Physik

1. Klassische Mechanik

1.1. Bewegungen

$x=$ const. $\to v=0$ $\quad v=$ const. $\to a=0$
$v=\dot{x} \quad a=\ddot{x}$
$x=\frac{1}{2}at^2+v_0t+x_0$
$v=a\cdot t+v_0$

1.1.1. Freier Fall

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

1.1.2. Ebene

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

1.1.3. Senkrechter Wurf

$h=v_0t-\frac{1}{2}gt^2+h_0$
$v_M=\sqrt{0,5v_0} \quad v^2=v_0^2-2g(h_0-h)$
$v=v_0-g\cdot t$
$t_h=\frac{v_0}{g} \quad x_h=\frac{v_0^2}{2g}$

1.1.4. Waagrechter Wurf

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

1.1.5. Schräger Wurf

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

1.2. Newton'sche Axiome

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

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

1.3. Kraft, Energie, Impuls

1.3.1. Kraft

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

1.3.2. Energie

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

1.3.3. Arbeit

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

1.3.4. Leistung

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

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

1.3.5. Impuls

$p_{\text{vorher}}=p_{\text{nachher}}$
$P=mv$
Mittlere Kraft: $\overline{F}=\frac{\Delta p}{\Delta t}$
Elastischer Stoß: $m_1v_1+m_2v_2=m_1u_1+m_2u_2$
Unelastischer Stoß: $m_1v_1+m_2v_2=(m_1+m_2)u$

1.3.6. Raketengleichung

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

1.4. Planetenbewegungen

1.4.1. Gravitation

$U_{\text{pot}}=-G\frac{m_E\cdot m}{r} \quad r>r_E$
$\vec{F}_G=G\frac{m_1m_2}{r^2}\cdot\vec{e}_r$
$g=G\cdot\frac{m}{r^2}$
$W_G=Gm_1m_2(\frac{1}{r_1}-\frac{1}{r_2})$
$F_G\,||\,r\to M=r\times F=0$

Satellit-Erde: $\frac{1}{2}m_Sv^2=G\frac{m_Sm_E}{R_E}$
Stabile Umlaufbahn: $\omega_S=\sqrt{\frac{G\cdot m_E}{R_E^3}} \quad v=\omega R_E$
Geostat. Umlaufbahn: $r_g=\sqrt[3]{G\cdot m_E\cdot\frac{T_g^2}{4\pi^2}} \quad h_g=r_g-R_E$

1.4.2. 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

1.5. Drehungen

1.5.1. Drehmoment

$M=F\times r=F\cdot r\cdot\sin\alpha$
$M=I\cdot\dot{\omega}=\frac{dL}{dt}$

1.5.2. Trägheitsmoment

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)

1.5.3. Drehimpuls

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

1.6. Corioliskraft

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

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

2. Harmonische Schwingungen

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

2.1. Frei ungedämpft

Bewegungsgleichung: $\ddot{x}+\omega_0^2x=0$
$f_0=\frac{\omega_0}{2\pi} \quad y_0=\frac{mg}{k} \quad v_0=\hat{x}\sqrt{\frac{k}{m}}$

2.1.1. 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: $\ddot{x}+\frac{k}{m}x=0$

2.1.2. Fadenpendel

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

2.1.3. Torisionsschwingungen

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

2.2. Frei gedämpft

Stokesche Reibungskraft: $F_R=-6\pi\eta R\vec{v}=-2m\delta\vec{v}$
Bewegungsgleichung: $\ddot{x}+2\delta\dot{x}+\omega_0^2x=0$
Resonanzfrequenz $\omega'=\sqrt{\omega_0^2-\delta^2}$
$\delta=\frac{b}{2m}=\frac{3\pi\eta R}{m}$

2.2.1. Schwingfall

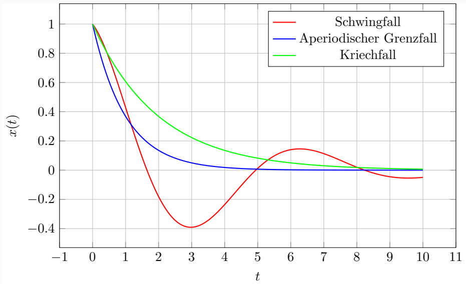
$\omega_0^2>\delta^2$
$\omega'=\sqrt{\omega_0^2-\delta^2}<\omega_0$
$x(t)=Ae^{-\delta t}\cos(\omega' t)$

2.2.2. Aperiodischer Grenzfall

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

2.2.3. Kriechfall

$\omega_0^2<\delta^2$
$\omega'=i\delta\pm i\sqrt{\delta^2-\omega_0^2}$
$x(t)=A_1e^{-(\delta+\sqrt{\delta^2-\omega_0^2})t}+A_2e^{-(\delta-\sqrt{\delta^2-\omega_0^2})t}$



2.3. Erzwungen gedämpft

Bewegungsgleichung: $\ddot{x}+2\delta\dot{x}+\omega_0^2x=F_0e^{-i\Omega t}$
$\hat{x}(t)=Ae^{i(\Omega t+\varphi}$
$A(\Omega)=\frac{F_0/m}{\sqrt{(\omega_0^2-\Omega^2)^2+(\frac{b\Omega}{m})^2}}$

Resonanzfälle:

1. $\Omega<\omega_0$
   $A\to\frac{F_0m^{-1}}{\omega_0^2}=\frac{F_0}{k}$
   $\Delta\varphi=0 \quad \Omega\to 0$
2. $\Omega\approx\omega_0$ (Katastrophe)
   $A_{\text{max}}=\frac{F_0}{b\omega_0}=\frac{F_0/m}{2\delta\sqrt{\omega_0^2-\delta^2}}\to\infty$
   $\Omega_{\text{max}}=\sqrt{\omega_0^2-\frac{1}{2}(\frac{b}{m})^2}=\sqrt{\omega_0^2-2(\frac{3\pi\eta R}{m})^2}\to\omega_0$ $\Delta\varphi=\frac{\pi}{2} \quad \delta\to 0$
3. $\Omega>\omega_0$
   $A\to 0$
   $\Delta\varphi=\pi \quad \Omega\to\infty$

3. Wellen

3.1. Allgemeines

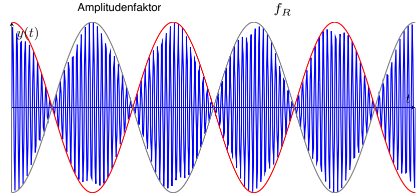
Allgemeine Wellengleichung: $\frac{1}{c^2}\frac{\partial^2u}{\partial t^2}=\Delta u$
$c=\lambda\cdot f=\frac{\omega}{k}=\frac{x}{\Delta t}$
$\omega=2\pi f=\frac{2\pi}{T} \quad k=\frac{2\pi}{\lambda}=\frac{\omega}{c}$ Funktion: $y(x,t)=\hat{y}\sin(kx-\omega t+\phi)$

3.2. Doppler-Effekt

1. Beobachter **bewegt**, Quelle **ruht**
   Annäherung: $f_B=f_Q(1+\frac{v_B}{c})$
   Entfernung: $f_B=f_Q(1-\frac{v_B}{c})$
2. Beobachter **ruht**, Quelle **bewegt**
   Annäherung: $f_B=\frac{f_Q}{1-v_Q/c}$
   Entfernung: $f_B=\frac{f_Q}{1+v_Q/c}$
3. Beobachter **bewegt**, Quelle **bewegt**
   $f_B=f_Q\frac{c+V_B}{c-V_Q}$ Q $\to\to$ B
   $f_B=f_Q\frac{c+V_B}{c+V_Q}$ Q $\leftarrow\leftarrow$ B
4. Quelle **bewegt** ($v>1$ Ma)
   $\sin\alpha=\frac{dw}{ds}=\frac{c_st}{v_Qt}=\frac{1}{\text{Ma}}$

3.3. Schwebung

Tritt auf bei $f_1\approx f_2$ ($f_1\neq f_2$)
$f_S=|f_1-f_2| \quad f_R=\frac{f_1+f_2}{2}$
$y(t)=\underbrace{2\hat{y}\cos(2\pi\cdot\frac{f_1-f_2}{2}\cdot t)}_{\text{Amplitudenfaktor}}\cdot\underbrace{\sin(2\pi\cdot\frac{f_1+f_2}{2}\cdot t)}_{f_R}$



Schwebung: Die blaue Kurve ist die hochfrequente Schwingung (Ton), und die roten und grauen 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

Festes Ende: $\varphi = \pi$ (Knoten am Ende)
Loses Ende: $\varphi = 0$ (Bauch am Ende)
Bei jeder zusätzlichen Oberschwingung wird die Welle gestaucht, sodass die obigen Bedingungen weiterhin gelten müssen. (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. Brechungsmöglichkeiten

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. Gesetz von Snellius

$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{c_1}{c_2}$

4.1.3. 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

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

Konkave Linse (Zerstreuungslinse)
Korrektur von Kurzsichtigkeit
Abbildung
$\to$ Bild immer zwischen Brennpunkt und Linse
$\to$ Bild immer verkleinert ($G > B$)
$\to$ Bild immer virtuell und aufrecht

4.2.3. Dicke Linsen

$\frac{1}{f} = (\frac{n}{n_0} - 1)(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} + \frac{(n-n_0)d}{n \cdot r_1 \cdot r_2})$
$h_1 = -\frac{f(n-1)d}{n \cdot r_2} \qquad h_2 = -\frac{f(n-1)d}{n \cdot r_1}$

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**
  $V = V_{ok} \cdot V_{ob} = \frac{(d - f_{ob})s_0}{f_o b \cdot f_o k} = -\frac{l}{f_{ob}} \cdot \frac{s_0}{f_{ok}}$
- **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

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

5.1. Hydraulische Presse

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

5.2. Kontinuitätsgleichung

$\dot{m} = \rho_1 A_1 \vec{v_1} = \rho_2 A_2 \vec{v_2}$
$\dot{V} = \frac{\dot{m}}{\rho} = A\vec{v}$

5.3. Bernoulli Gleichung

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

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

5.4. Torricelli

$\vec{v_2} = \sqrt{2(gh + \frac{P_1 - P_2}{\rho})}$
$P_1 = P_2 = P_\infty = 10 \times 10^5\,\text{Pa}$

5.5. Gesetz von Hagen-Poiseulle

Strömung durch ein Rohr
$\dot{V} = \frac{dV}{dt} = \frac{\pi(P_1 - P_2)}{8\eta \cdot l} R^4$
$v(r) = \frac{P_1 - P_2}{4\eta \cdot l}(R^2 - r^2)$

5.6. Strömungen

1. **Turbulente Strömung:**
   Größe Geschwindigkeiten, geringe innere Reibung, hohe Reibung an den Wänden.
   Newtonsches Reibungsgesetz:
   $F_R = \eta A \frac{dv}{dx}$
   $\eta = \eta_0 e^{T/T_0}$
   $R_e >> 1: F_w = F_R + F_D = c_w \cdot A \cdot \frac{\rho v^2}{2}$
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

Ideale Gasgleichung:

$$p \cdot V = \nu \cdot R \cdot T$$

Stoffmenge $\nu = \frac{m}{M} \qquad M$: 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
$U = \frac{3RT}{2M} \quad U$: innere Energie

Energien

$\Delta U = \int_{T_1}^{T_2} c \, dT$
$W = -\int_{V_1}^{V_2} p \, dV \qquad \partial W = -p \cdot \partial V$

6.1. Hauptsätze der Thermodynamik

0. Zwei Körper im thermischen Gleichgewicht zu einem dritten
   $\to$ Alle stehen untereinander im Gleichgewicht
1. $\Delta U = \Delta Q + \Delta W$ $\to$ Es gibt kein Perpetuum mobile erster Art - Maschine mit $>$100% Wirkungsgrad

   Verschiedene Möglichkeiten für Zustandsänderung:

   a) Isobarer Prozess, $p =$ const.
   $\to$ im idealen Gas ist C_p konstant $\Rightarrow Q_{12} = C_p \Delta T$
   b) Isochorer Prozess: $V =$ const.
   $\to$ 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)

6.2. Adiabatengleichung

$p \cdot V^\kappa =$ const. $\qquad T \cdot V^{\kappa - 1} =$ 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

6.3. 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: $\lambda_{\text{max}} = \frac{2.898 \times 10^{-3}\,\text{K}}{T}\,\text{m}$

7.2. Weiteres zur Quantenmechanik

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