



Physikalisches Grundpraktikum

Phasenumwandlungen

WWW-Adresse Grundpraktikum Physik: <http://grundpraktikum.physik.uni-saarland.de/>

Kontaktadressen der Praktikumsleiter:

Dr. Manfred Deicher
Zimmer: 1.11, Gebäude E 2.6
e-mail: manfred.deicher@tech-phys.uni-sb.de
Telefon: 0681/302-58198

Dr. Patrick Huber
Zimmer: 3.23, Gebäude E2.6
e-mail: p.huber@physik.uni-saarland.de
Telefon: 0681/302-3944

1. Stoffgebiet

- Phasenumwandlungen
- Umwandlungswärme
- Clausius-Clapeyronsche Gleichung
- Phasendiagramme
- Reale Gase
- Luftverflüssigung
- Kritischer Punkt
- Dampfdruck
- Verdunstung
- Absolute und relative Luftfeuchte
- Taupunkt
- Kalorimeter

2. Literatur

- D. Meschede:
Gerthsen Physik
23. Auflage, Springer-Verlag, 2006
Kap. 5.6
- Trautwein-Kreibig-Oberhausen:
Physik für Mediziner
4. Auflage, de-Gruyter-Verlag, 1986
Kap. 8 ff

3. Fragen

1. Geben Sie eine Definition für die Umwandlungswärme. Erklären Sie anhand des 1. Hauptsatzes der Wärmelehre, wozu die Umwandlungswärme dient. Welcher Zusammenhang besteht zwischen der Umwandlungswärme und den molekularen Bindungskräften?
2. Leiten Sie die Clausius-Clapeyronsche Gleichung her.
3. Zeichnen Sie ein p - V -Diagramm für ein reales Gas. Welche Gleichung liegt dem zu Grunde? Was versteht man unter dem kritischen Punkt, und wie groß ist hier die Verdampfungswärme?
4. Was versteht man unter dem Dampfdruck? Von welchen Zustandsgrößen ist er abhängig?
5. Man skizziere die Maxwellsche Geschwindigkeitsverteilung und erkläre mit ihrer Hilfe den Vorgang des Verdunstens.
6. Zeichnen Sie das Phasendiagramm (p - T -Diagramm) von Wasser. Erklären Sie von der physikalischen Seite her das Prinzip des Druckkochtopfes. Zieht sich Wasser beim Erstarren zusammen oder dehnt es sich aus?
7. Was ist ein Hygrometer? Was versteht man unter Taupunkt? Unter welchen Bedingungen entsteht Nebel?
8. Was ist bei der Wärmeisolation eines Hauses bezüglich des Taupunktes zu beachten?
9. Man skizziere eine Methode zur Luftverflüssigung. Unter welchen Bedingungen ist eine solche Gasverflüssigung möglich?
10. Welche Phasenübergänge treten typischerweise erst bei sehr tiefen Temperaturen auf? Nennen Sie charakteristische Eigenschaften der bei diesen Umwandlungen einsetzenden Phasen.

4. Grundlagen

Existieren von einem Stoff unter entsprechenden Voraussetzungen mehrere verschiedene Zustände (Phasen), so spricht man bei der Übergangsstelle von einem Phasenübergang (Phasenumwandlungspunkt). Solche Phasenübergänge treten z.B. zwischen den Zuständen fest-flüssig, flüssig-dampfförmig, normalleitend-supraleitend, paramagnetisch-ferromagnetisch, paraelektrisch-ferroelektrisch und zwischen Kristallstrukturen vieler Festkörper auf.

Die Phasenübergänge sind stets mit Anomalien in charakteristischen Größen (wie spezifische Wärmekapazität, Kompressibilität, u. a.) verbunden. Meist lässt sich die Phasenumwandlung durch eine Anomalie in einer einzigen Größe, dem Ordnungsparameter, erklären; der Ordnungsparameter beschreibt dann die gesamte Abweichung des thermodynamischen Verhaltens der Tieftemperaturphase im Vergleich zur Hochtemperaturphase. Beim Phasenübergang flüssig-gasförmig ist der Ordnungsparameter die Dichte ρ , beim Übergang ferromagnetisch-paramagnetisch ist es die Magnetisierung M . Besitzt der Ordnungsparameter eine Sprungstelle an der Umwandlungstemperatur, spricht man von einem Phasenübergang erster Art. Erfolgt der Übergang von einem in den anderen Zustand stetig (aber nicht beliebig oft differenzierbar), so spricht man von einem Übergang höherer Ordnung.

Wir beschränken uns nur auf die Phasenübergänge erster Ordnung, die am bekanntesten sind; z.B. fallen die Übergänge flüssig-gasförmig und flüssig-fest darunter. Da die Phase höherer Temperatur ungeordneter ist, muss am Phasenübergang eine charakteristische Wärmemenge, die „Umwandlungswärme“ oder „latente Wärme“, zugeführt werden, um diese Phase zu erreichen. Die Umwandlungswärme wird beim Abkühlen an der Umwandlungstemperatur wieder freigesetzt. Die Thermodynamik der Phasenumwandlung wird beschrieben durch die Clausius-Clapeyronsche Gleichung, die z.B. für den Verdampfungsvorgang lautet:

$$\lambda_s = T_s \left. \frac{dp}{dT} \right|_T (v_D - v_{FI}) \quad (1)$$

λ_s : spezifische Verdampfungswärme

T_s : Verdampfungstemperatur

p : Druck beider Aggregatzustände im Gleichgewicht

v_D, v_{FI} : spezifisches Volumen des Dampfes bzw. der Flüssigkeit (= reziproke Dichte: $1/\rho_D, 1/\rho_{FI}$)

Für die spezifische Schmelzwärme gilt die Clausius-Clapeyronsche Gleichung in analoger Form.

Im folgenden soll die Schmelz- und Verdampfungswärme des Wassers bestimmt werden. Wenn Wasser mit konstanter Heizleistung erhitzt wird, so steigt die Temperatur an bis zum Siedepunkt; dann bleibt sie trotz weiterer Wärmezufuhr konstant, bis die gesamte Wassermenge in Dampf übergegangen ist. Die Wärmemenge, die benötigt wird, 1 g Wasser zu verdampfen, wird spezifische Verdampfungswärme λ_D genannt. Die Verdampfungswärme wird dazu gebraucht, um a) gegen die Anziehung zwischen den Molekülen ihren Abstand und damit ihre potentielle Energie zu erhöhen, und b) bei der Vergrößerung des die Moleküle enthaltenden Volumens Arbeit gegen den äußeren Druck zu verrichten. Ähnliches gilt für den Übergang von Eis zu Wasser. Diejenige Wärmemenge, die nötig ist, um 1 g Eis zu schmelzen, nennt man spezifische Schmelzwärme λ_E .

Aus der Größe der Umwandlungswärme kann auf die Festigkeit der Bindung im Festkörper oder auf die Stärke der Anziehungskräfte in der Flüssigkeit geschlossen werden. λ_D ist bei Wasser extrem groß, denn das Wassermolekül stellt einen elektrischen Dipol dar (asymmetrische Ladungsverteilung) und die Kräfte, die zwischen Dipolen wirken, sind stärker als die Van der Waals-Kräfte, die im allgemeinen zwischen den Flüssigkeitsmolekülen wirken.

5. Versuchsdurchführung

Aufgabe 1:

Man bestimme die Schmelzwärme λ_E von Eis.

Messung:

Das Kalorimeter wird mit $m_W = 600$ g Wasser von etwa 60 °C gefüllt. Nach dem Temperaturausgleich mit dem Kalorimeter wird die Temperatur T_1 abgelesen und $m_E = 250$ g trockenes Eis dazugegeben. Es stellt sich die Endtemperatur T_2 ein; dabei gilt nach dem 1. Hauptsatz, dass die von dem Eis aufgenommene Wärmemenge gleich der von Wasser und Kalorimeter abgegebenen Wärmemenge ist:

$$\lambda_E m_E + c_W m_E (T_2 - T_E) = (C_{Kal} + c_W m_W)(T_1 - T_2) \quad (2)$$

c_W ist die spezifische Wärmekapazität des Wassers. Für den Wasserwert (Leerkapazität) des Kalorimeters ist der Wert $C_{Kal} = 300 \pm 80$ J/K anzunehmen. Aus Gl. (2) lässt sich λ_E bestimmen ($c_W = 4,19$ J/(gK)).

Aufgabe 2:

Man bestimme die Verdampfungswärme λ_D des Wassers.

Messung:

Man füllt Leitungswasser in das Kalorimeter, taucht den vorher gewogenen Kondensator ein und misst nach dem Temperaturausgleich die Temperatur T_1 . Aus dem Siedegeäß leitet man Dampf ein, dessen Temperatur gleich der Siedetemperatur bei herrschendem Luftdruck zu setzen ist (T_S). Es ist zu verhindern, dass Kondenswasser aus dem Überleitungsschlauch in den Kondensator fließt (Hochstellen des Kondensators). Unter ständigem Rühren lässt man die Temperatur im Kalorimeter um etwa 25 K auf T_2 steigen. Die Masse des kondensierten Dampfes m_D ergibt sich durch Wägung des Kondensators, der vorher außen abzutrocknen ist. Man erhält für λ_D :

$$\lambda_D m_D + c_W m_D (T_S - T_2) = (C_{Kal} + c_W m_W)(T_2 - T_1) \quad (3)$$

Der Wasserwert wird durch den Kondensator nur innerhalb des angegebenen Fehlers vergrößert.

Aufgabe 3:

Man berechne die relativen Fehler von λ_E und λ_D .

Aufgabe 4:

a) Eine herkömmliche Elektrospeicherheizung (180 kg Schamottesteine, spez. Wärmekapazität = 1 J/(gK)) wird auf 520 °C aufgeheizt. Wie lange reicht die gespeicherte Wärme-

menge zur Raumheizung aus, wenn das beheizte Zimmer auf Raumtemperatur (20 °C) konstant 3 kW Wärmeverlust erleidet?

- b) Man ersetze das herkömmliche Speichermaterial durch einen Latentspeicher, z.B. $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$ ($T_E = 31 \text{ °C}$, $\lambda_E = 240 \text{ J/g}$). Welche Materialmenge benötigt man, um die in (a) berechnete Wärmemenge zu speichern? Worin liegt der Vorteil dieses Latentspeichers?

6. Versuchsausstattung

- 1 Kondensator
- 1 Kalorimeter
- 1 Kocher mit Glaskolben und Schlauch
- 1 Thermometer
- 1 Gefäß für Eis