

# 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-Druck-änderungs-Beziehung

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

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

- c) Erläutern Sie den Begriff „Adiabatische Expansion“ und geben Sie die Adiabatkonstante  $\kappa$  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  $\vartheta_1$ . 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  $325 \text{ J/K}$  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  $0^\circ\text{C}$  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/m<sup>3</sup> 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  $\vartheta_0 = 15\text{ }^\circ\text{C}$ ) 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  $\vartheta_1$ , die die Luft im Reifen unmittelbar nach dem Aufpumpen hat! (Ersatzlösung:  $\vartheta_1 = 95\text{ }^\circ\text{C}$ ) (3 Punkte)
- e) Sie beginnen Ihre Tour erst gegen Mittag (Außentemperatur  $\vartheta_a = 25\text{ }^\circ\text{C}$ ), 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  $\vartheta_1$  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  $55^\circ\text{C}$  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  $55^\circ\text{C}$  auf  $30^\circ\text{C}$  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  $10^\circ\text{C}$  zu erwärmen. (Nutzen Sie bei Bedarf die Ersatzlösung  $C_{mv} = 19,5\text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$ ) (3 Punkte)