

Prof. Dr. Holger Stark  
Johannes Blaschke, Jakob Löber, Torben Winzer, Maria Zeitz

## 10. Übungsblatt – TPIV: Thermodynamik und Statistische Physik

**Abgabe: Fr. 01.07.2016 bis 08:30 Uhr, Briefkasten ER-Gebäude**

### **M** Aufgabe 28: *Fluktuationen der inneren Energie*

- (a) Beweisen Sie zunächst, dass

$$\Delta U^2 = \langle U_s^2 \rangle - \langle U_s \rangle^2 = \frac{\partial^2}{\partial \beta^2} \ln Z.$$

- (b) Beweisen Sie, dass

$$\langle U_s^2 \rangle - \langle U_s \rangle^2 = k_B T^2 C_V.$$

- (c) Zeigen Sie, dass im kanonischen Ensemble die relativen Fluktuationen der inneren Energie

$$\frac{\sqrt{\langle U_s^2 \rangle - \langle U_s \rangle^2}}{\langle U_s \rangle}$$

im thermodynamischen Limes gegen Null gehen.

### **S** Aufgabe 29 (9 Punkte): *Quanten-Oszillatoren*

In einem abgeschlossenen System befinden sich  $N$  harmonische Quanten-Oszillatoren der charakteristischen Frequenz  $\omega$ . Die Energie des Oszillators  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, N$ ) ist gegeben durch  $e_i = \hbar\omega(n_i + \frac{1}{2})$ . Dabei ist  $n_i$  ( $n_i = 0, 1, 2, \dots$ ) die Anzahl der Schwingungsquanten am Oszillator mit der Nummer  $i$ .

- (a) Geben Sie die Temperatur und die Entropie dieses Systems als Funktion seiner Gesamtenergie  $E_M = \sum_i e_i = \sum_i \hbar\omega(n_i + \frac{1}{2}) =: \hbar\omega(M + \frac{N}{2})$  an. Dabei ist ( $M = \sum_i n_i$ ) die Gesamtzahl der Schwingungsquanten.
- (b) Berechnen Sie die spezifische Wärme  $c_v$  und diskutieren Sie deren Temperaturverlauf.

*Hinweis:* Bei Vorgabe der Gesamtenergie  $E_M$  arbeitet man unter "mikrokanonischen Bedingungen": Gehen Sie aus von der Zahl der Möglichkeiten,  $M$  ununterscheidbare "Quanten" (Schwingungsquanten) auf  $N$  Oszillatoren zu verteilen.

### **S** Aufgabe 30 (11 Punkte): *Adiabatische Entmagnetisierung*

Adiabatische Entmagnetisierung ermöglicht die Erzeugung sehr tiefer Temperaturen.

- (a) Erläutern Sie zunächst den Grundgedanken, indem Sie ganz allgemein für eine adiabatische Prozessführung die infinitesimale Temperaturänderung  $dT$  in Relation zur Änderung der Magnetisierung  $dM$  setzen.
- (b) Berechnen Sie die Entropie für ein paramagnetisches Salz. Verwenden Sie dazu das Curiesche Gesetz für die magnetische Suszeptibilität  $\chi = C/T$ , wobei  $C$  die Curie-Konstante ist und die durch die Phononen bestimmte spezifische Wärme durch  $c_v(T) = \alpha T^3$  bestimmt ist. Für nicht zu kleine Temperaturen und  $M \ll M_{\text{Sättigung}}$  ist  $M = HC/T$ . Diskutieren Sie die adiabatische Entmagnetisierung im  $S - T$ - und  $T - M$ -Diagramm. Wie kann man die Entmagnetisierung experimentell realisieren?

**Bitte Rückseite beachten! →**

10. Übung TPIV SS 16

- (c) Für jede Substanz gibt es eine nicht unterschreitbare Temperatur. Erklären Sie dies qualitativ und begründen Sie, weshalb man mit Stoffen, die einen Kernspin besitzen besonders tiefe Temperaturen erreicht. Zeigen Sie, dass infolge des 3. Hauptsatzes der absolute Nullpunkt auch mit diesem Verfahren nicht erreicht werden kann.

**Zum Übungsbetrieb:** Die Übungsaufgaben teilen sich auf in mündliche **M** und schriftliche **S** Aufgaben. Die Bedingung für die Vergabe eines Übungsscheins gliedert sich daher in zwei Teile:

- Es müssen mindestens 50% der schriftlichen Übungspunkte erreicht werden. Die Abgabe erfolgt in Dreiergruppen. Ab dem zweiten Übungsblatt werden Einzel- und Zweierabgaben nicht mehr akzeptiert!
- Vorrechnen: Jeder Student kreuzt vor jeder Übung diejenigen Aufgaben auf einer ausliegenden Liste an, die er oder sie bearbeitet hat. Wer eine Aufgabe angekreuzt hat, ist bereit diese Aufgabe an der Tafel vorzurechnen. Für den mündlichen Teil des Scheinkriteriums müssen am Ende des Semesters in Summe 50% der mündlichen Aufgaben angekreuzt sein.

	Mo	Di	Mi	Do	Fr
08-10					EW 203 HS
10-12	EW 229 Johannes		EW 226 Torben		EW 731 Maria
12-14			EW 203 HS		ER 164 Jakob
14-16					
16-18					

Sprechstunden		
Prof. Dr. Holger Stark	Fr 11:30–12:00	EW 709
Johannes Blaschke	Mi 10–11	EW 708
Jakob Löber	Mi 14 –15	EW 737
Torben Winzer	Do 14–15	EW 703
Maria Zeitz	Do 11 –12	EW 702