

Wyznaczanie ciepła właściwego cieczy metodą kalorymetryczną

ćwiczenie nr 38

opracowanie ćwiczenia: dr J. Woźnicka, dr S. Belica

Zakres zagadnień obowiązujących do ćwiczenia

1. Zasady termodynamiki (I, II, III).
2. Definicja pojemności cieplnej pod stałym ciśnieniem i wpływ temperatury na tę wielkość.
3. Zastosowanie C_p w termodynamice (prawo Kirchhoffa, obliczanie zmian entalpii i entropii procesów).
4. Różnica ($C_p - C_v$) dla gazów doskonałych i dowolnego stanu skupienia.

Literatura

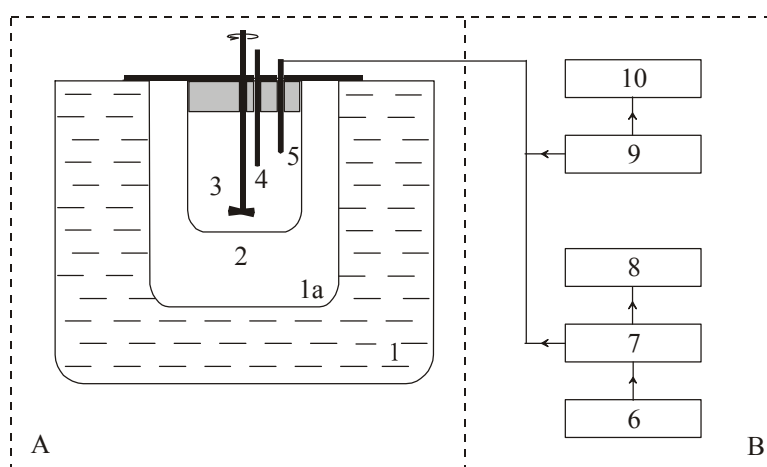
1. Praca zbiorowa pod red. Woźnickiej J. i Piekarskiego H., *Ćwiczenia laboratoryjne z chemii fizycznej*, Wydawnictwo UŁ, Łódź 2005.
2. Sobczyk L., Kiswa A., Gatner K., Koll A., *Eksperymentalna chemia fizyczna*, PWN, Warszawa 1982.
3. Brdička R., *Podstawy chemii fizycznej*, PWN, Warszawa 1970.
4. Szarawara J., *Termodynamika chemiczna*, WNT, Warszawa 1985.
5. Atkins P. W., *Chemia fizyczna*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2001.
6. Praca zbiorowa pod red. Bielańskiego A., *Chemia fizyczna*, PWN, Warszawa 1980.

Celem ćwiczenia jest wyznaczenie ciepła właściwego cieczy metodą Joule'a.

Warunkiem poprawnego wykonania pomiaru ciepła właściwego cieczy metodą Joule'a jest, aby objętość badanej cieczy była taka sama, jak objętość wody użytej do wyznaczenia pojemności części stałych kalorymetru w pomiarze kalibracyjnym.

Układ pomiarowy

Aparatura stosowana do pomiaru ciepła właściwego cieczy (Rys. 1) składa się z dwóch zasadniczych części: A – układ kalorymetryczny, B – zespół pomiarowy prądu grzałki.



Rys. 1. Schemat układu pomiarowego: A – układ kalorymetryczny, B – zespół pomiarowy prądu grzałki

Ad A. Termostat wodny (1) zawiera naczynie (1a) stanowiące osłonę kalorymetru. Naczynie kalorymetryczne (2) wykonane z teflonu, zamykane jest korkiem, w który wmontowane są: mieszadło (3), termometr kwarcowy (4) z możliwością odczytu temperatury z dokładnością do $0,001^{\circ}\text{C}$ oraz grzałka (5) o oporze $10,60\ \Omega$.

Ad B. Zespół kalibracyjny składa się ze stabilizowanego napięciowo zasilacza prądu stałego (6), opornika wzorcowego o oporze $1\ \Omega$ (7), miernika prądu grzałki o zakresie $400\ \text{mV}$ (8). Licznik czasu (9) jest zaprogramowany na $90\ \text{s}$ i po tym czasie zatrzymuje się samoczynnie. W górnej części jego obudowy znajduje się przycisk (10) „start”, którym uruchamia się licznik czasu i grzałkę. Konstrukcja układu kalibracyjnego umożliwia bezpośredni odczyt natężenia prądu i na mierniku (8), ponieważ w zestawie pomiarowym znajduje się opór wzorcowy. W czasie przepływu prądu przez grzałkę spadek napięcia w V na oporniku wzorcowym o oporze $1\ \Omega$ odpowiada wartości natężenia prądu przepływającego przez grzałkę w A.

Wykonanie ćwiczenia i przedstawienie wyników pomiarów

1. Uruchomić termostat z nastawioną temperaturą na 25°C.
2. Włączyć termometr kwarcowy.
3. Uruchomić licznik czasu (9) przyciskiem „start”. Licznik jest zaprogramowany na 90 s i po tym czasie zatrzymuje się samoczynnie. Jest gotowy do pracy.
4. Włączyć zasilacz grzałki (6) wraz z miernikiem prądu grzałki (8).
5. Naczynie kalorymetryczne (czyste i suche) zważyć na wadze technicznej z dokładnością $\pm 0,1$ g, napelnić 120 cm³ cieczy badanej o $t = 25^\circ\text{C}$ (substancję wybiera prowadzący zajęcia), a następnie zważyć w celu dokładnego określenia masy cieczy m_x .
6. Kalorymetr zamknąć korkiem i umieścić go w termostacie.
7. Uruchomić mieszadło (3).
8. Odczekać około 30 minut na wytermostatowanie układu. Sygnałem, że układ osiągnął stan równowagi termicznej, będą nieznaczne zmiany temperatury rzędu $\pm 0,002^\circ\text{C}/\text{min}$. widoczne na termometrze kwarcowym.
9. Rozpocząć okres początkowy pomiaru kalorymetrycznego, notując co 30 sekund wartości temperatury. Czas odmierzać stoperem. Dokonać 10 odczytów temperatury kalorymetru.
10. Uruchomić licznik czasu i grzałkę, wciskając przycisk „start” (10). Czas przepływu prądu przez grzałkę zanurzoną w kalorymetrze τ_x wynosi wtedy 90 s. Rozpoczyna się okres główny pierwszego pomiaru.
Przez cały czas, co 30 sekund, zapisywać wskazania temperatury na termometrze kwarcowym.
11. Odczytać wartość natężenia prądu grzałki i_x [A] na miliwoltomierzu (8) oraz zanotować opór grzałki $r = 10,60 \Omega$.
12. Nadal notować wskazania termometru w okresie końcowym pomiaru kalorymetrycznego (10 odczytów).
13. Podgrzewanie kalorymetru i pomiar zmian temperatury wykonać trzykrotnie, traktując okres końcowy pomiaru poprzedniego, jako okres początkowy następnego.
14. Po zakończeniu pomiaru z cieczą badaną opróżnić kalorymetr, a jego stałe części osuszyć.

15. Naczynie kalorymetryczne napełnić 120 cm³ wody destylowanej o temperaturze 25°C i ponownie zważyć w celu dokładnego określenia masy wody m_w .
Pomiary dla kalorymetru napełnionego wodą wykonać również trzykrotnie analogicznie do opisanego powyżej w punktach 6–14. Jedyne różnica polega na dłuższym przepływie prądu przez grzałkę – 180 s. Oznacza to, że licznik czasu uruchamia się dwukrotnie.
16. Zapisać wartość natężenia prądu i_w przepływającego przez wodę, czas jego przepływu przez grzałkę τ_w (180 s) oraz opór grzałki $r = 10,60 \Omega$.
17. Pomiar ciepła właściwego wody wykonać trzykrotnie, traktując okres końcowy pomiaru poprzedniego jako okres początkowy następnego.
18. Uzyskane dane doświadczalne przedstawić w tabeli wyników pomiarów.

Opracowanie i dyskusja wyników pomiarów

1. Sporządzić wykres zależności zmian temperatury kalorymetru od czasu dla wody $T_w = f(\text{min})$ i cieczy badanej $T_x = f(\text{min})$. (Wykres rozplanować tak, aby zmiany temperatury odpowiadały przyrostowi ok. 10 cm skali rysunku)
2. Metodą graficzną wyznaczyć skorygowane wartości przyrostów temperatury ΔT_w (woda) oraz ΔT_x (ciecz badana).
3. Obliczyć pojemność części stałych kalorymetru k_{st} z równania (1) na podstawie trzech serii pomiarów przeprowadzonych dla wody:

$$k_{st} = \frac{r i_w^2 \tau_w}{\Delta T_w} - m_w c_w \quad (1)$$

gdzie: r – opór grzałki, i_w – natężenie prądu płynącego przez grzałkę zanurzoną w kalorymetrze wypełnionym wodą, τ_w – czas przepływu tego prądu, ΔT_w – skorygowany przyrost temperatury w czasie przepływu prądu przez kalorymetr wypełniony wodą,

m_w – masa wody, c_w – ciepło właściwe wody ($4,186 \text{ J g}^{-1} \text{ K}^{-1} = 1 \text{ cal g}^{-1} \text{ K}^{-1}$).

Do obliczenia ciepła właściwego cieczy badanej stosować wartość średnią $\overline{k_{st}}$ pojemności części stałych kalorymetru.

4. Na podstawie równania (2) obliczyć ciepło właściwe badanej cieczy c_b uzyskane z trzech serii pomiarowych:

$$c_x = \frac{r i_x^2 \tau_x - \overline{k_{st}}}{m_x \Delta T_x} \quad (2)$$

gdzie: r – opór grzałki, i_x – natężenie prądu grzałki zanurzonej w kalorymetrze wypełnionym cieczą badaną, τ_x – czas przepływu tego prądu, ΔT_x – skorygowany przyrost temperatury wywołany pracą grzałki, $\overline{k_{st}}$ – średnia pojemność części stałych kalorymetru, m_x – masa cieczy badanej

Wartości ciepła właściwego uśrednić ($\overline{c_x}$) i porównać z danymi literaturowymi zawartymi w tabeli 1.

5. Ciepło właściwe cieczy przeliczyć na ciepło molowe $\overline{C_x}$ [$\text{J mol}^{-1} \text{K}^{-1}$].
6. Do sprawozdania dołączyć wykresy wykonane na papierze milimetrowym.

Tabela wyników pomiarów

Ciecz badana m_x [g]		Woda m_w [g]	
Czas [min]	Temperatura T_b [deg]	Czas [min]	Temperatura T_w [deg]
0		0	
0,5		0,5	
1,0		1,0	
1,5		1,5	
2,0		2,0	
2,5		2,5	
3,0		3,0	
3,5		3,5	
4,0		4,0	
4,5		4,5	
5,0	i_{x1}	5,0	i_{w1}
5,5	τ_{x1}	5,5	τ_{w1}
6,0		6,0	
6,5		6,5	
7,0		7,0	
7,5		7,5	
8,0		8,0	
8,5		8,5	
9,0		9,0	
9,5		9,5	
10,0		10,0	
10,5		10,5	
11,0		11,0	
11,5	i_{x2}	11,5	
12,0	τ_{x2}	12,0	
12,5		12,5	
13,0		13,0	i_{w2}
13,5		13,5	τ_{w2}
14,0		14,0	
14,5		14,5	
15,0		15,0	
15,5		15,5	
16,0		16,0	
16,5		16,5	
17,0		17,0	
17,5		17,5	
18,0	i_{x3}	18,0	
18,5	τ_{x3}	18,5	
19,0		19,0	
19,5		19,5	
20,0		20,0	
20,5		20,5	
21,0		21,0	i_{w3}
21,5		21,5	τ_{w3}
22,0		22,0	
22,5		22,5	
23,0		23,0	
23,5		23,5	
24,0		24,0	
		24,5	
		25,0	
		25,5	
		26,0	
		26,5	
		27,0	
		27,5	
		28,0	
		28,5	

Tabele wyników pomiarów i obliczeń (ciecz badana)

m_x [g]	r [Ω]	τ_x [s]	i_x [A]	ΔT_x [deg]	c_x [J g ⁻¹ K ⁻¹]	\bar{c}_x [J g ⁻¹ K ⁻¹]	\bar{C}_x [J mol ⁻¹ K ⁻¹]
		(1)	(1)	(1)	(1)		
		(2)	(2)	(2)	(2)		
		(3)	(3)	(3)	(3)		

Tabela wyników pomiarów i obliczeń (woda)

m_w [g]	c_w [J g ⁻¹ K ⁻¹]	r [Ω]	τ_w [s]	i_w [A]	ΔT_w [deg]	k_{st} [J K ⁻¹]	\bar{k}_{st} [JK ⁻¹]
			(1)	(1)	(1)	(1)	
			(2)	(2)	(2)	(2)	
			(3)	(3)	(3)	(3)	

Tabela 1. Ciepło właściwe i molowe niektórych ciekłych związków organicznych ($t = 25^\circ\text{C}$)

Substancja	Masa molowa M [g mol ⁻¹]	Ciepło właściwe c_p [cal g ⁻¹ K ⁻¹]	Ciepło molowe C_p [cal mol ⁻¹ K ⁻¹]	Ciepło właściwe c_p [J g ⁻¹ K ⁻¹]	Ciepło molowe C_p [J mol ⁻¹ K ⁻¹]
Metanol	32,0	0,607	19,42	2,540	81,29
Etanol	46,1	0,590	27,15	2,469	113,60
Izopropanol	60,1	0,610	36,66	2,552	153,39
Aceton	58,1	0,515	29,90	2,155	125,10
Chloroform	119,4	0,226	27,00	0,946	112,97
CCl ₄	153,8	0,204	31,47	0,854	131,67
Heksan	86,2	0,540	46,55	2,259	194,77
Cykloheksan	84,2	0,428	36,04	1,790	150,79
Benzen	78,1	0,413	32,26	1,728	134,98