Physik

1. Klassische Mechanik

1.1. Bewegungen

Strecke	Geschwindigkeit
$x = \frac{1}{2}at^2 + v_0 t + x_0$	$v = a \cdot t + v_0$
$x =$ const. $\Rightarrow v = 0$	$v =$ const. $\Rightarrow a = 0$

x: Strecke, v: Geschwindigkeit, a: Beschleunigung; $\dot{x} = v$ $\ddot{x} = a$

1.1.1. Freier Fall

$h = \frac{1}{2}gt^2$ $v_E = \sqrt{2gh}$
$\Delta t = \sqrt{2h/g}$

1.1.2. Ebene

$a = g \sin\alpha$ $\Delta s = \frac{1}{2}gt^2 \sin\alpha$
$v_E = \sqrt{2gh}$

1.1.3. Senkrechter Wurf

$h = v_0 t - \frac{1}{2}gt^2 + h_0$
$v_M = \sqrt{\frac{1}{2}}v_0$ $v^2 = v_0^2 - 2g(h_0 - h)$
$v = v_0 - g \cdot t$
$t_h = \frac{v_0}{g}$ $x_h = \frac{v_0^2}{2g}$

1.1.4. Waagrechter Wurf

$v_y = gt$ $v_x = v_0$
$s_y = h_0 - \frac{1}{2}gt^2$ $s_x = v_0 \cdot t_F$
$v = \sqrt{v_0^2 + v_y^2}$
$s_y = h_0 - \frac{g \cdot s_x^2}{2v_0^2}$

1.1.5. Schräger Wurf

$v_x = v_0 \cos\alpha$ $v_y = v_0 \sin\alpha - gt$
$v_h = \sqrt{v_0^2 - 2gh}$
$s_x = v_0 \cos\alpha t$ $s_y = v_0 \sin\alpha t - \frac{1}{2}gt^2 + h_0$
$s_{x,\text{max}} = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}$
$t_w = \frac{2v_0 \sin\alpha}{g}$ $h_{\text{max}} = \frac{v_0^2 \sin^2\alpha}{2g} + h_0$

Newton'sche Axiome

1. Masse ist träge. Jeder Körper behält seinen Bewegungszustand bei.
2. $F = m \cdot a = \frac{\mathrm{d}p}{\mathrm{d}t} = \dot{p}$
3. $F_{12} = -F_{21}$

Intertialsystem: Koordinatensysteme die sich mit $v = const.$ zueinander bewegen.

1.2. Kraft, Energie, Impuls

1.2.1. Kraft

Federkraft	$F_F = -k(x - x_0)$
Gewichtskraft	$F_G = mg$
	$F_N = mg\cos\alpha$
	$F_H = mg\sin\alpha$
Zentripetalkraft	$F_Z = m\frac{v^2}{r} = m\omega^2 r = p\omega$
Reibungskraft	$F_R = \mu F_{(N)} = \mu mg \cdot \cos\alpha$

1.2.2. Energie

$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{p^2}{2m}$
$E_{\text{pot}} = mgh$
$E_F = \frac{1}{2}k(x - x_0)^2$
$E_{\text{rot}} = \frac{1}{2}I\omega^2$

1.2.3. Arbeit

$W = \Delta E = F \cdot s \cdot \cos\alpha$

1.2.4. Leistung

$$P = \underbrace{\frac{\Delta W}{\Delta t}}_{\text{mittlere Leistung}} = \underbrace{\frac{F \cdot \Delta s}{\Delta t}}_{\text{momentane Leistung}} = F \cdot v$$

$\eta = \frac{E_{nutz}}{E_{\text{zu}}} = \frac{P}{P}$

1.2.5. Impuls

$p_{\text{vorher}} = p_{\text{nachher}}$

$p = m \cdot v$

Mittlere Kraft	$\overline{F} = \frac{\Delta p}{\Delta t}$
Elastischer Stoß	$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 u_1 + m_2 u_2$
Unelastischer Stoß	$m_1 v_1 + m_2 v_2 = (m_1 + m_2)u$

1.2.6. Raketengleichung

$F = ma = \frac{\mathrm{d}m}{\mathrm{d}t}v_a + F_{\text{ext}}$
$\vec{v} = \vec{v_0} + \vec{v_a}\ln|\frac{M_G}{m}|$
$m_0 = M + m_a$

1.3. Planetenbewegungen

1.3.1. Gravitation

$U_{\text{pot}} = -G\frac{m_E \cdot m}{r}$ $r > r_E$
$\vec{F}_G = G\frac{m_1 m_2}{r^2} \cdot \vec{e_r}$
$g = G \cdot \frac{m}{r^2}$
$W_G = Gm_1 m_2(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2})$
$F_G \,||\, r \to M = r \times F = 0$

Satellit-Erde: $\frac{1}{2}m_S v^2 = G\frac{m_S m_E}{R_E}$

Stabile Umlaufbahn: $\omega_S = \sqrt{\frac{G \cdot m_E}{R_E^3}}$ $v = \omega R_E$

Geostat. Umlaufbahn: $r_g = \sqrt[3]{G \cdot m_E \cdot \frac{T_g^2}{4\pi^2}}$ $h_g = r_g - R_E$

Keplersche Gesetze

1. Keplersches Gesetz: Planetenbahnen sind Ellipsen um Stern in einem der beiden Brennpunkte
2. Keplersches Gesetz: In gleicher Zeit wird die gleiche Fläche an einer Bahn aufgespannt
$\frac{dA}{dt} = \frac{1}{2}\vec{r}\vec{v}sin\alpha = \frac{1}{2}\vec{r} \times \vec{v} = \frac{1}{2}m|\vec{L}| \Rightarrow$ Der Drehimpuls ist zeitlich konstant
3. Keplersches Gesetz: $\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}$ mit T: Umlaufzeit, a: Große Halbachse

1.4. Drehungen

1.4.1. Drehmoment

$M = F \times r = F \cdot r \cdot \sin\alpha$
$M = I \cdot \dot{\omega} = \frac{\mathrm{d}L}{\mathrm{d}t}$

1.4.2. Trägheitsmomente

Zylindermantel	$J = mr^2$	Drehachse ist Körperachse
Hohlzylinder	$J = \frac{1}{2}m(r_a^2 + r_i^2)$	Drehachse ist Körperachse
Massive Kugel	$J = \frac{2}{5}mr^2$	Drehachse durch Mittelpunkt

1.4.3. Drehimpuls

$L = r \times p = I \cdot \omega = mrv$

1.5. Corioliskraft

$$\boxed{\vec{F_c} = 2m(v \times \omega) = 2mvw \cdot \sin(v\angle\omega)}$$

Rechte-Hand-Regel: Daumen ist $\vec{v}$, Zeigefinger ist $\vec{\omega}$ (von Süden nach Norden)
$a_c = -2(\omega \times v) = 2v\omega$
$\Delta x = \frac{2}{3}\cos\beta\omega h\sqrt{\frac{2h}{g}}$
$\Delta y = -\omega^2 R\cos\beta\sin\beta\frac{h}{g}$
$R_E = 6370\,\text{km}$ $r = R_E\cos\varphi$ $\omega_E = \frac{2\pi}{86400\text{s}}$
F_C: Auf der Nordhalbkugel nach rechts. Auf der Südhalbkugel nach links.

2. Harmonische Schwingungen

2.1. Schwingungsgleichung

$x(t) = A_0\cos(\omega t + \varphi)$
$\dot{x}(t) = -A_0\omega\sin(\omega t + \varphi)$
$\ddot{x}(t) = -A_0\omega^2\cos(\omega t + \varphi)$

2.2. Frei ungedämpft

Bewegungsgleichung: $\ddot{x} + \omega_0^2 x = 0$

$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi}$ $y_0 = \frac{mg}{k}$ $v_0 = \hat{x}\sqrt{\frac{k}{m}}$

2.2.1. Federpendel

$\omega_0^2 = \frac{\text{Rücktreibende Kraft}}{\text{Einheitsmasse} \times \text{Einheitsauslenkung}} = \frac{k}{m} \to \omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$
$A_0 = v_0\sqrt{\frac{m}{k}} = \frac{v_0}{\omega_0}$
Bewegungsgleichung: $\ddot{x} + \frac{k}{m}x = 0$

2.2.2. Fadenpendel

Kleinwinkelnäherung: $\alpha << 1$
$\omega_0 = \sqrt{gl}$
$l = \frac{T_0^2 g}{4\pi^2}$ $h = l - l\cos\alpha$
$A_0 = v_0\sqrt{\frac{l}{g}}$ $E_{\text{ges}} = mgl(\frac{3}{2} - \cos\alpha)$
Bewegungsgleichung: $\ddot{x} + \frac{g}{l}x = 0$

2.2.3. Torisionsschwingungen

$\omega_0 = \sqrt{\frac{k_t}{I}} = \sqrt{\frac{k_t}{mr^2}}$
$I = \frac{T_0^2}{4\pi^2}k_t$ $T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{I}{k_t}}$
Bewegungsgleichung: $\ddot{x} + \frac{k_t}{I}x = 0$

2.3. Frei gedämpft

Stokesche Reibungskraft	$F_R = -6\pi\eta R\vec{v} = -2m\delta\vec{v}$
Resonanzfrequenz	$\omega' = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}$
Bewegungsgleichung	$\ddot{x} + 2\delta\dot{x} + \omega_0^2 x = 0$

$\delta = \frac{b}{2m} = \frac{3\pi\eta R}{m}$

2.3.1. Schwingfall

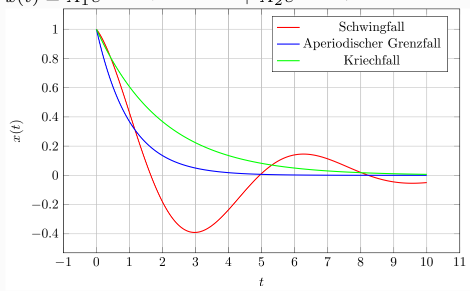
$\omega_0^2 > \delta^2$
$\omega' = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2} < \omega_0$
$x(t) = Ae^{-\delta t}\cos(\omega' t)$

2.3.2. Aperiodischer Grenzfall

$\omega_0^2 = \delta^2$
$\omega' = 0$
$x(t) = Ae^{-\delta t} \cdot (1 + \delta t)$

2.3.3. Kriechfall

$\omega_0^2 < \delta^2$
$\omega' = i\delta \pm i\sqrt{\delta^2 - \omega_0^2}$
$x(t) = A_1 e^{-(\delta + \sqrt{\delta^2 - \omega_0^2})t} + A_2 e^{-(\delta - \sqrt{\delta^2 - \omega_0^2})t}$



2.4. Erzwungen gedämpft

Bewegungsgleichung: $\ddot{x} + 2\delta\dot{x} + \omega_0^2 x = F_0 e^{-i\Omega t}$
$\hat{x}(t) = Ae^{i(\Omega t + \varphi}$
$A(\Omega) = \frac{F_0/m}{\sqrt{(\omega_0^2 - \Omega^2)^2 + (\frac{b\Omega}{m})^2}}$

Resonanzfälle

1. $\Omega < \omega_0$
$A \to \frac{F_0 m^{-1}}{\omega_0^2} = \frac{F_0}{k}$ $\Delta\varphi = 0$ $\Omega \to 0$
2. $\Omega \approx \omega_0$ (Katastrophe)
$A_{\text{max}} = \frac{F_0}{b\omega_0} = \frac{F_0/m}{2\delta\sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}} \to \infty$
$\Omega_{\text{max}} = \sqrt{\omega_0^2 - \frac{1}{2}(\frac{b}{m})^2} = \sqrt{\omega_0^2 - 2(\frac{3\pi\eta R}{m})^2} \to \omega_0$
$\Delta\varphi = \frac{\pi}{2}$ $\delta \to 0$
3. $\Omega > \omega_0$
$A \to 0$ $\Delta\varphi = \pi$ $\Omega \to \infty$

3. Wellen

3.1. Allgemeines

Allgemeine Wellengleichung: $\frac{1}{c^2}\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \Delta u$

$c = \lambda \cdot f = \frac{\omega}{k} = \frac{x}{\Delta t}$

$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T} \qquad k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{\omega}{c}$

Funktion: $y(x,t) = \hat{y}\sin(kx - \omega t + \phi)$

3.2. Doppler-Effekt

1. Beobachter **bewegt**, Quelle **ruht**
   - $\rightarrow$ Annäherung: $f_B = f_Q(1 + \frac{v_B}{c})$
   - $\rightarrow$ Entfernung: $f_B = f_Q(1 - \frac{v_B}{c})$
2. Beobachter **ruht**, Quelle **bewegt**
   - $\rightarrow$ Annäherung: $f_B = \frac{f_Q}{1 - v_Q/c}$
   - $\rightarrow$ Entfernung: $f_B = \frac{f_Q}{1 + v_Q/c}$
3. Beobachter **bewegt**, Quelle **bewegt**

   $f_B = f_Q \frac{c \underset{-}{+} V_B}{c \underset{+}{-} V_Q}$ Q $\underset{\leftarrow\;\rightarrow}{\rightarrow\leftarrow}$ B

   $f_B = f_Q \frac{c \underset{-}{+} V_B}{c \underset{-}{+} V_Q}$ Q $\underset{\rightarrow\;\rightarrow}{\leftarrow\leftarrow}$ B
4. Quelle **bewegt** ($v > 1$ Ma)

   $\sin\alpha = \frac{\mathrm{d}w}{\mathrm{d}s} = \frac{c_s t}{v_Q t} = \frac{1}{\text{Ma}}$

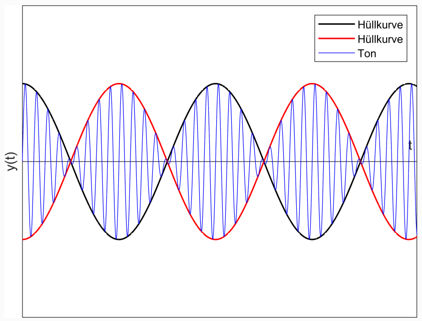
3.3. Schwebung

Tritt auf bei $f_1 \approx f_2$ ($f_1 \neq f_2$)

$f_S = |f_1 - f_2| \qquad f_R = \frac{f_1 + f_2}{2}$

$$y(t) = \underbrace{2\hat{y}\cos(2\pi \cdot \frac{f_1 - f_2}{2} \cdot t)}_{\text{Amplitudenfaktor}} \cdot \underbrace{\sin(2\pi \cdot \frac{f_1 + f_2}{2} \cdot t)}_{f_R}$$

Graph:



Die blaue Kurve ist die hochfrequente Schwingung (Ton), und die roten und schwarzen Kurven repräsentieren die Hüllkurven der Schwebung (Lautstärke).

3.4. Gekoppelte Wellen

1. **Gleichphasig** $(x_1 = x_2) : \omega_1 = \omega_0 = \sqrt{\frac{K}{m}}$
2. **Gegenphasig** $(x_1 \neq x_2) : \omega_2 = \sqrt{\omega_0 + \frac{2K_{12}}{m}}$
3. **Allgemein**

   $x_1(t) = x_0 \cos\left(\frac{\omega_0 + \omega_2}{2} t\right) \cos\left(\frac{\omega_0 - \omega_2}{2} t\right)$

   $x_2(t) = x_0 \sin\left(\frac{\omega_0 + \omega_2}{2} t\right) \sin\left(\frac{\omega_0 - \omega_2}{2} t\right)$

3.5. Interferenz

$f_1 = f_2 \qquad A_1 = A_2 \qquad \varphi_1 \neq \varphi_2$

Konstruktiv: $\Delta\varphi = 2\pi \cdot n$

Destruktiv: $\Delta\varphi = (2n+1)\pi$

Allgemein:

- Gangunterschied $\Delta s = a\sin\alpha = \frac{x}{n}\sin\alpha$
- Phasendifferenz $\varphi = 2\pi\frac{\Delta}{\lambda} = 2\pi a\frac{\sin\alpha}{n\lambda}$
- Winkel Max: $\sin\alpha_n = \pm n \cdot \frac{\lambda}{a}$
- Winkel Min: $\sin\alpha_n = \pm(n + \frac{1}{2}) \cdot \frac{\lambda}{a}$

3.5.1. Doppelspalt

Int max: $\Delta s = \lambda n$ (Konstruktiv)

Int min: $\Delta s = (2n+1)\frac{\lambda}{2}$ (Destruktiv)

$\Delta s = a\sin\alpha' \approx a\frac{x}{d}$

Kleinwinkelnäherung: $\frac{x}{d} \approx \tan\alpha \approx \sin\alpha \approx \alpha \approx \alpha'$

$\Rightarrow \frac{\Delta s}{a} = \frac{x}{d}$

3.5.2. Gitter

Hauptmaximum: $\sin\alpha_{\text{max}} = m\frac{\lambda}{d}$

Einfachspalt: $\sin\alpha_{\text{min}} = \pm m\frac{\lambda}{a}$

3.6. Reflexion und Wellen in einem Medium

Art	Skizze	Phase
Festes Ende	Knoten am Ende	$\varphi = \pi$
Loses Ende	Bauch am Ende	$\varphi = 0$

Bei jeder zusätzlichen Oberschwingung wird die Welle gestaucht.
Die obigen Bedingungen müssen dabei aber weiterhin gelten!
Tipp: Skizze der Welle im Medium zeichnen

4. Optik

4.1. Rexlexion und Brechnung

$f_m \cdot \lambda_m = c_m \qquad \lambda_m = \frac{\lambda_0}{m}$

Berchnungsindex $n = \frac{c_0}{c_m}$

4.1.1. Brechung

Gesetz von Snellius: $\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{c_1}{c_2}$

A) **zum Lot** (dünn nach dicht)
   $\sin\alpha > \sin\beta \qquad c_1 > c_2$

B) **vom Lot** (dicht nach dünn)
   $\sin\alpha < \sin\beta \qquad c_1 < c_2$

4.1.2. Totalreflexion

Nur möglich wenn $n_1 > n_2$ und $\theta > \theta_{\text{krit}}$

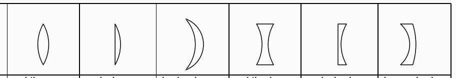
$\theta_{\text{krit}} = \arcsin\frac{n_2}{n_1}$

Einfallswinkel = Ausfallswinkel

4.2. Linsen

Linsengleichung $D = \frac{1}{f} = \frac{1}{g} + \frac{1}{b}$

Vergößerung $V = \frac{B}{G} = -\frac{b}{g} = \frac{\tan\alpha}{\tan\alpha_0}$

Linsenform						
Bezeichnung	bikonvex	plankonvex	konkav-konvex	bikonkav	plankonkav	konvex-konkav
Radien	$r_1 > 0 \quad r_2 < 0$	$r_1 = \infty \quad r_2 < 0$	$r_1 < r_2 < 0$	$r_1 < 0 \quad r_2 > 0$	$r_1 = \infty \quad r_2 > 0$	$r_2 < r_1 < 0$
Brennweite	$f' > 0$	$f' > 0$	$f' > 0$	$f' < 0$	$f' < 0$	$f' < 0$

4.2.1. Hohlspiegel

$f = \frac{r}{2} \qquad V = \frac{B}{G} = -\frac{n_1 b}{n_2 g}$

$D = \frac{n_1}{g} + \frac{n_2}{b} = \frac{n_2 - n_1}{r}$

$g \to \infty : b = f_B = \frac{n_2 r}{n_2 - n_1}$

$b \to \infty : g = f_G = \frac{n_1 r}{n_2 - n_1}$

4.2.2. Dünne Linsen

$\frac{1}{f} = \frac{1}{g} + \frac{1}{b} = (\frac{n_2}{n_1} - 1)(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2})$

Konvexe Linse (Sammellinse)
Korrektur von Weitsichtigkeit

$V_{\text{sammel}} = \frac{b}{g} = \frac{b-f}{f}$

Abbildung:

$\infty > g > 2f$	$\Rightarrow$	$2f > b > f$	$G > B$	real und invertiert
$g = 2f$	$\Rightarrow$	$2f = b$	$G = B$	real und invertiert
$2f > g > f$	$\Rightarrow$	$\infty > b > 2f$	$G < B$	real und invertiert
$0 < g < f$	$\Rightarrow$	$-b > g$	$G < B$	virtuell und aufrecht

Konkave Linse (Zerstreuungslinse)
Korrektur von Kurzsichtigkeit
Abbildung:

$\rightarrow$ Bild immer zwischen Brennpunkt und Linse
$\rightarrow$ Bild immer verkleinert ($G > B$)
$\rightarrow$ Bild immer virtuell und aufrecht

4.2.3. Dicke Linsen

$\frac{1}{f} = (\frac{n}{n_0} - 1) \cdot (\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} + \frac{(n - n_0)d}{n \cdot r_1 r_2})$

$h_1 = -\frac{f(n-1)d}{n \cdot r_2} \qquad h_2 = -\frac{f(n-1)d}{n \cdot r_1}$

4.2.4. Linsensysteme

- **Lochkamera**
  $S = \frac{D(b+g)}{g}$
- **Lupe**
  $V = \frac{\tan\alpha_L}{\alpha_0} = \frac{G/f}{G/s_0} = \frac{s_0}{f}$ mit $s_0 = 25\,\text{cm}$
- **Fernrohr**
  $V = \frac{f_{ob}}{f_{ok}}$, $g \approx \infty$, $b \approx f$
  $V_T = \frac{f}{g-f} = \frac{b-f}{f} \approx 0$
- **Mikroskop**
  $V = V_{ok} \cdot V_{ob} = \frac{(d - f_{ob})s_0}{f_{ob} \cdot f_{ok}} = -\frac{l}{f_{ob}} \cdot \frac{s_0}{f_{ok}}$
- **Auflösung Mikroskop**
  mit Spalt b: $\delta_{\text{min}} = \alpha = \arcsin\frac{\lambda}{b} \approx \frac{\lambda}{b}$ (Abbé Limit)
  für runde Linse mit Durchmesser D: $\delta_{\text{min}} = D \cdot \sin\alpha = 1,22\frac{\lambda}{D}$ (Rayleigh-Kriterium)

4.3. Absorption und Polarisation

4.3.1. Absorption

Berchungsindex mit Absorption: $n \to \tilde{n} = n - i\kappa$
Re($\tilde{n}$)= n: Brechung
Im($\tilde{n}$)= κ: Absorption

Absorptionsgesetz von Lambert-Beer:
$I = I_0 e^{-\alpha \cdot d} = I_0 e^{-\frac{2\omega}{c}\kappa d}$

4.3.2. Polarisation

Gesetz von Malus (für polarisiertes Licht): $I = I_0\cos^2\alpha$

Für unpolarisiertes Licht gilt nach einem Polarisationsfilter: $I = \frac{I_0}{2}$

5. Hydromechanik

5.1. Allgemein

Dichte	$\rho = \frac{m}{V}$
Homogener Druck	$P = \frac{F_N}{A}$
Kompressibilität	$\kappa = -\frac{1}{\Delta P} \cdot \frac{\Delta V}{V}$
Kompressionsmodul	$K = \frac{1}{\kappa}$
Reynolds-Zahl	$R_E = \frac{V \cdot \rho \cdot L}{\eta}$

5.2. Hydraulische Presse

$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$

$\frac{\Delta x_1}{\Delta x_2} = \frac{F_2}{F_1} = \frac{A_2}{A_1}$

5.3. Kontinuitätsgleichung

$\dot{m} = \rho_1 A_1 \vec{v_1} = \rho_2 A_2 \vec{v_2}$

$\dot{V} = \frac{\dot{m}}{\rho} = A\vec{v}$

5.4. Bernoulli Gleichung

$$p_B = \underbrace{p}_{\text{statischer Druck}} + \underbrace{\frac{1}{2}\rho v^2}_{\text{dynamischer Druck}} + \underbrace{\rho g h}_{\text{hydrostatischer Druck}} = \text{const.}$$

$p_{B,1} \overset{!}{=} p_{B,2}$ (Energieerhaltung der Hydromechanik)

5.5. Gesetz von Hagen-Poiseulle

Strömung durch ein Rohr

$\dot{V} = \frac{\mathrm{d}V}{\mathrm{d}t} = \frac{\pi(P_1 - P_2)}{8\eta \cdot l} R^4$

$v(r) = \frac{P_1 - P_2}{4\eta \cdot l}(R^2 - r^2)$

5.6. Torricelli

$\vec{v_2} = \sqrt{2(gh + \frac{P_1 - P_2}{\rho})}$

$P_1 = P_2 = P_\infty = 10 \times 10^5\ \text{Pa}$

5.7. Strömungen

1. **Turbulente Strömung:**
   Größe Geschwindigkeiten, geringe innere Reibung, hohe Reibung an den Wänden.
   Newtonsches Reibungsgesetz:
   $F_R = \eta A \frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}x}$
   $\eta = \eta_0 e^{T/T_0}$
   $R_e >> 1$: $F_w = F_R + F_D = c_w \cdot A \cdot \frac{\rho v^2}{2}$
2. **Laminare Strömung:**
   $R_e < 1$: Stokesche Reibung
   $F = b \cdot v = 6\pi\eta r v$

Hydrostatisches Paradoxon: Druck am Boden hängt nur von Füllhöhe, nicht Form/Menge ab.
Hydrodynamisches Paradoxon: Gleichgewicht bei $mg = \frac{1}{2}\rho v^2 A$. Wenn v steigt, dann fällt P.

6. Thermodynamik

6.1. Allgemein

Ideale Gasgleichung: $p \cdot V = \nu \cdot R \cdot T$

Stoffmenge $\nu = \frac{m}{M}$ M: mol. Masse
Wärmemenge Q
$Q = C_p(T_2 - T_1) = c \cdot m \cdot \Delta T$
c: spez. Wärmekapazität

Gesetz von Boyle + Mariotte
für $N =$ const und $T =$ const. gilt: $p_1 V_1 = p_2 V_2$

2. Gesetz von Gay Lussac
feste Gasmenge; $V =$ const.
$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$
Thermodynamische Systeme:

Offen (Verbrennungsmotor)	Austausch von Materie, Arbeit, Wärme
Geschlossen (Stirlingmotor)	Austausch von Arbeit, Wärme
Abgeschlossen (Thermoskanne)	kein Austausch mit der Umgebung

Mittlere kin. Energie eines Gases
$\overline{E}_{\text{kin}} = \frac{3}{2} k_B \cdot T$

Gesamte Translationsenergie
$U = \frac{3RT}{2M}$ U: innere Energie
Energien
$\Delta U = \int_{T_1}^{T_2} c \; \mathrm{d}T$
$W = -\int_{V_1}^{V_2} p \, \mathrm{d}V$ $\partial W = -p \cdot \partial V$

6.2. Hauptsätze der Thermodynamik

0. Zwei Körper im thermischen Gleichgewicht zu einem dritten
   $\rightarrow$ Alle stehen untereinander im Gleichgewicht
1. $\Delta U = \Delta Q + \Delta W$ $\rightarrow$ Es gibt kein Perpetuum mobile erster Art - Maschine mit $>$100% Wirkungsgrad
   Verschiedene Möglichkeiten für Zustandsänderung:
   a) Isobarer Prozess, $p =$ const.
   $\rightarrow$ im idealen Gas ist C_p konstant $\Rightarrow Q_{12} = C_p \Delta T$
   b) Isochorer Prozess: $V =$ const.
   $\rightarrow$ im idealen Gas ist C_v konstant $\Rightarrow Q_{12} = \Delta U$
   c) Isothermer Prozess: $T =$ const.
   $\Rightarrow W_{12} = -Q_{12} = \nu RT \ln \frac{V_1}{V_2}$
   Freiwerdende Wärme: $Q_{12} = -W_{12}$
   d) Adiabatischer Prozess: $\Delta Q = 0$
   In differentieller Schreibweise: $\partial U = \partial W + \partial Q$
   $\frac{T_2}{T_1} = (\nu_1 \nu_2)^{\gamma - 1}$
   $\Delta W = \Delta U = \eta \cdot C_u (T_2 - T_1)$
2. Thermische Energie ist nicht in beliebigem Maße in andere Energiearten umwandelbar. $\eta < 1$
3. Nernst'sches Theorem: $\lim_{T \to 0} S(T) = 0$ (Entropie bei 0 K ist 0)

6.3. Adiabatengleichung

$p \cdot V^\kappa =$ const. $T \cdot V^{\kappa - 1} =$ const.
Carnotscher Kreisprozess: Idee der Wärmekraftmaschine
Wirkungsgrad $\eta = \frac{|W|}{Q_{12}}$, $\eta_{\text{Carnot}} = \frac{T_2 - T_1}{T_2} < 1$
Entropieänderung ist null

6.4. Entropie

Maß der **Unordnung** in einem System
- Es ist wahrscheinlicher, dass die Unordnung zunimmt
- Kann spontan nur in eine Richtung ablaufen

$\Rightarrow$ **Entropie kann nur steigen oder konstant bleiben**

$S = -k_B \sum p_i \ln p_i$
p_i: Wahrscheinlichkeiten der Mikrozustände

$\partial S = \frac{\partial Q_{rev}}{T}$

Ideales Gas: $\Delta S = \int \partial S = n \cdot c_v \ln \frac{T_2}{T_1} + n \cdot R \ln \frac{V_2}{V_1}$

7. Quantenmechanik

7.1. Stefan Boltzmann

$$P = \epsilon \sigma A T^4 = 4\pi r^2 E_0$$

Für schwarze Körper gilt: $\epsilon = 1$
Wienscher Verschiebungssatz: $\lambda_{\text{max}} = \frac{2.898 \times 10^{-3}\ \mathrm{K}}{T} \mathrm{m}$

7.2. Weiteres zur Quantenmechanik

Licht wird abhängig von der Frequenz in Quanten der Energie $h \cdot f$ emittiert und absorbiert.