

## Ćwiczenie 107

### Wyznaczanie ciepła właściwego metalu. Kalibracja termometru powietrznego.

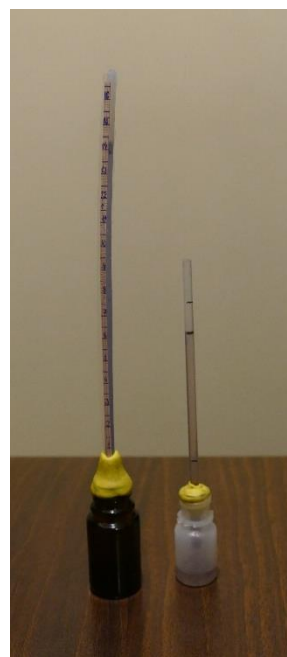
Joanna Janik-Kokoszka, Roman Kokoszka

Celem ćwiczenia jest skonstruowanie termometru o szerokim zakresie mierzonych temperatur, jego kalibracja, a następnie wyznaczenie ciepła właściwego wybranego metalu.

#### I. Potrzebne materiały

Do wykonania termometru:

1. Butelka z wąską szyjką pojemności kilku do kilkunastu mililitrów, szklana lub plastikowa, np. buteleczka po lekach, kroplach do oczu, lakierze do paznokci, barwnikach spożywczych.
2. Plastikowa, przezroczysta rurka, np. słomka do picia, rurka ze zużytego wkładu do długopisu. Większą dokładność osiągniemy stosując rurkę o mniejszej średnicy wewnętrznej i dłuższą.
3. Alkohol izopropylowy, tzw. IPA, powszechnie stosowany jako środek czyszczący elementy mechaniczne lub optyczne, ewentualnie inny alkohol wysokoprocentowy.
4. Atrament lub inny barwnik (np. sok z buraka, barwnik spożywczy, nadmanganian potasu, itp.).
5. Plastelina, taśma samoprzylepna lub taśma pakowa.
6. Zakraplacz lub strzykawka.
7. Niewielkie płaskie naczynie, o wysokości wystarczającej do zanurzenia w nim buteleczki termometru.
8. Woda.
9. Kostki lodu.
10. Cienkopis spirytusowy do zaznaczania poziomów cieczy na termometrze.
11. Linijka.
12. Termometr pokojowy lub inny termometr – do określenia temperatury odniesienia przy kalibracji.



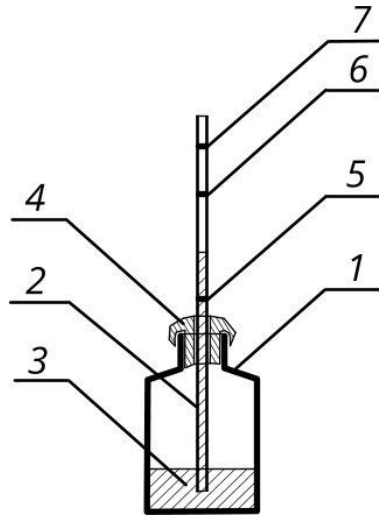
Rys.1 Przykładowe termometry powietrzne

Do pomiaru ciepła właściwego metalu:

1. Termometr powietrzny.
2. Waga kuchenna.
3. Niewielkie płaskie naczynie, o wysokości wystarczającej do zanurzenia w nim buteleczki termometru.
4. Woda.
5. Metal, którego ciepło właściwe zostanie wyznaczone, np. pęk kluczy typu yale, odważnik wagi szalkowej, kilka dużych śrub lub nakrętek, monety mosiężne itp.

## II. Konstrukcja termometru powietrznego

Pomiary temperatury wykonuje się mierząc dowolną wielkość fizyczną, która zależy od temperatury. W zaproponowanym rozwiązaniu wykorzystujemy zmianę objętości powietrza pod wpływem temperatury oraz rozszerzalność termiczną cieczy.



Rys. 2. Termometr powietrzny: 1: buteleczka, 2: rurka, 3: alkohol, 4: plastelinowy korek, 5: poziom cieczy w rurce w temperaturze 0°C, 6: poziom cieczy w temperaturze pokojowej, 7: poziom cieczy w temperaturze końcowej.

### 1. Wykonanie termometru

- a.) Buteleczkę ważymy na wadze kuchennej.
- b.) Do buteleczki wlewamy zabarwiony kilkoma kroplami atramentu lub innego barwnika alkohol, pozostawiając pewną objętość powietrza.

Współczynnik rozszerzalności objętościowej cieczy jest dany wzorem:

$$\beta = \frac{\Delta V}{V_0} \cdot \frac{1}{\Delta T} \quad (1)$$

gdzie  $\Delta V/V_0$  jest stosunkiem zmiany objętości cieczy do objętości początkowej wynikającym ze zmiany temperatury o  $\Delta T$ . Dla alkoholu współczynnik rozszerzalności objętościowej jest równy  $1 \cdot 10^{-3}/K$ .

Dominujący wpływ na działanie termometru ma jednak nie rozszerzalność termiczna cieczy, ale zmiana objętości gazu (powietrza) pod wpływem zmiany temperatury. Powietrze zamknięte w naczyniu można traktować jako gaz doskonały. Stąd zmianę objętości gazu przy zmianie temperatury o  $\Delta T$  można wyliczyć jako:

$$\Delta V = V_0 \cdot \frac{\Delta T}{T_0} \quad (2)$$

Współczynnik rozszerzalności objętościowej dla gazu, jest więc równy  $1/T_0$ , czyli dla temperatury pokojowej (22°C czyli 295 K) wynosi on  $3,4 \cdot 10^{-3}/K$ , czyli jest ponad

trzykrotnie większy niż dla rozpatrywanej cieczy. Dlatego w buteleczce pozostawiamy pewną objętość powietrza, której zmiana związana ze zmianą temperatury będzie w sposób istotny decydowała o działaniu termometru. Zmiana objętości powietrza  $\Delta V$  w przedziale od 0 do około 30 stopni C (przewidywany przedział pracy termometru) powinna być nieco mniejsza od objętości części rurki ponad butelką. Wykorzystując w pełni długość tej części rurki zmaksymalizujemy dokładność pomiaru. Mając to na uwadze szacujemy/dopasowujemy objętość powietrza ( $V_0$ ), która powinna pozostać w butelce w temperaturze pokojowej – czyli decydujemy jak dużo alkoholu nalać do buteleczki. Prawdopodobnie trzeba to będzie zrobić kilkukrotnie metodą prób i błędów.

Warto zauważyć, że zmiana temperatury ma wpływ również na zmianę objętości samej buteleczki, czego nie braliśmy pod uwagę przy szacowaniu. W przypadku szkła współczynnik rozszerzalności liniowej jest niewielki ( $0,01 \cdot 10^{-3}/K$ ), w przypadku polietylenu (PE) lub polipropylenu (PP), najczęściej stosowanych tworzyw sztucznych jest już znaczący (odpowiednio  $0,2 \cdot 10^{-3}/K$  oraz  $0,15 \cdot 10^{-3}/K$ )

Zastosowanie rurki o niewielkiej średnicy może spowodować również wnikanie cieczy do rurki na skutek efektu kapilarnego.

Aby uniknąć wyliczania temperatury z uwzględnieniem tych wszystkich efektów stosuje się kalibrację.

- c.) Rurkę umieszczamy w buteleczce z cieczą w taki sposób, by po „zakorkowaniu” i „uszczelnieniu” jej końcówka była zanurzona w cieczy, a równocześnie wlot do butelki był szczelnie zamknięty. Uszczelnienie możemy zrobić z plasteliny formując z niej korek, przez który przechodzi rurka. Alternatywnie możemy uszczelnienie utworzyć owijając taśmę samoprzylepną wokół rurki (Rys. 3).



Rys. 3. Uszczelnienie wykonane taśmą izolacyjną.

- d.) Korzystając z zakraplacza lub strzykawki, napełniamy buteleczkę cieczą, pozostawiając pewną objętość powietrza w rurce nad poziomem cieczy tak jak na Rys. 2.

Powietrze w rurce pozostawiamy, ponieważ w trakcie pomiaru ciepła właściwego badanego materiału, temperatura końcowa jest większa od pokojowej, więc wzrośnie również wysokość słupa cieczy w rurce.

- e.) Wkładamy tak przygotowany termometr powietrzny do naczynia z wodą o temperaturze pokojowej.

Czekamy na ustabilizowanie się poziomu cieczy, który wskaże w tym momencie temperaturę pokojową. Ciągłe opadanie słupka cieczy sygnalizuje nieszczelność układu.

W trakcie testów posłużono się rurką, na którą naklejono pasek papieru milimetrowego, z którego odczytywano poziom cieczy. Jednakże dla poprawnego przeprowadzenia ćwiczenia wystarczy tylko zaznaczenie cienkopisem na rurce poziomu cieczy w charakterystycznych temperaturach, a następnie pomiar odległości pomiędzy znacznikami. (Rys. 1)

## 2. Kalibracja termometru

### a) Określenie poziomu cieczy w temperaturze 0°C

- Zanurzamy termometr w mieszaninie wody z lodem i wkładamy do lodówki, aby zminimalizować gradient temperatury pomiędzy różnymi częściami termometru.

*Uwaga: jeżeli do konstrukcji termometru użyliśmy naczynka plastikowego, to termometr może pływać ze względu na siłę wyporu. W takiej sytuacji należy termometr przykleić do dna naczynia taśmą klejącą w taki sposób, żeby rurka była pionowa.*

*Temperatura 0°C jest temperaturą, w której zachodzi topnienie lodu. Aby mieszanina wody z lodem mogła być użyta jako wzorzec tej temperatury, trzeba ją odpowiednio przygotować. Lód wyjmowany z zamrażalnika ma temperaturę zamrażalnika (czyli np. -16°C). Umieszczenie go w wodzie spowoduje powstanie mieszaniny o niedobrze określonej temperaturze. Temperaturę 0°C ma woda z lodem o konsystencji „brei”, czyli lód powinien być bardzo drobno pokruszony i wypełniać wodę w całej objętości. Zatem kostki lodu z zamrażarki należy pokruszyć w mosiężnym moździerzu kuchennym, rozbić młotkiem (zawinąć wcześniej w szmatkę) lub zmiksować.*

***Uwaga: proszę chronić oczy przed odłamkami lodu w przypadku ręcznego kruszenia! Należy zasłonić możliwie największą część naczynia do kruszenia lodu np. papierem, ręcznikiem itp.***

- Po ustabilizowaniu się poziomu cieczy zaznaczamy go cienkopisem na rurce ( $t_0$ ). Jeżeli poziom cieczy opadnie poniżej korka uszczelniającego musimy skorygować ilość alkoholu w buteleczce, wkraplając kilka kropli.



a)



b)

Rys. 4 a) Termometr umieszczony w naczyniu z lodem. b) poziom cieczy w rurce w temperaturze 0°C.

b) Określenie poziomu cieczy w temperaturze pokojowej.

- Wyciągamy z lodówki termometr powietrzny zanurzony w mieszaninie wody z lodem. W miejsce wody z lodem wlewamy wodę o temperaturze pokojowej. Czekamy na osiągnięcie przez termometr powietrzny, wodę oraz naczynie stanu, w którym ich temperatura będzie równa temperaturze pokojowej wskazywanej przez termometr pokojowy lub dowolny inny. Zapisujemy tę wartość.
- Zaznaczamy poziom cieczy na rurce odpowiadający temperaturze pokojowej ( $t_{pok}$ ). *Należy zdać sobie sprawę, że kalibracja według temperatury odczytywanej z termometru pokojowego jest jedynie ersatzem, wymuszonym przez konieczność ograniczenia się do urządzeń pomiarowych i zjawisk fizycznych dostępnych w warunkach domowych. Próba wykorzystania temperatury wrzącej wody (100°C) zmusiłaby nas do radykalnego wydłużenia rurki oraz zastosowania uszczelnienia odpornego na temperatury od 0 do 100°C. Jeżeli ktoś z Państwa dysponuje dokładniejszym niż pokojowy termometrem np. opornik platynowy, popularne Pt100, Pt1000 lub potrafi wykorzystać diodę do pomiaru temperatury, to oczywiście należy to zrobić. Wykorzystanie rtęciowego termometru lekarskiego nie jest zalecane, ponieważ żeby go nie uszkodzić, trzeba użyć wody o temperaturze zgodnej z zakresem jego stosowania.*

c) Wyznaczenie równania kalibracyjnego termometru:

Różnicy temperatury pokojowej,  $t_{pok}$ , w [°C] oraz 0°C odpowiada zmiana długości cieczy w rurce długości  $\Delta l = l_{pok} - l_0$  [mm]. Temperaturę, zmierzoną w [mm] jako  $\Delta l_t = l_t - l_0$  przeliczamy na temperaturę w [°C] korzystając z zależności:

$$t = \Delta l_t \cdot \frac{t_{pok} - 0}{l_{pok} - l_0} \quad (3)$$

### III. Wyznaczenie ciepła właściwego ciała stałego

Pomiar ciepła właściwego materiału wykonujemy bezpośrednio po kalibracji termometru powietrznego, starając się cały pomiar przeprowadzić przy tym samym ciśnieniu atmosferycznym.

1. Ważymy badany przedmiot. W przypadku użycia np. kilku kluczy, należy je połączyć np. nitką.
2. Ważymy naczynie pomiarowe.
3. Napełniamy naczynie wodą o temperaturze pokojowej i ważymy je. Wyliczamy masę wody.
4. Umieszczamy w naczyniu termometr. Czekamy na ustabilizowanie temperatury (proszę kontrolować, czy temperatura pokojowa się nie zmienia).
5. Badany przedmiot gotujemy we wrzącej wodzie przez kilka minut, aż do osiągnięcia przez niego temperatury 100°C.
6. Możliwie szybko zanurzamy badany przedmiot w przygotowanej wodzie. Wodę intensywnie mieszamy korzystając z mieszadła o możliwie najmniejszej pojemności cieplnej (np. drewnianego patyczka). Na rurce termometru powietrznego zaznaczamy maksymalny poziom cieczy odpowiadający temperaturze końcowej ( $t_k$ ). Korzystając z przeprowadzonej wcześniej kalibracji obliczamy tę temperaturę.

#### IV. Opracowanie wyników:

1. Ciepło właściwe definiuje się jako ilość ciepła, która jest potrzebna do zmiany temperatury jednostki masy ciała o jeden stopień. Ciepło pobierane lub oddawane oblicza się ze wzoru:

$$Q = mc\Delta t \quad (4)$$

gdzie  $m$  jest masą ciała,  $c$  – ciepłem właściwym, a  $\Delta t$  jego zmianą temperatury.

W wykonanym doświadczeniu ciepło jest oddawane przez badany przedmiot, a pobierane przede wszystkim przez wodę. Trzeba sobie jednak zdawać sprawę, że ciepło pobiera również naczynie, w którym znajduje się woda, termometr oraz otoczenie.

W pierwszym przybliżeniu w równaniu bilansu cieplnego możemy uwzględnić tylko wodę, otrzymując równanie:

$$mc(t_{100} - t_k) = m_w c_w (t_k - t_{pok}) \quad (5)$$

gdzie  $m$  jest masą badanego ciała,  $c$  - szukanym ciepłem właściwym,  $t_{100}$  – temperaturą 100°C,  $t_k$  – temperaturą końcową układu,  $t_{pok}$  – temperaturą początkową (u nas była to temperatura pokojowa),  $m_w$  – masą wody, a  $c_w$  – ciepłem właściwym wody. Wszystkie temperatury w równaniu są podane w stopniach Celsjusza.

2. Korzystając z równania (5) obliczyć ciepło właściwe badanej substancji.

3. Oszacowanie niepewności:

proszę zastosować metodę przenoszenia niepewności dla pomiarów wielkości złożonych. Niepewność pomiaru temperatury można przyjąć jako temperaturę w °C, odpowiadającą zmianie wysokości słupa cieczy o 1 mm.

4. Proszę porównać otrzymany wynik z wartością tablicową dla substancji, z której był zrobiony badany przedmiot.

5. Dla ambitnych: proszę spróbować oszacować poprawki związane z innymi niż woda substancjami pobierającymi ciepło.

6. Które efekty zaniedbane przy pomiarze temperatury mogły mieć największy wpływ na precyzję pomiaru?