Beschleunigung – Kraft

$$F = m \cdot a$$
$$[\mathrm{N} = \mathrm{kg} \cdot \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}]$$

Beschleunigung – Weg

$$x = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$$
$$[\mathrm{m} = \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2} \cdot \mathrm{s}^2]$$

Haftreibung

$$F_{\mathrm{H}} = \mu_{\mathrm{H}} \cdot F_{\mathrm{N}}$$

F_{H} :	Haftreibung
μ_{H} :	Haftreibungskonstante
F_{N} :	Normalkraft

Gleitreibung

$$F_{\mathrm{Gl}} = \mu_{\mathrm{Gl}} \cdot F_{\mathrm{N}}$$

F_{Gl} :	Gleitreibung
μ_{Gl} :	Gleitreibungskonstante
F_{N} :	Normalkraft

Haftreibung – Schiefe Ebene

$$\mu_{\mathrm{H}} = \tan \alpha$$

Winkel α für gegebenes μ_{H}, ab dem die Haftreibung nicht mehr zum Halten ausreicht, also das Objekt anfängt zu “rutschen”

Leistung

$$P = F \cdot v$$

$$\left[\begin{aligned} \mathrm{W} &= \mathrm{N} \cdot \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} \\ &= \mathrm{kg}\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2} \cdot \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} \\ &= \mathrm{kg}\frac{\mathrm{m}^2}{\mathrm{s}^3} \end{aligned}\right]$$

Wirkungsgrad

$$\eta = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}}$$

Radialbeschleunigung

$$a = \frac{v^2}{r}$$

$$\left[\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2} = \frac{\frac{\mathrm{m}^2}{\mathrm{s}^2}}{\mathrm{m}}\ \right]$$

Arbeit

$$\begin{aligned} W &= F \cdot s \\ \Big[\mathrm{J} &= \mathrm{N} \cdot \mathrm{m} \\ &= \mathrm{kg} \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2} \cdot \mathrm{m} \\ &= \mathrm{kg} \frac{\mathrm{m}^2}{\mathrm{s}^2} \Big] \end{aligned}$$

potentielle Energie

$$E_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot h$$
$$\left[\mathrm{J} = \mathrm{kg} \cdot \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2} \cdot \mathrm{m} = \mathrm{kg}\frac{\mathrm{m}^2}{\mathrm{s}^2}\right]$$

kinteische Energie

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

$$\left[\mathrm{J} = \mathrm{kg} \cdot \frac{\mathrm{m}^2}{\mathrm{s}^2}\right]$$

Kreisfrequenz

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$
$$\left[\mathrm{s}^{-1} = \frac{\mathrm{rad}}{\mathrm{s}}\right]$$

T: Kreisfrequenz (Umlaufzeit)

Kreisfrequenz Hook'sche Feder

$$\omega = \sqrt{\frac{D}{m}}$$
$$\left[\mathrm{s}^{-1} = \sqrt{\frac{\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}}}{\mathrm{kg}}}\right]$$

D: Federkonstante

harmonische Schwingung: Beschleunigung

$$a(t) = -\omega^2 \cdot y_0 \cdot \sin \omega t = -\omega^2 \cdot y(t)$$

$$\left[\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2} = \mathrm{s}^{-2} \cdot \mathrm{m}\right]$$

harmonische Schwingung: Geschwindigkeit

$$v(t) = \omega \cdot y_0 \cdot \cos \omega t$$

$$\left[\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} = \mathrm{s}^{-1} \cdot \mathrm{m}\right]$$

harmonische Schwingung:
Auslenkung

$$y(t) = y_0 \cdot \sin \omega t$$

potentielle Energie
Hook'sche Feder

$$W = \frac{1}{2} \cdot D \cdot x^2 = E_{\text{pot}}$$

$$\left[\begin{aligned} \mathrm{J} &= \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}} \mathrm{m}^2 \\ &= \frac{\mathrm{kg}\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}}{\mathrm{m}} \cdot \mathrm{m}^2 \\ &= \mathrm{kg}\frac{\mathrm{m}^2}{\mathrm{s}^2} \end{aligned} \right]$$

Kraft Hook'sche Feder

$$F = D \cdot x$$

$$\left[\mathrm{N} = \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}} \cdot \mathrm{m}\right]$$

Inelastischer Stoß

$$v' = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2}$$

Elastischer Stoß

$$v_1' = 2 \cdot \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2} - v_1$$
$$v_2' = 2 \cdot \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2} - v_2$$

Drehimpuls

$$L = \vartheta \cdot \omega$$

$$\left[\begin{aligned} \mathrm{N\ m\ s} &= \mathrm{kg\ m^2 \cdot s^{-1}} \\ \mathrm{kg}\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s^2}}\mathrm{m\ s} &= \mathrm{kg}\frac{\mathrm{m^2}}{\mathrm{s}} \\ \mathrm{kg}\frac{\mathrm{m^2}}{\mathrm{s}} &= \mathrm{kg}\frac{\mathrm{m^2}}{\mathrm{s}} \end{aligned} \right]$$

Kinetische Energie Drehbewegung

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot \vartheta \cdot \omega^2$$

$$\left[\mathrm{J} = \mathrm{kg\ m^2 \cdot s^{-2}} \right.$$

$$\left. = \mathrm{kg} \frac{\mathrm{m}^2}{\mathrm{s}^2} \right]$$

Impuls

$$p = m \cdot v$$

$$\left[\frac{\mathrm{kg\ m}}{\mathrm{s}} = \mathrm{kg} \cdot \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}\right]$$

Kreisfrequenz Fadenpendel

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{l}}$$

$$\left[\mathrm{s}^{-1} = \sqrt{\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2} \cdot \frac{1}{\mathrm{m}}} = \sqrt{\mathrm{s}^{-2}} = \mathrm{s}^{-1}\right]$$

Nur bei $\alpha < 5^\circ$

Trägheitsmoment Stab um Stabende

$$\vartheta = \frac{1}{3} \cdot m \cdot l^2$$
$$\left[\mathrm{kg\ m^2} = \mathrm{kg} \cdot \mathrm{m^2}\right]$$

l: Länge des homogenen Stabes

Trägheitsmoment Stab um Schwerpunkt

$$\vartheta = \frac{1}{12} \cdot m \cdot l^2$$

$$\left[\mathrm{kg\ m^2} = \mathrm{kg} \cdot \mathrm{m}^2\right]$$

l: Länge des homogenen Stabes

Trägheitsmoment Vollzylinder

$$\vartheta = \frac{1}{2} \cdot m \cdot r^2$$

$$\left[\mathrm{kg\ m^2} = \mathrm{kg} \cdot \mathrm{m^2}\right]$$

r: Durchmesser des Zylinders

Trägheitsmoment Hohlzylinder

$$\vartheta = m \cdot r^2$$

$$\left[\mathrm{kg\ m^2} = \mathrm{kg} \cdot \mathrm{m^2}\right]$$

Transformation Geschwindigkeit – Winkelgeschwindigkeit

$$v = r \cdot \omega$$

$$\left[\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} = \mathrm{m} \cdot \mathrm{s}^{-1}\right]$$

Trägheitsmoment Kugel

$$\vartheta = \frac{2}{5} \cdot m \cdot r^2$$

$$\left[\mathrm{kg\ m}^2 = \mathrm{kg} \cdot \mathrm{m}^2\right]$$

leeres Duplikat

Leistung Translation

$$P = F \cdot v = M \cdot \omega$$

$$\left[\mathrm{W} = \mathrm{N} \cdot \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} = \mathrm{Nm} \cdot \mathrm{s}^{-1} \right.$$

$$\left. \mathrm{kg}\frac{\mathrm{m}^2}{\mathrm{s}^3} = \mathrm{kg}\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2} \cdot \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} \right]$$

Drehmoment

$$M = F \cdot r$$

$$\left[\mathrm{Nm} = \mathrm{N} \cdot \mathrm{m}\right]$$

Kreisfrequenz Drehschwingung

$$\omega = \sqrt{\frac{D}{\vartheta}}$$

$$\left[\mathrm{s}^{-1} = \sqrt{\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}} \cdot \frac{1}{\mathrm{kg\ m}^2}} \right]$$

Rückstellmoment Drehschwingung

$$M = -D_\varphi \cdot \varphi$$
$$[\mathrm{Nm} = \mathrm{Nm?}]$$

D_φ : Torsionsfederkonstante
φ : Verdrillungswinkel

Präzessionsfrequenz

$$\omega_{\mathrm{p}} = \frac{M}{L} = \frac{F \cdot r \cdot \sin\varphi}{\vartheta \cdot \omega_{\mathrm{r}}}$$

$$\left[\mathrm{s}^{-1} = \frac{\mathrm{Nm}}{\mathrm{N\ m\ s}} = \frac{\mathrm{N} \cdot \mathrm{m}}{\mathrm{kg\ m}^2 \cdot s^{-1}}\right]$$

Satz von Steiner

$$\vartheta = m \cdot a^2 + \vartheta_{\mathrm{SP}}$$

$$\left[\mathrm{kg\ m^2} = \mathrm{m^2} \cdot \mathrm{kg} + \mathrm{kg\ m^2}\right]$$

ϑ_{SP}	Trägheitsmoment durch Schwerpunkt
ϑ	Trägheitsmoment durch neue Achse, $\parallel$ zur Achse von ϑ_{SP}
a	Abstand der beiden Achsen

Gravitationkonstante

$$\gamma = 6,6742 \cdot 10^{-11} \frac{\mathrm{N\ m}^2}{\mathrm{kg}^2}$$

Gravitationspotential

$$\varphi = -\frac{\gamma \cdot m}{r}$$

$$\left[\frac{\mathrm{m}^2}{\mathrm{s}^2} = \frac{\frac{\mathrm{N\ m}^2}{\mathrm{kg}^2} \cdot \mathrm{kg}}{\mathrm{m}} \right.$$

$$\left. = \mathrm{N}\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{kg}} = \mathrm{kg}\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{kg}}\right]$$

pot. Energie Gravitation

$$E_{\text{pot}} = -\frac{\gamma \cdot m_1 \cdot m_2}{r}$$

$$\left[\mathrm{J} = \frac{\frac{\mathrm{N\ m^2}}{\mathrm{kg^2}} \cdot \mathrm{kg} \cdot \mathrm{kg}}{\mathrm{m}} \right.$$

$$\left. = \mathrm{Nm} \right]$$

Gravitationfeldstärke

$$g = -\frac{\gamma \cdot M}{r^2}$$

$$\left[\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2} = \frac{\frac{\mathrm{N\ m}^2}{\mathrm{kg}^2} \cdot \mathrm{kg}}{\mathrm{m}^2} = \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{kg}} = \frac{\mathrm{kg}\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}}{\mathrm{kg}}\right]$$

M : Planetenmasse

Gravitationskraft

$$F_{\mathrm{G}} = -\gamma \cdot \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

$$\left[N = \frac{\mathrm{N\ m}^2}{\mathrm{kg}^2} \cdot \frac{\mathrm{kg}^2}{\mathrm{m}^2} \right]$$

Erhaltungssätze der klassischen Physik

- Energien
- Impulse
- Drehimpulse
- elektrische Ladungen

Corioliskraft

$$F_{\mathrm{C}} = m \cdot a_{\mathrm{c}} = 2 \cdot m \cdot v_{\perp} \cdot \omega$$

$$\left[\mathrm{N} = \mathrm{kg} \cdot \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2} = \mathrm{kg} \cdot \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} \cdot \mathrm{s}^{-1}\right]$$

$\mathrm{a_c}$:	Coriolisbeschleunigung
$v_{\perp}$:	Geschwindigkeit des Körpers, rel. zum rotierenden Bezugssystem
ω:	Winkelgeschwindigkeit Bezugssystem

Keplersche Gesetze

- Planeten auf Ellipsen mit Sonne im gemeinsamen Brennpunkt
- Radiusvektor überstreicht in gleicher Zeit gleiche Fläche: $\frac{\Delta A}{\Delta t} = \text{const}$
- Umlaufzeit $T_{1,2}$, große Halbachse $a_{1,2}$ zweier Planeten: $\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}$

Planet auf Kreisbahn

$$\frac{r_{\mathrm{p}}^3}{T_{\mathrm{p}}^2} = \gamma \frac{m_{\mathrm{s}}}{4\pi^2} = const.$$

r_{p}: Radius Planetenbahn
T_{p}: Umlaufzeit Planet
m_{s}: Masse der Sonne

Gebundener und ungebundener Zustand

$$E = E_{\text{kin}} + E_{\text{pot}} = \frac{1}{2} m_2 v^2 - \gamma \frac{m_1 m_2}{r}$$

$E \geq 0$: ungebunder Zustand, m_2 kann sich beliebig weit von m_1 entfernen

$E < 0$: gebunder Zustand

Elastizitätsmodul

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

$$\left[\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}^2} = \frac{\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}^2}}{1}\right]$$

Zugfestigkeit

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$\left[\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}^2} = \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}^2}\right]$$

Hooksches Gesetz

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

$$\left[\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}^2} = \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}^2} \cdot 1\right]$$

relative Längenänderung

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$$
$$\left[1 = \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{m}}\right]$$

Poisson-Zahl

$$\mu = \left| \frac{\frac{\Delta d}{d}}{\frac{\Delta l}{l}} \right|$$

Querkontraktion, Dicke nimmt $\perp$ zur Dehnung ab.

Druck

$$p = \frac{F}{A}$$

$$\left[\mathrm{Pa} = \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}^2}\right]$$

Kompressibilität

$$\frac{\Delta V}{V} = -\kappa p$$

$$\Rightarrow \kappa = \frac{3}{E}(1 - 2\mu)$$

$$\left[\frac{1}{\mathrm{Pa}} = \frac{1}{\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}^2}}\right]$$

Kompressionsmodul

$$K = \frac{1}{\kappa}$$

$$\left[\mathrm{Pa} = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{Pa}}} \right]$$

Scherspannung

$$\tau = \frac{F_s}{A} = G\alpha$$

F_s:	Scherkraft, tangential zu A
G:	Torsions- oder Schubmodul [Pa]
α:	Scherwinkel

Torsionskonstante dünnwandiges Rohr

$$D_\varphi = \frac{2\pi r^3 d}{l} G$$

$$\left[\mathrm{N\,m} = \frac{\mathrm{m}^3\,\mathrm{m}}{\mathrm{m}} \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}^2}\right]$$

r: Rohrradius
d: Rohrwandstärke, $d \ll r$
l: Rohrlänge

Torsionskonstante
Vollstab

$$D_\varphi = \frac{\pi}{2}\frac{R^4}{l}G$$

$$\left[\mathrm{N\,m} = \frac{\mathrm{m}^4}{\mathrm{m}}\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}^2}\right]$$

R: Rohrradius
l: Rohrlänge

Drehmoment Torsion

$$M = D_\varphi \cdot \varphi$$

$$\left[\mathrm{N\,m} = \mathrm{N\,m}\right]$$

Dehnung eines Stabes
Federkonstante

$$D = \frac{E \cdot A}{l}$$

$$\left[\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}} = \frac{\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}^2} \cdot \mathrm{m}^2}{\mathrm{m}} \right]$$

potentielle Energie
Dehnarbeit

$$W = \frac{1}{2} \cdot E \cdot A \cdot l \cdot \varepsilon^2 = \frac{1}{2} \cdot E \cdot V \cdot \varepsilon^2$$

$$\left[\mathrm{J} = \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}^2} \cdot \mathrm{m}^2 \cdot \mathrm{m} = \mathrm{N\,m} \right]$$

Energiedichte Dehnung

$$w = \frac{W}{V} = \frac{E}{2}\varepsilon^2$$

$$\left[\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{m}^3} = \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}^2} = \frac{\mathrm{N\,m}}{\mathrm{m}^3}\right]$$

Energiedichte Torsion

$$w = \frac{G}{2}\alpha^2$$

$$\left[\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{m}^3} = \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}^2} = \frac{\mathrm{N\,m}}{\mathrm{m}^3}\right]$$

Viskosität
“Zähigkeit”

$$\eta \left[\frac{\mathrm{N\,s}}{\mathrm{m}^2} \right]$$

Dichte

$$\varrho \left[\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3}\right]$$

Oberflächenspannung

$$\sigma \left[\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{m}^2}\right]$$

hydrostatischer Druck
Schweredruck

$$p(h) = p_0 + \varrho \cdot h \cdot g$$

$$\left[\mathrm{Pa} = \mathrm{Pa} + \underbrace{\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3} \cdot \mathrm{m} \cdot \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}}_{\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m\,s}^2} \cdot \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{m}} = \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}^2} = \mathrm{Pa}} \right]$$

p_0: (Luft-)Druck an der Oberfläche
h: Tiefe

Auftrieb

$$F = (\varrho_{\mathrm{Fl}} - \varrho_{\mathrm{K}}) \cdot V_{\mathrm{K}} \cdot g$$
$$\left[\mathrm{N} = \frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3} \cdot \mathrm{m}^3 \cdot \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2} = \mathrm{kg}\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}\right]$$

$$\begin{array}{ll}
\varrho_{\mathrm{Fl}} < \varrho_{\mathrm{K}} \Leftrightarrow F_{\mathrm{A}} < F_{\mathrm{G}} \Longrightarrow & \text{Körper sinkt} \\
\varrho_{\mathrm{Fl}} = \varrho_{\mathrm{K}} \Leftrightarrow F_{\mathrm{A}} = F_{\mathrm{G}} \Longrightarrow & \text{Körper schwebt} \\
\varrho_{\mathrm{Fl}} > \varrho_{\mathrm{K}} \Leftrightarrow F_{\mathrm{A}} > F_{\mathrm{G}} \Longrightarrow & \text{Körper steigt}
\end{array}$$

Barometrische Höhenformel

$$p = p_0 \cdot \exp\left(-\frac{\varrho_0}{p_0} \cdot g \cdot h\right)$$

Rückstellkraft
Oberflächenspannung

$$F = 2 \cdot \sigma \cdot l$$

$$\left[\mathrm{N} = \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{m}^2} \cdot \mathrm{m} = \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}} \cdot \mathrm{m} \right]$$

σ: Oberflächenspannung
l: Länge der Randlinie des Bügels

Oberflächenenergie

$$W = A \cdot \sigma$$

$$\left[\mathrm{J} = \mathrm{m}^2 \cdot \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{m}^2}\right]$$

Druck in Flüssigkeitskugel

$$p = 2\frac{\sigma}{r} \quad \text{Vollkugel (Wassertropfen)}$$

$$p = 3\frac{\sigma}{r} \quad \text{Hohlkugel (Seifenblase)}$$

$$\left[\mathrm{Pa} = \frac{\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{m}^2}}{\mathrm{m}} = \frac{\frac{\mathrm{N\,m}}{\mathrm{m}^2}}{\mathrm{m}} = \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}^2}\right]$$

Kugeloberfläche- und Volumen

$$A = 4\pi r^2 \qquad \text{Kugeloberfläche}$$

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

Kontinuitätsgleichung für inkompressible Medien

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$
$$\text{für } \varrho = \text{const}$$

Bernoulli-Gleichung

$$\underbrace{\frac{\varrho}{2}v_1^2}_{\text{Staudruck}} + \underbrace{p_1}_{\text{stat. Druck}} = \underbrace{p_0}_{\text{Gesamtdruck}}$$

Newtonsches Reibungsgesetz
Viskosität zwischen Platten

$$F = \eta \cdot A \cdot \frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}x}$$

$$\left[\mathrm{N} = \frac{\mathrm{N\,s}}{\mathrm{m}^2} \cdot \mathrm{m}^2 \cdot \frac{\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}}{\mathrm{m}}\right]$$

Geschwindigkeit im Stromröhrchen

$$v(r) = \frac{p_1 - p_2}{4\eta l}(R^2 - r^2)$$
$$\left[\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} = \frac{\mathrm{Pa}}{\frac{\mathrm{N\,s}}{\mathrm{m}^2}\mathrm{m}}\mathrm{m}^2 = \frac{\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}^2}}{\frac{\mathrm{N\,s}}{\mathrm{m}^2}\mathrm{m}}\mathrm{m}^2 = \frac{\mathrm{m}^2}{\mathrm{m\,s}}\right]$$

$p_{1,2}$:	Druck vor und hinter dem Röhrchen
R:	Radius des umschließenden Rohres
r:	Radius des Röhrchens

Antriebskraft Rohrströmung

$$F = \pi \cdot r^2 \cdot \Delta p$$

$$\left[\mathrm{N} = \mathrm{m}^2 \cdot \mathrm{Pa} = \mathrm{m}^2 \cdot \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}^2} \right]$$

Gesetz von Hagen-Poiseuille

$$\dot{M} = \frac{\varrho \cdot \pi}{8 \cdot \eta} \cdot \frac{\Delta p}{l} \cdot R^4 \sim R^4$$

$$\left[\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{s}} = \frac{\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3}}{\frac{\mathrm{N\,s}}{\mathrm{m}^2}} \cdot \frac{\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}^2}}{\mathrm{m}} \cdot \mathrm{m}^4 = \frac{\mathrm{N\,kg\,m}^6}{\mathrm{N\,s\,m}^6} \right]$$

$\dot{M}$: Massenstromstärke
Δp: Druckdifferenz vor und hinter dem Rohr
R: Radius des Rohres

Stokesches Gesetz für Kugel

$$F_{\mathrm{R}} = 6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot r \cdot v$$
$$\left[\mathrm{N} = \frac{\mathrm{N\,s}}{\mathrm{m}^2} \cdot \mathrm{m} \cdot \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}\right]$$

$v = \text{const für:}$

$$mg - |F_{\mathrm{A}}| = 6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot r \cdot v = F_{\mathrm{R}}$$

Reynolds-Zahl

$$Re = \frac{\varrho \cdot L \cdot v}{\eta}$$

$$\left[1 = \frac{\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3} \cdot \mathrm{m} \cdot \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}}{\frac{\mathrm{N\,s}}{\mathrm{m}^2}} = \frac{\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{s\,m}}}{\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{s\,m}}} \right]$$

Sobald *Re* einen bestimmten Grenzwert überschreitet (z.B. 2300 bei Rohrströmung), schlägt die Strömung von laminar in turbulent um.

Luftwiderstand

$$F = c_\mathrm{w} \cdot \frac{\varrho}{2} \cdot v^2 \cdot A$$

$$\left[\mathrm{N} = 1 \cdot \frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3} \cdot \frac{\mathrm{m}^2}{\mathrm{s}^2} \cdot \mathrm{m}^2\right]$$

c_w: Strömungswiderstandskoeffizient
A: Stirnfläche

Bewegungsgleichung harmonischer Oszillator

$$m\ddot{x} + Dx = 0$$

Bewegungsgleichung
freier, gedämpfter Oszillator

$$m\ddot{x}+\beta\dot{x}+Dx=0$$

harmonischer Oszillator

$$x(t) = x_0 \cos(\omega_0 t) + \frac{v_0}{\omega_0} \sin(\omega_0 t)$$

gedämpfter Oszillator

$$y(t) = y_0 \mathrm{e}^{-\delta t} \sin\left(\sqrt{\omega_0^2 - \delta^2} \cdot t + \varphi_0\right)$$

gedämpfte Schwingung
Reibung Stokesche Kugel

$$\beta = -6\pi\eta r$$

Kreisfrequenz physikalisches Pendel

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{mgS}{\vartheta}}$$

Bewegungsgleichung
erzwungene Schwingung

$$m\ddot{x} + \beta\dot{x} + Dx = DL_0 \sin(\omega t)$$

erzwungene, gedämpfte Schwingung

$$\frac{x_0}{L_0} = \frac{\omega_0^2}{\sqrt{\left(\omega_0^2 - \omega^2\right)^2 - \left(2\delta\omega\right)^2}}$$

x_0:	Amplitude der Schwingung
L_0:	Amplitude des Erregers
ω_0:	Eigenfrequenz der Schwingung
ω:	Frequenz des Erregers
δ:	Dämpfung

Schwebungsfreqzenz
schwache Kopplung

$$\omega_{schwebung} = \omega_1 - \omega_2$$

D_{12}:	Kopplungsfeder ($D_{12} \ll D$)
D:	Randfeder
m:	$m_{Pendel2} = m_{Pendel1}$

gleichpasige, gekoppelte
Schwingung

$$\omega_1 = \omega_0 = \sqrt{\frac{D}{m}}$$

D_{12}:	Kopplungsfeder (immer entspannt)
D:	Randfeder
m:	$m_{Pendel2} = m_{Pendel1}$

gegenphasige, gekoppelte
Schwingung

$$\omega_2 = \sqrt{\frac{D + 2 \cdot D_{12}}{m}}$$
$$= \sqrt{\omega_0 + 2\frac{D_{12}}{m}}$$

D_{12}:	Kopplungsfeder
D:	Randfeder
m:	$m_{Pendel2} = m_{Pendel1}$

Wellengleichung

$$y(t, x) = y_0 \sin(\omega t - kx)$$

Schallgeschwindigkeit in Stab

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

E: Elastizitätsmodul
ρ: Dichte

Dopplereffekt
bewegte Quelle

$$f' = \frac{f_0}{1 - \frac{v}{c}}$$

f':	empfangen Frequenz
f:	gesendete Frequenz
v:	Geschwindigkeit Quelle
c:	Schallgeschwindigkeit

Dopplereffekt bewegter Beobachter

$$f' = f_0(1 + \frac{v}{c})$$

f':	empfangen Frequenz
f:	gesendete Frequenz
v:	Geschwindigkeit Beobachter
c:	Schallgeschwindigkeit

Wellenzahl

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

λ: Wellenlänge

Phasengeschwindigkeit

$$c = \frac{\lambda}{T} = \frac{\omega}{k}$$

$T = \frac{2\pi}{\omega}$:	"Ort" um λ gewandert
k:	Wellenzahl
λ:	Wellenlänge

0. Hauptsatz der Thermodynamik

Zwei Körper im thermischen Gleichgewicht haben die selbe Temperatur

1. Hauptsatz der Thermodynamik

Es ist unmöglich, Energie aus dem nichts zu gewinnen.
Ein perpetuum mobule erster Art ist unmöglich.

2. Hauptsatz der Thermodynamik

Wärmeenergie fließt von selbst immer nur zum kälteren Körper, aber nie umgekehrt.
Ein perpetuum mobule erster Art ist unmöglich.

3. Hauptsatz der Thermodynamik

Am absoluten Nullpunkt ist die Entropie 0. Es ist unmöglich, diesen zu erreichen.

Längenausdehnung

$$\frac{\Delta l}{l} = \alpha \cdot \Delta T$$

l:	Länge
Δl:	Längenänderung
ΔT:	Temperaturänderung
α:	Wärmeausdehnungskoeffizient

Volumenausdehnung

$$\frac{\Delta V}{V} = \gamma \cdot \Delta T$$

V:	Volumen
ΔV:	Volumenänderung
ΔT:	Temperaturänderung
γ:	Volumenausdehnungskoeffizient

Volumenausdehnungskoeffizient Festkörper

$$\gamma = 3 \cdot \alpha$$

γ: Volumenausdehnungskoeffizient
α: Wärmeausdehnungskoeffizient

spezifische Wärme, Wärmekapazität

$$\Delta Q = c \cdot m \cdot \Delta T = C \cdot \Delta T$$
$$C = c \cdot m$$

ΔQ:	Wärmeenergie
ΔT:	Temperaturänderung
c:	spezifische Wärme $[\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg\,K}}]$
C:	Wärmekapazität $[\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{K}}]$

ideale Gasgleichung

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

p:	Druck
V:	Volumen
n:	Stoffmenge
R:	universelle Gaskonstante $[\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{mol\,K}}]$
T:	Temperatur in Kelvin
N:	Teilchenzahl
$k = \frac{R}{N_A}$:	Boltzmann-Konstante

Teilchenzahl

$$N = n \cdot N_A$$

n:	Stoffmenge
N_A:	Avogadro-Konstante $6,022045 \cdot 10^{23} \frac{Teilchen}{mol}$

Wärmebillanz Zustandsänderung

$$\Delta U = \Delta Q \cdot \Delta W$$

ΔU:	innere Energie
ΔQ:	Wärmeenergie
ΔW:	mechanische Arbeit

innere Energie

$$\Delta U = \frac{f}{2} \cdot n \cdot R \cdot T \Delta T$$

f:	Freiheitsgrade Teilchen
n:	Stoffmenge
R:	universelle Gaskonstante $[\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{mol\,K}}]$
T:	Temperatur in Kelvin

Freiheitsgrade

einatomiges Gas	$f = 3$
zweiatomiges Gas	$f = 5$
Atom in Festkörper	$f = 6$

Boltzmann-Konstante

$$k = \frac{R}{N_A} = 1,3807 \cdot 10^{-23}\,\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{K}}$$

R:	universelle Gaskonstante $[\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{mol\,K}}]$
N_A:	Avogadro-Konstante $[\frac{1}{\mathrm{mol}}]$

Zugeführte Wärmeenergie
isochor, isobar

$$\begin{aligned}
\Delta Q &= n \cdot C_{v,p} \cdot \Delta T \\
C_v &= \tfrac{f}{2} R && \text{(isochor)} \\
C_p &= \tfrac{f+2}{2} R && \text{(isobar)}
\end{aligned}$$

Adiabatenkoeffizient

$$\kappa = \frac{f+2}{f} = \frac{C_p}{C_v}$$

Isotherme Energieänderung

$$\Delta W = n \cdot R \cdot T \cdot \ln \frac{V_2}{V_1} = -\Delta Q$$

n: Stoffmenge
R: universelle Gaskonstante $[\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{mol\,K}}]$
T: Temperatur in Kelvin
V_1: Volumen t_0
V_2: Volumen t_1

elektrische Ladung

$$Q = 1\mathrm{C} = 1\mathrm{Coulomb}$$
$$e = 1{,}0602 \cdot 10^{-19}\,\mathrm{C}$$

Q: elektrische Ladung
e: Elementarladung

Coulomb-Kraft
elektrostatische Kraft

$$F_c = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$$

ε_0: elektrische Feldkonstante
F_c: $\vec{F_c} \| \vec{r}$
r: Abstand der Punktladungen

elektrische Feldkonstante

$$\varepsilon_0 = 8{,}854 \cdot 10^{-12}\ \frac{\mathrm{A\,s}}{\mathrm{V\,m}}$$

$$1\ \frac{\mathrm{A\,s}}{\mathrm{V\,m}} = 1\ \frac{\mathrm{C}}{\mathrm{V\,m}} = 1\ \frac{\mathrm{F}}{\mathrm{m}}$$

$$= 1\ \frac{\mathrm{A^2\,s^4}}{\mathrm{kg\,m^3}} = 1\ \frac{\mathrm{C^2}}{\mathrm{N\,m^2}}$$

potentielle Energie
elektrisches Feld

$$W_{pot} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r}$$

ε_0: elektrische Feldkonstante
r: Abstand der Punktladungen

elektrisches Feld
Punktladung

$$\vec{E}(\vec{r}) = \frac{\vec{F_C}(\vec{r})}{Q}$$
$$\vec{E}_{Q_1}(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{Q_1}{r^2}$$

elektrisches Potential

$$\varphi(\vec{r}) = \frac{W_{pot}}{Q}$$

$$\varphi_{Q_1}(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{Q_1}{r}$$

elektrische Spannung

$$
\begin{aligned}
U &= \Delta\varphi \\
&= \int_{r1}^{r2} \vec{E} \cdot \vec{ds}
\end{aligned}
$$

$$
\left[\mathrm{V} = \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{C}}\right]
$$

elektrische Arbeit

$$
\begin{aligned}
W &= Q \cdot U \\
&= \int_{r1}^{r2} \vec{F} \cdot \vec{ds} \\
&= Q \cdot \int_{r1}^{r2} \vec{E} \cdot \vec{ds}
\end{aligned}
$$

Raumladungsdichte

$$\rho = \frac{Q}{V} \quad \left[\frac{\mathrm{C}}{\mathrm{m}^2}\right]$$

Flächenladungsdichte

$$\sigma = \frac{Q}{A} \quad \left[\frac{\mathrm{C}}{\mathrm{m}^3}\right]$$

Längenladungsdichte

$$\lambda = \frac{Q}{l} \quad \left[\frac{\mathrm{C}}{\mathrm{m}}\right]$$

E-Feld Kugelkondensator

$$E(r) = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2} \text{ für } r \ll R_0$$

ε_0:	elektrische Feldkonstante
Q:	Ladung der Kugel
r:	Kugelradius
R_0:	Entfernung Kugelmittelpunkt

Flächenladungsdichte

$$\rho = \varepsilon_0 \cdot E_\perp$$

elektrische Verschiebungsdichte

$$\vec{D} = \varepsilon_0 \varepsilon_r \cdot \vec{E}$$

Kapazität Plattenkondensator

$$C = \frac{Q}{U} = \varepsilon_0 \varepsilon_r \cdot \frac{A}{d}$$

Kapazität Kugelkondensator

$$C = \frac{Q}{U} = \frac{4\pi\varepsilon_0\varepsilon_r}{\frac{1}{r_i} - \frac{1}{r_a}}$$

Kapazität Zylinderkondensator

$$C = \frac{Q}{U} = \frac{2\pi\varepsilon_0\varepsilon_r l}{\ln(\frac{r_a}{r_i})}$$

gespeicherte Energie Kondensator

$$W = \frac{1}{2} C U^2 = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C}$$

energiedichte Elektrisches Feld

$$w = \frac{W}{V} = \frac{1}{2}\varepsilon_0\varepsilon_r E^2$$

elektrischer Strom

$$I = \frac{Q}{t}$$

$$\left[\mathrm{A} = \frac{\mathrm{C}}{\mathrm{s}}\right]$$

elektrische Stromdichte

$$j = \frac{I}{A} = \frac{E}{\sigma}$$

Leitfähigkeit

$$R = \rho \cdot \frac{l}{A}$$

ρ: spezifischer Widerstand $[\Omega\,\mathrm{m}]$

Erregung ∞-Draht

$$H = \frac{I}{2\pi r}$$

Erregung lange, dünne Zylinderspule

$$H = I\frac{N}{l}$$

N: Windungszahl
l: Länge

Erregung Kreisstrom

$$H = \frac{I}{2r}$$

magnetische Feldkonstante

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-17} \, \frac{\mathrm{V\,s}}{\mathrm{A\,m}}$$

magnetische Flussdichte

$$\vec{B} = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \vec{H}$$

$$\left[1\,\mathrm{T} = 1\,\frac{\mathrm{V\,s}}{\mathrm{A\,m}}\frac{\mathrm{A}}{\mathrm{m}} = 1\,\frac{\mathrm{V\,s}}{\mathrm{m}^2} = 10^4\,\mathrm{G} \right]$$

$\vec{H}$: magnetische Erregung
μ_0: magnetische Feldkonstante
μ_r: magnetische Permeabilität

Lorentz-Kraft

$$\vec{F}_L = q \cdot \vec{v} \times \vec{B}$$

Lorentz-Kraft
Draht $\perp$ Magnetfeld

$$F_L = IlB$$

I: Stromstärke
l: Leiterlänge im Magnetfeld
B: magnetische Flußdichte

Bahnen freier Ladungsträger im Magnetfeld

(a) $\vec{v} \| \vec{B} \Rightarrow \vec{v} = \text{const}$

$F_L = 0$

(b) $\vec{v} \perp \vec{B} \Rightarrow \vec{v} \neq \text{const}, |\vec{v}| = \text{const}$

$r = \frac{m \cdot V}{qB}$

(c) $\vec{v}$ beliebig $\Rightarrow \vec{v} = \vec{v}_\perp + \vec{v}_\|$

Überlagerung (a) und (b)

Drehmoment auf Leiterschleife

$$\vec{M} = I \cdot \underbrace{\vec{r} \times \vec{l}}_{=\vec{A}} \times \vec{B}$$

$$= I \cdot \vec{A} \times \vec{B} = \vec{m} \times \vec{B}$$

mit $\vec{m} = I \times \vec{A}$ (magnetischer Moment)

Hallspannung

$$U_H = A_H \frac{I \cdot B}{d}$$

A_H: Hall-Koeffizient
d: dicke des Plättchens

Induzierte Spannung

$$
\begin{array}{ll}
\text{Änderung } A & U_{ind} = -NB \cdot \dfrac{\delta A}{\delta t} \\
\text{Änderung } B & U_{ind} = -NA \cdot \dfrac{\delta B}{\delta t} \\
\text{Änderung } \varphi & U_{ind}(t) = N \cdot B \cdot A \cdot \omega \cdot \sin(\omega t)
\end{array}
$$

induktivität lange Zylinderspule

$$L = \mu_r \cdot \mu_0 \cdot A \cdot \frac{N^2}{l}$$

$$[L] = 1\,\frac{\mathrm{V\,s}}{\mathrm{A}}$$

Selbstinduktion Spule

$$U_{ind} = -L \cdot \frac{\delta I}{\delta t}$$

Energie in Spule

$$W = \frac{1}{2}LI^2$$

Energiedichte im Magnetfeld

$$w = \frac{1}{2}\mu_r\mu_0 H^2 = \frac{1}{2}HB$$

$$=$$

$$=$$

$$=$$

Hinweise zur Nutzung dieser Karteilernkarten:

Die Karten wurden von allen Beteiligten nach bestem Wissen und Gewissen erstellt, für Fehlerfreiheit und Klausurgelingen kann aber keine Garantie gegeben werden.