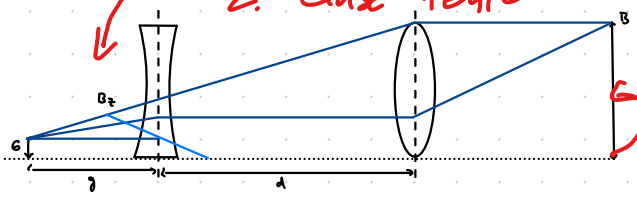
4,5/5

1. $f_2 = -15\,cm$; $f_3 = 12\,cm$, $d = 12\,cm$, $g = 10\,cm$; $G = 1\,cm$

a)



Brennweite der 2. Linse fehlt

Optische Achse immer mitzeichnen

1,5/2

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

$\Rightarrow \frac{1}{b_2} = \frac{1}{f_2} - \frac{1}{g} = -\frac{1}{15\,cm} - \frac{1}{10\,cm} = -\frac{5}{30\,cm} \Rightarrow b_2 = -6\,cm$ ✓ $\Rightarrow g_3 = d - b_2 = 18\,cm$

$b = \frac{1}{\frac{1}{f_3} - \frac{1}{g_3}} = \frac{1}{\frac{1}{12\,cm} - \frac{1}{18\,cm}} = 36\,cm$ ✓ 1/1

c) $V_2 = -\frac{b_2}{g} = 0,6 \Rightarrow B_2 = V_2 \cdot G = 0,6\,cm$

$V_3 = -\frac{b}{g_3} = -2 \Rightarrow B = V_3 \cdot B_2 = -1,2\,cm$ ✓ 1/1

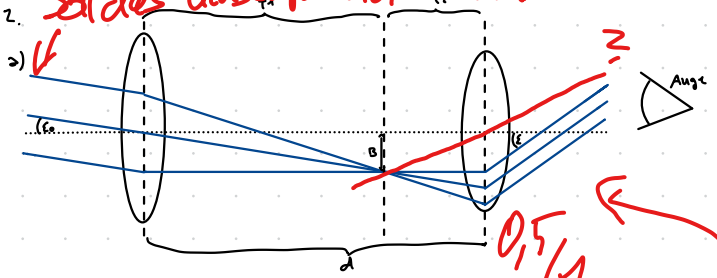
d) Das endgültige Bild ist reell, da die Bildweite $b = 36\,cm$ positiv ist und daher hinter der Sammellinse liegt. ✓ 0,5/0,5

e) Die Vergrößerung durch die Sammellinse ist negativ, daher ist das endgültige Bild invertiert. 0,5/0,5

2,5/3

2. Soll das achsenparallel sein?

a)



0,5/1

$f_1 = 1000\,mm$ $f_2 = 50\,mm$

3/5

b) Brechungsmatrix M: $\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{f} & 1 \end{pmatrix}$

zentral einfallender Strahl: $\begin{pmatrix} 0 \\ \varepsilon_0 \end{pmatrix}$

$$\begin{pmatrix} V \\ \varepsilon \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{f_2} & 1 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} 1 & f_1+f_2 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{f_1} & 1 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} 0 \\ \varepsilon_0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \varepsilon_0 \frac{f_1+f_2}{f_1} \\ \varepsilon_0 \frac{f_1}{f_2} \end{pmatrix}$$

$\Rightarrow \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} = \left|\frac{f_1}{f_2}\right| = -20$ (Vergrößerung) ✓ 2/2

Das sind keine Charakteristiken strahlen

4.

a) Bei dem Joule-Thomson-Prozess bleiben der Druck P_1 in Gefäß 1 und der Druck P_2 in Gefäß 2 trotz des Gasflusses von 1 zu 2 konstant. Damit dies funktioniert, dürfen erstens keine Störungen oder Schwankungen auftreten, der Gasfluss muss also kontinuierlich sein. Durch die thermische Isolation werden außerdem Druckänderungen durch Wärmeaustausch mit der Umgebung verhindert. Zusätzlich sorgen externe Druckregelungssysteme für eine Stabilisation des Drucks, so werden Druckregler und Pumpen eingesetzt, um Gefäß 1 beständig Gas zu- und Gefäß 2 abzuführen. 0,5/0,5

b) Für ein ideales Gas gilt: $pV = nRT$; wenn $T = const.$ gilt $p \cdot V = const.$ → In der a) sieht man das $T \neq const$

ne, $H = U + PV$,

$\Rightarrow p_1 V_1 = p_2 V_2$; $\delta U = -V dp$; $dH = \delta U + V dp = 0$

$\Rightarrow dH = dU + PdV + VdP$ 0/1

c) Mit $dH = TdS + Vdp = 0$ sowie $V > 0$, $T > 0$, $dp < 0$, gilt $dS = -\frac{V}{T} dp > 0$ ⇒ somit ist der Prozess irreversibel ✓ 1/1

d) Ideales Gas: $T\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p = V \Rightarrow \mu_{JT} = 0$ ⇒ Es gibt also keine Temperaturänderung bei einem idealen Gas. ✓ 0,5/0,5

e) Bei einem realen Gas und $n > 1$ sowie nicht zu großen Dichten gilt: $\mu_{JT} = \frac{1}{c_p}\left(\frac{2a}{RT} - b\right)$. Dabei beschreibt a den Kohäsionsdruck (intermolekulare Anziehung), b das Kovolumen (Platzbedarf pro Molekül), c_p die isobare Wärmekapazität, R die Gaskonstante und T die Temperatur. μ_{JT} ist somit von den Stoffeigenschaften des Gases und der Temperatur abhängig. Je größer die Anziehung der Moleküle (a bzw. $\frac{2a}{RT}$) ist, also bei $\mu_{JT} > 0$, desto stärker kühlt das Gas bei Expansion ab. Wenn das Kovolumen größer ist, also $\mu_{JT} < 0$, erwärmt sich das Gas bei Expansion. Wenn $T \to \infty$ geht, wird $\frac{2a}{RT}$ so klein, dass die intermolekularen Kräfte vernachlässigt werden, das Gas nähert sich dann idealem Verhalten an. 1/1

(3) a) $H = U + pV$ 3/3

$dH = d(U+pV) = dU + p\,dV + V\,dp$

$\underbrace{T\,dS - p\,dV}_{=dU} + p\,dV + V\,dp = T\,dS + V\,dp$

$\frac{dH}{dp} = T\,dS + V$ $\qquad$ $\frac{dH}{dS} = T + V\,dp$

$\Rightarrow \left(\frac{\partial H}{\partial p}\right)_{S=\text{const.}} = V$ ✓ $\qquad$ $\Rightarrow \left(\frac{\partial H}{\partial S}\right)_{p=\text{const.}} = T$ ✓ 1/1

b) $dU = dQ + dW = T\,dS - p\,dV$. Bei irreversiblen Prozessen ist die innere Energie U kleiner als nach reversiblen Prozessen $\Leftrightarrow dU < T\,dS - p\,dV$

$dG = dU + p\,dV + V\,dp - T\,dS - S\,dT < T\,dS - p\,dV + p\,dV + V\,dp - T\,dS - S\,dT$

$\Leftrightarrow dG < V\,dp - S\,dT = 0$ ✓ 2/2

$\Rightarrow$ G ist monoton fallend bis im Gleichgewicht minimale freie Enthalpie erreicht ist.