

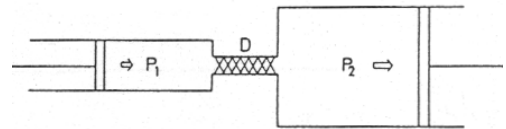
10. Übungsblatt – Theoretische Physik IV: Thermodynamik und Statistik 2009

Abgabe: Mo. 29.06.2009 bis 12:00 Uhr, Briefkasten ER-Gebäude oder online über ISIS

Bei den schriftlichen Ausarbeitungen werden ausführliche Kommentare zum Vorgehen erwartet. Dafür gibt es auch Punkte! Bitte das Tutorium und den Namen des Tutors auf dem Aufgabenzettel angeben! Die Abgabe soll in Dreiergruppen erfolgen.

Aufgabe 24 (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 25 (8 Punkte): Virialkoeffizient

In der Virialentwicklung realer Gase geringer Dichten lautet die Zustandsgleichung

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

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 .

Hinweis: 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: $V_K = \frac{4}{3}\pi \left(\frac{d}{2}\right)^3$.

Aufgabe 26 (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 .

Bitte Rückseite beachten! →

(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 .

Vorlesung:

- Donnerstags 10:15 Uhr – 11:45 Uhr im EW 203.
- Freitags 8:30 Uhr – 10:00 Uhr im EW 203.

Tutorien:

- Di. 12–14 Uhr im ER 164 (Martin Kliesch).
- Di. 14–16 Uhr im EW 226 (Martin Kliesch).
- Mi. 8–10 Uhr im EW 731 (wechselnd).
- Mi. 12–14 Uhr im EW 229 (wechselnd).
- Do. 12–14 Uhr im EW 731 (wechselnd).

Klausur:

- Freitag, den 03.07.2009, von 08:00 – 10:00 Uhr im ER 270.

Scheinkriterien: • Mindestens 50% der Übungspunkte.

- Bestandene Klausur.
- Regelmäßige und aktive Teilnahme in den Tutorien.

Literatur zur Lehrveranstaltung:

Siehe auch Semesterapparat in der Physikbibliothek.

- Friedrich Schlögl: Probability and Heat (Vieweg 1989)
- Franz Schwabl: Statistische Mechanik (Springer 2000)
- Frederick Reif, Wolfgang Muschik: Statistische Physik und Theorie der Wärme
- Wolfgang Nolting: Grundkurs Theoretische Physik Bd. 4 und 6 (Springer)
- Harald Stumpf, Alfred Rieckers: Thermodynamik Bd. I (Vieweg 1976)
- Peter Theodore Landsberg: Thermodynamics and Statistical Mechanics (Paperback 1990)
- Peter Theodore Landsberg (ed.): Problems in Thermodynamics and Statistical Physics
- Jürgen Schnakenberg: Thermodynamik und Statistische Physik (VCH 2000)
- Lew D. Landau, Jewgeni M. Lifschitz: Bd V, Statistische Physik
- Charles Kittel: Physik der Wärme
- Herbert B. Callen: Thermodynamics
- Richard Becker: Theorie der Wärme
- Wolfgang Weidlich: Thermodynamik u. Statistische Mechanik
- Kerson Huang: Statistische Physik

Sprechzeiten:

Name	Tag	Zeit	Raum	Tel.
Prof. Dr. E. Schöll, PhD	Mi.	14:30–15:30 Uhr	EW 735	23500
Stefan Fruhner	Fr.	13:30–14:30 Uhr	EW 627	27681
Philipp Hövel	Fr.	10:00–11:00 Uhr	EW 633	27658
Peter A. Kolski	Do.	15:00–16:00 Uhr	EW 627	79863
Martin Kliesch	Mo.	14:30–15:30 Uhr	EW 217	26232