

FERIENKURS EXPERIMENTALPHYSIK 2

2010

Übung 1

1

Ein Thermometer lässt sich auch aus zwei Metallstäben unterschiedlichen Materials bauen. Dafür spannt man die beiden Stäbe, die bei 0°C die selbe Länge haben an einem Ende fest ein und bindet sie an ihrem anderen Ende aneinander. Der Abstand zwischen den beiden Stäben ist überall d .

a) Um welchen Winkel φ verdrehen sich die beiden Stäbe (das „Zeigersystem“) gegen die Ausgangsrichtung, wenn sich die Temperatur um ΔT ändert?

b) Wie lautet die Celsius-Temperaturskala $\vartheta = \vartheta(\varphi)$ für dieses Thermometer?

2

Wie groß ist gemäß der statistischen Mechanik die quadratisch gemittelte Geschwindigkeit $v_{rms} = \sqrt{\overline{v^2}}$ eines Wasserstoffmoleküls bei $\vartheta = 20^\circ\text{C}$ (mittlere Atommasse $\overline{m_H} = 1u$)?

Wie groß ist bei der selben Temperatur jene von Atomen im Quecksilberdampf ($\overline{m_{Hg}} = 260,6u$)?

Bedeutet das Ergebnis, dass Gasmoleküle in kurzer Zeit große Distanzen auf der Erde zurücklegen?

3

Gegeben sei die van-der-Waalsche Zustandsgleichung eines realen Gases mit den Konstanten a und b .

a) Bestimmen Sie die kritischen Größen T_k (kritische Temperatur), v_k (kritisches Molvolumen) und p_k (kritischer Druck) als Funktionen von a und b .

b) Für Sauerstoff haben die van-der-Waals-Konstanten die Werte $a = 0,1378 \frac{\text{Nm}^4}{\text{mol}^2}$ und $b = 31,8 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^3}{\text{mol}}$. Bestimmen Sie die kritischen Größen von Sauerstoff.

4

Ein Behälter von 1000cm^3 enthält Argon bei 300K unter einem Druck von 300kPa . Die Masse eines Argonatoms ist $40u$. Nehmen Sie an, dass sich Argon unter diesen Bedingungen als ideales Gas behandeln lässt.

a) Wie viele Atome befinden sich im Behälter?

b) Schätzen Sie die mittlere Geschwindigkeit der Argonatome ab, indem Sie sie durch die Wurzel aus dem mittleren Geschwindigkeitsquadrat $\overline{v^2}$ approximieren.

c) Wie viele Atome treffen pro Sekunde auf eine Wandfläche von $0,1\text{mm}^2$, wenn man für ihre mittlere Geschwindigkeit den Wert aus b) benutzt? (Hinweis: Verwenden Sie, dass die Teilchenstromdichte bei isotroper Verteilung der Geschwindigkeitsrichtungen in 3 Dimensionen gegeben ist durch $j = \frac{1}{4}nv$, wobei n die Anzahldichte der Teilchen und v ihre Geschwindigkeit ist.)

Wie lange dauert es, bis die Anzahl der Atome im Behälter auf $\frac{1}{e}$ ihrer Anfangszahl gesunken ist, wenn die Fläche in c) ein Loch in der Wand ist, durch das die Atome entweichen können.

5

Zwei gegenüber der Außenwelt isolierte Gefäße sind durch ein kurzes Rohr mit zunächst geschlossenem Ventil und vernachlässigbarem Volumen miteinander verbunden. Im ersten Behälter befinden sich $V_{He} = 2\text{m}^3$ Helium bei $p_{He} = 1,2\text{bar}$ und $\vartheta_{He} = 30^\circ\text{C}$. Im zweiten Behälter sind $m_{Ne} = 0,8\text{kg}$ Neon bei $p_{Ne} = 2,1\text{bar}$ und $\vartheta_{Ne} = 72^\circ\text{C}$. Die molare Masse von Neon ist $M_{Ne} = 20,2\text{g/mol}$ und diejenige von Helium ist $M_{He} = 4,0\text{g/mol}$. Nun öffnet der Experimentator das Ventil, wodurch sich die Gase vermischen und ein thermisches und mechanisches Gleichgewicht einstellt.

a) Welche Temperatur misst der Experimentator im Endzustand?

b) Welchen Druck misst er?

c) Wie sind die Massenanteile $r_{He} = \frac{m_{He}}{m_{ges}}$ von Helium und $r_{Ne} = \frac{m_{Ne}}{m_{ges}}$ von Neon in dem Gemisch?

6

Wir wollen aus einem einfachen Modell einer Thermoskanne vorhersagen, wie lange ihr Inhalt warm bleibt. Dazu stellen wir uns die Thermoskanne aus einem Aluminiumzylinder gebaut vor, der von einem zweiten, größeren Aluminiumzylinder umschlossen ist. Ihre Oberflächen seien in guter Näherung überall $d = 5\text{mm}$ voneinander entfernt und wegen des kleinen Abstands haben beide Zylinder circa die Abmessungen Querschnittsfläche $A = 40\text{cm}^2$ und Höhe $h = 25\text{cm}$. Im Zwischenraum der beiden Zylinder befindet sich ein nicht perfektes Vakuum, also Restgas, mit einer Wärmeleitfähigkeit von $\lambda = 0.001\frac{\text{W}}{\text{mK}}$. Desweiteren seien die beiden Zylinder aus poliertem Aluminium mit einem Reflektionskoeffizienten von $r = 0.95$, weshalb für ihre Strahlung das Stephan-Boltzmann-Gesetz mit Emissionskoeffizient $\epsilon = 1 - r$ gilt: $\Phi = (1 - r)\sigma AT^4$. Einen Stoff mit $\epsilon < 1$ nennt man grauen Strahler.

Im inneren Zylinder befindet sich ein Liter Tee ($c_{Wasser} = 4.18\frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$, der zum Zeitpunkt $t = 0$ eine Temperatur von $\theta = 80^\circ\text{C}$ habe. Die Außentemperatur betrage, zum Beispiel in einem Rucksack beim Skifahren, $\theta_{außen} = 0^\circ\text{C}$.

Wir verwenden in Aufgabenteil b) und c) eine vereinfachende Näherung, um komplexe Zeitabhängigkeiten zu vermeiden:

Tipp: Die Strahlungswärme muss als unendliche Reihe geschrieben werden (Reflektio-

nen!).

- a) Welcher Wärmestrom \dot{Q} verlässt die Thermoskanne zum Zeitpunkt $t = 0$ in die Umgebung (bei vereinfachter Geometrie)?
- b) In welche Richtung geht unser Fehler, wenn wir annehmen, dass dieser Wärmestrom für alle Zeiten $t > 0$ unverändert fließt?
- c) Wie lange dauert es unter dieser Annahme, bis der Kanneninhalt auf 40°C abgekühlt ist?
- d) Was sagt uns das Verhalten unseres Thermoskannenmodells über Thermoskannen?

7

Die Wassertiefe in einem Becken soll bestimmt werden, indem man ein einseitig verschlossenes Rohr der Länge L mit der offenen Seite nach unten senkrecht in das Becken taucht bis es den Grund fast berührt (Abbildung 1). Durch die Kompression der im Rohr befindlichen Luft erhöht sich ihr Druck, der sofort nachdem das Rohr in Position ist mit einem Sensor am verschlossenen Ende gemessen wird. Wie tief steht das Wasser im Becken, wenn der Drucksensor den Wert p anzeigt? Behandeln Sie die Luft als ein 2atomiges ideales Gas und vernachlässigen Sie die Änderung des Wasserspiegels durch das Eintauchen des Rohres.

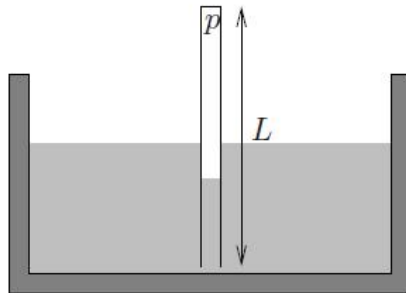


Abbildung 1: zu Aufgabe 7