

Technische Universität Dresden
Fachbereich Physik
Fortgeschrittenen-Praktikum

Wärmeübertragung (WU)

Standort: Institut für Angewandte Physik und Didaktik der Physik
Raum D 104

Versuchsdauer: 8 Stunden, Beginn: 8 Uhr
Verantwortlicher: Dr. S. Sahling, Raum D 212, Tel.: 34881
E-mail: sahling@physik.phy.tu-dresden.de

1. Ziel

Untersuchung der Wärmeübertragung zwischen zwei Flächen unterschiedlicher Temperatur durch Konvektion, Wärmeleitung und Wärmestrahlung in Abhängigkeit vom Druck und Art des Restgases (Luft, Helium). Kennenlernen von Verfahren zur Erzeugung und Messung von Drücken von Normaldruck bis in den Hochvakuumbereich (10^{-3} Pa, $1 \text{ Pa} = 7.5 \cdot 10^{-3}$ Torr). Vertiefung der Kenntnisse über die kinetische Gastheorie und ihre Anwendung.

2. Aufgabenstellung

2.1. Experimentelle Bestimmung des Wärmestroms zum flüssigen Stickstoff, der sich in einem doppelwandigen Glasgefäß befindet, in Abhängigkeit vom Druck im Zwischenraum für Luft bzw. Helium. Als Meßgröße dient die Verdampfungsgeschwindigkeit des Stickstoffes dV/dt . Die Messungen beginnen mit dem erreichbaren Enddruck (hier möglichst genau messen). Danach wird schrittweise der Druck erhöht (2 Messwerte pro Druckdekade).

2.2. Zur Herstellung des Unterdruckes steht ein Pumpstand (zweistufige mechanische Vorvakuumpumpe, Öl – Diffusionspumpe, N_2 – Kühlfalle) zur Verfügung. Der Druck kann je nach Meßbereich mit einem Mc-Leod-Kompressionsvakuummeter, einem Wärmeleitvakuummeter (Pirani) bzw. einem Ionisationsvakuummeter (Penning) bestimmt werden. Die Druckeinstellung erfolgt für größere Drücke (einige 100 Pa bis Normaldruck) statisch (durch schrittweises Gaseinlassen in den Rezipienten) und für kleinere Drücke

dynamisch mit Hilfe eines stellbaren Nadelventils. Das Nadelventil besitzt eine Skale, die zur reproduzierbaren Einstellung der Ventilöffnung verwendet werden kann.

2.3. Zur Auswertung soll die Abhängigkeit des Wärmestroms vom Druck diskutiert werden. Mit Hilfe des Fourierschen Gesetzes (phänomenologisches Grundgesetz der Wärmeleitung) und des Strahlungsgesetzes können quantitative Aussagen über die mittlere Wärmeleitfähigkeit λ des Füllgases und den Emissionskoeffizienten ε des Glases gemacht werden.

2.4. Aus der Anwendung der kinetischen Gastheorie können einige mikroskopische Eigenschaften des Gases quantitativ abgeschätzt werden.

$$\lambda = \frac{1}{3} \bar{v} \Lambda \rho c_v \quad \text{mit} \quad \bar{v} = \sqrt{v^2}$$

Wenn die mittlere Geschwindigkeit \bar{v} der Moleküle, die Dichte ρ und die spezifische Wärme c_v sowie die Abhängigkeiten dieser Größen von Temperatur und Druck für ein ideales Gas verwendet werden, folgen aus den ermittelten Wärmeleitfähigkeiten (in Abhängigkeit vom Druck) die Werte für die mittlere freie Weglänge Λ der Gasmoleküle. Bei der Rechnung ist darauf zu achten, daß als experimentell bestimmtes λ nur

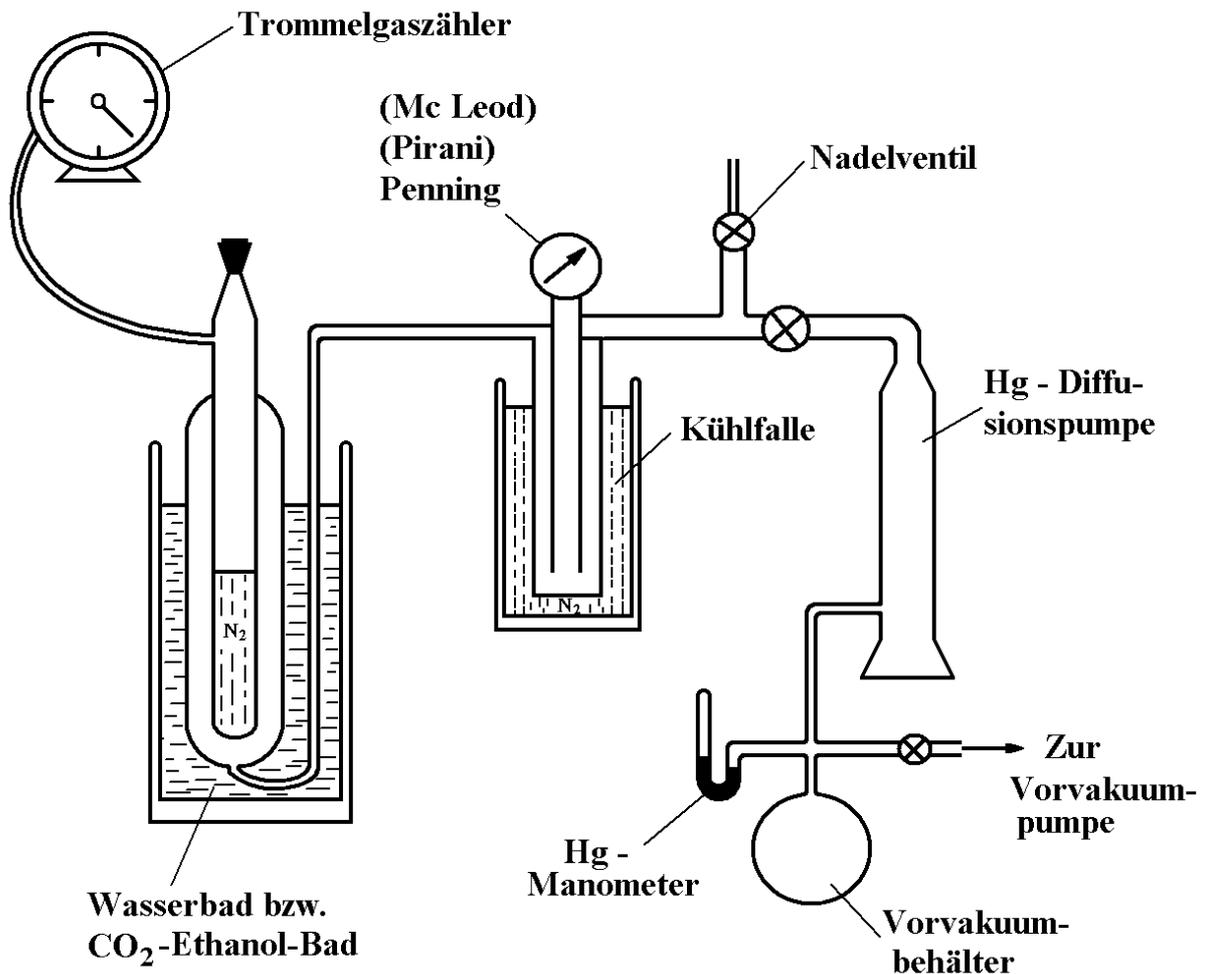
$$\lambda(T_M) = \frac{1}{T_2 - T_1} \int_{T_1}^{T_2} \lambda(T) dT$$

T_1, T_2 : Temperatur der beiden Flächen

zur Verfügung steht. Alle aus λ ermittelten Größen beziehen sich also auf die Temperatur T_M , die sich als Mittelwert über die radiale Temperaturverteilung (unter Berücksichtigung der zylindersymmetrischen Anordnung) ergibt.

2.5. Auswertung: Emissionskoeffizient für Glas mit Fehlerabschätzung; graphische Darstellung der Verdampfungsgeschwindigkeit, Wärmeleitung, und mittleren freien Weglänge in Abhängigkeit vom Druck; Diskussion der Ergebnisse.

3. Versuchszubehör



4. Hinweise zum Versuch

Am Versuchsort befinden sich folgende spezielle Hinweise:

- Angaben zur Bedienung des Vakuumpumpstandes
- Besondere Hinweise zum Arbeits- und Gesundheitsschutz (evakuierte Glasgefäße , tiefsiedende Flüssigkeiten, organische Lösungsmittel
- Tabelle mit wichtigen physikalischen Eigenschaften verschiedener Gase
- Eichkurven von Pirani- und Penning-Vakuummeter und vom Nadelventil

5. Literatur

- /1/ Gröber/Erk/Grigull **Die Grundgesetze der Wärmeübertragung**
Springer-Verlag Berlin/Göttingen/Heidelberg
1955, Dritte Auflage und deren Reprints
- /2/ Edelmann **Vakuumphysik**
Spektrum Akademischer Verlag GmbH
Heidelberg/Berlin, 1998
- /3/ Wutz/Adam/Walcher **Theorie und Praxis der Vakuumtechnik**
Friedrich Vieweg & Sohn Braunschweig/
Wiesbaden, Vierte Auflage 1988

Fragen, die im Kolloquium beantwortet werden müssen:

1. Wie erfolgt die Wärmeübertragung durch Konvektion, Wärmeleitung und Wärmestrahlung ?
2. Was sagt das Stefan-Boltzmann Gesetz aus ? Leiten Sie daraus den Wärmestrom zwischen zwei planparallelen Glasoberflächen mit den Temperaturen T_1 und T_2 her.
3. Von welchen Größen hängt die Wärmeleitung eines Gases im Rahmen der kinetischen Gastheorie ab ?
4. Wie kann man die Wärmekapazität eines ein- (He) bzw. zweiatomigen Gases (N_2) berechnen (Regel von Dulong-Petit) ?
5. Von welchen Größen hängt die mittlere Geschwindigkeit der Teilchen eines Gases ab (Maxwell-Verteilung) ?

Wichtige Formeln für die Auswertung:

Wärmestrom zwischen den Gefäßen, verursacht durch Wärmeleitung:

$$dQ/dt = \lambda \pi (T_1 - T_2) \{r_1^2/h\} + 2h_1/\ln(r_1/r_2)\}$$

mittlere Temperatur des Gases:

$$T_M = \{(T_2 r_2 - T_1 r_1) / (r_2 - r_1)\} - (T_2 - T_1) / \ln(r_2/r_1)$$

Mittlere freie Weglänge:

$$\Lambda = (\lambda / p c_v) (3RT)^{0.5}$$

r_1 – innere Radius, r_2 – äußerer Radius,

h – Abstand der Bodenflächen, h_1 – Höhe des flüssigen Stickstoffs