

Nazwisko .....

Data .....

Nr na liście .....

Imię .....

Wydział .....

Dzień tyg. ....

Godzina .....

## Ćwiczenie 123

### Wyznaczanie ciepła właściwego cieczy metodą ostygnięcia

---

Rodzaj badanej cieczy		
Masa naczynia, $m_1$	[kg]	
Masa naczynia z wodą, $m_2$	[kg]	
Masa wody, $m_w$	[kg]	
Masa naczynia z cieczą, $m_3$	[kg]	
Masa cieczy, $m_c$	[kg]	
$a_{2w} = \frac{h}{c_w m_w}$		
$a_{2c} = \frac{h}{c_c m_c}$		
Ciepło właściwe wody, $c_w$	$\left[ \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right]$	4190
Ciepło właściwe cieczy, $c_c$	$\left[ \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right]$	

## Ćwiczenie 123. Wyznaczanie ciepła właściwego cieczy metodą ostygnięcia

### Wprowadzenie

Przy zetknięciu się dwóch lub więcej ciał o różnej temperaturze następuje przepływ ciepła od ciała cieplejszego do ciała zimniejszego. Ciało oddające ciepło obniża swoją temperaturę, a ciało pobierające — podwyższa. *Ciepło* jest, zatem, formą energii przekazywanej od jednego ciała do drugiego. *Temperatura* jest miarą stopnia ogrzania ciała.

Ilość ciepła  $Q$  wyrażamy w układzie SI w dżulach [J], natomiast temperaturę  $T$  — w kelwinach [K]. W życiu codziennym temperaturę mierzymy w stopniach Celsjusza [°C] i w tym przypadku oznaczamy ją małą literą  $t$ . Związek pomiędzy obiema skalami przedstawia równanie

$$T = t + 273,15.$$

Przyrost temperatury jest w obydwu skalach jednakowy:  $\Delta T = \Delta t$ .

Ilość ciepła  $Q$  pobranego przy ogrzaniu ciała od temperatury  $T_1$  do temperatury  $T_2$  (lub oddanego przy jego stygnięciu od  $T_2$  do  $T_1$ ) zależy od rodzaju ciała i jest proporcjonalna do jego masy  $m$  i uzyskanej zmiany temperatury:

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T.$$

Współczynnik proporcjonalności  $c$  nazywamy średnim ciepłem właściwym w zakresie temperatury od  $T_1$  do  $T_2$ :

$$c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T}.$$

*Ciepło właściwe* jest to ilość ciepła potrzebna do ogrzania jednostki masy ciała o jednostkę temperatury. Ciepło właściwe wyrażamy w J/(kg·K).

Celem ćwiczenia jest wyznaczenie ciepła właściwego stygnącej cieczy. Każde ciało o temperaturze  $T$ , wyższej od temperatury otoczenia  $T_{ot}$ , stygnie obniżając coraz bardziej swoją temperaturę, aby po dostatecznie długim czasie przyjąć temperaturę otoczenia. Wprowadźmy oznaczenie  $\vartheta = T - T_{ot}$ ;  $\vartheta = \vartheta(\tau)$  jest chwilową różnicą temperatury między ciałem stygnącym i otoczeniem, która zmienia się wraz z upływem czasu  $\tau$ . Pochodna  $\vartheta$  względem czasu,  $d\vartheta/d\tau$ , nazywana jest *prędkością ostygnięcia*. Z doświadczenia wynika, że prędkość ta jest proporcjonalna do różnicy temperatur między stygnącym ciałem i otoczeniem,

$$\frac{d\vartheta}{d\tau} = -a \vartheta. \quad (1)$$

Współczynnik proporcjonalności  $a$  nazywany jest *stałą ostygnięcia*. Stała ostygnięcia zależy od rodzaju substancji poddanej chłodzeniu i od warunków ostygnięcia. Znak „-” w (1) oznacza, że różnica temperatury  $\vartheta$  jest wielkością malejącą wraz z upływem czasu. Zależność (1) wyraża *prawo ostygnięcia Newtona*. Jest ono słuszne dla niewielkiej różnicy temperatury, ma jednak duże znaczenie ze względu na to, że w takich warunkach przebiega bardzo wiele zjawisk.

Przebieg stygnięcia zależy od pojemności cieplnej  $W$  ciała, którą definiujemy jako iloczyn ciepła właściwego i masy danego ciała

$$W = c \cdot m. \quad (2)$$

Stwierdzono, że ciała o dużej pojemności cieplnej stygną wolniej niż ciała o małej pojemności cieplnej, a zatem prędkość stygnięcia jest odwrotnie proporcjonalna do pojemności cieplnej  $W$ . Fakt ten można wyrazić zastępując w równaniu (1) stałą  $a$  współczynnikiem  $h/W$ :

$$\frac{d\vartheta}{d\tau} = -\frac{h}{W} \vartheta, \quad (3)$$

$h$  oznacza stałą zależną tylko od warunków ostygnięcia. Po uwzględnieniu (2) otrzymujemy

$$\frac{d\vartheta}{d\tau} = -\frac{h}{cm}\vartheta. \quad (4)$$

W równaniu różniczkowym (4) rozdzielamy zmienne,  $\frac{d\vartheta}{\vartheta} = -\frac{h}{cm}d\tau$ , i po całkowaniu obustronnym otrzymamy:

$$\ln \vartheta = -\frac{h}{cm}\tau + k. \quad (5)$$

Tutaj  $k$  jest stałą całkowania, którą można wyznaczyć z warunków początkowych. Przyjmujemy, że w chwili początkowej różnica temperatury między ciałem stygnącym i otoczeniem wynosiła  $\vartheta_0$ , czyli dla  $\tau = 0$ ,  $\vartheta = \vartheta_0$ . Po podstawieniu tego warunku do równania (5) otrzymujemy:  $\ln \vartheta_0 = k$ . Rozwiązanie ma, zatem, postać:

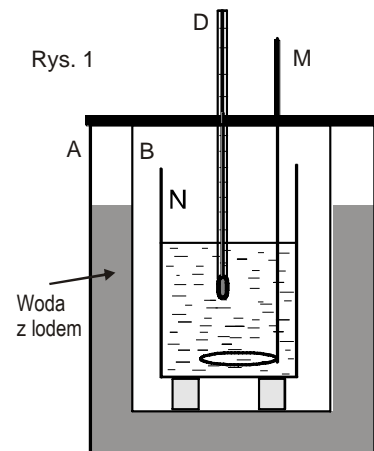
$$\vartheta = \vartheta_0 e^{-\frac{h}{cm}\tau}. \quad (6)$$

Wzór (6) określa wartość różnicy temperatury  $\vartheta$  między ciałem stygnącym i otoczeniem po czasie  $\tau$  od początku stygnięcia. Wykresem ilustrującym prawo stygnięcia jest krzywa wykładnicza malejąca w czasie. Zarówno  $\vartheta$  jak i  $\vartheta_0$  mogą być wyrażone w kelwinach bądź w stopniach Celsjusza, ponieważ wartość liczbową różnicy temperatur jest w tych skalach jednakowa.

W celu wyznaczenia ciepła właściwego cieczy, przeprowadzimy stygnięcie badanej cieczy i wody w takich samych warunkach zewnętrznych, a więc przy takiej samej temperaturze otoczenia i przy jednakowych powierzchniach swobodnych obu cieczy. Możemy wówczas założyć, że stała  $h$  w prawie ostygnięcia jest jednakowa dla obydwu cieczy.

Pomiary przeprowadzamy w układzie naczyń przedstawionym na rys. 1. Przestrzeń między naczyniami A i B, stanowiącą osłonę termostatyczną, wypełniamy tłuczonym lodem. Wewnątrz osłony termostatycznej znajduje się metalowe naczynie N, napełnione cieczą o określonej objętości, której temperaturę wskazuje termometr D. Naczynie N stoi na izolujących podpórkach. Mieszadło M służy do wyrównywania temperatury cieczy.

Na podstawie pomiarów otrzymamy dwie krzywe stygnięcia: cieczy badanej i wody. Ponieważ temperatura otoczenia  $t_{ot}$  stale wynosi  $0^\circ\text{C}$ , wartość  $\vartheta$  równa jest temperaturze  $t$  stygnącej cieczy, mierzonej w stopniach Celsjusza. Na osi rzędnych wykresu stygnięcia możemy, zatem, odkładać temperaturę  $t$ .



### Wyznaczenie ciepła właściwego.

Ostygnięcie cieczy opisane jest równaniem (6):  $\vartheta = \vartheta_0 e^{-\frac{h}{cm}\tau}$ .

Logarytmujemy obie strony tego równania:  $\ln \vartheta = \ln \vartheta_0 - \frac{h}{cm}\tau$ .

Otrzymujemy równanie prostej — współczynnik  $\frac{h}{cm}$  określony jest przez nachylenie tej prostej.

Do doświadczalnego wykresu zależności  $\ln(\vartheta)$  w funkcji czasu  $\tau$ , dopasowujemy za pomocą programu komputerowego linię prostą  $y = a_1 + a_2x$  i odczytujemy wartości  $a_2$  dla wody i dla badanej cieczy.

Ponieważ dla wody  $a_{2w} = \frac{h}{c_w m_w}$  i dla badanej cieczy  $a_{2c} = \frac{h}{c_c m_c}$ , po podzieleniu stronami otrzymamy:

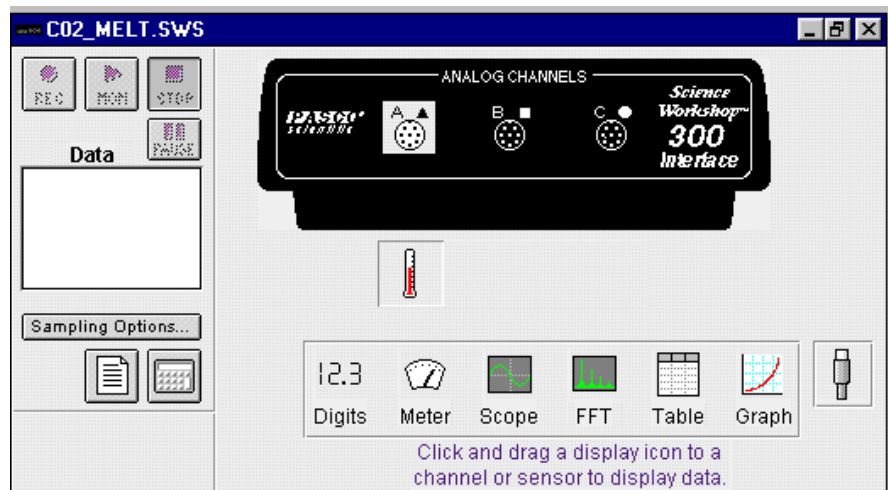
$$c_c = \frac{a_{2w} c_w m_w}{a_{2c} m_c}. \quad (7).$$

Przyjęto, że stała  $h$  w prawie ostygnięcia jest jednakowa dla obydwu cieczy.

## WYKONANIE ĆWICZENIA

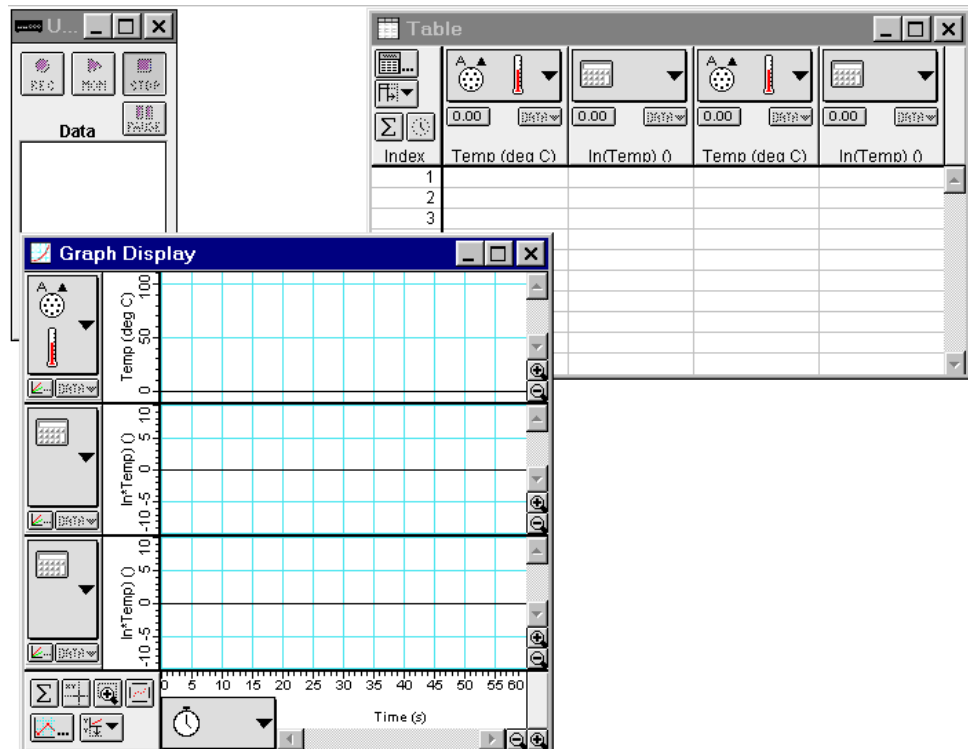
### Okna ćwiczenia 123

Okno podstawowe „C23\_ost”  
— zawiera przyciski sterowania



Okno „Table” — wyświetla kolejne odczyty temperatury i logarytmy tych temperatur.

Okno wykresu „Graph Display” przedstawia zależność temperatury i logarytmu temperatury w zależności od czasu.



POTRZEBNE WYPOSAŻENIE	
• Interfejs „Science Workshop 300”	• Naczynia, osłona, lód
• Czujnik temperatury	• Waga

### Przygotowanie układu pomiarowego

Podłącz czujnik temperatury do analogowego kanału **A** interfejsu.

### Przygotowanie Komputera

1. Włącz interfejs i komputer. Włącznik interfejsu jest na jego tylnej ścianie – interfejs powinien być włączony przed uruchomieniem komputera (sygnalizuje to zielona lampka).
2. Uruchom system operacyjny *Windows* i program „*Science Workshop*”. Otwórz (File ⇒ Open) w katalogu *Library\Chemistry* dokument **C23\_ost.SWS**. Na ekranie zobaczymy (po zamknięciu okna Experiment Notes) okno podstawowe **C23\_ost**, okno „**Graph Display**” przedstawiające zależność temperatury i logarytmu temperatury od czasu, oraz okno „**Table**” — wyświetlające kolejne odczyty temperatury oraz wartości logarytmów temperatury..
3. Okno podstawowe **C23\_ost** jest w postaci zwiniętej. Po rozwinięciu tego okna widzimy interfejs z rozświetlonym wejściem analogowym **A** i umieszczoną pod nim ikoną czujnika temperatury. Jeśli wejście to nie jest rozświetlone, chwyć myszą ikonę wtyczki analogowej i przeciągnij na gniazdo kanału **A**. Na ekranie wyświetli się lista możliwych czujników — znajdź i wybierz czujnik temperatury, potwierdź wybór naciskając .
4. Jeśli okno tabeli nie pojawiło się, chwyć ikonę tabeli (Table) i przeciągnij na ikonę czujnika temperatury pod gniazdem kanału wejściowego **A**. Z listy tytułów kolumny wybierz **Analog A – temp**. W wyświetlonej tabeli wybierz przycisk tworzenia dodatkowej kolumny — jest to środkowy przycisk w grupie przycisków nad pierwszą kolumną tabeli. Z listy tytułów kolumny wybierz „**computations - ln(Temp)**”. W tych dwóch kolumnach będą zapisywane wyniki pomiarów dla wody. Powtórz te czynności aby uzyskać następne dwie kolumny (**Temp**) i **ln(Temp)** dla badanej cieczy.
5. W oknie wykresu z listy tytułów osi pionowej wybierz **Analog A – temp**. W oknie tym znajduje się również przycisk tworzenia dodatkowego wykresu (drugi w kolejności przycisk na samym dole okna). Można się nim posłużyć, jeśli pojawiło się pojedyncze okno wykresu. Utwórz dodatkowe dwa wykresy. Z listy tytułów osi pionowej obydwu wykresów wybierz „**computations - ln(Temp)**”. Wybranie skali pionowej i poziomej umożliwia kolejno dobranie przewidywanej maksymalnej i minimalnej temperatury oraz czasu pomiaru.
6. W oknie podstawowym naciśnij przycisk .
 

Wybierz przełącznik Slow — 1 pomiar, co 30 s). W kolumnie STOP CONDITIONS wybierz TIME — wpisz czas, po którym pomiar ma się automatycznie zatrzymać (600 s). Naciśnij .


### Przebieg i rejestracja pomiarów

#### Wykonanie zadania

1. Ważymy na wadze laboratoryjnej naczynie N — masa  $m_1$ .
2. Nalewamy do niego  $150 \text{ cm}^3$  wody o temperaturze  $20 \div 25 \text{ }^\circ\text{C}$  i ważymy — masa  $m_2$ .  
Masa wody w naczyniu wynosi:  $m_w = m_2 - m_1$ .
3. Naczynie N wprowadzamy do osłony termostatycznej (przestrzeń między naczyniami A i B musi być wypełniona lodem i niewielką ilością wody).

4. Rozpoczynamy pomiar wciskając przycisk .

Pomiar temperatury stygnącej wody odbywa się co 30 s, dane te wpisywane są do tabeli oraz zaznaczane są na wykresie. Stygnącą wodę cały czas mieszamy mieszadłem M.

5. Jeżeli w STOP CONDITIONS wpisany był czas pomiaru, pomiar zatrzyma się automatycznie po upływie 600 s, jeżeli nie, ochładzanie przerywamy po upływie 600 s, wciskając przycisk .6. Wylewamy z naczynia N wodę, suszymy np. ligniną i nalewamy 150 cm<sup>3</sup> badanej cieczy.


Ważymy naczynie z cieczą — masa  $m_3$ . Masa cieczy w naczyniu:  $m_c = m_3 - m_1$ .

**Uwaga:** Objętość cieczy musi być taka sama jak objętość wody, temperatura początkowa cieczy powinna być bliska temperaturze początkowej wody.

## 7. Naczynie N wprowadzamy do osłony termostatycznej .

8. Rozpoczynamy pomiar wciskając przycisk .




Pomiar temperatury stygnącej cieczy odbywa się co 30 s, dane te wpisywane są do tabeli oraz zaznaczane są na wykresie. Stygnącą ciecz cały czas mieszamy mieszadłem M.

9. Jeżeli w STOP CONDITIONS wpisany był czas pomiaru, pomiar zatrzyma się automatycznie po upływie 600 s., jeżeli nie, ochładzanie przerywamy po upływie 600 s, wciskając przycisk .

## ANALIZA DANYCH

**Wyznaczenie ciepła właściwego.**

## 1. Uaktywnij okno „Table”. Kolumny w tabeli pokazują dane z drugiego pomiaru (RUN #2). Naciśnij przycisk DATA w pierwszej i drugiej kolumnie i wybierz RUN #1. W efekcie powinieneś otrzymać dwie serie wyników pomiarowych, obrazujących schładzanie wody (pierwsza i druga kolumna tabeli) i schładzanie cieczy (trzecia i czwarta kolumna tabeli).

2. Uaktywnij okno wykresu. Jak widać, wykresy pokazują dane z pomiaru drugiego (RUN #2). Na pierwszym wykresie naciśnij przycisk DATA i wybierz RUN #1 i RUN #2. Na wykresie zostanie dodany przebieg zmian temperatury dla wody i badanej cieczy. Krzywe stygnięcia wody i badanej cieczy przedstawione na tym wykresie powinny być krzywymi wykładniczymi. Na drugim i trzecim wykresie naciśnij przycisk DATA i wybierz (wykres 1 - RUN #1) (wykres 2 - RUN #2). Wykres drugi przedstawia zależność **ln(Temp)** w funkcji czasu dla wody (RUN #1) a wykres trzeci przedstawia zależność **ln(Temp)** w funkcji czasu dla badanej cieczy (RUN #2).3. Naciśnij przycisk Statystyka . Jeśli okno statystyki zakryje częściowo wykres, dokonaj przeskalowania przyciskiem .4. Naciśnij przycisk menu statystyki  w polu statystyki na drugim i trzecim wykresie. Wybierz funkcję **Curve Fit, Linear Fit** (dopasowanie krzywej, dopasowanie liniowe).5. Program wyświetli funkcję  $y = a_1 + a_2x$ , która najlepiej dopasowana jest do punktów doświadczalnych. Wartość bezwzględna współczynnika  $a_2$  jest równa współczynnikowi  $\frac{h}{c \cdot m}$ .

Wpisz wartość tego współczynnika dla wody i dla badanej cieczy do tabeli.

## 6. Oblicz ciepło właściwe badanej cieczy ze wzoru (7)

7. Uzyskane wykresy można zapisać na dyskietce, wczytać do komputera (z zainstalowanym programem *Science Workshop*) połączonego z drukarką i wydrukować.8. Po zakończeniu analizy, program należy zamknąć, bez zapisywania wprowadzonych zmian.