

Aufgabe 20 (mündlich): Kühl- und Gefrierschrank (8 Punkte)

- a) Die Temperatur in einem Carnot-Kühlschrank werde bei 5 °C dadurch gehalten, dass Wärme an die Umgebung (bei einer Umgebungstemperatur von 22 °C) abgegeben wird. Bestimmen Sie die prozentuale Zunahme der Arbeit, die für die Entfernung der gleichen Wärmemenge ΔQ_L aufgewendet werden muss, wenn der Kühlschrank als Gefrierschrank bei -18 °C betrieben wird.
- b) Mit Hilfe einer idealen Kühlanlage basierend auf einem inversen Carnot-Prozess, die sich in einem 22 °C warmen Raum befindet, sollen 1000 kg Eis erzeugt werden. Die spezifische Wärme von Wasser beträgt $4,186 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$, die Schmelzwärme von Eis $333,5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$. Berechnen Sie die Arbeit ΔW , die notwendig ist, um das Wasser von 22 °C auf 0 °C abzukühlen. Berechnen Sie die Arbeit, die erforderlich ist, um das Wasser anschließend zum Gefrieren zu bringen.

Aufgabe 21 (mündlich): Van-der-Waals-Gas (6 Punkte)

Eine im Vergleich zum idealen Gas deutlich realistischere Beschreibung eines realen Gases erhält man im Rahmen des empirisch aufgestellten van-der-Waals-Modells, das sich im Rahmen der statistischen Physik auch näherungsweise mikroskopisch begründen lässt. Die zugehörigen Zustandsgleichungen lauten:

$$U = \frac{f}{2} Nk_B T - a \frac{N^2}{V} \quad \text{und} \quad \left(p + a \frac{N^2}{V^2} \right) (V - Nb) = Nk_B T$$

Dabei ist f die Zahl der Freiheitsgrade, also $f = 3$ für einatomige Gase und $f = 5$ für Gase aus zweiatomigen bzw. linearen Molekülen. N ist die Anzahl der Teilchen.

- a) Berechnen Sie die Wärmekapazitäten C_V und C_p des van-der-Waals-Gases.
- b) Zeigen Sie, dass sich die beiden Zustandsgleichungen aus der freien Energie

$$F(T, V, N) = -Nk_B T \left\{ \ln \left[\frac{V - bN}{V_0 - bN_0} \frac{N_0}{N} \left(\frac{T}{T_0} \right)^{\frac{f}{2}} \right] + 1 \right\} - a \frac{N^2}{V}$$

ableiten lassen.

Aufgabe 22 (schriftlich): Thermodynamische Potentiale des idealen Gases (8 Punkte)

Die Entropie des einatomigen idealen Gases als Funktion ihrer natürlichen Variablen lautet gemäß Vorlesung

$$S(U, V, N) = Nk_B \left\{ \ln \left[\left(\frac{U}{U_0} \right)^{\frac{3}{2}} \left(\frac{N_0}{N} \right)^{\frac{5}{2}} \frac{V}{V_0} \right] + \frac{S_0}{N_0 k_B} \right\}.$$

- a) Berechnen Sie die innere Energie $U(S, V, N)$.
- b) Berechnen Sie die intensiven Variablen T, p, μ als Funktion von S, V, N .
- c) Leiten Sie mit Hilfe der Ergebnisse aus Teil b) die kalorische und die thermische Zustandsgleichung des idealen Gases her.
- d) Berechnen Sie die freie Energie $F(T, V, N)$ und das großkanonische Potential $\Omega(T, V, \mu)$ jeweils als Funktion ihrer natürlichen Variablen.

Aufgabe 23 (schriftlich): 1 C - wenig oder viel?

(4 Punkte)

Betrachten Sie einen fünfminütigen Ladungsfluss durch eine Glühbirne bzw. den Ladungsfluss während des Motorstarts in einem PKW (10 s). Eine typische Glühbirne hat bei 12 V eine Leistungsaufnahme von 5 W; eine Standardautobatterie liefert bei einer Spannung von 12 V einen Strom von 300 A. Wenn der Ladungsfluss zwischen zwei Luftballons im Abstand von 1 m stattfinden würde, welche Kraft würde danach zwischen ihnen herrschen? Wie groß müsste eine Masse m sein, damit auf sie eine entsprechend große Gewichtskraft wirkt (Annahme $g = 10 \text{ m/s}^2$)?

Aufgabe 24 (schriftlich): Schwebende Ballons

(6 Punkte)

Zwei gleich große mit Heliumgas gefüllte Ballons sind über jeweils einen Faden an derselben Masse $m = 5 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$ befestigt. Jeder Ballon ist mit einer elektrischen Ladung q behaftet, so dass zwischen ihnen die Coulombkraft wirkt. Wie groß muss q sein, damit sich der in der Skizze angegebene Gleichgewichtsabstand einstellt, wenn das Gesamtsystem schwebt?

