

Physik im Querschnitt (nicht vertieft)

Übungsblatt Optik

WS2018/19

Pupeza/Nubbemeyer

9.11.2018

Aufgabe 7

Barometrische Höhenformel

Die Erdatmosphäre kann als ein ideales Gas mit dem Molekulargewicht M_{mol} angesehen werden, das in einem homogenen Gravitationsfeld mit der konstanten Schwerebeschleunigung g zur Erdoberfläche gezogen wird.

- a) Zeigen Sie die Gültigkeit der Gleichung

$$\frac{dp}{p} = -\frac{M_{mol} \cdot g}{RT} dz \quad (1)$$

indem Sie die Kraft für ein Volumenelement der Dicke dz betrachten! Hierbei bezeichnet z die Höhe über dem Meeresspiegel, p den Druck und T die absolute Temperatur in der Höhe z (dp bzw. dz stellen die infinitesimale Druck- bzw. Höhenänderung dar). (6 Punkte)

- b) Zeigen Sie, dass im Falle einer adiabatischen Expansion eines Gases die Temperatur-Druckänderungs-Beziehung

$$\frac{dp}{p} = -\frac{\kappa}{\kappa - 1} \frac{dT}{T} \quad (2)$$

gilt! (Adiabatkonstante κ , Adiabatengleichung $p^{1-\kappa}T^\kappa$) (4 Punkte)

- c) Erläutern Sie den Begriff „Adiabatische Expansion“ und geben Sie die Adiabatkonstante κ für Luft an! (3 Punkte)

- d) Berechnen Sie unter Annahme einer adiabatischen Expansion die Temperaturänderung $\frac{dT}{dz}$ in Kelvin pro Kilometer! (Mittlere molare Masse von Luft ist 28,8 g/mol) (4 Punkte)

- e) Geben Sie für eine höhenunabhängige Temperatur eine Beziehung für den Atmosphärendruck p als Funktion der Höhe z über dem Meeresspiegel an (Der Druck auf Meereshöhe sei p_0)! (3 Punkte)

Aufgabe 8

Wärmekapazität von He, N_2 und Br_2

Ein geschlossener Behälter enthalte 25 mol Helium (He). Ein gleicher Behälter enthalte die gleiche Masse Stickstoff (N_2). Die Temperatur sei jeweils $\vartheta_1 = 0^\circ\text{C}$, der Druck im He-Behälter $p_{He} = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$.

- a) Begründen Sie, warum man die beiden Gase unter diesen Bedingungen als ideales Gas behandeln darf. Berechnen Sie dann das Volumen des Behälters, sowie die Masse des He-Gases. Berechnen Sie auch die Molzahl n_{N_2} des N_2 -Gases. (4 Punkte)
- b) Geben Sie an, in welchen Bewegungsarten der He-Atome und der N_2 -Moleküle die thermische Energie unter diesen Bedingungen vorhanden ist. Berechnen Sie für die in den beiden Behältern vorhandenen Gasmengen jeweils die Wärmekapazität C_v bei konstantem Volumen bei ϑ_1 . Begründen Sie, warum C_v kleiner ist als die Wärmekapazität C_p bei konstantem Druck. (6 Punkte)
Ersatzlösung: für He: $C_v = 300\text{J/K}$, für N_2 : $C_v = 80\text{J/K}$
- c) Nun wird jeder Behälter bei konstantem Volumen mit der Heizleistung $P = 125 \text{ W}$ erwärmt. Die Wärmekapazität der Behälterwand beträgt 325 J/K und es gibt keine Wärmeverluste. Berechnen Sie, wie lange es dauert, bis der Behälter mit dem jeweiligen Gas von $\vartheta_1 = 0^\circ\text{C}$ auf $\vartheta_2 = 95^\circ\text{C}$ erwärmt ist. (4 Punkte)
- d) Berechnen Sie die benötigte Zeitdauer für die Erwärmung des Behälters von 0°C auf $\vartheta_3 = 725^\circ\text{C}$, wenn er mit $5,5 \text{ Mol } Br_2$ -Gas gefüllt ist. Die Heizleistung bleibt gleich: $P = 125 \text{ W}$. Nehmen Sie an, dass ab $\vartheta = 500^\circ\text{C}$ auch die Br_2 -Molekülschwingungen angeregt werden. Begründen Sie außerdem qualitativ, warum diese bei tieferen Temperaturen nicht aktiviert werden. (6 Punkte)

Aufgabe 9

Flüssigkeitskalorimeter

In einem Flüssigkeitskalorimeter kann die spezifische Wärmekapazität c eines Gases bestimmt werden. Dazu lässt man eine Masse m des Gases mit der konstanten Eintrittstemperatur T_E durch eine von Flüssigkeit umgebene Glasschlange strömen, wodurch sich die (zu jedem Zeitpunkt homogen anzunehmende) Temperatur des Kalorimeters von T_1 auf T_2 ändert. Nehmen Sie an, dass das austretende Gas immer die aktuelle Temperatur des Kalorimeters annimmt. Die Wärmekapazität des gesamten Kalorimeters sei C_K .

- a) Zeigen Sie mit Hilfe des Wärmeübertrags dQ pro Gas-Massenelement dm , dass sich die spezifische Wärmekapazität c des Gases aus den Größen m , C_K , T_1 , T_2 und T_E nach der Gleichung

$$c = \frac{C_K}{m} \cdot \ln \left(\frac{T_E - T_1}{T_E - T_2} \right) \quad (3)$$

berechnen lässt! (7 Punkte)

- b) Begründen Sie, ob c_p oder c_v bestimmt wird! (2 Punkte)

- c) Berechnen Sie die spezifische Wärmekapazität c eines Gases, wenn $m = 20$ g davon mit $T_E = 59$ °C ein Kalorimeter mit $C_K = 3100$ J/K von $T_1 = 25$ °C auf $T_2 = 28$ °C erwärmen! (Ersatzlösung: 14 J/gK) (2 Punkte)

- d) Die Dichte des in b) untersuchten Gases beträgt $0,083$ kg/m³ bei 27 °C und einem Druck von 101,3 kPa. Berechnen Sie aus diesen Größen die molare Masse und die molare spezifische Wärmekapazität c_{Mol} . (Falls Sie hierzu das molare Normvolumen benutzen möchten, beachten Sie dessen Definitionsbedingungen!) (4 Punkte)

- e) Was sagt die in d) bestimmte ~~molare~~ molekulare spezifische Wärmekapazität c_{Mol} über die molekulare Struktur dieses Gases aus? (3 Punkte)

- f) Geben Sie an, ob sich der Wert für die spezifische Wärmekapazität bei tiefen Temperaturen ändert und wenn ja, wie! Begründen Sie Ihre Antwort! (2 Punkte)

Hinweis: Die ursprüngliche Aufgabenstellung aus der Staatsexamensaufgabe ist fehlerhaft. Die Korrekturen sind oben rot markiert.

Aufgabe 10

Heiße Quelle

Eine heiße Quelle liefert 20 kg Wasser pro Minute mit einer Temperatur von 75°C. In der Nähe befindet sich ein großer See mit einer Temperatur von 20°C.

- a) Geben Sie den Wirkungsgrad einer Carnot-Maschine an, die zwischen den beiden Wärmereservoirs betrieben wird (Zahlenwert)! (3 Punkte)
- b) Das der Maschine zugeführte Wasser wird im Prozess auf 20°C abgekühlt. Geben Sie den Zahlenwert der Wärmemenge an, die der Maschine pro Sekunde im Mittel zugeführt wird (spez. Wärmekapazität von Wasser: $c = 4,2 \cdot 10^3 \frac{Nm}{kg \cdot K}$). (4 Punkte)
- c) Geben Sie die Leistung an, die der Maschine entnommen werden könnte, wenn sie reibungsfrei arbeiten würde! (4 Punkte)
- d) Berechnen Sie die Wärme, die dem See pro Sekunde zugeführt würde, wenn die Maschine reibungsfrei arbeiten würde! (4 Punkte)
- e) Stellen Sie den Kreisprozess graphisch in einem p-V-Diagramm dar! Beschriften Sie die einzelnen Übergänge und beschreiben Sie diese! Ist der Prozess reversibel? (5 Punkte)

Aufgabe 11

Fahrradreifen

Sie wollen im Sommer eine Fahrradtour machen und pumpen morgens (Lufttemperatur $\vartheta_0 = 15\text{ °C}$) Ihren Fahrradreifen in sehr kurzer Zeit von $0,1\text{ MPa}$ mit Luft (näherungsweise Stickstoff N_2) auf einen Druck von $p_1 = 0,3\text{ MPa}$ auf. Sie benutzen dazu eine Luftpumpe mit einem Kolbendurchmesser $d = 32\text{ mm}$ und einem Kolbenhub von $h = 38\text{ cm}$. Das Volumen des Reifens ist durch den Mantel auf $V_F = 2,05\text{ l}$ begrenzt. Vernachlässigen Sie bei Ihren Betrachtungen die Schwingungsfreiheitsgrade der Stickstoffmoleküle!

- a) Ordnen Sie jeder der drei angegebenen Gleichungen
1) $V/T = \text{const}$, 2) $p \cdot V^\kappa = \text{const}$, 3) $p \cdot V = \text{const}$
die Art der Zustandsänderung zu und geben Sie an, für welche Art von Gasen sie gelten!
Geben Sie die zwei grundlegenden Modellannahmen für derartige Gase an! (4 Punkte)
- b) Begründen Sie, warum Sie für die Zustandsänderung beim Aufpumpen Gl. 2) verwenden sollten! (3 Punkte)
- c) Berechnen Sie die Zahl der Pumphübe, die Sie für den gewünschten Reifendruck benötigen! (5 Punkte)
- d) Ermitteln Sie die Temperatur ϑ_1 , die die Luft im Reifen unmittelbar nach dem Aufpumpen hat! (Ersatzlösung: $\vartheta_1 = 95\text{ °C}$) (3 Punkte)
- e) Sie beginnen Ihre Tour erst gegen Mittag (Außentemperatur $\vartheta_a = 25\text{ °C}$) , d. h. einige Stunden nach dem Aufpumpen. Erläutern Sie den Zustand des Reifens und geben Sie den Reifendruck p_2 an! (2 Punkte)
- f) Erläutern Sie qualitativ die Unterschiede, die sich ergeben, wenn Sie ein Edelgas zum Aufpumpen verwenden! Geben Sie explizit an, in welche Richtung sich jeweils die Anzahl der Pumphübe n sowie ϑ_1 und p_2 ändern! (3 Punkte)

Aufgabe 12

Erwärmung von Wasser und Luft

- a) In einem vollständig gefüllten Boiler befinde sich ein Volumen von 400 Liter Wasser bei der Anfangstemperatur $T = 15^\circ\text{C}$. Dieses Wasser wird mit einer Heizleistung $P = 15\text{ kW}$ auf die Endtemperatur 55°C erwärmt. Bestimmen Sie die erforderliche Heizzeit. Vernachlässigen Sie hierbei die Verlustleistung durch Wärmeleitung vom Boiler nach außen. (3 Punkte)
- b) Der Boiler ist kugelförmig und hat eine Isolationsschicht der Dicke $d = 5\text{ cm}$ zur Reduzierung der Verlustleistung durch Wärmeleitung nach außen. Das Isolationsmaterial hat einen spezifischen Wärmeleitwert $\lambda = 0,04\text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$. Die Umgebungstemperatur beträgt $T_a = 19^\circ\text{C}$. Bestimmen Sie die jeweilige Verlustleistung bei der Wassertemperatur $T_i = 55^\circ\text{C}$ und bei der Wassertemperatur $T_i = 37^\circ\text{C}$. Vernachlässigen Sie hierbei, dass die äußere Oberfläche der Isolationsschicht größer ist als die innere. (4 Punkte)
- c) Skizzieren Sie den Temperaturverlauf für die Abkühlung des Wassers von 55°C auf 30°C bei abgeschalteter Heizung. Geben Sie kurz stichwortartig qualitativ die Zeitabhängigkeit der Kühlgeschwindigkeit an. (3 Punkte)
- d) Benennen Sie die beiden Mechanismen, die neben der Wärmeleitung ebenfalls zum Energietransport zwischen Gegenständen unterschiedlicher Temperatur beitragen können. (2 Punkte)
- e) Die Raumluft besteht zum Großteil aus N_2 -Molekülen. Stickstoffgas hat bei konstantem Volumen die spezifische Wärmekapazität $C_v = 0,741\text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$. Bestimmen Sie hieraus die molare Wärmekapazität C_{mv} in Einheiten der allgemeinen Gaskonstanten R . Geben Sie an, in welchen Anregungen die thermische Energie gespeichert wird. Deuten Sie das Ergebnis anhand der Anzahl der Freiheitsgrade der N_2 -Moleküle. (5 Punkte)
- f) Eine N_2 -Gasmenge habe unter Normalbedingungen das Volumen $V = 400\text{ l}$. Bestimmen Sie die erforderliche Zeit um dieses N_2 -Gas bei festem Volumen mit einer Heizleistung von $0,15\text{ kW}$ um 10°C zu erwärmen. (Nutzen Sie bei Bedarf die Ersatzlösung $C_{mv} = 19,5\text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$) (3 Punkte)