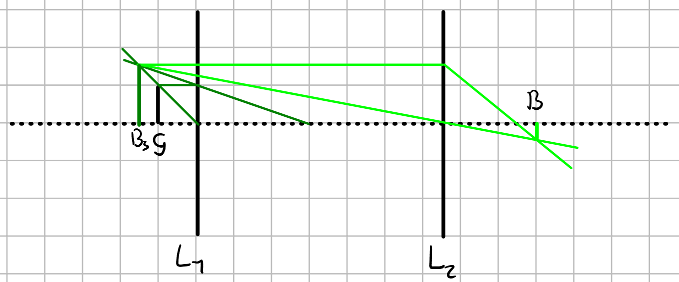
Aufgabe 1

a)



b) Linsengleichung $\frac{1}{f} = \frac{1}{b} + \frac{1}{g}$ Abstand $a = 6{,}5\,cm$

$$\Rightarrow b_s = \frac{f_1 \cdot g}{g - f_1} = \frac{3cm^2}{-2cm} = -\frac{3}{2}cm$$

$$\Rightarrow b = \frac{f_2(a - b_s)}{(a-b_s) - f_2} = \frac{2cm \cdot 8cm}{8cm - 2cm} = \frac{8}{3}cm$$

c) $B_s = -G\frac{b_s}{g} = \frac{3}{2}cm$

$$B = -B_s \frac{b}{a-b_s} = -\frac{3}{2}cm \frac{\frac{8}{3}cm}{8\,cm} = -\frac{1}{2}cm$$

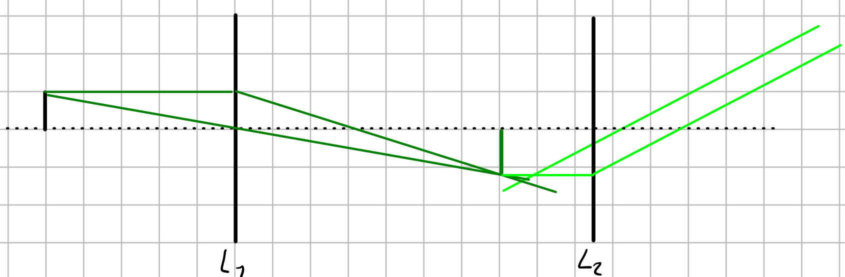
d) Das entgültige Bild ist reell, da $b > 0$.

e) Die Strahlen sollen parallel ausfallen.

$$b_s = \frac{f_1 \cdot g}{g - f_1} = \frac{3cm \cdot 5cm}{2cm} = 7{,}5cm$$

$a - b_s \overset{!}{=} f_2 \Rightarrow a = f_2 + b_s = 9{,}5\,cm$ Zwischenbild in Brennebene

f)



g) Rayleigh-Kriterium: Zwei Objekte erscheinen getrennt, wenn das Maximum des Beugungsmusters des einen Punktes in das erste Intensitätsminimum des Beugungsbildes des zweiten Bildpunktes fällt.
Für eine kreisförmige Blende kann das Beugungsbild im Fernfeld durch eine Airy-Funktion dargestellt werden.

f = Brennweite Objektiv

$\Rightarrow \alpha_{min} = 1{,}22\frac{\lambda}{D}$ $\Delta x_{min} = \tan(\alpha_{min}) f \approx \alpha_{min} f = 1{,}22\frac{\lambda f}{D}$

D = Durchmesser Objektiv

Aufgabe 2

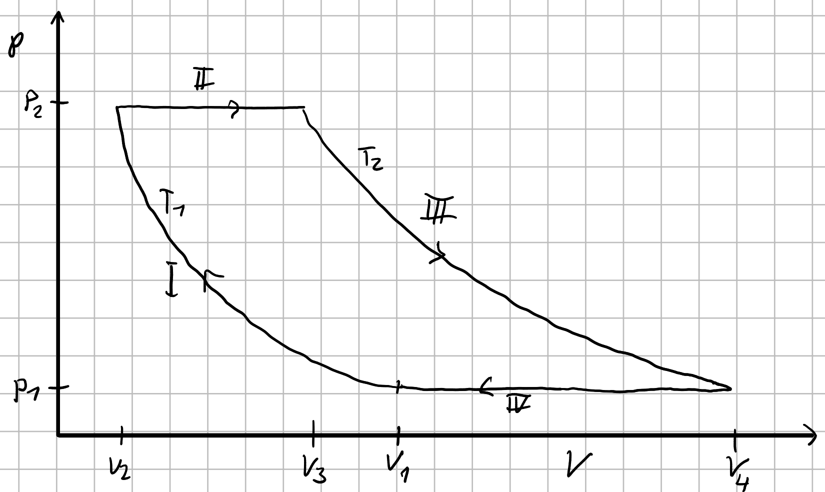
a) $p_I(V) = p_1 \frac{V_1}{V} = nRT_1 \frac{1}{V}$

$p_{II}(V) = p_2 = p_1(V_2) = nR\frac{T_1}{V_2}$

$p_{III}(V) = p_2 \frac{V_3}{V} = nR \frac{T_1}{V_2}\frac{V_3}{V} = nR\frac{T_2}{V}$ $\qquad \frac{V_3}{V_2} = \frac{T_2}{T_1}$

$p_{IV}(V) = p_1 = p_1(V_1) = nR\frac{T_1}{V_1}$

b)



c) $W_I = -\int_{V_1}^{V_2} p_I(V)\,dV = -\int_{V_1}^{V_2} nRT_1 \frac{1}{V}\,dV = -nRT_1 \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$

$W_{II} = -\int_{V_2}^{V_3} p_{II}(V)\,dV = -\int_{V_2}^{V_3} nR\frac{T_1}{V_2}\,dV = -nR\frac{T_1}{V_2}(V_3 - V_2)$

$W_{III} = -\int_{V_3}^{V_4} p_{III}(V)\,dV = -\int_{V_3}^{V_4} nR\frac{T_2}{V}\,dV = -nRT_2 \ln\left(\frac{V_4}{V_3}\right)$

$W_{IV} = -\int_{V_4}^{V_1} p_{IV}(V)\,dV = -\int_{V_4}^{V_1} nR\frac{T_1}{V_1}\,dV = -nR\frac{T_1}{V_1}(V_1 - V_4)$

$V_3 = \frac{T_2}{T_1}V_2 \qquad V_4 = \frac{T_2}{T_1}V_1$

$\Rightarrow \Delta W = -nR\left(T_1 \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) + \frac{T_1}{V_2}(V_3 - V_2) + T_2 \ln\left(\frac{V_4}{V_3}\right) + \frac{T_1}{V_1}(V_1 - V_4)\right)$

$= -nR\left((T_1 - T_2)\ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) + (T_2 - T_1) + (T_1 - T_2)\right)$

$= -nR(T_1 - T_2)\ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$

d) $Q_{34} = \Delta U - W = \underbrace{c_V(T_1 - T_1)}_{=0} - W = -W = nRT_2 \ln\left(\frac{V_1}{V_2}\right)$

$\eta = \left|\frac{-\cancel{nR}(T_1 - T_2)\ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)}{-\cancel{nR}T_2 \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)}\right| = \frac{(T_2 - T_1)}{T_2} = 1 - \frac{T_1}{T_2}$

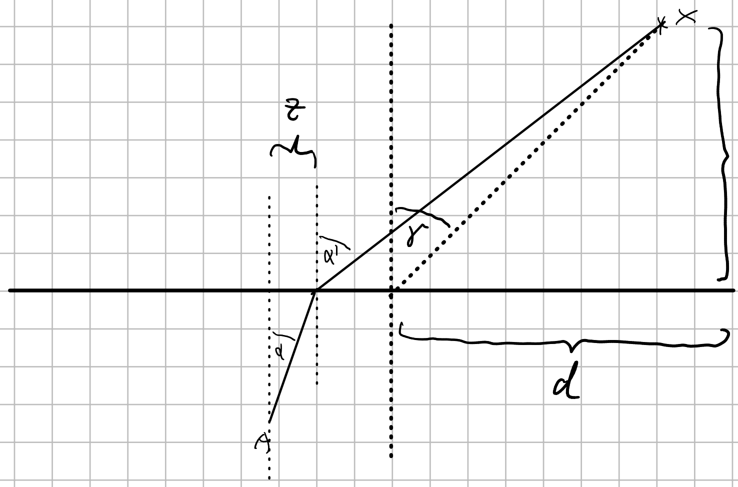
Aufgabe 3

(1) $\sin\alpha' = \sin\alpha \, n$

$z = a \tan\alpha$

$\tan\alpha' = \frac{d+m-z}{h}$

$\tan\gamma = \frac{d}{h}$



$\Rightarrow \quad = \frac{1}{h}\left(h \tan\alpha' - m + z\right)$

$= \frac{1}{h}\left(h \frac{\sin\alpha}{\sqrt{n^2-\sin^2\alpha}} - m + a\tan\alpha\right)$

$\tan\alpha' = \frac{\sin\alpha'}{\cos\alpha'} = \frac{\sin\alpha'}{\sqrt{1-\sin\alpha'^2}} = \frac{\frac{1}{n}\sin\alpha}{\sqrt{1-\frac{1}{n^2}\sin^2\alpha}}$

$= \frac{\sin\alpha}{\sqrt{n^2-\sin^2\alpha}}$

(II) a)

Aufgabe 3 II.

a) Rayleigh-Streuung:
- findet statt an Partikeln mit Durchmessern $d << \lambda$ (Wellenlänge des Lichts)
- Beispiel: kleine Moleküle wie O_2, N_2
- stark von λ abhängig (Streuquerschnitt $\sigma \sim 1/\lambda^4$)
- Farben am Himmel, die durch Rayleigh-Streuung zu erklären sind: Blaues Licht ($\lambda_{blau} = 450$ nm) wird am stärksten gestreut, grünes Licht ($\lambda_{grün} = 550$ nm) schwächer, rotes Licht ($\lambda_{rot} = 650$ nm) am schwächsten. Der Beobachter, der zum Himmel schaut, sieht daher blaues Licht aus allen Richtungen, rotes und grünes Licht vornehmlich nur, wenn er in Richtung Sonne schaut. Die ihm Sonne im Zenit erscheint ihm gelblich aufgrund des stark reduzierten blauen Anteils, die Sonne am Horizont rötlich aufgrund des stark reduzierten Anteils aller Farben außer rot.

b) Mie-Streuung:
- findet statt an Partikeln mit Durchmessern $d = \lambda$ (Wellenlänge des Lichts)
- Beispiel: Mikropartikel wie Staub oder Wassertröpfchen
- schwach von λ abhängig
- Farben am Himmel, die durch Rayleigh-Streuung zu erklären sind: das Weiß der Wolken (alles Licht gestreut), das Grau eines trüben Tages.

Aufgabe 4

1

Aufgabe 4 I.

- 1. Hauptsatz:
  Die Änderung der inneren Energie eines geschlossenen Systems ist gleich der Summe der Änderung der Wärme und der Änderung der Arbeit.

- 2. Hauptsatz:
  - In einem abgeschlossenen, sich selbst überlassenen System kann sich die Entropie niemals verkleinern. Sie kann nur konstant bleiben oder zunehmen.
  - Es gibt kein Perpetuum mobile 2. Art.
    Ein Perpetuum mobile 2. Art wäre eine Anordnung, die unaufhörlich Wärme aus einem großen Wasserbehälter konstanter Temperatur entnimmt und sie in mechanische Arbeit umwandelt. Ein solcher Vorgang steht nicht im Widerspruch zum Energieerhaltungssatz, geht aber nicht von allein vor sich.
  - Die Natur strebt aus einem unwahrscheinlicheren dem wahrscheinlicheren Zustand zu (L. BOLTZMANN). Der wahrscheinlichste Zustand ist immer der der größtmöglichen Unordnung.
  - Es gibt keine periodisch arbeitende Maschine, deren Wirkungsgrad höher ist als der der Carnot-Maschine.
  - Wärme fließt von selbst immer nur vom wärmeren zum kälteren Körper, nie umgekehrt.
  - Es ist unmöglich, eine periodisch arbeitende Maschine zu bauen, die nichts weiter bewirkt, als eine Last zu heben und einen Wärmespeicher abzukühlen (MAX PLANCK).

- 3. Hauptsatz:
  - Die Entropie eines geschlossenen Systems geht für $T \rightarrow 0$ gegen eine von thermodynamischen Parametern unabhängige Konstante, woraus folgt, dass der absolute Nullpunkt der Temperatur nicht durch eine endliche Anzahl von Zustandsänderungen erreichbar ist.
  - Der thermodynamische Gleichgewichtszustand am absoluten Nullpunkt ist ein Zustand maximaler Ordnung, der nur eine Realisierungsmöglichkeit $W = 1$ hat.

(11) a) $nRT_0 = p_0 V_0 \Rightarrow n = \frac{p_0 V_0}{RT_0} \hat{=}$ Stoffmenge

$N = \frac{R}{k_B} n = \frac{p_0 V_0}{k_B T_0}$

b) Helium ist ein einatomiges Gas. $\Rightarrow f = 3 \Rightarrow c_v = \frac{3}{2} R$

$U = n c_V T_0 = \frac{3}{2} R T n = \frac{3}{2} p_0 V_0$

c) $T = \text{const.} \Rightarrow p(h) = \frac{p_0}{2}$

Barom. Höhenformel: $p(h) = p_0 e^{-\frac{\rho_0 g h}{p_0}}$

$$\Rightarrow h = \ln \underbrace{\frac{p(h)}{p_0}}_{=2} \frac{p_0}{\rho_0 g} = \frac{p_0}{\rho g} \ln(2)$$

d) $T = \text{const.} \quad \Delta T = 0 \qquad \Delta n = 0$

$$\Delta Q = -\Delta W = \int_{V_0}^{2V_0} p\,dV = \int_{V_0}^{2V_0} \frac{N k_B T_0}{V} dV = N k_B T_0 \ln 2$$

$$= N k_B T_0 \ln 2$$

$$\Delta S = \frac{\Delta Q}{T} = N k_B \ln(2)$$

e) $pV = nRT \Rightarrow T = \frac{pV}{nR}$; $\frac{V}{T} = \text{const} \rightarrow T_{end} = T_0$

$$dQ = dU - dW$$

$$dS = \frac{dQ}{T} = \frac{dU - dW}{T} = \frac{n c_v dT}{T} + \frac{p dV}{T} = \frac{n c_v dT}{T} + \frac{nR\,dV}{V}$$

$$\Delta S = n c_v \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) + nR \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$$

$$= (c_v + R)\, n \ln 2$$

$$= c_p\, n \ln(2)$$

Aufgabe 5

$t = \frac{2}{1+n} > 0 \qquad t' = \frac{2n}{1+n} > 0 \qquad r = \frac{1-n}{1+n} < 0 \qquad r' = \frac{n-1}{1+n} = -r > 0$

a) $E_{r1} = r E_i = \underbrace{\frac{1-n}{1+n}}_{<0} E_i$

$<0 \Rightarrow$ Phasensprung um π

b) $|E_{r2}| = t\, r' t' |E_i| = \underbrace{\frac{2}{1+n} \frac{n-1}{1+n} \frac{2n}{1+n}}_{>0} |E_i|$

$>0 \Rightarrow$ Kein Phasensprung

Phasenverschiebung um $\varphi = 2dnk_0$ mit $k_0 = \frac{2\pi}{\lambda}$

mit $\sin\alpha = n \sin\alpha'$
$\approx> \alpha = n\alpha'$
$\approx> z = \tan\alpha' d$
$\approx \alpha' d$
$\approx \frac{\alpha}{n} d$

$\Rightarrow E_{r2} = |E_{r2}| e^{i2dnk_0}$

c) $E_{r3} = t\, r'^3 t' E_i e^{i4dnk_0} = \frac{2}{1+n}\left(\frac{n-1}{1+n}\right)^3 \frac{2n}{1+n} E_i e^{i4dnk_0}$

d) $E_{rs} = t\, r'^{2s-3} t' E_i\, i^{2(s-1)dnk_0} = \frac{2}{1+n}\left(\frac{n-1}{1+n}\right)^{2s-3} \frac{2n}{1+n} E_i e^{2i(s-1)dnk_0}$

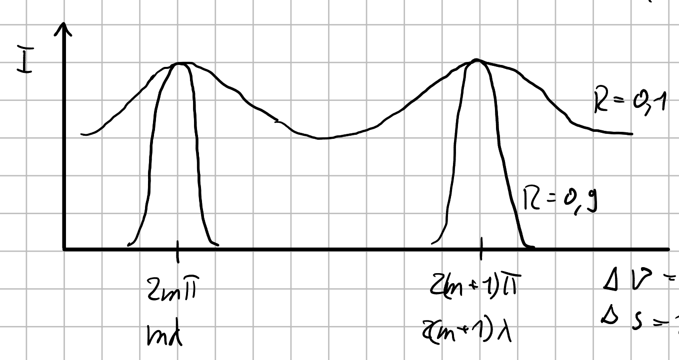
e) $E_r = E_{r1} + \sum_{i=2}^{\infty} E_{rs} = E_{r1} + tt' E_i \sum_{i=2}^{\infty} r'^{2s-3} e^{2i(s-1)dnk_0}$

$= E_{r1} + tt' E_i \sum_{i=0}^{\infty} r'^{2s+1} e^{2idnk_0(s+1)}$

$= E_{r1} + tt' r' e^{2idnk_0} E_i \sum_{i=0}^{\infty} \left(r'^2 e^{2idnk_0}\right)^s$

$= E_{r1} + tt' r' e^{2idnk_0} E_i \frac{1}{1 - r'^2 e^{2idnk_0}}$

f)



$\Delta\nu = 2\lambda n k_0$
$\Delta s = 2dn$

g) Sonnenlicht besteht aus Licht vieler verschiedener Frequenzen, Je nach Betrachtungswinkel ist eine andere Frequenz zu sehen aufgrund der Beugung.