Mechanik

Bewegungen

Geschwindigkeit $\vec{v}$

Durchschnittsgeschwindigkeit:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{s_2 - s_1}{t_2 - t_1} \qquad v = \text{konstant} = \frac{s}{t}$$

Momentangeschwindigkeit:

$$v = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt} = \dot{s}$$

v	Geschwindigkeit	$m \cdot s^{-1}$
s	Weg	m
t	Zeit	s

Beschleunigung $\vec{a}$

Durchschnittsbeschleunigung:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} \qquad a = \text{konstant} = \frac{v}{t}$$

Geradlinige Bewegung:

$$s = \frac{1}{2} a \cdot t^2; \quad v = a \cdot t; \quad v = \sqrt{2a \cdot s}$$

$$s = \frac{1}{2} a \cdot t^2 + v_0 \cdot t + s_0; \quad v = a \cdot t + v_0$$

Abbremsen:

$$s_B = \frac{v_0^2}{|2a|}; \quad t_B = \frac{v_0}{|a|}$$

Momentanbeschleunigung:

$$a = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{dv}{dt} = \dot{v}$$

Verzögerung durch Luftreibung:

$$a_L = c_W \cdot \varrho \cdot \frac{A}{2m} \cdot v^2$$

a	Beschleunigung ($a < 0$: Verzögerung)	$m \cdot s^{-2}$
v	Geschwindigkeit	$m \cdot s^{-1}$
t	Zeit	s
s	Weg	m
v_0	Anfangsgeschwindigkeit	$m \cdot s^{-1}$
s_0	Anfangsort	m
s_B	Bremsweg	m
t_B	Bremsdauer	s
a_L	Verzögerung durch Luftreibung	$m \cdot s^{-2}$
c_W	Luftwiderstandsbeiwert	Zahl
ϱ	Dichte der Luft	$kg \cdot m^{-3}$
A	Querschnittsfläche $\perp \vec{v}$	m^2
m	Masse des Körpers	kg

Freier Fall (ohne Luftreibung)

Aus der Ruhe:

$$s = \frac{1}{2} g \cdot t^2; \quad v = g \cdot t = \sqrt{2g \cdot s}$$

s	Fallweg (positiv in Richtung von g)	m
g	Fallbeschleunigung ($g = 9{,}81\,m \cdot s^{-2}$)	$m \cdot s^{-2}$
t	Zeit	s
v	Geschwindigkeit	$m \cdot s^{-1}$

Senkrechter Wurf (ohne Luftreibung)

Nach oben:

$$s = v_0 \cdot t - \frac{1}{2} g \cdot t^2$$

$$s_h = \frac{v_0^2}{2g}; \quad t_S = \frac{v_0}{g}$$

Nach unten:

$$s = v_0 \cdot t + \frac{1}{2} g \cdot t^2$$

s	Weglänge	m
v_0	Abwurfgeschwindigkeit (positiv nach oben)	$m \cdot s^{-1}$
t	Zeit	s
g	Fallbeschleunigung	$m \cdot s^{-2}$
s_h	Steighöhe	m
t_S	Steigzeit (≙ Fallzeit von s_h bis $s = 0$)	s

Längenkontraktion $(l < l')$

$$l = l' \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = l' \cdot \sqrt{1 - \beta^2} = l' \cdot \frac{1}{\gamma}$$

l	Länge des mit v parallel zu l' bewegten Körpers im System S	m
l'	Länge des Körpers im System S′	m
β	Verhältnisfaktor	Zahl
γ	Verzerrungsfaktor	Zahl

Addition von Geschwindigkeiten

$$u = \frac{u' + v}{1 + \frac{u' \cdot v}{c^2}}$$

u	Geschwindigkeit eines Körpers im System S	$\mathrm{m \cdot s^{-1}}$
u'	Geschwindigkeit des Körpers im System S′	$\mathrm{m \cdot s^{-1}}$
v	Geschwindigkeit des Systems S′ gegenüber S	$\mathrm{m \cdot s^{-1}}$
c	Lichtgeschwindigkeit	$\mathrm{m \cdot s^{-1}}$

Optischer Dopplereffekt

$$f = f' \cdot \sqrt{\frac{c - v}{c + v}} \quad \text{bzw.} \quad v = c \cdot \frac{1 - \left(\frac{f}{f'}\right)^2}{1 + \left(\frac{f}{f'}\right)^2}$$

f	Frequenz im System S	$\mathrm{s^{-1}}$
f'	Frequenz im System S′	$\mathrm{s^{-1}}$
c	Lichtgeschwindigkeit	$\mathrm{m \cdot s^{-1}}$
v	Geschwindigkeit von S′ in S	$\mathrm{m \cdot s^{-1}}$

Masse m

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \beta^2}} = m_0 \cdot \gamma$$

m	Masse des sich mit v gegenüber einem im System ruhenden Beobachter bewegenden Körpers	kg
m_0	Ruhemasse (Masse des im System ruhenden Körpers)	kg
v	Geschwindigkeit des Körpers im System S	$\mathrm{m \cdot s^{-1}}$
c	Lichtgeschwindigkeit	$\mathrm{m \cdot s^{-1}}$
β	Verhältnisfaktor	Zahl
γ	Verzerrungsfaktor	Zahl

Impuls p

$$p = m \cdot v = \frac{m_0 \cdot v}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{m_0 \cdot v}{\sqrt{1 - \beta^2}} = m_0 \cdot v \cdot \gamma$$

p	Impuls	$\mathrm{kg \cdot m \cdot s^{-1}}$
m	Masse	kg
v	Geschwindigkeit	$\mathrm{m \cdot s^{-1}}$
m_0	Ruhemasse	kg
β	Verhältnisfaktor	Zahl
γ	Verzerrungsfaktor	Zahl

P

Physik

Thermodynamik

Temperatur – Volumen – Druck

Gasgesetze

Für ideale Gase

Gesetz von Gay-Lussac:

Bei p = konstant: $\frac{V}{T}$ = konstant

Gesetz von Amontons:

Bei V = konstant: $\frac{p}{T}$ = konstant

Gesetz von Boyle-Mariotte:

Bei T = konstant: $p \cdot V$ = konstant

Allgemeine Gaskonstante, Avogadro-Konstante und Boltzmann-Konstante

→ S. 206

Allgemeine Gasgleichung:

$\frac{p \cdot V}{T}$ = konstant

Universelle Gasgleichung:

$p \cdot V = n \cdot R \cdot T = N \cdot k \cdot T$

$n = \frac{N}{N_A} = \frac{m}{M_m}$

Adiabatische Zustandsänderung (Poisson'sche Gesetze):

$Q = 0$

$p \cdot V^{\varkappa}$ = konstant

$T \cdot V^{\varkappa - 1}$ = konstant $\qquad \varkappa = \frac{c_p}{c_V}$

$\frac{T^{\varkappa}}{p^{\varkappa - 1}}$ = konstant

p	Druck	$Pa = N \cdot m^{-2}$
V	Volumen	m^3
T	Temperatur	K
n	Stoffmenge	mol
R	allgemeine Gaskonstante	$J \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1}$
N	Teilchenzahl	Zahl
N_A	Avogadro-Konstante	mol^{-1}
k	Boltzmann-Konstante	$J \cdot K^{-1}$
m	Masse	kg
M_m	molare Masse	$kg \cdot mol^{-1}$
Q	Wärmezufuhr/-abgabe	J
$\varkappa$	Adiabatenexponent	Zahl
c_p	spezifische Wärmekapazität bei konstantem Druck	$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$
c_V	spezifische Wärmekapazität bei konstantem Volumen	$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$

Für reale Gase

Van-der-Waals-Gleichung:

$$\left(p + \frac{a \cdot n^2}{V^2}\right) \cdot (V - b \cdot n) = n \cdot R \cdot T$$

a	Korrekturkonstante infolge Teilchenanziehung	$Pa \cdot m^6 \cdot mol^{-2}$
b	Korrekturkonstante infolge Teilchenvolumen	$m^3 \cdot mol^{-1}$

Kinetische Gastheorie

Druck, Volumen, Temperatur

Für Teilchen gleicher Masse m:

$$p \cdot V = \frac{1}{3} \cdot N \cdot m \cdot \overline{v^2} = \frac{2}{3} \cdot N \cdot \overline{E_{kin}} = N \cdot k \cdot T$$

mit $\overline{E_{kin}} = \frac{1}{2} m \cdot \overline{v^2}$

Innere Energie eines idealen Gases:

$E_{innere} = U = N \cdot \overline{E_{kin}}$

p	Druck als makroskopische Zustandsgröße	Pa
V	Volumen als makroskopische Zustandsgröße	m^3
N	Teilchenzahl	Zahl
m	Teilchenmasse	kg
$\overline{v^2}$	Mittelwert der Quadrate aller Teilchengeschwindigkeiten	$m^2 \cdot s^{-2}$
$\overline{E_{kin}}$	Mittelwert der kinetischen Energie eines Teilchens	J
k	Boltzmann-Konstante	$J \cdot K^{-1}$
T	Temperatur	K
E_{innere}, U	innere Energie	J

Elektrischer Stromkreis

Leitfähigkeit σ

Leitwert:

$G = \frac{1}{R}$

Leitfähigkeit:

$\sigma = \frac{1}{\varrho} = G \cdot \frac{l}{A}$

G	Leitwert	Ω^{-1}
R	Widerstand	Ω
σ	Leitfähigkeit	$\Omega^{-1} \cdot m^{-1}$
ϱ	spezifischer Widerstand	$\Omega \cdot m$
l	Länge des Leiters	m
A	Querschnitt des Leiters	m^2

Leitfähigkeit von Metallen → S. 198

Faraday'sche Gesetze

1. Gesetz:

$m = Ä \cdot Q = Ä \cdot I \cdot t$

2. Gesetz:

$Ä = \frac{m}{F \cdot z \cdot n}$ mit $F = e \cdot N_A$

(Faraday-Konstante)

m	Masse	kg
$Ä$	elektrochemisches Äquivalent	$kg \cdot C^{-1}$
Q	transportierte Ladung	C
I	Stromstärke	A
t	Zeitdauer	s
F	Faraday-Konstante	$C \cdot mol^{-1}$
z	Wertigkeit der Ionen	Zahl
n	Stoffmenge	mol
e	Elementarladung	C
N_A	Avogadro-Konstante	mol^{-1}

Faraday-Konstante, Elementarladung und Avogadro-Konstante → S. 206

Strom und Magnetfeld

Kraft $\vec{F}$ auf geraden Leiter

$F = I \cdot l \cdot B \cdot \sin\varphi$

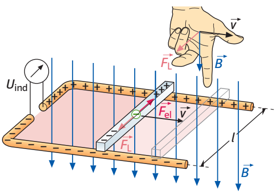
Drei-Finger-Regel der linken Hand:

F	Kraft auf Leiter	N
I	Stromstärke im Leiter	A
l	Länge des Leiters im Magnetfeld	m
B	magnetische Flussdichte	$T = V \cdot s \cdot m^{-2}$
φ	Winkel zwischen den Richtungen von Elektronenstrom und Flussdichte ($\sin\varphi = 1$, wenn $\vec{I} \perp \vec{B}$)	Grad

Lorentzkraft $\vec{F_L}$ auf bewegte Ladung

$F_L = q \cdot v \cdot B \cdot \sin\varphi$

$U_{ind} = B \cdot l \cdot v$



F_L	Lorentz-Kraft	N
q	im Feld bewegte Ladung	C
v	Geschwindigkeit der Ladung	$m \cdot s^{-1}$
B	magnetische Flussdichte	$T = V \cdot s \cdot m^{-2}$
φ	Winkel zwischen Bewegungsrichtung der Ladung und magnetischer Flussdichte ($\sin\varphi = 1$, wenn $\vec{v} \perp \vec{B}$)	Grad
F_{el}	Kraft des Magnetfeldes auf bewegte Elektronen	N
U_{ind}	durch die Lorentzkraft zwischen den Leitern entstehende Spannung	V
l	Länge des im Feld bewegten Leiters	m

Harmonischer Oszillator

Differenzialgleichung harmonischer Schwingungen

$m \cdot \ddot{s}(t) + D \cdot s(t) = 0$

Mit $\omega = \sqrt{\frac{D}{m}}$ folgt:

$\ddot{s}(t) + \omega^2 \cdot s(t) = 0.$

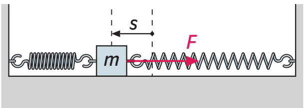
m	Masse des Oszillators	kg
$\ddot{s}(t)$	Beschleunigung	$\mathrm{m \cdot s^{-2}}$
D	Richtgröße	$\mathrm{N \cdot m^{-1}}$
$s(t)$	Auslenkung	m
ω	Kreisfrequenz	$\mathrm{s^{-1}}$

Energie E des harmonischen Oszillators

$$E_{ges} = E_{kin} + E_{pot} = \frac{1}{2} m \cdot v(t)^2 + \frac{1}{2} D \cdot s(t)^2 = \frac{1}{2} D \cdot s_M^2 = 2\pi^2 \cdot m \cdot f^2 \cdot s_M^2$$

E_{ges}	Gesamtenergie	J
E_{kin}	kinetische Energie	J
E_{pot}	potenzielle Energie	J
m	Masse	kg
$v(t)$	Geschwindigkeit	$\mathrm{m \cdot s^{-1}}$
D	Richtgröße	$\mathrm{N \cdot m^{-1}}$
$s(t)$	Auslenkung	m
s_M	Amplitude	m
f	Frequenz	$\mathrm{s^{-1}}$

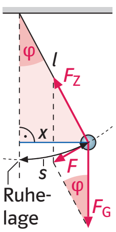
Federpendel (reibungsfrei)



$F = -D \cdot s; \; T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{D}}$

F	Kraft	N
D	Richtgröße	$\mathrm{N \cdot m^{-1}}$
s	Auslenkung	m
T	Schwingungsdauer	s
m	Masse	kg

Fadenpendel (reibungsfrei)



$$F = -\frac{m \cdot g}{l} \cdot x$$

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{l}{g}}$$

F	Kraft	N
m	Masse	kg
g	Fallbeschleunigung	$\mathrm{m \cdot s^{-2}}$
l	Pendel-(Faden-)länge	m
$x \approx s$	Auslenkung für kleinen Wert von φ	m
T	Schwingungsdauer	s

Mechanische Wellen

Ausbreitungsgeschwindigkeit c

$c = \lambda \cdot f = \frac{\lambda}{T}$

c	Ausbreitungsgeschwindigkeit (Phasengeschwindigkeit)	$\mathrm{m \cdot s^{-1}}$
λ	Wellenlänge	m
f	Frequenz	$\mathrm{s^{-1}}$
T	Schwingungsdauer	s

Optik

Interferenz beim Einzelspalt

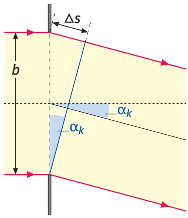
Minima der Intensität:

$$\sin\alpha_k = \frac{k \cdot \lambda}{b}$$

Maxima der Intensität:

$$\sin\alpha_k = \frac{\left(k + \frac{1}{2}\right) \cdot \lambda}{b}$$

mit $k = 1, 2, 3 \ldots$



α_k	Beugungswinkel	Zahl
λ	Wellenlänge im Ausbreitungsmedium	m
b	Spaltbreite	m

Interferenz beim Doppelspalt

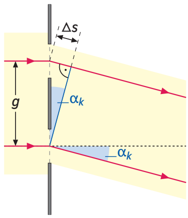
Minima der Intensität:

$$\sin\alpha_k = \frac{k \cdot \lambda}{g}$$

Maxima der Intensität:

$$\sin\alpha_k = \frac{\left(k + \frac{1}{2}\right) \cdot \lambda}{g}$$

mit $k = 1, 2, 3 \ldots$



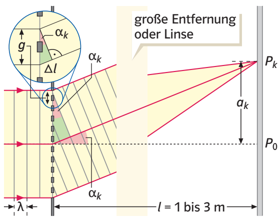
α_k	Beugungswinkel	Zahl
λ	Wellenlänge im Ausbreitungsmedium	m
g	Abstand der Spaltmitten	m

Interferenz beim Gitter

Hauptmaxima der Intensität:

$$\sin\alpha_k = \frac{k \cdot \lambda}{g} \quad \text{sowie} \quad \tan\alpha_k = \frac{a_k}{l}$$

mit $k = 0, 1, 2, 3 \ldots$



α_k	Beugungswinkel des k-ten Hauptmaximums	Zahl
λ	Wellenlänge im Ausbreitungsmedium	m
g	Gitterkonstante	m
a_k	Abstand des Maximums k-ter Ordnung vom Maximum 0-ter Ordnung	m
l	Entfernung des Gitters vom Schirm	m

Interferenz an dünnen Schichten

Im reflektierten Licht bei senkrechtem Einfall:

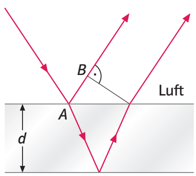
Maxima:

$$d = \frac{2k + 1}{n} \cdot \frac{\lambda}{4}$$

Minima:

$$d = \frac{2k}{n} \cdot \frac{\lambda}{4}$$

mit $k = 0, 1, 2, 3 \ldots$



d	Schichtdicke	m
n	Brechzahl der Schicht	Zahl
λ	Wellenlänge in Luft	m

Quantenobjekt

Energie E des Photons:
$E = h \cdot f$

Energie E des Elektrons:
$E = \frac{1}{2} m \cdot v^2 = e \cdot U_B$

Masse m des Photons:
$m = \frac{E}{c^2} = \frac{h \cdot f}{c^2} = \frac{h}{c \cdot \lambda}$

Impuls p des Photons:
$p = \frac{E}{c} = \frac{h \cdot f}{c} = \frac{h}{\lambda}$

De-Broglie-Wellenlänge λ für Elektronen:
$\lambda = \frac{h}{p}$
($h = 6{,}626 \cdot 10^{-34}\,\mathrm{J \cdot s}$)

E	Energie	J
h	Planck'sches Wirkungsquantum (Planck'sche Konstante)	$\mathrm{J \cdot s}$
f	Frequenz	$\mathrm{Hz = s^{-1}}$
m	Masse	kg
v	Geschwindigkeit des Elektrons	$\mathrm{m \cdot s^{-1}}$
e	Elementarladung	C
U_B	Beschleunigungsspannung	$\mathrm{V = J \cdot C^{-1}}$
c	Lichtgeschwindigkeit	$\mathrm{m \cdot s^{-1}}$
λ	Wellenlänge	m
p	Impuls	$\mathrm{kg \cdot m \cdot s^{-1}}$

Fotoeffekt

Insgesamt vom Licht übertragene Energie:
$h \cdot f = E_{k,max} + W_A$
($h = 6{,}626 \cdot 10^{-34}\,\mathrm{J \cdot s}$)

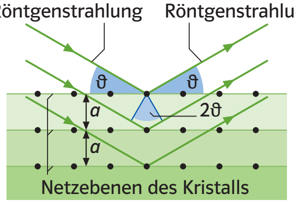
h	Planck'sches Wirkungsquantum (Planck'sche Konstante)	$\mathrm{J \cdot s}$
f	Frequenz des Lichtes	$\mathrm{Hz = s^{-1}}$
$E_{k,max}$	maximale kinetische Energie des ausgelösten (freien) Elektrons	J
W_A	materialabhängige Arbeit zum Herauslösen des Elektrons	J

Röntgenbremsstrahlung

$f_G = \frac{e \cdot U_B}{h}$ bzw. $\lambda_G = \frac{c}{f_G} = \frac{c \cdot h}{e \cdot U_B}$

Interferenzmaxima der an den Netzebenen des Kristalls gebeugten Röntgenstrahlung (Bragg-Bedingung):
$2a \cdot \sin \delta_k = k \cdot \lambda$ für $k = 1, 2, 3 \ldots$

einfallende Röntgenstrahlung — abgelenkte Röntgenstrahlung



f_G	Grenzfrequenz (max.) des kontinuierlichen Röntgenspektrums	$\mathrm{Hz = s^{-1}}$
e	Elementarladung	C
U_B	Beschleunigungsspannung der Elektronen	V
h	Planck'sches Wirkungsquantum (Planck'sche Konstante)	$\mathrm{J \cdot s}$
λ_G	Grenzwellenlänge (min.) des Röntgenspektrums	m
c	Lichtgeschwindigkeit	$\mathrm{m \cdot s^{-1}}$
a	Abstand der Netzebenen	m
δ_k	Glanzwinkel	Zahl (Grad)

Photon – Elektron

Planck'sches Wirkungsquantum → S. 207
Elementarladung → S. 206

Anhang: Tabellen

Vorsilben für dezimale Vielfache und Teile von Einheiten

Vorsilbe	Exa (E)	Peta (P)	Tera (T)	Giga (G)
Bedeutung	10^{18}	10^{15}	10^{12}	10^{9}
Vorsilbe	Mega (M)	Kilo (k)	Hekto (h)	Deka (da)
Bedeutung	10^{6}	10^{3}	10^{2}	10^{1}
Vorsilbe	Dezi (d)	Zenti (c)	Milli (m)	Mikro (µ)
Bedeutung	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-6}
Vorsilbe	Nano (n)	Piko (p)	Femto (f)	Atto (a)
Bedeutung	10^{-9}	10^{-12}	10^{-15}	10^{-18}

Naturkonstanten und Normwerte

Größe	Formelzeichen und Wert
Absoluter Nullpunkt (T = 0 K)	$\vartheta = -273{,}15\,°\mathrm{C}$
Allgemeine Gaskonstante	$R = 8{,}314\,459\,8 \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{K \cdot mol}}$
Atomare Masseneinheit (amu)	$1\,\mathrm{u} = 1{,}660\,539\,040 \cdot 10^{-27}\,\mathrm{kg}$ $= 931{,}494\,095 \frac{\mathrm{MeV}}{c^2}$
Avogadro-Konstante	$N_A = 6{,}022\,140\,857 \cdot 10^{23} \frac{1}{\mathrm{mol}}$
Bohr'scher Radius	$a_0 = 5{,}291\,772\,106\,7 \cdot 10^{-11}\,\mathrm{m}$
Boltzmann-Konstante	$k = 1{,}380\,648\,52 \cdot 10^{-23} \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{K}}$
Comptonwellenlänge des Elektrons	$\lambda_C = 2{,}426\,310\,236\,7 \cdot 10^{-12}\,\mathrm{m}$
Elektrische Feldkonstante	$\varepsilon_0 = 8{,}854\,187\,817 \cdot 10^{-12} \frac{\mathrm{C}}{\mathrm{V \cdot m}}$
Elektron(en)volt	$1\,\mathrm{eV} = 1{,}602\,176\,620\,8 \cdot 10^{-19}\,\mathrm{J}$
Elementarladung	$e = 1{,}602\,176\,620\,8 \cdot 10^{-19}\,\mathrm{C}$
Faraday-Konstante	$F = 9{,}648\,533\,289 \cdot 10^{4} \frac{\mathrm{C}}{\mathrm{mol}}$
Feinstruktur-Konstante	$\alpha = \frac{1}{137{,}035\,999\,139}$
Gravitationskonstante	$\gamma = 6{,}674\,08 \cdot 10^{-11} \frac{\mathrm{m^3}}{\mathrm{kg \cdot s^2}}$
Hubble-Konstante[1] (Fluchtgeschwindigkeit $v = H \cdot r$ von Galaxien je Mpc Entfernung r)	$H_0 = 67{,}8 \frac{\mathrm{km}}{\mathrm{s \cdot Mpc}}$
Lichtgeschwindigkeit im Vakuum	$c_0 = 2{,}997\,924\,58 \cdot 10^{8} \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$
Magnetische Feldkonstante[2]	$\mu_0 = 1{,}256\,637\,061\,4 \cdot 10^{-6} \frac{\mathrm{V \cdot s}}{\mathrm{A \cdot m}}$