

R. Borc, A. Dudziak, M. Gospodarek, A. Jaśkowska, A. Wardak

MECHANIKA, TERMODYNAMIKA I FIZYKA CZĄSTECZKOWA

Instrukcje wykonania zadań na zajęciach laboratoryjnych z fizyki

Zestaw instrukcji przygotowano na podstawie skryptu PL:

Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Mechanika, termodynamika i fizyka cząsteczkowa,
M. Bobyk, H. Goebel, W. Gustaw, red. E. Śpiewła, Wydawnictwa Uczelniane PL,
Lublin 1995.

SPIS TREŚCI:

<u>MC 1.1. Wyznaczanie gęstości ciał stałych o kształtach nieregularnych metodą hydrostatyczną</u>	<u>3</u>
<u>MC 1.2.a. Wyznaczanie gęstości cieczy metodą hydrostatyczną</u>	<u>5</u>
<u>MC 1.2.b. Wyznaczanie gęstości cieczy metodą ciała pływającego</u>	<u>7</u>
<u>MC 1.3. Wyznaczanie gęstości powietrza</u>	<u>9</u>
<u>MC 2.1. Badanie ruchu jednostajnie przyspieszonego przy pomocy przyrządu Atwooda</u>	<u>12</u>
<u>MC 2.2. Wyznaczanie przyspieszenia ziemskiego przy pomocy przyrządu Atwooda</u>	<u>14</u>
<u>MC 2.3. Wyznaczanie przyspieszenia ziemskiego przy pomocy spadkownicy</u>	<u>16</u>
<u>MC 3.1. Wyznaczanie modułu Younga metodą jednostronnego rozciągania</u>	<u>18</u>
<u>MC 3.2. Wyznaczanie modułu Younga z ugięcia</u>	<u>21</u>
<u>MC 3.3. Wyznaczanie modułu sprężystości postaci metodą statyczną</u>	<u>23</u>
<u>MC 3.4. Wyznaczanie modułu sprężystości postaci za pomocą wahadła torsyjnego</u>	<u>25</u>
<u>MC 4.1. Badanie ruchu wahadła sprężynowego – sprawdzenie wzoru na okres drgań</u>	<u>27</u>
<u>MC 4.2. Wyznaczanie przyspieszenia ziemskiego przy pomocy wahadła prostego</u>	<u>29</u>
<u>MC 4.3. Wyznaczanie przyspieszenia ziemskiego za pomocą wahadła różnicowego</u>	<u>31</u>
<u>MC 4.4. Wyznaczanie przyspieszenia ziemskiego przy pomocy wahadła fizycznego</u>	<u>33</u>
<u>MC 5.1. Wyznaczanie prędkości fal akustycznych w ciałach stałych metodą rury Kundta</u>	<u>36</u>
<u>MC 5.2. Wyznaczanie prędkości fali głosowej metodą rezonansu</u>	<u>38</u>
<u>MC 5.3. Wyznaczanie prędkości fali głosowej metodą interferencji</u>	<u>40</u>
<u>MC 6.1. Sprawdzanie drugiej zasady dynamiki ruchu obrotowego</u>	<u>42</u>
<u>MC 6.2. Wyznaczanie momentu bezwładności brył sztywnych metodą trójnitkowego zawieszenia</u>	<u>45</u>
<u>MC 6.3. Wyznaczanie momentu bezwładności brył nieregularnych</u>	<u>47</u>
<u>MC 6.4. Sprawdzanie prawa Steinera</u>	<u>49</u>
<u>MC 7.2. Wyznaczanie wilgotności powietrza psychometrem Assmanna</u>	<u>51</u>
<u>MC 8.1. Wyznaczanie współczynnika napięcia powierzchniowego cieczy metodą kapilary pionowej</u>	<u>54</u>
<u>MC 8.2. Wyznaczanie współczynnika napięcia powierzchniowego cieczy za pomocą stalagmometru</u>	<u>56</u>
<u>MC 9.1. Wyznaczanie współczynnika lepkości dynamicznej metodą Stokes'a</u>	<u>59</u>
<u>MC 9.2. Wyznaczanie współczynnika lepkości metodą Ostwalda</u>	<u>61</u>
<u>MC 10.1. Wyznaczanie współczynnika rozszerzalności liniowej i objętościowej ciał stałych</u>	<u>64</u>
<u>MC 10.2. Wyznaczanie współczynnika rozszerzalności objętościowej cieczy</u>	<u>67</u>
<u>MC 11.1. Wyznaczanie współczynnika przewodnictwa cieplnego dla złych przewodników ciepła</u>	<u>70</u>
<u>MC 12.1. Wyznaczanie ciepła właściwego ciał stałych</u>	<u>73</u>
<u>MC 12.2. Wyznaczanie ciepła właściwego cieczy</u>	<u>76</u>
<u>MC 12.3. Wyznaczanie współczynnika $\kappa = c_p/c_v$ dla powietrza</u>	<u>79</u>
<u>MC 13.1. Wyznaczanie ciepła topnienia lodu</u>	<u>81</u>
<u>MC 13.2. Wyznaczanie ciepła parowania wody w temperaturze wrzenia</u>	<u>84</u>
<u>MC 14.1. Sprawdzenie słuszności I zasady termodynamiki przy pomocy kalorymetru elektrycznego</u>	<u>87</u>

MC 1.1. Wyznaczanie gęstości ciał stałych o kształtach nieregularnych metodą hydrostatyczną

INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Definicje i jednostki miary gęstości oraz ciężaru właściwego
2. Zależność gęstości ciał od temperatury
3. Siła wyporu hydrostatycznego; prawo Archimedesesa; ciężar pozorny w płynie
4. Metoda hydrostatyczna wyznaczania gęstości ciał z wyprowadzeniem ostatecznego wzoru włącznie

Literatura:

1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Mechanika, termodynamika i fizyka cząsteczkowa*, M. Bobyk, H. Goebel, W. Gustaw, red. E. Śpiewła, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1995.
2. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003, tom I.
3. B. Kuśmiderska, J. Meldizon, *Podstawy rachunku błędów w pracowni fizycznej*, red. E. Śpiewła, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1997.

Wartości podawane przez prowadzącego zajęcia:

Gęstość wody (ρ) w zależności od temperatury - patrz Tabela 1 poniżej.

Wykonanie zadania:



Rys. 1 Zestaw do badania gęstości ciał stałych metodą hydrostatyczną

1. Za pomocą pionu sprawdzić, czy waga ustawiona jest prawidłowo. Jeżeli tak nie jest, wyregulować wysokość nóżek, na których stoi waga.
2. Uruchomić wagę przez płynne i powolne przekręcenie w lewo odpowiedniego pokrętła znajdującego się u podstawy wagi. Uruchomienie wagi polega na zdjęciu belki wagi z podstawek uniemożliwiających jej ruch.
3. Sprawdzić położenie zerowe nieobciążonej wagi. Wahania wagi powinny być prawie jednakowe w prawo i lewo. Jeżeli „zero” wagi jest przesunięte, należy wyregulować wagę za pomocą śrubek, które znajdują się na obu końcach belki wagi. Czynności tej nie wykonywać samodzielnie. Jeżeli waga nie jest wyregulowana, należy zwrócić się do prowadzącego zajęcia.
4. Unieruchomić wagę przez przekręcenie pokrętła w prawo.
5. Ustawić nad lewą szalką specjalną ławeczkę tak, by nie dotykała szalki wagi.
6. Zawiesić za pomocą cienkiego drucika badane ciało na uchwycie szalki. Długość drucika dobrać tak, by po uruchomieniu i zrównoważeniu wagi ciało nie dotykało zlewki i mogło później być całkowicie zanurzone (pkt. 8).
7. Wyznaczyć m_1 – masę odważników równoważących badane ciało w powietrzu. Odważniki nakładać za pomocą pęsety. Odważniki gramowe powinny być nakładane przy unieruchomionej wadze.
8. Zlewkę z wodą destylowaną umieścić na ławeczce. Badane ciało powinno być całkowicie zanurzone.
9. Wyznaczyć m_2 – masę odważników równoważących badane ciało w wodzie.
10. Sprawdzić temperaturę na stanowisku i przyjmując, że temperatura wody nie różni się od temperatury otoczenia odczytać w Tabeli 1 gęstość wody w danej temperaturze - ρ .
11. Wyliczyć gęstość badanego ciała – ρ_1 z poniższego wzoru:

$$\rho_1 = \frac{m_1}{m_1 - m_2} \rho.$$

12. Oszacować bezwzględną i względną niepewność maksymalną gęstości badanego ciała – ρ_1 metodą różniczkowania. Za niepewność pomiaru masy przyjąć masę najmniejszego użytego odważnika. Gęstość wody ρ obarczona jest niepewnością wynikającą z niepewności pomiaru temperatury. Niepewność ta wprowadza jednak zaniedbywalny wkład w ostateczną niepewność. Wielkość ρ należy więc potraktować jako stałą nie obarczoną niepewnością pomiarową.

Autor instrukcji:

Anna Wardak

Temperatura [°C]	Gęstość [kg/m ³]
15	999,10
16	998,94
17	998,77
18	998,60
19	998,40
20	998,20
21	997,99
22	997,77
23	997,53
24	997,29
25	997,04
26	996,78
27	996,51
28	996,23
29	995,94
30	995,64

Tabela 1.
Gęstość wody w zależności od temperatury

MC 1.2.a. Wyznaczanie gęstości cieczy metodą hydrostatyczną

INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Definicje i jednostki miary gęstości oraz ciężaru właściwego
2. Zależność gęstości ciał od temperatury
3. Siła wyporu hydrostatycznego; prawo Archimedesesa; ciężar pozorny w płynie
4. Metoda hydrostatyczna wyznaczania gęstości cieczy z wyprowadzeniem ostatecznego wzoru włącznie

Literatura:

1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Mechanika, termodynamika i fizyka cząsteczkowa*, M. Bobyk, H. Goebel, W. Gustaw, red. E. Śpiewła, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1995.
2. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003, tom I.
3. B. Kuśmiderska, J. Meldizon, *Podstawy rachunku błędów w pracowni fizycznej*, red. E. Śpiewła, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1997.

Wartości podawane przez prowadzącego zajęcia:

Gęstość wody (ρ) w zależności od temperatury – patrz Tabela 1 poniżej.

Wykonanie zadania:



Rys. 1 Zestaw do badania gęstości cieczy metodą hydrostatyczną

1. Za pomocą pionu sprawdzić, czy waga ustawiona jest prawidłowo. Jeżeli tak nie jest, wyregulować wysokość nóżek, na których stoi waga.
2. Uruchomić wagę przez płynne i powolne przekręcenie w lewo odpowiedniego pokrętła znajdującego się u podstawy wagi. Uruchomienie wagi polega na zdjęciu belki wagi z podstawek uniemożliwiających jej ruch.
3. Sprawdzić położenie zerowe nieobciążonej wagi. Wahania wagi powinny być prawie jednakowe w prawo i lewo. Jeżeli „zero” wagi jest przesunięte, należy wyregulować wagę za pomocą śrubek, które znajdują się na obu końcach belki wagi. Czynności tej nie wykonywać samodzielnie. Jeżeli waga nie jest wyregulowana, należy zwrócić się do prowadzącego zajęcia.
4. Unieruchomić wagę przez przekręcenie pokrętła w prawo.
5. Ustawić nad lewą szalką specjalną ławeczkę tak, by nie dotykała szalki wagi.
6. Zawiesić za pomocą cienkiego drucika nurek na uchwycie szalki. Długość drucika dobrać tak, by po uruchomieniu i zrównoważeniu wagi nurek nie dotykał zlewki i mógł później być całkowicie zanurzony (pkt. 8 i 9).
7. Wyznaczyć m_1 – masę odważników równoważących nurek w powietrzu. Odważniki nakładać za pomocą pęsety. Odważniki gramowe powinny być nakładane przy unieruchomionej wadze.
8. Zlewkę z wodą destylowaną umieścić na ławeczce. Nurek powinien być całkowicie zanurzony.
9. Wyznaczyć m_2 – masę odważników równoważących nurek w wodzie.
10. Wyznaczyć m_3 – masę odważników równoważących nurek w badanej cieczy.
11. Sprawdzić temperaturę na stanowisku i przyjmując, że temperatura wody nie różni się od temperatury otoczenia odczytać w Tabeli 1 gęstość wody w danej temperaturze - ρ .
12. Wyliczyć gęstość badanej cieczy - ρ_x ze wzoru:

$$\rho_x = \frac{m_1 - m_3}{m_1 - m_2} \rho.$$

13. Oszacować bezwzględną i względną niepewność maksymalną gęstości badanej cieczy - ρ_x metodą różniczkowania. Za niepewność pomiaru masy przyjąć masę najmniejszego użytego odważnika. Gęstość wody ρ obarczona jest niepewnością wynikającą z niepewności pomiaru temperatury. Niepewność ta wprowadza jednak zaniedbywalny wkład w ostateczną niepewność. Wielkość ρ należy więc potraktować jako stałą nie obarczoną niepewnością pomiarową.

Autor instrukcji:

Anna Wardak

Temperatura [°C]	Gęstość [kg/m ³]
15	999,10
16	998,94
17	998,77
18	998,60
19	998,40
20	998,20
21	997,99
22	997,77
23	997,53
24	997,29
25	997,04
26	996,78
27	996,51
28	996,23
29	995,94
30	995,64

Tabela 1.
Gęstość wody w zależności od temperatury

MC 1.2.b. Wyznaczanie gęstości cieczy metodą ciała pływającego

INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Definicje i jednostki miary gęstości oraz ciężaru właściwego
2. Zależność gęstości ciał od temperatury
3. Siła wyporu hydrostatycznego; prawo Archimedesesa; pływanie ciał
4. Metoda ciała pływającego wyznaczania gęstości cieczy z wyprowadzeniem ostatecznego wzoru łącznie

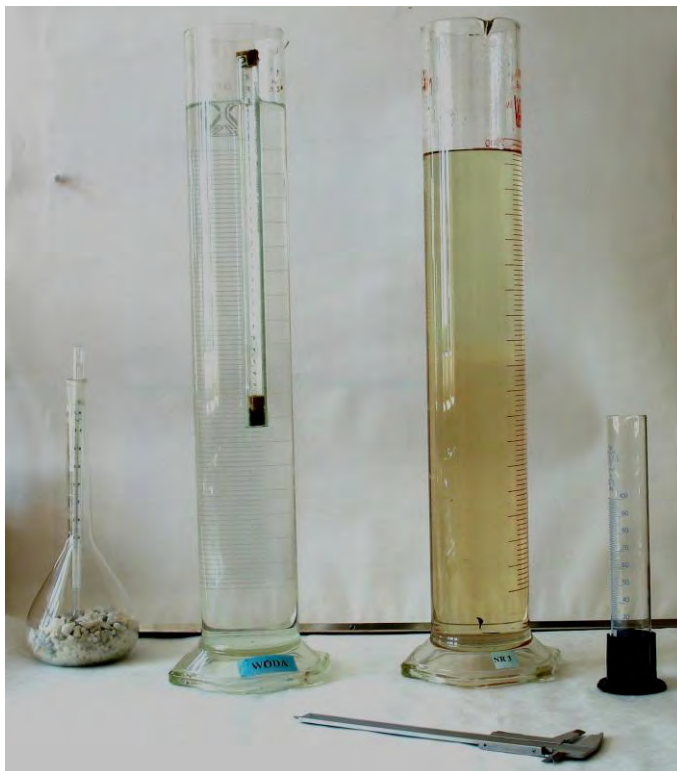
Literatura:

1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Mechanika, termodynamika i fizyka cząsteczkowa*, M. Bobyk, H. Goebel, W. Gustaw, red. E. Śpiewła, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1995.
2. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003, tom I.
3. B. Kuśmiderska, J. Meldizon, *Podstawy rachunku błędów w pracowni fizycznej*, red. E. Śpiewła, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1997.

Wartości podawane przez prowadzącego zajęcia:

Gęstość wody (ρ_1) w zależności od temperatury – patrz Tabela 1 poniżej.

Wykonanie zadania:



Rys. 1 Zestaw do badania gęstości cieczy metodą ciała pływającego

1. Do wykonania ćwiczenia używa się obciążonej śrutem próbówki z zamontowaną wewnątrz skalą.
2. Zmierzyć suwmiarką w kilku miejscach średnicę próbówki d . Obliczyć średnią arytmetyczną z uzyskanych wyników. Przyjąć, że średnica próbówki jest równa tej wartości.
3. Wyznaczyć V_0 – objętość części niekalibrowanej próbówki. W tym celu użyć kalibrowanego cylindra z wodą. Poziom wody na podziałce wskazuje objętość wody V_p . Zanurzyć próbówkę tak, by tylko część niekalibrowana znajdowała się w wodzie. Wskazanie V_k odpowiada sumie objętości V_p i objętości V_0 . Wobec tego: $V_0 = V_k - V_p$.
4. Zanurzyć próbówkę w cylindrze z wodą destylowaną. Probówka powinna pływać w pozycji pionowej. Odczytać z zamontowanej skali poziom zanurzenia próbówki h_1 .
5. Wyjąć i osuszyć próbówkę.
6. Włożyć próbówkę do cylindra z badaną cieczą i odczytać poziom zanurzenia próbówki h_2 .
7. Na termometrze znajdującym się na stanowisku pomiarowym odczytać temperaturę.
8. Z Tabeli 1 odczytać gęstość wody w danej temperaturze ρ_1 .
9. Wyliczyć gęstość badanej cieczy - ρ_2 z poniższego wzoru:

$$\rho_2 = \frac{4V_0 + \pi d^2 h_1}{4V_0 + \pi d^2 h_2} \rho_1$$

10. Oszacować bezwzględną i względną niepewność maksymalną gęstości badanej cieczy ρ_2 metodą różniczkowania. Za niepewność pomiarów Δh_1 i Δh_2 przyjąć wartość działki elementarnej skali próbówki. Za niepewność pomiaru średnicy Δd przyjąć największe odchylenie od wartości średniej. Za niepewność pomiaru objętości ΔV_0 przyjąć wartość 2 działek elementarnych skali cylindra lub wartość 1 działki, jeśli odczytów dokonywano z dokładnością do połowy działki. Gęstość wody ρ_1 obarczona jest niepewnością wynikającą z niepewności pomiaru temperatury. Niepewność ta wprowadza jednak zanedbywalny wkład w ostateczną niepewność. Wielkość ρ_1 należy więc potraktować jako stałą nie obarczoną niepewnością pomiarową.

Tabela 1. Gęstość wody w zależności od temperatury

Temperatura [°C]	Gęstość [kg/m ³]
15	999,10
16	998,94
17	998,77
18	998,60
19	998,40
20	998,20
21	997,99
22	997,77
23	997,53
24	997,29
25	997,04
26	996,78
27	996,51
28	996,23
29	995,94
30	995,64

Autor instrukcji:
Anna Wardak

MC 1.3. Wyznaczanie gęstości powietrza

INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Definicje i jednostki miary gęstości i oraz ciężaru właściwego
2. Równanie stanu gazu doskonałego
3. Zależność gęstości gazu od temperatury i ciśnienia
4. Metoda wyznaczania gęstości gazu z wyprowadzeniem ostatecznego wzoru włącznie

Literatura:

1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Mechanika, termodynamika i fizyka cząsteczkowa*, M. Bobyk, H. Goebel, W. Gustaw, red. E. Śpiewła, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1995.
2. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003, tom II.
3. B. Kuśmiderska, J. Meldizon, *Podstawy rachunku błędów w pracowni fizycznej*, red. E. Śpiewła, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1997.

Wartości podawane przez prowadzącego zajęcia:

Objętość kolby: $V = 4,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$

Gęstość rtęci (ρ_T) w zależności od temperatury – patrz Tabela 1 poniżej.

Wykonanie zadania:



Rys. 1 Układ do pomiaru gęstości powietrza

Uwaga!

Przy manipulacji kranami należy je lekko dociskać do podłoża.

1. Obrócić delikatnie szlifem S w prawo i w lewo lekko dociskając obie części złącza do siebie. Dzięki temu uzyska się właściwą szczelność aparatury.
2. Otworzyć krany 1, 3, 4.
3. Kran 2 ustawić w pozycji: czerwone w dół. W takim układzie kolba połączona jest z pompą.
4. Zamknąć kran 5.
5. Włączyć pompę czerwonym przyciskiem na tablicy zamontowanej na ścianie. Obserwować zmianę poziomów rtęci w manometrze. Pompować, aż różnica poziomów rtęci osiągnie wartość około 5 mm.
6. Zamknąć kran 1 i odczytać h – różnicę poziomów rtęci w manometrze.
7. Zamknąć kran 4.
8. Wyłączyć pompę czerwonym przyciskiem na tablicy.
9. Otworzyć kran 5.
10. Bardzo powoli obrócić kran 2 w pozycję: czerwone prawo-skośnie w górę. Przy takim ustawieniu powietrze przez układ suszek dostaje się do aparatury.
11. Zamknąć kran 3.
12. Odłączyć kolbę od aparatury. Kolba z aparaturą połączone są szlifem stożkowym S.
13. Zważyć kolbę z rozrzedzonym powietrzem by wyznaczyć masę M_2 .
14. Zamknąć kran 5.
15. Kran 2 ustawić w pozycji: czerwone w dół.
16. Połączyć kolbę z aparaturą szlifem S.
17. Powoli otworzyć krany: 3, 4 i 5.
18. Kran 2 bardzo powoli ustawić w pozycji: czerwone prawo-skośnie w górę. Przy takim ustawieniu kolba będzie się napeniać suchym powietrzem. Aby ciśnienie w kolbie zrównało się z ciśnieniem atmosferycznym należy odczekać około 5 min.
19. Zamknąć krany: 3, 4 i 5.
20. Odłączyć kolbę od aparatury.
21. Zważyć kolbę z suchym powietrzem by wyznaczyć masę M_1 .
22. Na termometrze znajdującym się na stanowisku pomiarowym odczytać t – temperaturę w skali Celsjusza.
23. Na barometrze rtęciowym wiszącym na ścianie obok szafy odczytać h_T – wysokość słupa rtęci.
24. Znając h_T oraz t – temperaturę otoczenia, odczytać z tablicy wiszącej obok barometru poprawkę uwzględniającą rozszerzalność rtęci.
25. Odjąć od h_T poprawkę, by wyznaczyć h_0 – zredukowaną wysokość słupa rtęci.
26. Ciśnienie atmosferyczne p_1 wyrazić w paskalach: $p_1 = h_0 \cdot 133,37 \text{ Pa}$ (1mmHg = 133,37 Pa).
27. Temperaturę T wyrazić w skali Kelwina : $T = (273,15 + t) \text{ K}$.
28. Wyliczyć gęstość powietrza w warunkach normalnych ze wzoru:

$$\rho_0 = \frac{(M_1 - M_2)p_0 T}{V(p_1 - \rho_T g h)T_0}$$

Przyspieszenie ziemskie: $g = 9,81 \text{ ms}^{-2}$

Temperatura normalna: $T_0 = 273,15 \text{ K}$

Ciśnienie normalne: $p_0 = 101325 \text{ Pa}$

29. Oszacować bezwzględną i względną niepewność maksymalną gęstości powietrza metodą różniczkowania. Przyczyną niepewności wyniku końcowego jest niepewność pomiarów: M_1 , M_2 , h_T , h , t , p_1 . Przyjąć, że niepewność pomiaru masy równa jest masie najmniejszego użytego odważnika. Niepewność p_1 wynika wyłącznie z niepewności pomiaru h_T i równa jest wartości odpowiadającej działce elementarnej skali barometru, tj. $\Delta p_1 = 133,37 \text{ Pa}$. Wkład poprawki wprowadzonej przy wyznaczaniu ciśnienia jest nieznaczący i można go zaniedbać.

Za niepewność pomiaru różnicy poziomów rtęci w manometrze Δh przyjąć wartość jednej działki elementarnej skali manometru. Za niepewność pomiaru temperatury przyjąć wartość jednej działki elementarnej skali termometru. Wielkości: T_0 , p_0 , g , ρ_T , V potraktować jako stałe nie obciążone niepewnością pomiaru.

Tabela 1. Gęstość rtęci w zależności od temperatury

Temperatura [°C]	Gęstość [kg/m ³]
15	13558,0
16	13555,6
17	13553,1
18	13550,7
19	13548,2
20	13545,7
21	13543,3
22	13540,8
23	13538,4
24	13535,9
25	13533,5
26	13531,0
27	13528,6
28	13501,6
29	13490,2
30	13521,2

Autor instrukcji:

Anna Wardak

MC 2.1. Badanie ruchu jednostajnie przyspieszonego przy pomocy przyrządu Atwooda

INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

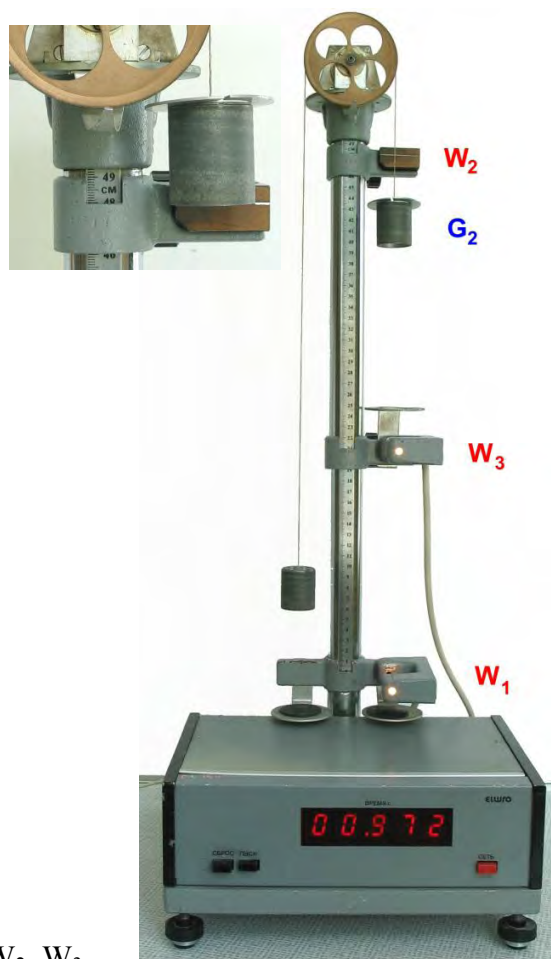
1. Rodzaje ruchów i wielkości opisujące ruch
2. Własności ruchu jednostajnie zmiennego
3. Zasady dynamiki Newtona
4. Budowa i zasada działania przyrządu Atwooda

Literatura:

1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Mechanika, termodynamika i fizyka cząsteczkowa*, M. Bobyk, H. Goebel, W. Gustaw, red. E. Śpiewła, Wydawnictwo Uczelniane PL, Lublin 1995.
2. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003, tom I.
3. B. Kuśmiderska, J. Meldizon, *Podstawy rachunku błędów w pracowni fizycznej*, red. E. Śpiewła, Wydawnictwo Uczelniane PL, Lublin 1997.

Wykonanie zadania:

1. Włączyć przycisk „Sieć” przyrządu Atwooda.
2. Ustawić wsporniki W_1 i W_2 w skrajnych położeniach, tj. 0 cm i 48 cm.
3. Ustawić wspornik W_3 w położeniu 30 cm. Wówczas $s = 18$ cm (różnica położenia W_2 i W_3) i $s' = 30$ cm (różnica położenia W_3 i W_1).
4. Zwolnić blokadę bloczka (ПІУС) i umieścić ciężarek G_2 w górnym położeniu równo z zaznaczoną linią (Rys. 1 powiększenie).
5. Włączyć blokadę bloczka (ПІУС) i na ciężarek G_2 położyć pierścień obciążający otrzymany od prowadzącego zajęcia.
6. Wyzerować milisekundomierz (СБРОС).
7. Zwolnić blokadę bloczka (ПІУС). Przyrząd zmierzy czas ruchu ciężarka G_2 pomiędzy wspornikami W_3 i W_1 , w środku których znajdują się fotokomórki. Jednocześnie na wsporniku W_3 z ciężarka G_2 zdjęty zostanie pierścień obciążający.
8. Odczytać wskazania milisekundomierza.
9. Wyzerować milisekundomierz (СБРОС).
10. Pomiary powtórzyć 4-krotnie.



Rys. 1 Przyrząd Atwooda; W_1, W_2, W_3 – wsporniki, G_2 – ciężarek

11. Zmieniać położenie wspornika W_3 co 2 cm w dół i powtarzać pomiary jak w pkt. 4-10. Ostatni pomiar wykonać dla $s = 30$ cm.
12. Wyłączyć przyrząd Atwooda.

13. Wyniki opracować rysując wykres zależności $v^2(s)$, gdzie

$$v = s'/t' \quad \text{– prędkość ruchu jednostajnego,}$$
$$s' \text{ – droga w ruchu jednostajnym (różnica położeń } W_3 \text{ i } W_1),$$
$$s \text{ – droga w ruchu przyspieszonym (różnica położeń } W_2 \text{ i } W_3),$$
$$t' \text{ – czas ruchu jednostajnego.}$$

14. Następnie metodą najmniejszych kwadratów wyznaczyć równanie prostej (przyjąć osie $x = s$, $y = v^2$), w szczególności współczynnik kierunkowy A i jego niedokładność ΔA , oraz współczynnik korelacji. Przyspieszenie a w ruchu jednostajnie przyspieszonym i jego niedokładność wyznaczyć ze związku:

$$A = 2a.$$

Autor instrukcji:

Andrzej Dudziak

MC 2.2. Wyznaczanie przyspieszenia ziemskiego przy pomocy przyrządu Atwooda

INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Rodzaje ruchów i wielkości opisujące ruch
2. Własności ruchu jednostajnie zmiennego
3. Zasady dynamiki dla ruchu postępowego i obrotowego
4. Oddziaływania grawitacyjne, przyspieszenie ziemskie
5. Budowa i zasada działania przyrządu Atwooda

Literatura:

1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Mechanika, termodynamika i fizyka cząsteczkowa*, M. Bobyk, H. Goebel, W. Gustaw, red. E. Śpiewła, Wydawnictwo Uczelniane PL, Lublin 1995.
2. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003, tom I i II.
3. B. Kuśmiderska, J. Meldizon, *Podstawy rachunku błędów w pracowni fizycznej*, red. E. Śpiewła, Wydawnictwo Uczelniane PL, Lublin 1997.

Wartości podawane przez prowadzącego zajęcia:

Dane przyrządu Atwooda:

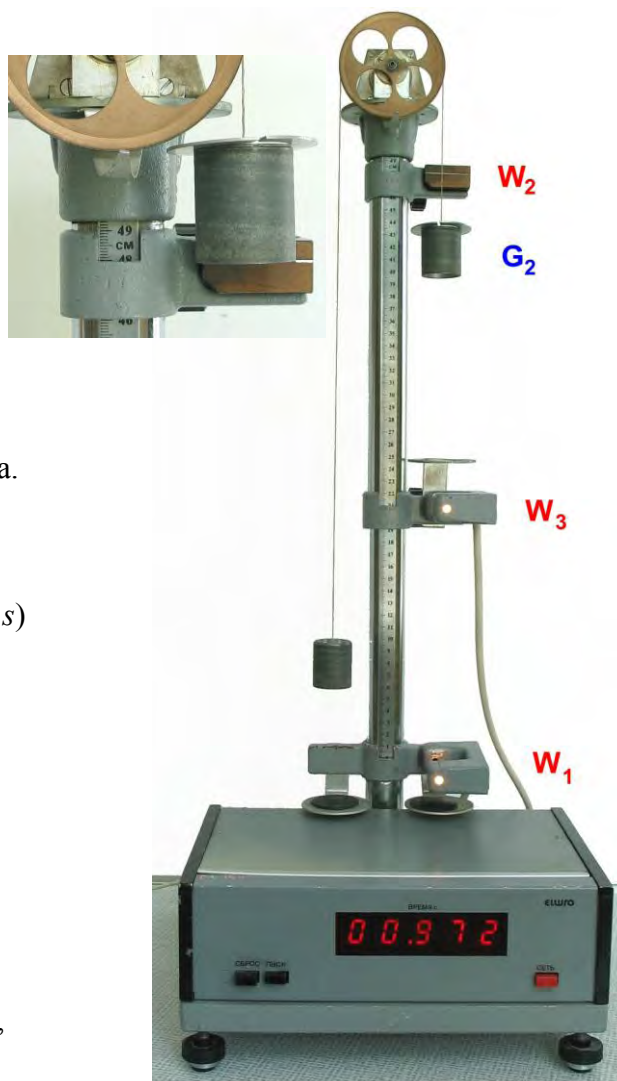
$$2M = 0,12634 \text{ kg}$$

$$I/r^2 = 0,01711 \text{ kg}$$

Wykonanie zadania:

1. Zważyć obciążniki w kształcie pierścieni otrzymane od prowadzącego (m)
2. Włączyć przycisk „Sieć” przyrządu Atwooda.
3. Ustawić wsporniki W_1 i W_2 w skrajnych położeniach, tj. 0 cm i 48 cm.
4. Ustawić wspornik W_3 w środkowej części kolumny, aby odległość W_2 do W_3 (wartość s) mieściła się w przedziale 18-30 cm.
5. Zwolnić blokadę bloczka (ПYCK) i umieścić ciężarek G_2 w górnym położeniu (Rys.1 powiększenie).
6. Włączyć blokadę bloczka (ПYCK) i na ciężarek G_2 położyć pierścień obciążający.
7. Wyzerować milisekundomierz (СБРОС).

Rys. 1 Przyrząd Atwooda; W_1 , W_2 , W_3 – wsporniki, G_2 – ciężarek z dodatkowym pierścieniem



8. Zwolnić blokadę bloczka (ПІУСЬК). Przyrząd zmierzy czas ruchu ciężarka G_2 pomiędzy wspornikami W_3 i W_1 , w środku których znajdują się fotokomórki. Jednocześnie na wsporniku W_3 (Rys. 2) z ciężarka G_2 zdjęty zostanie pierścień obciążający.



Rys. 2 Wspornik W_3 przyrządu Atwooda

9. Odczytać wskazania milisekundomierza.
10. Wyzerować milisekundomierz (СБРОС).
11. Pomiary powtórzyć 5-krotnie (dla danego s i m).
12. Zmieniając położenie wspornika W_3 , powtórzyć pomiary dla kilku wartości s z przedziału 18-30 cm - jak w pkt. 5-11.
13. Powtórzyć pomiary dla wcześniej wybranych wartości s dla pozostałych pierścieni obciążających.
14. Wyłączyć przyrząd Atwooda.
15. Wartość przyspieszenia ziemskiego wyznaczyć ze wzoru:

$$g = \frac{2M + m + \frac{I}{r^2}}{2m} \cdot \frac{(s')^2}{s \cdot (t')^2}, \quad (1)$$

gdzie:

- m – masa pierścienia obciążającego,
- s' – droga w ruchu jednostajnym (różnica położeń W_3 i W_1),
- s – droga w ruchu przyspieszonym (różnica położeń W_2 i W_3),
- t' – czas ruchu jednostajnego.

16. Niepewność wyznaczenia przyspieszenia ziemskiego należy oszacować metodą różniczkowania wzoru (1), przy czym wielkości M oraz I/r^2 należy przyjąć za stałe. Za niepewność wyznaczenia masy pierścienia obciążającego Δm – przyjąć masę najmniejszego użytego odważnika, dróg Δs i $\Delta s'$ – 2 mm, czasu $\Delta t'$ – największe odchylenie od wartości średniej pomiarów czasu dla ustalonych wartości m , s , i s' .

Uwaga: Jeśli prowadzący zajęcia zaleci wykonanie rachunku błędów metodą Gaussa, należy przy ustalonych wartościach m , s , i s' zmierzyć czas t' 30-krotnie.

Autor instrukcji:

Andrzej Dudziak

MC 2.3. Wyznaczanie przyspieszenia ziemskiego przy pomocy spadkownicy

INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Rodzaje ruchów i wielkości opisujące ruch
2. Własności ruchu jednostajnie zmiennego, spadek swobodny
3. Oddziaływanie grawitacyjne, przyspieszenie ziemskie
4. Metoda pomiaru przyspieszenia przy pomocy spadkownicy

Literatura:

1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Mechanika, termodynamika i fizyka cząsteczkowa*, M. Bobyk, H. Goebel, W. Gustaw, red. E. Śpiewła, Wydawnictwo Uczelniane PL, Lublin 1995.
2. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003, tom I i II.
3. A.K. Wróblewski, J.A. Zakrzewski, *Wstęp do fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1991, tom I.
4. B. Kuśmiderska, J. Meldizon, *Podstawy rachunku błędów w pracowni fizycznej*, red. E. Śpiewła, Wydawnictwo Uczelniane PL, Lublin 1997.

Wykonanie zadania:

1. Pokryć szklaną płytkę cienką warstwą sadzy, przesuwając ją kilkakrotnie nad płomieniem świecy.
2. Umieścić płytkę w spadkownicy (okopconą stroną do siebie) i zablokować ją za pomocą uchwyty U (Rys. 1).
3. Przesunąć wibrator (Rys. 2) do płytki tak, aby włos lekko dotykał powierzchni pokrytej sadzą.



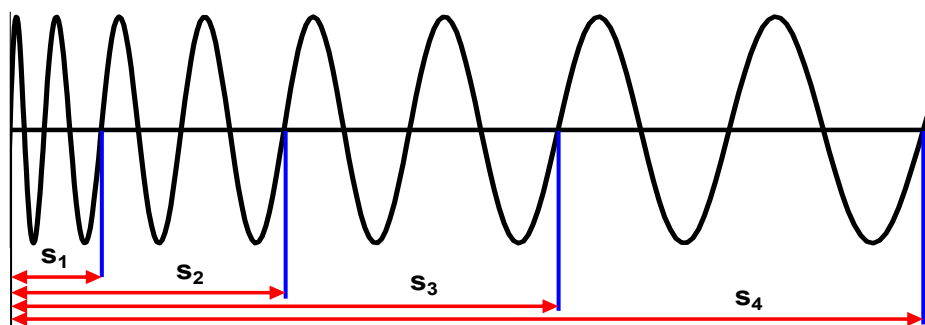
Rys. 2 Przesuwany wibrator elektromagnetyczny

4. Podłączyć wibrator do tablicy zasilającej – włos zaczyna drgać.
5. Zwolnić płytkę naciskając uchwyt U – płytka spada swobodnie.
6. Umieścić płytkę na podstawkach i zaznaczyć odcinki $s_1, s_2, s_3...$ zgodnie z Rys. 3. (Na rysunku zaznaczono drogi przebyte w przedziałach czasu $2T, 4T, 6T$ i $8T$, gdzie T – okres drgań prądu).



Rys. 1 Spadkownica

7. Położyć płytkę stroną okopconą do dołu i przyziarem liniowym zmierzyć odpowiednie długości dróg.



Rys. 3 Linia wykreślona na spadającej płytce przez włos wibratora

8. Częstotliwość prądu odczytać na częstotliciemierzu po podłączeniu go do zasilania (Rys. 4).



Rys. 4 Częstotliciemierz

9. Powtórzyć pomiary kilkakrotnie, a po zakończeniu pomiarów umyć płytkę.
10. Wartość przyspieszenia ziemskiego dla poszczególnych dróg wyznaczyć ze wzoru:

$$g = \frac{\Delta s'_k}{t^2} = \frac{\Delta s'_k}{(2T)^2} = \frac{\Delta s'_k \cdot f^2}{2^2} \quad k = 1, 2, 3, \dots$$

Oznaczenia:

- $t=2T=2/f$ - przedział czasu,
- f - częstotliwość prądu,
- s_1, s_2, s_3, \dots - drogi przebyte w jednym, dwóch, trzech przedziałach czasu (Rys. 3),
- $s'_1 = s_1$ - droga przebyta w pierwszym przedziale czasu,
- $s'_2 = s_2 - s_1$ - droga przebyta w drugim przedziale czasu,
- $s'_3 = s_3 - s_2$ - droga przebyta w trzecim przedziale czasu,
- $s'_4 = s_4 - s_3$ - droga przebyta w czwartym przedziale czasu,
- $\Delta s'_k$ - przyrosty dróg przebytych w kolejnych jednakowych przedziałach czasu:
 $\Delta s'_1 = s'_2 - s'_1 \quad \Delta s'_2 = s'_3 - s'_2 \quad \Delta s'_3 = s'_4 - s'_3$

11. Niepewność wyznaczenia przyspieszenia ziemskiego należy oszacować metodą różniczkowania. Należy przyjąć: niepewność pomiaru częstotliwości $\Delta f = 0,5 \text{ Hz}$, zaś niepewność wyznaczenia przyrostów dróg $\Delta(\Delta s'_k) = 4 \cdot \Delta x$ (gdzie Δx – niedokładność użytego przyziaru liniowego).

Autor instrukcji:

Andrzej Dudziak

MC 3.1. Wyznaczanie modułu Younga metodą jednostronnego rozciągania

INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Podział ciał stałych ze względu na rozmieszczenie atomów w przestrzeni
2. Pojęcie struktury krystalicznej, bazy i sieci
3. Defekty strukturalne kryształów
4. Rodzaje odkształceń
5. Pojęcie odkształcenia względnego i naprężenia
6. Prawo Hooke'a
7. Zależność odkształcenia względnego w funkcji naprężenia dla próbki walcowej ze stali miękkiej
8. Wyznaczanie modułu Younga metodą jednostronnego rozciągania

Literatura:

1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Mechanika, termodynamika i fizyka cząsteczkowa*, M. Bobyk, H. Goebel, W. Gustaw, red. E. Śpiewła, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1995.
2. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003, tom II.
3. J. R. Taylor, *Wstęp do analizy błęd pomiarowego*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1999.

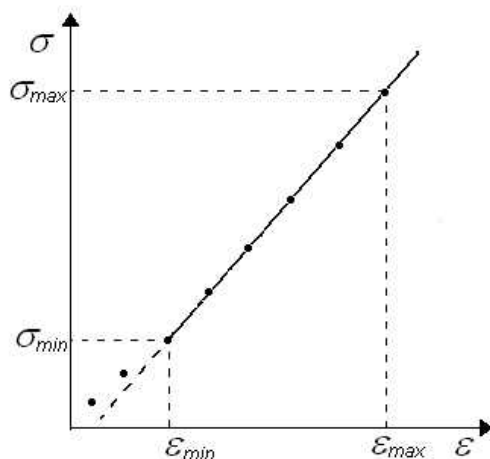
Wykonanie zadania:

1. Za pomocą zawlecзки zamocować górnym końcem badany pręt (druć) do wspornika W zamocowanego w ścianie (patrz Rys. 2).
2. Dolny koniec pręta zamocować (za pomocą cieńszej zawlecзки) do metalowego elementu P_0 , na który będą nakładane obciążniki P_i .
3. Metalowe ramię R_1 ustawić tak, żeby badany pręt był ukierunkowany idealnie pionowo.
4. Do ramienia R_2 (umieszczonego poniżej R_1) zamocować mikromierz M , tak ażeby jego ruchomy trzpień stykał się z dolnym końcem elementu P_0 .
5. Za pomocą przymiaru liniowego (zamocowanego na ścianie obok prętów) zmierzyć długość początkową l_0 badanego pręta.
6. Za pomocą śruby mikrometrycznej dokonywać pomiarów średnicy pręta d (15 – 20 pomiarów w różnych miejscach na kierunkach wzajemnie prostopadłych) wyznaczając d_{sr} .
7. Wyzerować mikromierz.
8. Zdjąć pierwszy obciążnik P_1 ze wspornika W i umieścić go na elemencie P_0 .
9. Dokonać odczytu zmiany długości Δl_1 na skali mikromierza.
10. Zdjąć drugi obciążnik P_2 ze wspornika W i umieścić go na obciążniku P_1 umieszczonym uprzednio na elemencie P_0 .
11. Dokonać odczytu Δl_2 na mikromierzu (począwszy od położenia początkowego).
12. Postępować analogicznie z następnymi obciążnikami (liczbę obciążników podaje prowadzący ćwiczenia).
13. Pomiarów dokonać również dla zmniejszanego obciążenia (obciążniki P_i zdejmować z elementu P_0 i wkładać na wspornik W).
14. Zważyć zastosowane obciążniki.
15. Obliczyć wartości naprężenia σ_i oraz odkształcenia względnego ε_i dla poszczególnych obciążeń wg wzorów:

$$(1) \quad \sigma_i = \frac{4m_i g}{\pi d_{sr}^2} \left[\frac{N}{m^2} \right] \left[\frac{kg}{m \cdot s^2} \right] \quad \text{oraz} \quad \varepsilon_i = \frac{\Delta l_i}{l_0},$$

gdzie: m_i – masy obciążające badany pręt w kilogramach, g – przyspieszenie ziemskie ($9,81 \text{ m/s}^2$), d_{sr} – średnia średnica pręta w metrach, Δl_i – przyrosty długości pręta w metrach, l_0 – długość początkowa pręta w metrach.

16. Na podstawie obliczonych wartości σ_i i ε_i wykonać wykres $\sigma = f(\varepsilon)$ (Rys. 1). Wartości σ_{min} i ε_{min} oraz σ_{max} i ε_{max} wyznaczyć z prostoliniowej części charakterystyki.



Rys. 1 Rzeczywista zależność między naprężeniem i odkształceniem dla odkształceń proporcjonalnych

Na podstawie wykresu (zgodnie z Rys. 1) obliczyć moduł Younga E dla badanego pręta wg wzoru:

$$(2) \quad E = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{\varepsilon_{max} - \varepsilon_{min}} \left[\frac{N}{m^2} \right].$$

17. Oceny maksymalnej niepewności pomiaru modułu Younga można dokonać metodą różniczkowania, wykorzystując zależność (2), gdzie po podstawieniu zależności (1) mamy ostatecznie:

$$(3) \quad E = \frac{4gl_0 \Delta m}{\pi d^2 \Delta l} \quad \text{gdzie} \quad \Delta m = m_{max} - m_{min} \quad \text{oraz} \quad \Delta l = l_{max} - l_{min}.$$

Za maksymalne bezwzględne niepewności występujące we wzorze (3) przyjmując: Δl_0 – niepewność odczytu z przymiaru liniowego, Δd – największe odchylenie od wartości średniej plus najmniejsza działka na skali śruby mikrometrycznej, $\Delta(\Delta m)$ – podwójna wartość niepewności wyznaczenia masy obciążników, $\Delta(\Delta l)$ – podwójna wartość niepewności odczytu na mikromierzu plus największe odchylenie od wartości średniej, jeśli pomiar był powtarzany przy takim samym obciążeniu.

Uwaga: Oceny niepewności pomiaru modułu Younga można dokonać także metodą najmniejszych kwadratów dla punktów leżących na prostoliniowej części charakterystyki.



Rys. 2 Fotografia przedstawiająca stanowisko pomiarowe. Oznaczenia: W – wspornik, P_i – obciążniki, P_0 - metalowy element służący do nakładania obciążników, R_1 - metalowe ramię służące do pionowego ukierunkowania badanego pręta, M – mikromierz, R_2 - metalowe ramię służące do zamocowania mikromierza

Autor instrukcji:

Robert Borc

MC 3.2. Wyznaczanie modułu Younga z ugięcia

INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Podział ciał stałych ze względu na rozmieszczenie atomów w przestrzeni
2. Pojęcie struktury krystalicznej, bazy i sieci
3. Defekty strukturalne kryształów
4. Rodzaje odkształceń
5. Pojęcie odkształcenia względnego i naprężenia
6. Prawo Hooke'a
7. Wyznaczanie modułu Younga z ugięcia

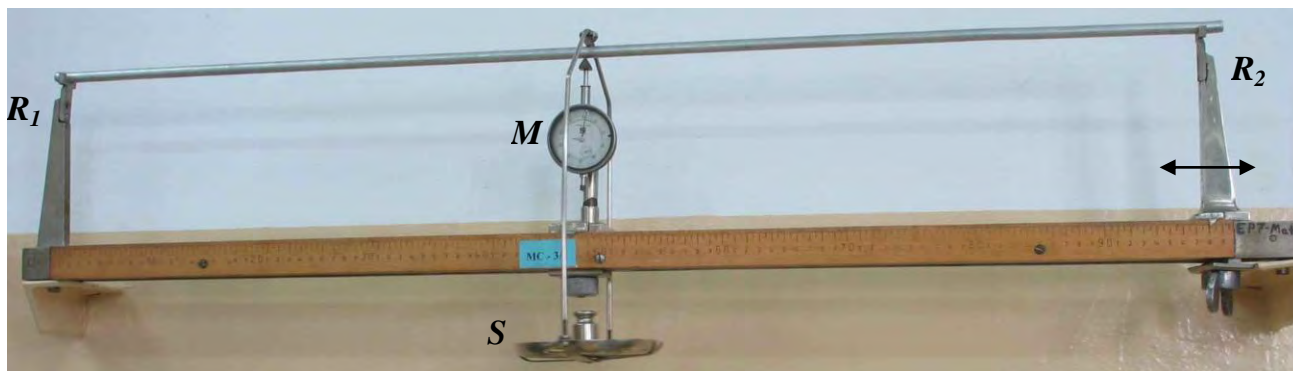
Literatura:

1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Mechanika, termodynamika i fizyka cząsteczkowa*, M. Bobyk, H. Goebel, W. Gustaw, red. E. Śpiewła, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1995.
2. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003, tom II.
3. J. R. Taylor, *Wstęp do analizy błęd pomiarowego*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1999.

Wartości podawane przez prowadzącego zajęcia:

Ciężar szalki: $P_0 = 1,5818 \text{ N}$

Wykonanie zadania:



Rys. 1 Fotografia przedstawiająca stanowisko pomiarowe. Oznaczenia: M – mikromierz, S – szalka, R_1 – stalowy pryzmat, R_2 – stalowy pryzmat o regulowanym położeniu

1. Za pomocą śruby mikrometrycznej dokonać pomiarów: - dla pręta o przekroju kołowym np. 15 – 20 pomiarów średnicy w różnych miejscach na kierunkach wzajemnie prostopadłych, - dla pręta o przekroju prostokątnym długości boków a i b np. co 5 cm wzdłuż boku a i wzdłuż boku b . Jako wynik końcowy przyjąć średnią arytmetyczną wyników pomiarów.
2. Położyć pręt na stalowych pryzmatach R_1 i R_2 (Rys. 1) umieszczonych na liniale z podziałką milimetrową. Ruchomy pryzmat R_2 ustawić w odległości l podanej przez prowadzącego zajęcia.

3. W środkowej części (między pryzmatami) umieścić na liniale mikromierz (M) tak, by lekko dotykał pręta.
4. Na środku pręta zawiesić szalkę (S) o ciężarze P_0 .
5. Nakładając na szalkę odważniki (ilość i wartość ustala prowadzący zajęcia) odczytywać wskazania mikromierza, tzw. strzałki ugięcia (λ). Przy odczycie uwzględnić ciężar szalki. Do obliczenia ciężaru odważników przyjmując $g = 9,81 \text{ m/s}^2$. Odczytów dokonywać także przy zmniejszonym obciążeniu.
6. Za końcową wartość modułu sprężystości, E , przyjmując średnią arytmetyczną wyliczoną dla poszczególnych obciążeń na podstawie wzorów: (1) – dla pręta o przekroju prostokątnym lub (2) – dla pręta o przekroju kołowym:

$$(1) \quad E = \frac{Pl^3}{4\lambda ab^3} \left[\frac{N}{m^2} \right], \quad (2) \quad E = \frac{Pl^3}{12\pi\lambda r^4} \left[\frac{N}{m^2} \right],$$

gdzie: P – siła uginająca pręt (ciężar szalki z obciążnikami) w niutonach, l – długość pręta (odległość między pryzmatami R_1 i R_2) w metrach, λ - strzałka ugięcia w metrach, a i b – odpowiednio szerokość i wysokość prostokąta będącego przekrojem pręta w metrach, r – promień pręta o przekroju kołowym ($r = \frac{d_{\text{śred}}}{2}$, $d_{\text{śred}}$ – średnia średnica pręta) w metrach.

7. Maksymalną niepewność pomiaru można obliczyć metodą różniczkowania wzorów (1) lub (2). Do obliczeń przyjmujemy za $\Delta r = \frac{1}{2} \Delta d$ (Δd – maksymalna bezwzględna niepewność odczytu średnicy pręta), Δd , Δb , Δa - największe odchylenia od wartości średniej plus niepewność odczytu na skali śruby mikrometrycznej, $\Delta\lambda$ - podwójna wartość niepewności odczytu z mikromierza plus największe odchylenie od wartości średniej, jeśli pomiar był powtarzany przy takim samym obciążeniu, Δl - niepewność odczytu długości pręta (tj. odległości między pryzmatami R_1 i R_2).

Autor instrukcji:

Robert Borc

MC 3.3. Wyznaczanie modułu sprężystości postaci metodą statyczną

INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Podział ciał stałych ze względu na rozmieszczenie atomów w przestrzeni
2. Pojęcie struktury krystalicznej, bazy i sieci
3. Defekty strukturalne kryształów
4. Rodzaje odkształceń
5. Pojęcie odkształcenia względnego i naprężenia
6. Prawo Hooke'a
7. Zależność odkształcenia względnego w funkcji naprężenia dla próbki ze stali miękkiej
8. Określenie modułu sprężystości postaci dla pręta poddawanego skręceniu

Literatura:

1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Mechanika, termodynamika i fizyka cząsteczkowa*, M. Bobyk, H. Goebel, W. Gustaw, red. E. Śpiewła, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1995.
2. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003, tom II.
3. J. R. Taylor, *Wstęp do analizy błęd pomiarowego*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1999.

Wartości podawane przez prowadzącego zajęcia:

Masa szalki: $m_0 = 0,028$ kg

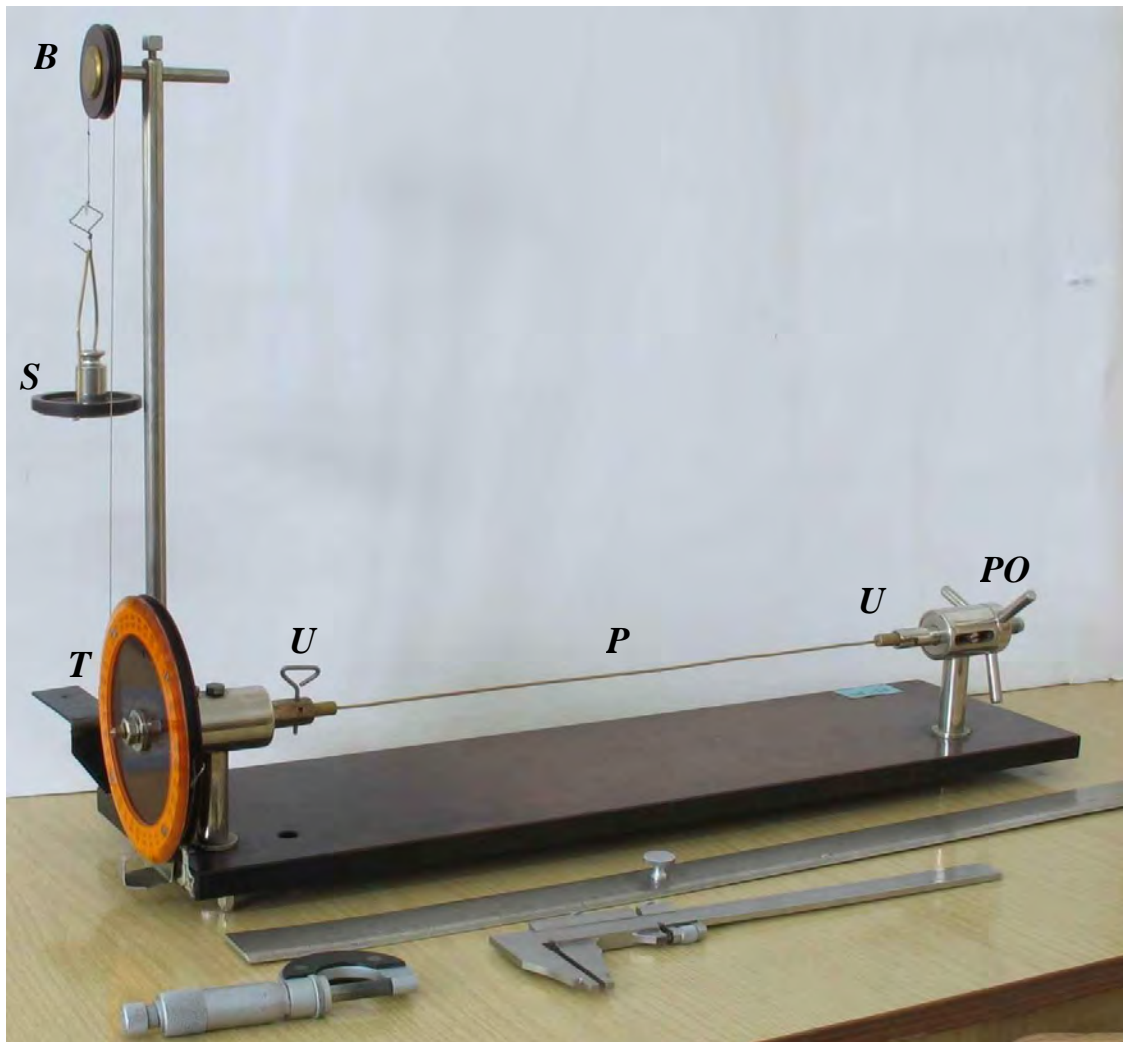
Wykonanie zadania:

1. Dokonać pomiaru długości (l) badanego pręta (dru) za pomocą przymiaru liniowego.
2. Umocować badany pręt (P) w uchwytach (U) lekko dokręcając pokrętkiem (PO) tak, aby pręt był nieco naprężony (Rys. 1).
3. Dokonać pomiarów średnicy mikrometryczną średnicy badanego pręta (d) (np. 15 – 20 pomiarów w różnych miejscach na kierunkach wzajemnie prostopadłych). Jako wynik przyjąć średnią arytmetyczną tych pomiarów.
4. Za pomocą suwmiarki określić średnicę (D) tarczy obrotowej (T) (uwzględnić rowek w tarczy).
5. Przeciągnąć linkę przez rowek tarczy (T) i przez bloczek (B), tak aby zaczepiona szalka (S) swobodnie zwisała na pewnej wysokości.
6. Nakładając na szalkę odważniki (ilość i wartość ustala prowadzący zajęcia) odczytywać wskazania kąta skręcenia (φ) z podziałki katowej tarczy obrotowej, następnie φ zamienić na radiany. Masę szalki (m_0) podaje prowadzący ćwiczenia lub określamy ją sami. Odczytów dokonywać także przy zmniejszonym obciążeniu. Daje to możliwość obliczenia średniej wartości kąta skręcenia (średnia z pomiaru kąta skręcenia w lewo i w prawo dla takiego samego obciążenia).
7. Za końcową wartość modułu sprężystości (G) przyjąć średnią arytmetyczną wyliczoną dla poszczególnych obciążeń na podstawie wzoru (1):

$$G = \frac{16 g D l (m_0 + m)}{\pi d^4 \varphi} \left[\frac{N}{m^2} \right], \quad (1)$$

gdzie: g – przyspieszenie ziemskie ($9,81 \text{ m/s}^2$), D – średnica tarczy obrotowej w metrach, l – długość pręta w metrach, m_0 i m – masa szalki i odważników w kilogramach, d – średnica pręta w metrach, φ – wartości kąta skręcenia w radianach.

8. Maksymalną niepewność wyznaczenia modułu sprężystości (G) można obliczyć metodą różniczkowania wzoru (1). Za maksymalne bezwzględne niepewności występujące we wzorze (1) przyjmując: ΔD – maksymalna niepewność pomiaru średnicy tarczy za pomocą suwmiarki, Δl – maksymalna niepewność pomiaru długości pręta przy miarem liniowym, Δm_0 – maksymalna niepewność masy szalki z ważenia (jeżeli masa szalki jest podana przez prowadzącego, wówczas $\Delta m_0 = 0$), Δd – największe odchylenie od wartości średniej średnicy pręta plus najmniejsza działka na skali śruby mikrometrycznej, $\Delta \varphi$ – podwójna wartość niepewności odczytu kąta skręcenia (w radianach) odczytana ze skali tarczy obrotowej plus największe odchylenie od wartości średniej, jeśli pomiar był powtarzany przy takim samym obciążeniu.



Rys. 1 Fotografia przedstawiająca stanowisko pomiarowe. Oznaczenia: **B** – bloczek, **S** – szalka, **T** – tarcza obrotowa, **U** – uchwyty, **PO** – pokrętko naciągające badany pręt, **P** – badana próbka (pręt)

Autor instrukcji:
Robert Borc

MC 3.4. Wyznaczanie modułu sprężystości postaci za pomocą wahadła torsyjnego

INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Podział ciał stałych ze względu na rozmieszczenie atomów w przestrzeni
2. Pojęcie struktury krystalicznej, bazy i sieci
3. Defekty strukturalne kryształów
4. Rodzaje odkształceń
5. Pojęcie odkształcenia względnego i naprężenia
6. Prawo Hooke'a
7. Zależność odkształcenia względnego w funkcji naprężenia dla próbki ze stali miękkiej
8. Wyprowadzenie wzoru na moduł sprężystości postaci wyznaczanego za pomocą wahadła torsyjnego

Literatura:

1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Mechanika, termodynamika i fizyka cząsteczkowa*, M. Bobyk, H. Goebel, W. Gustaw, red. E. Śpiewła, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1995.
2. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003, tom II.
3. J. R. Taylor, *Wstęp do analizy błędów pomiarowych*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1999.

Wykonanie zadania:

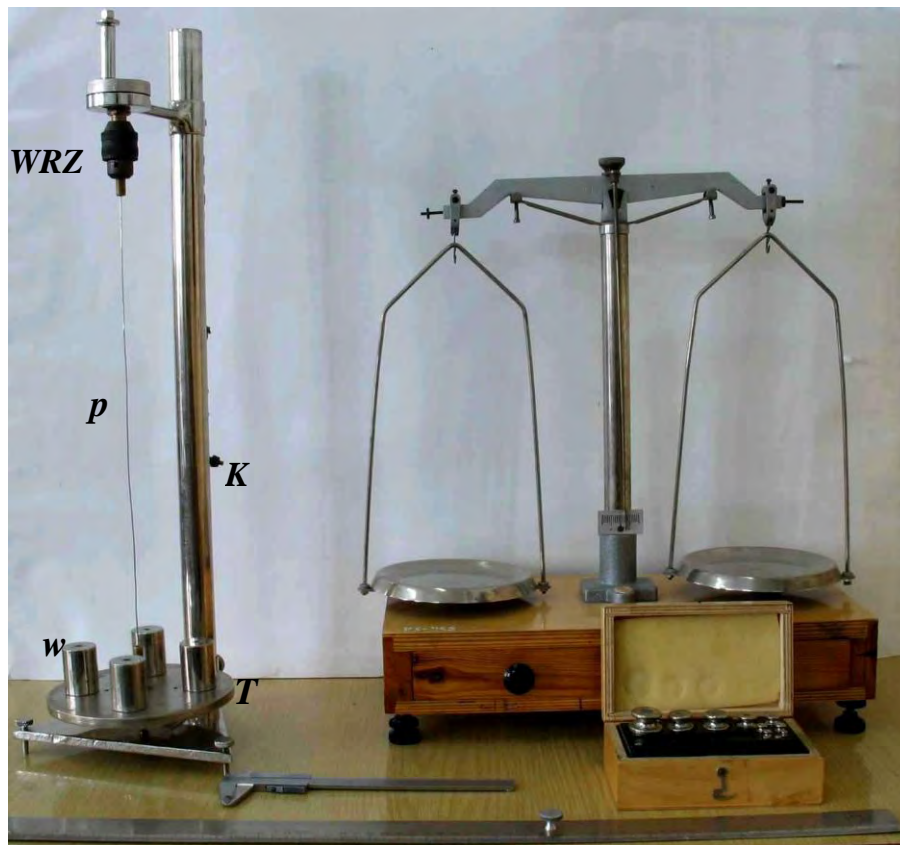
1. Dokonać pomiaru długości (l) badanego pręta (dru) za pomocą przymiaru liniowego.
2. Za pomocą suwmiarki dokonać pomiarów odległości (h) środków podstaw walców (w) od osi obrotu tarczy (T) oraz promieni walców (b) (Rys. 1). Obliczyć średnie wartości h i b z czterech pomiarów (4 walce).
3. Masę (m) walca (w) otrzymać przez zważenie 4 walców łącznie a następnie podzielenie otrzymanej wartości przez 4.
4. Zamocować tarczę (T) do odpowiedniego końca badanego pręta (Rys. 1).
5. Drugi koniec pręta mocować do wrzeciona (WRZ), które dokręcić należy kluczem (K) wiszącym na łańcuszku z tyłu przyrządu.
6. Podstawę przyrządu ustawić (za pomocą śrub) tak, aby badany pręt był ukierunkowany idealnie pionowo. Dolny trzpień tarczy (T) powinien swobodnie mieścić się w otworze metalowego ramienia umiejscowionego pod tarczą.
7. Aby obliczyć promień pręta (r), należy dokonać dokładnych pomiarów śrubą mikrometryczną średnicy badanego pręta (np. 15 – 20 pomiarów w różnych miejscach na kierunkach wzajemnie prostopadłych). Jako wynik przyjąć średnią arytmetyczną tych pomiarów.
8. Nałożyć walce, umieszczając ich trzpień w odpowiednie otwory tarczy (T).
9. Tarczę skrócić w płaszczyźnie poziomej o niewielki kąt (max. 30°) i następnie swobodnie puścić.
10. Sekundomierzem zmierzyć czas (t) kilkadziesiąt pełnych wahań, skąd obliczyć okres (T) (tarczy z walcami) oraz (T_0) (tarczy bez walców). Okres obliczyć dzieląc czas (t) przez liczbę wahań (n). Liczbę wahań oraz liczbę powtórzeń pomiarów podaje prowadzący zajęcia.

11. Obliczeń modułu sprężystości postaci (G) należy dokonać na podstawie wzoru (1):

$$G = \frac{16\pi ml \left(b^2 + 2h^2 \right)}{r^4 \left(T^2 - T_0^2 \right)} \left[\frac{N}{m^2} \right], \quad (1)$$

gdzie: l – długość badanego pręta w metrach, r – promień pręta w metrach, m – masa jednego walca w kilogramach, b - promień walca w metrach, h – odległość środków walców od osi obrotu w metrach, T – okres wahań tarczy z walcami w sekundach, T_0 – okres wahań tarczy bez walców w sekundach.

12. Maksymalną niepewność pomiaru modułu sprężystości postaci (G) można obliczyć metodą różniczkowania wzoru (1). Za maksymalne bezwzględne niepewności występujące we wzorze (1) przyjmując: $\Delta r = \frac{1}{2} \Delta d$ (Δd – maksymalna bezwzględna niepewność odczytu średnicy pręta), gdzie Δd - największe odchylenie od wartości średniej plus niepewność odczytu na skali śruby mikrometrycznej, $\Delta b = \frac{1}{2} \Delta D$ (ΔD – maksymalna bezwzględna niepewność odczytu średnicy walca), ΔD i Δh - największe odchylenia od wartości średniej plus niepewność odczytu na skali suwmiarki, Δl - niepewność odczytu długości pręta za pomocą przymiaru liniowego, Δm – niedokładność wyznaczenia masy walca za pomocą wagi plus największe odchylenie od wartości średniej (4 walce), ΔT_0 i ΔT obliczyć dzieląc błąd Δt popełniony przy pomiarze czasu przez liczbę (n) pełnych wahań. Jeżeli pomiary były powtarzane, to można dodać do Δt największe odchylenie od wartości średniej mierzonych czasów.



Rys. 1 Fotografia przedstawiająca stanowisko pomiarowe. Oznaczenia: **WRZ** – wrzeciono, **K** – klucz do dokręcania wrzeciona, **p** – badana próbka (pręt), **T** – tarcza, **w** – jeden z 4 walców

Autor instrukcji:

Robert Borc

MC 4.1. Badanie ruchu wahadła sprężynowego – Sprawdzanie wzoru na okres drgań

INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

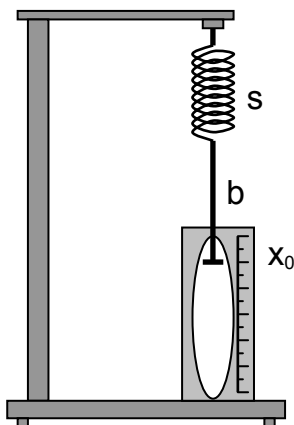
Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Definicja ruchu drgającego
2. Opis drgań harmoniczných
3. Ruch punktu materialnego pod działaniem siły sprężystości
4. Ruch punktu materialnego pod wpływem sił quasi-sprężystych
5. Opis drgań wahadła sprężynowego (wyprowadzenie wzoru na okres drgań)

Literatura:

1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Mechanika, termodynamika i fizyka cząsteczkowa*, M. Bobyk, H. Goebel, W. Gustaw, red. E. Śpiewła, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1995.
2. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003, tom II.
3. J. Orear, *Fizyka*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1993, tom I.
4. B. Kuśmiderska, J. Meldizon, *Podstawy rachunku błędów w pracowni fizycznej*, red. E. Śpiewła, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1997.

Wykonanie zadania:



Rys. 1 Stanowisko pomiarowe: s – sprężyna, b – bolec do przytrzymywania ciężarków, x_0 – położenie równowagi

Wyznaczanie stałej k sprężyny

1. Przed przystąpieniem do ćwiczenia należy zważyć ciężarki (m_c).
2. Następnie zamocować sprężynę wraz z bolcem do podtrzymywania ciężarków w uchwycie statywu (Rys.1).
3. Odczytać ze skali położenie równowagi (x_0).
4. Zwiększając stopniowo obciążenie sprężyny notować położenia wychyleń: x_1, x_2, \dots, x_n . Wychylenie (x) ciężarka z położenia równowagi (x_0) obliczyć jako różnicę:
$$x = x_1 - x_0; \dots \dots \dots x = x_n - x_0$$
5. Znając masę ciężarków obliczyć odpowiednio ich ciężar Q , podstawiając za $g = 9,81 \text{ m/s}^2$.
6. Współczynnik sprężystości k wyliczyć korzystając ze wzoru:

$$k = \frac{Q}{x}$$

- Pomiary powtórzyć kilkakrotnie w zależności od wymagań prowadzącego zajęcia.
- Otrzymane wyniki zanotować w tabeli:

Lp.	m_c [kg]	Q [N]	x_0 [m]	x_n [m]	$x = x_n - x_0$ [m]	k [N/m]	$k_{\text{śr}}$ [N/m]
1							
.							
n							

Wyznaczanie okresu drgań wahadła sprężynowego

- Przed przystąpieniem do tej części ćwiczenia należy zważyć sprężynę (m_s) i bolec (m_b).
- Następnie zamocować sprężynę wraz z bolcem, ciężarkami w uchwycie statywu (Rys.1) i pobudzić wahadło do drgań.
- Zwiększając obciążenie sprężyny kolejnymi ciężarkami zmierzyć czas trwania (t) n wahań (50-100). Pomiary powtórzyć kilkakrotnie zwiększając masę ciała drgającego poprzez doczepianie kolejnych ciężarków. **Uwaga:** Pobudzać wahadło do drgań poza prowadnicą ze względu na duże tarcie.
- Obliczyć okres drgań wahadła sprężynowego na podstawie wzoru:

$$T_d = \frac{t}{n} \quad (1)$$

- Okres drgań wahadła sprężynowego można także wyznaczyć korzystając ze wzoru:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m + \frac{1}{3}m_s}{k}} = 2\pi \sqrt{\frac{m + \frac{1}{3}m_s}{\frac{m_c g}{x}}}, \text{ gdzie } m = m_b + m_c \quad (2)$$

- Wyniki pomiarów i obliczeń dotyczących okresów drgań wpisać do tabeli:

Lp	m_s [kg]	m_b [kg]	m_c [kg]	m [kg]	T [s]	n	t [s]	T_d [s]	$T - T_d$ [s]
1									
.									
n									

- Niepewność pomiaru oszacować metodą różniczkowania wzorów (1) i (2) przyjmując za niepewność pomiaru masy - Δm , Δm_s , Δm_c - masę najmniejszego użytego odważnika, za niepewność pomiaru wychylenia - Δx - dokładność przymiaru liniowego, za niepewność pomiaru czasu - Δt - dokładność użytego stopera.

Autor instrukcji:

Małgorzata Gospodarek

MC 4.2. Wyznaczanie przyspieszenia ziemskiego przy pomocy wahadła prostego

INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

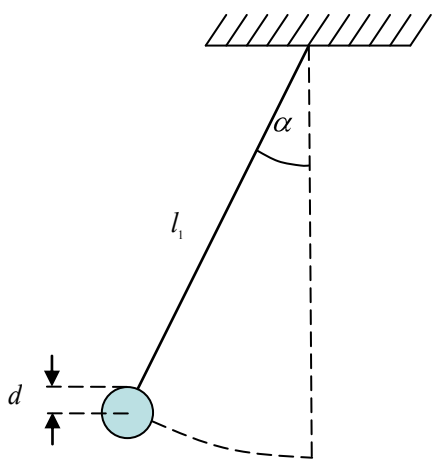
Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Definicja ruchu drgającego
2. Opis drgań harmoniczných
3. Ruch punktu materialnego pod działaniem siły sprężystości
4. Ruch punktu materialnego pod wpływem sił quasi-sprężystych
5. Wyznaczanie równania ruchu, okresu drgań wahadła prostego
6. Pomiar przyspieszenia ziemskiego przy pomocy wahadła prostego

Literatura:

1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Mechanika, termodynamika i fizyka cząsteczkowa*, M. Bobyk, H. Goebel, W. Gustaw, red. E. Śpiewła, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1995.
2. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003, tom II.
3. J. Orear, *Fizyka*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1993, tom I.
4. J. R. Taylor, *Wstęp do analizy błęd pomiarowego*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1999.

Wykonanie zadania:



Rys. 1 Wahadło proste: l_1 – odległość od punktu zawieszenia wahadła do powierzchni kulki, d – średnica kulki

1. Przed przystąpieniem do ćwiczenia należy zmierzyć suwmiarką średnicę d metalowej kulki (pomiar wykonać kilkakrotnie i obliczyć wartość średnią).
2. Kulkę zawiesić na cienkim druciku o długości około 1 m (wahadło proste).
3. Obliczyć długość l wahadła prostego jako sumę odległości l_1 mierzonyj od punktu zawieszenia wahadła do powierzchni kulki i promienia kulki:

$$l = l_1 + \frac{d}{2}$$

Pomiaru l_1 dokonać za pomocą przymiaru milimetrowego, zamocowanego na stałe do uchwytu wahadła.

4. Następnie odchylając wahadło z położenia równowagi o kąt $5-6^0$, sekundomierzem zmierzyć czas t trwania n (50-100) pełnych drgań. Ruch wahadła powinien odbywać się w płaszczyźnie pionowej.

5. Obliczyć okres drgań ze wzoru: $T = \frac{t}{n}$.

6. Znalezione wartości T i l podstawić do wzoru:

$$g = \frac{4\pi^2}{T^2} l$$

Pomiary i obliczenia powtórzyć kilkakrotnie dla różnych długości i mas wahań. Wyniki pomiarów i obliczeń wpisać do tabeli:

Lp.	d [m]	l_1 [m]	l [m]	t [s]	n	T [s]	g [m/s ²]	\bar{g} [m/s ²]
1								
2								

7. Niepewność pomiaru oszacować metodą różniczkowania wzoru:

$$g = \frac{4\pi^2}{\left(\frac{t}{n}\right)^2} \left(l_1 + \frac{d}{2}\right) = \frac{4\pi^2 n^2}{t^2} \left(l_1 + \frac{d}{2}\right)$$

przyjmując za Δt niepewność pomiaru czasu, Δl_1 i Δd niepewności pomiaru odpowiednio długości drucika i średnicy kulki.

Autor instrukcji:

Małgorzata Gospodarek

MC 4.3. Wyznaczanie przyspieszenia ziemskiego za pomocą wahadła różnicowego

INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

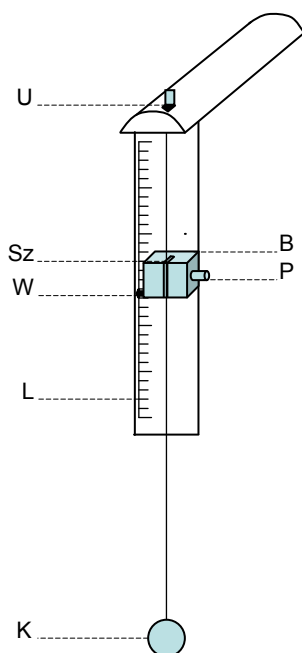
Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Definicja ruchu drgającego
2. Opis drgań harmonicznyc
3. Ruch punktu materialnego pod działaniem siły sprężystości
4. Ruch punktu materialnego pod wpływem sił quasi-sprężystych
5. Wyznaczanie przyspieszenia ziemskiego przy pomocy wahadła prostego
6. Wyznaczanie przyspieszenia ziemskiego przy pomocy wahadła różnicowego

Literatura:

1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Mechanika, termodynamika i fizyka cząsteczkowa*, M. Bobyk, H. Goebel, W. Gustaw, red. E. Śpiewła, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1995.
2. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003, tom II.
3. J. Orear, *Fizyka*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1993, tom I.
4. J. R. Taylor, *Wstęp do analizy błędu pomiarowego*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1999.

Wykonanie zadania:



Rys. 1 Stanowisko pomiarowe (wahadło różnicowe): U – uchwyt, B – bloczek, Sz – szczelina, K – kulka, P – pokrętło, W – wskaźnik L – liniał

1. W uchwycie U zamocować cienki drucik o długości około 1,5 m. Drucik przewlec przez szczelinę Sz w bloczku B, a na drugim jego końcu zawiesić kulkę K.
2. Położenie bloczka B, które można dowolnie zmieniać (po zwolnieniu śruby dociskowej) przesuwając go w górę bądź w dół, odczytać przy pomocy wskaźnika W z liniału L i zanotować jako liczbę działek skali S_1 liczoną od góry.

- Następnie pokrętle P docisnąć szczelinę Sz tak, aby jej krawędź zetknęła się z drucikiem wahadła.
- Wprawić wahadło w ruch, odchylając je o $5-6^{\circ}$ tak, by wahania zachodziły w jednej płaszczyźnie. Zmierzyć stoperem czas trwania n (np. 50) wahaniec i obliczyć okres drgań wahadła różnicowego T_1 ze wzoru:

$$T_1 = \frac{t_1}{n}$$

- Luźnijąc pokrętło P, przesunąć bloczek B w dół na odległość ok. $40-50 \times 10^{-2} \text{m}$ i zanotować położenie wskaźnika W jako S_2 . Ponownie wprawić wahadło w ruch, zmierzyc czas trwania n wahaniec i obliczyć okres drgań T_2 ze wzoru:

$$T_2 = \frac{t_2}{n}$$

- Bezwzględna wartość różnicy $\Delta l = S_1 - S_2$ długości wahadła oraz wyznaczone okresy T_1 i T_2 podstawić do wzoru:

$$g = \frac{4\pi^2 \Delta l}{T_1^2 - T_2^2}$$

- Pomiary powtórzyć kilkakrotnie dla różnych wartości Δl , które powinny być jak największe. Obliczyć średnią wartość przyspieszenia ziemskiego. Wyniki pomiarów i obliczeń wpisać do tabeli:

Lp.	$S_1[\text{m}]$	$S_2[\text{m}]$	$\Delta l[\text{m}]$	n	$t_1[\text{s}]$	$T_1[\text{s}]$	$t_2[\text{s}]$	$T_2[\text{s}]$	$g[\text{m/s}^2]$	$\bar{g} [\text{m/s}^2]$
1										
2										
.										

- Niepewność pomiaru oszacować metodą różniczkowania wzoru:

$$g = \frac{4\pi^2 \Delta l}{T_1^2 - T_2^2}$$

przyjmując za niepewność pomiaru długości $\Delta(\Delta l) = \Delta S_1 + \Delta S_2 = 2\Delta S$, zaś za niepewność pomiaru okresu drgań wahadła $\Delta T_1 = \Delta T_2 = \Delta T = \frac{\Delta t}{n}$, gdzie Δt oznacza dokładność użytego sekundomierza.

Autor instrukcji:

Małgorzata Gospodarek

MC 4.4. Wyznaczanie przyspieszenia ziemskiego przy pomocy wahadła fizycznego

INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Definicja ruchu drgającego
2. Opis drgań harmoniczných
3. Ruch punktu materialnego pod działaniem siły sprężystości
4. Ruch punktu materialnego pod wpływem sił quasi-sprężystych
5. Wahadło fizyczne, wyznaczenie przyspieszenia ziemskiego
6. Twierdzenie Steinera

Literatura:

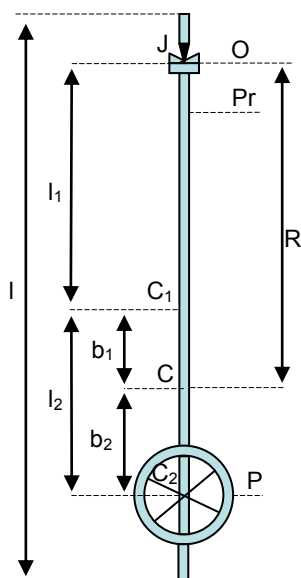
1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Mechanika, termodynamika i fizyka cząsteczkowa*, M. Bobyk, H. Goebel, W. Gustaw, red. E. Śpiewła, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1995.
2. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003, tom II.
3. J. Orear, *Fizyka*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1993, tom I.
4. J. R. Taylor, *Wstęp do analizy błędu pomiarowego*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1999.

Wartości podawane przez prowadzącego zajęcia:

masa pręta $m_1 = 0,45$ kg

masa pierścienia $m_2 = 2,69$ kg

Wykonanie zadania:



Rys. 1 Stanowisko pomiarowe (wahadło fizyczne): J – jarzmo z dwoma metalowymi ostrzami, Pr – pręt, P – pierścień, O – oś obrotu, l – długość Pr (około 1,5 m), l_1 – odległość od J do C_1 , l_2 – odległość od J do C_2 , R – odległość C od O, b_1 – odległość C od C_1 , b_2 – odległość C od C_2 , C – środek ciężkości wahadła, C_1 – środek ciężkości pręta, C_2 – środek ciężkości pierścienia

1. Chcąc znaleźć przyspieszenie ziemskie przy użyciu wahadła fizycznego, w dowolnym miejscu na kuli ziemskiej, należy skorzystać z poniższego wzoru, obliczając moment bezwładności wahadła fizycznego I_O , jego okres drgań T oraz odległość R środka ciężkości C wahadła od osi obrotu O :

$$g = \frac{4\pi^2 I_O}{T^2 m R}$$

2. Przed przystąpieniem do wykonywania ćwiczenia należy pierścień P ustawić w położeniu wskazanym przez prowadzącego i zmierzyć odległości l_1 , l_2 przy pomocy przymiaru milimetrowego (Rys. 1).
3. Wyznaczyć z poniższego wzoru, R - odległość środka ciężkości wahadła od osi obrotu:

$$R = b_1 + l_1 = \frac{m_2}{m_1 + m_2} l_2 + l_1,$$

gdzie m_1 – masa pręta, m_2 – masa pierścienia.

4. Obliczyć moment bezwładności pręta $I_{Pr(C_1)}$ i moment bezwładności pierścienia $I_{P(C_2)}$ względem osi przechodzących przez ich środki ciężkości:

$$I_{Pr(C_1)} = \frac{m_1 l^2}{12}, \quad I_{P(C_2)} = \frac{m}{2} (r_1^2 + r_2^2),$$

gdzie r_1 i r_2 oznaczają promienie pierścienia P odpowiednio: zewnętrzny i wewnętrzny, l – długość pręta.

5. W celu wyznaczenia momentów bezwładności tych brył względem osi O należy skorzystać z twierdzenia Steinera. Momenty bezwładności pręta i pierścienia względem osi O wynoszą:

$$I_{Pr(O)} = I_{Pr(C_1)} + m_1 l_1^2, \quad I_{P(O)} = I_{P(C_2)} + m_2 (l_1 + l_2)^2$$

gdzie $(l_1 + l_2)$ jest odległością środka ciężkości pierścienia P od osi obrotu.

6. Moment bezwładności I_O wahadła fizycznego względem osi O obliczyć ze wzoru:

$$I_O = I_{Pr(O)} + I_{P(O)} = \frac{m_1 l^2}{12} + \frac{m_2}{2} (r_1^2 + r_2^2) + m_1 l_1^2 + m_2 (l_1 + l_2)^2.$$

7. Po wykonaniu powyższych czynności wahadło fizyczne wprowadzić w ruch i zmierzyć czas t trwania n wahań (np. 50). Obliczyć okres drgań wahadła:

$$T = \frac{t}{n}$$

8. Korzystając z powyższych obliczeń wyznaczyć przyspieszenie ziemskie ze wzoru:

$$g = \frac{4\pi^2 I_O}{T^2 m R}$$

Pomiary i obliczenia powtórzyć kilkakrotnie dla różnych położenia pierścienia, określając za każdym razem zmienione parametry wahadła oraz okres drgań wahadła. Otrzymane wyniki wpisać do tabeli:

Lp.	m_1 [kg]	m_2 [kg]	$m = m_1 + m_2$ [kg]	l_1 [m]	l_2 [m]	r_1 [m]	r_2 [m]
1							
2							
.							

9. Niepewność pomiaru oszacować metodą różniczkowania wzoru: $g = \frac{4\pi^2 I_0}{T^2 m R}$, przyjmując za niepewność pomiaru długości $\Delta b_1, \Delta l, \Delta l_1, \Delta l_2, \Delta r_1, \Delta r_2$ dokładność przymiaru milimetrowego; za niepewność pomiaru czasu Δt dokładność użytego stopera.

Autor instrukcji:

Małgorzata Gospodarek

MC 5.1. Wyznaczanie prędkości fal akustycznych w ciałach stałych metodą rury Kundta

INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Pojęcie fali mechanicznej, rodzaje fal
2. Opis fal harmoniczných
3. Rozchodzenie się fali w cieczech i gazach
4. Fale spójne, interferencja, fala stojąca
5. Rura Kundta, warunki rezonansu w rurze obustronnie zamkniętej
6. Wyznaczanie prędkości fal akustycznych w ciałach stałych metodą Kundta

Literatura:

1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Mechanika, termodynamika i fizyka cząsteczkowa*, M. Bobyk, H. Goebel, W. Gustaw, red. E. Śpiwła, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1995.
2. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003, tom II.
3. J. R. Taylor, *Wstęp do analizy błędu pomiarowego*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1999.

Wartości podawane przez prowadzącego zajęcia:

Prędkość rozchodzenia się dźwięku w powietrzu suchym w temperaturze $T_0 = 273,15 \text{ K}$:
 $v_0 = 331,36 \text{ m/s}$

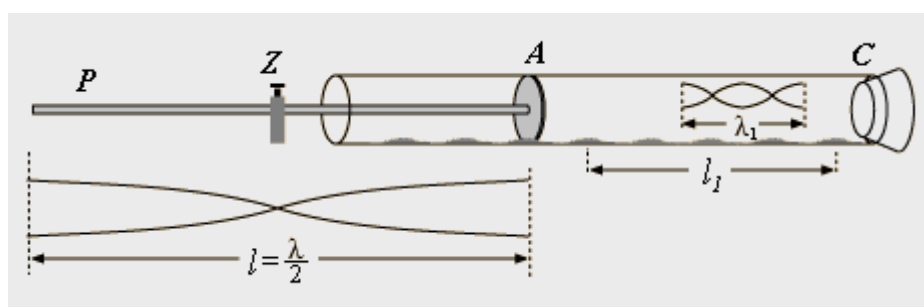
Wykonanie zadania:



Rys. 1 Fotografia przedstawiająca stanowisko pomiarowe. Oznaczenia: **P** – pręt, **Z** – zacisk mocujący pręt, **AC** – obszar powstawania fali stojącej w rurze

1. Zmierzyć za pomocą przymiaru milimetrowego długość (l) badanego metalowego pręta (**P**).
2. Zamocować pręt w połowie jego długości, w uchwycie (**Z**) patrz Rys. 1 i Rys. 2.
3. Szklaną rurę osuszyć, przedmuchując jej wnętrze strumieniem ciepłego powietrza z suszarki.
4. Nasypać do rury niewielką ilość proszku korkowego. Odpowiednio manipulując rurą starać się równomiernie rozprowadzić proszek w rurze.

5. Rurę umieścić na drewnianej podpórce i ostrożnie wsunąć ją na koniec pręta zakończony tłoczkiem.
6. Obrócić rurę wokół osi o niewielki kąt, tak aby proszek korkowy przykrył częściowo ścianę boczną rury. Tłok nie może dotykać do ścianki rury.
7. Drgania w pręcie wywołać pocierając go energicznie, nie za mocno, filcem posypanym niewielką ilością kalafonii. Powinien być słyszalny charakterystyczny przenikliwy dźwięk.
8. Przesuwając rurę na podstawkach (regulacja odległości AC) doprowadzić do pojawienia się figur Kundta (Rys. 2) (zachodzi wówczas rezonans).
9. Pręt zanieczyszczony kalafonią przemyć alkoholem.
10. Zmierzyć za pomocą przymiaru milimetrowego odległość (l_1) między możliwie daleko od siebie położonymi węzłami i ustalić liczbę (n) połówek fali odpowiadającą temu odcinkowi (Rys. 2).



Rys. 2 Położenie węzłów i strzałek w rurze Kundta i w pręcie. Oznaczenia: P – pręt, Z – zacisk do mocowania pręta, AC – obszar powstawania fali stojącej w rurze, λ_1 – długość fali w powietrzu, l_1 – odległość między możliwie daleko od siebie położonymi węzłami (dla $n = 4$), λ - długość fali w pręcie, l – długość pręta

11. Pomiary wykonać kilkakrotnie (liczbę ustala prowadzący ćwiczenia) zmieniając długość komory AC i likwidując poprzednie rozmieszczenie proszku.
12. Temperaturę (T) odczytać za pomocą termometru umieszczonego w pobliżu stanowiska pomiarowego.
13. Obliczeń prędkości dźwięku (v) w materiale badanego pręta dokonać na podstawie zależności:

$$v = v_0 \frac{nl}{l_1} \sqrt{\frac{T}{T_0}} \left[\frac{m}{s} \right], \quad (1)$$

gdzie: l_1 - odległość między możliwie daleko od siebie położonymi węzłami (zagęszczeniami proszku w rurze) w metrach, n – liczba połówek fali (zagęszczeń proszku) zawarta w odcinku (l_1), l - długość badanego metalowego pręta w metrach, T_0 - temperatura 273,15 K (0 °C), v_0 - prędkość rozchodzenia się dźwięku w powietrzu o temperaturze T_0 , T – temperatura otoczenia w Kelwinach.

14. Niepewność maksymalną (v) należy obliczyć metodą różniczkowania zależności (1). Przyjąć za Δl i Δl_1 dokładność przymiaru (w Δl_1 uwzględnić także niepewność odczytu między węzłami). Za ΔT przyjąć dokładność wskazań termometru.

Autor instrukcji:

Robert Borc

MC 5.2. Wyznaczanie prędkości fali głosowej metodą rezonansu

INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Pojęcie fali mechanicznej, rodzaje fal
2. Opis fal harmonicznyc
3. Rozchodzenie się fali w cieczech i gazach
4. Fale spójne, interferencja, fala stojąca
5. Warunki rezonansu słupa powietrza w rurze jednostronnie zamkniętej

Literatura:

1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Mechanika, termodynamika i fizyka cząsteczkowa*, M. Bobyk, H. Goebel, W. Gustaw, red. E. Śpiewła, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1995.
2. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003, tom II.
3. J. R. Taylor, *Wstęp do analizy błędu pomiarowego*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1999.

Wartości podawane przez prowadzącego zajęcia:

Częstości drgań kamertonów: 1) $f = 440$ Hz, 2) $f = 471$ Hz

Wykonanie zadania:

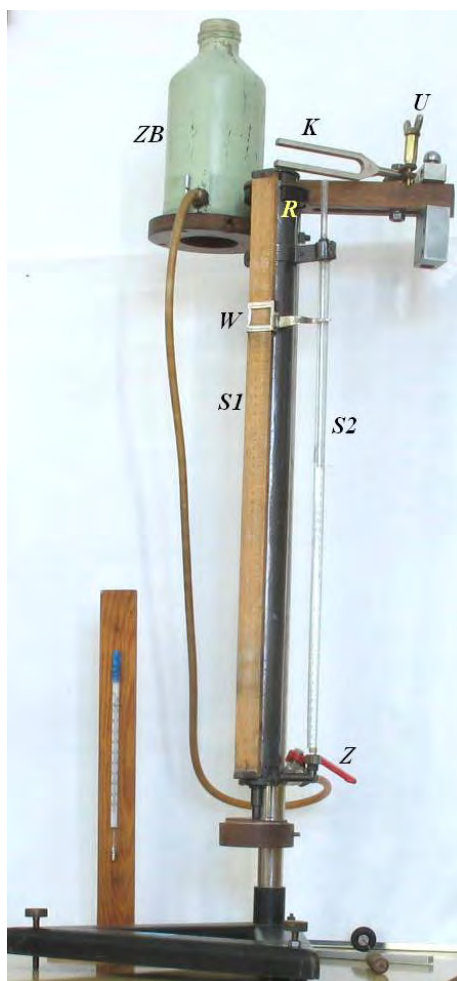
1. Zamocować kamerton (**K**) w uchwycie (**U**), tak aby jego końcowa część znajdowała się nad środkową częścią wylotu rury (**R**) (patrz Rys. 1).
2. Umieścić zbiornik z wodą (**ZB**) u góry przyrządu (tak jak na Rys. 1) i otworzyć zawór (**Z**). Poczekać, aż poziom wody w rurze osiągnie najwyższe położenie (poziom wody jest widoczny w szklanej rurce (**S2**)).
3. Zamknąć zawór (**Z**) i opuścić zbiornik (**ZB**) na blat stołu.
4. Otworzyć zawór (**Z**) i uderzając w kamerton (**K**) specjalnym młoteczkim wsłuchiwać się w słabnący dźwięk. Poziom słupa wody w tym czasie powinien się obniżyć.
5. W chwili, gdy usłyszymy wzmocnienie dźwięku sprawnie zamknąć zawór (**Z**).
6. Odczytać poziom wody ze skali umieszczonej w szklanej rurce (**S2**), lub ze skali (**SI**) za pomocą ruchomego wskaźnika (**W**). Odczyt ten (l_1) odpowiada pierwszemu wzmocnieniu dla długości fali ($\frac{1}{4}\lambda$) (jest to miejsce pierwszego węzła fali stojącej) (Rys. 2).
7. Następnego pomiaru dokonać analogicznie, lecz przy podwyższającym się słupie wody.
8. Pomiar powtórzyć (ilość powtórzeń podaje prowadzący zajęcia) i obliczyć uśrednioną wartość (\bar{l}_1).
9. Analogicznie postępować przy znajdowaniu drugiego wzmocnienia dźwięku powstałego w wyniku obniżenia się słupa wody do poziomu (l_2). Odpowiada to długości fali ($\frac{3}{4}\lambda$) (miejsce drugiego węzła fali stojącej) (Rys. 2).
10. Temperaturę (T) odczytać za pomocą termometru umieszczonego w pobliżu stanowiska pomiarowego.

11. Obliczeń prędkości fali głosowej (v_0) w powietrzu o temperaturze (T_0) dokonujemy na podstawie zależności:

$$v_0 = 2 \left(\bar{l}_2 - \bar{l}_1 \right) f \sqrt{\frac{T_0}{T}} \quad \left[\frac{m}{s} \right], \quad (1)$$

gdzie: \bar{l}_1 i \bar{l}_2 - wartości średnie położen poziomu słupa wody, odpowiednio dla pierwszego węzła ($\frac{1}{4}\lambda$) oraz drugiego węzła ($\frac{3}{4}\lambda$) fali stojącej wyrażone w metrach, f - częstość drgań kamertonu w hercach, T_0 - temperatura 273,15 K (0 °C), T - temperatura otoczenia w Kelwinach.

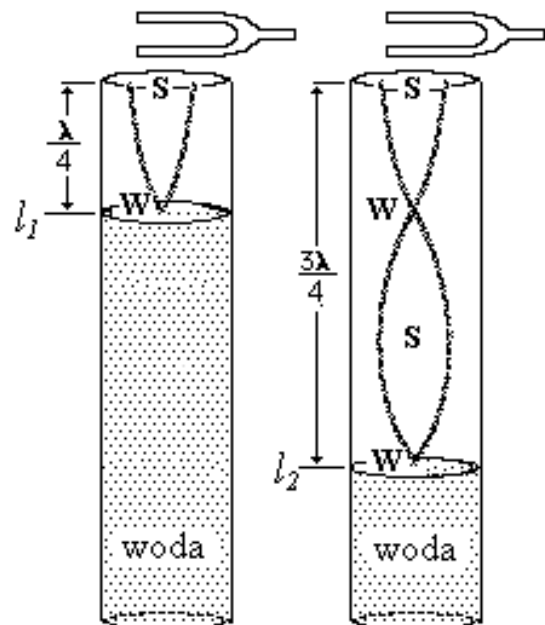
12. Niepewność maksymalną (v_0) należy obliczyć metodą różniczkowania korzystając z zależności (1). Za $\Delta\bar{l}_1$ i $\Delta\bar{l}_2$ przyjmujemy największe odchylenie od wartości średniej plus wartość najmniejszej działki na skali przymiaru liniowego umieszczonego na przyrządzie. Za ΔT przyjętą dokładność wskazań termometru. f i T_0 są wartościami stałymi.



Rys. 1 Fotografia przedstawiająca stanowisko pomiarowe. Oznaczenia: **ZB** - zbiornik z wodą, **K** - kamerton, **U** - uchwyt mocujący kamerton, **R** - rura, **W** - wskaźnik, **SI** - liniał z podziałką, **S2** - rurka szklana z podziałką, **Z** - zawór zamykający przepływ wody między zbiornikiem a rurą

Autor instrukcji:

Robert Borc



Rys. 2 Rezonans słupa powietrza w rurze jednostronnie zamkniętej. Oznaczenia: **W** - miejsca osłabienia fali stojącej (węzły), **S** - miejsca wzmocnienia fali stojącej (strzałki), λ - długość fali

MC 5.3. Wyznaczanie prędkości fali głosowej metodą interferencji

INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Pojęcie fali mechanicznej, rodzaje fal
2. Opis fal harmonicznnych
3. Rozchodzenie się fali w cieczech i gazach
4. Fale spójne, interferencja, fala stojąca
5. Wyprowadzenie zależności na warunki wzmocnienia i wygaszenia interferujących fal spójnych
6. Wyznaczanie prędkości fali głosowej metodą interferencji – wyprowadzenie wzoru końcowego

Literatura:

1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Mechanika, termodynamika i fizyka cząsteczkowa*, M. Bobyk, H. Goebel, W. Gustaw, red. E. Śpiwła, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1995.
2. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003, tom II.
3. J. R. Taylor, *Wstęp do analizy błędu pomiarowego*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1999.

Wykonanie zadania:

1. Sprawdzić, czy głośnik **G** połączony jest z wyjściem generatora drgań akustycznych **GEN** oraz czy głośnik ustawiony jest naprzeciw tuby **T** (patrz Rys. 1).
2. Rury **A** i **B** wsunąć maksymalnie jedna w drugą.
3. Włączyć generator **GEN** i na skali generatora (wybierając jednocześnie odpowiedni zakres częstotliwości) ustawić zadaną przez prowadzącego ćwiczenia częstotliwość drgań (f).
4. Nałożyć słuchawki **S** i powoli przesuwając ruchomą rurę tak, aby uzyskać minimum natężenia tonu. Odczytać położenie wskazówki w na skali s - odczyt (l_1). Czynność tę powtórzyć wielokrotnie i obliczyć wartość średnią.
5. Analogicznie postąpić przy wyznaczaniu ostatniego minimum - odczyt (l_n) (większa częstotliwość – więcej minimum (n)).
6. Liczbę powtórzeń pomiarów, liczbę minimum oraz liczbę częstotliwości generatora ustala prowadzący zajęcia.
7. Temperaturę (T) odczytać za pomocą termometru umieszczonego w pobliżu stanowiska pomiarowego.
8. Obliczeń prędkości fali głosowej w powietrzu (v_0) dokonać na podstawie zależności:

$$v_0 = \frac{2(l_n - l_1)}{n-1} f \sqrt{\frac{T_0}{T}} \quad \left[\frac{m}{s} \right], \quad (1)$$

gdzie: l_1 - wartość średnia położenia dla pierwszego minimum natężenia dźwięku w metrach, n - numer najbardziej oddalonego minimum natężenia dźwięku, l_n - wartość średnia położenia dla ostatniego minimum natężenia dźwięku w metrach, f - częstotliwość drgań generatora w hercach, T_0 - temperatura 273,15 K (0 °C), T - temperatura otoczenia w Kelwinach.

9. Niepewność maksymalną (v_0) należy obliczyć metodą różniczkowania korzystając z zależności (1). Za Δl_1 i Δl_2 przyjmujemy największe odchylenie od wartości średniej plus wartość najmniejszej działki na skali przymiaru liniowego (symbol **P** na Rys.1). Δf obliczamy tak samo

jak dla elektrycznych przyrządów wskazówkowych (klasa = 1, ilość działek = 75). Za ΔT przyjąć dokładność wskazań termometru.



Rys. 1 Fotografia przedstawiająca stanowisko pomiarowe. Oznaczenia: *A* i *B* – rury o regulowanym położeniu względem siebie, *T* – tuba, *w* – wskaźnik, *P* – przymiar liniowy ze skalą, *S* – słuchawki, *GEN* – generator drgań akustycznych, *G* – głośnik

Autor instrukcji:

Robert Borc

MC 6.1. Sprawdzanie drugiej zasady dynamiki ruchu obrotowego

INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

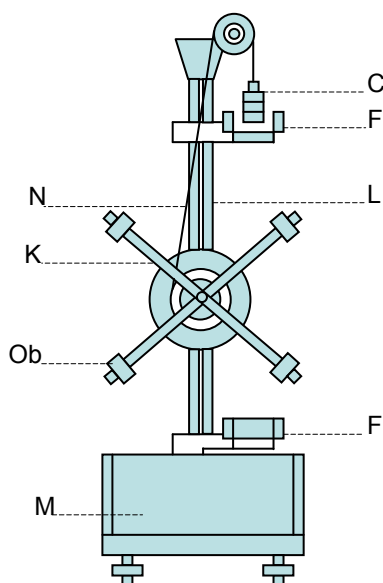
Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Ruch postępowy i obrotowy bryły sztywnej
2. Związek zmiennych liniowych z kątowymi
3. Moment siły, moment bezwładności bryły, twierdzenie Steinera
4. Praca, moc, energia kinetyczna ruchu obrotowego
5. Druga zasada dynamiki Newtona dla ruchu obrotowego
6. Wahadło Oberbecka, wyprowadzenie zależności $t^2 = A + Bd^2$ na podstawie drugiej zasady dynamiki dla ruchu obrotowego

Literatura:

1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Mechanika, termodynamika i fizyka cząsteczkowa*, M. Bobyk, H. Goebel, W. Gustaw, red. E. Śpiewła, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1995.
2. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003, tom I.
3. J. Orear, *Fizyka*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1993, tom I.
4. J. R. Taylor, *Wstęp do analizy błędu pomiarowego*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1999.

Wykonanie zadania:



Rys. 1 Stanowisko pomiarowe, wahadło Oberbecka: M – milisekundomierz, C – ciężarek, F – fotokomórka, L – liniał, N – nić, K – krzyżak, Ob – obciążniki krzyżaka

a) Sprawdzenie czy ruch ciężarka jest jednostajnie przyspieszony: słusność wzoru $S = \frac{at^2}{2}$

1. Przed przystąpieniem do tej części ćwiczenia należy ustalić odległość d między środkami obciążników Ob krzyżaka K (Rys. 1).
2. Następnie przy stałej masie m ciężarka C zmierzyć kilkakrotnie czas t potrzebny na przebycie drogi s przez ciężarek C pomiędzy czujnikami fotoelektrycznymi. Czas t odczytać za pomocą milisekundomierza M, zaś drogę s z umieszczonego na kolumnie liniału L.

3. Pomiary powtórzyć dla kilku innych wartości drogi s , mierząc kilkakrotnie czas potrzebny na ich przebycie. Otrzymane wyniki wpisać do tabeli:

Lp.	d [m]	m [kg]	s [m]	t [s]					t_{sr} []	t_{sr}^2 [²]
				1	2	3	4	...		
1										
2										
.										

4. Sporządzić wykres $t_{sr}^2 = f(s)$ i wyliczyć współczynniki A i B otrzymanej prostej metodą najmniejszych kwadratów oraz niepewności ΔA i ΔB . Narysować wyznaczoną prostą.

b) Sprawdzenie słuszności równania: $t^2 = A + Bd^2$.

1. Przed przystąpieniem do ćwiczenia należy ustalić masę m , drogę s pomiędzy fotokomórkami (Rys. 1).
2. Następnie ustawić obciążniki Ob krzyżaka K w pewnej odległości d i zmierzyć kilkakrotnie czas t potrzebny na przebycie drogi s .
3. Pomiary powtórzyć dla kilku innych wartości odległości d , mierząc za każdym razem kilkakrotnie czas potrzebny na przebycie drogi s . Wyniki wpisać do tabeli wg poniższego wzoru i sporządzić wykres $t_{sr}^2 = f(d^2)$.

Lp.	m [kg]	s [m]	d [m]	d^2 [²]	t [s]					t_{sr} []	t_{sr}^2 [²]
					1	2	3	4	...		
1											
2											
.											

4. Obliczyć równanie prostej metodą najmniejszych kwadratów i narysować tę prostą.

c) Sprawdzenie słuszności równania: $\frac{1}{t^2} = C_1 m - D_1$.

1. Należy ustalić odległość d pomiędzy obciążnikami Ob i drogę s pomiędzy fotokomórkami.
2. Zmierzyć kilkakrotnie czas t potrzebny na przebycie tej drogi s przez ciężarek C o określonej masie m .
3. Pomiary powtórzyć dla kilku różnych mas, mierząc za każdym razem czas t potrzebny na przebycie tej samej drogi s . Pomiary wpisać do tabeli:

Lp.	d [m]	s [m]	m [kg]	t [s]					t_{sr} []	t_{sr}^2 [²]	$\frac{1}{t_{sr}^2}$ [² / s]
				1	2	3	4	...			
1											
2											
.											

4. Na podstawie obliczeń z otrzymanych wyników, sporządzić wykres zależności: $\frac{1}{t^2} = f(n)$
5. Zależność przybliżyć linią prostą wyznaczoną metodą najmniejszych kwadratów.

Autor instrukcji:

Małgorzata Gospodarek

MC 6.2. Wyznaczanie momentu bezwładności brył sztywnych metodą trójkątkowego zawieszenia

INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

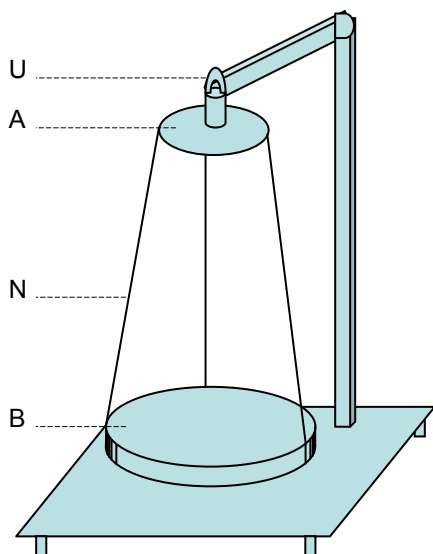
Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Ruch postępowy i obrotowy bryły sztywnej
2. Związek zmiennych liniowych z kątowymi
3. Moment siły, moment bezwładności bryły, twierdzenie Steinera
4. Praca, moc, energia kinetyczna ruchu obrotowego
5. Druga zasada dynamiki Newtona dla ruchu obrotowego
6. Wyznaczanie momentu bezwładności dowolnego ciała z wykorzystaniem wahadła trójkątkowego

Literatura:

1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Mechanika, termodynamika i fizyka cząsteczkowa*, M. Bobyk, H. Goebel, W. Gustaw, red. E. Śpiewła, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1995.
2. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003, tom I.
3. J. Orear, *Fizyka*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1993, tom I.
4. J. R. Taylor, *Wstęp do analizy błęd pomiarowego*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1999.

Wykonanie zadania:



Rys. 1 Stanowisko pomiarowe, wahadło trójkątkowe:
A – tarcza mała, B – tarcza duża, N – nić, U –
uchwyt umożliwiający wprowadzenie tarczy B w
drgania torsyjne

1. Przed przystąpieniem do ćwiczenia należy: zmierzyć długość nici l , promienie tarcz: małej – r i dużej – R ; zważyć dużą tarczę B (znajdując jej masę m_1) oraz jednocześnie obydwie walce dzieląc otrzymany wynik przez dwa (znajdując masy walców m_2).
2. Po wstępnych czynnościach wprowadzić dużą tarczę B w drgania torsyjne, skracając tarczę o niewielki kąt za pomocą uchwyty U. Zmierzyć czas t_1 kilkudziesięciu wahań n i obliczyć okres drgań tarczy B korzystając ze wzoru:

$$T_1 = \frac{t_1}{n}$$

3. W dalszej części ćwiczenia umieścić badane ciało na środku tarczy B. Tarczę wprowadzić w drgania i zmierzyć czas t_2 tej samej liczby wahań n . Obliczyć okres drgań T_2 tarczy B korzystając ze wzoru:

$$T_2 = \frac{t_2}{n}$$

4. Następnie umieścić symetrycznie na tarczy B dwa identyczne ciała o jednakowych masach. Ponownie wprowadzić tarczę w drgania torsyjne. Zmierzyć czas t_3 tej samej liczby wahań n i obliczyć okres drgań tarczy B:

$$T_3 = \frac{t_3}{n}$$

5. Korzystając z danych doświadczalnych obliczyć kolejno:

- moment bezwładności tarczy $I_t = \frac{m_1 g R r T_1^2}{4\pi^2 \sqrt{l^2 - (R-r)^2}}$

- moment bezwładności ciała względem osi środkowej $I_0 = \frac{g R r [m_1 + m_2 I_2^2 - m_1 T_1^2]}{4\pi^2 \sqrt{l^2 - (R-r)^2}}$

- moment bezwładności ciała względem osi przesuniętej w stosunku do osi środkowej o odcinek

$$a \quad I_x = g R r \frac{m_1 + 2m_2 I_3^2 - m_1 T_1^2}{8\pi^2 \sqrt{l^2 - (R-r)^2}}$$

- moment bezwładności ciała I_{xt} względem osi przesuniętej w stosunku do osi środkowej znając wartość a i korzystając z twierdzenia Steinera $I_{xt} = I_0 + m_2 a^2$

6. Wyniki pomiarów i obliczeń wpisać do tabeli wg wzoru:

Lp.	m_1 [kg]	m_2 [kg]	R [m]	l [m]	a [m]	n	t_1 [s]	t_2 [s]	t_3 [s]	T_1 [s]	T_2 [s]	T_3 [s]	I_t [kg m ²]	I_0 [kg m ²]	I_x [kg m ²]	I_{xt} [kg m ²]

7. Niepewność wyznaczenia momentów bezwładności oszacować metodą różniczkowania wzorów na I_t , I_0 , I_x przyjmując za Δr , ΔR , Δl – niepewność pomiaru długości; $\Delta m = \frac{1}{2} \Delta m$ – niepewność pomiaru masy; $\Delta T_1 = \Delta T_2 = \Delta T_3$ – niepewność pomiaru czasu.

Autor instrukcji:

Małgorzata Gospodarek

MC 6.3. Wyznaczanie momentu bezwładności brył nieregularnych

INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

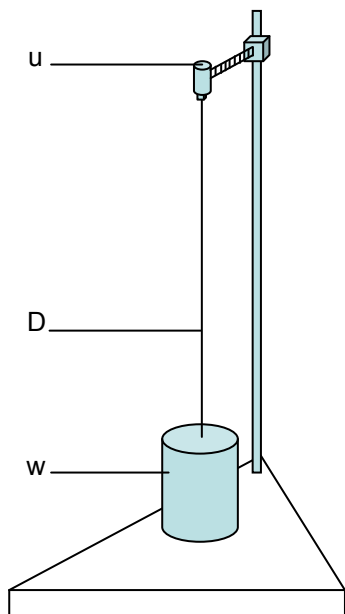
Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Ruch postępowy i obrotowy bryły sztywnej
2. Związek zmiennych liniowych z kątowymi
3. Moment siły, moment bezwładności bryły, twierdzenie Steinera
4. Praca, moc, energia kinetyczna ruchu obrotowego
5. Druga zasada dynamiki Newtona dla ruchu obrotowego
6. Wyznaczanie doświadczalne momentu bezwładności bryły nieregularnej w oparciu o własności drgań torsyjnych

Literatura:

1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Mechanika, termodynamika i fizyka cząsteczkowa*, M. Bobyk, H. Goebel, W. Gustaw, red. E. Śpiewła, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1995.
2. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003, tom I.
3. J. Orear, *Fizyka*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1993, tom I.
4. J. R. Taylor, *Wstęp do analizy błęd pomiarowego*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1999.

Wykonanie zadania:



Rys. 1 Układ pomiarowy: u – uchwyt, D – drut, w – walec

1. Przed przystąpieniem do ćwiczenia, zmierzyc d średnicę walca i zważyć go, znajdując jego masę m .
2. Zawiesić walec na uchwycie pręta (Rys. 1). Wprawiając układ w drgania torsyjne, tzn. skręcając pręt o niewielki kąt, zmierzyc czas t_0 kilkudziesięciu n wahnięć. Okres drgań układu obliczyć ze wzoru:

$$T_0 = \frac{t_0}{n}$$

3. Następnie w miejsce badanego walca zawiesić bryłę nieregularną. W sposób analogiczny (jak w pkt. 2) wyznaczyć okres drgań T dla bryły korzystając ze wzoru:

$$T = \frac{t}{n}$$

4. Z poniższego wzoru, obliczyć moment bezwładności badanej bryły nieregularnej:

$$I = \frac{1}{8}md^2 \frac{T^2}{T_0^2}$$

5. Pomiary powtórzyć kilkakrotnie. Wyniki pomiarów i obliczeń wpisać do tabeli:

Lp.	m [kg]	d [m]	n	t ₀ [s]	t [s]	T ₀ [s]	T [s]	I [kg m ²]
1								
2								
...								

6. Niepewność pomiaru obliczyć metodą różniczkowania wzoru:

$$I = \frac{1}{8}md^2 \frac{T^2}{T_0^2}$$

Autor instrukcji:

Małgorzata Gospodarek

MC 6.4. Sprawdzanie prawa Steinera

INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

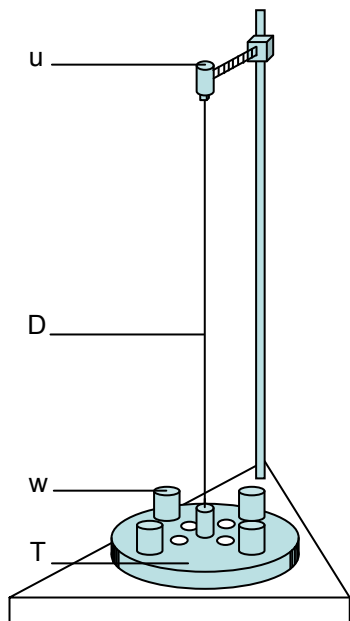
Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Ruch postępowy i obrotowy bryły sztywnej
2. Związek zmiennych liniowych z kątowymi
3. Moment siły, moment bezwładności bryły (szczególnie walca), twierdzenie Steinera
4. Praca, moc, energia kinetyczna ruchu obrotowego
5. Druga zasada dynamiki Newtona dla ruchu obrotowego
6. Wahadło torsyjne, okres drgań wahadła torsyjnego

Literatura:

1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Mechanika, termodynamika i fizyka cząsteczkowa*, M. Bobyk, H. Goebel, W. Gustaw, red. E. Śpiwła, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1995.
2. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003, tom I.
3. J. Orear, *Fizyka*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1993, tom I.
4. J. R. Taylor, *Wstęp do analizy błędów pomiarowych*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1999.

Wykonanie zadania:



Rys. 1 Stanowisko pomiarowe, wahadło torsyjne:
D – drut, u – uchwyt, T – tarcza, w – walec.

1. Przed przystąpieniem do ćwiczenia należy: zważyć cztery walce (znajdując ich masę m), zmierzyć ich promień r , zważyć tarczę T (znajdując jej masę M) i zmierzyć jej promień R .
2. Zawiesić tarczę T na drucie D i wprawić ją w ruch poprzez skrócenie o niewielki kąt. Zmierzyć czas t_0 dla n wahań i obliczyć okres drgań, korzystając ze wzoru:

$$T_0 = \frac{t_0}{n}$$

3. Następnie umieścić na tarczy cztery identyczne walce, w jednakowej odległości d od osi obrotu i wyznaczyć, korzystając z poniższego wzoru, okres drgań T , mierząc czas t dla n wahań:

$$T = \frac{t}{n}$$

W analogiczny sposób dokonać kilku pomiarów dla różnych odległości d (wartość d podaje prowadzący ćwiczenia).

4. Obliczyć, korzystając z otrzymanych wyników, moment bezwładności walca I_x dla każdej odległości d :

$$I_x = \frac{I_0}{4} \left(\frac{T^2}{T_0^2} - 1 \right),$$

gdzie I_0 jest momentem bezwładności tarczy nieobciążonej dodatkowymi walcami.

5. Znając masy walców m , ich promienie r oraz odległość d środka walca od osi obrotu tarczy, obliczyć moment bezwładności walca, korzystając z twierdzenia Steinera:

$$I_{xt} = \frac{1}{2}mr^2 + md^2$$

6. Wyniki pomiarów i obliczeń zestawzić w poniżej tabeli:

I_0 [kg m ²]	m [kg]	r [m]	d [m]	t_0 [s]	t [s]	n	T_0 [s]	T [s]	I_{xt} [kg m ²]	I_x [kg m ²]

7. Sporządzić wykresy $I_x = f(t^2)$ oraz $I_{xt} = f(t^2)$ i stosując metodę najmniejszych kwadratów obliczyć równania odpowiednich prostych oraz niepewności wyznaczenia współczynników A i B prostych.

Autor instrukcji:

Małgorzata Gospodarek

MC 7.2. Wyznaczanie wilgotności powietrza psychometrem Assmanna

INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Zjawisko parowania, para nasycona i nienasycona
2. Izotermy gazów rzeczywistych
3. Zmiany stanów skupienia; wykres fazowy
4. Pojęcie wilgotności bezwzględnej i względnej
5. Budowa i zasada działania psychometru Assmanna

Literatura:

1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Mechanika, termodynamika i fizyka cząsteczkowa*, M. Bobyk, H. Goebel, W. Gustaw, red. E. Śpiewła, Wydawnictwo Uczelniane PL, Lublin 1995.
2. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003, tom II.
3. B. Kuśmiderska, J. Meldizon, *Podstawy rachunku błędów w pracowni fizycznej*, red. E. Śpiewła, Wydawnictwo Uczelniane PL, Lublin 1997.

Wartości podawane przez prowadzącego zajęcia:

Stała $A = 6,62 \cdot 10^{-4} \text{ 1/K}$

1 mmHg = 133,3 Pa

Ciśnienia i gęstości pary wodnej nasyconej w różnych temperaturach – Tabela 1 na końcu instrukcji

Wykonanie zadania:

1. Niewielką zlewkę napełnić wodą destylowaną i podsunąć pod termometr z niebieską obwódką, aby poziom wody dotykał mosiężnego pierścienia pod obwódką. Zlewkę pozostawić na podstawce na kilka minut (Rys. 1).
2. Usunąć zlewkę i odczekać około 10 minut dla ustalenia równowagi termodynamicznej.
3. Obracać kołem u góry psychometru napinając sprężynę mechanizmu zegarowego pompki do czasu, aż obroty wentylatora zaczną wyraźnie wzrastać. Obroty pompki utrzymywać przez 3-4 minuty.
4. Odczytać temperaturę na obu termometrach (przy obracającej się pompce): T_s – temperatura termometru suchego, T_m – temperatura termometru mokrego.
5. Powtórzyć pomiary kilkakrotnie.
6. Z barometru rtęciowego umieszczonego na ścianie odczytać ciśnienie atmosferyczne w mmHg (od wskazań odjąć poprawkę na temperaturową rozszerzalność rtęci – tabela obok barometru). Następnie ciśnienie przeliczyć z mmHg na paskale .



Rys. 1 Psychometr Assmanna

7. Po wykonaniu pomiarów należy wyznaczyć:

- p_n [Pa] – ciśnienie pary nasyconej w temperaturze T_s (z Tabeli 1),
- p'_n [Pa] – ciśnienie pary nasyconej w temperaturze T_m (z Tabeli 1),
- p_p [Pa] – ciśnienie pary znajdującej się aktualnie w powietrzu (w temp. T_s) wg wzoru:

$$p_p = p'_n - A \cdot p_a (T_s - T_m) ,$$

gdzie:

- p_a [Pa] – ciśnienie atmosferyczne w paskalach,
- T_s – temperatura powietrza w sali (termometr suchy),
- T_m – temperatura termometru mokrego,
- A – stała

- wilgotność względną ze wzoru:

$$w_w [\%] = \frac{p_p}{p_n} \cdot 100\%$$

- wilgotność bezwzględną ze wzoru:

$$w_b \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] = \frac{p_p}{p_n} \cdot \rho_n$$

gdzie:

ρ_n – gęstość pary nasyconej w powietrzu w temperaturze T_s (odczytana z Tabeli 1).

8. Niepewność wyznaczenia poszczególnych wielkości należy oszacować metodą różniczkowania, przy czym:

- $\Delta T_s, \Delta T_m$ – największe odchylenie od wartości średniej, odpowiednio dla T_s i T_m ,
- $\Delta(p_n), \Delta(p'_n)$ – niedokładność wyznaczenia p_n i p'_n związana z niedokładnością pomiaru temperatury T_s i T_m – równa zmianie ciśnienia pary nasyconej przy zmianie temperatury odpowiednio o ΔT_s i ΔT_m (wyznaczyć w oparciu o Tabelę 1),
- $\Delta(p_a)$ – wartość 1 mmHg wyrażona w paskalach,
- $\Delta \rho_n$ – niedokładność wyznaczenia ρ_n związana z niedokładnością pomiaru temperatury T_s – równa zmianie gęstości pary nasyconej przy zmianie temperatury o ΔT_s (wyznaczyć w oparciu o Tabelę 1).

Tabela 1.

Zależność ciśnienia i gęstości pary wodnej nasyconej od temperatury

T [K]	p_n [Pa]	ρ_n [$10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$]	T [K]	p_n [Pa]	ρ_n [$10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$]	T [K]	p_n [Pa]	ρ_n [$10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$]
273,15	610	4,84	291,15	2061	15,40	309,15	5941	41,80
274,15	657	5,22	292,15	2198	16,30	310,15	6275	44,00
275,15	706	5,60	293,15	2338	17,30	311,15	6625	46,30
276,15	758	5,98	294,15	2486	18,30	312,15	6992	48,70
277,15	813	6,40	295,15	2643	19,40	313,15	7376	51,20
278,15	872	6,84	296,15	2809	20,60	314,15	7778	53,80
279,15	935	7,30	297,15	2983	21,80	318,15	9589	65,40
280,15	1002	7,80	298,15	3167	23,00	323,15	12337	83,00
281,15	1073	8,30	299,15	3361	24,40	328,15	15751	104,30
282,15	1142	8,80	300,15	3565	25,80	333,15	19925	130,20
283,15	1228	9,40	301,15	3780	27,20	338,15	25006	161,10
284,15	1312	10,00	302,15	4005	28,70	343,15	31168	198,10
285,15	1402	10,70	303,15	4243	30,30	348,15	38557	241,80
286,15	1497	11,40	304,15	4492	32,10	353,15	47372	293,30
287,15	1598	12,10	305,15	4755	33,90	358,55	57802	35340
288,15	1705	12,80	306,15	5030	35,70	363,15	70138	423,50
289,15	1818	13,60	307,15	5319	37,60	368,15	84529	504,50
290,15	1933	14,50	308,15	5623	39,60	373,15	101359	597,70

Autor instrukcji:

Andrzej Dudziak

MC 8.1. Wyznaczanie współczynnika napięcia powierzchniowego cieczy metodą kapilary pionowej

INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Definicja siły spójności i przylegania
2. Definicja mechaniczna napięcia powierzchniowego
3. Definicja energetyczna napięcia powierzchniowego
4. Rozkład działających sił na sferyczną (wypukłą) i bardziej złożoną powierzchnię cieczy
5. Warunki powstawania menisku wklęsłego i wypukłego
6. Wyznaczanie wartości współczynnika napięcia powierzchniowego przy użyciu kapilary

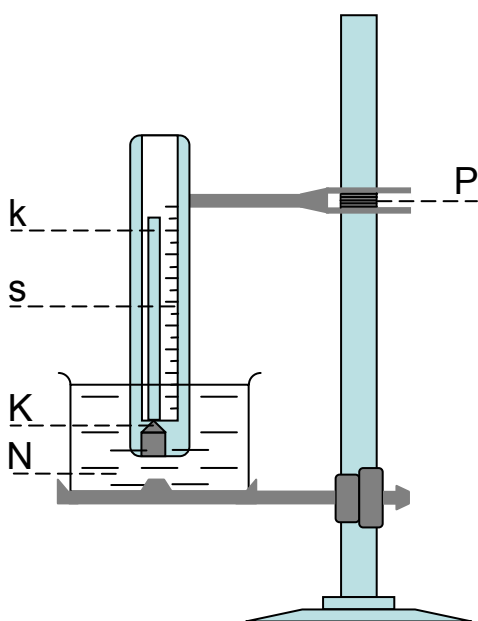
Literatura:

1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Mechanika, termodynamika i fizyka cząsteczkowa*, M. Bobyk, H. Goebel, W. Gustaw, red. E. Śpiewła, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1995.
2. J. R. Taylor, *Wstęp do analizy błęd pomiarowego*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1999.

Wartości podawane przez prowadzącego zajęcia:

Gęstość cieczy:	8.2 (alkohol n-propylowy)	$\rho = 803,3 \text{ kg/m}^3$
	8.3 (toluen)	$\rho = 866,9 \text{ kg/m}^3$
	8.4 (alkohol n-butyłowy)	$\rho = 811,6 \text{ kg/m}^3$

Wykonanie zadania:



Rys. 1 Stanowisko pomiarowe: k – kapilara, K – ostrze, N – naczynie z cieczą, P – pokrętło, s – skala milimetrowa

1. Otwartą obustronnie kapilarę (k) zamocować na skali milimetrowej (s) tak, aby jej początek wskazywało ostrze (K).
2. Następnie za pomocą pokrętła (P), po pierwsze, zanurzyć skalę wraz z kapilarą w naczyniu (N) z badaną cieczą do dna, po drugie, podnieść ją tak, aby ostrze dotykało od spodu powierzchni cieczy (powierzchnię cieczy obserwujemy od dołu).
3. Odczytać ze skali milimetrowej wysokość h cieczy zwilżającej kapilarę, jako różnicę położeń menisku cieczy i ostrza.
4. W kolejnym etapie doświadczenia odłamać kawałek kapilary dokładnie w miejscu, gdzie znajdował się menisk cieczy i przy pomocy mikroskopu zmierzyć średnicę wewnętrzną kapilary w działkach okularu (odłamany kawałek kapilary ustawić na szkiełku mikroskopowym pionowo – przykleić go, skierowując koniec odłamany do góry). Znając wartość działki okularu, wyrażoną w metrach (wielkość podana na drzwiczkach obudowy mikroskopu), znaleźć średnicę kapilary d .
5. Znając h – wysokość, na jaką podnosi się ciecz w kapilarze, d – średnicę wewnętrzną kapilary, ρ – gęstość cieczy badanej, g – przyspieszenie ziemskie, obliczyć na podstawie poniższego wzoru wartość współczynnika napięcia powierzchniowego:

$$\sigma = \frac{1}{4} dh\rho g \quad (1)$$

6. Pomiary powtórzyć kilkakrotnie w zależności od wymagań prowadzącego zajęcia.
7. Otrzymane wyniki zanotować w tabeli:

Lp.	Rodzaj cieczy	T [K]	ρ [kg/m ³]	h [m]	d [m]	σ [N/m]	$\bar{\sigma}$ [N/m]	δ %
1								
2								
n								

8. Niepewność pomiaru obliczyć metodą różniczkowania wzoru (1), przyjmując za niepewność pomiaru wysokości Δh dokładność przymiaru liniowego, niepewność pomiaru średnicy Δd dokładność cechowania i odczytu na mikroskopie.

Autor instrukcji:

Małgorzata Gospodarek

MC 8.2. Wyznaczanie współczynnika napięcia powierzchniowego cieczy za pomocą stalagmometru

INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Definicja siły spójności i przylegania
2. Definicja mechaniczna napięcia powierzchniowego
3. Definicja energetyczna napięcia powierzchniowego
4. Rozkład działających sił na sferyczną (wypukłą) i bardziej złożoną powierzchnię cieczy
5. Fazy narastania i odrywania się kropeł cieczy z pionowej rurki włoskowatej pod wpływem działających sił
6. Wyznaczanie wartości współczynnika napięcia powierzchniowego badanej cieczy przy wykorzystaniu stalagmometru

Literatura:

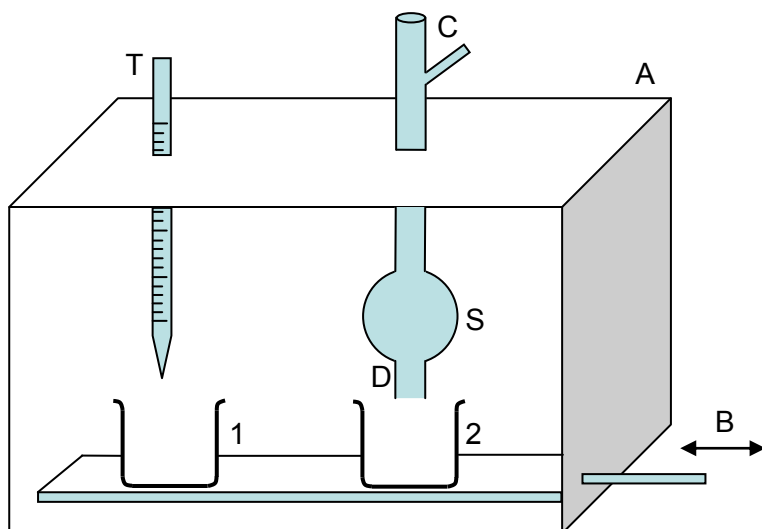
1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Mechanika, termodynamika i fizyka cząsteczkowa*, M. Bobyk, H. Goebel, W. Gustaw, red. E. Śpiewła, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1995.
2. J. R. Taylor, *Wstęp do analizy błęd pomiarowego*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1999.

Wartości podawane przez prowadzącego zajęcia:

Gęstość cieczy: 8.1 (woda)	$\rho = 998,2 \text{ kg/m}^3$
8.2 (alkohol n-propylowy)	$\rho = 803,3 \text{ kg/m}^3$
8.3 (toluen)	$\rho = 866,9 \text{ kg/m}^3$
8.4 (alkohol n-butyłowy)	$\rho = 811,6 \text{ kg/m}^3$

Średnica zewnętrzna kapilary: $D = 1 \cdot 10^{-2} \text{ m}$

Wykonanie zadania:



Rys. 1 Stalagmometr termostatowany: S – stalagmometr, A – obudowa termostatowana, T – termometr, C – rurka igielitowa, B – podstawa, 1 i 2 – naczynka wagowe

1. Przed przystąpieniem do doświadczenia należy zważyć naczynko 1, wyznaczając masę m_1 . Do naczynka nr 2 nalać badaną ciecz, zanurzyć stalagmometr S i przy pomocy strzykawki zamocowanej w rurce igielitowej C napęlnić stalagmometr.
2. Przesunąć ruchomą podstawkę B tak, aby napęlniony badaną cieczą stalagmometr S znalazł się nad naczynkiem nr 1. Zdjąć strzykawkę i policzyć liczbę opadających do naczynka kropeł n . Powyższą czynność powtórzyć 3-4 razy, tak aby uzyskać liczbę kropeł ok. 20-30.
3. Naczynko nr 1 zważyć ponownie razem z cieczą (masa m_2). Korzystając z poniższego wzoru obliczyć masę pojedynczej kropli:

$$m = \frac{m_2 - m_1}{n} \quad (1)$$

4. Obliczyć objętość pojedynczej kropli ze wzoru:

$$V = \frac{m}{\rho_T} = \frac{m_2 - m_1}{\rho_T}, \quad (2)$$

gdzie ρ_T jest gęstością cieczy w temperaturze wykonywania pomiaru.

5. Korzystając z Tablicy 1 znaleźć wartości współczynnika korekcyjnego K dla wyznaczonej objętości kropli.
6. Obliczyć współczynnik napięcia powierzchniowego badanej cieczy ze wzoru:

$$\sigma = \frac{m_2 - m_1}{n} \frac{g}{r} K, \quad (3)$$

gdzie r – promień zewnętrzny kapilary, g – przyspieszenie ziemskie.

7. Pomiary powtórzyć kilka razy dla tej samej liczby kropeł badanej cieczy.
8. Otrzymane wyniki zanotować w tabeli:

Lp.	Rodzaj cieczy	T [K]	ρ_T [kg/m ³]	m_1 [kg]	m_2 [kg]	n	V [m ³]	r [m]	V/r^3	K	σ [N/m]	$\bar{\sigma}$ [N/m]	δ %
1													
2													
n													

9. Niepewność pomiaru oszacować metodą różniczkowania wzoru (3).

Tablica 1

$\frac{v}{r^3}$	K	$\frac{v}{r^3}$	K	$\frac{v}{r^3}$	K
∞	0,159	5,1	0,25273	1,5	0,26560
5000	0,172	5,0	0,25306	1,45	0,26560
250	0,198	4,9	0,25340	1,4	0,26536
58,1	0,215	4,8	0,25373	1,38	0,26528
24,6	0,2256	4,7	0,25407	1,36	0,26520
17,7	0,2305	4,6	0,25448	1,34	0,26510
13,0	0,23546	4,5	0,25472	1,32	0,26500
12,0	0,23702	4,4	0,25509	1,30	0,26490
11,5	0,23780	4,3	0,25545	1,28	0,26474
11,0	0,23857	4,2	0,25583	1,26	0,26460
10,5	0,23940	4,1	0,25620	1,24	0,26438
10,0	0,24025	4,0	0,25659	1,22	0,26418
9,5	0,24117	3,9	0,25697	1,20	0,26396
9,0	0,24195	3,8	0,25734	1,18	0,26372
8,5	0,24324	3,7	0,25772	1,16	0,26350
8,0	0,24440	3,6	0,25810	1,14	0,26324
7,8	0,24490	3,5	0,25848	1,12	0,26296
7,6	0,24538	3,4	0,25892	1,10	0,26264
7,4	0,24590	3,3	0,25937	1,08	0,26230
7,2	0,24640	3,2	0,25980	1,06	0,26190
7,0	0,24693	3,1	0,26024	1,04	0,26154
6,9	0,24720	3,0	0,26068	1,02	0,26115
6,8	0,24750	2,9	0,26110	1,00	0,26070
6,7	0,24777	2,8	0,26154	0,95	0,25960
6,6	0,24804	2,7	0,26198	0,90	0,25815
6,5	0,24836	2,6	0,26241	0,85	0,25645
6,4	0,24867	2,5	0,26286	0,80	0,25460
6,3	0,24897	2,4	0,26327	0,75	0,25255
6,2	0,24925	2,3	0,26370	0,70	0,25030
6,1	0,24952	2,2	0,26410	0,65	0,24770
6,0	0,24984	2,1	0,26450	0,626	0,2464
5,9	0,25015	2,0	0,26488	0,597	0,2445
5,8	0,25047	1,9	0,26518	0,570	0,2430
5,7	0,25078	1,8	0,26543	0,541	0,2430
5,6	0,25110	1,75	0,26553	0,512	0,2441
5,5	0,25142	1,7	0,26563	0,483	0,2460
5,4	0,25174	1,65	0,26567	0,455	0,2491
5,3	0,25208	1,6	0,26568	0,428	0,2526
5,2	0,25240	1,55	0,26566	0,403	0,2559

Autor instrukcji:

Małgorzata Gospodarek

MC 9.1. Wyznaczanie współczynnika lepkości dynamicznej metodą Stokes'a

INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Pojęcie i zjawisko lepkości
2. Siły tarcia wewnętrznego, wzór Newtona
3. Przepływ laminarny i turbulentny
4. Współczynnik lepkości
5. Prawo Stokes'a
6. Ruch kulki opadającej w cieczy: analiza sił działających na kulkę i rodzajów ruchu

Literatura:

1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Mechanika, termodynamika i fizyka cząsteczkowa*, M. Bobyk, H. Goebel, W. Gustaw, red. E. Śpiewła, Wydawnictwo Uczelniane PL, Lublin 1995.
2. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003, tom I i II.
3. R. Puzyrewski, J. Sawicki, *Podstawy mechaniki płynów i hydrauliki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2000.
4. B. Kuśmiderska, J. Meldizon, *Podstawy rachunku błędów w pracowni fizycznej*, red. E. Śpiewła, Wydawnictwo Uczelniane PL, Lublin 1997.

Wartości podawane przez prowadzącego zajęcia:

Gęstość ołowiu: $\rho_k = 11340 \text{ kg/m}^3$

Gęstość gliceryny: $\rho_c = 1264,1 \text{ kg/m}^3$ dla 15°C
 $1260,9 \text{ kg/m}^3$ dla 20°C
 $1258,0 \text{ kg/m}^3$ dla 25°C

Gęstość oleju parafinowego: $\rho_c = 842 \text{ kg/m}^3$

Wartość jednej działki skali okularu (k) – umieszczona na obudowie mikroskopu

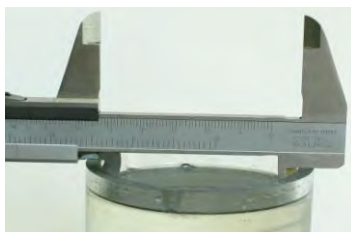
Wykonanie zadania:

1. Wybrać kilkanaście kulek o średnicach różniących się nie więcej niż o 2 działki skali okularu. Każdą kulkę umieścić na szkiełku podstawkowym i obejrzeć pod mikroskopem, mierząc jej średnicę ($2r$) w działkach skali okularu.
2. Umieścić wybrane kulki w małym naczynku zawierającym badaną ciecz i delikatnie zamieszać.
3. Przez otwór w przykrywce cylindra z badaną cieczą (Rys. 1) należy, posługując się pęsetą, wpuścić po kolei kulki i za pomocą stopera zmierzyć dla każdej z nich czas (t) opadania pomiędzy nacięciami na cylindrze (ruch jednostajny kulek).
4. Zmierzyć odległość nacięć na cylindrze (s) za pomocą przymiaru milimetrowego z kilku stron cylindra i uśrednić wynik.

Rys. 1 Wiskozymetr Stokesa



5. Zmierzyc kilkakrotnie średnicę **wewnętrzną** cylindra (R) za pomocą suwmiarki wykorzystując szczytki do pomiarów wewnętrznych (Rys. 2).



Rys. 2 Sposób pomiaru średnicy wewnętrznej cylindra

6. Współczynnik lepkości należy obliczyć ze wzoru:

$$\eta = \frac{2 \cdot r^2 \cdot g \cdot (\rho_k - \rho_c) \cdot t}{9 \cdot s \cdot \left(1 + 2,4 \frac{r}{R}\right)}$$

gdzie:

- | | |
|---------------------------------------|--|
| r [m] | - promień kulki (średni, gdy średnice kulek różnią się nie więcej niż o 2
działki skali okularu), |
| ρ_k, ρ_c [kg/m ³] | - gęstość materiału kulek (ołów) i gęstość cieczy, |
| t [s] | - czas ruchu jednostajnego (średni), |
| s [m] | - droga w ruchu jednostajnym, |
| R [m] | - promień wewnętrzny cylindra, |
| g [m/s ²] | - przyspieszenie ziemskie. |

7. Niepewność wyznaczenia współczynnika lepkości należy obliczyć metodą Gaussa, przyjmując, że $\eta = f(t, r)$, zaś pozostałe wielkości potraktować jako stałe.

Uwaga: Gdy średnice kulek użytych w ćwiczeniu różnią się o więcej niż 2 działki skali okularu, wówczas nie należy liczyć średniego promienia kulek i średniego czasu ruchu, lecz dla każdej kulki z osobna należy policzyć wartość współczynnika lepkości. Wtedy niepewność wyznaczenia współczynnika lepkości dla danego pomiaru należy oszacować metodą różniczkowania, przy czym $\eta = f(t, r, s, R)$. Za niepewności pomiarów bezpośrednich należy przyjąć:

- | | |
|----------------|--|
| Δt [s] | - czas włączania plus czas wyłączenia stopera elektronicznego, |
| Δr [m] | - wartość jednej działki skali okularu, |
| Δs [m] | - 2 mm = 0,002m, |
| ΔR [m] | - największe odchylenie od wartości średniej (lub dokładność suwmiarki). |

Autor instrukcji:

Andrzej Dudziak

MC 9.2. Wyznaczanie współczynnika lepkości metodą Ostwalda

INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Pojęcie i zjawisko lepkości
2. Siły tarcia wewnętrznego, wzór Newtona
3. Przepływ laminarny i turbulentny
4. Współczynnik lepkości
5. Przepływ cieczy przez rurę, wzór Poiseuille'a
6. Budowa i zasada działania wiskozymetru Ostwalda

Literatura:

1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Mechanika, termodynamika i fizyka cząsteczkowa*, M. Bobyk, H. Goebel, W. Gustaw, red. E. Śpiewła, Wydawnictwo Uczelniane PL, Lublin 1995.
2. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003, tom I i II.
3. R. Puzyrewski, J. Sawicki, *Podstawy mechaniki płynów i hydrauliki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2000.
4. B. Kuśmiderska, J. Meldizon, *Podstawy rachunku błędów w pracowni fizycznej*, red. E. Śpiewła, Wydawnictwo Uczelniane PL, Lublin 1997.

Wartości podawane przez prowadzącego zajęcia:

Gęstość wody i jej lepkość w zależności od temperatury – tabele na końcu instrukcji

Gęstości cieczy badanych:

9.1 (alkohol n-butyłowy) - $\rho_c = 810 \text{ kg/m}^3$

9.2 (alkohol metyłowy) - $\rho_c = 792 \text{ kg/m}^3$

9.3 (aceton) - $\rho_c = 792 \text{ kg/m}^3$

Wykonanie zadania:

1. Przepłukać wiskozymetr badaną cieczą. Używając odpowiedniej strzykawki należy pobrać ok. 5 ml cieczy i poprzez wężyk wprowadzić ją do wiskozymetru. Po przemyciu, ciecz usuwa się do zlewki wyjmując wiskozymetr z kąpieli wodnej i przechylając go. Pompując powietrze strzykawką połączoną do wężyka, powoduje się wypłynięcie całej cieczy.
2. Wprowadzić do wiskozymetru za pomocą strzykawki 14 ml badanej cieczy (dokładnie odmierzonej).
3. Mierzyć czas opadania powierzchni cieczy od kreski ponad prawym górnym zbiornikiem do kreski pod tym zbiornikiem. W trakcie tego pomiaru strzykawka musi być odłączona.
4. Pomiar powtórzyć wielokrotnie (kilkanaście razy), za każdym razem podciągając ciecz do prawego górnego zbiornika za pomocą okresowo podłączanej strzykawki.
5. Zapisać temperaturę kąpieli wodnej, w której zanurzony jest wiskozymetr.
6. Usunąć ciecz do zbiornika z badaną próbką.

Rys. 1 Wiskozymetr Ostwalda



7. Przepłukać wiskozymetr wodą destylowaną. **Uwaga:** alkohol n-butyłowy (próbka 9.1) źle rozpuszcza się w wodzie, więc w tym przypadku po pomiarach wiskozymetr należy umyć najpierw acetonem lub alkoholem metylowym, następnie wodą destylowaną.
8. Wprowadzić do wiskozymetru 14 ml wody destylowanej (dokładnie odmierzonej).
9. Wykonać pomiary czasu opadania wody jak w pkt. 3 i 4.
10. Wylać wodę z wiskozymetru.
11. Współczynnik lepkości cieczy obliczyć ze wzoru:

$$\eta = \eta_0 \frac{t \cdot \rho}{t_0 \cdot \rho_0} ,$$

gdzie:

- η_0 - współczynnik lepkości wody destylowanej w temperaturze kąpieli wodnej wiskozymetru,
- ρ, ρ_0 - gęstość badanej cieczy i wody destylowanej w temperaturze kąpieli wodnej,
- t, t_0 - czas opadania badanej cieczy i wody destylowanej (wartości średnie).

12. Niepewność wyznaczenia współczynnika lepkości należy obliczyć metodą Gaussa, przyjmując, że $\eta = f(t, t_0)$, zaś pozostałe wielkości potraktować jako stałe.

Uwaga: Gdy liczba powtórzeń pomiarów jest niewystarczająca (<10), wtedy niepewność wyznaczenia współczynnika lepkości należy oszacować metodą różniczkowania. Wówczas $\eta = f(t, t_0, \eta_0, \rho_0)$, zaś za niepewności pomiarów bezpośrednich należy przyjąć:

- $\Delta t, \Delta t_0$ - największe odchylenia od wartości średnich,
- $\Delta \rho_0$ - niedokładność wyznaczenia gęstości wody związana z niedokładnością pomiaru temperatury – równa zmianie gęstości wody przy zmianie temperatury o 1K (wyznaczyć w oparciu o Tabelę 1).
- $\Delta \eta_0$ - niedokładność wyznaczenia współczynnika lepkości wody związana z niedokładnością pomiaru temperatury – równa zmianie współczynnika lepkości wody przy zmianie temperatury o 1K (wyznaczyć w oparciu o Tabelę 2).

Gęstość badanej cieczy potraktować jako stałą.

Tabela 1. Gęstość wody w zależności od temperatury

Temperatura [°C]	Gęstość [kg/m ³]
0	999,84
5	999,96
10	999,70
15	999,10
16	998,94
17	998,77
18	998,60
19	998,40
20	998,20
21	997,99
22	997,77
23	997,53
24	997,29
25	997,04
26	996,78
27	996,51
28	996,23
29	995,94
30	995,64
35	994,03
39	992,59

Tabela 2. Zależność współczynnika lepkości wody od temperatury

Temperatura [°C]	η_0 [10 ⁻³ Ns/m ²]
0	1,778
5	1,510
10	1,303
15	1,134
20	1,002
25	0,891
30	0,798
35	0,720
40	0,654

Autor instrukcji:

Andrzej Dudziak

MC 10.1. Wyznaczanie współczynnika rozszerzalności liniowej i objętościowej ciał stałych

INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

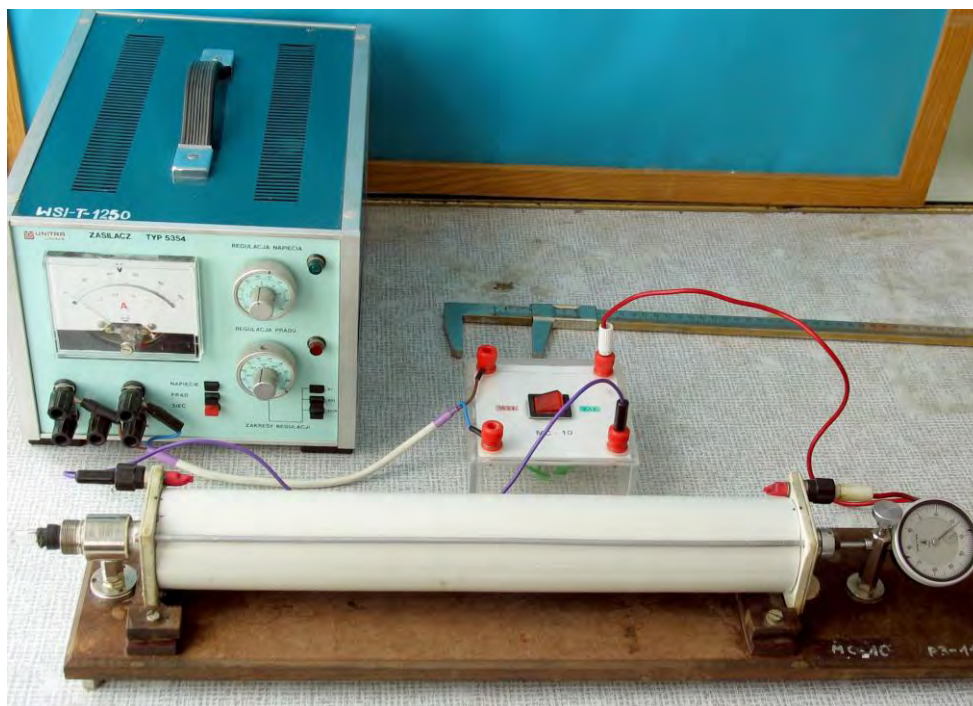
Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Zjawisko rozszerzalności liniowej i objętościowej ciał stałych
2. Wyjaśnienie mechanizmu rozszerzalności cieplnej
 - a) charakter siły oddziaływania międzycząsteczkowego
 - b) wykres zależności sił wzajemnego oddziaływania od odległości między cząsteczkami
 - c) wykres energii potencjalnej wzajemnego oddziaływania dwóch cząsteczek
3. Definicja współczynnika rozszerzalności liniowej, sens fizyczny i jednostka miary
4. Definicja współczynnika rozszerzalności objętościowej, sens fizyczny i jednostka miary
5. Pojęcie ciepła i jednostka miary. Prawo Joule'a-Lenza
6. Pojęcie temperatury; skale i jednostki miary

Literatura:

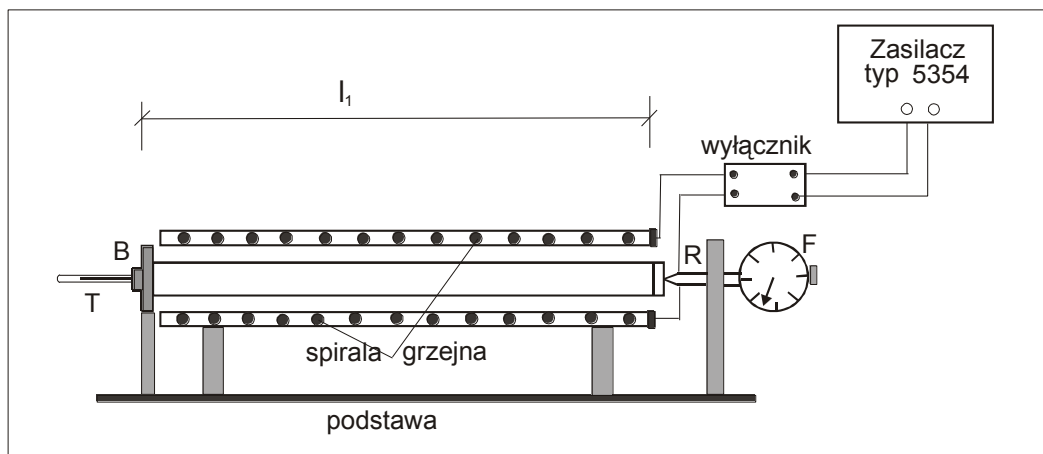
1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Mechanika, termodynamika i fizyka cząsteczkowa*, M. Bobyk, H. Goebel, W. Gustaw, red. E. Śpiewła, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin, 1995.
2. B. Kuśmiderska, J. Meldizon, *Podstawy rachunku błędów w pracowni fizycznej*, red. E. Śpiewła, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin, 1992.
3. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2005, tom II.

Wykonanie zadania:



Rys. 1 Fotografia stanowiska pomiarowego do wyznaczania współczynnika rozszerzalności liniowej ciał stałych. Opis: na pierwszym planie widać piec elektryczny, w środku którego umieszczona jest badana rurka, której koniec widoczny jest po prawej stronie. Do tego końca

dotyka ruchomy trzpień czujnika mikrometrycznego. Lewy koniec otwartej rurki zatkany jest korkiem z umieszczonym w nim termometrem. Piec podłączony jest przez wyłącznik do zasilacza. Za wyłącznikiem widnieje duża suwmiarka do pomiaru długości początkowej pręta.



Rys. 2 Przekrój poprzeczny urządzenia do wyznaczania współczynnika rozszerzalności liniowej: F – czujnik mikrometryczny, R – trzpień czujnika, T – termometr, B – uchwyt mocujący rurkę z termometrem umieszczonym w korku gumowym.

1. Pobrać od prowadzącego zajęcia: rurkę z badanego materiału, termometr zamocowany w korku (do 100 C^0) oraz czujnik mikrometryczny.
2. Zmierzyć długość początkową pręta l_1 za pomocą suwmiarki.
3. Umieścić delikatnie rurkę wewnątrz pieca elektrycznego, tak by otwarty koniec rurki tkwił nieruchomo w gnieździe B (schemat na Rys. 2).
4. Zamocować ostrożnie korek gumowy z termometrem T od strony otwartej rurki, odczekać 5 min i odczytać temperaturę T_1 .
5. Z drugiej strony rurki zamontować czujnik mikrometryczny F tak, by jego ruchome ramię R lekko dotykało zamkniętej części rurki.
6. Wyzerować skalę czujnika pokręcając jego zewnętrzną obudowę (wskazówka powinna wskazywać zero).
7. Połączyć obwód elektryczny według schematu na Rys. 2.
8. Po sprawdzeniu obwodu przez prowadzącego, załączyć sieć oraz ustawić napięcie na około 40 V przy maksymalnym prądzie I_{\max} , w tym celu gałkę od regulacji natężenia prądu obrócić do oporu w prawą stronę.
9. Po ogrzaniu próbki do temperatury 323 K (50^0C), zanotować tę temperaturę jako T_2 oraz jednocześnie odczytać położenie czujnika, które odzwierciedla wydłużenie pręta o Δl_1 .
10. Zwiększyć napięcie do 50 V i przy temperaturze 333 K (60^0C) odczytać jednocześnie wskazanie czujnika - Δl_2 .
11. Powtarzać czynności, zwiększając temperaturę o 10^0 i zapisując jednocześnie wskazania wydłużenia czujnika Δl .
12. Nie przekroczyć temperatury 90^0C . Po jej osiągnięciu i końcowym odczycie wskazania na czujniku, zredukować napięcie do zera.
13. Na podstawie uzyskanych w doświadczeniu danych obliczyć szukane wartości λ_{1-2} i β_{1-2} ze wzorów:

$$\lambda_{1-2} = \frac{1}{l_1} \frac{l_2 - l_1}{T_2 - T_1} = \frac{1}{l_1} \frac{\Delta l}{\Delta T} \quad \text{oraz} \quad \beta_{1-2} = 3\lambda_{1-2}.$$

14. Metodą różniczkowania obliczyć niepewność względną dla wszystkich przedziałów temperatur.

15. Wartości niepewności przy pomiarach bezpośrednich:

a) przy odczycie długości pręta mierzonej za pomocą suwmiarki: $\Delta l_1 = 0,1 \text{ mm} = 10^{-4} \text{ m}$

b) przy odczycie wydłużenia mierzonego na czujniku $\Delta \Delta l \approx 0,01 \text{ mm} = 10^{-5} \text{ m}$

c) przy odczycie temperatury: $\Delta T = 1 \text{ K}$

Uwaga: Pieca nie można chłodzić wodą, w lodówce lub za oknem (grozi to jego uszkodzeniem) !

Autor instrukcji:

Anna Jaśkowska

MC 10.2. Wyznaczanie współczynnika rozszerzalności objętościowej cieczy

INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Zjawisko rozszerzalności objętościowej cieczy
2. Definicja gęstości ciała, jednostka miary, zależność gęstości ciała od temperatury
3. Definicja współczynnika rozszerzalności objętościowej, sens fizyczny i jednostka miary
4. Wyprowadzenie wzoru na współczynnik rozszerzalności objętościowej cieczy z uwzględnieniem rozszerzalności cieplnej szkła
5. Pojęcie ciepła i jednostka miary
6. Pojęcie temperatury; skale i jednostki miary
7. Wyjaśnienie mechanizmu rozszerzalności cieplnej
 - a) charakter siły oddziaływania międzycząsteczkowego
 - b) wykres zależności sił wzajemnego oddziaływania od odległości między cząsteczkami
 - c) wykres energii potencjalnej wzajemnego oddziaływania dwóch cząsteczek
8. Budowa piknometru

Literatura:

1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Mechanika, termodynamika i fizyka cząsteczkowa*, M. Bobyk, H. Goebel, W. Gustaw, red. E. Śpiewła, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin, 1995.
2. B. Kuśmiderska, J. Meldizon, *Podstawy rachunku błędów w pracowni fizycznej*, red. E. Śpiewła, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin, 1992.
3. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2005, tom II.

Wartości podawane przez prowadzącego zajęcia:

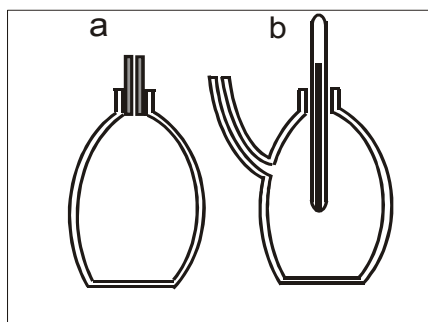
Współczynnik rozszerzalności objętościowej szkła $\gamma = 27 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$
Temperatura kąpieli wodnej dla wszystkich badanych cieczy: 70° C

Wykonanie zadania:



Rys. 1 Fotografia przedstawia stanowisko pomiarowe do wyznaczenia współczynnika rozszerzalności objętościowej cieczy. Opis: na pierwszym planie - drewniane szczytce do

przenoszenia piknometru, maszynka elektryczna z naczyniem aluminiowym wypełnionym wodą do podgrzewania cieczy w piknometrze (w środkowym otworze pokrywy widać wystający korek piknometru po umieszczeniu naczynia w kąpeli wodnej, w bocznym – termometr do odczytu temperatury kąpeli wodnej. Obok grzejnika, po lewej stronie – piknometr wypełniony badaną cieczą i lejek do napełniania piknometru. W tle - komplet odważników w pudełku, z tyłu – waga laboratoryjna.



Rys. 2 Przekrój poprzeczny piknometru

1. Pobrać u prowadzącego: piknometr, termometr, badaną ciecz, zestaw odważników, lejek i drewniane szczypce.
2. Zważyć pusty piknometr z korkiem - m_p .
3. Napęlnić piknometr badaną cieczą do pełna.
4. Wstawić otwarty piknometr w mieszaninę wody z lodem (lód pobrać z zamrażarki), odczekać parę minut w celu wyrównania temperatury cieczy w piknometrze z temperaturą mieszaniny wody z lodem – (temperatura cieczy w piknometrze równa się temperaturze mieszaniny wody z lodem: $T_0 = 273,15 \text{ K}$ (0° C)).
5. Zamknąć korkiem piknometr (część cieczy wyleje się na zewnątrz).
6. Osuszyć piknometr bibułą i zważyć go – m_0 (czynność wykonywać możliwie szybko i przy pomocy drewnianych szczypiec, aby uniknąć ogrzania cieczy w piknometrze).
7. Po zważeniu, piknometr z cieczą zanurzyć do wody ogrzanej uprzednio na kuchence elektrycznej do odpowiedniej temperatury (70° C) zależnie od rodzaju badanej cieczy (temperaturę podaje prowadzący zajęcia).
8. W momencie, gdy ciecz przestanie wypływać na zewnątrz z piknometru na skutek ogrzewania, wyjąć piknometr z wody, osuszyć jak poprzednio i zważyć po raz trzeci - m_T .
9. Uzyskane dane m_0 , m_p , m_T wstawić do wzoru:

$$\beta_{0-T} = \frac{(m_0 - m_p)(1 + \gamma\Delta T) - (m_T - m_p)}{(m_T - m_p)\Delta T}, \quad (1)$$

gdzie:

ΔT oznacza różnicę temperatur pomiędzy temperaturą cieczy w kąpeli wodnej ogrzanej do odpowiedniej temperatury T (70° C) a temperaturą cieczy w piknometrze, gdy był on umieszczony w mieszaninie wody z lodem T_0 ,

γ - współczynnik rozszerzalności objętościowej szkła,

m_p – masa pustego piknometru z korkiem,

m_0 – masa piknometru i cieczy w temp. 0° C ,

m_T - masa piknometru z cieczą w temp. T .

10. Pomiary powtórzyć kilkakrotnie dla tej samej cieczy, po kolejnych pomiarach nie opróżniać piknometru, lecz po oziębieniu dopełniać go badaną cieczą.
11. Niepewność względną obliczyć metodą różniczkowania różniczkując wzór (1) po m_0 , m_p , m_T oraz po ΔT .
12. Wartości niepewności pomiarów bezpośrednich:
 - a) dla pomiaru masy: $\Delta m_0 = \Delta m_p = \Delta m_T = \Delta m = 10 \text{ mg} = 10^{-5} \text{ kg}$ (wielkość ta odpowiada wartości masy najmniejszego odważnika w zestawie),
 - b) dla pomiaru temperatury: $\Delta(\Delta T) = \Delta(\Delta T)_t + \Delta(\Delta T)_o$; gdzie $\Delta(\Delta T)_t = \Delta(\Delta T)_o = 0,5 \text{ K}$ - stanowią niepewność odczytu wskazań termometru.

Autor instrukcji:

Anna Jaśkowska

MC 11.1. Wyznaczanie współczynnika przewodnictwa cieplnego dla złych przewodników ciepła

INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Mechanizmy przekazywania energii w postaci ciepła
2. Prawo przewodnictwa cieplnego Fouriera
3. Współczynnik przewodnictwa cieplnego
4. Metoda wyznaczania współczynnika przewodnictwa cieplnego z wyprowadzeniem ostatecznego wzoru włącznie
5. Ciepło właściwe; bilans cieplny
6. Termopara – wykorzystanie zjawiska Seebecka do pomiaru temperatury

Literatura:

1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Mechanika, termodynamika i fizyka cząsteczkowa*, M. Bobyk, H. Goebel, W. Gustaw, red. E. Śpiewła, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1995.
2. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Elektryczność i magnetyzm*, B. Kuśmiderska, Cz. Rybka, T. Rybka, red. E. Śpiewła, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1995.
3. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003, tom II.
4. B. Kuśmiderska, J. Meldizon, *Podstawy rachunku błędów w pracowni fizycznej*, red. E. Śpiewła; Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1997.

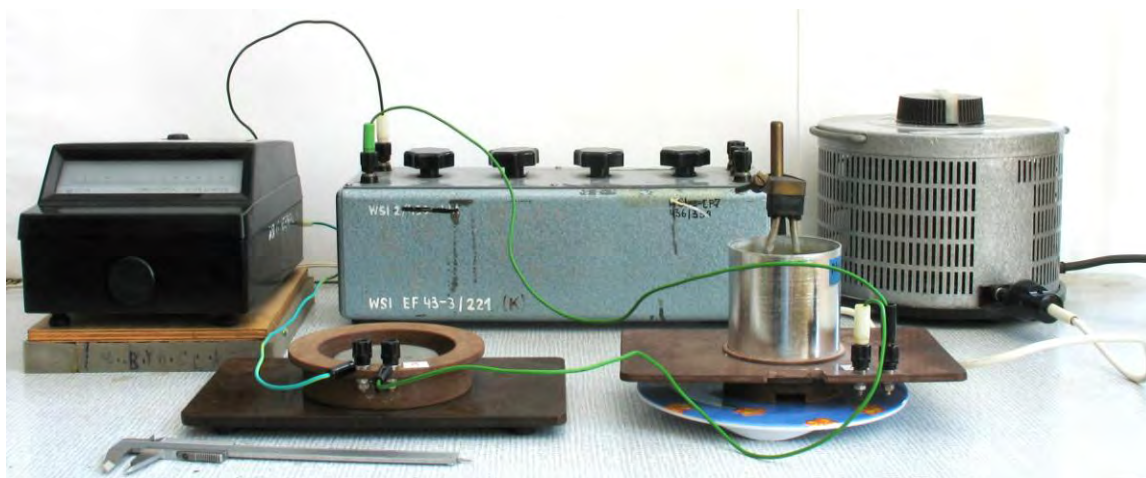
Wartości podawane przez prowadzącego zajęcia:

Masa odbiornika ciepła: $m = 0,394 \text{ kg}$

Ciepło właściwe odbiornika ciepła: $c = 502 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

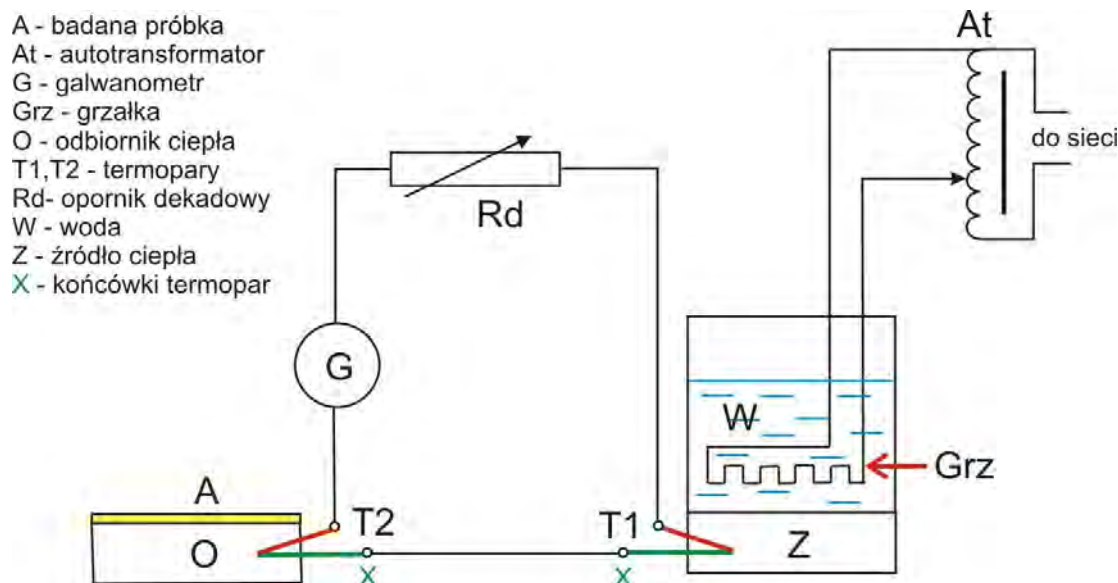
Średnica próbki $l = 8 \cdot 10^{-2} \text{ m}$

Wykonanie zadania:



Rys. 1 Układ do wyznaczania współczynnika przewodnictwa cieplnego dla złych przewodników ciepła

1. Włączyć galwanometr do sieci i sprawdzić, czy wskazówka świetlna galwanometru ustawiona jest w położeniu zerowym. Jeśli „zero” galwanometru jest przesunięte wyregulować galwanometr za pomocą pokrętła znajdującego się na górnej płycie przyrządu.
2. Połączyć obwód według schematu na Rys. 2.



Rys. 2 Schemat obwodu elektrycznego układu do badania złych przewodników ciepła

3. a) Końcówkę termopary T2 (przy odbiorniku ciepła O) oznaczoną „X” połączyć z końcówką „X” termopary T1 (na obudowie źródła ciepła Z).
 b) Wejście galwanometru znajduje się w tylnej części przyrządu. Przed włączeniem galwanometru do obwodu należy odłączyć zworę znajdującą się na wejściu.
 c) W charakterze oporu zabezpieczającego przedstawionego na schemacie należy zastosować opornik dekadowy R_d . Strzałkami na obudowie opornika dekadowego zaznaczono jak przyrząd podłączyć do obwodu.
4. Poprosić prowadzącego zajęcia o sprawdzenie obwodu.
5. Naczynie Z napęlić wodą destylowaną do około $\frac{3}{4}$ objętości i umieścić możliwie daleko od odbiornika O na izolującej podstawie.
6. Grzałkę włączyć do gniazda autotransformatora, a autotransformator włączyć do sieci.
7. Pokrętło autotransformatora ustawić na około 200 V. Jeśli woda zacznie wrzeć, ustawić pokrętło tak, by woda wrząc nie wylewała się. Aby temperatura metalowej płytki, znajdującej się pod dnem naczynia, ustaliła się woda powinna wrzeć około 15 min.
8. Ze wzrostem różnicy temperatur między odbiornikiem ciepła i dnem naczynia wychylenia wskaźnika świetlnego galwanometru rosną. Należy zwiększać wartość oporu na oporniku dekadowym tak, by wskaźnik świetlny nie wychylał się poza skalę. Przy maksymalnej różnicy temperatur wskaźnik świetlny znajduje się na końcu skali przy oporze równym około 80 Ω .
9. W międzyczasie zmierzyć suwmiarką grubość badanej próbki w różnych miejscach. Wykonać kilkanaście pomiarów. Za grubość płytki - d przyjąć wartość średnią z uzyskanych wyników.
10. Umieścić badaną próbkę na odbiorniku ciepła O, by temperatury odbiornika i próbki wyrównały się.
11. Przygotować stanowisko do notowania wyników pomiarów oraz sekundomierz. Czynności opisane w punktach 12 i 13 będzie należało wykonywać szybko i sprawnie.
12. Gdy wskazania galwanometru ustalą się, chwycić za obudowę naczynia Z i ustawić je na badanej próbce.

13. W momencie, gdy wskazania galwanometru zaczną spadać, włączyć stoper i zapisać wskazanie galwanometru n_0 w chwili $t = 0$. Nie wyłączając stopera rejestrować wskazania galwanometru co 10 s. Wykonać 12 – 15 pomiarów.
14. Zestawić naczynie z wodą, pokrętko autotransformatora ustawić w położeniu początkowym, wyłączyć autotransformator z sieci, grzałkę odłączyć od autotransformatora.
15. Wyznaczyć logarytmy naturalne wskazań galwanometru.
16. Wyniki przeprowadzonych pomiarów przedstawić na wykresie. Na osi odciętych odłożyć czas $x = t$, a na osi rzędnych $y = \ln n$. Zaznaczyć punkty pomiarowe oraz wykreślić prostą $y = Ax + B$, której współczynnik kierunkowy i wyraz wolny należy wyznaczyć metodą najmniejszych kwadratów. W tym celu można posłużyć się dostępnym na pracowni programem komputerowym „mnk”, który oblicza wartości A, B, ΔA i ΔB .
17. Uzyskany wykres przedstawia zależność między wychyleniem galwanometru i czasem obserwacji:

$$\ln n = \ln n_0 - \frac{kS}{dmc} t$$

gdzie $A = -\frac{kS}{dmc}$, zaś $B = \ln n_0$.

18. Po wyznaczeniu parametru A, znając pozostałe wielkości: $S = \frac{\pi \cdot l^2}{4}$, d , m i c wyliczyć współczynnik przewodnictwa cieplnego k ze wzoru:

$$k = \frac{|A|dmc}{S}$$

19. Wyliczyć odchylenie standardowe współczynnika przewodnictwa cieplnego - $\overline{\sigma_k}$, traktując k jako funkcję zmiennych A i d. Odchylenie standardowe $\overline{\sigma_A} = \Delta A$, natomiast odchylenie standardowe grubości próbki - $\overline{\sigma_d}$ wyznaczyć korzystając z dostępnego na pracowni programu „gauss”.

Autor instrukcji:

Anna Wardak

MC 12.1. Wyznaczanie ciepła właściwego ciał stałych

INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Temperatura, kinetyczna interpretacja temperatury
2. Energia wewnętrzna układu termodynamicznego; ciepło; I zasada termodynamiki
3. Kalorymetria: pojemność cieplna, ciepło właściwe, bilans cieplny, kalorymetr
4. Metoda wyznaczania ciepła właściwego ciał stałych z wyprowadzeniem wzoru włącznie

Literatura:

1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Mechanika, termodynamika i fizyka cząsteczkowa*, M. Bobyk, H. Goebel, W. Gustaw, red. E. Śpiewła, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1995.
2. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003, tom I.
3. B. Kuśmiderska, J. Meldizon, *Podstawy rachunku błędów w pracowni fizycznej*, red. E. Śpiewła; Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1997.

Wartości podawane przez prowadzącego zajęcia:

Pojemność cieplna szkła i rtęci: $A = 1,92 \cdot 10^6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}$

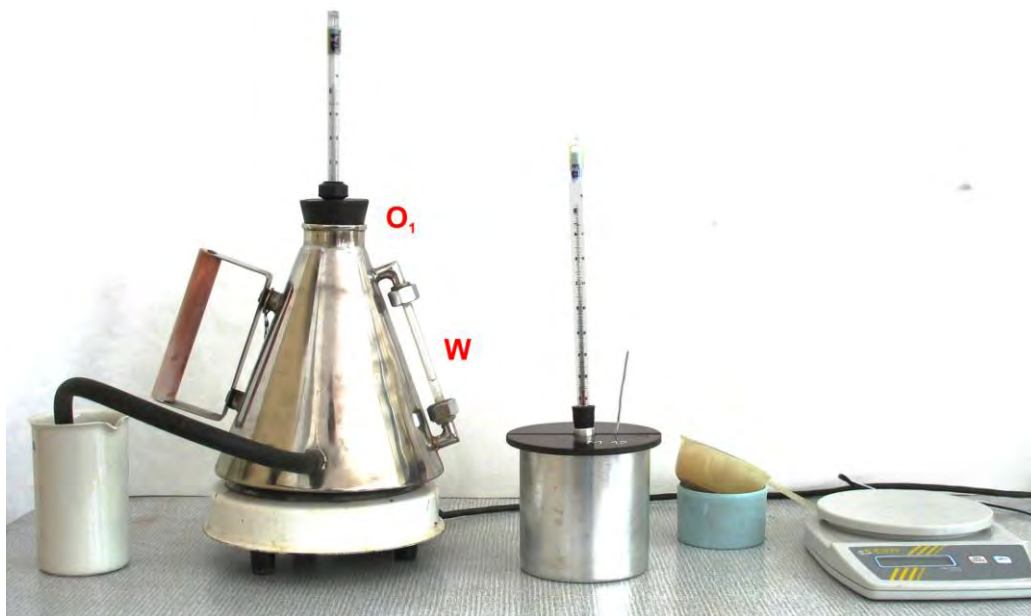
Objętość zanurzonej części termometru: $V = 0,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$

Ciepło właściwe wody: $c_c = 4190 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

Ciepło właściwe kalorymetru: $c_k = 896 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

Uwaga: $\Delta t = \Delta T$

Wykonanie zadania:



Rys. 1 Układ do wyznaczania ciepła właściwego ciał stałych

Rys. 2 Termostat oraz pojemnik na próbki P wraz z korkiem.
 O_1 – otwór na pojemnik P
 O_2 – otwór do napełniania termostatu wodą
W – wskaźnik wodny



1. Do podgrzewania badanego ciała użyć specjalnego kociołka (termostatu) przedstawionego na Rys. 1 i Rys. 2.
 - a) Z otworu O_1 pojemnika P termostatu wyjąć gumowy korek wraz z przymocowanym do niego metalowym pojemnikiem.
 - b) Termostat napełnić wodą destylowaną przez otwór O_2 do połowy wodowskazu W. Otwór O_2 zamknąć.
 - c) Termostat umieścić na grzejniku elektrycznym i włączyć grzejnik do sieci.
 - d) Wylot węża gumowego odprowadzającego parę wodną z termostatu umieścić w porcelanowej zlewce.
2. Wyznaczyć masę badanego ciała - m .
3. Badane ciało ostrożnie wsypać do metalowego pojemnika.
4. W otworze gumowego korka umieścić termometr.
5. Trzymając za gumowy korek metalowy pojemnik umieścić w otworze O_1 termostatu.
6. Ogrzewać termostat, aż termometr wskaże temperaturę powyżej 90°C .
7. W czasie podgrzewania termostatu przygotować do pomiarów kalorymetr:
 - a) Zważyć naczynie wewnętrzne kalorymetru wraz a pokrywką i mieszadłem by wyznaczyć masę m_k .
 - b) Napełnić naczynie wewnętrzne kalorymetru wodą destylowaną do $\frac{3}{4}$ objętości.
 - c) Przykryć naczynie pokrywką z mieszadłem i ponownie zważyć (masa M_k).
 - d) Od uzyskanego wyniku M_k odjąć wynik poprzedniego ważenia, aby wyznaczyć masę wody: $m_c = M_k - m_k$.
 - e) Wewnętrzne naczynie kalorymetru umieścić w osłonie izolacyjnej.
 - f) W otworze pokrywki kalorymetru umieścić termometr.
 - g) Mieszać wodę mieszadłem aby temperatury wody i kalorymetru zrównały się.
 - h) Odczytać temperaturę wody i kalorymetru t_0 .
8. Jeśli temperatura badanego ciała w termostacie osiągnęła wartość większą niż 90°C wyłączyć grzejnik elektryczny.
9. Odczytać temperaturę początkową badanego ciała t_p .
10. Otworzyć kalorymetr.
11. Trzymając ostrożnie za gumowy korek metalowy pojemnik wraz z badanym ciałem wyjąć z otworu O_1 termostatu.
12. Ostrożnie przesypać badane ciało do kalorymetru i przykryć kalorymetr.
Uwaga: Czynności 11 i 12 powinny być wykonywane szybko, by do minimum zmniejszyć straty ciepłe.
13. Ciągłe mieszać obserwować wskazania termometru. Za temperaturę końcową t_k przyjąć maksymalne wskazanie termometru.

14. Stosując wzór:

$$c_x = \frac{(AV + m_c c_c + m_k c_k)(T_k - T_0)}{m(T_p - T_k)}$$

wyliczyć ciepło właściwe badanej cieczy. Ponieważ we wzorze występują wyłącznie przyrosty temperatur, nie ma potrzeby przeliczać temperatury w skali Celsjusza na temperaturę w skali Kelwina ($\Delta t = \Delta T$).

15. Oszacować bezwzględną i względną niepewność maksymalną wyznaczonego ciepła właściwego c_x metodą różniczkowania. Wielkości A , V , c_c i c_k przyjąć jako stałe, nie obarczone niepewnością pomiarową. Za niepewność pomiaru temperatury przyjąć wartość działki elementarnej skali termometru lub połowy działki, jeśli z taką dokładnością dokonano odczytów (zalecane). Za niepewność pomiaru mas przyjąć dokładność stosowanej wagi. Ponieważ masę wody wyznaczono w wyniku dwukrotnego ważenia, niepewność pomiaru należy podwoić.

Uwaga: Pomiary mas przeprowadzone zostały ze znacznie większą dokładnością niż pomiary temperatury, niepewności pomiarów mas wprowadzają więc zanedbywalny wkład do niepewności wyniku końcowego. Jeśli prowadzący zajęcia wyrazi zgodę, można je pominąć przy analizie niepewności wyznaczonego ciepła właściwego.

Autor instrukcji:

Anna Wardak

MC 12.2. Wyznaczanie ciepła właściwego cieczy

INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Temperatura, kinetyczna interpretacja temperatury
2. Energia wewnętrzna układu termodynamicznego; ciepło; I zasada termodynamiki
3. Kalorymetria: pojemność cieplna, ciepło właściwe, bilans cieplny
4. Ciepło Joule'a. Zasada działania kalorymetru elektrycznego
5. Metoda wyznaczania ciepła właściwego ciał stałych z wyprowadzeniem wzoru włącznie

Literatura:

1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Mechanika, termodynamika i fizyka cząsteczkowa*, M. Bobyk, H. Goebel, W. Gustaw; red. E. Śpiewła, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1995.
2. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003, tom I i III.
3. B. Kuśmiderska, J. Meldizon, *Podstawy rachunku błędów w pracowni fizycznej*, red. E. Śpiewła; Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1997.

Wartości podawane przez prowadzącego zajęcia:

Ciepło właściwe wody: $c_l = 4190 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

Ciepło właściwe kalorymetru: $c_{k1} = c_{k2} = 896 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

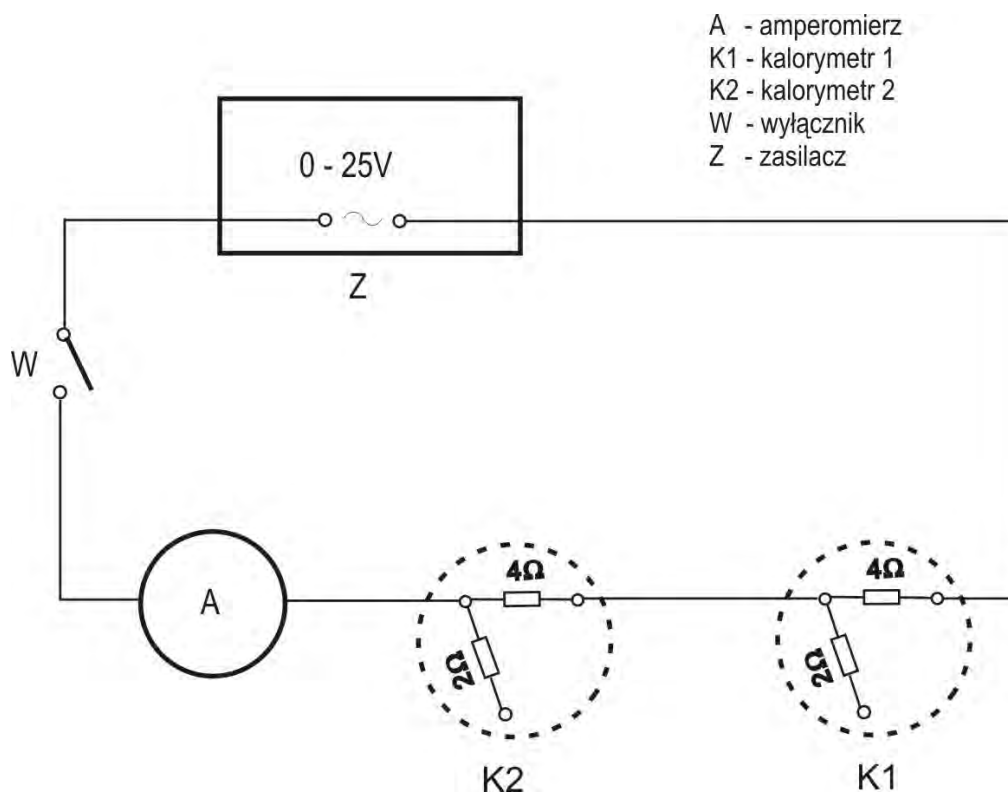
Uwaga: $\Delta t = \Delta T$

Wykonanie zadania:



Rys. 1 Układ do pomiaru ciepła właściwego cieczy

1. Wyznaczyć masy obu osuszonych, wewnętrznych naczyń N kalorymetrów: m_{k1} i m_{k2} .
2. Do naczynia nr 1 wlać około 200 ml wody destylowanej, a do naczynia nr 2 około 200 ml badanej cieczy.
3. Zważyć oba naczynia z cieczami (masy M_{k1} i M_{k2}).
4. Od uzyskanych wyników: M_{k1} i M_{k2} odjąć masy pustych kalorymetrów, by wyznaczyć masy obu cieczy: $m_1 = M_{k1} - m_{k1}$ oraz $m_2 = M_{k2} - m_{k2}$.
5. Umieścić naczynia z cieczami w zewnętrznych naczyniach kalorymetrów.
6. Oba kalorymetry przykryć pokrywami z zamontowanymi spiralami grzejnymi.
7. W otworach pokrywek umieścić termometry, tak by były zanurzone w cieczach.
8. Ustalić z prowadzącym zajęcia, jakie wybrać opory spirali grzejących: 2Ω , 4Ω czy 6Ω .
9. Połączyć obwód elektryczny według schematu na Rys. 2.



Rys. 2 Schemat obwodu elektrycznego układu do pomiaru ciepła właściwego cieczy

- a) Ponieważ w układzie pomiarowym zastosowano zasilacz prądu zmiennego z możliwością regulacji napięcia, opornica suwakowa jest zbędna.
 - b) Korzystać z wyjścia zasilacza $0 - 25 \text{ V}$, znajdującego się na dole środkowej części płyty czołowej zasilacza.
 - c) Suwak regulacji napięcia, znajdujący się w górnej części płyty czołowej zasilacza, ustawić w położeniu początkowym.
 - d) Amperomierz ustawić na zakres $2,5 \text{ A}$.
10. Poprosić prowadzącego zajęcia o sprawdzenie obwodu.
 11. Odczytać na termometrach temperatury początkowe cieczy: t_{01} i t_{02} .
 12. Włączyć zasilacz do sieci. Zamknąć obwód wyłącznikiem W.
 13. Za pomocą suwaka regulacji napięcia ustawić natężenie prądu w przedziale $1,5 - 2 \text{ A}$.
 14. Gdy temperatura badanej cieczy wzrośnie o $2 - 3 \text{ }^\circ\text{C}$, wyłączyć przepływ prądu wyłącznikiem W.
 15. Poruszać delikatnie kalorymetrami, by temperatury cieczy w całych objętościach naczyń wyrównały się.
 16. Odczytać temperatury końcowe: t_{k1} i t_{k2} .

17. Stosując wzór:

$$c_2 = \frac{(m_1 c_1 + m_{k1} c_{k1})(T_{k1} - T_{01}) - m_{k2} c_{k2} (T_{k2} - T_{02})}{m_2 (T_{k2} - T_{02})}$$

wyliczyć ciepło właściwe badanej cieczy. Ponieważ we wzorze występują wyłącznie przyrosty temperatur, nie ma potrzeby przeliczać temperatury w skali Celsjusza na temperaturę w skali Kelwina ($\Delta t = \Delta T$).

18. Oszacować bezwzględną i względną niepewność maksymalną wyznaczonego ciepła właściwego c_2 metodą różniczkowania. Wielkości c_1 , c_{k1} , c_{k2} przyjąć za stałe, nie obarczone niepewnością pomiarową. Za niepewność pomiaru temperatury przyjąć wartość działki elementarnej skali termometru lub połowy działki elementarnej, jeśli z taką dokładnością dokonywano odczytów (zalecane). Za niepewność pomiarów mas kalorymetrów przyjąć dokładność stosowanej wagi. Ponieważ masy wody i badanej cieczy wyznaczano w wyniku dwukrotnego ważenia, za niepewność pomiarów Δm_1 i Δm_2 przyjąć podwojoną dokładność wagi.

Uwaga: Pomiary mas przeprowadzone zostały ze znacznie większą dokładnością niż pomiary przyrostów temperatury, niepewności pomiarów mas wprowadzają więc zanedbywalny wkład do niepewności wyniku końcowego. Jeśli prowadzący zajęcia wyrazi zgodę, można je pominąć przy analizie niepewności wyznaczonego ciepła właściwego.

Autor instrukcji:

Anna Wardak

MC 12.3. Wyznaczanie współczynnika $\kappa = \frac{c_p}{c_v}$ dla powietrza

INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Temperatura, kinetyczna interpretacja temperatury
2. Energia wewnętrzna układu termodynamicznego; ciepło; I zasada termodynamiki
3. Pojemność cieplna. Ciepło właściwe przy stałym ciśnieniu i ciepło właściwe przy stałej objętości
4. Metoda Clementa i Desormes'a wyznaczania κ z wyprowadzeniem wzoru włącznie
5. Przemiany gazowe: adiabatyczna i izochoryczna – prawo Charlesa

Literatura:

1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Mechanika, termodynamika i fizyka cząsteczkowa*, M. Bobyk, H. Goebel, W. Gustaw, red. E. Śpiewła, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1995.
2. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003, tom II.
3. Cz. Bobrowski, *Fizyka – Krótki kurs*, Wydawnictwo Naukowo – Techniczne, Warszawa 1998.
4. B. Kuśmiderska, J. Meldizon, *Podstawy rachunku błędów w pracowni fizycznej*, red. E. Śpiewła; Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1997.

Wartości podawane przez prowadzącego zajęcia:

Wartość poprawki $c = 1.3$

Wykonanie zadania:

1. Pokrętko zaworu K przekręcić do oporu w prawo.
2. Pokrętko zaworu K obrócić o jeden pełny obrót w lewo. W położeniu tym butla B jest połączona z atmosferą. Poczekać, aż ciśnienie powietrza wewnątrz butli wyrówna się z ciśnieniem atmosferycznym. Poziomy cieczy w obu ramionach barometru M powinny się wyrównać.
3. Pokrętko zaworu K obrócić do oporu w prawo. W położeniu tym butla jest połączona z pompką ręczną.
4. Unieść rączkę pompki na wysokość nie większą niż 20 cm i wpompować powietrze do butli.

Rys. 1 Układ do badania współczynnika κ



5. Odczekać około 5 min., aby temperatura w butli wyrównała się z temperaturą otoczenia. Po tym czasie różnica poziomów cieczy w manometrze powinna się ustalić.

6. Odczytać h_1 - różnicę poziomów cieczy w manometrze.
7. Obrócić pokrętkę zaworu K o jeden pełny obrót w lewo, by połączyć butlę z atmosferą. Przy wyrównywaniu się ciśnienia powietrza w butli z ciśnieniem atmosferycznym obserwuje się wahania poziomów cieczy w manometrze. Butlę zamknąć w chwili, gdy poziomy cieczy są jednakowe. Aby przemianę można było uważać za adiabatyczną połączenie butli z atmosferą powinno trwać krótko.
8. Odczekać około 2-3 min., aby temperatura powietrza w butli wyrównała się z temperaturą otoczenia. Po tym czasie poziomy cieczy w barometrze powinny się ustalić.
9. Odczytać h_2 - różnicę poziomów cieczy w barometrze.
10. Ustalić z prowadzącym zajęcia, czy do wyliczenia współczynnika κ zastosować wzór:

$$\kappa = \frac{h_1}{h_1 - h_2},$$

czy wzór:

$$\kappa = \frac{h_1}{h_1 - ch_2},$$

gdzie wprowadzono poprawkę c , aby uwzględnić, że w ćwiczeniu warunki przemiany adiabatycznej nie są dokładnie spełnione.

11. Przeprowadzić obliczenia współczynnika κ .
12. a) Oszacować bezwzględną i względną niepewność maksymalną wyznaczonego współczynnika κ metodą różniczkowania. Za niepewność pomiaru różnicy poziomów cieczy w manometrze (Δh_1 i Δh_2) przyjąć wartość 2 działek elementarnych skali manometru.
b) Jeśli wykonano kilkanaście pomiarów κ , można przeprowadzić analizę rozkładu statystycznego wyników posługując się dostępnym w pracowni programem komputerowym „gauss”.

Uwaga: O tym, którą metodę analizy błędów zastosować, decyduje prowadzący zajęcia.

Autor instrukcji:

Anna Wardak

MC 13.1. Wyznaczanie ciepła topnienia lodu

INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Stany skupienia materii i rodzaje przemian fazowych, krzywe zmian temperatury zachodzących podczas topnienia
2. Zjawisko topnienia ciał stałych i krzepnięcia cieczy, temperatura topnienia i temperatura krzepnięcia dla ciał krystalicznych i bezpostaciowych
3. Ciepło topnienia, definicja, sens fizyczny, jednostka miary
4. Wykres fazowy wody, punkt potrójny
5. Bilans cieplny, wyprowadzenie wzoru, z którego oblicza się ciepło topnienia

Literatura:

1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Mechanika, termodynamika i fizyka cząsteczkowa*, M. Bobyk, H. Goebel, W. Gustaw, red. E. Śpiewła, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin, 1995.
2. B. Kuśmiderska, J. Meldizon, *Podstawy rachunku błędów w pracowni fizycznej*, red. E. Śpiewła, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin, 1992.
3. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2005, tom II.

Wartości podawane przez prowadzącego zajęcia:

Ciepło właściwe kalorymetru $c_k = 896 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$,

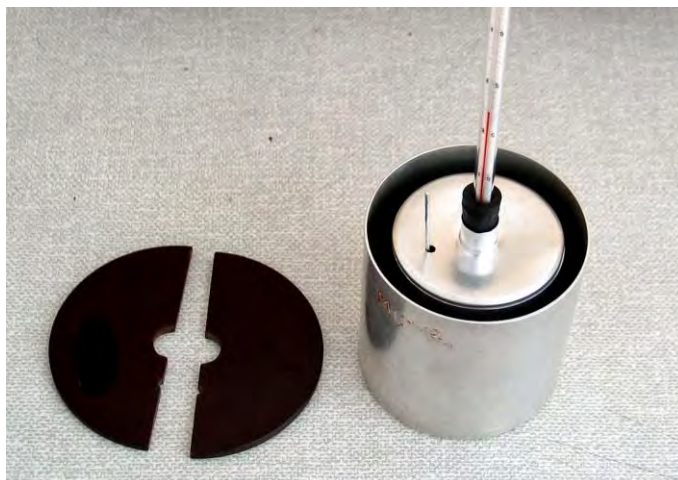
Ciepło właściwe wody $c_w = 4182 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$

Wykonanie zadania:



Rys. 1 Fotografia przedstawia stanowisko pomiarowe do wyznaczenia ciepła topnienia lodu. Opis: na pierwszym planie na bibule widać kawałki topniejącego lodu, dalej - kalorymetr rozłożony na

części (od lewej; pokrywa z termometrem, mieszadło, wewnętrzne naczynie kalorymetru i obok nieco większe naczynie, stanowiące osłonę adyabatyczną, dalej pokrywa złożona z dwóch części). Za kalorymetrem znajduje się zestaw odważników w pudełku oraz waga laboratoryjna.



Rys. 2 Fotografia przedstawiająca kalorymetr po złożeniu. Na złożony kalorymetr, przed pomiarami nakłada się jeszcze pokrywę leżącą obok. W pokrywie naczynia wewnętrznego widać dwa otwory: jeden na mieszadło (widoczny jest jego trzpień) oraz drugi, w którym zamocowany jest korek z termometrem.

1. Pobrać od osoby prowadzącej: kalorymetr, termometr i odważniki. Z zamrażarki wyjąć lód.
2. Zważyć wewnętrzne naczynie kalorymetru – m_k , a następnie napełnić je do połowy wodą i ponownie zważyć – m_{k+w} (różnica mas stanowi masę wody: $m_{k+w} - m_k = m_w$).
3. Naczynie wewnętrzne kalorymetru z wodą wstawić do osłony adyabatycznej.
4. Mieszając mieszadłem zawartość kalorymetru, obserwować wskazania termometru – T . Pomiary temperatury najlepiej rozpocząć 5 minut przed wrzuceniem lodu.
5. Wyjęty z zamrażarki lód położyć na bibule i poczekać, aż zacznie się topić (lód ma wtedy temperaturę topnienia, którą przyjmuje się za temperaturę topnienia w warunkach normalnych, czyli $T_o = 273,15$ K).
6. Osuszyć lód za pomocą bibuły i włożyć do kalorymetru, zamknąć kalorymetr przykrywką, umieszczając w nim uprzednio termometr i mieszadło.
7. Za temperaturę początkową T_p , przyjąć temperaturę wody tuż przed wrzuceniem lodu, a za końcową – wartość temperatury minimalnej po wrzuceniu lodu – T_k , zanim zostanie zaobserwowany jej wzrost.
8. Zważyć ponownie naczynie wewnętrzne kalorymetru (m_{k+w+l}) i obliczyć masę wrzuconego lodu: $m = m_{k+w+l} - m_{k+w}$.
9. Ciepło topnienia lodu obliczyć wstawiając odpowiednie wartości do wzoru:

$$c_l = \frac{(m_w c_w + m_k c_k)(T_p - T_k) - m c_w (T_k - T_o)}{m}, \quad (1)$$

gdzie c_k i c_w oznaczają odpowiednio: ciepło właściwe kalorymetru i wody.

10. Maksymalną niepewność względną obliczyć metodą różniczkowania wzoru (1).
11. Niepewność pomiarów bezpośrednich temperatury wynika z dokładności użytych termometrów.
Za niepewność pomiaru masy przyjąć masę najmniejszego odważnika w zestawie, pamiętając o podwojeniu wartości przy dwukrotnym ważeniu.

Autor instrukcji:

Anna Jaśkowska

MC 13.2. Wyznaczanie ciepła parowania wody w temperaturze wrzenia

INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Stany skupienia materii i rodzaje przemian fazowych; wykres fazowy wody, punkt potrójny; zjawisko wrzenia
2. Ciepło parowania i skraplania, definicja, sens fizyczny, jednostka miary
3. Pojęcie ciepła, jednostka miary
4. Pojęcie temperatury, skale i jednostki miary
5. Definicja pojemności cieplnej i ciepła właściwego, jednostki miary
6. Bilans cieplny, wyprowadzenie wzoru, z którego oblicza się ciepło topnienia
7. Budowa kalorymetru

Literatura:

1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Mechanika, termodynamika i fizyka cząsteczkowa*, M. Bobyk, H. Goebel, W. Gustaw, red. E. Śpiewła, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin, 1995.
2. B. Kuśmiderska, J. Meldizon, *Podstawy rachunku błędów w pracowni fizycznej*, red. E. Śpiewła, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin, 1992.
3. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2005, tom II.

Wartości podawane przez prowadzącego zajęcia:

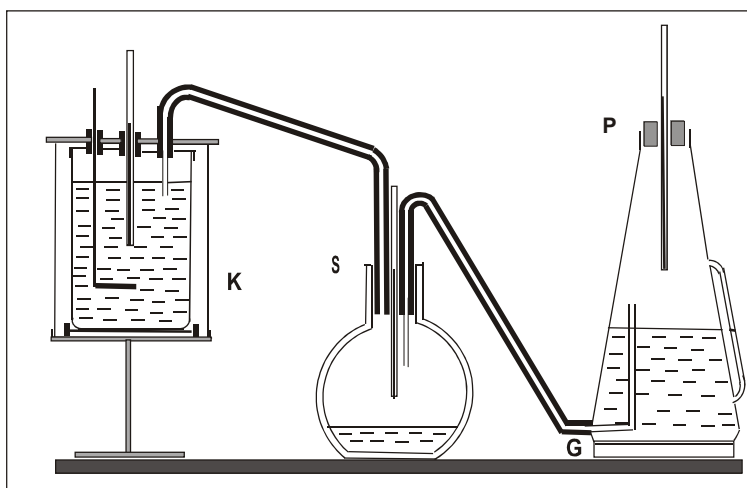
Ciepło właściwe kalorymetru $c_k = 896 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$,
Ciepło właściwe wody $c_w = 4182 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$

Wykonanie zadania:



Rys. 1 Fotografia przedstawia stanowisko pomiarowe do wyznaczenia ciepła parowania wody w temperaturze wrzenia. Opis: od prawej – kociołek do podgrzewania wody stojący na kuchence

elektrycznej, połączony węzłem z suszką (zamocowana na statywie szklana kolba). Suszka połączona jest z kalorymetrem umieszczonym na podstawce usytuowanej wyżej niż zamocowana suszka.



Rys. 2 Przekrój poprzeczny urządzenia do pomiaru ciepła parowania wody w temperaturze wrzenia; K – kalorymetr, S – suszka, P – kociołek, G – kuchenka elektryczna

1. Zważyć wewnętrzne naczynie kalorymetru wraz z pokrywką i mieszadłem – m_k .
2. Napęlić kalorymetr wodą do $\frac{3}{4}$ jego objętości i ponownie zważyć w celu znalezienia masy wody: $m_w = m_{k+w} - m_k$.
3. Wstawić wewnętrzne naczynie do osłony kalorymetru, zamontować termometr, całość przykryć deklek, odczekać kilka minut i odczytać temperaturę początkową wody i kalorymetru T_p .
4. Kociołek do podgrzewania wody napęlić (przez boczny otwór) do połowy wysokości wodowskazu i doprowadzić do wrzenia przy użyciu maszynki elektrycznej.
5. Gdy cały układ uzyska w przybliżeniu jednakową temperaturę, rurkę doprowadzającą parę zanurzyć do kalorymetru. Następnie wodę w kociołku doprowadzić do wrzenia.
6. Dopływ pary przerwać w chwili, gdy temperatura wody w kalorymetrze osiągnie wartość $T_w = 340\text{ K}$ (około 70°C).
7. Mieszając wodę w kalorymetrze obserwować w dalszym ciągu wskazania termometru aż do ustalenia się temperatury końcowej T_k .
8. Zważyć ponownie kalorymetr z wodą i z różnicy mas kalorymetru z wodą przed wprowadzeniem pary i po jej wprowadzeniu, znaleźć masę skroplonej pary – m .
9. Pomiar powtórzyć 2- lub 3- krotnie.
10. Otrzymane wartości m , m_k , T_p , T_w , T_k wstawić do wzoru:

$$c_s = \frac{(m_k c_k + m_w c_w)(T_k - T_p) - m c_w (T_w - T_k)}{m}, \quad (1)$$

gdzie c_k i c_w oznaczają ciepło właściwe odpowiednio: kalorymetru i wody, m – masę pary, m_w – masę wody, m_k – masę kalorymetru, T_p , T_w , T_k – temperatury odpowiednio: początkową, po ogrzaniu do 70 stopni oraz końcową.

11. Maksymalną niepewność względną obliczyć metodą różniczkowania różniczkując wzór (1) po: $m, m_k, m_w, T_p, T_w, T_k$.
12. Niepewności pomiarów bezpośrednich wynoszą:
- dla wyznaczonych mas: $\Delta m_k = 10^{-5} \text{ kg}$, $\Delta m_w = 2 \cdot 10^{-5} \text{ kg}$, $\Delta m = 2 \cdot 10^{-5} \text{ kg}$.
 - dla odczytywanych temperatur: $\Delta T_w = \Delta T_k = \Delta T_p = 0,5 \text{ K}$.

Autor instrukcji:

Anna Jaśkowska

MC 14.1. Sprawdzanie słuszności I zasady termodynamiki przy pomocy kalorymetru elektrycznego

INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. I zasada termodynamiki
2. Energia układu termodynamicznego
3. Pojęcie ciepła
4. Praca w ujęciu termodynamicznym
5. Opis przykładowego procesu termodynamicznego gazu doskonałego
6. Ilościowe sformułowanie I zasady termodynamiki
7. Sprawdzanie słuszności I zasady termodynamiki przy pomocy kalorymetru elektrycznego – opis metody

Literatura:

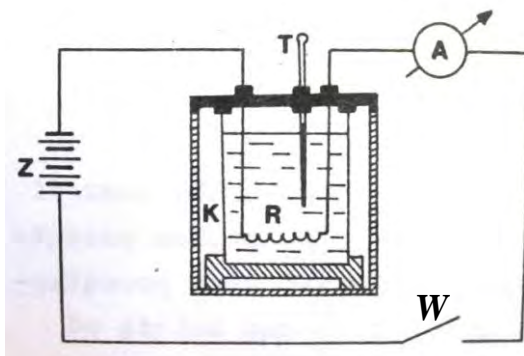
1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Mechanika, termodynamika i fizyka cząsteczkowa*, M. Bobyk, H. Goebel, W. Gustaw, red. E. Śpiewła, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1995.
2. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003, tom II.
3. J. R. Taylor, *Wstęp do analizy błęd pomiarowego*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1999.

Wartości podawane przez prowadzącego zajęcia:

$$\text{Ciepło właściwe cieczy } C_c = 2430 \frac{J}{kg \cdot K}$$

$$\text{Ciepło właściwe kalorymetru } C_k = 896 \frac{J}{kg \cdot K}$$

Wykonanie zadania:



Rys. 1 Układ pomiarowy do sprawdzania słuszności I zasady termodynamiki. Oznaczenia: **Z** – zasilacz, **W** – włącznik, **A** – amperomierz, **K** – kalorymetr, **T** – termometr, **R** – spirala grzejna



Rys. 2 Fotografia przedstawiająca stanowisko pomiarowe. Oznaczenia: **Z** – zasilacz, **W** – włącznik, **A** – amperomierz, **K** – kalorymetr, **T** – termometr

1. Zestawić obwód elektryczny wg schematu przedstawionego na Rys. 1 (patrz także na Rys. 2).
2. Zważyć kalorymetr **K** (bez pokrywy) wyznaczając masę kalorymetru (m_k).
3. Napęlnić kalorymetr cieczą do 2/3 objętości i zważyć ponownie. Masa cieczy (m_c) w kalorymetrze jest różnicą mas uzyskanych w obu ważeniach.
4. Włożyć do kalorymetru termometr **T**.
5. Zmierzyć objętość (V) zanurzonej części termometru z pomocą menzurki.
6. Umieścić kalorymetr w osłonie i po odczekaniu kilku minut zanotować temperaturę początkową (T_p).
7. Włączyć zasilacz **Z** i zamknąć obwód elektryczny wyłącznikiem **W**, uruchamiając jednocześnie sekundomierz. Sprawnie ustawić wartość natężenia prądu zadaną przez prowadzącego zajęcia.
8. Podczas trwania pomiaru mieszać okresowo ciecz w kalorymetrze oraz dbać o to, aby natężenie prądu miało stałą wartość.
9. Pomiar skończyć przez wyłączenie wyłącznika z jednoczesnym wyłączeniem sekundomierza. Czas pomiaru ustala prowadzący zajęcia.
10. Zanotować wskazanie sekundomierza (t) i termometru (T_k).
11. Do następnych pomiarów użyć tej samej cieczy oziębiając ją. Ilość pomiarów oraz wartości oporów włączanych spiral ustala prowadzący zajęcia.
12. Obliczeń sprawdzenia słuszności I zasady termodynamiki dokonać na podstawie zależności (1), (2) i (3):

$$L = i^2 R t \quad (1)$$

$$\Delta U = (m_c c_c + m_k c_k + V \cdot 1,93 \cdot 10^6 \frac{J}{m^3 K}) \Delta T \quad (2)$$

$$L \approx \Delta U, \quad (3)$$

gdzie: L – praca wykonywana przez pole elektryczne na przesuwanie ładunków w spirali w dżulach, R – opór spirali w omach, i - natężenie prądu w amperach, t – czas przepływu prądu w sekundach, ΔU – przyrost energii wewnętrznej układu z kalorymetrem cieczą i termometrem w dżulach, ΔT – przyrost temperatury układu ($\Delta T = T_k - T_p$, T_k – temperatura końcowa, T_p – temperatura początkowa) w kelwinach, m_c i m_k – odpowiednio masy cieczy i kalorymetru w kilogramach, c_c i c_k - odpowiednio ciepła właściwe cieczy i kalorymetru w $[J/kg \cdot K]$ V – objętość zanurzonej w cieczy części termometru w metrach sześciennych, stała liczbowa $1,93 \cdot 10^6 J/m^3 K$ jest jednostką pojemnością cieplną termometru (szkła z rtęcią).

13. Maksymalne niepewności względne i bezwzględne wielkości (L) oraz (ΔU) obliczyć metodą różniczkowania wykorzystując zależności (1) i (2). Zmiennymi w tych zależnościach są: i , t , ΔT , m_c , m_k , oraz V . Δi obliczamy z zależności dla elektrycznych przyrządów wskazówkowych notując klasę dokładności, zakres pomiarowy oraz liczbę działek użytego amperomierza. Δt jest niepewnością pomiaru czasu przy pomocy sekundomierza. ΔV jest niepewnością odczytu ze skali menzurki. $\Delta m_k = \Delta m$, $\Delta m_c = 2\Delta m$, gdzie Δm jest niepewnością pomiaru masy na użytej wadze. $\Delta(\Delta T) = 2(\Delta T)_t$ gdzie $(\Delta T)_t$ jest dokładnością wskazań termometru.
14. Po obliczeniu maksymalnych bezwzględnych niepewności ΔL oraz $\Delta(\Delta U)$ sprawdzić, czy $\Delta L + \Delta(\Delta U) \geq |L - \Delta U|$. Przy poprawnym oszacowaniu bezwzględnych maksymalnych niepewności pomiarowych warunek ten powinien być spełniony.

Autor instrukcji:

Robert Borc