

XLVI OLIMPIADA FIZYCZNA (1995/1996). Stopień I, zadanie doświadczalne – D2.

Źródło:	Komitet Główny Olimpiady Fizycznej, Fizyka w Szkole nr 3, 1997.
Autor:	Andrzej Wysmołek, KGOF, IFD UW.
Nazwa zadania:	Wyznaczanie ciepła parowania wody
Działy:	Termodynamika
Słowa kluczowe:	ciepło parowania, właściwe, ciecz, energia, kinetyczna, wiązania, bilans, termometr, termos, stała Boltzmana, liczba Avogadra, masa, mol, cząsteczka

Zadanie doświadczalne – D2, zawody I stopnia, XLVI OF.

Zakładając, że parowanie cieczy polega na odrywaniu się od jej powierzchni cząstek posiadających energię kinetyczną większą niż ich energia wiązania w cieczy ΔU , wyznacz ciepło parowania wody.

Masz do dyspozycji:

- termos,
- termometr do pomiaru temperatury w zakresie 0 – 100°C,
- zegarek z sekundnikiem lub stoper,
- wrzącą wodę,
- olej jadalny.

Uwagi

1. Skorzystaj z założenia, że liczba cząstek wody, które w jednostce czasu uwalniają się z cieczy jest proporcjonalna do czynnika wykładniczego $e^{\left(\frac{-\Delta U}{kT}\right)}$, gdzie: $e = 2,71828\dots$ – podstawa logarytmu naturalnego, $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K – stała Boltzmana, T – temperatura w skali bezwzględnej.
2. Zakładamy, że ciepło właściwe wody i ciepło parowania nie zależą od temperatury.

Rozwiązanie**Część teoretyczna**

Korzystamy ze związku pomiędzy ciepłem parowania L a energią ΔU :

$$\Delta U = \frac{L \cdot M}{N_A} \quad (1)$$

gdzie: $M = 18$ g masa molowa wody, $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ – liczba cząsteczek w molu.

Spadek temperatury parującej cieczy jest wywołany przekazem energii cząsteczkom opuszczającym ciecz oraz „stratami” wywołanymi przez inne procesy wymiany ciepła z otoczeniem (przewodnictwo cieplne, konwekcja, promieniowanie). Oznaczmy przez $P(T)$ ciepło tracone w jednostce czasu na procesy inne niż parowanie. Jeśli w czasie $\Delta t = t_2 - t_1$ temperatura wody obniży się o $\Delta T = T_1 - T_2$, to z bilansu energii wynika:

$$(m - \Delta m) c (T_1 - T_2) = \Delta m \cdot L + P(T) \cdot (t_2 - t_1),$$

gdzie: m – masa wody, Δm – masa wytworzonej pary wodnej, c – ciepło właściwe wody, T_1, T_2 – temperatura wody odpowiednio w chwilach t_1 i t_2 , L – ciepło parowania wody.

Ponieważ zakładamy, że zmiany temperatury ΔT są małe w porównaniu z T_1 i T_2 , jako T można przyjąć ich średnią arytmetyczną lub po prostu T_2 . Jeśli przyjmiemy, że masa pary wodnej Δm jest zaniedbywalnie mała w porównaniu z masą m stygnącej wody, to korzystając z założeń przyjętych w treści zadania można napisać:

$$mc(T_1 - T_2) = A e^{\left(\frac{-\Delta U}{kT}\right)} \cdot (t_2 - t_1) + P(T) \cdot (t_2 - t_1) \quad (2)$$

lub

$$\frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1} = B e^{\left(\frac{-\Delta U}{kT}\right)} + F(T) \quad (3)$$

gdzie A, B – pewne stałe, natomiast

$$F(T) = \frac{P(T)}{mc}.$$

Po przekształceniu i obustronnym zlogarytmowaniu, równanie (3) można zapisać w postaci:

$$\ln\left(\frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1} - F(T)\right) = \ln B - \frac{\Delta U}{k} \frac{1}{T} \quad (4)$$

Ze związku (4) wynika, że $\ln\left(\frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1} - F(T)\right)$ jest liniową funkcją argumentu $\frac{1}{T}$ o

współczynnikiem kierunkowym określonym przez stałą ΔU , a więc i przez ciepło parowania. W przypadku, gdyby parowanie było jedynym procesem odpowiedzialnym za obniżanie temperatury wody w termosie, wystarczyłoby wykonać pomiary szybkości stygnięcia wody w termosie, wyznaczyć wartość ilorazu $\frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1}$ w różnych temperaturach i następnie stosując me-

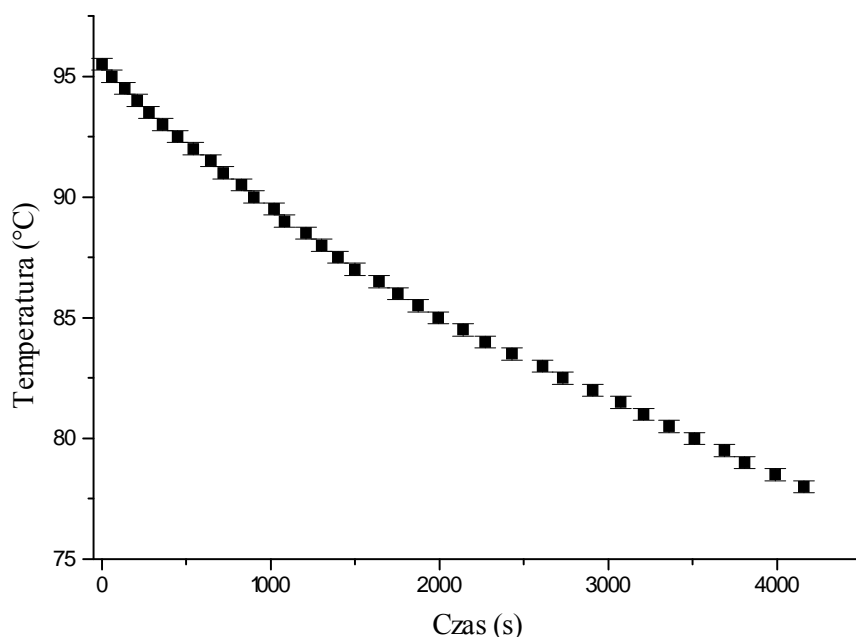
todę dopasowania prostej do odpowiednio przeliczonych danych eksperymentalnych, wyznaczyć ciepło parowania wody. Trzeba jednak sprawdzić doświadczalnie, czy takie założenie jest słuszne. Udział innych niż parowanie procesów wymiany ciepła z otoczeniem, można sprawdzić wykonując pomiary temperatury wody pokrytej warstwą oleju. Zakładamy przy tym, że warstwa oleju eliminuje tylko parowanie wody, nie zaburzając wymiany ciepła za pośrednictwem przewodnictwa cieplnego, promieniowania itp. W pomiarze takim szybkość zmian temperatury wody jest określona tylko przez funkcję $F(T)$, tzn.

$$\frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1} = F(T) \quad (5)$$

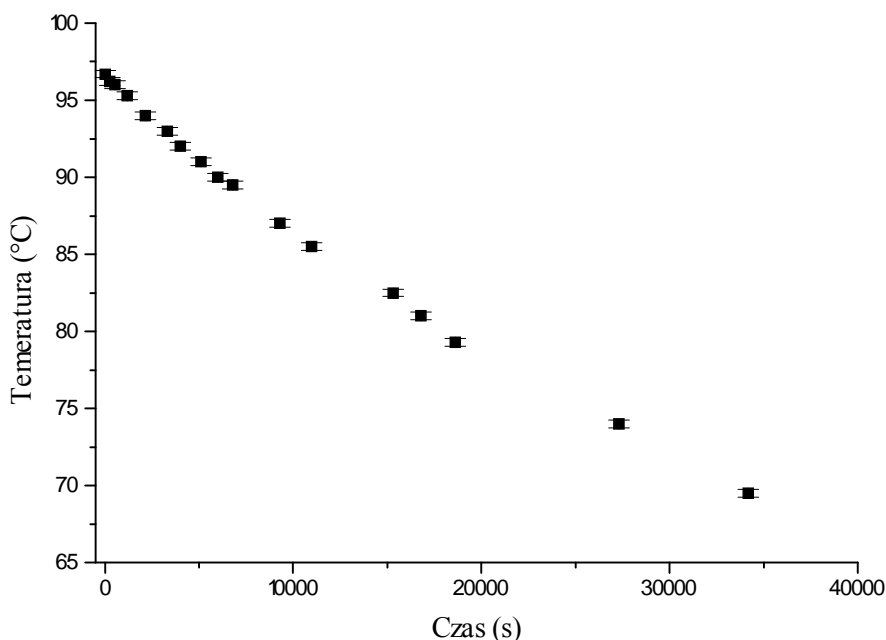
Znając wartości $F(T)$ dla różnych temperatur, możemy wykonać wykres w zależności od $\ln\left(\frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1} - F(T)\right)$ argumentu $\frac{1}{T}$ i na tej podstawie wyznaczyć ciepło parowania.

Część doświadczalna

Do pomiarów wykorzystano termos o pojemności ok. 0,5 L. Wartości stosunku $\Delta T/\Delta t$ obliczono dla zmiany temperatury $\Delta T = 1^\circ\text{C}$. Zależność temperatury wody w termosie od czasu, bez oleju na powierzchni wody oraz z warstwą oleju na jej powierzchni przedstawiono na rys. 1 i rys. 2.



Rys. 1. Zmiany temperatury wody w termosie bez warstewki oleju na powierzchni.



Rys. 2. Zależność temperatury wody w termosie od czasu, w przypadku gdy na jej powierzchni umieszczono warstwę oleju.

Zmiany temperatury wody są istotnie szybsze w przypadku gdy powierzchnia wody nie jest pokryta warstwą oleju (rys. 1, rys. 2, zwróć uwagę na różnicę w skali czasowej). Wynika z tego, że parowanie jest dominującym procesem wymiany ciepła z otoczeniem. Wyniki pomiarów z warstwą oleju na powierzchni wskazują jednak, że nie można zaniedbać wpływu innych procesów wymiany ciepła na zmiany temperatury wody w termosie. W związku z tym,

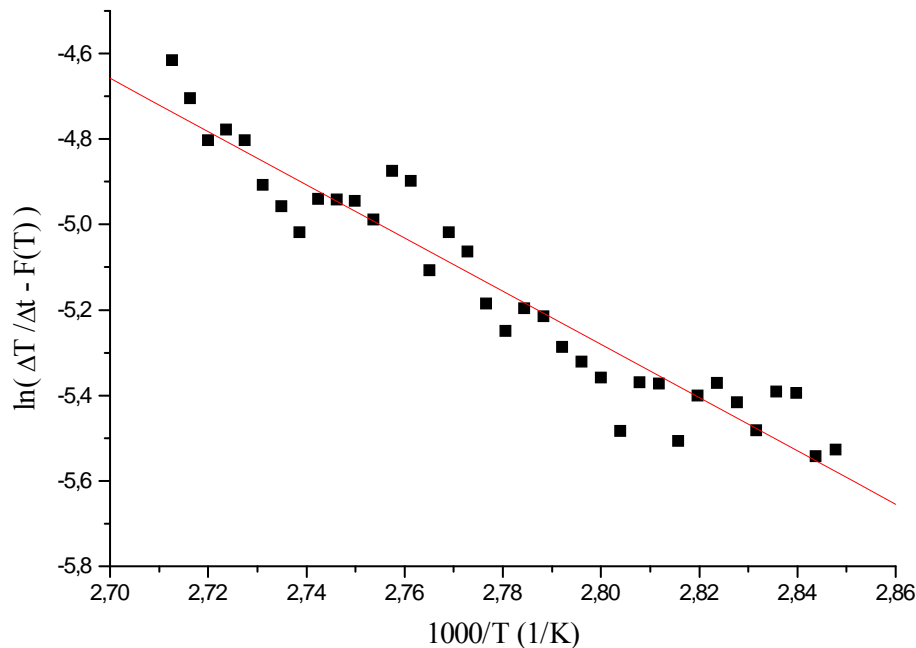
po odpowiednim przeliczeniu danych doświadczalnych sporządzono wykres zależności

$\ln\left(\frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1} - F(T)\right)$ od temperatury (rys. 3). Z dopasowania prostej otrzymano:

$$\frac{\Delta U}{k} = (6200 \pm 1000) \text{ K}$$

co daje

$$L = (2860 \pm 500) \text{ J/g.}$$



Rys. 3.

Wartość tablicowa ciepła parowania wody wynosi 2260 J/g. Niepewność pomiaru jest związana głównie z małą dokładnością termometru (1°C). Należy też zwrócić uwagę na to, że przyjęte w treści zadania założenia nie uwzględniają zmian warunków równowagi para – ciecz wywołanych zmianami wilgotności powietrza, czy też ruchu gazu nad powierzchnią cieczy.

Proponowana punktacja

- | | |
|--|-----------|
| 1. Związek między ΔU i ciepłem parowania L | do 2 pkt. |
| 2. Wyprowadzenie wzorów (2) – (5) | do 4 pkt. |
| 3. Wykonanie pomiarów (udokumentowane) | do 5 pkt. |
| 4. Uwzględnienie innych niż parowanie procesów wymiany ciepła z otoczeniem (pomiary z warstewką oleju) | do 4 pkt. |
| 5. Analiza danych doświadczalnych zakończona wyznaczeniem ciepła | do 5 pkt. |