

TuS

Thermodynamik und Statistik

Nicolai Weitkemper
nicolai.weitkemper@tu-dortmund.de

Wintersemester 2016/2017

TU Dortmund – Fakultät Physik

Aufgabe 1: Kurzfragen

a)

Betrachten Sie ein System B das Sie in zwei Teile B_1 und B_2 aufteilen. Wenn sich die Systeme isoliert voneinander im Gleichgewicht befinden, wie setzt sich die Gesamtentropie S des Systems B aus den Teilentropien S_1 und S_2 zusammen? Was können Sie über die Gesamtentropie S des Systems B sagen, wenn die Teilsysteme gekoppelt werden? Wird sie größer, gleich oder kleiner sein als die Gesamtentropie ohne Kopplung?

b)

Wie lautet die Zustandsgleichung des idealen Gases? Welche Korrekturen werden für ein reales Gas benötigt? Geben Sie auch den physikalischen Ursprung der Korrekturterme an.

c)

Von welchen thermodynamischen Variablen hängt die freie Energie F ab? Durch welche Transformation erhält man die innere Energie U und von welchen Variablen hängt U ab? Wie gewinnt man die Entropie S und den Druck aus F ? Ist F eine extensive oder eine intensive Größe und warum?

d)

Wie lautet die mittlere Besetzung n eines bosonischen Zustands mit der Energie ϵ bei der Temperatur T ? Wann benötigen Sie für die Besetzung ein chemisches Potential? Wenn Sie die Dispersion des Lichts zugrunde legen, wie lautet dann die Energiedichte einer thermischen Lichtwelle (Plancksches Strahlungsgesetz)?

Hinweis: Summieren Sie alle k -Moden mit konstanter Energie auf und berücksichtigen Sie, dass das Licht zwei Polarisationsrichtungen besitzt.

e)

Wie berechnet man die kanonische Zustandssumme Z für ein diskretes System? Geben Sie den Wert von Z für ein System von N unabhängigen Spins $s = \frac{1}{2}$ in einem endlichen externen Magnetfeld B an. Wie lautet die Entropie S des Systems im Grenzfall $B \rightarrow 0$? Woran sehen Sie, dass die Entropie extensiv ist?

f)

Wie unterscheiden sich die beiden spezifischen Wärmen C_p und C_v ? Wie lautet die Verknüpfung von Entropie und spezifischer Wärme? Aus welchen verschiedenen thermo-

dynamischen Potentialen gewinnt man C_v oder C_p und warum?

Aufgabe 2: Klassisches Gas im Potential

N nicht miteinander wechselwirkende unterscheidbare Teilchen der Masse m befinden sich im Inneren eines *endlichen* Würfels mit Seitenlänge L mit dem Potential

$$V(\vec{r}) = \alpha(x + y + z), \quad \alpha > 0.$$

Der Würfel befindet sich im ersten Quadranten des Koordinatensystems und eine seiner Ecken berührt den Koordinatenursprung.

a)

Berechnen Sie die klassische kanonische Zustandssumme

b)

Berechnen Sie aus der kanonischen Zustandssumme die freie Energie F . Geben Sie den Zusammenhang zwischen der freien Energie F und dem Druck p an und berechnen Sie den Druck p .

c)

Wie lautet der Druck im Grenzfall $\alpha \rightarrow 0$? Entwickeln Sie dazu die Exponentialfunktion bis zur ersten Ordnung. Welche Zustandsgleichung ergibt sich?

Aufgabe 3: Kreisprozess

Betrachten Sie folgenden Kreisprozess, der sich aus den vier angegebenen Teilprozessen zusammensetzt. Das Arbeitsmaterial ist ein ideales Gas.

- $1 \rightarrow 2$: adiabatische Kompression
- $2 \rightarrow 3$: isochore Druckerhöhung
- $3 \rightarrow 4$: adiabatische Expansion
- $4 \rightarrow 1$: isochore Druckverringerung

a)

Zeichnen und beschriften Sie das pV - und das TS -Diagramm für diesen Kreisprozess.

Hinweis: Für adiabatische Prozesse gilt die Adiabatengleichung

$$pV^\gamma = \text{const.} ,$$

wobei $\gamma = \frac{C_p}{C_V} = \frac{5}{3}$ für ein ideales Gas ist.

b)

Berechnen Sie für jeden Teilprozess die verrichtete Arbeit und Wärmeänderung. Sie brauchen nicht explizit angeben, ob dem Gas Wärme/Arbeit zu- oder abgeführt wird.

c)

Drücken Sie die gesamte Arbeit $W_{\text{ges}}(V_1, V_2, p_2, p_3)$ als Funktion der beiden Volumina sowie der beiden Drücke p_2 und p_3 aus.

d)

Berechnen Sie den Wirkungsgrad $\eta(V_1, V_2)$ als Funktion der beiden Volumina.

Aufgabe 4: Drei-Zustand-System

Wir betrachten ein Teilchen in einem Zwei-Niveau-System mit den Energieniveaus ϵ_0 und ϵ_1 ($\epsilon_0 < \epsilon_1$). Der angeregte Zustand ϵ_1 sei zweifach entartet und der Grundzustand ϵ_0 sei nicht entartet. Der Hamiltonoperator enthalte keine Übergänge zwischen den beiden Niveaus. Das System stehe in Kontakt mit einem Wärmebad der Temperatur T .

a)

Geben Sie den Hamiltonoperator sowie den Dichteoperator im thermischen Gleichgewicht explizit als Matrizen an.

Setzen Sie nun für die folgenden Aufgabenteile $\epsilon_0 = 0$ und $\epsilon_1 = \epsilon$.

b)

Beschreibt der Dichteoperator

- (i) im Grenzfall $T \rightarrow 0$
- (ii) im Grenzfall $T \rightarrow \infty$

einen reinen Zustand? Interpretieren Sie Ihr Ergebnis physikalisch.

c)

Bestimmen Sie die innere Energie U und die spezifische Wärme C_V . Skizzieren Sie den Verlauf der spezifischen Wärme C_V in Abhängigkeit von der Temperatur T .