- **Berechnung von Seilkräften:** ohne Seil $+ F_S$ = mit Seil // $-m \cdot g + F_S = m \cdot a$
- **spezielle Stöße:** wenn $m_1 = m_2 = m$ $v_1' = v_2$ & $v_2' = v_1$ „IMPULSÜBERTRAG"
  " $m_2 \gg m_1$ $v_2' = v_2$ & $v_1' = 2v_2 - v_1$ „REFLEXION"
- **Momentenpol:** // Kraft = Zeigefinger // Pol = Daumen
- **Steiner:** $J_A = J_S + mr^2$ // r von SP zu SP/NSP // A||S
- **Rotation eines Zylinders:** $(J_S + mr^2) \cdot \alpha = M_A \Rightarrow (J_S + mr^2) \cdot \frac{a}{r} = m g \cdot \sin\alpha \, r$
  $\Rightarrow a = \frac{3}{2} g \cdot \sin\alpha$
- **Pendel:** Physikalisch ≙ Rotation // math. ≙ Fadenpendel → Seilmasse = 0

- **ideale Flüssigkeit:** 1.) homogen 2.) inkompressibel 3.) reibungsfrei // $p = \frac{F}{A} = \frac{N}{m^2} = Pa$ // 1 bar = 100.000 Pa
- **Zustände:**
  $F_A < F_G$ ~ $\rho_{Fl} < \rho_{Fk}$ SINKEN
  $F_A = F_G$ ~ $\rho_{Fl} = \rho_{Fk}$ SCHWEBEN
  $F_A > F_G$ ~ $\rho_{Fl} > \rho_{Fk}$ STEIGEN/SCHWIMMEN
  $I = \frac{dV}{dt} = A \cdot \vec{v}$ Strömungslinien eng ≙ schnell
- **Strömungswiderstände:**
  1. Laminar/Newton: $F_R = \eta \cdot A \cdot \frac{d\vec{v}}{dz}$ $(F_R \sim v)$
  2. Stokes (Kugel): $F_R = 6\pi\eta \, r \cdot v$
  3. Hagen-Poiseuille: $F_R = 8\pi\eta \cdot L \cdot \vec{v}$ (mittlere $\vec{v}$)

  [turbulent: $F_R = c_W \cdot \frac{\rho_{Fl}}{2} \cdot A \cdot v^2$]

- **Schwingungen:** $f = \frac{1}{T}$ // $\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$ // logarithmisches Dekrement $\Lambda = \delta \cdot T$
  Differentialgleichung: $\ddot{x} + 2\delta\dot{x} + \omega_0^2 \cdot x = 0$ … δ = Abklingkonstante $[\delta = \frac{r}{2m}]$
  ↳ bei Feder: $\ddot{x} + \frac{R}{m} \cdot \dot{x} + \frac{k}{m} \cdot x = 0$ … R = Reibungskonstante
  ⚠ wenn gedämpft $\omega_0 \to \omega = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}$ $\Rightarrow x(t) = x_{max} \cdot e^{-\delta t} \cdot \sin(\omega t + \varphi_0)$
  (A) Schwingfall: $\delta < \omega_0$
  (B) Aperiodischer Grenzfall: $\delta = \omega_0 \Rightarrow \omega = 0$
  (C) Kriechfall: $\delta > \omega_0 \Rightarrow \omega^2$ = imaginär
  
  $x(t) = x_A \cdot e^{-\delta t} \sinh(\omega t)$
  $\sinh(at) = \frac{e^{at} - e^{-at}}{2}$

$t_n = t_0 + n \cdot T$

- **erzwungene Schwingungen:** Fälle:
  1. ω_E = klein $\Rightarrow x_{max} = \frac{F_m/m}{\omega_0^2}$ = const // $\varphi = 0$
  2. ungedämpft $\omega_E = \omega_0$ // $\delta = 0 \Rightarrow x_{max} \to \infty$
  3. (") $\delta \neq 0 \Rightarrow x_{max}$ bei $\omega_E = \sqrt{\omega_0^2 - 2\delta^2}$

  } Resonanzfall
  4. ω_E = groß // $x_{max} = 0$ // $\varphi = \pi$

  ↳ hälftige maximale Auslenkung!
  $\frac{x_{i+n}}{x_i} = e^{-n \cdot \delta T} = \frac{1}{2}$
  ↳ $\frac{x(t_1)}{x(t_0)} = e^{-\delta T} = \frac{1}{2}$

- Wellen: $\frac{\partial^2 \eta}{\partial t^2} - c^2 \cdot \Delta\eta = 0$

- **Thermodynamik:** $N = 10^{23}$ = 1 mol ▸ Systeme: offen: E & Stoff // geschl.: E // abgeschl.: Ø

  U = prozess-/volumenunabhängig

  - adiabatisch: $\Delta Q = 0 \Rightarrow \Delta U = \Delta W$
  - isotherm: $\Delta U = 0 \Rightarrow \Delta Q = \Delta W$
  - isochor: $\Delta W = 0 \Rightarrow \Delta U = \Delta Q$
  - isobar: keine Änd. $\Delta U = \Delta Q - \Delta W$

  immer von heißem zu kaltem System

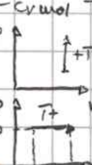
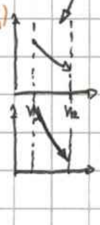
  Q = Wärmeenergie
  U = innere Energie (kann Arbeit verrichten)
  W = Arbeit

- ▸ Entropieänderungen: $\Delta S_V = \int_{Q_0}^{Q_1} \frac{1}{T} dQ$ // $dU = m \cdot c_V \cdot T$ // $m \cdot c_V \cdot \int_{T_0}^{T_1} \frac{1}{T} dT$ = // $m c_V \cdot \ln\left(\frac{T_1}{T_0}\right)$
  $\Delta S_p = \int_{U_0}^{U_1} \frac{1}{T} dU$ $dQ = dU$ ($dU = m \cdot c_V \cdot T$) // $m \cdot c_p \cdot \ln\left(\frac{T_1}{T_0}\right)$
- ▸ $dQ = dU + dW$
  $m \cdot c_p \cdot \Delta T = m \cdot c_V \cdot \Delta T + p\,dV$ | $pV = mRT$ | $\frac{d}{dV}$: $p\,dV = mR\,dT$
  $(m c_p - m c_V)\Delta T = m R \Delta T$
  $c_p - c_V = R\nu$ // $c_{p,mol} - c_{V,mol} = R$

  $dQ = T\,dS$!

  $pV = m \cdot R_S \cdot T$ // $R_S = R' = \frac{R}{A_r}$ → (rel.) Atommasse

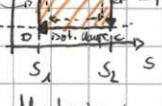
  $c_{p,mol} = \frac{\varkappa R}{\varkappa - 1}$ $c_{V,mol} = \frac{R}{\varkappa - 1}$ $c_i = -\frac{c_{i,mol}}{R}$

- ▸ pV-Diagramme:
  Isochor: $\overline{V}$ Isobar: $\overline{p}$ $W = p \cdot (V_2 - V_1)$
  
  Bei isochor keine Arbeit!
  Isotherm: $\overline{T}$ $W = mRT \cdot \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$
  Adiabatisch: $\overline{S}$ $\{\delta Q = 0\}$
  
  (∞ langsam)
  steiler (∞ schnell)
  $\varkappa = \frac{5}{3}$ 1atomig
  $\varkappa = \frac{7}{3}$ 2atomig

  polytrop dazwischen
  - $p \cdot V^\varkappa$ = const
  - $\varkappa = n$ (Polytr.koeff.)
  - $n = 1$ $\overline{T}$
  - $n = 0$ $\overline{p}$
  - $n = \infty$ $\overline{V}$
  - $n = \varkappa$ isentrop adiabaten-rev.

- ▸ Clément-Desormes [ ] $\varkappa = \frac{h_2}{h_1 - h_2}$
- ▸ Kreisprozess:  2 isochore, 2 isotherme 1.) HS = U 3.) HS = T≠0 2.) HS = S

  Mischung von Gasanteilen
  irreversibel wenn $\Delta S > 0$ // $\Delta S = k_B \cdot \ln(P)_0$, $\ln(W)$

- ▸ Carnot:  Arbeit $\delta W = -T\,dS$ ≙ ideal
  Umkehrung: Kältemaschine: FS Physik; Wärmemaschine: " } Leistungsverhältnisse

- ▸ Struktur d. Materie:
  - Plancksches Strahlungsgesetz: $I(\omega)\,d\omega = \frac{\hbar\omega^3}{\pi^2 c^2} \frac{1}{e^{\hbar\omega/kT} - 1} d\omega$
  - Partikel herauslösen: $E_{kin} = E_{Ph} - W_A = h \cdot f - W_A = \frac{m}{2}v^2 \stackrel{!}{=} e U_G$
    $U_G = \frac{h}{e} \cdot f - \frac{W_A}{e}$

- ▸ Schall: gew. Frequenz $= \underline{N} \cdot \frac{c}{2\ell}$ // Pfeifenformel
  Hertz!! ↳ Anzahl Oberschwingungen

· Kugel in Ölbad - Schwingungen: 

$F_R = 6\pi\eta r\dot{x}$ // $F_R = r\cdot v_x$

a) Bewegungsgleichung: $m\cdot\ddot{x} = 6\pi\eta r\dot{x} - k\cdot x \rightsquigarrow \ddot{x} - \underbrace{\frac{6\pi\eta r}{m}}_{2\delta}\cdot\dot{x} + \underbrace{\frac{k}{m}}_{\omega_0^2}\cdot x = 0$

b) Dämpfungs/Abklingkonstante $\delta\omega$: Δ η u. gg.: daher $2\delta = \frac{r}{m}$ // $\delta = \frac{r}{2m}$ & $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}$

c) x_A & α bei $x_0 = 0$ und $t_0 = 0$?: x_0: $s(t) = \ldots$ gleich null & α // x_A: $v(t)\ldots = v_0$ & x_A Δ zwei t's partiell ableiten!

d) Wann treten Maxima d. Elongation auf?: 1.) $T = \frac{2\pi}{\omega}$ // 2.) $t_n = t_0 + n\cdot T$ «

3.) $v(t) = \ldots \stackrel{!}{=} 0$ & dann nach „t" auflösen ($:\cos(\omega t)$ macht $\tan(\omega t)$)

↳ $t_0\ldots$

e) Verhältnis des Maxima: $\frac{x_{n+i}}{x_i} = e^{-n\cdot\delta T} \Rightarrow \omega = \frac{2\pi}{T}$ // $T = \frac{2\pi}{\omega}$

f) $k\cdot r\cdot v_x = 6\pi\eta r_k \cdot v_x$ mit $V_k = \frac{4}{3}\pi r_k^3$ & $V_k\cdot\rho_k = m_k$ $[\eta] = [Pa\cdot s]$

g) aperiod. Grenzfall: $\delta = \omega_0$ // $\frac{r}{2m} = \sqrt{\frac{k}{m}}$

· Schwingung Flüssigkeitssäule: $m\cdot\ddot{x} = 8\pi\eta l\cdot\dot{x} - \underline{2}x\cdot\frac{1}{l}\cdot m\cdot g$ // mit $m = l\frac{d^2}{4}\cdot\pi\cdot\rho$.

· Schwungrad: $M_A \stackrel{!}{=} J\cdot\alpha$ // $\alpha = \frac{d\omega}{dt} = \frac{M_A}{J} \stackrel{!}{=} const \rightsquigarrow \omega = \frac{M_A}{J}\cdot t + \omega_0$ // $J_A = mr^2$ // $\omega_0 = 2\pi f_0$

$M_A = -\frac{J_A\cdot\omega_0}{t_1} = -\frac{2\pi mr^2 f_0}{t_1}$

· Beweglicher Kolben: I HS: $Q = \Delta U + W = m c_v\cdot\Delta T + W$ mit $W = \int_0^{\Delta V} p\,dV$ **ISOBAR**

126 J ↳ Volumenarbeit

$p = p_L + \frac{m_K\cdot g}{A} \rightsquigarrow W = p\cdot\Delta V \rightsquigarrow \Delta V = A\cdot h \Leftrightarrow \Delta T = \frac{Q - (p_L\cdot A - m_K\cdot g)\cdot h}{m\,c_V}$

· Bremsen mit $\vec{v}$ abhäng. a: $a = -K\cdot v^2$ $a = \frac{dv}{dt} = -K\cdot v^2 \rightsquigarrow \int\frac{1}{v^2}dv = k\cdot\int dt$

↳ hieraus t; dann aus $\frac{1}{v} = \frac{1}{v_0} + k\cdot t \rightsquigarrow v(t)$ und $\int dt$ mit Substitution

· Orbitalstation: Bedingung für Kreisbahn 

$\frac{mv^2}{r} = G\cdot\frac{m\cdot M_E}{r^2} \rightsquigarrow E_k = G\cdot\frac{m\cdot M_E}{2r}$ // $E_p = -\frac{G\cdot m\cdot M_E}{r}$

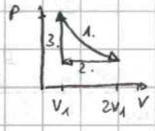
$\frac{\Delta E_p}{E_k}$ mit $r = r_E + h$ $\Leftarrow \Delta E_p = G\cdot m\cdot M_E\cdot\left(\frac{1}{r_E} - \frac{1}{r}\right)$

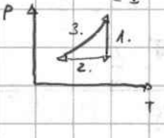
· Höhe eines Erdsatelliten mit gl. $\vec{v}$: $v = \omega\cdot r = \omega\cdot(r_E + h) \rightsquigarrow F_R \stackrel{!}{=} F_G$

$\rightsquigarrow m v^2 r \rightsquigarrow m\cdot\left(\frac{v_E}{r_E}\right)^2\cdot(r_E + h) = G\cdot\frac{m\cdot M_E}{(r_E+h)^2}$

$\rightsquigarrow (r_E + h)^3 = \frac{G\cdot M_E}{\left(\frac{r_E}{v_E}\right)^2} \Rightarrow (r_E + h) = \sqrt[3]{\frac{G\cdot M_E}{\left(\frac{v_E}{r_E}\right)^2}}$

· Kreisprozess: 1.) isoth. Ausdehnung $V_2 = 2V_1$
2.) isoba. Zust. änderung
3.) isoch. ZSÄ





$W_3 = 0$ da isochor // W_2 (mit $p = const$): $p'\cdot(V_1 - 2V_1) \rightsquigarrow p'$: $p_1 V_1 = p' V_2 = p'\,2V_1$
$p' = \frac{p_1}{2}$

$W_1 = \int p(V)\,dV$ mit $pV = mR'T$

$mR'T\int\frac{1}{V}dV = mR'T_1\cdot\ln(2)$

$p_1 V_1 = mR'T_1 = p_1 V_1\ln(2)$

$W_G = p_1 V_1\cdot\left(\ln(2) - \frac{1}{2}\right)$