Technische Universität Braunschweig

INSTITUT FÜR THEORETISCHE PHYSIK

Prof. Dr. Wolfram Brenig
Niklas Casper
Erik Wagner

Thermodynamik und Quantenstatistik WS 2018/19

10. Übungsblatt

Abgabe: Di, 08.01.2019 bis 11:30 Uhr, Kasten neben A316

Übungsblätter gibt es unter `https://www.tu-bs.de/theophys/edu/wise-1819/thermo1819`.

39. **Wissensfragen (10 Punkte)**

Bitte benennen Sie alle verwendeten Symbole und antworten Sie in vollständigen Sätzen.

(a) Die Buchstaben des Wortes TANNENBAUM seien zufällig angeordnet. Berechnen Sie die Wahrscheinlichkeit dafür, dass alle drei N am Anfang stehen.

(b) Wann nennt man ein System isoliert, geschlossen oder offen?

(c) Charakterisieren Sie die Zustandsgröße Temperatur.

(d) Nennen Sie mögliche Formen von Energieänderungen in einem thermodynamischen System.

(e) Welche Relation bezeichnet man als kalorische, welche als thermische Zustandsgleichung?

(f) Erklären Sie, warum beim idealen Gas $C_p > C_V$ ist.

(g) Wie lauten die drei Adiabatengleichungen des idealen Gases?

(h) Was versteht man unter einem perpetuum mobile zweiter Art?

(i) Was kann über den Wirkungsgrad einer beliebigen reversibel und periodisch arbeitenden Maschine gesagt werden?

(j) Wie verhält sich die Entropie eines isolierten Systems, in dem noch Prozesse ablaufen? Was kann über die Entropie nach Erreichen des Gleichgewichts gesagt werden?

40. **Clausius-Clapeyron und der Tripelpunkt von Wasser (8 Punkte)**

(a) Skizzieren Sie die Herleitung der Clausius-Clapeyron-Gleichung.

(b) Unter welchen Voraussetzungen gilt die Clausius-Clapeyron-Gleichung?

(c) Bestimmen Sie approximativ den Tripelpunkt von Wasser mit Hilfe der umseitig angegebenen Messdaten. Verwenden Sie dazu $p(T)$ in linearer Näherung, d. h. $p(T) \approx p_0(T_0) + \frac{\mathrm{d}p}{\mathrm{d}T}(T - T_0)$. Geben Sie zum Vergleich den Literaturwert für Temperatur und Druck am Tripelpunkt an.

(d) Was gilt für die intensiven Variablen am Tripelpunkt?

Bitte wenden! →

Messdaten für Wasser:

- Der Dampfdruck von Wasserdampf bei zwei verschiedenen Temperaturen beträgt $p_1 = 6,105 \times 10^2$ Pa bei $T_1 = 0$ °C und $p_2 = 6,567 \times 10^2$ Pa bei $T_2 = 1$ °C.
- Die spezifischen Volumina von Eis und Wasser sind bei $T_0 = 0$ °C und $p_0 = 1,013 \times 10^5$ Pa gegeben durch $v_{\text{Eis}} = 1,091 \times 10^{-3}$ m^3/kg, sowie $v_{\text{Wasser}} = 1,000 \times 10^{-3}$ m^3/kg.
- Die latente Wärme von Eis ist $q = 334,94 \,\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$.

41. **Simulation der Brown'schen Bewegung mithilfe eines Random Walks (10 Bonuspunkte)**

Wir wollen die zufällige Bewegung eines einzelnen Teilchens z. B. in einer Suspension beschreiben. Dazu nehmen wir an, dass das Teilchen während seiner Bewegung durch Stöße mit der Umgebung seine Richtung zufällig ändert. Um ein solches Verhalten in zwei Dimensionen zu simulieren, betrachten wir ein Teilchen, welches auf einem Quadratgitter der Größe $L \times L$ hüpft. Das Teilchen starte im Mittelpunkt und bewege sich pro Zeitschritt δt zufällig in eine Richtung (oben, unten, links oder rechts), die mithilfe von Zufallszahlen bestimmt wird. Teilchen, die das Gitter verlassen werden nicht berücksichtigt.

(a) Schreiben Sie ein Programm, welches diese Bewegung (Random Walk) für k Zeitschritte δt simuliert.

(b) Visualisieren Sie das Ergebnis aus Aufgabenteil (a) für $k = 1000$ Schritte (z. B. Animation oder statischer Plot mit Trajektorie).

(c) Wiederholen Sie Ihr Experiment ausreichend häufig um den Mittelwert $\left\langle R^2(t) \right\rangle = \left\langle (x(t) - x_0)^2 + (y(t) - y_0)^2 \right\rangle$ bestimmen zu können. (x_0, y_0) ist der Startpunkt des Teilchens. Wie ist der Zusammenhang zwischen $\left\langle R^2(t) \right\rangle$ und t? Kennen Sie dieses Gesetz?

42. **Diffusionsbegrenztes Wachstum (10 Bonuspunkte)**

Wir betrachten wieder ein Quadratgitter, in dem sich in der Mitte ein stationärer Kristallisationskeim befindet. Lassen Sie ein zweites bewegliches Teilchen von einer zufälligen Position des Randes des Quadratgitters starten und einen Random Walk durchführen – dafür eignet sich ein Teil des Programms aus Aufgabe 41. Wenn sich das zweite Teilchen in der direkten Umgebung des Kristallisationskeimes ($\hat{=}$ direkter Nachbar, aber auch Quernachbarn mit Abstand $\sqrt{2}$) befindet, soll es an dem Keim anhaften.
Zufallsschritte, die zum Verlassen des Quadratgitters führen, werden nicht durchgeführt.
Anhaften bedeutet hier, dass das Teilchen seine Bewegung beendet.

(a) Schreiben Sie ein Programm, welches die Bewegung eines Teilchens von zufälligen Randpositionen so häufig wiederholt, bis an dem Kristallisationskeim $N = 500$ Teilchen anhaften (= Schneeflocke, Gittergröße $L = 101$). Randpositionen die von der Schneeflocke bereits mit eingeschlossen werden, werden als Startpunkt ausgeschlossen.

(b) Visualisieren Sie das Ergebnis. Das Ergebnis, welches am ehesten einer Schneeflocke gleicht, wird nach den Feiertagen bestimmt und entsprechend prämiert. Natürlich sind die Parameter nur ein Vorschlag, Sie können die Größe des Gitters L und der Flocke N ändern um ansehnlichere Ergebnisse zu erhalten.

Geben Sie die Programme inkl. Auswertung (Beschriftung, Dokumentation etc.) zusätzlich in elektronischer Form ab (E-Mail: n.casper@tu-bs.de sowie erik.wagner@tu-bs.de).