

**Wprowadzenie teoretyczne**

**Doświadczenie „OSTYGANIE”**

Szybkość oddawania energii cieplnej jest proporcjonalna do różnicy temperatur ostygającego materiału i otoczenia:

$$-\frac{dQ}{dt} \sim (T_{CIECZY} - T_{OTOCZENIA})$$

Ciepło właściwe (pojemność cieplna właściwa) określa ilość energii, jaką należy wymienić z ciałem, aby zmienić jego temperaturę o jeden stopień, w odniesieniu do jednostki masy.

$$c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T} \left[ \frac{J}{kg \cdot K} \right]$$

Różniczkowa definicja ciepła właściwego:  $dQ = mc dT$

Prawo ostygnięcia przyjmuje więc postać różniczkową:

$$-\frac{mc dT}{dt} = k(T_{CIECZY} - T_{OTOCZENIA})$$

$k$  – stała, związana z warunkami ostygnięcia.

Po rozdzieleniu zmiennych stronami ( $T$  – temperatura z lewej;  $t$  – czas z prawej):

$$-\frac{dT}{(T_{CIECZY} - T_{OTOCZENIA})} = -\frac{k}{mc} dt$$

oraz, po obustronnym scałkowaniu:

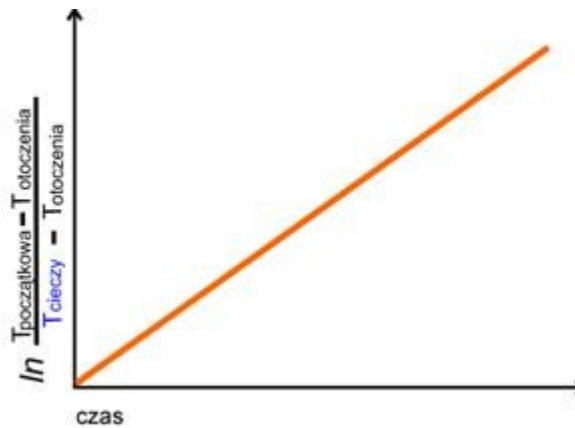
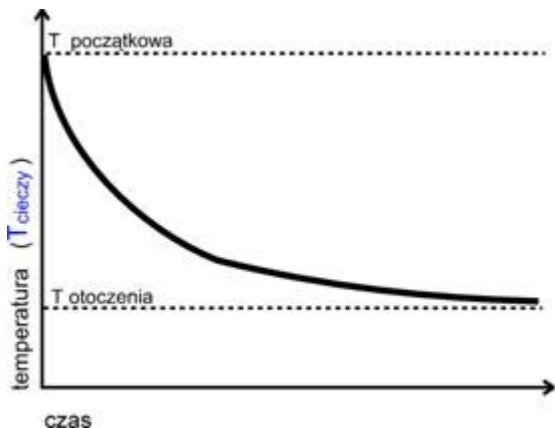
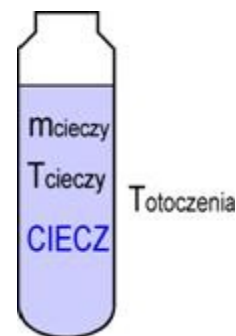
$$\ln(T_{CIECZY} - T_{OTOCZENIA}) = -\frac{k}{mc} t + const$$

Stałą całkowania ‘const’ identyfikujemy jako  $\ln(T_{POCZĄTKOWA CIECZY} - T_{OTOCZENIA})$  i po podstawieniu otrzymujemy:

$$\ln \frac{T_{POCZĄTKOWA CIECZY} - T_{OTOCZENIA}}{T_{CIECZY} - T_{OTOCZENIA}} = \frac{k}{mc} t$$

Po skorzystaniu z definicji logarytmu otrzymuje się całkową postać prawa ostygnięcia:

$$T_{CIECZY}(t) = (T_{POCZĄTKOWA CIECZY} - T_{OTOCZENIA}) e^{-\frac{k}{mc} t} + T_{OTOCZENIA}$$



## Pytania do przygotowania:

# „OSTYGANIE”

1. Podaj definicję ciepła i jego jednostkę.
2. Podaj definicję ciepła właściwego i podaj jego jednostkę.
3. Podaj przybliżoną wartość ciepła właściwego wody i oleju.
4. Ile energii cieplnej należy dostarczyć by ogrzać jeden kilogram wody o 10 K?
5. Wyjaśnij co to jest temperatura i podaj jej jednostkę w układzie SI.
6. Omów skale temperatur Kelwina i Celsjusza.
7. Ile wynosi temperatura wrzenia wody w skali Celsjusza oraz w skali Kelwina?
8. Ile wynosi temperatura zamarzania wody w skali Celsjusza oraz w skali Kelwina?
9. Omów skalę temperatur Fahrenheita.
10. Omów zależność temperatury ostygającego ciała od czasu i podaj matematyczną funkcję, która ją opisuje.
11. Jakie są sposoby przekazywania energii?
12. Co to jest termometr? Omów rodzaje termometrów.
13. Omów zerową zasadę termodynamiki.
14. Omów zasadę działania termopary.
15. Omów budowę termosu.

## Wskazówki do wykonania pomiarów

1. Wyznaczyć masę pustego naczynia na wodę destylowaną i badaną ciecz.
2. Wyjąć korek i zważyć kolejno naczynie z wodą i naczynie z olejem.
3. Wyznaczyć masy wody  $m_{wody}$  i oleju  $m_{oleju}$ .
4. Zanotować temperaturę powietrza w sali  $T_{OTOCZENIA}$
5. Oba naczynia z wodą i olejem podgrzać do temperatury powyżej 70°C.
6. Wyjąć naczynia z kąpeli wodnej i pozostawić do stygnięcia.
7. Po ostygnięciu próbek o co najmniej 2°C włączyć stoper i zanotować temperatury początkowe: wody  $T_{POCZĄTKOWA WODY}$  i oleju  $T_{POCZĄTKOWA OLEJU}$ .
8. W równych odstępach czasu tj. co 30 lub 60 sekund notować kolejne temperatury wody  $T_{WODY}$  i oleju  $T_{OLEJU}$ .
9. Obliczyć wartości logarytmów naturalnych:  
$$A(t) = \ln\left(\frac{T_{POCZĄTKOWA WODY} - T_{OTOCZENIA}}{T_{WODY}(t) - T_{OTOCZENIA}}\right), \text{ oraz } B(t) = \ln\left(\frac{T_{POCZĄTKOWA OLEJU} - T_{OTOCZENIA}}{T_{OLEJU}(t) - T_{OTOCZENIA}}\right).$$
10. Sporządzić czasowy przebieg wykresu logarytmów i obliczyć wartości współczynników kierunkowych dla wody  $a_{wody}$  i dla oleju  $a_{oleju}$ .
11. Obliczyć ciepło właściwe z zależności:  $c_{oleju} = \frac{m_{wody} \cdot a_{wody}}{m_{oleju} \cdot a_{oleju}} c_{wody}$ , korzystając z tablicowej wartości ciepła właściwego wody  $c_{wody}$ .

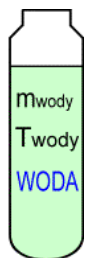
## „OSTYGANIE”

**Student 1:** Wyznaczanie ciepła właściwego metodą ostygnięcia.

**Student 2:** Sprawdzanie zależności temperatury ostygającego ciała od czasu.

## Baza teoretyczna

Zależność temperatury ciała od czasu jego ostygnięcia wyraża się zależnością:

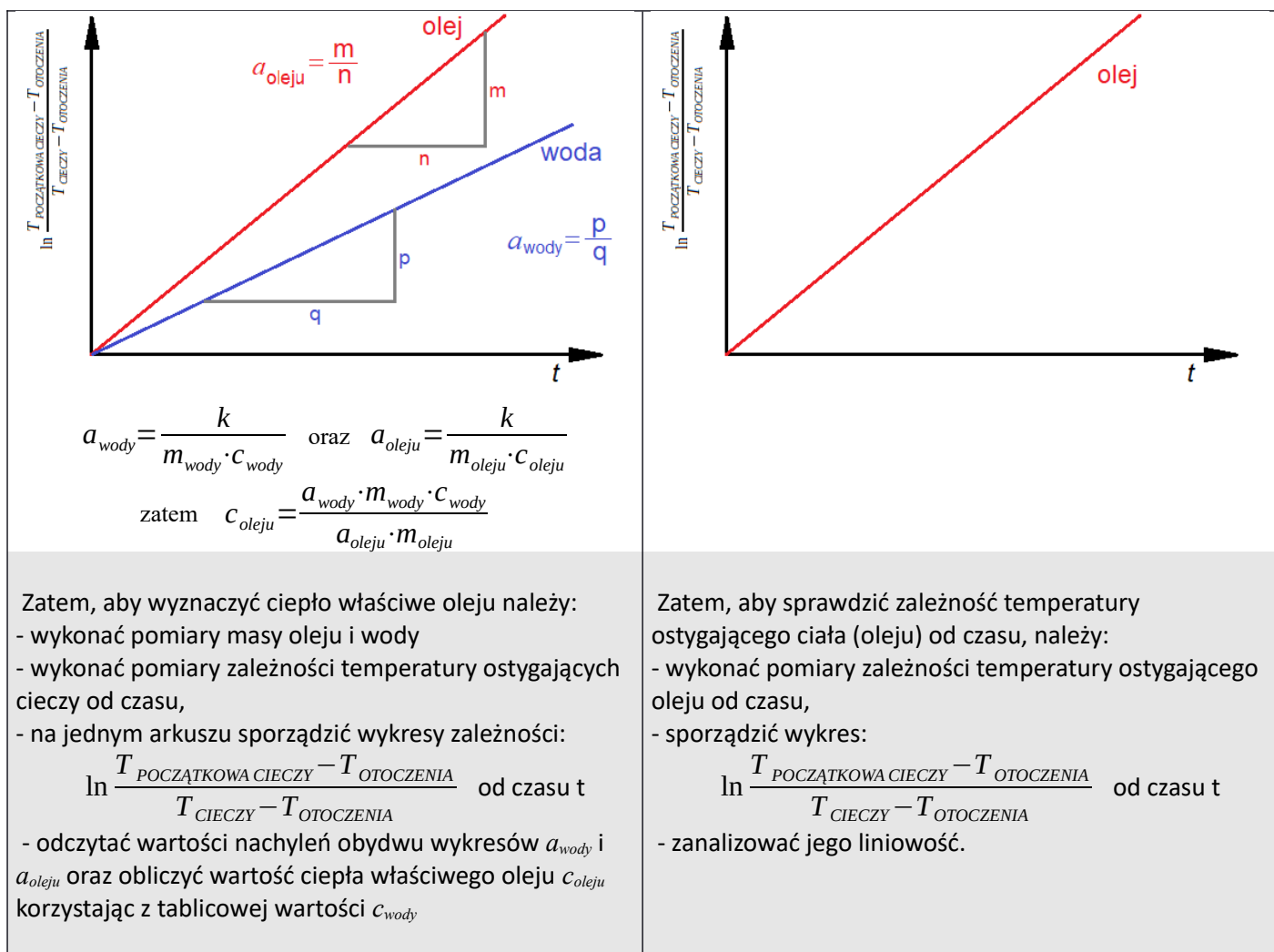


$T_{\text{otoczenia}}$

$$T_{\text{CIECZY}}(t) = (T_{\text{POCZĄTKOWA CIECZY}} - T_{\text{OTOCZENIA}}) e^{-\frac{k}{mc}t} + T_{\text{OTOCZENIA}}$$

którą można przekształcić do postaci zlinearyzowanej:

$$\ln \frac{T_{\text{POCZĄTKOWA CIECZY}} - T_{\text{OTOCZENIA}}}{T_{\text{CIECZY}} - T_{\text{OTOCZENIA}}} = \frac{k}{mc} t$$



## „OSTYGANIE”

Student 1: Wyznaczanie ciepła właściwego metodą ostygnięcia.

### I. Metodyka (ideowy plan ćwiczenia)

### II. Przebieg ćwiczenia

#### II.1. Przebieg czynności

#### II.2. Szkic układu pomiarowego

### III. Wyniki

#### III.1. Wyniki pomiarów

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$t$	[s]										
$T_{\text{WODY}}$	[°C]										
$T_{\text{OLEJU}}$	[°C]										

$m_{\text{oleju}} = \dots$

$m_{\text{wody}} = \dots$

$T_{\text{OTOCZENIA}} = \dots$

$\Delta t = \dots$

$\Delta T_{\text{WODY}} = \Delta T_{\text{OLEJU}} = \dots$

$\Delta T_{\text{OTOCZENIA}} = \dots$

#### III.2. Obliczenia (przykładowe – odnoszą się np. do pomiaru nr 3)

$$A(t) = \ln \left( \frac{T_{\text{POCZĄTKOWA WODY}} - T_{\text{OTOCZENIA}}}{T_{\text{WODY}}(t) - T_{\text{OTOCZENIA}}} \right) = \dots$$

$$B(t) = \ln \left( \frac{T_{\text{POCZĄTKOWA OLEJU}} - T_{\text{OTOCZENIA}}}{T_{\text{OLEJU}}(t) - T_{\text{OTOCZENIA}}} \right) = \dots$$

$$\Delta A(t) = \frac{\Delta T_{\text{WODY}} + \Delta T_{\text{OTOCZENIA}}}{T_{\text{POCZĄTKOWA WODY}} - T_{\text{OTOCZENIA}} + \frac{\Delta T_{\text{WODY}} + \Delta T_{\text{OTOCZENIA}}}{T_{\text{WODY}}(t) - T_{\text{OTOCZENIA}}} = \dots$$

$$\Delta B(t) = \frac{\Delta T_{\text{OLEJU}} + \Delta T_{\text{OTOCZENIA}}}{T_{\text{POCZĄTKOWA OLEJU}} - T_{\text{OTOCZENIA}} + \frac{\Delta T_{\text{OLEJU}} + \Delta T_{\text{OTOCZENIA}}}{T_{\text{OLEJU}}(t) - T_{\text{OTOCZENIA}}} = \dots$$

#### III.3. Wyniki obliczeń

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$t$	[s]										
$A$	[...]										
$B$	[...]										
$\Delta A$	[...]										
$\Delta B$	[...]										

$\Delta t = \dots$

#### III.4. Wykres

+ obliczenie  $a_{\text{wody}}$  i  $a_{\text{oleju}}$  (nachylenia prostych „najlepszego dopasowania”)

+ obliczenie  $a'_{\text{wody}}$  i  $a'_{\text{oleju}}$  (nachylenia prostych odchylnych – jedna w górę druga w dół)

+ korzystając z tablicowej wartości  $c_{\text{wody}}$ , obliczenie  $c_{\text{oleju}} = \frac{m_{\text{wody}} \cdot a_{\text{wody}}}{m_{\text{oleju}} \cdot a_{\text{oleju}}} \cdot c_{\text{wody}}$  i  $c'_{\text{oleju}} = \frac{m_{\text{wody}} \cdot a'_{\text{wody}}}{m_{\text{oleju}} \cdot a'_{\text{oleju}}} \cdot c_{\text{wody}}$ , oraz

dokładności metody  $\Delta c_{\text{oleju}} = |c_{\text{oleju}} - c'_{\text{oleju}}|$

### IV. Podsumowanie

Wyznaczona wartość ... wynosi ...

Dokładność metody: ...

Dodatkowe wnioski, spostrzeżenia, przyczyny niepewności pomiarowych.

## „OSTYGANIE”

**Student 2:** Sprawdzanie zależności temperatury ostygającego ciała od czasu.

### I. Metodyka (ideowy plan ćwiczenia)

### II. Przebieg ćwiczenia

#### II.1. Przebieg czynności

#### II.2. Szkic układu pomiarowego

### III. Wyniki

#### III.1. Wyniki pomiarów

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$t$	[s]										
$T_{OLEJU}$	[°C]										

$$\Delta t = \dots \quad T_{OTOCZENIA} = \dots$$

$$\Delta T_{OLEJU} = \dots \quad \Delta T_{OTOCZENIA} = \dots$$

#### III.2. Obliczenia (przykładowe – odnoszą się np. do pomiaru nr 12)

$$B(t) = \ln \left( \frac{T_{POCZĄTKOWA OLEJU} - T_{OTOCZENIA}}{T_{OLEJU}(t) - T_{OTOCZENIA}} \right) = \dots$$

$$\Delta B(t) = \frac{\Delta T_{OLEJU} + \Delta T_{OTOCZENIA}}{T_{POCZĄTKOWA OLEJU} - T_{OTOCZENIA}} + \frac{\Delta T_{OLEJU} + \Delta T_{OTOCZENIA}}{T_{OLEJU}(t) - T_{OTOCZENIA}} = \dots$$

#### III.3. Wyniki obliczeń

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$t$	[s]										
$B$	[...]										
$\Delta B$	[...]										

$$\Delta t = \dots$$

#### III.4. Wykres

### IV. Podsumowanie

Ponieważ na wykresie ... można poprowadzić prostą przechodzącą przez wszystkie prostokąty niepewności pomiarowych, nie ma podstaw do stwierdzenia odstępstwa od ...

*Ewentualnie:* Odstępstwo od liniowości w zakresie ... może wynikać z ...

Dodatkowe wnioski, spostrzeżenia, przyczyny niepewności pomiarowych.