

Ciepło topnienia lodu

CELE

Obserwacja procesu wymiany energii towarzyszącego zmianie stanu skupienia - topnieniu.

Pomiary zmian temperatury wody w trakcie topnienia wprowadzonej do niej znanej masy lodu.

Uzyskane dane eksperymentalne analizowane są w oparciu o zasadę bilansu cieplnego z uwzględnieniem wymiany ciepła z otoczeniem.

Na podstawie zmierzonych wielkości wyznaczane jest ciepło topnienia lodu.

SPIS TREŚCI

- I. Opis zjawisk
- II. Zestaw pomiarowy
- III. Przebieg doświadczenia
- IV. Analiza pomiarów (TI83)
- V. Analiza pomiarów (MS Excel)

OPIS ZJAWISK

Wymiana ciepła pomiędzy próbką materiału i otoczeniem może wywołać zmianę wewnętrznej struktury substancji i doprowadzić do przejścia do innego stanu organizacji materii. Taką zmianę nazywamy przejściem fazowym. Zmiany stanu skupienia: ciecz - stan gazowy (parowanie); ciecz - ciało stałe (krzepnięcie); ciało stałe - stan gazowy (sublimacja) są przykładami takich przejść fazowych.

Dla danego rodzaju materiału zmiana stanu skupienia zachodzi w określonej temperaturze (dla danego ciśnienia), w której zachodzi równowaga termodynamiczna pomiędzy dwiema współistniejącymi fazami.

Wymianie ciepła w trakcie przejścia fazowego nie towarzyszy zmiana temperatury aż do momentu jego zakończenia.

Ilość ciepła potrzebna na realizację przejścia fazowego ze stanu stałego do ciekłego (topnienie) jednostkowej masy substancji nosi nazwę **ciepła topnienia substancji** L [J/kg].

Ciepło topnienia danej substancji zależy od ciśnienia.

Ilość ciepła Q_m potrzebna do stopienia masy m substancji dana jest równaniem 1:

$$Q_m = m \cdot L \quad (1)$$

Rysunek 1. przedstawia zmiany temperatury i zmiany stanu skupienia stałej masy substancji w czasie ciągłego dostarczania ciepła do próbki.

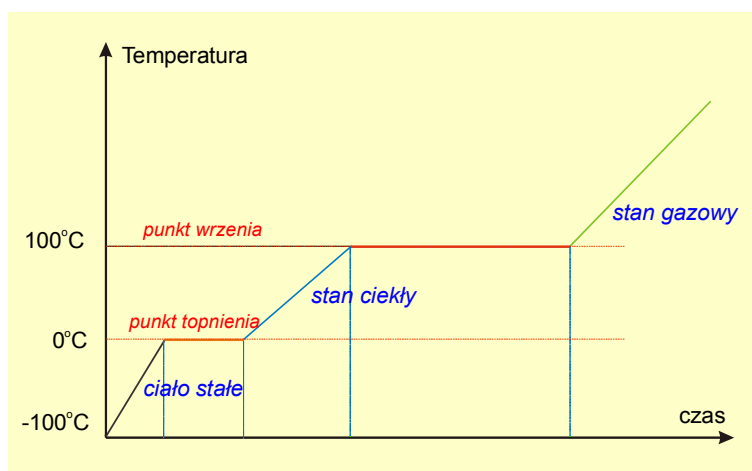
W rezultacie dostarczania ciepła do ciała w stanie stałym jego temperatura rośnie aż do charakterystycznej wartości zwanej "temperaturą topnienia".

Dalsze dostarczanie ciepła prowadzi do zmiany stanu skupienia bez zmiany temperatury. Wówczas gdy cała masa substancji przejdzie do stanu ciekłego następuje dalszy wzrost temperatury (ogrzewanie). Ten sam schemat towarzyszy dalszemu dostarczaniu energii. Ciecz jest podgrzewana aż do osiągnięcia charakterystycznej temperatury tzw. wrzenia.

Dostarczanie ciepła w tej temperaturze prowadzi do przejścia fazowego do stanu gazowego bez zmiany temperatury ciała.

Jeśli ciała o różnych temperaturach pozostają ze sobą w kontakcie (np. dwie zmieszane cieczy) wówczas zachodzi pomiędzy nimi wymiana ciepła.

Ciało o wyższej temperaturze oddaje ciepło ciału o temperaturze niższej. Wymiana ciepła zachodzi aż do czasu wyrównania temperatur obu ciał.



Rys.1. Zmiany temperatury wody w trakcie ciągłego dostarczania ciepła.

Kiedy układ ciał jest odizolowany termicznie od otoczenia i nie występuje wymiana ciepła z otoczeniem wówczas ilość ciepła tracona przez część układu Q_i dokładnie równa jest ciepłu pobieranemu przez pozostałe elementy układu Q_g .

W praktyce nie zachodzi jednak takie idealne odizolowanie układu od otoczenia.

Nawet wówczas gdy stosowane są specjalne urządzenia np. kalorymetry, to niewielka ilość ciepła jest wymieniana z otoczeniem. Temperatura zawartości kalorymetru po dłuższym czasie w końcu zrównuje się z temperaturą otoczenia. Jeśli początkowa temperatura zawartości jest wyższa niż temperatura otoczenia to temperatura kalorymetru obniża się w czasie, jako opisuje to wykładnicze prawo ostygnięcia, tzw. prawo Newtona.

Ta wymiana ciepła z otoczeniem powinna być wzięta pod uwagę w precyzyjnych pomiarach kalorymetrycznych.

Ciepło topnienia

Ciepło topnienia wody (a właściwie lodu) L można wyznaczyć obserwując zmiany temperatury wody i kalorymetru, do którego wrzucono kilka kawałków lodu o temperaturze topnienia. Woda o początkowej temperaturze T_1 przekazuje ciepło i obniża swą temperaturę, lód topi się a zawartość kalorymetru osiąga temperaturę końcową T_2 .

Także wszystkie elementy wewnętrzne kalorymetru uczestniczą w wymianie ciepła, a ilość ciepła oddawana przez nie Q_C powinna być uwzględniona w bilansie cieplnym.

Całkowite ciepło oddane w procesie Q_i składa się z:

- ciepła traconego przez wodę w kalorymetrze Q_W , tę ilość ciepła opisuje równanie 2:

$$Q_W = m_w \cdot c_w \cdot (T_1 - T_2) \quad (2)$$

gdzie:

m_w - masa wody wlanej do kalorymetru

c_w - ciepło właściwe wody

T_1 - początkowa temperatura wody i kalorymetru

T_2 - końcowa temperatura wody i kalorymetru

- ciepła traconego przez kalorymetr Q_C , tę ilość ciepła opisuje równanie 3:

$$Q_C = m_C \cdot c_C \cdot (T_1 - T_2) \quad (3)$$

gdzie:

m_C - masa naczynia kalorymetru wraz z mieszadłem

c_C - ciepło właściwe materiału kalorymetru

T_1 - początkowa temperatura wody i kalorymetru

T_2 - końcowa temperatura wody i kalorymetru

Łączna ilość ciepła oddanego w procesie jest opisana równaniem.4:

$$Q_l = m_w \cdot c_w \cdot (T_1 - T_2) + m_C \cdot c_C \cdot (T_1 - T_2) \quad (4)$$

Całkowita ilość ciepła pobranego w procesie Q_g składa się z:

- ciepła pobranego przez lód na proces topnienia Q_m , tę ilość ciepła opisuje równanie 5:

$$Q_m = m_i \cdot L \quad (5)$$

gdzie:

m_i - masa lodu

L - ciepło topnienia lodu

ciepła pobranego przez wodę powstałą z lodu na podgrzanie od temperatury topnienia do temperatury końcowej Q_i , tę ilość ciepła opisuje równanie 6:

$$Q_i = m_i \cdot c_w \cdot (T_2 - T_0) \quad (6)$$

gdzie:

m_i - masa lodu

c_w - ciepło właściwe wody

T_0 - temperatura topnienia lodu

T_2 - końcowa temperatura wody i kalorymetru.

Łączna ilość ciepła pobranego w procesie jest opisana równaniem 7:

$$Q_g = m_i \cdot L + m_i \cdot c_w \cdot (T_2 - T_0) \quad (7)$$

Zakładając brak wymiany ciepła pomiędzy zawartością kalorymetru i otoczeniem łączna ilość ciepła oddanego w procesie Q_l jest równa łącznej ilości ciepła pobranego Q_g :

$$Q_l = Q_g$$

i wówczas:

$$m_w \cdot c_w \cdot (T_1 - T_2) + m_C \cdot c_C \cdot (T_1 - T_2) = m_i \cdot L + m_i \cdot c_w \cdot (T_2 - T_0) \quad (8)$$

Ciepło topnienia L może zostać wyznaczone z równania 8, jako:

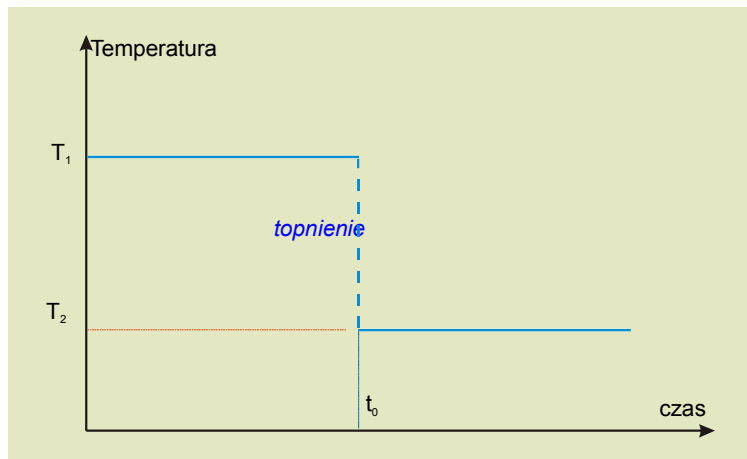
$$L = \frac{(m_w \cdot c_w + m_C \cdot c_C) \cdot (T_1 - T_2)}{m_i} - m_i \cdot c_w \cdot (T_2 - T_0) \quad (9)$$

Tak więc, ciepło topnienia lodu można wyznaczyć na podstawie obserwacji zmian temperatury znanej masy wody w kalorymetrze towarzyszącej wrzuceniu i stopieniu znanej masy lodu.

Rysunek 2 przedstawia teoretyczny przebieg zmian temperatury w opisywanym procesie. Lód wrzucono w chwili t_0 .

Temperatura przed chwilą t_0 nie zmienia się w czasie. Kiedy, po wrzuceniu, lód topi się a następnie powstała z lodu woda ogrzewa się, to odbywa się to kosztem energii pobranej od ciepłej wody i kalorymetru.

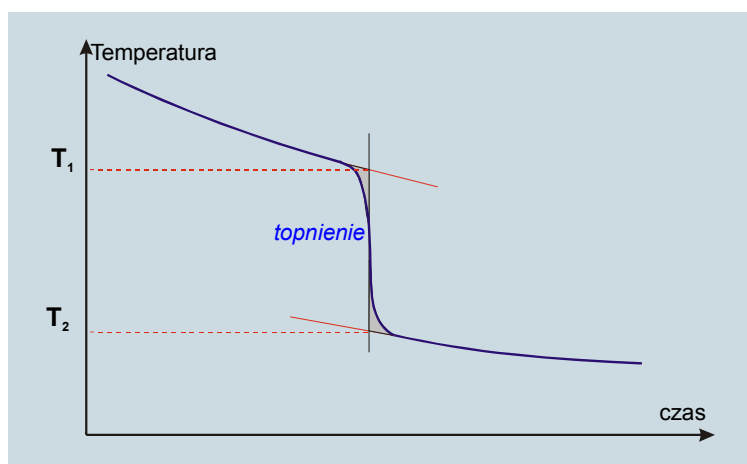
Tak więc temperatura mieszaniny skokowo obniża się. Jeśli nie ma wymiany ciepła z otoczeniem to ta zmiana temperatury jest wyraźnie zdefiniowana.



Rys.2. Zmiana temperatury zawartości kalorymetru w rezultacie topnienia.
Brak wymiany ciepła z otoczeniem.

W rzeczywistości zawsze, gdy temperatura otoczenia różni się (w tym przypadku jest niższa) od temperatury zawartości kalorymetru, ma miejsce wymiana ciepła z otoczeniem, a obserwowane eksperymentalnie zmiany temperatury różnią się od podanego na rys.2.

Przed wrzuceniem lodu temperatura kalorymetru obniża się powoli, zgodnie z wykładniczym prawem ostygnięcia. Ciepło przekazywane jest do otoczenia także później, w procesie topnienia i po stopieniu lodu. Rzeczywisty wykres zmian temperatury w czasie przedstawia wykres 3.



Rys. 3. Zmiana temperatury zawartości kalorymetru w rezultacie topnienia.
Zachodzi wymiana ciepła z otoczeniem.

Obliczenie ciepła topnienia z równania 9 wymaga znajomości wartości dwóch temperatur: początkowej temperatury (przed wrzuceniem lodu) - T_1 i temperatury końcowej - T_2 , po ustaleniu się temperatury mieszaniny.

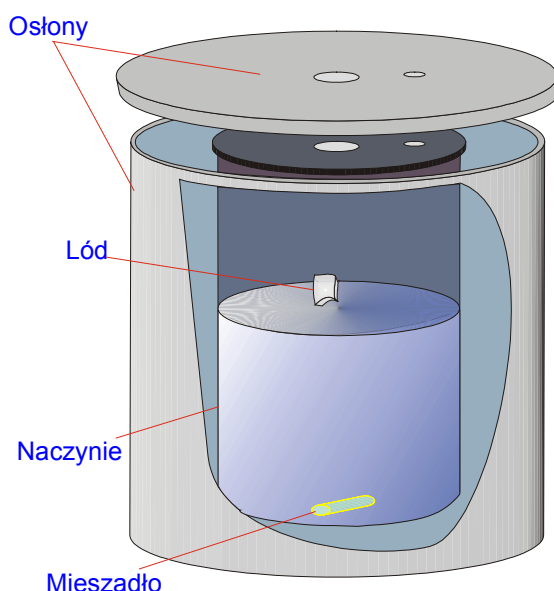
Wartości te można ustalić posługując się konstrukcją geometryczną wykonaną na uzyskanym wykresie zależności temperatury od czasu. Obie części wykresu odpowiadające stygnięciu należy ekstrapolować stosując funkcję wykładniczą. Następnie należy nanieść na wykres pomocniczą linię pionową tak, by pola powstałych figur wyznaczone przez tę prostą i ekstrapolowane części wykresu były równe. Punkty przecięcia linii pomocniczej z ekstrapolowanymi częściami wykresu można potraktować jako poszukiwane wartości temperatur.

ZESTAW POMIAROWY.

Zmiany wartości temperatury mogą być rejestrowane przy użyciu prostego zestawu składającego się z aluminiowego kalorymetru wyposażonego w mieszadło (np. elektromagnetyczne) - patrz rys.4. Standardowa półprzewodnikowa sonda temperatury wprowadzona do naczynia kalorymetru rejestruje wartości temperatury.

Konstrukcja kalorymetru (jego osłona) minimalizuje wymianę ciepła z otoczeniem, zaś użycie mieszadła zapewnia jednorodną temperaturę w naczyniu kalorymetrycznym.

Masę wody i naczynia kalorymetru wyznaczyć należy przy użyciu wagi laboratoryjnej.



Rys.4. Kalorymetr.

Zestaw pomiarowy składa się z:

- i. aluminiowego kalorymetru z osłoną
- ii. mieszadła (np. elektromagnetycznego)
- iii. wagi laboratoryjnej (maks. 200 gramów)
- iv. ciepłej wody (100 gramów)
- v. kilku kawałków lodu (ok. 20 gramów)
- vi. urządzenia pomiarowego (Calculator Based Laboratory):
<http://www.vernier.com/legacy/cbl/index.html> lub CBL2:
<http://education.ti.com/us/product/tech/datacollection/features/cbl2.html>
- vii. sondy do pomiaru temperatury (standardowa sonda CBL)
- viii. kalkulatora graficznego TI83, TI83 Plus, TI 83 Plus SE, TI 84
- ix. kabla transmisji danych
- x. Programu LHEATF – który można pobrać pod adresem: <http://www.lepla.edu.pl/>

- xi. kabla interfejsu TI-GRAPH LINK™ (opcjonalnie)
<http://education.ti.com/us/product/accessory/connectivity/features/cables.html#serialwin>
wraz z oprogramowaniem
<http://education.ti.com/us/product/accessory/connectivity/down/downgraph.html>
- xii. komputera osobistego z oprogramowaniem TI Connect™ (opcjonalnie)
Opis:
<http://education.ti.com/us/product/accessory/connectivity/features/software.html>
Download:
<http://education.ti.com/us/product/accessory/connectivity/down/download.html>

Uwagi o przygotowaniu zestawu pomiarowego.

- Sonda do pomiaru temperatury powinna być podłączona do wejścia kanału CH1 urządzenia pomiarowego CBL.
- Wartość początkowej temperatury wody powinna wynosić ok. 10 - 20 stopni powyżej temperatury otoczenia.
- Lód powinien przez kilka minut pozostawać w temperaturze otoczenia przed wrzuceniem do naczynia kalorymetru (aby osiągnął temperaturę topnienia).
- Przez cały czas trwania pomiaru sonda do pomiaru temperatury powinna być zanurzona w wodzie wypełniającej naczynie kalorymetru.
- Osłony kalorymetru powinny być stosowane przez cały czas trwania pomiaru.
- Mieszadło elektromagnetyczne powinno być włączone przez cały czas trwania pomiaru, zapewniając jednorodną temperaturę wewnątrz naczynia kalorymetru.

PRZEBIEG DOŚWIADCZENIA (TI 83)

W trakcie doświadczenia czujnik temperatury dokonuje pomiaru temperatury zawartości naczynia kalorymetru w zależności od czasu. Temperatura zmienia się w wyniku wymiany ciepła z otoczeniem (o niższej temperaturze) oraz zachodzenia przejścia fazowego - topnienia lodu wrzuconego do kalorymetru.

Dodatkowo należy przeprowadzić pomocnicze pomiary masy naczynia kalorymetru, wody i lodu.

Pomiary temperatury prowadzone są przez urządzenie CBL połączone z kalkulatorem TI pod kontrolą załadowanego wcześniej programu LHEATF.

Procedura eksperymentalna podzielona jest na część przygotowawczą i pomiary właściwe.

Przygotowanie pomiaru:

- Przy pomocy wagi laboratoryjnej określ masę pustego naczynia kalorymetru wraz z mieszadełkiem. Zanotuj wartość masy m_c .
- Określ rodzaj materiału, z którego wykonano naczynie kalorymetru.
- Napełnij naczynie kalorymetru wodą do ok. 2/3 objętości. Użyj, o ile to możliwe, wody destylowanej.
- Określ, za pomocą wagi laboratoryjnej, masę naczynia kalorymetru z wodą.
- Oblicz masę wody wlanej do kalorymetru - m_w .
- Podgrzej naczynie kalorymetryczne z wodą do temperatury ok. 40 - 50 °C. Wykorzystaj elektryczny podgrzewacz laboratoryjny.
- Zamiast podgrzewania naczynia po napełnieniu można napełnić naczynie ciepłą wodą podgrzaną wcześniej w elektrycznym czajniku do temperatury 40 do 50 °C.
- Umieść naczynie w osłonie kalorymetru. Załóż górne osłony kalorymetru
- Wprowadź sondę pomiaru temperatury do naczynia kalorymetru. Jej końcówka powinna być całkowicie zanurzona w wodzie!
- Podłącz sondę pomiaru temperatury do urządzenia CBL. Połącz urządzenie CBL z kalkulatorem.
- Uruchom kalkulator i urządzenie CBL.

Pomiary właściwe

1. Uruchom program LHEATF, wybierając jego nazwę z listy w menu PRGM.
2. Wybierz opcję 1: COLLECT DATA z głównego menu - rys.5.
3. Po znakach zachęty podaj przewidywane wartości minimalnej i maksymalnej temperatury wody w kalorymetrze. Wartości te posłużą do ustalenia zakresu i skali osi wykresu i nie wpływają na przebieg samego pomiaru.
4. Po znakach zachęty podaj całkowity czas pomiaru w sekundach. Zgodnie z założeniami obserwacje mają objąć także okres poprzedzający właściwe przejście fazowe i podobny okres czasu po stopieniu lodu. Zalecany czas pomiaru to 5- 15 min (300 - 900 sekund).
5. Podaj krok czasowy pomiarów (w sekundach). Ta wartość określa odstęp czasu pomiędzy kolejnymi pomiarami temperatury. Z uwagi na znaczną szybkość zmian temperatury towarzyszącą topnieniu lodu zalecany krok czasowy to kilka sekund (5-15 s).
6. Podaj wartość krytycznej procentowej zmiany temperatury **R**. Wartość parametru **R** powinna być mniejsza niż 0.02. Parametr **R** jest definiowany jako względna zmiana kolejno zmierzonych wartości temperatury- równanie 10.

$$R = \frac{|T_{n+1} - T_n|}{T_n} \quad (10)$$

Wartość parametru **R** jest wykorzystywana przez program LHEATF do podjęcia na bieżąco decyzji o zapisaniu lub wykluczeniu zarejestrowanego ostatnio punktu pomiarowego. Jedynie pomiar dla którego wartość względnej zmiany temperatury jest większa niż zadana wartość parametru **R** zostanie zapisany.

W ten sposób program analizuje zachodzące zmiany temperatury i rejestruje tylko te punkty, dla których nastąpiła istotna zmiana temperatury w stosunku do punktów poprzedzających.

Ten mechanizm sprzężenia zwrotnego oszczędza rozmiar pamięci kalkulatora przeznaczonej na zapis danych – patrz rys. 6.



Fig.5.

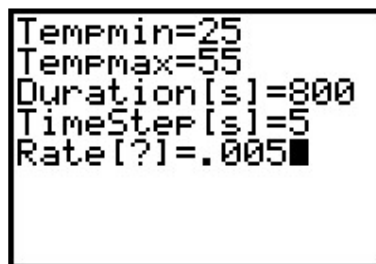


Fig.6.

7. Ustaw kalorymetr na stoliku mieszadła elektromagnetycznego i włącz mieszadło. Mieszanie zapewni jednorodną temperaturę zawartości kalorymetru.
8. Sprawdź umieszczenie końcówki sondy pomiaru temperatury i rozpocznij pomiary, naciskając klawisz [ENTER] na kalkulatorze.
9. Obserwuj wyświetlany wykres zmian temperatury. Wykres jest uaktualniany wraz z upływem czasu i obniżaniem się temperatury w rezultacie utraty ciepła do otoczenia – rys. 7.



Fig.7.

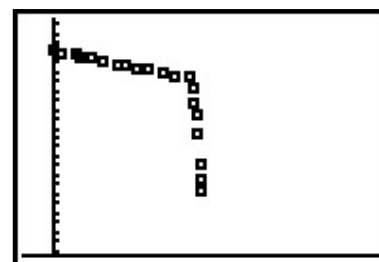


Fig.8.

10. Przygotuj kilka niewielkich kostek lodu. Pozostaw je poza lodówką przez kilka minut przed wrzuceniem ich do kalorymetru tak, by temperatura lodu osiągnęła punkt topnienia.
11. Po upływie około połowy założonego, całkowitego czasu obserwacji (3-8 min) wrzuć lód do naczynia kalorymetru. Obserwuj gwałtowną zmianę temperatury towarzyszącą topnieniu lodu i podgrzewaniu wody powstałej z lodu – rys. 8.
12. Pomiary są kontynuowane aż do przekroczenia założonego czasu całkowitego.
13. Po jego upływie pomiary kończą się automatycznie i wyświetlany jest końcowy wykres zależności temperatury od czasu. – rys.9.
14. Zakończ obserwację wybierając opcję **Quit** z głównego menu programu.
15. Uzyskane dane są zapisane w pamięci kalkulatora – rys. 10. Po zakończeniu pomiaru można odłączyć urządzenie CBL od kalkulatora i kontynuować analizę danych wykorzystując funkcje kalkulatora.
16. Użyj wagi laboratoryjnej do określenia końcowej masy naczynia kalorymetru z wodą. Oblicz masę lodu – m_i .

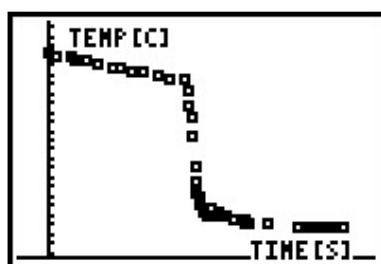


Fig.9.

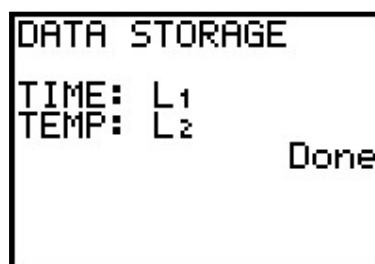


Fig.10.

Analiza pomiarów z wykorzystaniem kalkulatora TI 83

Pogłębiona analiza eksperymentu może zostać dokonana przy wykorzystaniu narzędzi dostępnych w kalkulatorach graficznych (lub oprogramowania do analizy danych takich jak arkusz kalkulacyjny MS Excel).

Uzyskane w pomiarach dane zachowane są w kalkulatorze w postaci list - rys.10:

- czas t w sekundach – Lista L_1
- wartości temperatury T w $^{\circ}\text{C}$ - Lista L_2

Program LHEATF automatycznie wykonuje kopie danych i zachowuje je w postaci dwóch par pomocniczych list:

- I para: wartości czasu w sekundach - Lista L_3 ; wartości temperatury T w $^{\circ}\text{C}$ - Lista L_4
- II para: wartości czasu w sekundach - Lista L_5 ; wartości temperatury T w $^{\circ}\text{C}$ - Lista L_6

Listy pomocnicze mogą być przetwarzane w graficznej analizie pomiarów bez obawy utraty danych oryginalnych zapisanych w listach L_1 i L_2 .

Przykładowe dane są dostępne w postaci plików w formacie TI83:

- wartości czasu w sekundach w plikach:
 - Data sample/TI83/ L_1
 - Data sample/TI83/ L_3
 - Data sample/TI83/ L_5
- wartości temperatury w $^{\circ}\text{C}$ w plikach:
 - Data sample/TI83/ L_2
 - Data sample/TI83/ L_4
 - Data sample/TI83/ L_6

Określenie wartości temperatur.

Obliczenie ciepła topnienia za pomocą równania 9 wymaga znajomości wartości początkowej temperatury kalorymetru z wodą T_1 tj. temperatury tuż przed rozpoczęciem procesu topnienia oraz wartości temperatury końcowej T_2 tj. po zakończeniu topnienia i podgrzewania wody powstałej z lodu. W rezultacie wymiany ciepła z otoczeniem obserwowany przebieg zmian temperatury (rys.9) różni się od wykresu teoretycznego – rys.2.

Temperatury T_1 i T_2 mogą zostać wyznaczone z wykresu danych eksperymentalnych w drodze interpolacji z wykorzystaniem konstrukcji geometrycznej pokazanej na rys.3.

Dane przedstawione na wykresie powinny zostać podzielone na trzy grupy. Pierwsza grupa (początkowy fragment wykresu) przedstawia początkowe ostygnięcie wody w kalorymetrze, poprzedzające wrzucenie lodu i przemianę fazową.

Druga grupa (środkowy fragment wykresu) odpowiada procesowi topnienia i podgrzewania wody powstałej z lodu (ustalania się jednorodnej temperatury zawartości kalorymetru).

Trzecia grupa (końcowy fragment wykresu) przedstawia powolne ostygnięcie zawartości kalorymetru w rezultacie przekazywania ciepła do otoczenia.

W kalkulatorze TI83 taki podział może zostać dokonany przez selekcję zakresów danych na oddzielnie zdefiniowanych wykresach.

Do tego celu można wykorzystać pomocnicze listy: L_3 , L_4 , L_5 , L_6

Wydzielenie krzywej początkowego ostygnięcia.

1. Zdefiniuj wykres PLOT2 tak, by przedstawiał zależność pomiędzy listami L_3 vs L_4 – rys.11.
2. Wywołaj funkcję **Select** dostępną w opcjach menu [2nd] [LIST] – rys.12. i wprowadź nazwy list jako parametry funkcji – rys. 13.
3. Wskaż lewy i prawy kres przedziału danych, które mają pozostać na wykresie – rys.14.
4. W rezultacie tej operacji listy danych zostają ograniczone i wyświetlony zostaje wybrany fragment wykresu – rys. 15.

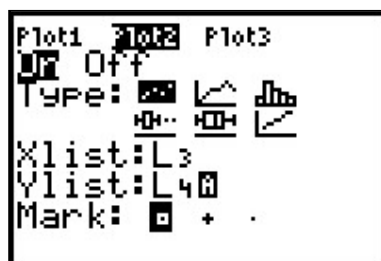


Fig.11

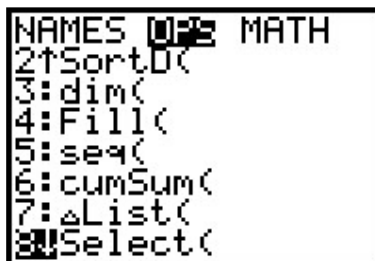


Fig.12

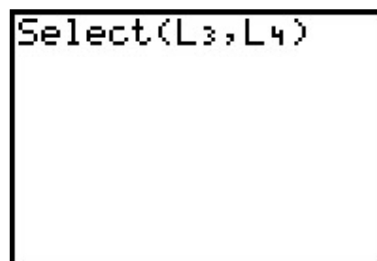


Fig.13

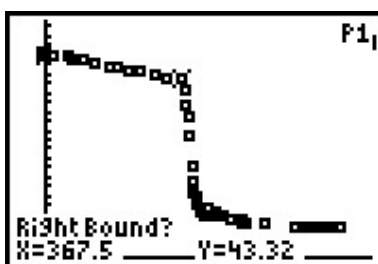


Fig.14



Fig.15

Ekstrapolacja krzywej początkowego ostygnięcia.

1. Do wyznaczenia równania krzywej ostygnięcia należy wykorzystać opcję regresji wykładniczej z listy opcji menu uruchamianego przez sekwencję klawiszy [STAT] [CALC] – rys. 16.
2. Jako argumenty funkcji regresji **ExpReg** należy podać nazwy list oraz nazwę zmiennej Y_1 w której zachowana zostanie wyznaczona postać funkcji – rys. 17. Jako wynik operacji wyświetlony zostaje zestaw parametrów wyznaczonej funkcji – rys. 18.
3. Naniesienie na wykres uzyskanej krzywej regresji pozwala na jej porównanie z rozkładem punktów pomiarowych – Fig. 19.

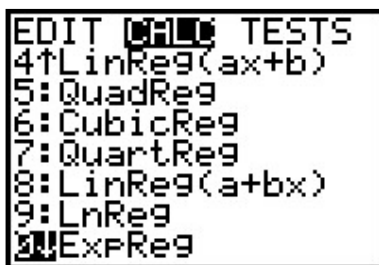


Fig.16

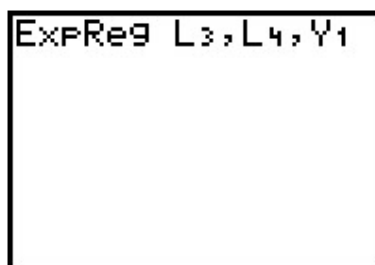


Fig.17

W podobny sposób, korzystając z pary list L_5 i L_6 można dokonać wydzielania końcowego fragmentu wykresu i wyznaczenia postaci funkcji opisującej końcowe ostygnięcie układu. Funkcja regresji dla tego fragmentu jest zachowana w zmiennej funkcyjnej Y_2 i wykreslana na nowo zdefiniowanym wykresie Plot3 – rys. 20.

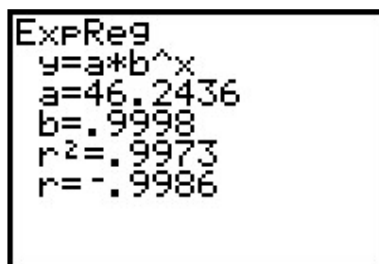


Fig.18

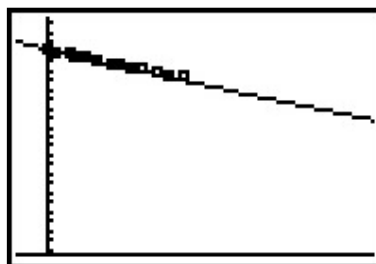


Fig.19

Po uaktywnieniu wszystkich wykresów wyświetlone zostają oryginalne dane eksperymentalne wraz z wyznaczonymi krzywymi regresji – rys. 21.



Fig.20

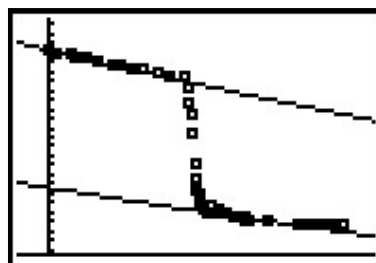


Fig. 21

Interpolacja wartości temperatur

Temperatury T_1 i T_2 mogą zostać wyznaczone z wykresu przez naniesienie pomocniczej linii pionowej tak, by pola figur wyznaczonych przez tę prostą i ekstrapolowane części wykresu były równe (porównaj rys.3).

W tym celu:

1. Powiększ środkowy fragment wykresu korzystając z opcji ZBox z menu ZOOM – rys.22,23,24.

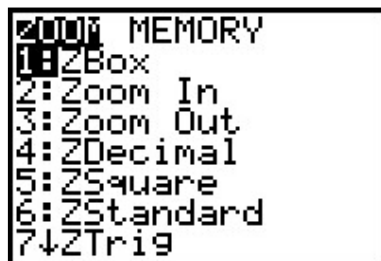


Fig.22

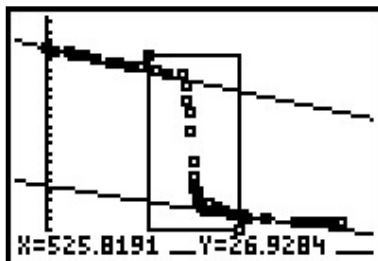


Fig.23

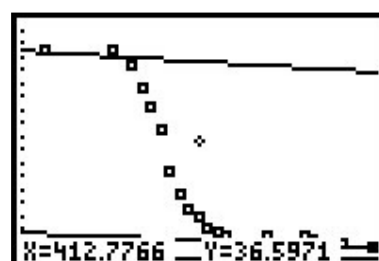


Fig. 24

2. Użyj opcji Vertical z menu [DRAW] celu wykreślenia pomocniczej linii pionowej – rys. 25.
3. Dobierz położenie linii pomocniczej tak by pola obu figur otworzonych przez tę prostą i ekstrapolowane części wykresu były równe. – rys. 26.

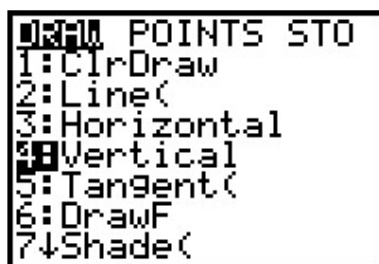


Fig.25

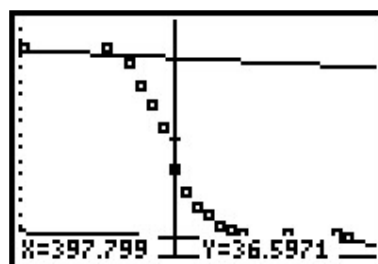


Fig.26

4. Przenieść kursor wzdłuż linii pomocniczej do punktu przecięcia z górną krzywą początkowego ostygnięcia. W dolnej linii ekranu odczytaj wartość współrzędnej y punktu przecięcia. Zapisz tę wartość jako temperaturę początkową T_1 . – rys. 27.
5. Przenieść kursor wzdłuż linii pomocniczej do punktu przecięcia z dolną krzywą końcowego ostygnięcia. W dolnej linii ekranu odczytaj wartość współrzędnej y punktu przecięcia. Zapisz tę wartość jako temperaturę końcową układu T_2 . – rys. 28.

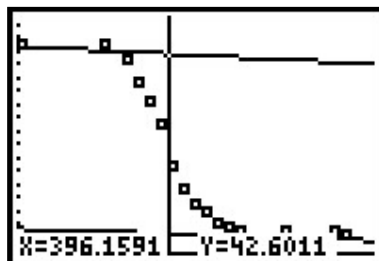


Fig.27

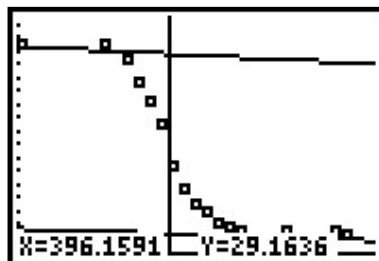


Fig.28

Obliczenie ciepła topnienia lodu.

1. Wynotuj z tablic wartości ciepła właściwego wody c_w (4190 [J/kgK] oraz ciepła właściwego materiału kalorymetru c_c (np. aluminium: 910 [J/kgK]).
2. Podstaw wyznaczone w pomiarach wartości mas m_w , m_c , m_i oraz ciepła właściwe c_w i c_c do równania 9.

$$L = \frac{(m_w \cdot c_w + m_c \cdot c_c) \cdot (T_1 - T_2)}{m_i} - m_i \cdot c_w \cdot (T_2 - T_0) \quad (9)$$

Analiza pomiarów z wykorzystaniem funkcji arkusza MS EXCEL

Analiza eksperymentu może zostać dokonana przy wykorzystaniu oprogramowania do analizy danych takich jak arkusz kalkulacyjny MS Excel lub narzędzi dostępnych w kalkulatorach graficznych..

Przeniesienie danych z kalkulatora do komputera.

Uzyskane dane mogą zostać, po zakończeniu pomiaru, przeniesione z kalkulatora do komputera. Kabel TI GRAPH LINKTM wraz z oprogramowaniem TI ConnectTM umożliwia dostęp do zawartości pamięci kalkulatora (TI DEVICE EXPLORER) oraz edycję danych (TI DATA EDITOR).

Dane zgromadzone w czasie omawianego eksperymentu są zachowane w kalkulatorze w formie list:

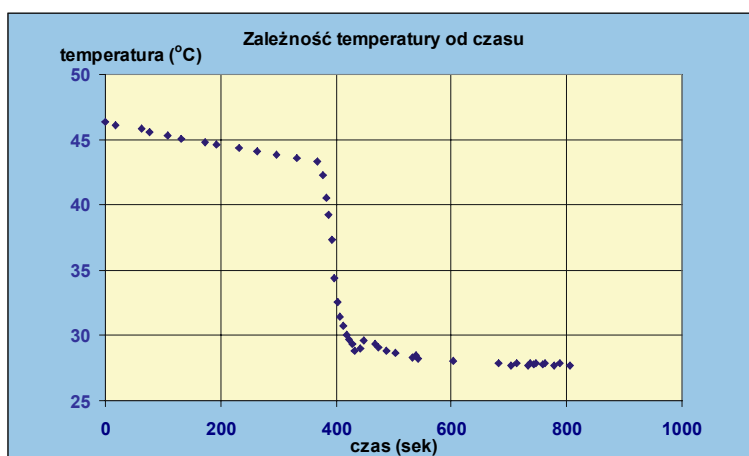
- czas t w sekundach - Lista L_1
- temperatura T w [°C] - Lista L_2

W ramach programu TI ConnectTM - narzędzie TI DEVICE EXPLORER umożliwia zapisanie na dysku komputera listy zachowanej w kalkulatorze a następnie jej edycję w edytorze danych TI DATA EDITOR. Tryb eksportu - **Special Lists Export** umożliwia także zapisanie wskazanej listy w pliku o formacie Excel (plik *.CSV). Taki plik może być otwierany i przetwarzany przez program MS Excel.

Przykładowe dane w postaci plików MS Excel można pobrać z katalogów:

- czas t w sekundach: w pliku - Data sample/MSEExcel /**time**
- temperatura T w [°C]: w pliku - Data sample/MSEExcel/**temperature**
-

Utwórz nowy arkusz i pobierz dane z **time.xls** i **temperature.xls**. Wykonaj wykres zależności $T(t)$ z danych eksperymentalnych. Wybierz punktowy typ wykresu – rys. 29.



Rys. 29. Zależność temperatury od czasu. Dane eksperymentalne

Określenie wartości temperatur.

Obliczenie ciepła topnienia za pomocą równania 9 wymaga znajomości wartości początkowej temperatury kalorymetru z wodą T_1 tj. temperatury tuż przed rozpoczęciem procesu topnienia oraz wartości temperatury końcowej T_2 tj. po zakończeniu topnienia i podgrzewania wody powstałej z lodu. W rezultacie wymiany ciepła z otoczeniem obserwowany przebieg zmian temperatury różni się od wykresu teoretycznego – rys. 2. Temperatry T_1 i T_2 mogą zostać wyznaczone z wykresu danych eksperymentalnych w drodze interpolacji z wykorzystaniem konstrukcji geometrycznej pokazanej na rys. 3.

Dane przedstawione na wykresie powinny zostać podzielone na trzy grupy. Pierwsza grupa (początkowy fragment wykresu) przedstawia początkowe ostygnięcie wody w kalorymetrze, poprzedzające wrzucenie lodu i przemianę fazową.

Druga grupa (środkowy fragment wykresu) odpowiada procesowi topnienia i podgrzewania wody powstałej z lodu (ustalania się jednorodnej temperatury zawartości kalorymetru).

Trzecia grupa (końcowy fragment wykresu) przedstawia powolne ostygnięcie zawartości kalorymetru w rezultacie przekazywania ciepła do otoczenia.

W arkuszu programu MS Excel wydzielenie grup danych musi być wykonane w drodze wyboru zakresu danych w kolejnych seriach danych przedstawianych na wykresie.

Ekstrapolacja krzywych początkowego i końcowego ostygnięcia.

Wykonaj następujące czynności:

1. Zdefiniuj nowy wykres punktowy z zakresem danych (pierwsza seria danych) odpowiadającemu początkowemu ostygnięciu.
2. Punkty wykresu odpowiadają krzywej wykładniczej, a zatem wybierz regresję typu wykładniczego przy nanoszeniu linii trendu na wykres. Ustalona linia trendu zostanie naniesiona na wykres wraz z wyznaczoną postacią funkcji regresji - porównaj górną krzywą na rysunku – rys. 30.
3. W podobny sposób utwórz wykres krzywej końcowego ostygnięcia (jako drugą serię danych).
4. Dodaj linię trendu do wykresu drugiej serii danych. Wybierz typ wykładniczy funkcji regresji. Ustalona linia trendu zostanie naniesiona na wykres wraz z wyznaczoną postacią funkcji regresji - porównaj dolną krzywą na rysunku. – rys. 30.
5. Utwórz wykres środkowej grupy danych (trzecia seria danych).

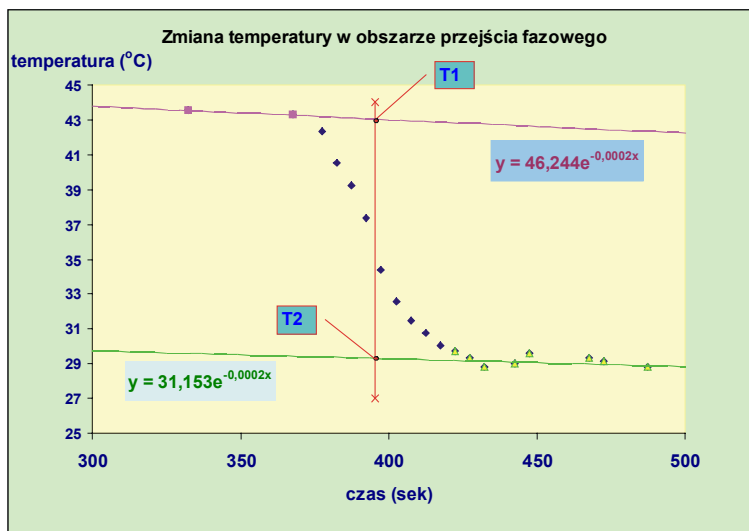
Interpolacja temperatur.

Temperatury T_1 i T_2 mogą zostać wyznaczone z wykresu przez naniesienie pomocniczej linii pionowej tak, by pola figur wyznaczonych przez tę prostą i ekstrapolowane części wykresu były równe (porównaj rys.3.)

W tym celu:

1. Określ z wykresu wartość rzędnej (wartość czasu) dla pomocniczej linii pionowej. Umieść tę wartość jako wartość odniesienia w wybranej komórce arkusza.
2. Zdefiniuj pionową linię pomocniczą ($T(t)$) przez dwie pary współrzędnych (umieszczone w dwóch kolumnach arkusza). Komórki kolumny przedstawiające wartości czasu zdefiniuj jako równe wartości rzędnej odniesienia. W dwóch komórkach kolumny temperatur wprowadź dowolne wartości odpowiednio nieznacznie mniejszą i nieznacznie większą od obserwowanego zakresu temperatur.
3. Dodaj czwartą serię danych do wykresu. Wprowadź zakres danych odpowiadający zdefiniowanej linii pomocniczej jako zakres serii. Wybierz liniowy typ wykresu dla tej serii danych. W wyniku tych operacji na wykres zostanie naniesiona pionowa linia - czerwona linia na rysunku – rys. 30.
4. Dobierz położenie pomocniczej prostej pionowej zmieniając wartość rzędnej odniesienia tak, by pola dwóch figur utworzonych przez prostą, wykres danych i linie trendu były równe – rys.30.
5. Użyj dobranej w poprzednim punkcie wartości odniesienia (czasu) w celu obliczenia (w oddzielnej komórce arkusza) wartości funkcji regresji opisującej początkowe ostygnięcie. Wyznaczona w ten sposób wartość funkcji regresji jest odcięta punktu przecięcia krzywej regresji i pomocniczej linii pionowej. Wartość tę należy przyjąć za poszukiwaną temperaturę początkową T_1 .

6. Użyj dobranej poprzednio wartości odniesienia (czasu) w celu obliczenia wartości funkcji regresji opisującej końcowe ostygnięcie. Wyznaczona w ten sposób wartość funkcji regresji jest odciętą punktu przecięcia krzywej regresji i pomocniczej linii pionowej. Wartość tę należy przyjąć za poszukiwaną temperaturę końcową T_2 .



Rys.30. Interpolacja temperatura.

Obliczenie ciepła topnienia lodu.

Wartość ciepła topnienia może być wyznaczona z równania 9.

1. Wynotuj z tablic wartości ciepła właściwego wody c_w (4190 [J/kgK] oraz ciepła właściwego materiału kalorymetru c_c (np. aluminium: 910 [J/kgK]).
2. Użyj wyznaczone w pomiarach wartości mas m_w , m_c , m_i oraz ciepła właściwe c_w i c_c do obliczenia wartości ciepła topnienia na podstawie równania.9 – rys.31.

OBLICZENIA			
masa kalorymetru		[kg]	0,07626
kalorymetr + woda		[kg]	0,16591
woda		[kg]	0,08965
kalorymetr + woda + lód		[kg]	0,18441
masa lodu		[kg]	0,0185
ciepło właściwe wody		[J/kgK]	4190
ciepło właściwe aluminium		[J/kgK]	910
temp. początkowa T1		[C]	42,72703
temp końcowa T2		[C]	28,78374
ciepło topnienia		[J/kg]	333184

Rys.31. Zestawienie obliczeń.

Uwaga:

Kompletną analizę przykładowych danych eksperymentalnych zawiera specjalnie opracowany plik arkusza MS Excel:

Data sample/MSExcel/lheatf.xls