

11. Übungsblatt zur Experimentalphysik 1 (WS 16/17)

Wärme, Arbeit und innere Energie

Abgabe am 19./20.1.2016 in den Übungen

Name(n): _____ Gruppe: _____ Punkte: ___/___/___/___

11.1 Glühwein (10 Punkte)

Sie möchten für sich und Ihre Freunde 5 Liter Glühwein von Zimmertemperatur (20°C) auf eine Temperatur von 70°C erwärmen und benutzen dazu einen Tauchsieder einer elektrischen Leistung von 2 kW.

- Wie lange müssen Sie heizen, damit der Glühwein eine Temperatur von 70°C hat?
- Wieviel Glühwein verdampft, wenn Sie vergessen, den Tauchsieder bei der Temperatur von 70°C auszuschalten und dieser noch 15 min weiter heizt? Wie vielen Mol entspricht diese Menge?
- Wieviel kalten Glühwein (20°C) müssen Sie zu dem verbleibenden aber 100°C warmen Glühwein schütten, um ihn wieder auf eine Temperatur von 70°C zu bringen?
- Einer Ihrer Freunde hat die Idee, statt des kalten Glühweins in c) Eiswürfel in den verbleibenden 100°C heißen Wein zu geben. Wieviel Gramm Eis mit einer Temperatur von 0°C müssen Sie hinzugeben, um den verbleibenden Wein auf 70°C abzukühlen?

Hinweis: Behandeln Sie den Glühwein unter Vernachlässigung seines Alkoholgehalts und anderer Zutaten als reines Wasser mit konstanter Wärmekapazität von $4.184 \text{ kJ}/(\text{kg K})$. Der Luftdruck betrage 1013 mbar. Vernachlässigen Sie den Wärmeverlust an die Umgebung.

11.2 Getterpumpe (10 Punkte)

In verschlossenen Vakuumgefäßen (z.B. in Vakuumisoliergefäßen und Vakuumapparaturen oder in Restlichtverstärkern) wird durch sogenannte *Getter* das "Vakuum" aufrecht erhalten. Diese *Getter* sind chemisch reaktive Oberflächen (z.B. Titan), mit denen Gasteilchen reagieren und dann haften bleiben.

- Welches Gasvolumen pro Sekunde (dV/dt) pumpt bei einer absoluten Temperatur T eine ebene Fläche der Größe A , unter der Annahme, dass jedes auftreffende Teilchen haften bleibt?
- Berechnen Sie die Pumpleistung für Stickstoff und Wasserstoff bei Raumtemperatur (293 K) und einer Getterfläche von $A = 10 \text{ cm}^2$.

Hinweis: Zur Herleitung der Pumpleistung dV/dt betrachten Sie ein quaderförmiges Volumen, bei dem eine der Seitenflächen als Getterfläche dient. Verwenden Sie als Näherung statt der mittleren Geschwindigkeit der Teilchen in Richtung der Getterfläche die mittlere quadratische Geschwindigkeit, die Sie leicht mittels des Äquipartitionsprinzips herleiten können. Zusatzfrage: Wird durch diese Approximation die Saugleistung über- oder unterschätzt?

11.3 Maxwell-Boltzmann (10 Punkte)

Die Maxwell-Boltzmann Verteilung beschreibt die statistische Verteilung der Geschwindigkeitsbeträge $|\vec{v}|$ von Teilchen der Masse m in einem idealen Gas bei einer Temperatur T . Für die Geschwindigkeit der Teilchen hat man folgende Wahrscheinlichkeitsdichte:

$$f(v) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \left(\frac{m}{k_B T} \right)^{\frac{3}{2}} \cdot v^2 \cdot e^{-\frac{mv^2}{2k_B T}}$$

- Berechnen Sie die Geschwindigkeit v_w mit der größten Wahrscheinlichkeitsdichte $f(v_w)$.
- Berechnen Sie v_w für ein Heliumatom bei 300 K und 1000 K
- Zeichnen Sie $f(v)$ (gerne auch mit einem Mathematik-Programm Ihrer Wahl) der Heliumatome für beide Temperaturen.
- Berechnen Sie die mittlere quadratische Geschwindigkeit $\sqrt{v^2}$ und den Betrag der mittleren Geschwindigkeit \bar{v} der Gasteilchen mit der obigen Geschwindigkeitsverteilung.

Hinweis: Die mittlere Geschwindigkeit einer Geschwindigkeitsverteilung ist definiert als die mit der Wahrscheinlichkeitsdichte gewichtete Geschwindigkeit: $\bar{v} = \int_0^\infty v f(v) dv$.

11.4 Zustandsänderungen (10 Punkte)

Ein Mol eines einatomigen idealen Gases wird über zwei verschiedene Prozesse von einem Anfangszustand mit Druck p_1 und Volumen V_1 in einen Endzustand mit Druck $p_2 = 2p_1$ und Volumen $V_2 = 2V_1$ überführt:

Prozess I: Das Gas dehnt sich isotherm aus, bis sich sein Volumen verdoppelt hat, anschließend nimmt sein Druck bei konstantem Volumen zu.

Prozess II: Das Gas wird isotherm auf den doppelten Druck komprimiert, anschließend dehnt sich sein Volumen bei konstantem Druck auf das Endvolumen aus.

- Zeichnen Sie die beiden Prozesse in ein pV-Diagramm.

Berechnen Sie für beide Prozesse (und deren Teilprozesse) als Funktion von p_1 und V_1 :

- die vom Gas aufgenommene Wärmeenergie,
- die vom Gas geleistete Arbeit und
- die Änderung der inneren Energie.