

Universität Bielefeld Fakultät für Physik	Theoretische Physik III WS 2023/2024	Prof. Dr. Jürgen Schnack jschnack@uni-bielefeld.de
--	---	---

Aufgabenblatt 4

4.1 Magnetokalorik und Magnetostriktion

- a. Magnetische Materialien ändern bei adiabatischen Änderungen der magnetischen Induktion B (oft salopp Magnetfeld genannt) ihre Temperatur. Solche Prozesse können zum Erreichen tiefster Temperaturen genutzt werden oder aber für einen Carnot-Prozess nutzbar gemacht werden, der einen magnetischen Kühlschrank ermöglicht.

Stellen Sie die adiabatische Kühlrate

$$\left(\frac{\partial T}{\partial B}\right)_S \quad (1)$$

als Funktion von T , C_B und $\left(\frac{\partial S}{\partial B}\right)_T$ dar. Gehen Sie bei Ihrer Herleitung davon aus, dass die Entropie $S = S(T, B)$ eine Funktion von T und B ist. C_B sei die Wärmekapazität bei konstantem äußeren Feld.

- b. Magnetische Materialien können sich im äußeren Magnetfeld B verformen und dabei zum Beispiel ihr Volumen ändern. Die entscheidende Größe

$$\left(\frac{\partial V}{\partial B}\right)_p \quad (2)$$

ist nicht ganz einfach zu messen, deshalb macht man sich eine Maxwell-Relation zu eigen und misst einfach etwas anderes. Was könnte das sein?

Gehen Sie bei Ihren Überlegungen von folgendem totalen Differential aus:

$$dU = TdS - pdV + BdM . \quad (3)$$

Dabei ist M die Magnetisierung (das magnetische Moment) der Probe. Transformieren Sie $U(S, V, M)$ auf ein thermodynamisches Potential $G(T, p, B)$. Schreiben Sie das totale Differential und die Maxwell-Relationen hin. Eine hilft Ihnen.

4.2 Entropieänderung bei irreversiblen Prozessen

Der zweite Hauptsatz sagt uns zwar, dass die Entropie eines abgeschlossenen Systems nur zunehmen kann, aber nicht um welchen Betrag. Da die Entropie eine Zustandsgröße ist, hängt dieser Betrag nur vom Anfangs- und Endzustand ab, nicht aber vom Weg. Zur Berechnung erfindet man deshalb einen reversiblen Ersatzprozess.

Zwei gleiche Kupferblöcke der Massen $m = 1,5 \text{ kg}$ haben die Temperaturen $\vartheta_L = 60^\circ\text{C}$ und $\vartheta_R = 20^\circ\text{C}$. Sie werden in einem isolierenden Kasten aufeinandergelegt, so dass sie ins thermische Gleichgewicht kommen, ohne dass Wärme nach außen verloren geht. Die Relaxation zur Gleichgewichtstemperatur von $\vartheta_G = 40^\circ\text{C}$ ist irreversibel. Berechnen Sie die Entropieänderung des Gesamtsystems. Kupfer hat eine spezifische Wärme von $386 \text{ J}/(\text{kg K})$.

(Aus Halliday, Physik)

4.3 Der Joule-Prozess

Der Joule-Prozess besteht in der ungehinderten Ausdehnung eines Gases in ein größeres Volumen.¹ Die Apparatur sei dabei so gut isoliert, dass keine Wärmemenge mit der Umgebung ausgetauscht werden kann. Da das Gas also keine Wärmemenge austauscht und auch keine Arbeit verrichtet, ist die innere Energie U konstant. Als Maß für die Temperaturänderung beim Joule-Prozess wird der Joule-Koeffizient angegeben:

$$\mu_J = \left(\frac{\partial T}{\partial V} \right)_U. \quad (4)$$

a. Drücken Sie μ_J durch

$$\left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_V \quad \text{und} \quad \left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_T \quad \text{aus.} \quad (5)$$

Die erste Ableitung kann man unter Verwendung der Wärmekapazität C_V ersetzen, die zweite mit Hilfe des ersten Hauptsatzes durch T, S, V und p (und evtl. Ableitungen) ausdrücken. Die vorkommende Ableitung von S verwandele man nun noch mit einer Maxwell-Relation, so dass nur noch T, p und V auftauchen. Was kommt raus?

- b. Wie groß ist μ_J für das ideale Gas? Mit welchem Experiment ist das Ergebnis kompatibel?
- c. Wie groß ist μ_J für das van-der-Waals-Gas?
- d. Wie groß ist die Temperaturänderung für ein van-der-Waals-Gas, das sich von V_1 auf V_2 ausdehnt? Welches Vorzeichen hat sie?

¹Im Gegensatz dazu wird beim Joule-Thomson-Prozess der Druck in beiden Teilvolumina während des Überströmens konstant gehalten.