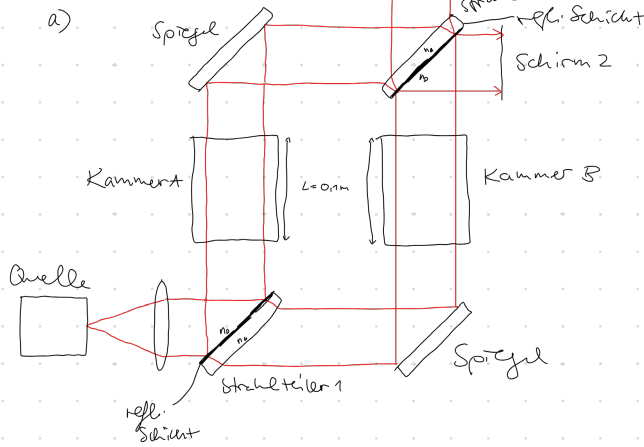


25/4



Die Phasendifferenz $\Delta\phi$ ergibt sich aus

$$\Delta\phi = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta L + \Delta\phi_{\text{refl.}} + \Delta\phi_{\text{refr.}}$$

$\uparrow$
 $L_2 - L_1$

Da die mögliche Phasenverschiebung am Spiegel bei beiden Wegen gleich ist, ist $\Delta\phi_{\text{refl.}}$ irrelevant. Nur bei Reflexion an optisch dichteren Medien (relevant für Strahlteiler) kommt es zu einer Phasensprung.

Schirm 1:

Oberer Weg: Phasensprung um π beim Strahlteiler 1 und um π beim Spiegel

Unterer Weg: Phasensprung um π beim Spiegel

$$\Rightarrow \Delta\phi_1 = \pi \Rightarrow \text{destruktive Interferenz}$$

Schirm 2:

Oberer Weg: Phasensprung um π beim Strahlteiler 1 und um π beim Spiegel

Unterer Weg: Phasensprung um π beim Spiegel und um π bei Strahlteiler 2

$$\Rightarrow \Delta\phi_2 = 0 \Rightarrow \text{konstruktive Interferenz}$$

25/25

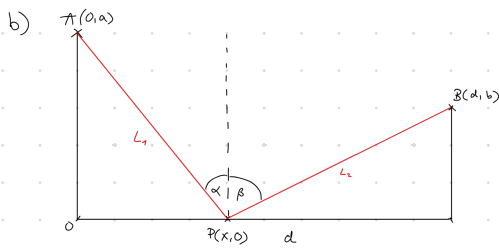
b) Die Phasenverschiebung durch die Kammer ist $\Delta\phi = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta n L$

?

0

② **3/3**

a) Das Fermat'sche Prinzip besagt, dass ein Lichtstrahl zwischen zwei Punkten P_1 und P_2 immer den Weg mit der minimalen Laufzeit läuft. (vgl. Hamilton'sches Prinzip in der Mechanik) **0,5/0,5**



Zur Herleitung des Reflexionsgesetzes aus dem Fermat'schen Prinzip betrachten wir einen Lichtstrahl vom Punkt $A(0,a)$ zum Punkt $B(d,b)$, der an einem Spiegel im Punkt $P(x,0)$ reflektiert wird.

Für die Gesamtlaufzeit t des Strahles ergibt sich

$$t(x) = t_1 + t_2 = \frac{L_1}{c} + \frac{L_2}{c} = \frac{\sqrt{x^2 + a^2}}{c} + \frac{\sqrt{(d-x)^2 + b^2}}{c}$$

Das Fermat'sche Prinzip besagt, dass die Laufzeit $t(x)$ minimal wird $\Leftrightarrow \frac{dt}{dx} \stackrel{!}{=} 0$.

$$\frac{dt}{dx} = \frac{1}{2c} \frac{2x}{\sqrt{x^2 + a^2}} - \frac{1}{2c} \frac{2(d-x)}{\sqrt{(d-x)^2 + b^2}} \stackrel{!}{=} 0$$

$$\Leftrightarrow \frac{x}{\sqrt{x^2 + a^2}} - \frac{d-x}{\sqrt{(d-x)^2 + b^2}} = 0$$

$$\Leftrightarrow \frac{x}{L_1} - \frac{d-x}{L_2} = 0 \text{ mit } \sin \alpha = \frac{x}{L_1} \text{ und } \sin \beta = \frac{d-x}{L_2} \text{ ergibt sich:}$$

$$\Leftrightarrow \frac{\sin \alpha L_1}{L_1} - \frac{\sin \beta L_1}{L_1} = 0 \Leftrightarrow \sin \alpha = \sin \beta \Leftrightarrow \alpha = \beta$$

2,5/2,5

③ a) $U(T,V) = \frac{3}{2} nRT - a \frac{n^2}{V}$, Van-der-Waals-Gleichung: $(p + a(\frac{n}{V})^2)(V - nb) = nRT$

$$U = \frac{3}{2} (p + a(\frac{n}{V})^2)(V - nb) - \frac{an^2}{V} \quad \Leftrightarrow p = \frac{nRT}{V - nb} - \frac{n^2 a}{V^2}$$

$$= \frac{3}{2} \left(\frac{nRT}{V - nb} - \frac{n^2 a}{V^2} + \frac{an^2}{V^2} \right) (V - nb) - \frac{an^2}{V} = \frac{3}{2} nRT - \frac{an^2}{V}$$

$$dU = \frac{3}{2} nR dT + \frac{an^2}{V^2} dV = T dS - p dV$$

$$\Rightarrow dS = \frac{1}{T} \left(\frac{3}{2} nR dT + \frac{an^2}{V^2} dV + p dV \right) = \frac{1}{T} \left(\frac{3}{2} nR dT + \frac{an^2}{V^2} dV + \frac{nRT}{V - nb} dV - \frac{n^2 a}{V^2} dV \right)$$

$$= \frac{1}{T} \left(\frac{3}{2} nR dT + \frac{nRT}{V - nb} dV \right)$$

$$\Delta S = \frac{3}{2} nR \int_{T_1}^{T_2} \frac{1}{T} dT + nR \int_{V_1}^{V_2} \frac{1}{V - nb} dV$$

$$= \frac{3}{2} nR \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) + nR \ln\left(\frac{V_2 - nb}{V_1 - nb}\right)$$

1,5

3,5/4

$$\begin{aligned}
 b) \quad \Delta u &= u_2 - u_1 = 0 = \frac{3}{2} n R T_2 - \frac{a n^2}{V_2} - \frac{3}{2} n R T_1 + \frac{a n^2}{V_1} \\
 &= \frac{3}{2} n R (\underbrace{T_2 - T_1}_{=\Delta T}) - a n^2 \left(\frac{1}{V_2} - \frac{1}{V_1} \right) \Leftrightarrow \frac{3}{2} n R \Delta T = a n^2 \underbrace{\left(\frac{1}{V_2} - \frac{1}{V_1} \right)}_{<0}
 \end{aligned}$$

✓

2/2

$\Rightarrow \Delta T < 0$

$$\begin{aligned}
 c) \quad \frac{3}{2} n R \Delta T &= a n^2 \left(\frac{1}{V_2} - \frac{1}{V_1} \right) \\
 \Delta T &= a n^2 \left(\frac{1}{V_2} - \frac{1}{V_1} \right) \cdot \frac{2}{3 n R} \\
 &= \frac{2 a n}{3 R} \left(\frac{1}{V_2} - \frac{1}{V_1} \right) \quad \text{mit } a = 0,14 \frac{\text{Pa} \cdot \text{m}^6}{\text{mol}^2}, n = N_2 = 1 \text{ mol}, \frac{\Delta V}{V_1} = 1 \Leftrightarrow V_2 - V_1 = V_1 \\
 &\hspace{15em} \Rightarrow V_2 = 2 V_1
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_2 - 293 \text{ K} &= \frac{2 \cdot 0,14 \frac{\text{Pa} \cdot \text{m}^6}{\text{mol}^2} \cdot 1 \text{ mol}}{3 \cdot 8,3145 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}} \left(\frac{1}{2 \cdot 0,024 \text{ m}^3} - \frac{1}{0,024 \text{ m}^3} \right) \\
 &\hspace{15em} V_1 = 24 \text{ dm}^3 = 24 \cdot 0,1^3 \text{ m}^3 = 0,024 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

$$\Delta T = -0,234 \text{ K} \quad \text{f} \quad 0/0,5$$

$= -0,14 \text{ K}$

5/4

④ a)

a = Kohäsionsdruck(-parameter) / Binnendruck(-parameter):

Druck, der durch Kohäsionskräfte (= Bindungskräfte zu Atomen) von Teilchen in einem Gas entsteht

für ist ein Maß dafür, wie sich die innere Energie bei Ausdehnung oder Zusammenziehen bei konstanter Temperatur ändert.

b = Kovolumen = $N_A \cdot V_N$

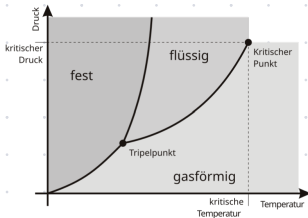
$\nearrow$ Ausdehnungskoeffizient
 $\nwarrow$ Volumen eines Moleküls

Bei einem realen Gas wird im Gegensatz zum idealen Gas die Ausdehnung der einzelnen Moleküle berücksichtigt

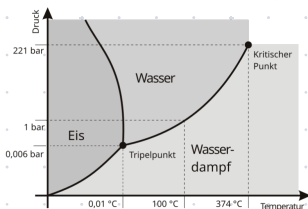
Für ideale Gase ist $a = b = 0$

1/1

Stoff ohne Anomalie



Stoff mit Anomalie (z.B. Wasser)



1/1

$$c) p = \frac{nRT}{V-nb} - \frac{n^2a}{V^2}$$

$$\left. \frac{\partial p}{\partial V} \right|_{T=T_c} = \frac{\partial \left(\frac{nRT_c}{V-nb} - \frac{n^2a}{V^2} \right)}{\partial V} = -\frac{nRT_c}{(V-nb)^2} + \frac{2n^2a}{V^3} = 0 \Leftrightarrow \frac{2n^2a}{V^3} = \frac{nRT_c}{(V-nb)^2} \Rightarrow T_c = \frac{2n^2a(V-nb)^2}{V^3nR}$$

$$\left. \frac{\partial^2 p}{\partial V^2} \right|_{T=T_c} = \frac{2nRT_c}{(V-nb)^3} - \frac{6n^2a}{V^4} = \frac{2nR}{(V-nb)^3} \cdot \frac{2n^2a(V-nb)^2}{V^3nR} - \frac{6n^2a}{V^4} = 0$$

$$\Leftrightarrow \frac{4n^2a}{(V-nb)^3} - \frac{6n^2a}{V^4} = 0 \Leftrightarrow \frac{4n^2aV}{V-nb} - 6n^2a = 0$$

$$\Leftrightarrow 4n^2aV - 6n^2a(V-nb) = 0 \Leftrightarrow 4n^2aV - 6n^2aV + 6n^3ab = 0$$

$$\Leftrightarrow 2n^2aV = 6n^3ab \Rightarrow V_c = \frac{6n^3ab}{2n^2a} = 3nb \quad \checkmark$$

$$\Rightarrow T_c = \frac{2n^2a(V-nb)^2}{V^3nR} = \frac{2n^2a(3nb-nb)^2}{3^3n^3b^3nR} = \frac{2n^2a4n^2b^2}{27n^4b^3R} = \frac{8a}{27bR} \quad \checkmark$$

$$\Rightarrow p_c = \frac{nRT_c}{V-nb} - \frac{n^2a}{V^2} = \frac{nR}{(3nb-nb)} \frac{8a}{27bR} - \frac{n^2a}{9n^2b^2} = \frac{4a}{27b^2} - \frac{a}{9b^2} = \frac{4a-3a}{27b^2}$$

$$= \frac{a}{27b^2} \quad \checkmark$$

$$1,5/1,5$$

d) Bei Temperaturen unterhalb der kritischen Temperatur T_c kann ein Gas durch Druck verflüssigt werden. Das ist oberhalb von T_c nicht mehr möglich.

Ab dem kritischen Punkt kann das Fluid nicht mehr anhand seiner Eigenschaften als flüssig oder gasförmig eingestuft werden. 0,5/0,5

$$e) T_c = \frac{8a}{27bR} \Leftrightarrow \text{Für größere } a \text{ wird } T_c \text{ größer, für größere } b \text{ wird } T_c \text{ kleiner}$$

Je größer der Binnendruck (Parameter a), also je größer die Bindungskräfte des Gases, desto größer ist auch die kritische Temperatur, die notwendig ist um den kritischen Punkt zu erreichen.

$$1/1$$