

Physikpraktikum I - Gruppe III

Wärmekapazität

KENN Michael, 8725258

18. Jänner 2010

Zusammenfassung

Im Rahmen des Physikpraktikums I WS09/10 wurde die spezifische Wärmekapazität von Wasser und im Folgenden von Kupfer bestimmt.

1 Einleitung und Zielsetzung

Erster Teil des Experimentes war es mit Hilfe eines Kalorimeters die spezifische Wärmekapazität c_0 von Wasser zu bestimmen. Da die Wärmekapazität W des Kalorimeters unbekannt war mußten zumindest zwei Versuchsserien mit unterschiedlichen Wassermengen durchgeführt werden. Aus dem resultierenden Gleichungssystem konnte damit die Wärmekapazität W des Kalorimeters errechnet werden. Nach Abzug der ins Kalorimeter geflossenen Wärme $W \cdot \Delta T$ von der gesamten zugeführten Wärmemenge ΔQ konnte somit die spezifische Wärmekapazität c_0 von Wasser bestimmt werden.

Im zweiten Teil des Experiments wurde mit dem selben Kalorimeter die spezifische Wärmekapazität von Kupfer bestimmt. Dazu wurde jeweils einem Stück des Metalls mit bekannter Masse eine bestimmten Menge Wasser mit bekannter spezifischer Wärmekapazität $c_0 = 4187\text{J/kgK}$ zugeführt. Nach Abzug der im Wasser und im Kalorimeter gespeicherten Wärme konnte so die spezifische Wärmekapazität von Kupfer bestimmt werden.

2 Physikalische Grundlagen und Messmethoden

Die spezifische Wärmekapazität c_χ gibt an wieviel Wärme ΔQ pro Kelvin und Kilogramm in einer Substanz bei gegebenen äußeren Bedingungen gespeichert werden kann.

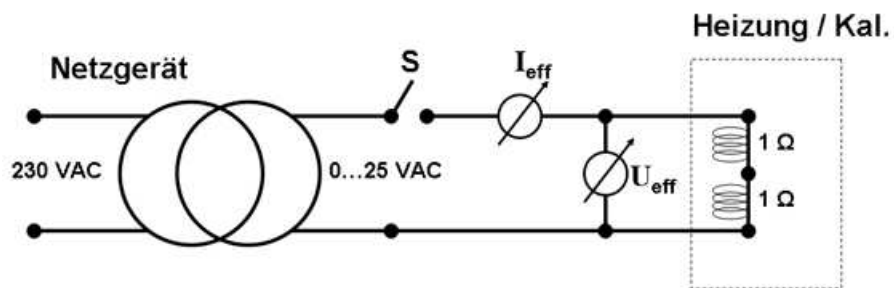
$$c_\chi = \frac{\Delta Q}{m\Delta T}$$

Für Wasser beispielsweise gilt bei Normalbedingungen $c_{H_2O} = 4187 \frac{\text{J}}{\text{kgK}}$. Die Wärmezufuhr kann bei Flüssigkeiten durch Stromleistung erfolgen. Um einem Festkörper gleichmässig Wärme zuzuführen wird dieser in eine Flüssigkeit getaucht. Da sich dieser mit der Flüssigkeit in einem thermischen Gleichgewicht befindet ist die dem Festkörper zugeführte Wärme gleich der gesamten zugeführte Wärme minus der Wärme die in die Flüssigkeit geht.

3 Experimenteller Aufbau

Der Aufbau der Versuchsanordnung umfasst

- ein Netzgerät zur Energieversorgung
- ein Voltmeter zur Messung der Spannung
- ein Amperemeter zur Messung der Stromstärke
- einen Schalter zum Unterbrechen bzw. Schließen des Stromkreislaufs
- einen Dewar mit Heizspiralen, Rührwerk, Temperaturanzeige und gegebenenfalls Probekörper



Zur Durchführung des Versuchs werden auch noch eine Waage, Messgläser sowie eine Uhr benötigt. Besonders wichtig ist, dass der Dewar vor Versuchsdurchführung gereinigt und getrocknet wird und sich in einem thermodynamischen Gleichgewicht befindet.

4 Messvorgang

Die Stromzufuhr erfolgte jeweils über etwas mehr als 10 Minuten, wobei alle 30 Sekunden neben der aktuellen Wassertemperatur auch die Spannung und die Stromstärke protokolliert wurden. Kurz nach Halbzeit der Versuchsserien wurde jeweils ein leichter Anstieg der Stromstärke um ca. 1% bei einem gleichzeitigem Abfall der Spannung um 0,1V festgestellt. Eine Analyse mittels eines t-Tests für zwei unabhängige Stichproben [3] ($t_{19} = 1,83$) hat ergeben, dass die resultierende Leistung P sich nicht signifikant geändert hat, und es wurde deshalb auf eine weitere Behandlung dieser Beobachtung verzichtet. Ein erster Versuchsdurchgang wurde abgebrochen weil auf das Umrühren (gleichmäßiges Verteilen der Wärme im Wasser) vergessen wurde. Erwähnenswert ist auch dass während einer jeden Versuchsserie ca. 1% des Wassers verdampft ist.

5 Auswertung

Der Übersicht halber gebe ich hier nur die gemessenen Mittelwerte und Fehlerbereiche wieder. Die detaillierten Messreihen sind in der Excel-Datei gespeichert.

$$\begin{aligned}P_1 &= 21,6 \pm 0,2 \text{ VA} \\P_2 &= 21,5 \pm 0,3 \text{ VA} \\m_1 &= 0,105 \pm 1\% \text{ kg} \\m_2 &= 0,200 \pm 1\% \text{ kg} \\t_1 &= 600 \text{ s} \\t_2 &= 600 \text{ s} \\\Delta T_1 &= 22,0 \pm \sqrt{2}\sigma_T \text{ }^\circ\text{C}, \sigma_T = 0.1 \text{ }^\circ\text{C} \\\Delta T_2 &= 13,2 \pm \sqrt{2}\sigma_T \text{ }^\circ\text{C}\end{aligned}$$

Daraus ergeben sich insgesamt zugeführte Wärmemengen

$$\Delta Q_1 = 12944 \pm 115 \text{ VAs}$$

$$\Delta Q_2 = 12904 \pm 174 \text{ VAs}$$

Eingesetzt in die Formeln der Angabe liefert das

$$c_0 = 4108 \pm 167 \text{ J/kg K}$$

$$W = 156 \pm 19 \text{ J/kg K}$$

Im zweiten Teil des Versuchs wurden für die Bestimmung der spezifischen Wärmekapazität von Kupfer folgende Werte gemessen:

$$P = 21,51 \pm 0,05 \text{ VA}$$

$$m_1 = 0,142 \text{ kg Cu}$$

$$m_2 = 0,176 \pm 1\% \text{ kgH}_2\text{O}$$

$$t = 540 \text{ s}$$

$$\Delta T = 12,1 \pm \sqrt{2}\sigma_T \text{ }^\circ\text{C}, \sigma_T = 0.1 \text{ }^\circ\text{C}$$

Folglich

$$\Delta Q = 11613 \pm 25 \text{ VAs}$$

und

$$\sigma_{c_{Cu}} = 480 \pm 156 \text{ J/kg K}$$

6 Messgenauigkeit

Für die Fehleranalyse des ersten Versuchsteils empfiehlt sich zunächst die Vereinfachung

$$m \approx m_1 \approx \frac{m_2}{2} \approx 100 \text{ ml}$$

$$\sigma_m \approx \epsilon \cdot m \text{ mit } \epsilon = 0.01$$

Die Berücksichtigung von σ_m ist notwendig weil eine gewisse Menge an Wasser während des Versuchs verdampft. Die Varianz von $\frac{\Delta Q}{\Delta T}$ berechnet sich

$$\sigma_{\frac{\Delta Q}{\Delta T}} = \frac{t}{\Delta T} \sqrt{\sigma_P^2 + \left(\frac{P\sigma_T}{\Delta T}\right)^2}.$$

Damit erhält man

$$\begin{aligned}\sigma_{c_0} &= \frac{1}{m} \sqrt{\sigma_{\frac{\Delta Q_1}{\Delta T_1}}^2 + \sigma_{\frac{\Delta Q_2}{\Delta T_2}}^2 + \epsilon^2 \left(\frac{\Delta Q_2}{\Delta T_2} - \frac{\Delta Q_1}{\Delta T_1}\right)^2} \\ \sigma_W &= \sqrt{4\sigma_{\frac{\Delta Q_1}{\Delta T_1}}^2 + \sigma_{\frac{\Delta Q_2}{\Delta T_2}}^2}.\end{aligned}$$

Das liefert

$$\begin{aligned}\sigma_{c_0} &= 167 \text{ J/kg K} \\ \sigma_W &= 19 \text{ J/kg K}\end{aligned}$$

Damit liegt der Literaturwert $c_0 = 4187 \text{ J/kg K}$ innerhalb des Fehlerintervalls $[3941, 4275] \text{ J/kg K}$.

Für die Genauigkeit von c_χ bei exakt gegebenem c_0 und exakt gewogener Masse m_1 des Festkörpers gilt

$$\sigma_{c_\chi} = \frac{1}{m_1} \sqrt{\sigma_{\frac{\Delta Q}{\Delta T}}^2 + (c_0 \epsilon m_2)^2 + \sigma_W^2}$$

Im konkreten Fall ist deshalb

$$\sigma_{c_{CU}} = 156 \text{ J/kg K}$$

Damit ist der zuvor bestimmte spezifische Wärmekapazitätswert $c_{CU} = 480 \text{ J/kg K}$ nicht sehr aussagekräftig. Der Referenzwert von $c_{CU} = 385 \text{ J/kg K}$ liegt prozentuell auch deutlich neben dem Messwert.

7 Schlussfolgerungen

Die Bestimmung der spezifischen Wärmekapazität von Wasser mit dem zur Verfügung gestellten Kalorimeter erfordert penible Genauigkeit bei der Durchführung des Experiments. Die Bestimmung der spezifischen Wärmekapazität von Festkörpern ist wegen der gegebenen Messgenauigkeitsmöglichkeiten nur sehr schwierig und auch nur sehr ungenau möglich.

Literatur

- [1] Praktikum zur Einführung in die Physik I WS 2009/10
https://elearning.mat.univie.ac.at/physikwiki/index.php/LV005:LV-Uebersicht/WS09_10
- [2] Wärmekapazität
<http://de.wikipedia.org/wiki/Wärmekapazität>
- [3] t-Tests für zwei unabhängige Stichproben
<http://de.wikipedia.org/wiki/T-Test>
- [4] Landolt-Börnstein, *Substance and Property Index*
<http://www.springer.com/laboe>

Updated 15. Februar 2010