

Übungen zur Experimentalphysik II — Blatt 4

Aufgabe 1: Wärmebad, Gas zusammendrücken

5 Punkte (2 + 3)

- Ein Mol eines einatomigen idealen Gases wird in einem Zylinder, der sich in einem Wärmebad befindet, isotherm auf die Hälfte seines Volumens zusammengedrückt. Wie groß ist die abgegebene Wärmemenge?
- Bestimmen Sie das Verhältnis der Arbeiten, die Sie aufwenden müssen, um ein einatomiges ideales Gas einmal **isotherm** und einmal **adiabatisch** auf $1/20$ seines Ausgangsvolumens zu komprimieren. In beiden Fällen sind der Anfangsdruck, das Ausgangsvolumen und die Gasmenge gleich.

Aufgabe 2: Adiabatische Expansion

8 Punkte (6 + 2)

Um die reversible adiabatische Expansion eines idealen Gases mikroskopisch zu verstehen, greifen wir auf das einfache 1-dimensionale Gasmodell der Vorlesung zurück, siehe Abschnitt 1.4.2 in der Vorlesung. Da sich die Teilchen nur entlang der x-Achse bewegen können, ist die Zahl der Freiheitsgrade hier $f = 1$.

Die Ausdehnung des Gasvolumens erfolgt durch Verschieben der rechten Wand des Kastens. Die Länge des Kastens wird durch den Expansionsvorgang von $L_0 = 1\text{ m}$ auf $L_1 = 2\text{ m}$ vergrößert, die anderen Dimensionen bleiben unverändert. Wir betrachten ein einzelnes Teilchen, mit dem Betrag der Anfangsgeschwindigkeit $v_0 = 1000\text{ m s}^{-1}$. Zum Zeitpunkt $t = 0\text{ s}$ befinde es sich an der rechten Wand des Kastens und fliege nach links. Ohne Expansion wird es also nach der Zeit $t = 2L_0/v_0$ wieder die rechte Wand erreichen und dort auftreffen. Die Ausdehnung des Gases verlaufe sehr langsam, mit der konstanten Geschwindigkeit $w = dL/dt = 0,1\text{ m/s} \ll v$.

- Schreiben Sie ein einfaches Python-Programm, um dieses einzelne Teilchen verfolgen zu können. Berechnen Sie für jede Kollision mit der rechten, zurückweichenden Wand:
 - Die Geschwindigkeitsänderung Δv (betragsmäßig) des Teilchens durch die Reflektion
 - Die momentane Länge L' des Kastens
 - Die Dauer t' bis zur nächsten Kollision

Brechen Sie die Iteration ab, sobald $L' = L_1$ erreicht ist.

Wie groß ist die entsprechende Teilchengeschwindigkeit v_1 ? Um welchen Faktor T_1/T_0 hat sich die absolute Temperatur geändert? Um welchen Faktor p_1/p_0 hat sich der Druck geändert? Stellen Sie den Verlauf von T_1/T_0 und p_1/p_0 jeweils als Funktion von V_1/V_0 grafisch dar.

- Vergleichen Sie Ihr numerisches Ergebnis mit der erwarteten Temperaturänderung als Funktion des Volumens bei einem idealen adiabatischen Prozess.

Nutzen Sie das RWTH Jupyter Hub und starten Sie das Profil "[Stacks] SciPy". Laden Sie dort das Beispiel-Notebook aus moodle hoch, vervollständigen Sie es entsprechend und berechnen Sie dann die o.g. Größen. Laden bei den Lösungen in moodle auch ihr Jupyter-Notebook als ipynb- und als PDF-Datei hoch.

Aufgabe 3: Entropie beim Kartenmischen

4 Punkte (2 + 2)

Ein Poker-Kartenspiel besteht aus $13 \times 4 = 52$ unterschiedlichen Karten. Zunächst seien die 52 Karten geordnet, dann werden sie gründlich durchmischt.

- a) Wie groß ist die durch den Mischungsvorgang bewirkte Entropieänderung?
- b) Wie kann man den unter a) erhaltenen Wert, der ja nicht dimensionslos ist, interpretieren?

Hinweis: Benutzen Sie gegebenenfalls die Stirlingsche Näherungsformel $\ln n! \approx n \ln n - n$.

Aufgabe 4: Entropie und Reversibilität

2 Punkte (1 + 1)

Prozess der Wärmeleitung zwischen zwei Körpern: Ein warmer (T_w) und ein kalter (T_k) Körper werden in direkten thermischen Kontakt gebracht. Die beiden Körper tauschen so lange Wärme aus bis ein vollständiger Temperatúrausgleich erreicht ist, also $T'_w = T'_k = T_m$. (Es wird keine Wärme an die Umgebung abgegeben oder von dort aufgenommen.)

- a) Wie sieht der Umkehrprozess zum oben beschriebenen Prozess aus?
- b) Ist der Prozess reversibel? Warum bzw. warum nicht?

Aufgabe 5: Entropie: Kupferblock

6 Punkte (1 + 3 + 1 + 1)

Ein Kupferblock mit der Masse 1 kg hat eine Temperatur von 100°C . Er wird in ein Kalorimeter mit vernachlässigbarer Wärmekapazität gegeben, das 5 l flüssiges Wasser mit einer Temperatur von 4°C enthält.

- a) Überlegen Sie zunächst, ob es sich um einen reversiblen oder irreversiblen Prozess handelt. Wie kann unter diesen Voraussetzungen die Entropie berechnet werden?

Bestimmen Sie anschließend die Entropieänderungen

- b) des Kupferblocks
- c) des Wasser
- d) des Universums

Allgemeiner Hinweis: Bitte rechnen Sie grundsätzlich so lange wie möglich mit den Variablen, d.h. setzen Sie die gegebenen Zahlenwerte erst ganz am Schluss ein. Fertigen Sie außerdem aussagekräftige Skizzen an wo immer es hilfreich ist.