elektrische Kraft: Coulombkraft

$$|F| = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{R^2} \quad [N]$$

$\varepsilon_0 = 8{,}854 \cdot 10^{-12}$	$[As/Vm]$	Dielektrizitätskonstante
q_1, q_2	[C]	Ladungen
R	[m]	Abstand

$$|F| = \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{Q\,dq}{R^2} \cdot \cos(\varphi) \rightarrow dq = \lambda \cdot ds = \lambda \cdot R \cdot d\varphi$$ Kreisbogen

Feldstärke:

$$|E| = \frac{F}{q} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{q}{R^2} \quad [V/m]$$

F	[N]	elektrische Feldstärke
q	[C]	Ladung

$$|E| = \frac{U}{D} \quad [V/m]$$

U	[V]	Spannung /Potenzialdifferenz
D	[m]	Abstand

Arbeit:

$$W = \int_A^B F \circ d\vec{R} = \int_A^B \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{R^2}\, dR \quad [J]$$

Arbeit um von Pkt A zu B kommen ↳ (Bsp. ∞)

Potenzielle Energie

$$E_{pot} = -W \quad [J]$$
$$E_{pot} = \Phi \cdot Q \quad [J]$$
$$E_{pot} = q \cdot U \quad [J]$$
$$E_{kin} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \quad [J]$$

W	[J]	Arbeit
Φ	[V]	Potenzial
Q, q	[C]	Ladung
U	[V]	Spannung / Potenzialdifferenz

Potenzial

$$\Phi = \frac{E_{pot}}{q} = \frac{-W}{q} \quad [V]$$

$$|\Phi| = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{q}{R} \quad [V]$$ Potenzial im Kreismittelpunkt

Lorenzkraft:

$$F_L = q \cdot \vec{v} \times \vec{B} = q \cdot v \cdot B$$

q	[C]	Ladung
v	[m/s]	Geschwindigkeit
B	[T]	Magnetfeld

$$F_L = m \cdot \frac{v^2}{R}$$ Kreisbahn

$$F_L = I \cdot \vec{L} \times \vec{B}$$ Leiterschlaufe

m	[kg]	Masse
v	[m/s]	Geschwindigkeit
R	[m]	Radius
I	[A]	Strom
L	[m]	Leiterstück
B	[T]	Magnetfeld

Magnetfeld:

$$B = \mu_0 \cdot \frac{N}{S} \cdot I \quad [T]$$

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$	$[N/A^2]$	Mag. Feldkonst.
I	[A]	Strom
N/S	[1/m]	Windungen pro Länge

$$\oint \vec{B}\, d\vec{s} = \mu_0 I \rightarrow B = \frac{\mu_0 I}{2\pi R} \quad [T]$$ R [m] Radius um den Leiter

$$v = \frac{E}{B} \quad [m/s]$$ E [V/m] elektrisches Feld

$$B(t) = B_0 \cdot \sin(\omega t) = \frac{E_0}{c} \sin(\omega t)$$
$$B(x,t) = \vec{B}_0 \cdot \sin(kx - \omega t)$$

B_0, E_0	[T, V/m]	Amplituden
ω	[1/s]	Kreisfrequenz

Kreisperiode:

$$T = \frac{U}{v} = \frac{2\pi m}{qB} = \frac{\lambda}{c} \quad [s]$$

m	[kg]	Masse
q	[C]	Ladung
B	[T]	Magnetfeld

$$f = \frac{1}{T} = \frac{E}{h} = \frac{c}{\lambda} \quad [Hz]$$

f	[Hz]	Frequenz
E	[J]	Energie $1eV = 1{,}602E{-}19$ J

Fluss:

$$\Phi_{mag} = B(t) \cdot A = \frac{E_0}{c} \sin(\omega t) \cdot r^2 \cdot \pi \quad [Tm^2]$$

$$d\Phi = \frac{\mu_0 I}{2\pi R} b\, dR \rightarrow \Phi = \frac{\mu_0 I b}{2\pi} \ln\left(\frac{d+a}{d}\right)$$ Fluss durch schmales Rechteck

Induzierte Spannung:

$$U_{ind} = \frac{d\Phi_{mag}}{dt} = -\frac{E_0}{c} \cos(\omega t)\, r^2 \pi \cdot \omega \quad [V]$$

c	[m/s]	Geschw.
r	[m]	

$$\hat{U}_{ind} = \frac{E_0}{c} r^2 \pi \omega = \frac{E_0}{c} 2 r^2 \pi^2 f \quad [m]$$

Magnetischer Dipol:

$$\mu = I \cdot A \quad [Am^2]$$

I	[A]	Strom
A	$[m^2]$	Flächennormale

Dipolmoment:

$D_L = \vec{\mu} \times \vec{B} = I \cdot \vec{A} \times \vec{B} \rightarrow |D| = I \cdot A \cdot B$

$D_G = mgr$

Intensität:

$I = \frac{P}{A}$ $[W/m^2]$ P $[W]$ Leistung; A $[m^2]$ Fläche

$I = \frac{1}{2\mu_0} E_0 B_0 = \frac{1}{2\mu_0} \frac{E_0^2}{c}$ $[W/m^2]$ mittlere Intensität elektromagnetischen Wellen

Wellengleichung:

$\Psi(x,t) = \Psi_0 e^{i(x-vt)} = \Psi_0 \cdot \sin(kx - \omega t)$

Name	*Bedeutung*	*Formelzeichen*	*Basiseinheiten*
Newton N	Kraft	F	$N = \frac{kg\,m}{s^2}$
Joule J	Energie	W	$J = N\,m = \frac{kg\,m^2}{s^2}$
Watt W	Leistung	P	$W = \frac{J}{s} = \frac{kg\,m^2}{s^3}$
Pascal Pa	Druck	p	$Pa = \frac{N}{m^2} = \frac{kg}{s^2\,m}$
Tesla T	Magnetische Flussdichte	B	$T = \frac{N}{A\,m} = \frac{V\,s}{m^2}$
Volt V	Elektrisches Potenzial, Spannung	U	$V = \frac{N\,m}{A\,s} = \frac{kg\,m^2}{s^3\,A}$
Coulomb C	Ladung	Q	$C = A\,s$
Ohm Ω	Elektrischer Widerstand	R	$\Omega = \frac{V}{A} = \frac{kg\,m^2}{s^3\,A^2}$
Becquerel Bq	Aktivität einer Quelle, Anzahl Zerfälle/Sek.	A	$Bq = 1/s$
Gray Gy, Sv	Durch Strahlung deponierte Energiedosis, Äquivalenzdosis	D, H	$Gy = Sv = \frac{J}{kg} = \frac{m^2}{s^2}$

Vorsilbe	femto	pico	nano	mikro	milli	Kilo	Mega	Giga	Tera
Abkürzung	f	p	n	µ	m	K	M	G	T
Faktor	10^{-15}	10^{-12}	10^{-9}	10^{-6}	10^{-3}	10^{3}	10^{6}	10^{9}	10^{12}

Fundamentale Konstanten (definierte Werte)			
Lichtgeschwindigkeit im Vakuum (exakt)	c	299792458 $\approx 3 \cdot 10^8$	m/s
Boltzmann-Konstante	k_B	$1.381 \cdot 10^{-23}$	$\frac{J}{K}$
Elementarladung	e, q_e	$1.602 \cdot 10^{-19}$	C
Plancksches Wirkungsquantum	h	$6.626 \cdot 10^{-34}$	J s
Anzahl Teilchen in einem Mol (Avogadrozahl)	N_A	$6.022 \cdot 10^{23}$	mol^{-1}
Astronomische Grössen		$6371 \cdot 10^3$	m
Gravitationskonstante	G	$6.673 \cdot 10^{-11}$	$\frac{m^3}{kg\,s^2}$
Radius der Erde	R_E	$6.371 \cdot 10^6$	m
Abstand Erde-Sonne (~1 AE)	D_{SE}	$1.496 \cdot 10^{11}$	m
Masse der Sonne	m_s	$2 \cdot 10^{30}$	kg
Oberflächentemperatur der Sonne	T	5800	K
Gravitationsfeldstärke an der Erdoberfläche	g	9.81	$\frac{m}{s^2}$
Absoluter Temperaturnullpunkt	$0\,K$	-273.15	°C
Elektrodynamik			
Dielektrizitätskonstante	ϵ_0	$8.854 \cdot 10^{-12}$	As/Vm
Magnetische Feldkonstante	μ_0	$4\pi \cdot 10^{-7}$	$\frac{N}{A^2}$
Atom- und Kernphysik			
Wellenlänge von sichtbarem Licht, violett .. rot (mittlere Werte)	λ	vt: 400 .. rt: $700 \cdot 10^{-9}$	m
Stefan-Boltzmann Konstante	σ	$5.67 \cdot 10^{-8}$	$\frac{kg}{s^3\,K^4}$
Energie in Elektronenvolt	eV	$1\,eV = q_e 1\,V = 1.602 \cdot 10^{-19}$ $1\,keV = 1.602 \cdot 10^{-16}$ $1\,MeV = 1.602 \cdot 10^{-13}$ $1\,GeV = 1.602 \cdot 10^{-10}$	J
Elementarladung (exakt)	$\lvert q_e \rvert$	$1.602176634 \cdot 10^{-19}$	C
Masse des Elektrons	m_e	$9.11 \cdot 10^{-31}$ $= 0.511\,MeV/c^2$	kg
Masse des Protons	m_p	$1.6726 \cdot 10^{-27}$ $= 938.3\,MeV/c^2$	kg
Masse des Neutron ($m_n > m_p$)	m_n	$1.6749 \cdot 10^{-27}$ $= 939.6\,MeV/c^2$	kg
Halbwertszeiten	$T_{1/2}$	Cs-137 30.2 y C-14 5730 y	Zeit

Kräfte		
Gravitationsgesetz. Alle Massen ziehen einander an (p. 72)	$F_G = G\frac{m_1 m_2}{R^2}$	G: Gravit.konst. (N m²/kg²) m: Massen R: Abstand der Massen
Coulombgesetz. Ladungen mit gleichem Vorzeichen stossen sich ab, ungleiche ziehen sich an (p. 73)	$F_C = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q_1 q_2}{R^2}$	ϵ_0: Elektrische Feldkonstante q: Ladungen R: Abstand der Ladungen
Federkraft (lineare Feder, p. 73)	$\vec{F} = -k\vec{x}$	x: Auslenkung (m) k: Federkonstante (N/m)
Trockene Reibung, zeigt entgegen v. (p. 74)	$\vec{F}_R = -\mu F_N \cdot \vec{e}_v$	Haftreibung ≥ Gleitreibung μ: Reibungskoeffizient F_N: Normalkraft
Laminare viskose Reibung, fallende Kugel. Zeigt entgegen v. (p. 77)	$\vec{F}_{R,laminar} = -6\pi\eta r \vec{v} \cdot \vec{e}_v$	Kugel, Stockesche Reibung η: dynam. Viskosität (Pa s) r: Kugelradius (m) v: Geschwindigkeit (m/s)
Turbulente viskose Reibung. Zeigt entgegen v. (p. 77)	$\vec{F}_{R,turbulent} = -\frac{1}{2}\rho A c_w v^2 \cdot \vec{e}_v$	ρ: Dichte Medium (kg/m³) A: Stirnfläche (m²) c_w: Widerstandsbeiwert (1) v: Geschwindigkeit (m/s)
Reynoldszahl (p. 78)	$\mathrm{Re} = \frac{\rho v d}{\eta}$	ρ: Dichte Medium (kg/m³) v: Geschwindigkeit (m/s) d: typische Länge (z.B. Durchmesser) η: dynam. Viskosität (Pa s)

Arbeit, Energie, Leistung		
Arbeit entlang eines Weges A→B	$W_{A\to B} = \int_A^B \vec{F}(x) \circ d\vec{x}$	[W: Arbeit (J) F: Vektor der Kraft (N) dx: Vektor Wegstück (m) Ring: Skalarprodukt
Spezialfall Gleitreibungsarbeit entlang eines geraden Weges	$W_{Reibung} = F_R s = m g \mu s$	$W_{Reibung}$: Arbeit (J) F_R: Reibungskraft (N) s: Strecke (m) m: Masse (kg) g: Grav. Feldstärke (m/s²) μ: Gleitreibunskoeff. (1)
Potenzielle Energie mit konstantem g	$E_{pot} = m g h$	Nur nahe der Erdoberfläche Epot : Pot. Energie (J) m: Masse (kg) h: Hubhöhe
Kinetische Energie	$E_{kin} = \frac{1}{2} m v^2$	E_{kin}: kinetische Energie (J) m: Masse (kg) v: Geschwindigkeit (m/s)
Potenzielle Energie gespannte lin. Feder	$E_{Feder} = \frac{1}{2} k x^2$	E_{Feder}: Pot. Energie Feder (J) k: Federkonstante (N/m) x: Auslenkung (m)
Leistung (Arbeit pro Zeit)	$P = \frac{dW}{dt}$	W: Arbeit, Energie (J)

Schwingungen, Wellen		
Frequenz Federschwinger (p. 94)	$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$	ω: Kreisfrequenz (1/s) k: Federkonstante (N/m) m: Masse (kg)
Frequenz Fadenpendel	$\omega = \sqrt{\frac{g}{L}}$	Gilt nur für kleine Winkel ω: Kreisfrequenz (1/s) g: Grav. Feldstärke (m/s²) L: Fadenlänge
Nach rechts laufende Sinuswelle	$\Psi(x,t) = \Psi_M \sin(kx - \omega t)$	Ψ: Auslenkung (m) Ψ_M: Amplitude (m) k: Wellenzahl (1/m) x: Ort (m) ω: Kreisfrequenz (1/s) t: Zeit
Geschwindigkeit Seilwelle (p. 107)	$v = \sqrt{\frac{F_{Seil}}{\mu}}$	v: Geschwindigkeit (m/s) F_{Seil}: Zugkraft Seil (N) μ: Masse pro Länge (kg/m)
Offenes oder beidseitig geschlossenes Rohr (p. 110)	$f_N = N\frac{c}{2L}$	f_N: N-te Frequenz (Hz) N: Ordnung 1,2,3,.. c: Ausbreitungsgesch. (m/s) L: Länge des Rohrs (m)
Einseitig geschlossenes Rohr (p. 110)	$f_N = (2\cdot N - 1)\frac{c}{4L}$	f_N: N-te Frequenz (Hz) N: Ordnung 1,2,3,.. c: Ausbreitungsgesch. (m/s) L: Länge des Rohrs (m)
Brechungsgesetz (p. 183)	$\sin\alpha_1 n_1 = \sin\alpha_2 n_2$	α: Winkel zum Lot (1) n: Brechungsindex (1)
Totalreflexion (p. 115)	$\alpha_1 \geq asin\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$	α_1: Winkel zum Lot (1) n: Brechungsindex (1)
Dopplereffekt Oberes Vorzeichen: Annäherung Unteres Vorzeichen: Entfernung	$f_B = f_Q \frac{c \pm v_B}{c \mp v_Q}$	f_B: Freq. Beobachter (Hz) f_Q: Freq. Quelle (Hz) v_B: Gesch. Beobachter (m/s) v_Q: Gesch. Quelle (m/s)

Elektrostatik		
Kraft zwischen zwei Ladungen (p. 122)	$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q_1 q_2}{r^2}$	F: Kraft (N) q: Ladungen (C) r: Abstand (m) ϵ_0: Feldkonstante (As/Vm)
Elektrische Feldstärke im Abstand r von einer Ladung q (p. 123)	$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q}{r^2}$	E: Elektrisches Feld (V/m) q: Ladungen (C) r: Abstand (m) ϵ_0: Feldkonstante (As/Vm)
Elektrische Potenzial im Abstand r von einer Ladung q (p. 129)	$\phi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q}{r}$	Φ: Elektr. Potenzialdiff. (V) q: Ladung (C) r: Abstand (m) ϵ_0: Feldkonstante (As/Vm)
Potenzielle Energie einer Ladung 2 im Feld der Punktladung 1 (p. 130)	$E_{pot} = q_2\phi(q_1, r) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q_1 q_2}{r}$	E_{pot}: Pot. Energie (J) q: Ladung (C) r: Abstand (m) ϵ_0: Feldkonstante (As/Vm)
Konstanten im Vakuum	$c^2 = \frac{1}{\epsilon_0\mu_0} \Rightarrow \epsilon_0 = \frac{1}{c^2\mu_0}$	c: Lichtgeschwind. (m/s) ϵ_0: Feldkonstante (As/Vm) μ_0: Indukt. konst. (Vs/Am)
Gesetz von Gauss Verbindet eingeschlossene Ladung und Feld an Oberfläche (p. 126)	$\iiint_V \frac{\rho}{\epsilon_0} dV = \iint_A \vec{E} \circ d\vec{A} = \frac{Q_{encl}}{\epsilon_0}$	ρ: Ladungsdichte (C/m³) ϵ_0: Feldkonstante (As/Vm) V: Volumen E: Elektr. Feld (V/m) A: Oberfläche Q_{encl}: Eingschloss.Ldg. (C)

Magnetismus		
Feld im Zentrum einer kreisförmigen Leiterschleife	$\lvert\vec{B}\rvert = \frac{\mu_0}{2}\frac{I}{R}$	μ0: Mag. Feldkonst. (N/A²) I: Strom (A) R: Radius (m)
Feld in einer langen Spule	$\lvert\vec{B}\rvert = \mu_0 \frac{N}{s} I$	μ0: Mag. Feldkonst. (N/A²) N/s: Windungen pro Länge (1/m) I: Strom (A)
Lorentzkraft auf eine Ladung q im elektrischen und magnetischen Feld.	$\vec{F}_L = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$	F_L: Kraft (N) q: Ladung (C) E: Elektr. Feld (V/m) v: Geschwindigkeit (m/s) B: Magnetfeld (T)
Lorentzkraft auf einen Strom, der entlang einem geraden Leiter $\vec{L}$ fliesst.	$\vec{F}_L = I\vec{L} \times \vec{B}$	F_L: Kraft (N) I: Strom (A) L: gerader Leiter (m) B: Magnetfeld (T)
Magnetisches Moment	$\vec{\mu} = I\vec{A}$	μ: Mag. Moment (A m²) I: Strom (A) A: Flächennormale (m²)
Drehmoment auf Leiterschleife	$\vec{M} = \vec{\mu} \times \vec{B}$	M: Drehmoment (Nm) μ: Mag. Moment (A m²) B: Magnetfeld (T)
Feld um einen langen Draht	$B(R) = \frac{\mu_0}{2\pi}\frac{I}{R}$	B: Magnetfeld (T) μ_0: Indukt. konst. (Vs/Am) I: Strom (A) R: Abstand (m)
Induktionsgesetz	$U_{ind} = -\frac{d\Phi_{Mag}}{dt}$	U_{ind}: induzierte Spg. (V) Φ_{Mag}: Mag. Fluss (T·m²)

Stromkreise		
Kirchhoff Knotenregel (p. 150)	$\sum_{\text{Alle Ströme}} I_n = 0$	I_n: Strom (A), der in Knoten hinein oder aus Knoten hinausfliesst
Kirchhoff Maschenregel	$\sum_{\text{Weg um Masche}} U_n = 0$	U_n: Spannungsabfall (V) über eine Element (Widerstand, Kondensator, Batterie..)us Knoten hinausfliesst
Widerstände parallel (p. 151)	$R_{tot} = \left(\sum_i \frac{1}{R_i}\right)^{-1}$	Summe der Kehrwerte, invertiert. R: Widerstand (Ω)
Widerstände seriell	$R_{tot} = \sum_i R_i$	Summe der Werte R: Widerstand (Ω)
Kondensatoren parallel	$C_{tot} = \sum_i C_i$	Summe der Werte C: Kapazität (F)
Kondensatoren seriell	$C_{tot} = \left(\sum_i \frac{1}{C_i}\right)^{-1}$	Summe der Kehrwerte, invertiert. C: Kapazität (F)

E-mag Wellen		
Verhältnis E / B (p. 164)	$c = \frac{E}{B}$	c: Lichtgeschw. (m/s) E: Elektrisches Feld (V/m) B: Mag. Feld (T)
Wärmestrahlung, Stefan-Boltzmann (p. 170)	$P = \epsilon\sigma A T^4$	P: Strahlungsleistung (W) ε: Emissivität (1) σ: Stef.-Boltz. Konst. A: Oberfläche (m²) T: Temperatur (K)
Impuls des Photons (p. 171)	$p_\gamma = \frac{h}{\lambda}$	p: Impuls (kg m/s) h: Planck-Konstante (J s) λ: Wellenlänge (m)
Energie des Photons (p. 171)	$E_\gamma = hf = \frac{hc}{\lambda}$	E: Energie (J) h: Planck-Konstante (J s) f: Frequenz (Hz) c: Lichtgeschw. (m/s) λ: Wellenlänge (m)