



Erziehungsdepartement des Kantons Basel

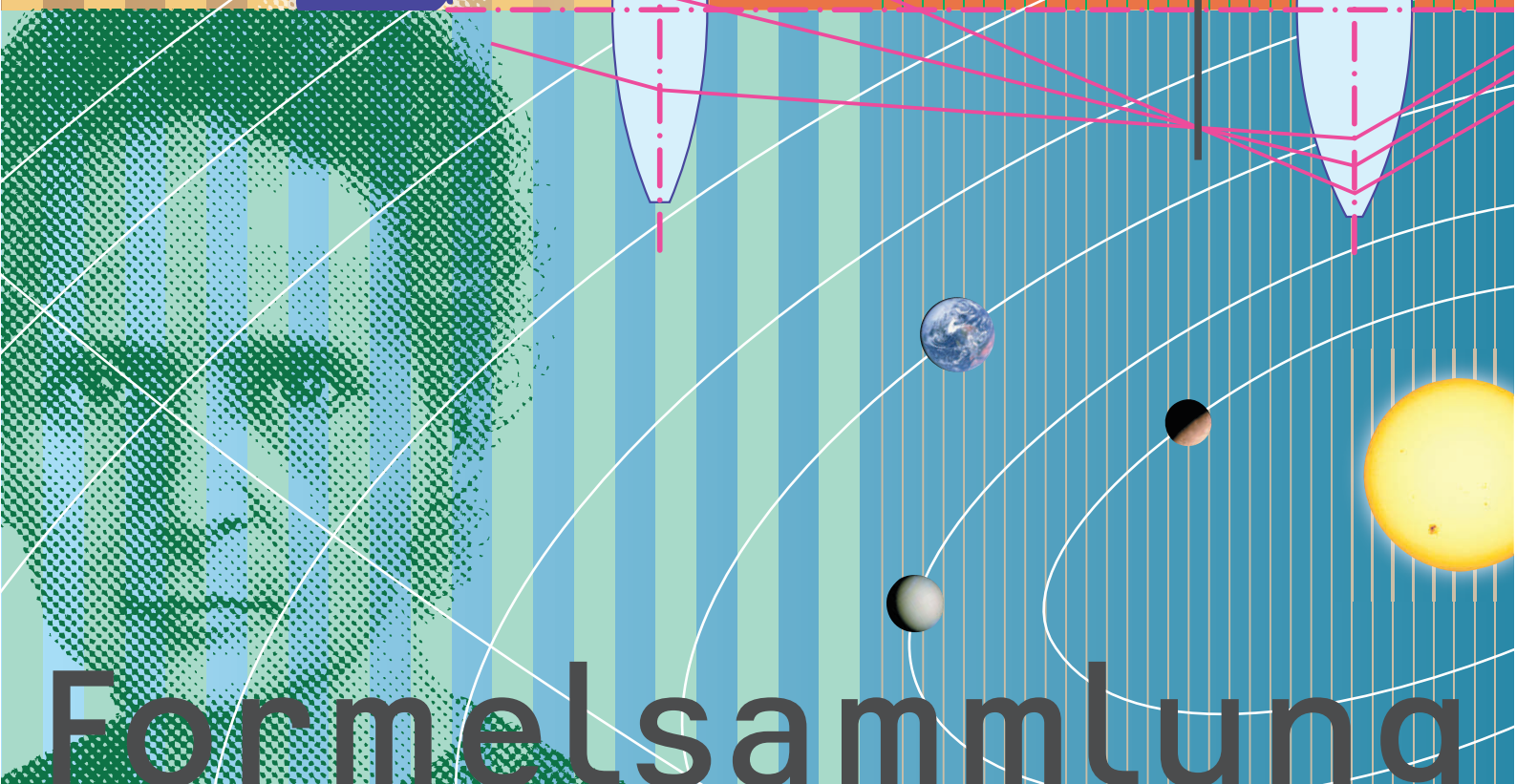
Mittelschulen und Berufsbildung



Gymnasium am Münsterplatz



$$E = mc^2$$



Formelsammlung

PHYSIK



Formelsammlung Physik

Version Juni 2024

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	1
1 Physikalische Grössen.....	2
2 Mechanik.....	4
2.1 Kinematik.....	4
2.2 Dynamik.....	6
2.3 Flüssigkeit und Gase.....	8
2.4 Energetik.....	9
2.5 Himmelsmechanik.....	10
2.6 Harmonische Schwingung.....	11
3 Wärmelehre.....	12
4 Wellenlehre / Optik / Akustik.....	15
4.1 Allgemein.....	15
4.2 Strahlenoptik.....	15
4.3 Wellenoptik.....	16
4.4 Akustik.....	16
4.5 Doppler-Effekt.....	17
5 Elektrizität.....	18
5.1 Elektrostatik.....	18
5.2 Gleichstrom.....	19
5.3 Magnetismus und Induktion.....	20
6 Spezielle Relativitätstheorie.....	21
7 Atomphysik.....	21
8 Kernphysik.....	22
9 Messfehler.....	22
10 Mathematische Formelsammlung.....	23

1 Physikalische Grössen

Basisgrössen in SI-Einheiten:

Basisgrösse	Symbol	Basiseinheit	Abkürzung
Länge	$\ell(s, r \dots)$	Meter	m
Zeit	t	Sekunde	s
Masse	m	Kilogramm	kg
Stromstärke	I	Ampere	A
Temperatur	T	Kelvin	K
Stoffmenge	n	Mol	mol
Lichtstärke	I_V	Candela	cd

Weitere Physikalische Grössen und ihre Einheiten:

Grösse	Symbol	Einheit	Abkürzung	Basiseinheit
Kraft	F	Newton	N	$\frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}$
Energie	E	Joule	J	$\text{Nm} = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2}$
Leistung	P	Watt	W	$\text{Js}^{-1} = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^3}$
Druck	p	Pascal	Pa	$\frac{\text{N}}{\text{m}^2} = \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2}$
Ladung	Q	Coulomb	C	A · s
Spannung	U	Volt	V	$\frac{\text{J}}{\text{C}}$
Widerstand	R	Ohm	Ω	$\frac{\text{V}}{\text{A}}$
Magnetische Flussdichte	B	Tesla	T	$\frac{\text{V} \cdot \text{s}}{\text{m}^2}$

Vorsatz	Kürzel	Potenz
Exa	E	10^{18}
Peta	P	10^{15}
Tera	T	10^{12}
Giga	G	10^9
Mega	M	10^6
Kilo	k	10^3
Hekto	h	10^2
Deka	da	10^1

Vorsatz	Kürzel	Potenz
Dezi	d	10^{-1}
Centi	c	10^{-2}
Milli	m	10^{-3}
Mikro	μ	10^{-6}
Nano	n	10^{-9}
Pico	p	10^{-12}
Femto	f	10^{-15}
Atto	a	10^{-18}

Griechisches Alphabet

Alpha	A	α
Beta	B	β
Gamma	Γ, Γ	γ
Delta	Δ, Δ	δ
Epsilon	E	ϵ, ε
Zeta	Z	ζ
Eta	H	η
Theta	Θ, Θ	θ, ϑ
Iota	I	ι
Kappa	K	$\kappa, \varkappa$
Lambda	Λ, Λ	λ
Mü	M	μ

Nü	N	ν
Xi	Ξ, Ξ	ξ
Omikron	O	o
Pi	Π, Π	π, ϖ
Rho	P	ρ, ϱ
Sigma	Σ, Σ	σ, ς
Tau	T	τ
Ypsilon	Υ, Υ	υ
Phi	Φ, Φ	ϕ, φ
Chi	X	χ
Psi	Ψ, Ψ	ψ
Omega	Ω, Ω	ω

Naturkonstanten:

Gravitationskonstante	$G =$	6.6743	$\cdot 10^{-11}$	$\text{Nm}^2\text{kg}^{-2}$
Lichtgeschwindigkeit	$c =$	2.9979	$\cdot 10^8$	m/s
Fallbeschleunigung (Normwert)	$g =$	9.81		m/s^2
Normdruck	$p_0 =$	1.013	$\cdot 10^5$	Pa (=1.013 bar)
Normtemperatur (0°C)	$T_0 =$	273.15		K
Avogadro-Konstante	$N_A =$	6.0221	$\cdot 10^{23}$	mol^{-1}
Boltzmann-Konstante	$k =$	1.3807	$\cdot 10^{-23}$	J/K
Universelle Gaskonstante	$R =$	8.3145		J/(mol·K)
Elementarladung	$e =$	1.6022	$\cdot 10^{-19}$	C
Elektrische Feldkonstante	$\varepsilon_0 =$	8.8542	$\cdot 10^{-12}$	$\text{A}\cdot\text{s}/(\text{V}\cdot\text{m})$ (=C ² N ⁻¹ m ⁻²)
Magnetische Feldkonstante	$\mu_0 =$	4 π	$\cdot 10^{-7}$	$\text{V}\cdot\text{s}/(\text{A}\cdot\text{m})$
Ruhemasse des Elektrons	$m_e =$	9.1094	$\cdot 10^{-31}$	kg
Ruhemasse des Protons	$m_p =$	1.6726	$\cdot 10^{-27}$	kg
Ruhemasse des Neutrons	$m_n =$	1.6749	$\cdot 10^{-27}$	kg
Atomare Masseneinheit	$u =$	1.6605	$\cdot 10^{-27}$	kg
Stefan-Boltzmann-Konstante	σ	5.6704	$\cdot 10^{-8}$	$\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K}^4)$
Wien'sche Konstante	$b =$	2.8978	$\cdot 10^{-3}$	K·m
Solarkonstante	$S =$	1.366	$\cdot 10^3$	W/m^2
Planck'sches Wirkungsquantum	$h =$	6.6261	$\cdot 10^{-34}$	Js

2 Mechanik

2.1 Kinematik

Allgemeine Beschreibung von Bewegungen:

Mittlere Geschwindigkeit $\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$ Δs : Wegänderung/ Distanz in m, Δt : Zeitdauer/ Zeitintervall in s, $[v] = \text{m/s}$

Mittlere Beschleunigung $\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ Δv : Geschwindigkeitsänderung, $[a] = \text{m/s}^2$

Momentangeschwindigkeit $v(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt}$ $v(t)$: Geschwindigkeit zum Zeitpunkt t

Momentanbeschleunigung $a(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{dv}{dt}$ $a(t)$: Beschleunigung zum Zeitpunkt t

Geradlinige, gleichförmige Bewegung ($v=\text{konst.}$, $a=0$):

Geschwindigkeit $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$ Δs : Wegänderung, Δt : Zeitdauer

Geradlinige, gleichmässig beschleunigte Bewegung ($a=\text{konst.}$):

Beschleunigung $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v(t) - v_0}{t}$ v_0 : Geschwindigkeit zum Zeitpunkt 0, $v(t)$: Geschwindigkeit zum Zeitpunkt t

Geschwindigkeit zum Zeitpunkt t $v(t) = v_0 + at$

Ort zum Zeitpunkt t $s(t) = v_0 t + \frac{1}{2} at^2$

Geschwindigkeit beim Ort s $v(s) = \sqrt{v_0^2 + 2as}$

Gleichförmige Kreisbewegung:

Geschwindigkeit Punkt auf
Kreisbahn

$$v = \frac{2\pi r}{T} = \omega \cdot r$$

r : Radius in m, T : Umlaufzeit
in s, ω : Winkelgeschwindigkeit in
 s^{-1}

Winkelgeschwindigkeit

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

Winkelkoordinate

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

b : Bogenlänge, $[\varphi] = \text{rad}$

Frequenz

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

Zentripetalbeschleunigung

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

2.2 Dynamik

Grundgleichung der Mechanik:

Definition der Kraft $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$ $[F] = \text{kg} \cdot \text{m/s}^2 = \text{N}$

Statische Kräfte

Gewichtskraft $F_G = m \cdot g$ F_G : Gewichtskraft, m : Masse, g : Ortsfaktor (9.81 N/kg bei 45°N), $[F] = \text{kg} \cdot \text{m/s}^2 = \text{N}$

Gesetz von Hook $F_F = D \cdot y$ F_F : Federkraft, D : Federkonstante in N/m, y : Federverlängerung in m, $y = \ell - \ell_0$

Gleitreibungskraft $F_{GR} = \mu_G F_N$ μ_G : Gleitreibungskoeffizient, F_N : Normalkraft

Rollreibungskraft $F_{RR} = \mu_R F_N$ μ_R : Rollreibungskoeffizient

Haftreibungskraft $F_{HR} \leq \mu_H F_N$ μ_H : Haftreibungskoeffizient

Typische Werte Gleit- und Haftreibungskoeffizienten:

Stoffpaar	Gleitreibung μ_G	Haftreibung μ_H
Holz – Holz	0.3 ± 0.1	0.4 ± 0.2
Stahl – Stahl	0.42	0.78
Pneu – Strasse	0.65 ± 0.15	0.85 ± 0.15
Ski – Schnee	0.12 ± 0.08	0.2 ± 0.1
Gelenk – Gelenk	0.3 ± 0.15	

Typische Werte Rollreibungskoeffizienten:

Stoffpaar	Rollreibung μ_R
Autoreifen – Asphalt	0.008 ± 0.002
Autoreifen – Schotter	0.02 ± 0.01
Eisenbahnrad – Schiene	0.0015 ± 0.0005
Veloreifen – Asphalt	0.007

Kreisbewegung

Zentripetalkraft $F_z = m \cdot a_z = m \cdot \frac{v^2}{r} = m \cdot \omega^2 \cdot r$

Drehmoment starrer Körper

Drehmoment $M = a \cdot F$ a : Hebelarm in m

Momentensatz
(im Gleichgewicht) $M_{total} = \sum_i M_i = 0$

Drehimpuls $\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p}$ $[L] = \text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{s}$, r : Ortsvektor, $\vec{p} = m \cdot \vec{v}$ Impuls

Drehimpulserhaltungssatz $\vec{L}_{total} = \sum_i L_i = \text{konstant}$

Impuls:

Impuls	$\vec{p} = m \cdot \vec{v}$	
Kraftstoss	$F \cdot \Delta t = \Delta p$	falls F konstant
Impulserhaltung	$\vec{p}_{total} = \sum_{i=1}^n \vec{p}_i = \text{konstant}$	$\vec{p}_{total}$: Gesamtimpuls im abgeschlossenen System, $\vec{p}_i$: Einzelimpulse

Gerader zentraler Stoss:*Vollständig elastischer Stoss:*

Geschwindigkeit des Körpers 1 nach dem Stoss	$v'_1 = \frac{(m_1 - m_2)v_1 + 2m_2v_2}{m_1 + m_2}$	v_1 : Geschwindigkeit des Körpers 1 vor dem Stoss
Geschwindigkeit des Körpers 2 nach dem Stoss	$v'_2 = \frac{2m_1v_1 + (m_2 - m_1)v_2}{m_1 + m_2}$	v_2 : Geschwindigkeit des Körpers 2 vor dem Stoss
Energieerhaltung elastischer Stoss	$E_{kin} = E'_{kin}$	E_{kin} : kinetische Energie vor dem Stoss, E'_{kin} : kinetische Energie nach dem Stoss
	$E_{Def} = 0$	E_{Def} : Deformations- und Reibungsenergie

Vollständig inelastischer Stoss:

Geschwindigkeiten nach dem Stoss:	$v'_1 = v'_2 = v'$	v' : gemeinsame Geschwindigkeit nach dem Stoss
Geschwindigkeit nach Stoss	$v' = \frac{m_1v_1 + m_2v_2}{m_1 + m_2}$	
Energieerhaltung inelastischer Stoss	$E_{kin} = E'_{kin} + E_{Def}$	
Deformationsenergie	$E_{Def} = \frac{m_1m_2(v_1 - v_2)^2}{2(m_1 + m_2)}$	

2.3 Flüssigkeit und Gase

Druck	$p = \frac{F}{A}$	F : Kraft in N, A : Fläche in m^2 , p : Druck in Pa Atmosphärendruck: $p_0 = 1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$
Dichte	$\varrho = \frac{m}{V}$	m : Masse in kg, V : Volumen in m^3 , ϱ : Dichte in kg/m^3
Schweredruck	$p = \varrho \cdot g \cdot h$	g : Ortsfaktor ($9.81 \text{ N}/\text{kg}$)
Auftriebskraft	$F_A = \varrho_F \cdot g \cdot V_{\text{Ein}}$	V_{Ein} : Volumen des eingetauchten Körpers, ϱ_F : Dichte des umgebenden Fluids
Kontinuitätsgleichung	$Q = v_1 A_1 = v_2 A_2 = \text{konst}$	Q : Volumenstrom in m^3/s , v_1, v_2 : Geschwindigkeit, A_1, A_2 : Querschnittsfläche
Gesetz von Bernoulli	$p + \frac{1}{2}\varrho v^2 + \varrho gh = \text{konstant}$	
Gesetz von Stokes	$F_R = 6\pi\eta r v$	η : dynamische Viskosität in Ns/m^2 , F_R : Reibkraft, v : Geschwindigkeit der ungestörten Strömung

Tabelle: Dichte von Stoffen:

Feste Stoffe bei 20 °C	ϱ in $10^3 \text{ kg}/\text{m}^3$
Aluminium	2.70
Blei	11.34
Diamant	3.51
Eis bei 0 °C	0.917
Eisen	7.86
Fichtenholz	0.50
Glas	2.5
Gold	19.29
Graphit	2.24
Kork	0.2
Kupfer	8.92
Magnesium	1.74
Marmor	2.5
Messing	8.47
Platin	21.45
Silber	10.5
Stahl (unlegiert)	7.85
Styropor	0.017
Titan	4.50
Wolfram	19.27

Flüssigkeiten bei NTP	ϱ in $10^3 \text{ kg}/\text{m}^3$
Wasser (H_2O)	1.000
Quecksilber (Hg)	13.595
Ethanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) bei 20 °C	0.789
Benzin	0.70
Gase bei NTP	ϱ in kg/m^3
Luft (Massenanteile: 23 % O_2 ; 76 % N_2 ; 1 % Ar)	1.293
Kohlendioxid (CO_2)	1.977
Wasserstoff (H_2)	0.0899
Helium (He)	0.1785
Argon (Ar)	1.748
Sauerstoff (O_2)	1.428
Stickstoff (N_2)	1.250

(NTP steht für *Normtemperatur* und *Normdruck*: 0 °C und $1.013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$.)

2.4 Energetik

Mechanische Arbeit	$W = \Delta E_{\text{mech}}$	ΔE_{mech} : Energieänderung eines offenen Systems, W : Arbeit einer äusseren Kraft an diesem System. $[W] = [\Delta E] = [E]$
		Kilokalorie: 1 kcal = 4187 J
	$W = F_{ } \cdot \Delta s$	$F_{ }$: Kraft entlang des Wegs, Δs : Wegänderung in m
	$W = \vec{F} \cdot \vec{s} = F \cdot \cos \alpha \cdot s$	
Arbeit allgemein:	$W_{AB} = \int_{s_A}^{s_B} F_s ds$	Arbeit entspricht der Fläche unter der Kraft im Kraft-Weg-Diagramm
Hubarbeit	$W_{\text{Hub}} = \Delta E_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot \Delta h$	h : Höhe in m
Lageenergie	$E_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot h$	wenn $E_{\text{pot}} = 0$ mit $h = 0$
Beschleunigungsarbeit	$W_{\text{kin}} = \Delta E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (v_2^2 - v_1^2)$	v_1 : Anfangsgeschwindigkeit, v_2 : Endgeschwindigkeit, $[v] = \text{m/s}$
Kinetische Energie	$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$	wenn $E_{\text{kin}} = 0$ mit $v = 0$
Spannarbeit einer Feder	$W_F = \Delta E_F = \frac{1}{2} \cdot D \cdot (y_2^2 - y_1^2)$	D : Federkonstante, y_1 / y_2 : Federveränderung am Anfang/Ende
Energie der gespannten Feder	$E_F = \frac{1}{2} \cdot D \cdot y^2$	
Reibarbeit	$W_R = F_R \cdot \Delta s$	F_R : Reibkraft
Änderung der Wärmeenergie	$Q = \Delta E_{\text{therm}} = c \cdot m \cdot \Delta \vartheta$	c : spezifische Wärmekapazität in J/(kg·°C), $\Delta \vartheta$: Temperaturänderung in °C, Q : Wärme in J
Leistung	$P = \frac{W}{\Delta t} = \frac{\Delta E}{\Delta t}$	P : Leistung in W
		Pferdestärke: 1PS=735.5 W
Wirkungsgrad	$\eta = \frac{\Delta E_{\text{genutzt}}}{\Delta E_{\text{aufgewendet}}}$	
Energieerhaltungssatz	$E_{\text{tot}} = \sum_i E_i = \text{konst.}$ $E_{\text{Anfang}} = E_{\text{Ende}}$	$\Delta E = \sum_i \Delta E_i = 0$

2.5 Himmelsmechanik

1. Keplersche Gesetz	Die Planeten bewegen sich auf elliptischen Bahnen, in deren einem gemeinsamen Brennpunkt die Sonne steht.	
2. Keplersche Gesetz	$\frac{\Delta A}{\Delta t} = \frac{\pi ab}{T} = \text{konst.}$	ΔA : Überstrichene Fläche des Fahrstrahls von m_z zu m , m_z : Zentralmasse (Sonne), m : kleinere Masse (Planet), a, b : Halbachsen ($a > b$), T : Umlaufzeit
3. Keplersche Gesetz	$\frac{a^3}{T^2} = \frac{Gm_z}{4\pi^2} = \text{konst.}$	G : Gravitationskonstante $G = 6.6743 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2\text{kg}^{-2}$
Gravitationskraft zwischen zwei Körper	$F = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$	r : Abstand der zwei Körper, G : Gravitationskonstante, m_1, m_2 : Massen 1 und 2
Hubarbeit im Gravitationsfeld	$\Delta E_{\text{pot}} = G \cdot m_1 \cdot m_2 \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$	r_1, r_2 : Anfangs- / Endabstand

Astrophysikalische Daten:

Astronomische Einheit	1 AE $\approx 1.495979 \cdot 10^{11} \text{ m}$	
Lichtjahr	1 ly = Weg des Lichts in einem Jahr	
Erde:	Masse: Radius Äquator: polarer Radius: mittlerer Radius (volumengleiche Kugel): Siderische Rotationsdauer: Siderische Umlaufzeit:	$5.974 \cdot 10^{24} \text{ kg}$ 6378 km 6357 km 6371 km 23 h 56 min 04.1 s = 23.9345 h 365.256 d
Sonne:	Masse Radius: Entfernung von Erde:	$1.989 \cdot 10^{30} \text{ kg}$ $6.960 \cdot 10^8 \text{ m}$ 150 Millionen Kilometer
Mond:	Masse: Radius: Siderische Umlaufzeit: Entfernung von Erde:	$7.348 \cdot 10^{22} \text{ kg}$ $1.738 \cdot 10^6 \text{ m}$ 27.3 d 384 Tausend Kilometer

2.6 Harmonische Schwingung

Frequenz	$f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}$	T : Schwingungsdauer, Periode, f in Hz= s^{-1}
Winkelgeschwindigkeit	$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$	ω =Winkelgeschwindigkeit in s^{-1}
Auslenkung	$y(t) = A \cdot \sin(\omega t + \varphi_0)$	$y(t)$: y-Auslenkung zum Zeitpunkt t , A : Amplitude, ω : Winkelgeschwindigkeit, φ_0 : Phase
Geschwindigkeit	$v(t) = A \cdot \omega \cos(\omega t + \varphi_0) = \frac{dy}{dt}$	$v(t)$: Geschwindigkeit zum Zeit- punkt t , mit $v_{\max}=A \cdot \omega$
Beschleunigung	$a(t) = -A \cdot \omega^2 \sin(\omega t + \varphi_0) = \frac{dv}{dt}$ $a = -\omega^2 y$	$a(t)$: Beschleunigung zum Zeit- punkt t , mit $a_{\max}=A \cdot \omega^2$
Kraftgesetz des harm. Oszil- lators	$\vec{F} = -k \cdot \vec{y}$ mit $k = m \cdot \omega^2$	k : Konstante, $\vec{y}$: Auslenkungs- vektor in y-Richtung m : Masse
Schwingungszeit Federpendel	$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$	Bei der Feder: $k = D$, D : Feder- konstante
Schwingungszeit Mathemati- sches Pendel	$T \approx 2\pi \sqrt{\frac{\ell}{g}}$	ℓ : Länge des Pendels, (für kleine Amplituden)

3 Wärmelehre

Kelvin- und Celsiustemperatur	$\frac{T}{\text{K}} = \frac{\vartheta}{^{\circ}\text{C}} + 273$	T : Temperatur in K, ϑ : Temperatur in $^{\circ}\text{C}$
Celsius- und Fahrenheittemperatur	$\frac{f}{^{\circ}\text{F}} = 1.8 \cdot \frac{\vartheta}{^{\circ}\text{C}} + 32$	f : Temperatur in $^{\circ}\text{F}$ (Fahrenheit)
Thermische Längenausdehnung	$\Delta\ell = \ell_0 \cdot \alpha \cdot \Delta\vartheta$	ℓ_0 : Anfangslänge in m, α : Längenausdehnungskoeffizient $^{\circ}\text{C}^{-1}$, $\Delta\vartheta$: Temperaturänd. $^{\circ}\text{C}$
Thermische Volumenausdehnung	$\Delta V = V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta\vartheta$	ΔV : Volumenänderung, V_0 : Anfangsvolumen, γ : Volumenausdehnungskoeffizient für Festkörper: $\gamma \approx 3\alpha$
Allgemeine Gasgleichung des idealen Gases	$\frac{p \cdot V}{T} = \text{konst.}$	p : Druck in Pa, T : Temperatur in K
	$\frac{p}{T \cdot \varrho} = \text{konst.}$	ϱ : Dichte in kg/m^3
Universelle Gasgleichung des idealen Gases	$\frac{p \cdot V}{T} = n \cdot R$	n : Stoffmenge in mol, Universelle Gaskonstante $R=8.31 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$
Teilchenzahl	$N = n \cdot N_A$	Avogadrokonstante $N_A = 6.022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
Mittlere Translationsenergie eines Teilchens	$E_k = \frac{1}{2} m \langle v \rangle^2 = \frac{3}{2} k \cdot T$	k : Boltzmann-Konstante: $1.38065 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$
Wärme	$Q = \Delta E_{\text{therm}}$	ΔE_{therm} : Änderung der inneren Energie in J
Innere Energie	$U = E_{\text{innen}}$	$[U] = [E_{\text{innen}}] = \text{J}$
Erster Hauptsatz	$\Delta U = Q + W$ $\Delta E_{\text{innen}} = \Delta E_{\text{therm}} + \Delta E_{\text{mech}}$	Q : Wärme in J, $W = \Delta E_{\text{mech}}$: mechanische Arbeit in J
Änderung der Wärmeenergie (ohne Aggregatzustandsänderung):	$Q = c \cdot m \cdot \Delta T$	c : spezifische Wärmekapazität in $\text{J}/(\text{K} \cdot \text{kg})$, m : Masse, ΔT : Temperaturänderung in K
Spezifische Schmelz- bzw. Erstarrungswärme	$Q = L_f \cdot m$	L_f : spezifische Schmelzwärme in J/kg , m : Masse
Spezifische Verdampfungs- bzw. Kondensationswärme	$Q = L_v \cdot m$	L_v : Spezifische Verdampfungswärme in J/kg
Wärmekapazität	$C = \frac{Q}{\Delta T}$	C : Wärmekapazität in J/K
Mechanische Arbeit am Gas	$W = +p \cdot \Delta V$	p : Druck, ΔV : Volumenänderung

Wirkungsgrad	$\eta = \frac{E_{ab}}{E_{zu}}$	E_{ab} : Nutzenergie, E_{zu} : Zugeführte Energie
Carnot-Wirkungsgrad	$\eta_C = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$	T_1 : Temperatur des wärmeren Reservoirs, T_2 : Temperatur des kälteren Reservoirs
Erster Hauptsatz der Wärmelehre	$\Delta U = Q + W$ $\Delta E_{innen} = \Delta E_{therm} + \Delta E_{mech}$	$\Delta U = \Delta E_{innen}$: Änderung der inneren Energie, $Q > 0$: zugeführte Wärme, $W > 0$: am System verrichtete Arbeit
Entropie:		
Thermodynamische Entropie	$\Delta S = \frac{Q_{rev}}{T} = \frac{\Delta E_{therm,rev}}{T}$	S : Entropie in J/K, für reversible Prozesse
Statistische Entropie	$S = k \ln \Omega$	k : Boltzmann-Konstante $1.381 \cdot 10^{26}$ J/K, Ω : Anzahl Zustände bei gegebener Gesamtenergie und Teilchenzahl
Zweiter Hauptsatz	$\Delta S \geq 0$	im abgeschlossenen System (für reversible Prozesse gilt $\Delta S = 0$)
Wärmetransport:		
Stefan-Boltzmann-Gesetz	$P = \sigma \cdot A \cdot T^4$	P : thermische Strahlungsleistung eines schwarzen Körpers in W, σ : Stefan-Boltzmann-Konstante $\sigma = 5.670 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$, T : Temperatur in K, A : Flächeninhalt in m^2
Strahlungsfluss	$\Phi = \frac{P}{A} = \sigma \cdot T^4$	Φ : Strahlungsfluss in W/m^2
Wiensches Verschiebungsgesetz	$\lambda_{max} = \frac{2.896 \cdot 10^{-3} K m}{T}$	λ_{max} : Wellenlänge mit grösster thermischer Strahlungsleistung
Wärmestrom (Wärmeleitung)	$P_{therm} = \lambda \cdot \frac{A}{\ell} \cdot \Delta T$	P_{therm} : Wärmestrom in W, A : Querschnittsflächeninhalt in m^2 , ℓ : Länge in m, λ : Spezifische Wärmeleitfähigkeit in $W/(mK)$

Tabelle 1: Spezifische Wärmekapazität c von Flüssigkeiten (bei 0 °C und 1 bar Druck):

Flüssigkeit	c in $\frac{J}{kg \cdot K}$
Ethanol (Ethylalkohol)	2428
Methanol (Methylalkohol)	2470
Quecksilber	139
Wasser (bei 20 °C)	4187

Tabelle 2: Spezifische Wärmekapazität c_p und c_v von Gasen (bei 20 °C und 1 bar Druck):

Gas	c_p in $10^3 \frac{J}{kg \cdot K}$	c_v in $10^3 \frac{J}{kg \cdot K}$
Ammoniak	2.160	1.655
Helium	5.23	3.21
Kohlendioxid	0.837	0.647
Luft	1.005	0.717
Sauerstoff	0.917	0.656
Wasserdampf	1.038	0.741
Wasserstoff	14.32	10.2

Tabelle 3: Längenausdehnungskoeffizient α von festen Stoffen:

Feste Stoffe bei 20 °C	α in $10^{-6} (\text{°C})^{-1}$
Aluminium (gewalzt)	23.2
Aluminium (rein)	23.0
AlPO ₄ -17	-11.7
Beton	6 bis 14
Blei	29.3
Bronze	17.5
Eisen	12.2
Fensterglas	7.6
Glaskeramik (Ceran)	$ \alpha < 0.1$
Gold	14.2
Granit	3.0
Graphit	2.0
Holz (Eiche)	8.0
Kochsalz	40.0
Kupfer	16.5
Messing	18.4
Platin	9.0
Silber	19.5
Stahl (unlegiert)	13.0
Titan	10.8
Wolfram	4.5
Zink	26.3
Zinkcyanid	-18.1
Zinn	26.7
Zirkoniumwolframat	-8.7

Tabelle 4: Spezifische Wärmekapazität c von festen Stoffen (bei 0 °C und 1 bar Druck):

Festkörper	c in $\frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$
Aluminium	896
Beton	209
Blei	129
Eisen (rein)	439
Eis	2100
Fensterglas	800
Gold	130
Granit	790
Kohlenstoff (Diamant)	472
Kohlenstoff (Graphit)	715
Kupfer	381
Messing	389
Nickel	444
Platin	134
Silber	234
Stahl	477
Wolfram	134
Zink	389
Zinn	230

Tabelle 5: Volumenausdehnungskoeffizient γ von flüssigen Stoffen:

Flüssige Stoffe bei 20 °C	γ in $10^{-3} (\text{°C})^{-1}$
Ethanol (Ethylalkohol)	1.10
Methanol (Methylalkohol)	1.20
Quecksilber	0.182
Wasser	0.207

Tabelle 6: Schmelzpunkt ϑ_f und spezifische Schmelzwärme L_f :

Material	ϑ_f in °C	L_f in $10^5 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$
Aluminium	660.1	3.97
Blei	327.4	0.23
Eisen (rein)	1535	2.77
Gold	1063.0	0.64
Kupfer	1083	2.05
Messing	905	1.6
Platin	1769.3	1.11
Silber	960.8	1.045
Wolfram	3380	1.92
Zink	419.5	1.11
Zinn	231.9	0.596
Eis	0	3.338
Ethanol	-114.5	1.08
Methanol	-97.7	0.92
Quecksilber	-38.87	0.118

Tabelle 7: Siedepunkt ϑ_v und spezifische Verdampfungswärme L_v bei Normdruck:

Material	ϑ_v in °C	L_v in $10^5 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$
Ethanol	78.33	8.40
Methanol	64.6	11.0
Quecksilber	356.58	2.85
Wasser	100.0	22.56

Tabelle 8: Spezifische Wärmeleitfähigkeit λ :

Stoff	λ in $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$
Aluminium	239
Eisen	80
Gold	312
Kupfer	384
Messing	100
Silber	428
Stahl (V 2 A)	15
Beton	1.0
Fensterglas	0.75
Tanne	0.3
Eis (0°C)	2.2
Isoliermaterial	0.04
Baumwolle	0.06
Wolle	0.04
Luft (wenn Konvektion verhindert wird)	0.025

4 Wellenlehre / Optik / Akustik

4.1 Allgemein

Kreisfrequenz, Winkelgeschwindigkeit $\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$

Ausbreitungsgeschwindigkeit einer Welle $c = \lambda \cdot f$

λ : Wellenlänge

Formeln zur zeitlichen Interferenz von zwei Wellen mit Frequenz f_1 und f_2

$$f_{res} = \frac{f_1 + f_2}{2}$$

f_{res} : Frequenz des resultierenden Tons

$$f_{Schweb.} = |f_1 - f_2|$$

$f_{Schweb.}$: Frequenz der Schwebung

Wellengleichung Sinuswelle $f(x, t) = A \cdot \sin\left(\omega\left(t - \frac{x}{c}\right)\right)$

x : Ort

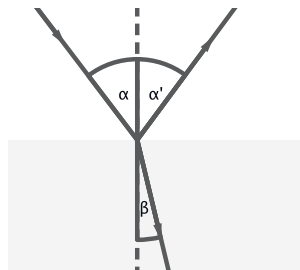
Wellengleichung stehende Welle $f(x, t) = 2A \cdot \sin(\omega t) \cdot \cos\left(\frac{\omega x}{c}\right)$

4.2 Strahlenoptik

Reflexionsgesetz:

$$\alpha = \alpha'$$

α : Einfallswinkel,
 α' : Reflexionswinkel/ Ausfallswinkel



Brechungsgesetz:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{c_1}{c_2}$$

β : Brechungswinkel,
 n_1 : Vakuumbrechungsindex von Medium 1,
 n_2 : Vakuumbrechungsindex von Medium 2, c_1, c_2 : Ausbreitungsgeschwindigkeiten

Abbildungsgleichung (dünne Linse): $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$

a : Gegenstandsweite ,
 b : Bildweite, f : Brennweite

Vergrößerungsgleichung: $v = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{b}{a}$

v : Vergrößerung,
 $\overline{A'B'}$: Bildgrösse,
 $\overline{AB}$: Gegenstandsgrösse

Verschiedene Vakuumbrechungsindizes:

Vakuum $\rightarrow$ Medium	n_{Medium}	Vakuum $\rightarrow$ Medium	n_{Medium}
Vakuum	1	Eis	1.31
Luft	$1.0003 \approx 1$	Plexiglas M222	1.491
Wasser	1.333000	Äthanol	1.3617
Gläser	1.45 bis 1.93	Diamant	2.47

4.3 Wellenoptik

Interferenz von zwei Wellen	$\Delta s_{\max} = n \cdot \lambda$ $\Delta s_{\min} = (2n - 1) \cdot \frac{\lambda}{2}$ (mit $n \in \mathbb{Z}$)	$\Delta s_{\max} / \Delta s_{\min}$: Gangdifferenz zweier Maxima / Minima, n : Beugungsordnung, λ : Wellenlänge
Beugung am Doppelspalt	$\sin \alpha_{n.Hauptmax.} \approx \frac{\Delta s}{d} = \frac{n\lambda}{d}$ (mit $n \in \mathbb{Z}$)	n : Beugungsordnung, $\alpha_{n.Hauptmax.}$: Brechungswinkel bei Intensitätsmaxima, d : Gitterkonstante
Beugung am Strichgitter	$\sin \alpha_{n.Hauptmax.} = \frac{n\lambda}{d}$	
Beugung an der Spaltblende	$\sin \alpha_{1.Min.} = \frac{\lambda}{b}$ $\sin \alpha_{1.Max.} = \frac{3\lambda}{2b}$	b : Spaltbreite
Beugung an der Kreisblende	$\sin \alpha_{1.Min.} \approx 1.22 \cdot \frac{\lambda}{d}$	

4.4 Akustik

Schallintensität	$J = \frac{dP}{dA}$	Änderung der Leistung pro Flächenänderung, $[J] = \text{W}/\text{m}^2$
Schallpegel	$L = 10 \log_{10} \frac{J}{J_0}$	J_0 : Hörschwelle bei 1kHz, $J_0 = 10^{-12} \text{W}/\text{m}^2$, L : Angabe in dB (Dezibel)
Wellengleichung stehende Welle	$f(x, t) = 2A \cdot \sin(\omega t) \cdot \cos\left(\frac{\omega x}{c}\right)$	
Saite/ offene Pfeife	$f_n = n \cdot f_1$ $f_1 = \frac{c}{2l}$	$n=1,2,3,\dots$ f_1 : Grundton, l : Saitenlänge, Pfeifenlänge
Gedackte Pfeife	$f_n = (2n - 1) \cdot f_1$ $f_1 = \frac{c}{4l}$	

4.5 Doppler-Effekt

Bewegte Quelle, ruhender Beobachter:

$$(a) \underline{v < c} \quad \lambda' = \lambda \left(1 \pm \frac{v}{c} \right)$$

v : Geschwindigkeit der Quelle, c :
Ausbreitungsgeschwindigkeit der
Welle,
+ weg; - zu

$$f' = \frac{f}{1 \pm \frac{v}{c}}$$

+ weg; - zu

$$(b) \underline{v > c} \quad \sin \alpha = \frac{c}{v}$$

(α ist der halbe Öffnungswinkel
des Machschen Kegels)

$$\text{Bewegter Beobachter, ruhende Quelle} \quad f' = f \left(1 \pm \frac{v}{c} \right)$$

+ zu; - weg

$$\text{Dopplerradar, für } v \ll c \text{ gilt:} \quad f_{\text{Schweb.}} = |f'' - f| \approx 2f \cdot \frac{v}{c}$$

Tabelle: Ausbreitungsgeschwindigkeiten:

Licht in ...	c in m/s	Schall in Medium	c in m/s
... Vakuum	$3.00 \cdot 10^8$	... Luft	340
... Wasser	$2.25 \cdot 10^8$	... Wasser	1483
... Glas	$1.60 \cdot 10^8$	... Stahl	5050

5 Elektrizität

5.1 Elektrostatik

Ladung	Q, q	$[Q] = [q] = \text{As} = \text{C}$ (Coulomb)
Ladungserhaltung	$Q_{\text{tot}} = \sum_i Q_i = \text{konstant}$	
Elementarladung	$e = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$	$1 \text{ C} = 1 \text{ A} \cdot \text{s}$
Masse des Elektrons	$m_e = 9.11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$	
Masse des Protons	$m_p = 1.67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$	
Coulombgesetz für Punktladungen	$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$	F : Kraft zwischen den Punktladungen Q_1 und Q_2 , r : Abstand
Influenzkonstante (elektrische Feldkonstante)	$\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2 \text{N}^{-1} \text{m}^{-2}$	$\text{C}^2 \text{N}^{-1} \text{m}^{-2} = \text{A} \cdot \text{s} / (\text{V} \cdot \text{m})$
Elektrische Feldstärke	$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$	q : Probeladung $[E] = \text{NC}^{-1} = \text{Vm}^{-1}$
Elektrisches Feld einer Punktladung	$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{r^2}$	r : Abstand vom Kugelzentrum
Elektrische Feldstärke im Plattenkondensator	$E = \frac{1}{\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{A} = \frac{U}{d}$	A : Flächeninhalt einer Platte, U : Spannung, d : Plattenabstand
Elektrisches Potential	$\varphi(\vec{r}) = - \int_{\vec{r}_0}^{\vec{r}} \vec{E}(\vec{r}) \cdot d\vec{r}$	mit $\varphi(\vec{r}_0) = 0$
Definition der Spannung	$U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B = \frac{W_{AB}}{q}$	W_{AB} : die am System verrichtete Arbeit wenn Probeladung q von A nach B verschoben wird.
	$U_{AB} = \int_{\vec{r}_A}^{\vec{r}_B} \vec{E}(\vec{s}) \odot d\vec{s}$	$[U] = \text{V}$, $\vec{s} = \overrightarrow{AB}$
Elektrische Arbeit	$ \Delta E_{AB} = U_{AB} \cdot Q $	
Kapazität	$C = \frac{Q}{U}$	$[C] = \text{F}$ (Farad) = $\frac{\text{C}}{\text{V}}$
Serieschaltung	$\frac{1}{C_{\text{tot}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots$	
Parallelschaltung	$C_{\text{tot}} = C_1 + C_2 + C_3 + \dots$	
Kapazität des Plattenkondensators	$C = \epsilon_0 \cdot \frac{A}{d}$	A : Flächeninhalt der Platte, d : Plattenabstand; $d \ll \sqrt{A}$
Kapazität einer freistehenden Kugel	$C = 4\pi\epsilon_0 r$	

Energiedichte des elektrischen Feldes $w = \frac{1}{2} \varepsilon_0 E^2$ $[w]: \text{J/m}^3$

5.2 Gleichstrom

Stromstärke $I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$ $[I] = \text{A} = \text{Cs}^{-1}$

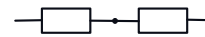
$$I = \frac{dQ}{dt}$$

Definition des Widerstands $R = \frac{U}{I}$ $[R] = \Omega = \text{VA}^{-1}$

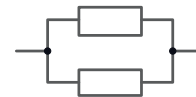
Kabelwiderstand $R = \varrho_{el} \cdot \frac{\ell}{A}$ ϱ_{el} : Spezifischer Widerstand,
 ℓ : Länge,
 A : Querschnittsflächeninhalt

Leistung $P = U \cdot I$ $[P] = \text{W} = \text{J/s}$

Serieschaltung $R_{tot} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$



Parallelschaltung $\frac{1}{R_{tot}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots$



Kirchhoff'sche Gesetze

Knotenregel $\sum_k I_k = 0$ Für eine Stromverzweigung (Knoten), Vorzeichen von I_k festlegen

Maschenregel $\sum_k (I \cdot R)_k = \sum_i U_i$ Für jeden geschlossenen Umlauf (Masche), Umlaufsinn festlegen, U_i : Spannungsquellen

Tabelle: Spezifische Widerstände (bei 20°):

Spezifischer Widerstand ϱ	Ωm
Kupfer ϱ_{Cu}	$1.68 \cdot 10^{-8}$
Aluminium ϱ_{Al}	$2.82 \cdot 10^{-8}$
Silber ϱ_{Ag}	$1.59 \cdot 10^{-8}$

5.3 Magnetismus und Induktion

Magnetisches Feld	$\vec{B}$	$[B] = \text{T} = \text{V} \cdot \text{s} / \text{m}^2 = 10^5 \text{ Gauss}$
Lorenzkraft	$\vec{F}_L = q \cdot (\vec{v} \times \vec{B})$	$\vec{v}$: Geschwindigkeit, q : Probeladung
Kraft auf stromdurchflossenes Leiterelement (Biot-Savart- Kraft)	$d\vec{F} = I \cdot (d\vec{\ell} \times \vec{B})$	$d\vec{\ell}$: Leiterelement, I : Stromstärke
Magnetfeld eines Stromele- ments (Biot-Savart-Gesetz):	$d\vec{B} = \frac{\mu_0 \cdot I}{4\pi} \cdot \frac{d\vec{\ell} \times \vec{e}_r}{r^2}$	r : Abstand, $\vec{e}_r$: Einheitsvektor von r
Magnetische Feldkonstante	$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ V} \cdot \text{s} / (\text{A} \cdot \text{m})$	$\text{V} \cdot \text{s} / (\text{A} \cdot \text{m}) = \text{T} \cdot \text{m} / \text{A}$
Magnetfeld eines unendlich langen und geraden strom- durchflossenen Leiters	$B(r) = \mu_0 \cdot \frac{I}{2\pi r}$	r : Abstand von Drahtachse
Magnetfeld im Zentrum eines Kreisstromes	$B = \mu_0 \cdot \frac{I}{2r}$	
Magnetfeld einer langen, dünnen Spule	$B \approx \mu_0 \cdot I \cdot \frac{N}{\ell}$ für $\ell \gg d$	ℓ : Spulenlänge, d : Spulendurch- messer, N : Anzahl Windungen
Magnetischer Fluss (homo- gen)	$\phi = \vec{A}(t) \odot \vec{B}(t)$	$\vec{A}$: Flächenvektor (Normalenvek- tor der Fläche)
Induzierte Spannung	$U_{ind} = -\frac{d\phi(t)}{dt} = -\phi'(t)$	
Transformator mit unendl. gr. Lastwiderstand	$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$	

6 Spezielle Relativitätstheorie

Lorentztransformation	$x' = \gamma(x - vt)$ $y' = y$ $z' = z$ $t' = \gamma\left(t - \frac{v}{c^2}x\right)$	v : Geschwindigkeit des Koordinatensystems $0' x' y' z'$ in Bezug auf das System $0 x y z$, c : Lichtgeschwindigkeit, $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$
Geschwindigkeitstransformation	$u' = \frac{u - v}{1 - \frac{uv}{c^2}}$	
Längenkontraktion	$l = \frac{l_0}{\gamma}$	$l, \Delta t, f$: im System in dem sich das Objekt mit Geschwindigkeit v bewegt.
Zeitdilatation	$\Delta t = \gamma \Delta t_0$	$l_0, \Delta t_0, f_0$: im System in dem das Objekt ruht
Frequenz	$f = f_0 \sqrt{\frac{c - v}{c + v}}$	f_0 : Senderfrequenz, v : Relativgeschwindigkeit
Invariante Masse	m	auch Ruhemasse
Impulsmasse	$m_{rel} = \gamma m = \frac{p}{v}$	(veraltet: relativistische Masse)
Kraft	$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$	
Ruheenergie	$E_0 = m \cdot c^2$	
Gesamtenergie	$E = \gamma E_0 = \sqrt{(m \cdot c^2)^2 + (pc)^2}$	
Kinetische Energie	$E_k = E - E_0 = (\gamma - 1)mc^2$	

7 Atomphysik

De Broglie-Beziehung	$p = \frac{h}{\lambda}$	h : Planck'sches Wirkungsquantum, $h = 6.62606896 \cdot 10^{-34}$ Js
Energie des Photons	$E = hf$	
Äusserer Photoeffekt	$hf = W_A + \frac{1}{2}mv^2$	
Heisenberg'sche Unschärfere-lation	$\Delta x \cdot \Delta p_x \geq \frac{h}{4\pi}$ $\Delta E \cdot \Delta t \geq \frac{h}{4\pi}$	$\Delta x, \Delta p_x$: Unbestimmtheit bei gleichzeitiger Messung von x und p_x

8 Kernphysik

Massenzahl	$A = Z + N$	A : Nukleonenzahl, Z : Ordnungszahl (Protonenzahl), N : Neutronenzahl
Massendefekt	$\Delta m \approx Z(m_p + m_e) + Nm_n - m_a$	Massendefekt entspricht (nuklearer) Bindungsenergie, m_a : atomare Masse
Kernradius	$r \approx r_0 \sqrt[3]{A}$	$r_0 \approx 1.2 \cdot 10^{-15} \text{m}$
Zerfallsgesetz	$N = N_0 e^{-\lambda t}$	N : Anzahl Kerne, λ : Zerfallskonstante
Halbwertszeit	$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$	
Aktivität	$A = \frac{dN}{dt} = \lambda N$	$[A] = \text{Bq} = \text{s}^{-1}$ (Becquerel)
Absorption von γ -Strahlen	$J = J_0 e^{-\mu d}$	J : Intensität, d : Absorberdicke, μ : linearer Schwächungskoeffizient

9 Messfehler

Absoluter Messfehler	$\Delta a \geq 0$	a liegt sicher zwischen $a - \Delta a$ und $a + \Delta a$
Relativer Maximalfehler	$r_a = \frac{\Delta a}{a}$	
Darstellung von Messgrößen	$a \pm \Delta a$	z.B. $(1.6 \pm 0.04 \text{ m})$

10 Mathematische Formelsammlung

Trigonometrie

Im rechtwinkligen Dreieck:

$$\sin(\alpha) = \frac{a}{c} = \frac{G}{H}$$

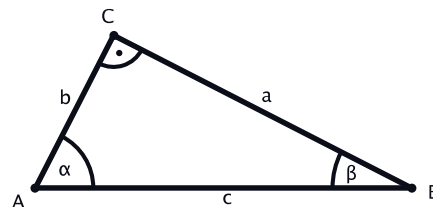
$$\cos(\alpha) = \frac{b}{c} = \frac{A}{H}$$

$$\tan(\alpha) = \frac{a}{b} = \frac{G}{A}$$

G: Gegenkathete

A: Ankathete

H: Hypotenuse



Im allgemeinen Dreieck:

Cosinussatz

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2 \cdot a \cdot b \cdot \cos(\gamma)$$

Sinussatz

$$\frac{a}{\sin(\alpha)} = \frac{b}{\sin(\beta)} = \frac{c}{\sin(\gamma)} = 2r$$

r : Radius Dreieckssumkreis

Geometrie

Satz von Pythagoras (rechtwinkliges Dreieck)

$$a^2 + b^2 = c^2$$

a, b : Katheten, c : Hypotenuse

Umfang Kreis

$$U = 2\pi r$$

r : Radius

Flächeninhalt Kreis

$$A = \pi r^2$$

Volumen Kugel

$$V = \frac{4\pi}{3} r^3$$

Volumen Prisma, Zylinder

$$V = G \cdot h$$

G : Grundfläche, h : Höhe

Volumen Pyramide, Kegel

$$V = \frac{G \cdot h}{3}$$

Gleichungen

Lösungsformel für quadratische Gleichungen

$$ax^2 + bx + c = 0$$

$$x_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

Statistik

Mittelwert

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Varianz

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

