

**ĆWICZENIE 12**  
**WYZNACZANIE WSPÓLCZYNNIKA ROZSZERZALNOŚCI CIECZY ZA POMOCĄ**  
**PIKNOMETRU**

Kraków, (ver.: 2016)

**SPIS TREŚCI**

<b>I. CZĘŚĆ TEORETYCZNA .....</b>	<b>2</b>
CZĄSTECZKOWA TEORIA CIECZY .....	2
DEFINICJA WSPÓLCZYNNIKA ROZSZERZALNOŚCI OBJĘTOŚCIOWEJ .....	2
ROZSZERZALNOŚĆ OBJĘTOŚCIOWA CIECZY. DANE DOŚWIADCZALNE .....	4
ANOMALNA ROZSZERZALNOŚĆ WODY .....	5
ROZSZERZALNOŚĆ OBJĘTOŚCIOWA GAZÓW .....	6
ZASADA POMIARU .....	7
<b>II. CEL ĆWICZENIA.....</b>	<b>9</b>
<b>III. WYKONANIE ĆWICZENIA.....</b>	<b>9</b>
<b>IV. OPRACOWANIE WYNIKÓW.....</b>	<b>10</b>
<b>V. LITERATURA UZUPEŁNIAJĄCA.....</b>	<b>11</b>

**WYKAZ RYSUNKÓW**

Rys.1. Zależność objętości  $V$  [kg] wody od temperatury  $T$  [ $0^{\circ}\text{C}$ ].

Rys.2. Zależność objętości wody od temperatury w zakresie temperatur od  $0^{\circ}\text{C}$  do  $5^{\circ}\text{C}$ .

Rys.3. Piknometry.

Rys.4. Budowa ultratermostatu U2.

**ZAKRES WYMAGANYCH WIADOMOŚCI:**

Pojęcie temperatury, energii wewnętrznej, ciepła. Mikroskopowy i makroskopowy opis rozszerzalności cieplnej ciał. Rozszerzalność cieplna liniowa i objętościowa, termometry. Sposoby przekazywania ciepła. Rola rozszerzalności cieplnej w powstawaniu prądów konwekcyjnych. Anomalna rozszerzalność wody i jej znaczenie.

# I. CZĘŚĆ TEORETYCZNA

## Cząsteczkowa teoria cieczy

Cząsteczki lub atomy ciała stałego mogą drgać wokół położenia równowagi. Amplituda tych drgań zależy od temperatury. Natomiast w gazach cząsteczki nie drgają lecz przemieszczają się swobodnie po całym dostępnym obszarze zderzając się między sobą i ze ściankami naczynia, w którym się znajdują. Wraz ze wzrostem temperatury rośnie średnia prędkość ich ruchu.

Ciecze posiadają charakter pośredni pomiędzy gazami i ciałami stałymi. Składają się z cząsteczek ciasno upakowanych, tak jak w ciele stałym. Jednak podobnie jak w gazach cząsteczki nie są uporządkowane i mogą się przemieszczać względem siebie. Ściślej mówiąc małe obszary cieczy mogą być jednak zajmowane przez cząsteczki ułożone w sposób uporządkowany. To chwilowe uporządkowanie w małym obszarze nazwane jest *uporządkowaniem bliskiego zasięgu*.

Cząsteczki w cieczech drgają, podobnie jak w ciałach stałych, wokół chwilowych położenia równowagi przeskakując po pewnym czasie w nowe położenie równowagi. Średni *okres* tych drgań (czas konieczny do wykonania jednego pełnego drgania) jest bardzo krótki i wynosi około  $10^{-12}$ s. Średni czas przebywania w danym stanie równowagi, zwany *czasem relaksacji*, waha się od  $10^{-11}$ s dla cieczy o małym współczynniku lepkości do godziny lub nawet doby dla cieczy bardzo lepkich. W tym czasie cząsteczka może wykonać dużą liczbę drgań.

Doprowadzenie ciepła do ciała w stanie stałym, ciekłym lub gazowym powoduje w nim szereg mikroskopowych i makroskopowych zmian. Poniżej zajmiemy się ilościowym opisem zjawiska rozszerzalności termicznej cieczy. Innym makroskopowym efektem doprowadzenia ciepła do pewnej objętości cieczy mogą być tzw. *prądy konwekcyjne*. Są to ruchy fragmentów cieczy w kierunku pionowym. Warunkiem powstania prądów konwekcyjnych jest istnienie różnic temperatur, a zatem i różnic gęstości, w naczyniu z cieczą. Zgodnie z *prawem Archimedes*a, fragmenty cieczy o mniejszej gęstości wypływają na powierzchnię a ich miejsce zajmuje ciecz o większej gęstości. Cząsteczkowa teoria cieczy może być punktem wyjścia do wyjaśnienia tych zjawisk. Rozszerzalność objętościową gazów, można wyjaśnić na gruncie prostego modelu gazu zwanego gazem doskonałym.

## Definicja współczynnika rozszerzalności objętościowej $\beta$

Obserwując skalę termometru rtęciowego można wysunąć przypuszczenie, że podczas ogrzewania dowolnej cieczy zachodzi zmiana jej objętości  $\Delta V$  tym większa im większy jest

przyrost temperatury  $\Delta t$ . Równe odstępymy pomiędzy działkami skali termometru (*liniowość skali*) sugerują nawet proporcjonalność zmian objętości i temperatury:  $\Delta V \sim \Delta t$ . Przyrost  $\Delta V$  zależy także od tego z jak dużą ilością cieczy  $V_0$  mamy do czynienia. Przypuszczamy, że zachodzi proporcjonalność  $\Delta V \sim V_0$ , tzn. że dwukrotnie większa ilość tej samej cieczy rozszerzy się przy tej samej zmianie temperatury  $\Delta t$  o dwukrotnie większą ilość [cm<sup>3</sup>]. Trzecim czynnikiem wpływającym na wartość przyrostu  $\Delta V$  jest niewątpliwie rodzaj cieczy. Podsumowując te obserwacje:

$$\Delta V \approx V_0 \Delta t \quad (1)$$

Jeśli chcemy zastąpić znak proporcjonalności " $\approx$ " znakiem równości musimy wprowadzić współczynnik proporcjonalności, który zależy od rodzaju cieczy. Oznaczając go przez  $\beta$  możemy zatem napisać:

$$\Delta V = \beta V_0 \Delta t . \quad (2)$$

Powyższą zależność można uznać za definicję współczynnika  $\beta$  zwanego (średnim) współczynnikiem rozszerzalności cieplnej danej cieczy. Średni współczynnik rozszerzalności objętościowej zdefiniowany jest zatem następująco:

$$\beta = \frac{V_t - V_0}{V_0 (t - t_0)}, \quad (3)$$

gdzie:  $V_0$  jest objętością ciała w temperaturze  $t_0$  natomiast  $V_t$  objętością w temperaturze  $t$ . Iloraz  $(V_t - V_0) / V_0$  reprezentuje względną zmianę objętości. Definicję (3) odczytać można zatem w ten sposób, że  $\beta$  jest "względną zmianą objętości wywołaną zmianą temperatury o jeden stopień" (Celsjusza lub Kelvina). Z definicji (3) odczytać można jednostki, w których wyrażana jest wartość  $\beta$ : 1/K (tzn. K<sup>-1</sup>) lub 1/°C, gdzie K i °C oznaczają odpowiednio Kelwiny i stopnie Celsjusza. Niekiedy stosuje się oznaczenie 1/deg (deg<sup>-1</sup>); deg jest międzynarodowym (układ SI) symbolem stopni.

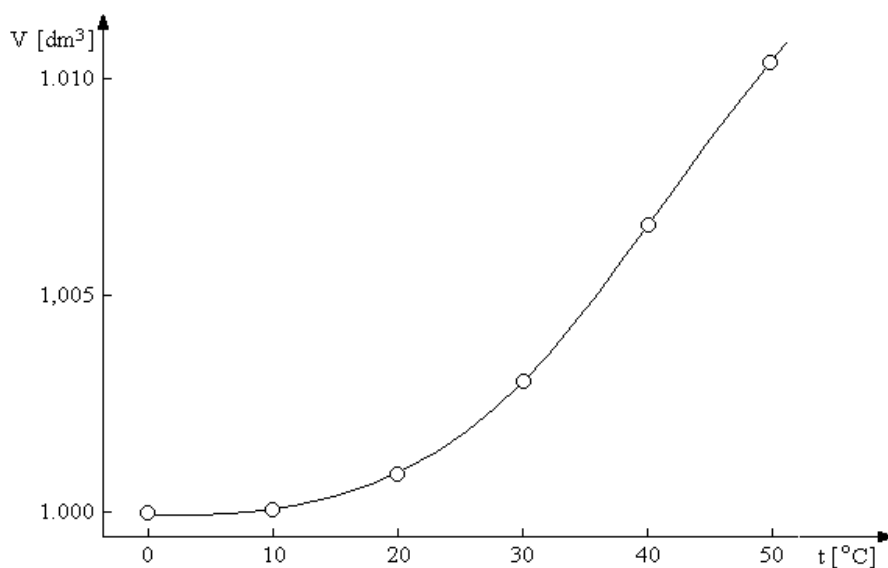
Dla *izotropowych ciał* stałych w tablicach wielkości fizycznych odnajdujemy zwykle jedynie wartości *współczynników rozszerzalności liniowej*  $\alpha$ . Wartość współczynnika  $\beta$  nie jest podawana, ponieważ zachodzi z dużą dokładnością związek

$$\beta = 3\alpha . \quad (4)$$

*Anizotropowe ciała* stałe (ciała, które nie rozszerzają się jednakowo we wszystkich kierunkach) wymagają opisu rozszerzalności termicznej za pomocą dwu lub trzech współczynników rozszerzalności liniowej.

### Rozszerzalność objętościowa cieczy. Dane doświadczalne

Na ogół objętość ciał rośnie wraz ze wzrostem temperatury, tzn.  $\beta > 0$ . Ponadto wartość  $\beta$  jest zwykle różna dla różnych przedziałów temperatur ( $t - t_0$ ), dla których została zmierzona. Rys.1 ilustruje zależność objętości  $V$  wody od temperatury  $t$ . Zależność ta jest nieliniowa. W konsekwencji współczynnik rozszerzalności wody jest różny w różnych przedziałach temperatur i wyznaczanie jego wartości powinno być przeprowadzane przy zastosowaniu możliwie małej różnicy temperatur: końcowej i początkowej. Taka zmiana powoduje jednak niewielką zmianę objętości, którą należy zmierzyć odpowiednio dokładnie.



Rys.1. Zależność objętości  $V$  [dm<sup>3</sup>] wody od temperatury  $t$  [°C] [wg. Jeżewski i Kalisz s.50].

Druga trudność polega na tym, że pomiar przeprowadzany jest w naczyniu, które również rozszerza się przy ogrzewaniu. Efekt ten należy uwzględnić w opracowaniu wyniku pomiaru. Okazuje się jednak, że współczynniki rozszerzalności objętościowej ciał stałych są zwykle o rząd wielkości mniejsze od tych, które charakteryzują ciecze. Dla przykładu szkło typu *crown*, w przedziale temperatur 0°C-100°C, posiada  $\beta \approx 0.000026 = 2.6 \cdot 10^{-5}$  [1/°C]. Wartości  $\beta$  dla czterech wybranych cieczy podano w Tabeli 1.

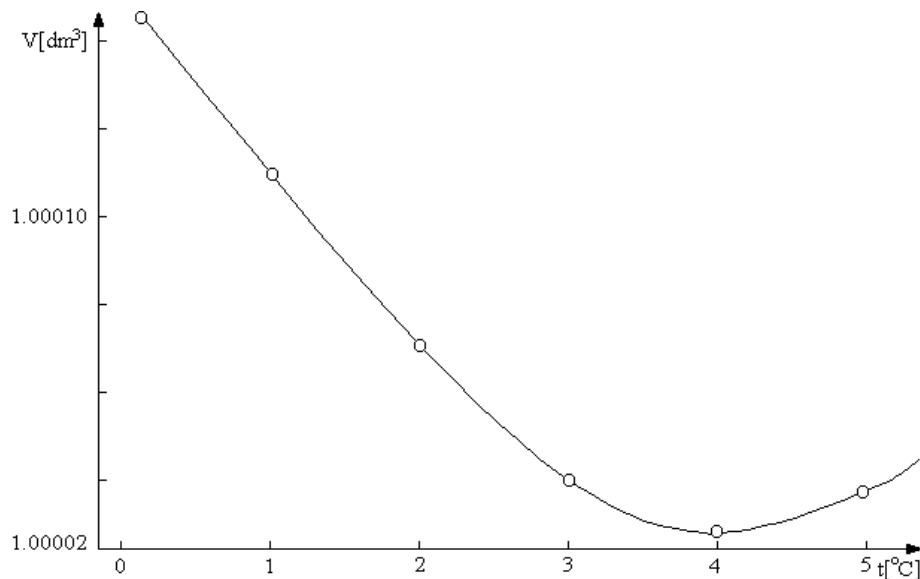
Tabela 1. Wartości współczynników rozszerzalności objętościowej wybranych cieczy w temperaturze 18°C.

CIECZ	alkohol etylowy	gliceryna	rtęć	woda
$\beta$ [1/°C]	0.00110	0.00050	0.000181	0.00018

Z porównania podanych w Tabeli 1 wartości współczynników  $\beta$  ze współczynnikiem opisującym szkło wynika, że poziom tych cieczy w naczyniu szklanym będzie podnosił się podczas ogrzewania. Efekt ten jest jednak niewielki, ponieważ zmiana temperatury o  $10^{\circ}\text{C}$  spowoduje najwyżej 1% wzrost poziomu cieczy.

### Anomalna rozszerzalność wody

Rys.1 sugeruje, że w przedziale temperatur od  $0^{\circ}\text{C}$  do  $50^{\circ}\text{C}$  objętość wody rośnie monotonicznie. Dokładniejszy wykres przedstawiony na Rys.2. ujawnia, że w zakresie temperatur od  $0^{\circ}\text{C}$  do  $4^{\circ}\text{C}$  (ściślej mówiąc do  $3.98^{\circ}\text{C}$ ) wzrost temperatury powoduje zmniejszenie objętości czyli wzrost gęstości wody. Tego typu zachowanie cieczy jest rzadkie. Określone zostało więc jako *anomalna rozszerzalność wody*. Anomalną rozszerzalność tłumaczyć można tzw. *asocjacją drobin*  $\text{H}_2\text{O}$ .



Rys.2. Zależność objętości  $V$  [ $\text{dm}^3$ ] wody od temperatury  $t$  [ $^{\circ}\text{C}$ ] w zakresie temperatur od  $0^{\circ}\text{C}$  do  $5^{\circ}\text{C}$  [wg. Jeżewski i Kalisz s.50].

Największa gęstość wody przypada na  $3.98^{\circ}\text{C}$  i wynosi prawie dokładnie  $10^3\text{kg/m}^3$ . W temperaturach niższych i wyższych jej gęstość jest mniejsza. Ta własność jest ważna dla życia organicznego w wodzie, gdyż utrudnia zamarzanie wody w pobliżu dna. Przy dostatecznie niskiej temperaturze powietrza woda w głębokim zbiorniku zachowuje się w ten sposób, że ochłodzona poniżej  $4^{\circ}\text{C}$  pozostaje na powierzchni natomiast woda o temperaturze  $4^{\circ}\text{C}$ , która posiada największą gęstość, opada na dno zgodnie z prawem Archimedesesa (ciała o gęstości większej toną w cieczy o gęstości mniejszej). W końcu na powierzchni wody powstaje warstwa lodu chroniąca

zbiornik przed dalszym obniżaniem temperatury. Stała dodatnia temperatura wody w pobliżu dna, choć jest niska, pozwala na przetrwanie życia organicznego.

### Rozszerzalność objętościowa gazów

Gazy, podobnie jak ciała stałe i ciecze, zwiększają swoją objętość gdy są ogrzewane pod stałym ciśnieniem. Empiryczna zależność objętości  $V_t$  od temperatury  $t$  przy stałym ciśnieniu nosi nazwę prawa Gay-Lussaca:

$$V_t = V_0(1 + \gamma \cdot t), \quad (5)$$

gdzie  $V_0$  oznacza objętość gazu w temperaturze  $0^\circ\text{C}$ ,  $\gamma$  oznacza współczynnik rozszerzalności cieplnej danego gazu, a  $t$  temperaturę w skali Celsjusza. W Tabeli 2 podane są wartości współczynników  $\gamma$  dla kilku wybranych gazów.

Tabela 2.

Wartości współczynników rozszerzalności objętościowej wybranych gazów pod ciśnieniem normalnym ( $p_0 = 1.01 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ ), w temp.  $0^\circ\text{C}$ .

GAZ	azot	hel	powietrze	wodór
$\gamma [1/^\circ\text{C}]$	0.003673	0.003658	0.003674	0.003659

Z analizy danych liczbowych zawartych w Tabeli 2 wynika, że wartości  $\gamma$  są znacznie większe od współczynników rozszerzalności cieczy (patrz Tabela 1). Ponadto wartości współczynników niewiele się między sobą różnią. Różnice te jeszcze maleją jeśli  $\gamma$  wyznaczone zostanie dla mniejszych ciśnień. Współczynnik  $\gamma$  zbliża się wtedy do wartości  $0.00366 [1/^\circ\text{C}]$ . Nasuwa się przypuszczenie, że cieplna rozszerzalność gazów w stosunkowo dużym zakresie ciśnień i temperatur może zostać opisana za pomocą prostego modelu.

Rzeczywiście, wyjaśnienie powyższych własności gazów rzeczywistych uzyskać można już na gruncie modelu *gazu doskonałego*. Daną masę gazu można scharakteryzować przez podanie zajmowanej przez nią objętości  $V$ , ciśnienia  $p$  i temperatury  $T$ . Wielkości te są od siebie uzależnione, a równanie które je wiąże nazywamy *równaniem stanu* (*równanie Clapeyrona*). Model gazu doskonałego odnosi się do gazu o równaniu stanu

$$pV = nRT, \quad (6)$$

gdzie  $n$  oznacza liczbę moli gazu,  $R$  oznacza *stałą gazową*,  $T$  jest temperaturą w skali Kelvina. Współczynnik rozszerzalności cieplnej gazu doskonałego, w temperaturze  $0^\circ\text{C}$ , ma wartość

$\gamma = 1/273.16 \approx 0.00366$  [ $1/^\circ\text{C}$ ]. Wartość ta wynika bezpośrednio z równania gazu doskonałego i ze związku pomiędzy temperaturą  $T$  w skali *Kelvina* i temperaturą  $t$  w skali *Celsjusza*

$$T = 273.16 + t. \quad (7)$$

Stosując równanie stanu gazu doskonałego do określonej masy gazu podlegającego przemianie, w której temperatura początkowa  $t_0 = 0^\circ\text{C}$  (273.16K) a końcowa jest równa  $t^\circ\text{C}$  (273.16 +  $t$ ) [K] otrzymujemy:

$$\frac{p_0 V_0}{273.16} = \frac{pV}{273.16 + t}. \quad (8)$$

Zakładając stałość ciśnienia podczas przemiany,  $p = p_0$ , powyższe równanie przyjmuje postać empirycznego równania Gay-Lussaca

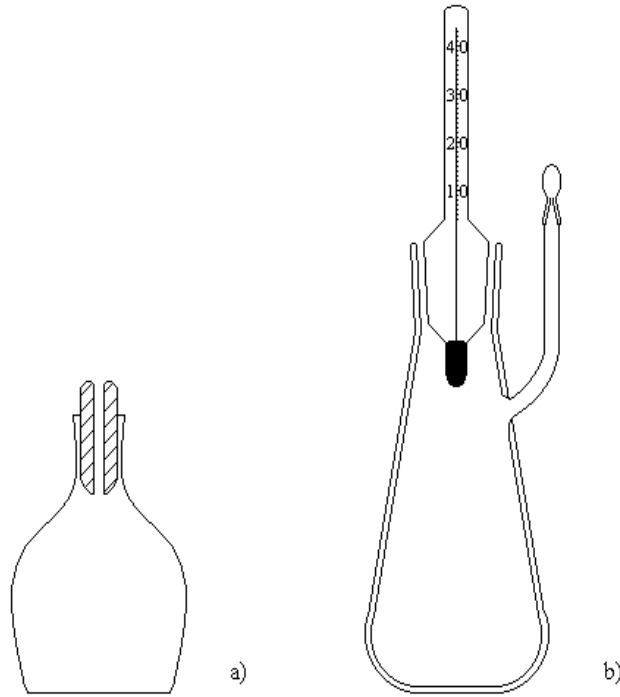
$$V = \frac{V_0(273.16 + t)}{273.16} = V_0 \left( 1 + \frac{t}{273.16} \right) = V_0(1 + \gamma t). \quad (9)$$

### Zasada pomiaru

Opisana poniżej metoda pomiaru współczynnika rozszerzalności objętościowej oparta jest na definicji (3) współczynnika  $\beta$ . Dla określonej ilości cieczy o masie  $m$  jej gęstość  $\rho$  jest odwrotnie proporcjonalna do objętości ( $\rho_0 = m/V_0$ ,  $\rho_t = m/V_t$ ). Definicję (3) można zapisać więc następująco:

$$\beta = \frac{\rho_0 - \rho_t}{\rho_t(t - t_0)}, \quad (10)$$

gdzie  $\rho_t$  – gęstość cieczy w temperaturze  $t$ ,  $\rho_0$  – gęstość cieczy w temperaturze  $t_0$ . Zmiana ( $t-t_0$ ) temperatury mierzona jest bezpośrednio. Gęstość cieczy wyznacza się przy pomocy *piknometru*. Piknometr (Rys.3.) jest to naczynie szklane przeznaczone do pomiaru gęstości cieczy i ciał stałych przez ważenie.



Rys. 3. Piknometry. (a) Piknometr zwykły. b) Piknometr próżniowy o podwójnych ściankach.

W temperaturze  $t_0$  określamy masę cieczy  $m_0$  zawartą w objętości piknometru  $V_0$ . Gęstość cieczy:  $\rho_0 = m_0/V_0$ . Po ogrzaniu nadmiar cieczy wypłynie i w objętości piknometru pozostanie ciecz o masie  $m_t < m_0$ . Gęstość tej cieczy będzie wynosiła  $\rho_t = m_t/V_0$ . Zgodnie z równaniem (10) współczynnik rozszerzalności  $\beta$  cieczy można zatem przedstawić w postaci

$$\beta = \frac{m_0 - m_t}{m_t(t - t_0)}. \quad (11)$$

Wyprowadzając wzór (11) zaniedbano efekt rozszerzalności objętościowej piknometru. W rzeczywistości objętość jego wnętrza po ogrzaniu nieco wzrośnie i wyniesie  $V_t = V_0(1 + \gamma(t - t_0))$  gdzie  $\gamma$  oznacza współczynnik rozszerzalności objętościowej szkła. Zamiast równania (11) otrzymamy równanie

$$\beta = \frac{m_0 - m_t}{m_t(t - t_0)} + \gamma \frac{m_0}{m_t}, \quad (12)$$

gdzie  $\gamma = 2.6 \cdot 10^{-5} [1/^\circ\text{C}]$ .



## II. CEL ĆWICZENIA

Celem ćwiczenia jest wyznaczenie współczynnika rozszerzalności objętościowej wybranej cieczy przy pomocy piknometru. Dodatkowym celem jest zaznajomienie się z obsługą termostatu - urządzenia służącego do regulacji i automatycznej stabilizacji temperatury.

## III. WYKONANIE ĆWICZENIA

1. Zważyć pusty piknometr wraz z termometrem-zatyczką i magnesem - mieszadłem wyznaczając jego masę  $m_1$ . Zanotować maksymalną niepewności pomiaru masy:  $\Delta_d m_1 = 0.1$  g.
2. Wprowadzić magnes - mieszadło do wnętrza piknometru. Napęlnić piknometr badaną cieczą (alkohol) i zatkać go termometrem-zatyczką, tak by nadmiar cieczy wylał się, a w środku nie pozostało powietrze.
3. Dokładnie osuszyć piknometr, włączyć jego termometr i po ustabilizowaniu się temperatury odczytać jej wartość  $t_0$ . Zanotować maksymalną niepewności pomiaru temperatury:  $\Delta_d t_0 = 0.1$  °C.
4. Wyznaczyć masę napełnionego piknometru  $m_2$ . Zanotować maksymalną niepewności pomiaru masy:  $\Delta_d m_2 = 0.1$  g. Masa  $m_0$  cieczy zawartej w piknometrze równa jest  $m_0 = m_2 - m_1$ .
5. Napęlnić wodą destylowaną osłonę termostatu umieszczoną na mieszadle magnetycznym
6. (ok. 120 ml). Umieścić piknometr w wodnej kąpeli termostatu. Woda powinna sięgać do szyjki piknometru umieszczonego w osłonie. Włączyć mieszadło magnetyczne ustawiając szybkość mieszania ok. 100-200 rpm.
7. Włączyć termostat ustalając temperaturę stabilizacji o 20 °C wyższą od  $t_0$  (patrz instrukcja obsługi termostatu).
8. Obserwować wskazania termometru piknometru i po ustaleniu temperatury końcowej zanotować jej wartość  $t$ . Zanotować maksymalną niepewności pomiaru temperatury:  $\Delta_d t = 0.1$  °C.
9. Wyjąć piknometr i po starannym wysuszeniu wyznaczyć jego masę  $m_3$ . Zanotować maksymalną niepewności pomiaru masy:  $\Delta_d m_3 = 0.1$  g. Masa  $m_t$  badanej cieczy, która pozostała w naczyniu po ogrzaniu jest równa  $m_t = m_3 - m_1$ .
10. Po zakończonym pomiarze wodę z osłony termostatu wylać do zlewu. Badaną ciecz przelać z powrotem do butelki. Schłodzić termostat do temperatury pokojowej. Wyłączyć termostat i mieszadło magnetyczne.

#### IV. OPRACOWANIE WYNIKÓW

1. Korzystając z wyników pomiarów obliczyć współczynnik rozszerzalności objętościowej  $\beta$  alkoholu etylowego stosując wzór uproszczony (11).
2. Obliczyć współczynnik rozszerzalności objętościowej  $\beta$  stosując wzór (12) uwzględniający rozszerzalność szkła piknometru. Współczynnik rozszerzalności objętościowej szkła  $\gamma = 2.6 \cdot 10^{-5} [1/^\circ\text{C}]$ .
3. Niepewności standartowe mas:  $u(m_1)$ ,  $u(m_2)$ ,  $u(m_3)$  oraz temperatur:  $u(t_0)$ ,  $u(t)$  wyznaczone na podstawie wzoru (4) w materiałach „Wprowadzenie do metod opracowania wyników pomiarowych”  $u(x) = \frac{\Delta_d x}{\sqrt{3}}$  wynoszą:

$$u(m_1) = u(m_2) = u(m_3) = \frac{\Delta_d m_1}{\sqrt{3}} = \frac{0.1}{\sqrt{3}} = 0.058 \text{ g},$$

$$u(t_0) = u(t) = \frac{\Delta_d t_0}{\sqrt{3}} = \frac{0.1}{\sqrt{3}} = 0.058 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Wliczyć niepewność standardową pomiaru pośredniego  $u(\beta)$  współczynnika rozszerzalności  $\beta$ , korzystając z wielkości wyznaczonych bezpośrednio w pomiarach oraz z przekształconego wzoru (11):

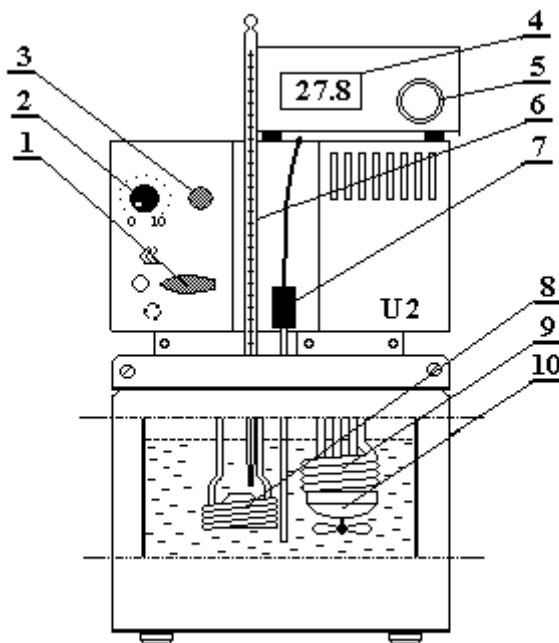
$$\beta = \frac{m_2 - m_3}{(m_3 - m_1)(t - t_0)}.$$

Stosując wzór (9) z materiałów „Wprowadzenie do metod opracowania wyników pomiarowych” otrzymujemy:

$$u(\beta) = \sqrt{\left(\frac{\partial\beta}{\partial m_1}\right)^2 (u(m_1))^2 + \left(\frac{\partial\beta}{\partial m_2}\right)^2 (u(m_2))^2 + \left(\frac{\partial\beta}{\partial m_3}\right)^2 (u(m_3))^2 + \left(\frac{\partial\beta}{\partial t_0}\right)^2 (u(t_0))^2 + \left(\frac{\partial\beta}{\partial t}\right)^2 (u(t))^2}$$

4. Zaokrąglić uzyskaną wartość  $u(\beta)$  oraz wynik  $\beta$  według zasad przedstawionych w materiałach „Wprowadzenie do metod opracowania wyników pomiarowych”.
5. Obliczyć niepewność rozszerzoną  $U(\beta)$  stosując wzór (13) dla  $k=2$  w materiałach „Wprowadzenie do metod opracowania wyników pomiarowych”.
6. Zapisać wyniki końcowy  $\beta$  wraz z niepewnością rozszerzoną.
7. Uzyskane wyniki porównać z wartościami tablicowymi podanymi w tabeli 1.




## INSTRUKCJA OBSŁUGI TERMOSTATU U2



Rys. 1. Budowa termostatu U2:

1 – trójpozycyjny przełącznik zespołu sterowniczego, 2 - regulator mocy grzejnej, 3 – lampka kontrolna grzałki, 4 - wyświetlacz temperatury stabilizacji, 5 – regulacja temperatury stabilizacji,  
6 – termometr rtęciowy, 7 – sonda regulatora temperatury, 8 - chłodnica, 9 - grzałka, 10 - pompa i mieszadło.

1. Termostat może pracować w dwóch trybach: stabilizacji zaprogramowanej temperatury i chłodzenia.

Wybór trybu pracy umożliwia przełącznik (1):  – stabilizacja,  – wyłączenie,  – chłodzenie.

2. Po ustawieniu przełącznika (1) w pozycję – **stabilizacja**, ustawiamy pokrętką regulacji (5) żadaną temperaturę stabilizacji wyświetlaną na wyświetlaczu (4). Włączenie grzałki termostatu sygnalizuje czerwona lampka kontrolna (3). Podczas nagrzewania termostatu regulator mocy grzejnej (2) należy przekręcić w pozycję maksymalnej mocy oznaczoną liczbą 10.
3. Po osiągnięciu zadanej temperatury stabilizacji zalecane jest obniżenie mocy grzejnej (do poziomu ok. 3-5).
4. Chłodzenie termostatu wymaga ustawienia przełącznika (1) w pozycję - **chłodzenie** i otwarcia zaworu doprowadzającego do termostatu wodę chłodzącą.
5. Po zakończeniu pomiarów przełącznik (1) ustawia się w pozycji – **wyłączenie** i zamyka zawór wodny.

## V. LITERATURA UZUPEŁNIAJĄCA

Blinowski J., Trylski J., Fizyka dla kandydatów na wyższe uczelnie, Wydanie VIII. PWN,  
Warszawa 1983

Bolton W., Zarys fizyki, PWN, Warszawa 1988

Buszmanow B.N., Chronow J.A., Wstęp do fizyki ciała stałego, Warszawa 1973. s.98-100

Chyla K., Fizyka dla ZSZ, Wydanie trzecie, WSziP, Warszawa 1991. s.113-121

Dryński T., Doświadczenia pokazowe z fizyki, PWN, Warszawa 1964

Encyklopedia Fizyki, Tom 3, PWN, Warszawa 1974, s.249

Halliday D., Resnick R., Fizyka Tom 1, PWN, Warszawa 1975, s.641-647

Herman M., Kalestyński A., Widomski L., Podstawy fizyki dla kandydatów na wyższe uczelnie,  
PWN, Warszawa 1984, s.468

Gabrylewski E., Fizyka dla klasy I liceum ogólnokształcącego, technikum i liceum zawodowego,  
PZWS, Warszawa 1973, s.217-224

Jeżewski M., Kalisz J., Tablice wielkości fizycznych oraz pomocnicze tablice matematyczne,  
PWN, Warszawa 1957

Szczeniowski S., Fizyka Doświadczalna, Tom II, PWN, Warszawa 1976, s.15-26; 347-349

Wert Ch.A., Thompson R.M., Fizyka ciała stałego, PWN, Warszawa 1974. s.40