

## Übungsblatt 14

Ausgabe: Dienstag, 07.01.2023

Abgabe: Dienstag, 14.01.2023, vor 10:00 Uhr

Besprechung: Donnerstag, 16.02.2023 (Übungen)

**Anmeldung zur Vorleistung: 01.02. bis 15.02.2023 (Campus Management System)**

**Anmeldung zur Klausur 1: 22.02. bis 01.03.2023 (Campus Management System)**

**Bitte beachten Sie auch die Informationen zu Vorleistung und Klausur im Merkblatt**

**Ankündigung\_Klausur\_1** in ILIAS.

### Aufgabe 1

**4 Punkte**

- Beim Joule-Thomson-Prozess geht ein Gas (unter thermischer Isolation von der Umgebung) aus einem Gefäß 1 mit Druck  $p_1$  auf stationäre Weise in ein Gefäß 2 mit dem geringeren Druck  $p_2$  über. Stationär bedeutet hier, dass die beiden Drücke im Verlauf des ganzen Prozesses konstant bleiben. Wie wird dies realisiert? **0,5 Punkte**
- Zeigen Sie, dass der Joule-Thomson-Prozess isenthalp ist, dass also die Enthalpie erhalten bleibt. **1 Punkt**
- Zeigen Sie, dass der Joule-Thomson-Prozess irreversibel ist. **1 Punkt**

Die Änderung der Temperatur  $T$  bei einer Änderung des Drucks  $p$  wird Joule-Thomson-Koeffizient

$$\mu_{JT} \text{ genannt und berechnet sich als } \mu_{JT} = \frac{\Delta T}{\Delta p} = \frac{1}{c_p} \left( T \left( \frac{\partial V}{\partial T} \right)_P - V \right).$$

- Berechnen Sie  $\mu_{JT}$  für ein ideales Gas. Welche Bedeutung hat das Ergebnis? **0,5 Punkte**
- Für ein reales Gas (Kohäsionsdruck  $a$ , Kovolumen  $b$ ) ergibt sich  $\mu_{JT} = \frac{1}{c_p} \left( \frac{2a}{RT} - b \right)$  (für eine Stoffmenge  $n = 1$  und nicht zu große Dichten). Welche Bedeutung hat dieses Ergebnis? **1 Punkt**

### Aufgabe 2

**4 Punkte**

Die innere Energie  $U(T, V)$  eines realen Gases ist im Gegensatz zu der eines idealen Gases auch abhängig vom Volumen  $V$ .

- Das reale Gas werde expandiert, indem unter thermischer Isolation sein ursprüngliches Volumen  $V_1$  durch Entfernen einer Scheidewand zu einem leeren Gefäß auf  $V_2 = V_1 + \Delta V$  vergrößert wird. Zeigen Sie, dass diese Expansion bei realen Gasen immer zu einer Temperatursenkung führt ( $\Delta T < 0$ ). **2 Punkte**
- Diskutieren Sie die Unterschiede des Experiments aus a) zum Joule-Thomson-Effekt. Erläutern Sie insbesondere, warum bei letzterem die Temperatur des expandierten Gases auch ansteigen kann. **2 Punkte**

### Aufgabe 3

4 Punkte

Im Nepal-Urlaub möchten Sie auf dem Gipfel des Mount Everest ( $h = 8848 \text{ m}$ ) ein Ei kochen. Aufgrund des geringen Luftdrucks ist die Siedetemperatur des Wassers deutlich erniedrigt. Um die Garzeit zu beschleunigen haben Sie deswegen einen Schnellkochtopf (= Dampfdruckkochtopf) mitgebracht. Berechnen Sie die Siedetemperatur  $T_S$  des Wassers auf dem Mount Everest mit und ohne Schnellkochtopf, wenn dieser einen maximalen Überdruck von  $\Delta P = 630 \text{ hPa}$  zulässt. Verwenden Sie dazu die barometrische Höhenformel bei konstanter Temperatur  $T = 20^\circ\text{C}$ .

Hinweis: Die Dampfdruckkurve von Wasser lässt sich im hier relevanten Temperaturbereich näherungsweise durch die Exponentialfunktion  $P_D = P_0 \exp(-\Lambda/RT_S)$  darstellen, wobei  $\Lambda = 40.8 \text{ kJ/mol}$  die Verdampfungswärme ist und  $P_0 = 4.911 \cdot 10^{10} \text{ Pa}$ .

### Aufgabe 4

4 Punkte

Das Gleiten eines Körpers auf einer glatten Eisfläche wird verbessert, wenn seine Gleitfläche genügend klein gewählt wird. Beispiele wären die Kufen von Schlitten oder Schlittschuhen. Neben anderen Gründen ist sorgt die druckbedingte Verringerung  $\Delta T$  der Schmelztemperatur dafür, dass unter den Kufen Eis zu einem dünnen gleitfähigen Wasserfilm aufschmilzt.

- a) Berechnen Sie mit Hilfe der Clausius-Clapeyron-Gleichung die nötige Masse  $m$  des Körpers für eine Änderung  $\Delta T = -0.1^\circ\text{C}$  bei einer Kufenfläche von  $A = 5 \text{ cm}^2$  und einer Eistemperatur von  $T = 0^\circ\text{C}$ . Recherchieren Sie die benötigten physikalischen Größen von Wasser und Eis aus einer geeigneten Quelle. **2 Punkte**
- b) Welche Masse wäre bei einer Eistemperatur von  $-8^\circ\text{C}$  nötig, damit durch den Druck der Kufen Eis schmilzt? Warum ist Schlittschuhfahren auch dann möglich, wenn das erreichbare  $\Delta T$  zu klein ist, um Eis zum Schmelzen zu bringen? **2 Punkte**