

Spezifische Wärme, Kalorimetrie

Aufgabenstellung:

Es ist die Wärmekapazität eines Dewargefäßes mittels der Mischungsmethode zu bestimmen. ~~Analog ist dann die (isobare) spezifische Wärme von 2 Metallen zu messen.~~ Zuletzt ist schließlich die spezifische Wärme von Wasser durch elektrische Aufheizen (elektrisches Wärmeäquivalent) zu bestimmen.

Experimentelle Vorgangsweise:

1) Wärmekapazität des Kalorimetergefäßes (DEWAR)

100ml (die Masse ist durch Wiegen zu bestimmen) Wasser werden auf einer Heizplatte auf etwa 50°C erwärmt und anschließend in ein Dewargefäß geleert. Die Temperatur des Wassers ist über etwa 3min alle 20s aufzuzeichnen. Anschließend werden 100ml kaltes Wasser dem warmen Wasser beigemischt (die Temperatur ist vorher zu messen und die Masse zu bestimmen). Es kommt zu einem Temperatursprung. Nach dem Mischen ist wieder die Temperatur für etwa 3min alle 20s aufzunehmen.

2) Spezifische Wärme von Festkörpern

~~Die Massen von zwei verschiedenen Metallwürfel (Stahl und Kupfer) sind durch Wiegen zu bestimmen. Mit einem Rohofen, welcher an den Regeltrafo angeschlossen wird, sind diese auf eine Temperatur von etwa 180°C aufzuheizen. Dazu ist der Ofen zuerst bei einer Spannung von ca. 220V zu betreiben bis die Temperatur ungefähr 170°C erreicht. Anschließend ist die Spannung auf etwa 150V zurückzudrehen und zu warten bis sich eine konstante Temperatur einstellt. Nach Erreichen einer konstanten Temperatur sind etwa 10min zu warten damit die drei Würfel auch im Inneren die vorgegebene Temperatur haben. Im Dewargefäß sind 200ml kaltes Wasser (Temperatur messen) vorzubereiten (genaue Masse bestimmen). Bevor ein Würfel eingetaucht wird ist die Temperatur des Wassers über einen Zeitraum von einigen Minuten alle 20s zu registrieren. Danach wird ein Würfel in das Wasser getaucht und die Temperatur des Wassers über 5min alle 20s aufgenommen.~~

3) Spezifische Wärme von Wasser (elektrisches Wärmeäquivalent)

In ein Glas-Dewargefäß sind 100ml Wasser, die zuvor genau gewogen wurden einzufüllen. Dann wird das Gefäß mit dem Aufsatz geschlossen an dem sich die Heizwendeln befinden. Nachdem die Heizwendeln in das Wasser getaucht sind ist die Temperatur des Wassers einige Minuten in regelmäßigen Abständen aufzunehmen. Danach wird an die Heizwendeln eine Spannung von 5V gelegt (ES IST ZU BEACHTEN, DASS DABEI DIE BEIDEN HEIZWENDELN IN SERIE GESCHALTET SEIN MÜSSEN!) und der durch die Heizwendel fließende Strom gemessen. Es wird solange Strom durch die Heizwendeln geschickt bis sich das Wasser um etwa 3K erwärmt hat. Die Temperatur ist in regelmäßigen Zeitabständen aufzunehmen und es ist mit einer Stoppuhr die Zeit zu messen, die benötigt wird das Wasser um diese 3K zu erwärmen. *Nach Abschalten der Stromes ist die Temperatur des Wasser solange weiter zu beobachten, bis sie sich nur mehr geringfügig ändert.* Dann ist die Temperatur T_2 erreicht. Der eingebaute Schieber ist in regelmäßigen Abständen zu betätigen um eine Durchmischung des warmen Wassers bei den Heizspulen und dem kalten Wasser in der Umgebung zu erreichen.

Auswertung:

1) Wärmekapazität des Kalorimetergefäßes (DEWAR)

Die aufgenommene Temperatur ist über der Zeit in einem Diagramm darzustellen. Aus den Temperaturen und Massen des warmen und kalten Wassers, dem im Diagramm auftretenden Temperatursprung und der spezifischen Wärme von Wasser (die als bekannt vorausgesetzt wird) kann die Wärmekapazität des Dewar mit Gleichung (4) im Anhang unten berechnet werden.

$$C_D = c_w \left(m_2 \frac{(T_M - T_2)}{(T_1 - T_M)} - m_1 \right)$$

wobei $c_w = 4182 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$.

2) Spezifische Wärme von Festkörpern

~~Analog zu 1) ist wieder für die zwei Würfel die beobachtete Temperatur als Funktion der Zeit in ein Diagramm zu zeichnen. Mit Hilfe der Anfangstemperaturen und der Massen von Wasser und Metallwürfel, der zuvor bestimmten Wärmekapazität des Dewar, der spezifischen Wärme von Wasser und des sich im Diagramm ergebenden Temperatursprungs, ist die spezifische Wärme der Metalle mit Gleichung (8) (siehe Anhang unten) zu berechnen.~~

3) Spezifische Wärme von Wasser (elektrisches Wärmeäquivalent)

Die beobachtete Temperatur ist wieder als Funktion der Zeit graphisch darzustellen. Mit Gleichung (12) aus dem Anhang

$$c_w = \frac{1}{m_w} \left(\frac{UI \Delta t}{T_2 - T_1} - C_D \right)$$

kann aus Strom und Spannung, sowie der Zeit und dem Temperatursprung die spezifische Wärme von Wasser berechnet werden. Die Wärmekapazität des Dewargefäßes ist mit $C_D = 100 \text{ J/K}$ zu veranschlagen.

Vorbereitung:

H. Tritthart: *Medizinische Physik und Biophysik*, 2001, Schattauer GmbH Stuttgart

Kap. 4. Wärmelehre; Kap. 4.1 Wärmeempfindung, Körpertemperatur; 4.3 Temperaturskalen, isotherme und isobare Gasgesetze; Kap. 4. 4 Wärmemaße; Kap. 4.5 Kinetische Theorie der Wärme ;

W. Hellenthal: *Physik für Mediziner und Biologen*, 7. Auflage 2002, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH Stuttgart

Kap. 4.1.1 Thermischer Zustand der Materie; Kap. 4.1.2 Temperatureinheiten und –Skalen; Kap. 4.2.1 Wärmeenergie, Kalorimetrie; Kap. 4.2.2 Spezifische und molare Wärmekapazität; Kap. 4.3 Aggregatzustände; Kap. 4.6 Hauptsätze der Wärmelehre ;

A. Trautwein, U. Kreibitz, E. Oberhauser, J. Hüttermann: *Physik für Mediziner, Biologen, Pharmazeuten*, 5. Auflage 2000, Walter de Gruyter Berlin

Kap. 8.2 Wärmeenergie; Kap. 8.3 Wärmekapazität; Kap. 8.4 Temperaturskalen; Kap. 8.5 Temperatur-Meßgeräte; Kap. 12 Hauptsätze der Wärmelehre ;

Skriptum *Physikalische Grundlagen der Messtechnik*, Teil 1 und Teil 6.

Schlagworte:

- Wärmekapazität
- Spezifische Wärme
- Kalorimeter, Kalorimetrie
- isochore und isobare Wärmekapazität oder Prozeß
- 1.Hauptsatz der Thermodynamik

Die spezifische Wärme

Wird einem Stoff eine vorgegebene Wärmemenge ΔQ zugeführt, ändert sich dabei die Temperatur T . Die Temperaturänderung ΔT ist proportional zur zugeführten Wärme-menge und hängt vom Material ab. Es gilt:

$$\Delta Q = C \Delta T$$

Der Proportionalitätsfaktor C heißt Wärmekapazität und er hängt auch von der erwärmten Stoffmenge ab. Je mehr Material erhitzt wird umso mehr Wärme muß auch zugeführt werden. Um die Wärmekapazitäten verschiedener Stoffe vergleichen zu können muß diese auf eine Stoffmenge normiert werden. Aus diesem Grund führt man die sogenannte spezifische Wärme c ein, welche je nach Anwendung die Wärmekapazität pro Masseneinheit, pro Mol eines Stoffes, pro Molekül oder pro Volumen sein kann.

Wärmekapazität des Kalorimetergefäßes

Die gesamte Wärmekapazität C_g eines mit Wasser gefüllten Kalorimetergefäßes ist die Summe aus der Wärmekapazität des Wassers C_w und der des Dewargefäßes C_D , d.h. $C_g = C_w + C_D$. Die Wärmekapazität des Dewars kann mit der sogenannten Mischungs-methode bestimmt werden. Dazu wird Wasser mit der Masse m_1 auf eine vorgegebene Temperatur erwärmt und in das Dewar gefüllt. Anschließend wird der Temperaturverlauf beobachtet. Wenn das Dewargefäß die Temperatur des Wassers angenommen hat, d.h. wenn sich die Wassertemperatur nur mehr minimal ändert, hat man die Temperatur T_1 erreicht. Nun wird kälteres Wasser mit einer Temperatur T_2 und der Masse m_2 dazugemischt. Während der gesamten

Prozedur wird die Temperatur des Wassers aufgenommen, so lange bis sich die Temperatur T_M des Gemisches kaum mehr ändert. Aus dem Temperatursprung, welcher beim Mischen des warmen und des kalten Wassers entsteht, kann die Wärmekapazität des Dewargefäßes auf folgende Weise bestimmt werden.

Beim Mischen wird vom warmen Wasser und dem Dewargefäß eine Wärmemenge ΔQ_1 abgegeben und vom kalten Wasser eine Wärmemenge ΔQ_2 aufgenommen. Gemäß obiger Relation ist die abgegebene Wärmemenge

$$\Delta Q_1 = -C_g(T_1 - T_M) = -(C_D + C_1)(T_1 - T_M) \quad (1)$$

wobei C_1 die Wärmekapazität der Wassermenge m_1 ist. Die aufgenommene Wärmemenge ist gleich

$$\Delta Q_2 = C_2(T_M - T_2) \quad (2)$$

mit C_2 als Wärmekapazität der Wassermenge m_2 . Vernachlässigt man die durch Strahlung verlorene Wärme, muß die vom warmen Wasser abgegebene Wärmemenge gleich der vom kalten Wasser und dem Dewargefäß aufgenommenen Wärmemenge sein. Daher muß gelten

$$\Delta Q_1 + \Delta Q_2 = 0 \quad (3)$$

Setzt man Gleichungen (1) und (2) in Gleichung (3) ein, und löst diese nach C_D auf, ergibt sich für die Wärmekapazität des Dewargefäßes

$$C_D = C_2 \frac{(T_M - T_2)}{(T_1 - T_M)} - C_1 \quad \dots(4)$$

Bezeichnet man mit c_w die spezifische Wärme (pro Masse) des Wassers, so ist $C_1 = m_1 c_w$ und $C_2 = m_2 c_w$. Einsetzen in (4) ergibt schließlich

$$C_D = c_w \left(m_2 \frac{(T_M - T_2)}{(T_1 - T_M)} - m_1 \right) \quad (5)$$

Bei bekannter spezifischer Wärme c_w von Wasser kann daraus die Wärmekapazität des Dewargefäßes berechnet werden.

Spezifische Wärme von Festkörpern

Analog zur Mischungsmethode im vorigen Unterkapitel kann auch die spezifische Wärme von Festkörpern bestimmt werden. Dazu wird ein Festkörper der Masse m_K auf die Temperatur T_K aufgeheizt und anschließend in ein Dewargefäß, welches Wasser mit der Masse m_w und der Temperatur T_w enthält, gegeben. Zeichnet man während der ganzen Prozedur die Temperatur des Wassers auf, ergibt sich ein Temperatursprung von T_w vor dem Eintauchen des Körpers auf T_M nach dem Eintauchen des Körpers. Der Festkörper mit der Wärmekapazität $C_K = m_K c_K$ gibt an das Wasser die Wärmemenge

$$\Delta Q_1 = -m_K c_K (T_K - T_M) \quad (6)$$

ab. Die vom Wasser und dem Dewargefäß aufgenommene Wärme ist

$$\Delta Q_2 = (C_D + m_w c_w)(T_M - T_w) \quad (7)$$

Die abgegebene Wärmemenge muß wieder gleich der aufgenommenen Wärmemenge sein, deshalb gilt wieder Gleichung (3). Setzt man Gleichungen (6) und (7) in Gleichung (3) ein und löst nach c_K auf, erhält man für die spezifische Wärme des Festkörpers

$$c_K = \frac{(C_D + m_w c_w)(T_M - T_w)}{m_K (T_K - T_M)} \quad (8)$$

Elektrische Bestimmung der spezifischen Wärme

Die spezifische Wärme einer Flüssigkeit kann auch dadurch bestimmt werden, daß eine definierte Wärmemenge auf elektrischem Wege zugeführt wird. Befindet sich in einem Dewargefäß Wasser mit der Masse m_w und der Temperatur T_1 ,

so kann man über Heizspulen, welche von einem Netzgerät mit Strom versorgt werden, über eine Zeit Δt Wärme zuführen und das Wasser damit auf eine Temperatur T_2 aufheizen. Ist die Spannung, die an den Heizspulen liegt U , und der durch sie fließende Strom I , dann ist die zugeführte elektrische Leistung $P=UI$. Die von den Heizspulen abgegebene Energie ist

$$\Delta E = -P \Delta t = -UI \Delta t \quad (9)$$

welche in Wärme umgesetzt wird (elektr. Wärmeäquivalent). Die vom Dewargefäß aufgenommene Wärme ist

$$\Delta Q = (C_D + m_W c_W)(T_2 - T_1) \quad (10)$$

Die gesamte in den Heizspulen erzeugte Energie wird in Wärme umgewandelt, deshalb gilt

$$\Delta Q + \Delta E = 0 \quad (11)$$

Setzt man Gleichungen (9) und (10) in (11) ein, erhält man für die spezifische Wärme von Wasser

$$c_W = \frac{1}{m_W} \left(\frac{UI \Delta t}{T_2 - T_1} - C_D \right) \quad (12)$$