

Statistische Physik I

4. Übungsblatt

Abgabetermin: Donnerstag, 5. Mai 2011, vor der Vorlesung

10. Magnet

Das magnetische Analogon zur Volumenarbeit $\delta W = -pdV$ ist $\delta W = \mu_0 V H dM$. Betrachten Sie nun ein magnetisches Material mit den thermodynamischen Variablen Temperatur T , Magnetfeld H und Magnetisierung M . Der Druck p und das Volumen V seien konstant und sind für das Folgende irrelevant.

- Die innere Energie $U = U(T, M)$ sei bekannt, ferner die Zustandsgleichung in der Form $M = M(T, H)$ gegeben. Formulieren Sie mit diesen Angaben die Differenz der Wärmekapazitäten $C_M - C_H$.
- Was ergibt sich speziell für den idealen Paramagneten, der durch $(\partial U / \partial M)_T = 0$ und $M = CH/T$ (C : Curie-Konstante) charakterisiert ist?
- Verifizieren Sie mit a) und geeigneten Maxwell-Relationen die Behauptung:

$$C_M - C_H = \mu_0 V T \left(\frac{\partial H}{\partial T} \right)_M \left(\frac{\partial M}{\partial T} \right)_H .$$

- Benutzen Sie zur expliziten Berechnung von $C_M - C_H$ die Zustandsgleichung eines Ferromagneten (für kleine H , $M \geq 0$)

$$H = \frac{1}{C}(T - T_c)M + bM^3,$$

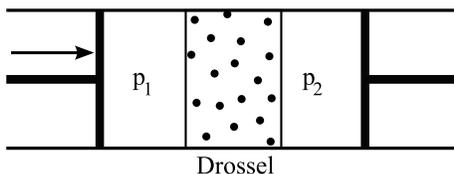
wobei C , T_c und b positive Konstanten sind.

11.† **Irreversibilität und reversibler Ersatzprozess** (3 Punkte)

Ein ideales Gas befindet sich in einem wärmeisolierten Zylinder mit Querschnittsfläche A , die mit einem Gewicht (Masse m) belastet wird. Nach Lösen der Arretierung stellt sich eine Gleichgewichtslage ein, bei der der Druck durch $p = mg/A$ gegeben ist. Vergleichen Sie Gleichgewichtslagen, Temperaturen und geleistete Arbeiten für reversible und irreversible Prozessführung.

12.† **Joule-Thomson-Prozess** (6 Punkte)

Beim Joule-Thomson-Prozess wird ein Gas gedrosselt adiabatisch gegen einen konstanten äußeren Druck entspannt.



- Für eindimensionale akustische Phononen mit quadratischer Dispersionsrelation gelten die Zustandsgleichungen $p = U/V$ und $T = 3BU^{2/3}/(NV)^{1/3}$, wobei $B = \text{const} > 0$. Zeigen Sie, dass der dritte Hauptsatz erfüllt ist, also $\lim_{T \rightarrow 0} S(T, p) = \lim_{T \rightarrow 0} S(T, V) = \text{const} (\equiv 0)$ gilt.
- Betrachten Sie den Joule-Thomson-Prozess für die in a) beschriebenen Phononen und berechnen Sie die Endtemperatur T_f bei Anfangstemperatur T_i , Anfangsdruck p_i sowie Enddruck p_f . Argumentieren Sie, dass Sie dazu einen isenthalpen reversiblen Ersatzprozess betrachten können.
- Zeigen Sie, dass für den Joule-Thomson-Koeffizient $\delta \equiv (\partial T / \partial p)_H$ gilt:

$$\delta = \frac{1}{C_p} \left[T \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_p - V \right]$$

gilt. Den Vorzeichenwechsel von δ nennt man Inversion.

- Berechnen Sie δ für ein ideales Gas.

gesamt: 9 Punkte

Die mit † gekennzeichneten Aufgaben werden bewertet.