwingungen und Wellen

5.1. Harmonische Schwingung

Kreisfrequenz	$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$	$[\omega] = \text{s}^{-1}$ T : Schwingungsdauer f : Frequenz
Auslenkung (Elongation)	$y = \hat{y} \cdot \sin(\omega t + \varphi_0)$	$\hat{y}$: Amplitude
Geschwindigkeit	$v_y = \dot{y} = \omega \cdot \hat{y} \cdot \cos(\omega t + \varphi_0)$	$\omega t + \varphi_0$: Phase
Beschleunigung	$a_y = \ddot{y} = -\omega^2 \cdot \hat{y} \cdot \sin(\omega t + \varphi_0)$	φ_0 : Nullphase
Resultierende Kraft	$F_{\text{res},y} = -k y$	$[k] = \text{N/m}$ Richtgrösse
Schwingungsdauer	$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$	m : Masse des Oszillators
• Federpendel	$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{D}}$	D : Federkonstante
• Fadenpendel	$T \approx 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$	l : Fadenlänge

5.2. Harmonische Welle

Laufende Sinuswelle	$u(x, t) = \hat{u} \cdot \sin(kx - \omega t)$	u : Oszillierende Grösse $\hat{u}$: Amplitude
Ausbreitungsgeschwindigkeit	$c = \lambda f$	$[\lambda] = \text{m}$ Wellenlänge
Wellenzahl	$k = \frac{2\pi}{\lambda}$	$[k] = \text{m}^{-1}$
MACH-Zahl	$M = \frac{v}{c}$	c : Schallgeschwindigkeit

5.3. Strahlenoptik

Reflexionsgesetz	$\alpha_r = \alpha_i$	α_i : Einfallswinkel zum Lot α_r : Reflexionswinkel
Brechungsindex	$n = \frac{c_0}{c}$	c : Lichtgeschw. im Medium c_0 : Lichtgeschw. im Vakuum
SNELLIUS'sches Brechungsgesetz	$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{c_1}{c_2} = \frac{n_2}{n_1}$	α_2 : Brechungswinkel
Linsen- und Spiegelgleichung	$\frac{1}{f} = \frac{1}{g} + \frac{1}{b}$	f : Brennweite g : Gegenstandsweite b : Bildweite
Abbildungsmaßstab	$\beta = \frac{B}{G} = \frac{b}{g}$	G : Gegenstandsgrösse B : Bildgrösse
Brechkraft	$D = \frac{1}{f}$	$[D] = \text{dpt (Dioptrie)}$
System von zwei Linsen	$D = D_1 + D_2$	

5.4. Akustik

Stehende Welle	$u(x, t) = \hat{u} \cdot \sin(kx) \cdot \cos(\omega t)$	$\hat{u}$: Amplitude
Schwebungsfrequenz	$f_{\text{Schwebung}} = f_2 - f_1 $	
Tonintervall = Frequenzverhältnis	$\frac{f_2}{f_1}$	f_1 : Frequenz des Grundtons f_2 : Freq. des höheren Tons
Partialtöne	$f_n = n \cdot \frac{c}{2L}$ $f_n = (2n - 1) \cdot \frac{c}{4L}$	c : Phasengeschwindigkeit L : Saiten-/Pfeifenlänge $n = 1, 2, 3, \dots$
DOPPLER-Effekt	$f_E = f_S \cdot \frac{c \pm v_E}{c \mp v_S}$	E : Empfänger, S : Sender oberes Zeichen: Annäherung

5.5. Wellenoptik

HUYGENS'sches Prinzip

Jeder Punkt einer Wellenfront ist Ausgangspunkt einer neuen kugelförmigen Elementarwelle mit gleicher Frequenz und Geschwindigkeit. Die Einhüllende aller Elementarwellen ergibt die Wellenfront zu einem späteren Zeitpunkt.

Intensitätsverteilung am
Beugungsgitter

$$I = I_0 \cdot \underbrace{\left[\frac{\sin\left(\pi \cdot \frac{a}{\lambda} \cdot \sin \vartheta\right)}{\pi \cdot \frac{a}{\lambda} \cdot \sin \vartheta} \right]^2}_{\text{Einzelspaltfunktion}} \cdot \underbrace{\left[\frac{\sin\left(N \cdot \pi \cdot \frac{d}{\lambda} \cdot \sin \vartheta\right)}{\sin\left(\pi \cdot \frac{d}{\lambda} \cdot \sin \vartheta\right)} \right]^2}_{\text{Gitterfunktion}}$$

ϑ : Winkel zur opt. Achse

I_0 : Intensitätsmaximum

a : Spaltbreite

d : Spaltabstand

N : Anzahl Spalte

Phasendifferenz zwischen
Wellen benachbarter Quellen

$$\delta = k \Delta s$$

Δs : Gangunterschied

k : Wellenzahl

Intensitätsmaxima am
Beugungsgitter

$$\sin \vartheta = n \cdot \frac{\lambda}{d}$$

$n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ (Ordnung)

Intensitätsminima am
Einzelspalt

$$\sin \vartheta = m \cdot \frac{\lambda}{a}$$

$m = \pm 1, \pm 2, \dots$ (Ordnung)

Intensitätsminima am Loch

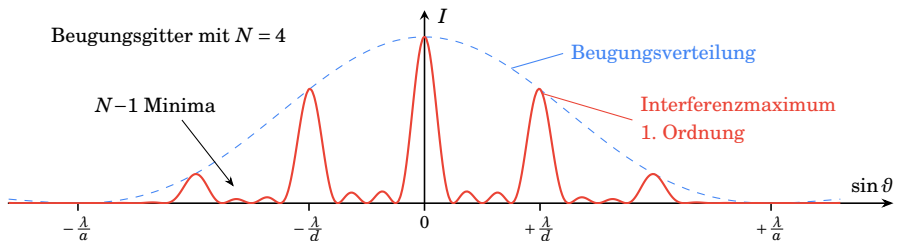
$$\sin \vartheta = z_m \cdot \frac{\lambda}{D}$$

D : Lochdurchmesser

$z_1 \approx 1.2197$

$z_2 \approx 2.2331$

$z_3 \approx 3.2383$



Gesetz von MALUS

$$I = I_0 \cdot \cos^2(\vartheta)$$

I : Intensität

ϑ : Polarisationswinkel

6. Moderne Physik

6.1. Kernphysik

Massenzahl (Nukleonenzahl)

$$A = Z + N$$

Z : Ordnungszahl

N : Neutronenzahl

Radioaktivität

Halbwertszeit

$$T_{1/2} = \frac{\ln(2)}{\lambda}$$

$[\lambda] = \text{s}^{-1}$: Zerfallskonstante

Zerfallsgesetz

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda t} = N_0 \cdot 2^{-t/T_{1/2}}$$

N, N_0 : Anzahl Kerne

Aktivität

$$A = -\frac{dN}{dt} = \lambda N$$

$[A] = \text{s}^{-1} = \text{Bq}$ (Becquerel)

Dosimetrie

Energiedosis

$$D = \frac{\Delta E}{m}$$

$[D] = \text{J/kg} = \text{Gy}$ (Gray)

ΔE : absorbierte

Energienmenge

m : Gewebemasse

Äquivalentdosis

$$H = w_R \cdot D$$

$[H] = \text{J/kg} = \text{Sv}$ (Sievert)

w_R : Strahlungs-Wichtungsfaktor

Effektive Dosis

$$\mathcal{E} = w_T \cdot H$$

$[E] = \text{Sv}$

w_T : Gewebe-Wichtungsfaktor

6.2. Spezielle Relativitätstheorie

Reduzierte Geschwindigkeit $\beta = \frac{v}{c}$

LORENTZ-Faktor $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}}$

Geometrie im $\sin \varphi = \beta$

LOEDEL-Diagramm $\cos \varphi = \frac{1}{\gamma}$

LORENTZ-Transformation

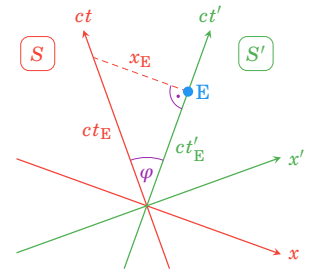
$$x = \gamma \cdot (x' + \beta \cdot ct')$$

$$ct = \gamma \cdot (ct' + \beta \cdot x')$$

$$x' = \gamma \cdot (x - \beta \cdot ct)$$

$$ct' = \gamma \cdot (ct - \beta \cdot x)$$

v : Relativgeschwindigkeit
des Systems S' in S
 c : Vakuumlichtgeschw.



Transformationsformeln

Zeitdilatation $\Delta t = \gamma \Delta t_0$

Δt_0 : Dauer im Ruhesystem

Längenkontraktion $\Delta x = \frac{\Delta x_0}{\gamma}$

Δx_0 : Abstand im Ruhesystem

Geschwindigkeitstranf. $u_x = \frac{u'_x + v}{1 + \frac{u'_x v}{c^2}}$

DOPPLER-Verschiebung $f_{\pm} = f_0 \gamma (1 \pm \beta)$

f_0 : Frequenz im Ruhesystem
 $f_{\pm}$: beobachtete Frequenz

Dynamik

Invariante Masse m

auch Ruhemasse

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

Kraft $\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$

Ruheenergie $E_0 = mc^2$

Gesamtenergie $E = \gamma mc^2 = \sqrt{(mc^2)^2 + (pc)^2}$

Kinetische Energie $E_{\text{kin}} = (\gamma - 1) mc^2$

6.3. Quantentheorie

Welle-Teilchen-Dualismus

Energie des Photons $E = hf$ h : PLANCK-Konstante

DE BROGLIE-Beziehung $p = \frac{h}{\lambda}$

Äusserer Photo-Effekt $E_{\text{kin}}^{(\text{max})} = hf - W_A$

BELL'sche Ungleichung

Polarisationszustände $|\alpha\rangle = \cos\alpha|H\rangle + \sin\alpha|V\rangle$ $|H\rangle, |V\rangle$: Basiszustände
 $|\bar{\alpha}\rangle = -\sin\alpha|H\rangle + \cos\alpha|V\rangle$ $\bar{\alpha} = \alpha + 90^\circ$

BELL-Zustand $|\psi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot (|\alpha\rangle_A |\alpha\rangle_B + |\bar{\alpha}\rangle_A |\bar{\alpha}\rangle_B)$

CHSH-Ungleichung $S = \langle A_1 B_1 \rangle - \langle A_1 B_2 \rangle + \langle A_2 B_1 \rangle + \langle A_2 B_2 \rangle \leq 2$

BELL-Erwartungswert $\langle A_j B_k \rangle = \cos(2(\alpha_j - \beta_k))$ A_j, B_k : Messresultate

• experimentell $\langle A_j B_k \rangle = \frac{C(\alpha_j, \beta_k) - C(\alpha_j, \bar{\beta}_k) - C(\bar{\alpha}_j, \beta_k) + C(\bar{\alpha}_j, \bar{\beta}_k)}{C(\alpha_j, \beta_k) + C(\alpha_j, \bar{\beta}_k) + C(\bar{\alpha}_j, \beta_k) + C(\bar{\alpha}_j, \bar{\beta}_k)}$

A. Mathematik

A.1. Geometrie

Umfang, Flächen- und Rauminhalt

Dreiecksfläche $A = \frac{1}{2}gh$ g : Grundlinie, h : Höhe

Kreisumfang und -inhalt $u = 2\pi r$ $A = \pi r^2$ r : Radius

Kugeloberfläche und -volumen $A = 4\pi r^2$ $V = \frac{4}{3}\pi r^3$

Trigonometrie

Sinus $\sin \alpha = \frac{\text{Gegenkathete}}{\text{Hypotenuse}} = \frac{a}{c}$

Cosinus $\cos \alpha = \frac{\text{Ankathete}}{\text{Hypotenuse}} = \frac{b}{c}$

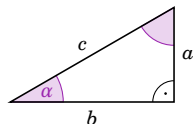
Tangens $\tan \alpha = \frac{\text{Gegenkathete}}{\text{Ankathete}} = \frac{a}{b}$

Satz des PYTHAGORAS $\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1$ $a^2 + b^2 = c^2$

Additionstheoreme $\sin(\alpha \pm \beta) = \sin \alpha \cdot \cos \beta \pm \cos \alpha \cdot \sin \beta$

$\cos(\alpha \pm \beta) = \cos \alpha \cdot \cos \beta \mp \sin \alpha \cdot \sin \beta$

$\sin(\alpha) + \sin(\beta) = 2 \cdot \cos\left(\frac{\alpha - \beta}{2}\right) \cdot \sin\left(\frac{\alpha + \beta}{2}\right)$



A.2. Algebra

Potenz $a^n = \underbrace{a \cdot a \cdot a \dots a}_{n \text{ Faktoren}}$ Potenzwert = Basis^{Exponent}

$a^{-n} = \frac{1}{a^n}$ $a^{1/n} = \sqrt[n]{a}$

Potenzgesetze $a^{p+q} = a^p \cdot a^q$

$a^{p \cdot q} = (a^p)^q$

$(a \cdot b)^p = a^p \cdot b^p$

Binomische Formeln $(a \pm b)^2 = a^2 \pm 2ab + b^2$ $(a + b)(a - b) = a^2 - b^2$

A.3. Proportionalitäten und Funktionen

Direkte Proportionalität

Gehört zum k -Fachen eines Wertes einer Grösse x stets das k -Fache einer anderen Grösse y , so heissen die beiden Grössen direkt proportional (verhältnisgleich).

$$y \propto x \Rightarrow \frac{y}{x} = m \Rightarrow y = mx$$

Indirekte Proportionalität

Gehört zum k -Fachen eines Wertes einer Grösse x stets das $\frac{1}{k}$ -Fache einer anderen Grösse y , so heissen die beiden Grössen indirekt proportional (produktgleich).

$$y \propto \frac{1}{x} \Rightarrow y \cdot x = A \Rightarrow y = \frac{A}{x}$$

Lineare und quadratische Funktionen

Geradengleichung

$$y = mx + q$$

m : Steigung

q : Ordinatenabschnitt

- Zwei-Punkt-Form

$$y = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}(x - x_1) + y_1$$

Parabelgleichung

$$y = ax^2 + bx + c$$

- Scheitelpunktform

$$y = a(x - x_S)^2 + y_S$$

(x_S, y_S) : Scheitelpunkt

- Nullstellen

$$x_{\pm} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

«Mitternachtsformel»

Fit-Funktionen

Potenzfunktion

$$y = a \cdot x^b + c$$

Exponentialfunktion

$$y = a \cdot e^{-\gamma x} + b$$

- invers

$$y = a \cdot (1 - e^{-\gamma x}) + b$$

Logarithmusfunktion

$$y = a \cdot \ln(-bx)$$

Sinusfunktion

$$y = a \cdot \sin(bx + c) + d$$

- gedämpft

$$y = a \cdot e^{-\gamma x} \cdot \sin(bx + c) + d$$

Normalverteilung

$$y = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)$$

A.4. Vektoren

Vektor in $\mathbb{R}^2$

$$\vec{v} = \begin{pmatrix} v_x \\ v_y \end{pmatrix}$$

v_x, v_y : Vektorkomponenten

Betrag eines Vektors

$$v = |\vec{v}| = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$$

Vektorgleichung

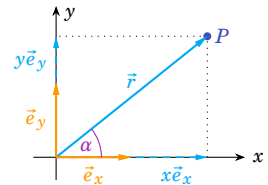
$$\vec{v} = \vec{w} \Leftrightarrow \begin{pmatrix} v_x \\ v_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} w_x \\ w_y \end{pmatrix} \Leftrightarrow \begin{cases} v_x = w_x \\ v_y = w_y \end{cases}$$

Einheitsvektoren in $\mathbb{R}^2$

$$\vec{e}_x = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}, \quad \vec{e}_y = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

Ortsvektor der Ebene

$$\vec{r} = x\vec{e}_x + y\vec{e}_y = \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}$$



Summe zweier Vektoren

$$\vec{a} + \vec{b} = \begin{pmatrix} a_x + b_x \\ a_y + b_y \end{pmatrix}$$

Multiplikation mit Skalar

$$\lambda \vec{a} = \begin{pmatrix} \lambda a_x \\ \lambda a_y \end{pmatrix}$$

Skalarprodukt

$$\vec{a} \cdot \vec{b} = a \cdot b \cdot \cos \varphi$$

$$\varphi = \angle(\vec{a}, \vec{b})$$

- Rechenregeln

$$\vec{a} \cdot \vec{b} = \vec{b} \cdot \vec{a}, \quad \vec{a} \cdot (\vec{b} + \vec{c}) = \vec{a} \cdot \vec{b} + \vec{a} \cdot \vec{c}, \quad (\lambda \vec{a}) \cdot \vec{b} = \lambda(\vec{a} \cdot \vec{b})$$

Vektorprodukt

$$\vec{a} \times \vec{b} = \begin{pmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} b_x \\ b_y \\ b_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_y b_z - a_z b_y \\ a_z b_x - a_x b_z \\ a_x b_y - a_y b_x \end{pmatrix}$$

- Rechenregeln

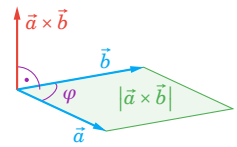
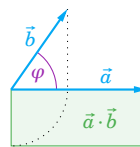
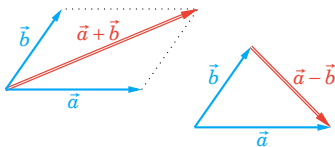
$$|\vec{a} \times \vec{b}| = a \cdot b \cdot \sin \varphi$$

- Eigenschaften

$$\vec{a} \times \vec{b} \text{ steht senkrecht auf } \vec{a} \text{ und } \vec{b}$$

$$\vec{a}, \vec{b} \text{ und } \vec{a} \times \vec{b} \text{ bilden ein Rechtssystem}$$

$$|\vec{a} \times \vec{b}| \text{ ist die Fläche des aufgespannten Parallelogramms}$$



A.5. Differentialrechnung

Differenzenquotient	$\frac{\Delta f}{\Delta x} = \frac{f(x) - f(x_0)}{x - x_0}$	$\Delta x = x - x_0 \neq 0$
Ableitung	$f'(x_0) = \lim_{x \rightarrow x_0} \frac{f(x) - f(x_0)}{x - x_0}$	
Ableitungsfunktionen	$f' = \frac{df}{dx} \quad f'' = \frac{d^2 f}{dx^2}$	
Summenregel	$f(x) = u(x) \pm v(x)$	$f'(x) = u'(x) \pm v'(x)$
Produktregel	$f(x) = u(x) \cdot v(x)$	$f'(x) = u'(x) \cdot v(x) + u(x) \cdot v'(x)$
Kettenregel	$f(x) = u(v(x))$	$f'(x) = u'(v(x)) \cdot v'(x)$

Ableitungen spezieller Funktionen

$(x^s)' = s x^{s-1}$	$(e^x)' = e^x$	$(\ln x)' = \frac{1}{x}$
$(\sin x)' = \cos x$	$(\cos x)' = -\sin x$	$(\tan x)' = \frac{1}{\cos^2 x}$

A.6. Komplexe Zahlen

Imaginäre Einheit j mit $j^2 = -1$

Kartesische Form $\tilde{z} = x + j y$

$x = \operatorname{Re}\{\tilde{z}\}$: Realteil
 $y = \operatorname{Im}\{\tilde{z}\}$: Imaginärteil

Polarform $\tilde{z} = r (\cos \varphi + j \sin \varphi)$

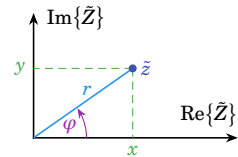
$r = |\tilde{z}|$: Betrag
 $[\varphi] = \text{rad}$: Winkel

Exponentialform $\tilde{z} = r e^{j \varphi}$

EULER'sche Formel $e^{j \varphi} = \cos \varphi + j \sin \varphi$

EULER'sche Identität $e^{j \pi} + 1 = 0$

GAUSS'sche Zahlenebene Die Punkte der Ebene mit der reellen Abszisse und der imaginären Ordinate repräsentieren komplexe Zahlen.



Umrechnungen $r = \sqrt{x^2 + y^2}, \quad \varphi = \operatorname{atan}\left(\frac{y}{x}\right)$

$$x = r \cos \varphi, \quad y = r \sin \varphi$$

Operationen

Komplexe Konjugation $\bar{\tilde{z}} = x - j y$

Betrag $r = |\tilde{z}| = \sqrt{\tilde{z} \cdot \bar{\tilde{z}}}$

Addition $\tilde{z}_1 + \tilde{z}_2 = (x_1 + x_2) + j(y_1 + y_2)$

Multiplikation $\tilde{z}_1 \cdot \tilde{z}_2 = r_1 r_2 \cdot e^{j(\varphi_1 + \varphi_2)}$

B. Tabellen

Dichte

Festkörper bei 20 °C in 10 ³ kg/m ³					
Aluminium	2.70	Marmor	2.7	Silber	10.5
Beton	2.2	Kork	0.3	Silizium	2.42
Blei	11.34	Kupfer	8.92	Stahl V2A	7.9
Buchenholz	0.7	Messing	8.47	Styropor	0.02
Diamant	3.51	Natrium	0.97	Tannenholz	0.5
Eis bei 0 °C	0.917	Nickel	8.90	Uran	18.7
Eisen	7.86	Paraffin	0.9	Wolfram	19.3
Glas	2.5	Platin	21.45	Ziegelstein	1.6
Gold	19.29	Plexiglas	1.18	Zink	7.14
Graphit	2.24	Porzellan	2.4	Zinn	7.29
Invar	8.00	Quarzglas	2.2		

Flüssigkeiten bei 20 °C in 10 ³ kg/m ³					
Aceton	0.788	Glycerin	1.261	H ₂ SO ₄	1.84
Benzol	0.878	Heizöl EL	0.86	CCl ₄	1.594
Benzin	0.744	Methanol	0.792	Wasser	0.998
Diethylether	0.714	Olivenöl	0.92	D ₂ O	1.105
Ethanol	0.789	Quecksilber	13.546		

Gase bei 0 °C und 1.013·10 ⁵ Pa in kg/m ³					
Ammoniak	0.771	CO	1.250	SO ₂	2.926
Argon	1.784	Luft	1.293	Stickstoff	1.250
Butan	2.732	Methan	0.717	Wasserstoff	0.0899
Erdgas	0.830	Neon	0.900	Xenon	5.897
Helium	0.179	Propan	2.010		
CO ₂	1.977	Sauerstoff	1.429		

Reibungskoeffizienten

Materialkombination	μ _G	μ _H	Materialkombination	μ _G	μ _H
Glas auf Glas	0.40	0.94	NaCl auf NaCl	1.2	1.5
Holz auf Holz	0.3	0.6	Pneu auf trock. Strasse	0.7	0.9
Stahl auf Stahl	0.1	0.15	Pneu auf nasser Strasse	0.3	0.5
Stahl auf Eis	0.014	0.027	Pneu auf Eis	0.05	0.1

Thermische Eigenschaften von Festkörpern

α	Längenausdehnungskoeffizient bei 20 °C				
c	Spezifische Wärmekapazität bei 20 °C				
ϑ_f, L_f	Schmelz- und Erstarrungspunkt, Spezifische Schmelzwärme				
λ	Wärmeleitfähigkeit bei 20 °C				
	α $10^{-6} \frac{1}{K}$	c $\frac{10^3 J}{kg K}$	ϑ_f °C	L_f $10^5 \frac{J}{kg}$	λ $\frac{W}{Km}$
Aluminium	23.8	0.896	660.1	3.97	239
Blei	31.3	0.129	327.4	0.23	34.8
Eis bei 0 °C	37.0	2.1	0	3.338	2.2
Eisen	12.0	0.45	1535	2.77	80
Glas	8.5	0.8			1.0
Kupfer	16.8	0.383	1083	2.05	390
Messing	18	0.380	905	1.6	79
Silber	19.7	0.235	960.8	1.045	428
Silizium	7.6	0.705	1410	1.654	153
Stahl V2A	16.0	0.510			14
Wolfram	4.3	0.134	3380	1.92	177
Zink	26.3	0.385	419.5	1.11	112

Thermische Eigenschaften von Flüssigkeiten

γ	Volumenausdehnungskoeffizient bei 20 °C						
c	Spezifische Wärmekapazität bei 20 °C						
ϑ_f, L_f	Schmelz- und Erstarrungspunkt, Spezifische Schmelzwärme						
ϑ_v, L_v	Siede- und Kondensationspunkt, Spezifische Verdampfungswärme (Normdruck)						
	γ $10^{-3} \frac{1}{K}$	c $\frac{10^3 J}{kg K}$	ϑ_f °C	L_f $10^5 \frac{J}{kg}$	ϑ_v °C	L_v $10^5 \frac{J}{kg}$	λ $\frac{W}{Km}$
Aceton	1.49	2.16	−94.86	0.98	56.25	5.25	0.162
Benzin	0.90	2.02					
Ethanol	1.10	2.43	−114.5	1.08	78.33	8.40	0.165
Glycerin	0.50	2.39	18.4	2.01	290.5	8.54	0.285
Heizöl EL	0.92						
Quecksilber	0.182	0.139	−38.87	0.12	356.58	2.85	8.2
Wasser	0.207	4.182	0.00	3.338	100.00	22.56	0.598

Thermische Eigenschaften von Gasen

c_p, c_V	Spezifische Wärmekapazität für konst. Druck bzw. Volumen bei 20 °C
C_p, C_V	Molare Wärmekapazität für konst. Druck bzw. Volumen bei 20 °C
χ	Adiabatensexponent
ϑ_f, L_f	Schmelz- und Erstarrungspunkt, Spezifische Schmelzwärme
ϑ_v, L_v	Siede- und Kondensationspunkt, Spezifische Verdampfungswärme (Normdruck)

	c_p $\frac{10^3 \text{ J}}{\text{kg K}}$	C_p $\frac{\text{J}}{\text{mol K}}$	χ $= \frac{c_p}{c_v}$	ϑ_f °C	L_f $10^5 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$	ϑ_v °C	L_v $10^5 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$
Argon	0.523	20.9	1.648	-189.38	0.30	-185.88	1.614
Helium	5.23	20.9	1.63			-268.94	0.211
Kohlendioxid	0.837	36.8	1.293			-78.45	
Luft	1.005	29.1	1.402				
Methan	2.219	35.6	1.308	-182.52	0.59	-161.5	4.806
Neon	1.031	20.8	1.64	-248.61		-246.06	
Sauerstoff	0.917	29.3	1.398	-218.79	0.14	-182.97	2.131
Stickstoff	1.038	29.1	1.401	-210.00	0.26	-195.82	1.994
Wasserdampf	1.863	33.6	1.33	0.00		+100	
Wasserstoff	14.32	28.9	1.41	-259.20	60.00	-252.77	4.458

Wärmetransport

Emissionszahl ε bei 20 °C Oberflächentemperatur					
Alu eloxiert	0.92	Eis	0.97	Silber poliert	0.02
Alu oxidiert	0.3	Glas	0.9	Textil	0.85
Alu poliert	0.04	Menschl. Haut	0.97	Wasser	0.98

Wärmeleitfähigkeit λ von Baustoffen in W/(Km)					
Backstein	0.47	Isolierstoffe	0.04	Ruhende Luft	0.025
Fensterglas	0.8	Leichtbeton	0.22	Stahlbeton	1.85

Wärmedurchgangskoeffizient U von Bauelementen in W/(Km ²)			
Backsteinmauser (30 cm)	1.15	Fenster – Einfachglas	5.8
Leichtbetonwand (25 cm)	0.2	Fenster – Doppelverglasung	2.5
Massivholzwand (20 cm)	0.5	Fenster – Isolierverglasung	1.1

Planeten-, Mond- und Sonnendaten

	m 10^{24} kg	R 10^6 m	a 10^6 km	T a	ϵ
Merkur	0.330 22	2.4398	57.9	0.241	0.206
Venus	4.8685	6.0516	108.2	0.615	0.007
Erde	5.9737	6.3782	149.6	1.000	0.017
Mars	0.641 85	3.397	227.9	1.881	0.093
Jupiter	1898.7	71.349 27	778.3	11.868	0.048
Saturn	568.51	60.2671	1427	29.458	0.056
Uranus	86.849	25.559	2870	84.014	0.047
Neptun	102.44	24.764	4496	164.793	0.009
Pluto	0.0130	1.187	5900	248.68	0.250
Mond	0.073 49	1.7375	0.383	0.0748	0.055
Sonne	$1.9884 \cdot 10^6$	696.0			

Spezifischer elektrischer Widerstand

Leiter bei 20 °C in $10^{-8} \Omega \text{m}$					
Aluminium	2.650	Kupfer (rein)	1.754	Wolfram	5.5
Eisen	9.61	Messing	8.0	Wolfram (1 kK)	24.3
Gold	2.214	Nickel	6.93	Wolfram (2 kK)	55.7
Graphit	300	Platin	10.5	Wolfram (3 kK)	90.4
Konstantan	49	Silber	1.587	Zink	5.90
Halbleiter bei 20 °C in Ωm					
Germanium	0.46	Muskelgewebe	2	Silicium	640
Isolierstoffe bei 20 °C in Ωm					
Bernstein	10^{18}	Luft	10^{13}	Quarzglas	10^{12}
Glimmer	$5 \cdot 10^{14}$	Plexiglas	10^{13}	Styropor	10^{17}
Hartgummi	10^{15}	PVC	$5 \cdot 10^{12}$	Wasser (dest.)	10^5

Phasengeschwindigkeit für Schallwellen

Gase	c (m/s)	Flüssigkeiten	c (m/s)	Feste Körper	c (m/s)
Helium	1005	Aceton	1190	Aluminium	5240
Kohlendioxid	268	Benzol	1326	Blei	1250
Luft	344	Ehtanol	1180	Messing	3420
Methan	445	Glyzerin	1923	Quarzglas	5970
Sauerstoff	326	Wasser (dest.)	1483	Stahl	5050
Stickstoff	349				
Wasserstoff	1310				

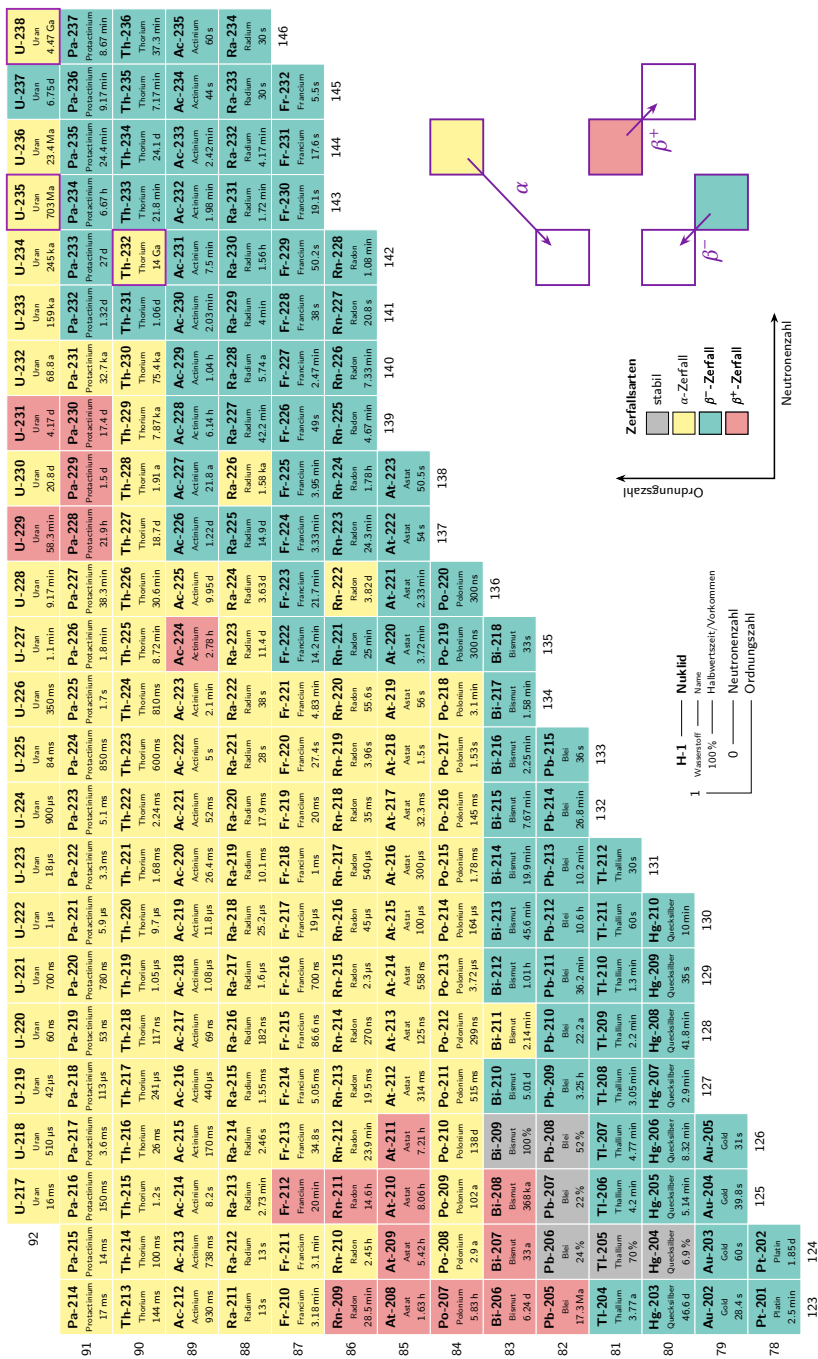
Frequenzverhältnisse bei der C-Dur-Tonleiter

	Ton	Intervall	gl.st. Int.	reines Int.
	C	Prime	$2^{0/12}$	1/1
	Cis	kl. Sekunde	$2^{1/12}$	16/15
	D	gr. Sekunde	$2^{2/12}$	9/8
	Dis	kl. Terz	$2^{3/12}$	6/5
	E	gr. Terz	$2^{4/12}$	5/4
	F	Quarte	$2^{5/12}$	4/3
	Fis	Tritonus	$2^{6/12}$	45/32
	G	Quinte	$2^{7/12}$	3/2
	Gis	kl. Sexte	$2^{8/12}$	8/5
	A	gr. Sexte	$2^{9/12}$	5/3
	Ais	kl. Septime	$2^{10/12}$	16/9
	H	gr. Septime	$2^{11/12}$	15/8
	C	Oktave	$2^{12/12}$	2/1

Wichtungsfaktoren der Dosimetrie

Strahlenart	w_R	Gewebe/Organ	w_T	Gewebe/Organ	w_T
γ -, Röntgenstrahlen	1	Brust	0.12	Knochenmark	0.12
Elektronen, Myonen	1	Lunge	0.12	Keimdrüsen	0.08
Neutronen	5–20	Magen	0.12	Schilddrüse	0.04
α -Strahlen	20	Dickdarm	0.12	übrige	0.28

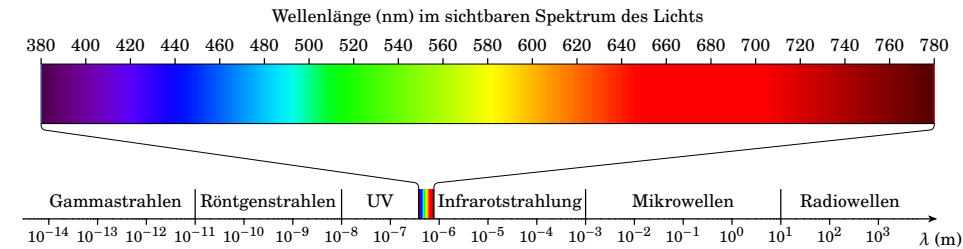
Nuklidkarte (schwere Elemente)



34

57	La	58	Ce	59	Pr	60	Nd	61	Pm	62	Sm	63	Eu	64	Gd	65	Tb	66	Dy	67	Ho	68	Er	69	Tm	70	Yb	71	Lu
Lanthanum	Lanthanum	Cerium	Cerium	Praseodym	Neodym	Neodym	Neodym	Promethium	Samarium	Samarium	Samarium	Europium	Gadolinium	Gadolinium	Terbium	Terbium	Dysprosium	Dysprosium	Helmium	Helmium	Erbium	Erbium	Thulium	Thulium	Ytterbium	Ytterbium	Lutetium	Lutetium	
138.905	140.128	140.128	140.128	140.908	144.242	144.242	144.242	144.913	150.368	150.368	151.964	151.964	157.254	157.254	158.925	158.925	162.500	162.500	164.930	164.930	167.260	167.260	168.934	168.934	173.054	173.054	174.967	174.967	

Spektrum der elektromagnetischen Strahlung



Verschiedene Einheiten und Umrechnungen

Länge	1 Å	= 10^{-10} m	(Ångström)
	1 inch	= 2.540 cm	
	1 mile	= 1609.344 m	
	1 AE	= $1.495\,978\,707\,00 \cdot 10^{11}$ m	(Astronomische Einheit)
	1 Lj	= $9.460\,730\,472 \cdot 10^{15}$ m	(Lichtjahr)
Volumen	1 gallon (US)	= $3.785\,411\,784 \cdot 10^{-3}$ m ³	
Geschwindigkeit	1 m/s	= 3.6 km/h	
Masse	1 pound	= 0.453 592 37 kg	
	1 u	= $1.660\,538\,92 \cdot 10^{-27}$ kg	(Atomare Masseneinheit)
Energie	1 kWh	= $3.6 \cdot 10^6$ J	(Kilowattstunde)
	1 eV	= $1.602\,176\,634 \cdot 10^{-19}$ J	(Elektronvolt)
	1 cal	= 4.182 J	(Kalorie nach IUNS)
Leistung	1 PS	= 735.498 75 W	(Pferdestärke)
Druck	1 bar	= 10^5 N/m ²	= 10^5 Pa
	1 atm	= 101 325 Pa	= 1.013 25 bar
Temperatur	K $\rightarrow$ °C	$\vartheta = (T - 273.15\text{K}) \cdot ^\circ\text{C/K}$	

Griechisches Alphabet

Alpha	α	A	Eta	η	E	Nu	ν	N	Upsilon	υ	Y
Beta	β	B	Theta	ϑ, θ	Θ	Omicron	o	O	Phi	φ, ϕ	Φ
Gamma	γ	Γ	Iota	ι	I	Pi	π	Π	Chi	χ	X
Delta	δ	Δ	Kappa	κ	K	Rho	ϱ, ρ	R	Psi	ψ	Ψ
Epsilon	ε, ϵ	E	Lambda	λ	Λ	Sigma	σ	Σ	Omega	ω	Ω
Zeta	ζ	Z	Mu	μ	M	Tau	τ	T			

Allgemeine Konstanten

Gravitationskonstante	G	$6.673\,84\cdot 10^{-11}$	Nm^2/kg^2
Lichtgeschwindigkeit (exakt)	c_0	$2.997\,924\,58\cdot 10^8$	m/s
Coulomb-Konstante	k_C	$8.987\,551\,79\cdot 10^9$	Nm^2/C^2
Elektrische Feldkonstante	ε_0	$8.854\,187\,82\cdot 10^{-12}$	$\text{As}/(\text{Vm})$
Magnetische Feldkonstante	μ_0	$4\pi\cdot 10^{-7}$	$\text{Vs}/(\text{Am})$
PLANCK-Konstante (exakt)	h	$6.626\,070\,15\cdot 10^{-34}$	J s
Elementarladung (exakt)	e	$1.602\,176\,634\cdot 10^{-19}$	C
Masse des Elektrons	m_e	$9.109\,382\,91\cdot 10^{-31}$	kg
Masse des Protons	m_p	$1.672\,621\,78\cdot 10^{-27}$	kg
Masse des Neutrons	m_n	$1.674\,927\,47\cdot 10^{-27}$	kg
BOHR'scher Radius	a_0	$0.529\,177\,21\cdot 10^{-10}$	m
Druck bei Normbedingungen		101 325	Pa
Temperatur bei Normbedingungen		273.15	K
Temperatur bei Laborbedingungen		293.15	K
AVOGADRO-Konstante (exakt)	N_A	$6.022\,140\,76\cdot 10^{23}$	1/mol
BOLTZMANN-Konstante (exakt)	k_B	$1.380\,649\cdot 10^{-23}$	J/K
Universelle Gaskonstante	R	8.314 459 8	J/(mol K)
STEFAN-BOLTZMANN-Konstante	σ	$5.670\,373\cdot 10^{-8}$	$\text{W}/(\text{m}^2\,\text{K}^4)$
WIEN'sche Konstante	b	$2.897\,768\,5\cdot 10^{-3}$	K m
Solarkonstante	S_0	1380	W/m^2
Normwert der Fallbeschleunigung		9.81	m/s^2
Gravitationsparameter der Erde	GM_E	$3.986\,004\,418\cdot 10^{14}$	m^3/s^2
Gravitationsparameter der Sonne	GM_S	$1.327\,124\,400\cdot 10^{20}$	m^3/s^2

Einheitenpräfixe

10^{24}	Y	Yotta	10^9	G	Giga	10^{-1}	d	Dezi	10^{-12}	p	Pico
10^{21}	Z	Zetta	10^6	M	Mega	10^{-2}	c	Zenti	10^{-15}	f	Femto
10^{18}	E	Exa	10^3	k	Kilo	10^{-3}	m	Milli	10^{-18}	a	Atto
10^{15}	P	Peta	10^2	h	Hekto	10^{-6}	μ	Mikro	10^{-21}	z	Zepto
10^{12}	T	Tera	10^1	da	Deka	10^{-9}	n	Nano	10^{-24}	y	Yokto