

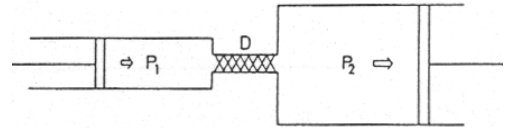
Prof. Dr. Kathy Lüdge
Alexander Kraft, Leon Merfort, Dr. S. Mohsen J. Khadem

10. Übungsblatt – Theoretische Physik IV: Thermodynamik und Statistik

Abgabe: Mi. 04.07.2018 bis 12:00 Uhr, Briefkasten ER-Gebäude

Aufgabe 25 (2+2=4 Punkte): Joule-Thomson-Prozess

Ein Zylinder wird durch eine Druckdrossel D in zwei Teilzylinder geteilt. Auf den beiden Seiten befinden sich Kolben, die Druck aufnehmen oder ausüben können (siehe Skizze), so dass beide Teilzylinder an ein Druckbad gekoppelt sind. Eine bestimmte Gasmenge werde durch D gepresst. p_1 und p_2 seien die Drücke vor und hinter der Öffnung, V_1 und V_2 die entsprechenden Volumina.



Zu Beginn des Prozesses sei $V_2 = 0$ und $V_1 = V$, am Ende $V_1 = 0$ und $V_2 = V$. Bei dem Prozess entspannt sich das Gas unter Wärmeisolation von dem Druck p_1 auf p_2 .

- (a) Begründen Sie, warum die Enthalpie H konstant bleibt.
- (b) Die Änderung der Temperatur wird daher durch den Joule-Thomson-Koeffizienten $\left(\frac{\partial T}{\partial p}\right)_H$ bestimmt. Zeigen Sie: $\left(\frac{\partial T}{\partial p}\right)_H = \frac{T}{C_p} \left[\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p - \frac{V}{T} \right]$ und $\left(\frac{\partial T}{\partial p}\right)_S > \left(\frac{\partial T}{\partial p}\right)_H$.

Aufgabe 26 (3+5=8 Punkte): Virialkoeffizient

In der Virialentwicklung realer Gase geringer Dichten lautet die Zustandsgleichung

$$\frac{pv}{RT} \approx 1 - B_2 \frac{N_A}{v} \quad \text{mit dem 2. Virialkoeffizienten} \quad B_2(T) = \frac{1}{2} \int d^3r \left(e^{-\beta\varphi(\mathbf{r})} - 1 \right)$$

für ein vorgegebenes Potenzial $\varphi(\mathbf{r})$ (p : molarer Druck, v : molares Volumen).

- (a) Berechnen Sie $B_2(T)$ für das intermolekulare Sutherland-Potenzial

$$\varphi(r) = \begin{cases} +\infty & 0 < r < d, \\ -\varphi_0 \left(\frac{d}{r}\right)^m & d \leq r < +\infty, \varphi_0 > 0, m > 3 \end{cases}$$

exakt (in Form einer Reihe) und im Hochtemperaturlimes $\beta\varphi_0 \ll 1$. d ist der Durchmesser eines Teilchens.

- (b) Bringen Sie die Zustandsgleichung in die Form der Van der Waals-Gleichung für geringe Dichten und bestimmen sie das Eigenvolumen b und den Binnendruck a in Abhängigkeit von den Parametern φ_0 und d .

Es genügt die Reihe aus (a) nur bis zur ersten Ordnung zu betrachten. Die Gasteilchen können als kugelförmig angenommen werden. Für das Volumen eines Gasteilchens gilt also: $V_K = \frac{4}{3}\pi \left(\frac{d}{2}\right)^3$.

10. Übung TPIV SS 18

Aufgabe 27 (4+4=8 Punkte): Kritischer Punkt im van der Waals-Gas

Betrachten Sie ein van der Waals-Gas mit der Teilchendichte $\rho = \frac{N}{V} = \frac{1}{v}$.

(a) Führen Sie die neuen Zustandskoordinaten

$$\hat{p} := \frac{p - p_c}{p_c}, \quad \hat{v} := \frac{V - V_c}{V_c}, \quad \hat{t} := \frac{T - T_c}{T_c}$$

ein, wobei der Index c sich auf den kritischen Punkt bezieht. Zeigen Sie, dass die Zustandsgleichung in der Nähe des kritischen Punktes durch $\hat{p} \approx A\hat{t} - B\hat{t}\hat{v} - C\hat{v}^3$ approximiert werden kann. Bestimmen Sie die Konstanten A, B und C .

(b) Der Index $'$ bezeichnet die flüssige Phase und $''$ die Dampfphase. Zeigen Sie, dass folgende Beziehungen in der Nähe des kritischen Punktes gültig sind:

- Entlang einer Isothermen in der Nähe des kritischen Punktes gilt $\hat{p} \sim (\rho - \rho_c)^\delta$.
- Entlang der kritischen Isochoren gilt $\kappa_T \sim |\hat{t}|^{-\gamma}$.
- Allgemein gilt: $\rho' - \rho'' \sim |\hat{t}|^\beta$.

Berechnen Sie in den drei Fällen die kritischen Exponenten δ, γ bzw. β .

Scheinkriterien:

- Mindestens 50% der Übungspunkte (Abgabe in 3er Gruppen).
Ab dem zweiten Übungsblatt werden Einzel- und Zweierabgaben nicht mehr akzeptiert!
- Regelmäßige, aktive Teilnahme an den Tutorien.
- Bestandene Klausur.

Sprechstunden		
Prof. Dr. Kathy Lüdge	Do, 14:00-15:00	EW 741
Alexander Kraft	Mi, 15:00-16:00	EW 269
Leon Merfort	Mo, 13:00-14:00	ER 240
Dr. S. Mohsen J. Khadem	Fr, 15:00-16:00	EW 267