



**KAPITAŁ LUDZKI**  
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



**UNIA EUROPEJSKA**  
EUROPEJSKI  
FUNDUSZ SPOŁECZNY



---

# **Materiały dydaktyczne**

## **Fizyka**

### **Semestr I**

#### **Laboratorium**



Przedmiot:		<b>FIZYKA</b>									
<b>Kierunek: Mechatronika</b>											
<b>Rozkład zajęć w czasie studiów – Studia pierwszego stopnia</b>											
Semestr	Liczba tygodni w semestrze	Liczba godzin w tygodniu				Liczba godzin w semestrze					Punkty kredytowe
		A	C	L	S	Σ	A	C	L	S	
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Razem w czasie studiów						–	–	–	–	–	–

**Laboratorium Fizyczne Katedry Fizyki Akademii Morskiej w Szczecinie** umożliwia studentom Mechatroniki ugruntowanie wiedzy dotyczącej podstawowych zagadnień fizycznych, zdobytej podczas dotychczasowej nauki oraz doświadczalną weryfikację praw i zasad fizyki poznanych w trakcie wykładów. Wykonując ćwiczenia studenci mają możliwość praktycznego zapoznania się z różnymi przyrządami pomiarowymi, podstawowymi technikami planowania i wykonywania pomiarów oraz sposobami opracowania wyników doświadczeń (analiza i interpretacja wyników, obliczanie niepewności pomiarowej, itp.).

W trakcie I semestru studenci Mechatroniki wykonują 12 spośród 21 dostępnych ćwiczeń z zakresu mechaniki, termodynamiki, elektryczności i magnetyzmu – zgodnie z harmonogramem przedstawionym przez prowadzącego zajęcia. Szczegóły organizacji, przebiegu i warunków zaliczenia ćwiczeń laboratoryjnych określa **Regulamin Pracowni Fizyki**, dostępny na terenie Katedry Fizyki i w internecie. W trakcie wykonywania ćwiczeń studentów obowiązuje przestrzeganie **zasad BHP**. Opisy poszczególnych ćwiczeń, umożliwiające przygotowanie się do zajęć, dostępne są na stronach internetowych Akademii Morskiej. Zawierają one:

- cel wykonania ćwiczenia,
- podstawowe zagadnienia teoretyczne, z którymi student musi się zaznajomić przed przystąpieniem do wykonania ćwiczenia,
- opis wykonania ćwiczenia,
- spis literatury dostępnej w Bibliotece Akademii Morskiej, na podstawie której studenci mogą zapoznać się z teoretycznymi i doświadczalnymi podstawami ćwiczenia (Uwaga: znajdujące się tam opisy wykonania ćwiczenia mogą różnić się od sposobu wykonania obowiązującego w Laboratorium Fizycznym AM; aktualne instrukcje i tabele pomiarowe znajdują się na stołach laboratoryjnych oraz w internecie).

#### **Spis ćwiczeń laboratoryjnych wykonywanych w trakcie I semestru:**

1. Wyznaczanie gęstości ciał za pomocą areometru Nicholsona i wagi Westphala
2. Badanie kinematyki ruchu obrotowego bryły sztywnej
3. Składanie sił
4. Wyznaczanie współczynnika lepkości cieczy metodą Stokesa
5. Wyznaczanie modułu sztywności przy pomocy wahadła torsyjnego
6. Wyznaczanie przyspieszenia ziemskiego przy pomocy wahadła rewersyjnego
7. Wyznaczanie momentu bezwładności wahadła fizycznego
8. Wyznaczanie momentu bezwładności żyroskopu
9. Wyznaczanie prędkości dźwięku w powietrzu metodą czasu przelotu
10. Badanie drgań własnych struny metodą rezonansu
11. Wyznaczanie ciepła parowania i ciepła topnienia
12. Wyznaczanie stosunku  $c_p/c_v$
13. Wyznaczanie współczynnika rozszerzalności liniowej ciał stałych metodą elektryczną
14. Wyznaczanie siły elektromotorycznej ogniwa



15. Sprawdzanie prawa Ohma dla obwodów prądu stałego
16. Badanie praw przepływu prądu
17. Sprawdzanie prawa Ohma dla obwodów prądu zmiennego
18. Pomiary oscyloskopowe
19. Wyznaczanie charakterystyki termopary
20. Badanie zależności oporu metalu i półprzewodnika od temperatury
21. Wyznaczanie przekładni transformatora



## 1. Wyznaczanie gęstości ciał za pomocą areometru Nicholsona i wagi Westphala

### Cel:

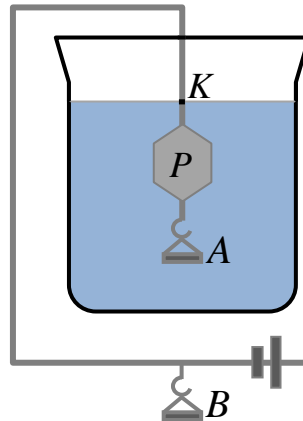
- Zapoznanie się z warunkami stateczności układu mechanicznego - równowagą sił i momentów sił.
- Wyznaczenie gęstości cieczy i ciała stałego w oparciu o prawo Archimiedesa.

### Pytania i zagadnienia kontrolne:

- Masa, gęstość, ciężar, ciężar właściwy oraz relacje wiążące te wielkości.
- Warunki stateczności układu mechanicznego.
- Prawo Archimiedesa.
- Wyznaczanie gęstości ciał za pomocą areometru Nicholsona.
- Wyznaczanie gęstości ciał za pomocą wagi Westphala.

### Opis ćwiczenia:

**Areometr Nicholsona** (rys. 1.1) zbudowany jest z metalowego pływaka  $P$ , dwóch szalek  $A$  i  $B$  oraz pręta łączącego. Pływak wraz z szalką  $A$  zanurzony jest w wodzie destylowanej. Układ będzie znajdował się w stanie równowagi, gdy działająca na niego wypadkowa siła będzie równa zero.



Rys. 1.1. Schemat aerometru Nicholsona

Szalkę  $B$  obciążamy odważnikami o masie  $m_1$  tak, aby znacznik  $K$  umieszczony na pręcie łączącym zrównał się z powierzchnią wody. Całkowity ciężar areometru  $Q$  oraz ciężar odważników  $Q_1 = m_1 g$  jest równoważony przez siłę wyporu  $W$  działającą na zanurzone elementy areometru:

$$Q + Q_1 = W \quad (1.1)$$

Z szalki  $B$  zdejmujemy odważniki i kładziemy na nią badane ciało o nieznanym ciężarze  $Q_c$  i objętości  $V_c$ . Poprzez dodatkowe obciążenie szalki  $B$  odważnikami o masie  $m_2$ , doprowadzamy do zanurzenia się pręta łączącego do poziomu  $K$ . W tym przypadku, siła wyporu  $W$  równoważy ciężar areometru  $Q$ , ciężar odważników  $Q_2 = m_2 g$  oraz ciężar badanego ciała  $Q_c$ :



$$Q + Q_2 + Q_c = W \quad (1.2)$$

Następnie badane ciało zdejmujemy z szalki  $B$  i umieszczamy na szalce  $A$ , uważając by nie zebrały się na nim pęcherzyki powietrza. Na szalce  $B$  kładziemy odważniki o masie  $m_3$ , tak by pręt łączący ponownie zanurzył się do poziomu  $K$ . Całkowity ciężar wszystkich elementów układu jest wówczas równoważony przez siłę wyporu  $W$  działającą na zanurzone w wodzie części areometru oraz siłę wyporu  $W_c$  działającą na zanurzone w wodzie badane ciało:

$$Q + Q_3 + Q_c = W + W_c \quad (1.3)$$

Na podstawie równań (1.1)–(1.3) można wyznaczyć ciężar badanego ciała oraz działającą na to ciało siłę wyporu

$$\begin{aligned} Q_c &= Q_1 - Q_2, \\ W_c &= Q_3 - Q_2. \end{aligned} \quad (1.4)$$

Ciężar ciała i siłę wyporu działającą na to ciało określają odpowiednio wyrażenia  $Q_c = m_c g = \rho_c V_c g$  oraz  $W_c = \rho_w V_c g$ , gdzie  $\rho_c$  i  $\rho_w$  oznaczają odpowiednio gęstość badanego ciała oraz gęstość wody destylowanej. Dzieląc stronami równania (1.4) otrzymamy względną gęstość badanego ciała:

$$d = \frac{\rho_c}{\rho_w} = \frac{Q_c}{W_c} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_3 - Q_2} = \frac{m_1 - m_2}{m_3 - m_2} \quad (1.5)$$

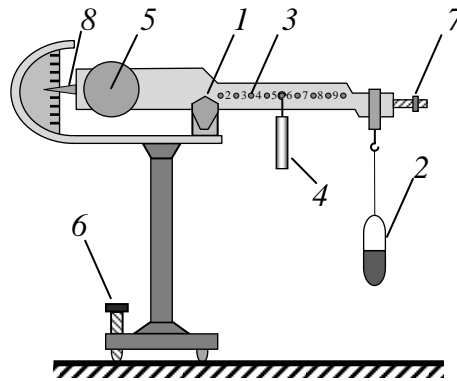
Znajdując w tablicach gęstość  $\rho_w$  wody w temperaturze pomiaru, obliczamy gęstość ciała ze wzoru:

$$\rho_c = d \rho_w \quad (1.6)$$

Gęstość ciała jednorodnego możemy również wyznaczyć bezpośrednio z definicji gęstości, po dokonaniu pomiaru jego masy  $m_c$  i objętości  $V_c$ :

$$\rho_c = \frac{m_c}{V_c} \quad (1.7)$$

**Waga hydrostatyczna Westphala** (rys. 1.2) jest to dźwignia dwustronna o niejednakowej długości ramion, zawieszona na ostrzu  $1$ . Na dłuższym ramieniu podwieszony jest na cienkim druciku pływak  $2$ . Jest to zamknięta, szklana ampułka o objętości  $V$ , częściowo wypełniona z rtęcią. Na ramieniu tym znajduje się również 9 kołeczków  $3$ , które opisano, poczynając od drugiego, cyframi od 2 do 9. Na kołeczkach można zawieszać odważniki  $4$  zwane konikami. Na krótszym ramieniu, znajduje się przeciwwaga  $5$ . Do wypoziomowania wagi służy śruba  $6$  umieszczona w podstawce wagi. Śruba  $7$  umieszczona na końcu dłuższego ramienia służy do zrównoważenia wagi, gdy pływak znajduje się w powietrzu – wskaźnik  $8$  położony jest wówczas poziomo. Waga Westphala będzie znajdowała się w spoczynku, gdy zachowana będzie równowaga działających na nią sił i momentów sił.



Rys. 1.2. Schemat wagi Westphala

Zanurzamy pływak w wodzie destylowanej, uważając, by nie zebrały się na nim pęcherzyki powietrza. Waga wychyli się z położenia równowagi, które należy przywrócić, zawieszając koniki o masach  $m_1$ ,  $m_2$  i  $m_3$  na odpowiednich kołeczkach. Odległości między ostrzem  $l$  a poszczególnymi kołeczkami są ramionami sił pochodzących od poszczególnych mas. Oznaczając ramiona sił przez  $r_1$ ,  $r_2$  i  $r_3$ , a odległość zawieszenia pływaka od ostrza  $l$  przez  $r$ , możemy warunek równowagi momentów sił zapisać w postaci:

$$\rho_w V g \cdot r = m_1 g \cdot r_1 + m_2 g \cdot r_2 + m_3 g \cdot r_3 \quad (1.8)$$

Po wyjęciu i wytarciu pływaka z wody, zanurzamy go w badanej cieczy o nieznannej gęstości  $\rho_c$ . Przewieszając koniki do położen  $r'_1$ ,  $r'_2$  i  $r'_3$ , ponownie równoważymy momenty sił działające na wagę Westphala. Warunek równowagi momentów sił przyjmuje wówczas postać:

$$\rho_c V g \cdot r = m_1 g \cdot r'_1 + m_2 g \cdot r'_2 + m_3 g \cdot r'_3 \quad (1.9)$$

Dzieląc stronami równania (1.7) i (1.8) otrzymujemy względną gęstość  $d$  badanej cieczy:

$$d = \frac{\rho_c}{\rho_w} = \frac{m_1 r'_1 + m_2 r'_2 + m_3 r'_3}{m_1 r_1 + m_2 r_2 + m_3 r_3} \quad (1.10)$$

Mnożąc gęstość względną przez gęstość wody w temperaturze pomiaru znajdujemy gęstość badanej cieczy.



---

### Literatura:

1. Daca T., Łukasiewicz M., Włodarski Z., Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Skrypt dla studentów I i II roku studiów stacjonarnych i zaocznych, WSM, Szczecin (dostępne wydania).
2. Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki w politechnice, praca zbiorowa pod red. T. Rewaja, PWN, Warszawa (dostępne wydania).
3. Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki, praca zbiorowa pod red. T. Rewaja, Wydawnictwo Politechniki Szczecińskiej, Szczecin (dostępne wydania).
4. Dryński T., Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki, PWN, Warszawa (dostępne wydania).
5. Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki : praca zbior. Cz. 1, praca zbiorowa pod red. B. Oleś , Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2001.
6. Resnick R., Halliday D., Walker J., Podstawy fizyki T.1, PWN, Warszawa (dostępne wydania).
7. Resnick R., Halliday D., Walker J., Podstawy fizyki T.2, PWN, Warszawa (dostępne wydania).
8. Bobrowski C., Fizyka: krótki kurs, WNT, Warszawa (dostępne wydania).
9. Orear J., Fizyka T.1, WNT, Warszawa (dostępne wydania).



## 2. Badanie kinematyki ruchu obrotowego bryły sztywnej

### Cel:

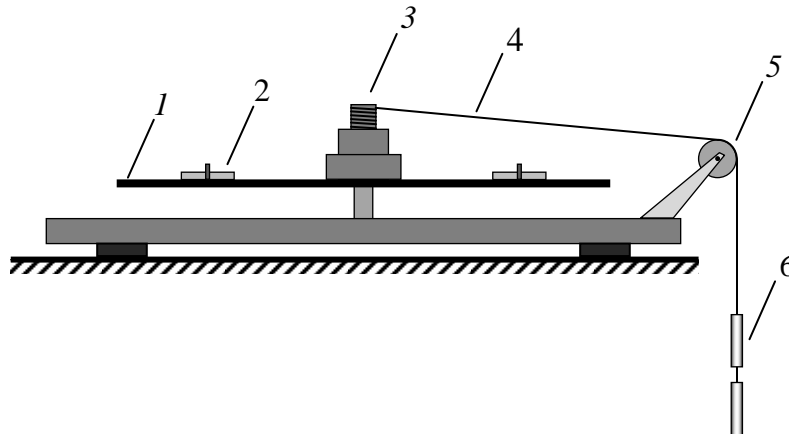
- Zapoznanie się z kinematyką ruchu jednostajnie zmiennego.
- Wyznaczenie prędkości średniej i przyspieszenia średniego.

### Pytania i zagadnienia kontrolne:

- II zasada dynamiki dla ruchu obrotowego.
- Od czego zależy przyspieszenie kątowe bryły sztywnej?
- Zależność położenia kąтового i prędkości kątovej od czasu w ruchu obrotowym jednostajnie zmiennym.

### Opis ćwiczenia:

W doświadczeniu posługujemy się zmodyfikowaną wersją wahadła Oberbecka. Okrągła tarcza  $I$  może wykonywać ruch obrotowy wokół pionowej osi. W tarczy osadzone są cztery trzpienie, na których można umieszczać obciążniki  $2$ , zmieniając w ten sposób moment bezwładności  $I$  układu. W osi obrotu tarczy znajduje się bęben  $3$ , składający się z trzech szpul o różnych średnicach. Nawinięta na wybraną szpulę linka  $4$  wprawia tarczę w ruch obrotowy. Linka, przewieszona jest przez lekki bloczek  $5$ , naprężona jest z siłą  $N$  ciężarkami  $6$  o masie  $m$ .



Rys. 2.1 Schemat wahadła do badania kinematyki ruchu obrotowego

Na bęben działają dwa momenty sił, niezmiennające swojej wartości w trakcie ruchu wahadła: moment  $M_N$  siły naprężenia linki oraz moment  $M_T$  sił tarcia występujących w łożysku. Wypadkowy moment siły  $M_w$  wprowadza tarczę wraz z obciążnikami i bębniem w ruch obrotowy jednostajnie przyspieszony. W ruchu tym położenie kątovej  $\alpha$  oraz prędkość kątovej  $\omega$  tarczy w funkcji czasu opisują odpowiednio równania:

$$\alpha = \frac{1}{2} \varepsilon t^2, \quad (2.1)$$

$$\omega = \varepsilon t. \quad (2.2)$$

Wykonanie ćwiczenia rozpoczynamy od nawinięcia linki na jedną ze szpul i podłączenia ciężarków do jej drugiego końca. Następnie zwalniamy tarczę i podczas rozwijania się linki mierzymy czasy  $\Delta t$





kolejnych, pełnych obrotów tarczy, tj. obrotów o kąt  $\Delta\alpha = 2\pi$ . Na podstawie wykonanych pomiarów obliczamy średnią prędkość kątową podczas każdego z obrotów:

$$\bar{\omega} = \frac{\Delta\alpha}{\Delta t}. \quad (2.3)$$

Sporządzamy wykresy zależności położenia kąowego od kwadratu czasu oraz prędkości kątovej od czasu. Korzystając z zależności (2.1) i (2.2) wyznaczamy metodą regresji liniowej wartość przyspieszenia kątowego  $\varepsilon$ .

#### **Literatura:**

1. Resnick R., Halliday D., Walker J., *Podstawy fizyki T.1*, PWN, Warszawa (dostępne wydania).
2. Bobrowski C., *Fizyka: krótki kurs*, WNT, Warszawa (dostępne wydania).
3. Orear J., *Fizyka T.1*, WNT, Warszawa (dostępne wydania).



### 3. Składanie sił

#### Cel:

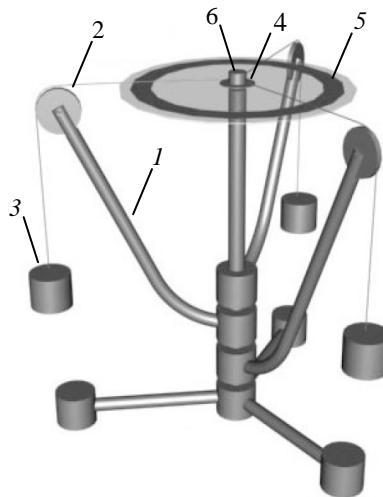
- Zapoznanie się z pojęciem wektora wypadkowego i metodami jego wyznaczania.
- Porównanie wyników graficznego i algebraicznego dodawania wektorów z doświadczalnym rezultatem składania sił.

#### Pytania i zagadnienia kontrolne:

- Pierwsza zasada dynamiki Newtona.
- Co to jest wektor wypadkowy?
- Graficzna i algebraiczna metoda dodawania wektorów.

#### Opis ćwiczenia:

Przyrząd do składania sił przedstawia rys.3.1. Zasadniczą część przyrządu stanowią trzy obrotowe ramiona  $I$  zakończone bloczkami  $2$ , przez które przewieszane są nici obciążone odważnikami  $3$ . Siły ciężkości odważników (ich ciężary) przekazywane są przez nici na niewielki pierścień  $4$  w centrum przyrządu. Obrót ramion wokół wspólnej osi pozwala na uzyskanie dowolnego kąta między nimi. Kąt ten można zmierzyć kątomierzem  $5$ , umocowanym na stole przyrządu. Oś  $6$  utrzymuje pierścień w pobliżu centrum, bez względu na wielkości mas odważników i wartości kątów pod jakimi zorientowane są nici. Przyjmuje się, że siły ciężkości odważników są w równowadze, gdy pierścień **nie opiera** się o oś przyrządu. Przyrząd pozwala składać siły doświadczalnie, co umożliwi weryfikację graficznych i analitycznych metod dodawania wektorów.



Rys.3.1. Przyrząd do składania sił

Wykonanie ćwiczenia rozpoczynamy od umieszczenia na końcach nici odważników o masach  $m_1$ ,  $m_2$  i  $m_3$ , wskazanych przez prowadzącego zajęcia. Obracając ramiona przyrządu, znajdujemy takie ich położenia, przy których pierścień nie opiera się o oś przyrządu. Odczytujemy na skali kątomierza położenia ramion  $\alpha_i$ . W celu określenia niepewności pomiarowej położenia kąтового pierwszego ramienia, obracamy je ostrożnie w lewo i w prawo. Znajdujemy w ten sposób mały zakres kątów, w którym zostaje zachowana równowaga. Zakres ten określa niepewność  $\Delta\alpha_1$  ustawienia kąta działania



siły ciężkości odważnika zawieszono na tym ramieniu. Umieszczamy ramię w pierwotnym położeniu i znajdujemy niepewność pomiarową położenia kąтового pozostałych ramion przyrządu. Następnie wyznaczamy niepewność pomiarową  $\Delta m_i$  mas odważników, przy których następuje zerowanie się wektora siły wypadkowej. Do pierwszego odważnika dodajemy jeden lub kilka małych zgiętych kawałków drutu, dopóki nie zostanie zachwiana równowaga. Masa dodanych kawałków drutu określa niepewność masy odważnika  $\Delta m_1$ . Usuwamy zawieszono kawałki drutu i powtarzamy tę procedurę dla pozostałych odważników. Na podstawie wyznaczonych mas obliczamy wartości wektorów sił ciężkości oraz ich niepewności pomiarowe.

Opracowanie wyników polega na graficznym (metodą równoległoboku i wieloboku) oraz algebraicznym dodawaniu wektorów reprezentujących siły ciężkości odważników. W metodach graficznych siły ciężkości przedstawiamy za pomocą wektora o długości proporcjonalnej do wartości siły i kącie nachylenia odpowiadającym kierunkowi działania siły. Dla każdego wektora należy przedstawić niepewność pomiarową jego długości i kierunku. Oznacza to, że koniec wektora powinien leżeć w polu określonym przez niepewność wartości siły i jej kierunku. Poniżej przedstawiono przykład wektora o długości 150 jednostek i kierunku  $0^\circ$  względem dodatniego kierunku osi  $x$ , dla którego niepewność wartości siły wynosi 5 jednostek, a niepewność kąta 2 stopnie (rys.3.2).



Rys. 3.2. Graficzna reprezentacja wektora o długości  $150 \pm 5$  jednostek i kierunku  $0 \pm 2^\circ$

Strzałka w centrum pola niepewności oznacza zmierzony wektor (150 jednostek na kierunku  $0^\circ$ ). Pole niepewności wokół strzałki ma długość 10 jednostek (od 145 do 155) i szerokość kątową  $4^\circ$  ( $2^\circ$  powyżej i  $2^\circ$  poniżej kierunku poziomego).

### Metoda równoległoboku

Rysujemy wektory reprezentujące siły ciężkości odważników tak, aby były zaczepione we wspólnym punkcie. Wykreślamy wektor będący sumą dwóch wybranych wektorów oraz pole niepewności narysowanego wektora. Przyjmujemy, że niepewność jego długości i kierunku jest sumą niepewności wektorów składowych. Odejmujemy tak uzyskany wektor od trzeciego wektora. Niepewność różnicy wektorów jest również sumą niepewności wektorów składowych. Skalę wybieramy tak, aby diagram sił zmieścił się na stronie formatu A4 papieru milimetrowego.

### Metoda wieloboku (trójkąta)

Rysujemy nowy diagram wektorów tak, aby początek kolejnego wektora leżał w końcu wektora poprzedniego. W idealnym przypadku powinniśmy otrzymać zamknięty wielobok sił (w badanym przypadku jest to trójkąt).

### Metoda dodawania składowych wektorów

Obliczamy składowe  $Q_{ix} = m_i g \cos \alpha_i$  i  $Q_{iy} = m_i g \sin \alpha_i$  wszystkich wektorów sił ciężkości oraz ich sumy. Niepewności sumy składowych w kierunku  $x$  i  $y$  obliczamy według wzorów:



$$\begin{cases} \Delta Q_x = \sqrt{\sum_{i=1}^3 [(\Delta m_i g \cos \alpha_i)^2 + (\Delta \alpha_i m_i g \sin \alpha_i)^2]} \\ \Delta Q_y = \sqrt{\sum_{i=1}^3 [(\Delta m_i g \sin \alpha_i)^2 + (\Delta \alpha_i m_i g \cos \alpha_i)^2]} \end{cases}, \quad (3.1)$$

gdzie sumowanie odbywa się po trzech działających siłach . W granicy wyznaczonej niepewności pomiarowej, suma składowych  $Q_x$  powinna wynosić zero, podobnie jak suma składowych  $Q_y$  .

**Literatura:**

1. Resnick R., Halliday D., Walker J., *Podstawy fizyki T.1*, PWN, Warszawa (dostępne wydania).
2. Resnick R., Halliday D., Walker J., *Podstawy fizyki T.2*, PWN, Warszawa (dostępne wydania).
3. Bobrowski C., *Fizyka: krótki kurs*, WNT, Warszawa (dostępne wydania).



#### 4. Wyznaczanie współczynnika lepkości cieczy metodą Stokesa

##### Cel:

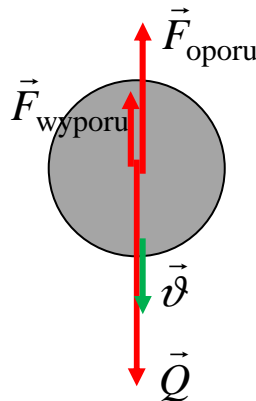
- Poznanie pojęcia lepkości cieczy.
- Analiza ruchu ciała opadającego w cieczy.
- Wyznaczenie współczynnika lepkości.
- Wyznaczenie prędkości granicznej.

##### Pytania i zagadnienia kontrolne:

- Co to jest lepkość cieczy?
- Ruch ciała w cieczy rzeczywistej. Prawo Stokesa.
- Rozkład sił działających na kulkę spadającą w lepkiej cieczy.
- Wyjaśnić pojęcie prędkości granicznej.
- Kinematyka ruchu jednostajnego i jednostajnie zmiennego.
- Wyprowadzić wzór pozwalający wyznaczyć lepkości cieczy metodą Stokesa.

##### Opis ćwiczenia:

Na ciało poruszające się w cieczy działają trzy siły:



Rys. 4.1. Siły działające na kulkę opadającą w cieczy

- siła ciężkości

$$Q = mg = \rho Vg, \quad (4.1)$$

gdzie  $\rho$ ,  $V$  i  $g$  oznaczają odpowiednio gęstość ciała, jego objętość i przyspieszenie ziemskie. Siła ta działa zgodnie z kierunkiem przyspieszenia ziemskiego;

- siła wyporu, zgodnie z prawem Archimidesa równa ciężarowi wypartej przez to ciało cieczy o gęstości  $\rho_c$

$$F_{\text{wyporu}} = \rho_c Vg. \quad (4.2)$$

Siła ta skierowana jest przeciwnie do kierunku przyspieszenia ziemskiego;



- siła oporu, której wartość zależy od wielkości i kształtu poruszającego się ciała, wartości prędkości ciała oraz od rodzaju cieczy, w której ciało się porusza. Dla kuli o promieniu  $r$ , całkowicie zanurzonej w cieczy o współczynniku lepkości  $\eta$  i poruszającej się z prędkością  $v$  siła oporu jest określona prawem Stokesa:

$$F_{\text{oporu}} = 6\pi r \eta v \quad (4.3)$$

Siła ta jest skierowana przeciwnie do zwrotu wektora prędkości kuli. Prawo to jest słuszne, gdy liczba Reynoldsa

$$Re = \frac{\rho_c v r}{\eta} \quad (4.4)$$

jest mniejsza od 0,4.

Gdy kula zaczyna opadać w cieczy, jej prędkość jest początkowo niewielka i siła oporu nie równoważy pozostałych sił – kula porusza się ruchem przyspieszonym. W miarę wzrostu prędkości siła oporu rośnie i po przebyciu pewnego odcinka drogi następuje stan równowagi trzech działających sił

$$mg = \rho_c V g + 6\pi r \eta v_{gr} \quad (4.5)$$

i kula opada ruchem jednostajnym ze stałą prędkością  $v_{gr}$ , zwaną prędkością graniczną. Znając tą prędkość, masę i promień kuli oraz gęstość cieczy, obliczamy współczynnik lepkości ze wzoru

$$\eta = \frac{(m - \rho_c V_z) g}{6\pi r v_{gr}} \quad (4.6)$$

Gdy kulka opada w cieczy wypełniającej naczynie o ograniczonych wymiarach poprzecznych, konieczne jest uwzględnienie wpływu ścian naczynia na ruch kulki. Jeżeli kulka opada w cylindrze o średnicy  $2R$ , wówczas wpływ ścianek zmniejsza jej prędkość opadania i konieczne staje się wprowadzenie poprawki do wzoru (4.5):

$$\eta' = \frac{1}{1 + 2,4 \cdot \frac{r}{R}} \cdot \frac{(m - \rho_c V) g}{6\pi r v_{gr}} \quad (4.7)$$

Wykonanie ćwiczenia rozpoczynamy od pomiaru średnicy  $2r$  kuli oraz jej masy  $m$ . Kulę wrzucamy do wysokiego cylindra o średnicy  $2R$ , wypełnionego cieczą o gęstości  $\rho$  i nieznaney lepkości  $\eta$ . Dokonujemy pomiaru czasu spadania kuli na drodze  $s = 50$  cm. Punkt początkowy pomiaru czasu powinien znajdować się około 20 cm poniżej poziomu cieczy, aby w trakcie pomiaru kula poruszała się ze stałą prędkością. Pomiar ten umożliwi wyznaczenie prędkości granicznej  $v_{gr}$ . Na podstawie uzyskanych pomiarów obliczamy współczynniki lepkości cieczy  $\eta$ ,  $\eta'$  oraz liczbę Reynoldsa  $Re$ . Pomiar i obliczenia powtarzamy dla kilku kul.



---

### Literatura:

1. Daca T., Łukasiewicz M., Włodarski Z., Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Skrypt dla studentów I i II roku studiów stacjonarnych i zaocznych, WSM, Szczecin (dostępne wydania).
2. Szydłowski H., Pracownia fizyczna, PWN, Warszawa (dostępne wydania).
3. Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki w politechnice, praca zbiorowa pod red. T. Rewaja, PWN, Warszawa (dostępne wydania).
4. Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki, praca zbiorowa pod red. T. Rewaja, Wydawnictwo Politechniki Szczecińskiej, Szczecin (dostępne wydania).
5. Dryński T., Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki, PWN, Warszawa (dostępne wydania).
6. Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki : praca zbior. Cz. 1, praca zbiorowa pod red. B. Oleś , Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2001.
7. Resnick R., Halliday D., Walker J., Podstawy fizyki T.1, PWN, Warszawa (dostępne wydania).
8. Resnick R., Halliday D., Walker J., Podstawy fizyki T.2, PWN, Warszawa (dostępne wydania).
9. Bobrowski C., Fizyka: krótki kurs, WNT, Warszawa (dostępne wydania).
10. Orear J., Fizyka T.1, WNT, Warszawa (dostępne wydania).



## 5. Wyznaczanie modułu sztywności przy pomocy wahadła torsyjnego

### Cel:

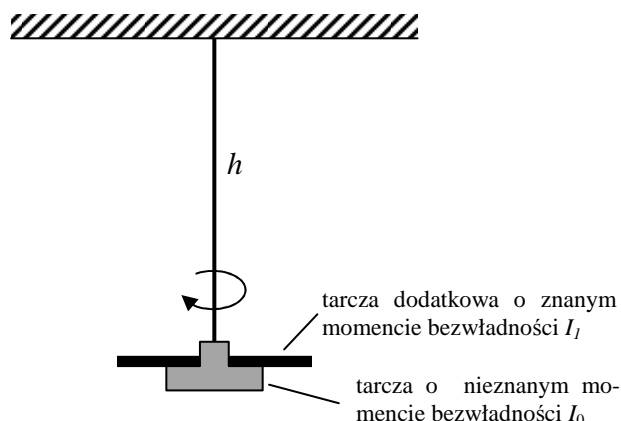
- Poznanie własności sprężystych ciał stałych.
- Analiza ruchu obrotowego bryły sztywnej na przykładzie wahadła torsyjnego.
- Doświadczalne wyznaczenie modułu sztywności.

### Pytania i zagadnienia kontrolne:

- II zasada dynamiki Newtona dla ruchu obrotowego i definicje występujących tam wielkości.
- Ścinanie. Prawo Hooke'a dla naprężenia stycznego.
- Opisać budowę wahadła torsyjnego. Od czego zależy moment sił skrętnych, działający w wahadle torsyjnym?
- Zależność kątownego wychylenia wahadła torsyjnego od czasu.
- Analiza kierunku oraz zwrotu wektora prędkości kątowej, przyspieszenie kątowne oraz momentu sił skrętnych trakcie ruchu wahadła torsyjnego.

### Opis ćwiczenia:

Wahadło torsyjne zbudowane jest z dwóch metalowych tarcz, zawieszonych centralnie na sprężystym drucie.



Rys. 5.1 Schemat wahadła torsyjnego

Jeżeli skęcimy drut o kąt  $\varphi$  względem osi obrotu przechodzącej przez oś drutu, to powstaje moment sił sprężystych  $M$  dążący do przywrócenia stanu równowagi. Moment ten jest proporcjonalny do kąta skęcenia, lecz przeciwnie skierowany:

$$M = -D\varphi \quad (5.1)$$

Stała proporcjonalności  $D$  zależy od długości drutu  $h$ , jego promienia  $r$  i modułu sztywności  $G$ :

$$D = G \frac{\pi r^4}{2L} \quad (5.2)$$

Równanie ruchu wahadła bez dodatkowej tarczy ma postać równania oscylatora harmonicznego:





$$I_0 \ddot{\varphi} = -D\varphi \quad (5.3)$$

Wahadło wykonuje zatem drgania harmoniczne o okresie:

$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{I_0}{D}} = 2\pi \sqrt{\frac{2I_0 h}{\pi G r^4}} \quad (5.4)$$

Po nałożeniu dodatkowej, okrągłej tarczy o momencie bezwładności

$$I_1 = m(R_1^2 + R_2^2), \quad (5.5)$$

gdzie  $m$  jest masą tarczy, a  $R_1$  i  $R_2$  odpowiednio jej promieniem zewnętrznym i wewnętrznym, okres drgań ulega wydłużeniu

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{I_0 + I_1}{D}} = 2\pi \sqrt{\frac{2(I_0 + m(R_1^2 + R_2^2))h}{\pi G r^4}} \quad (5.6)$$

Wyznaczona na podstawie wzorów (5.5) i (5.6) wartość modułu sztywności  $G$  wynosi:

$$G = \frac{8\pi m h (R_1^2 + R_2^2)}{(T_1^2 - T_0^2) r^4} \quad (5.7)$$

Wykonanie ćwiczenia rozpoczynamy od zmierzenia długości drutu, masy oraz średnicy wewnętrznej i zewnętrznej dodatkowej tarczy stalowej. Następnie okracamy tarczę o kąt około  $90^\circ$  i mierzymy czas dziesięciu pełnych wahań. W celu wyznaczenia okresu drgań, dzielimy zmierzony czas przez dziesięć. Powtarzamy pomiary obciążając układ dodatkową tarczą. Znając długość drutu, moment bezwładności dodatkowej tarczy oraz okresy drgań w obu przypadkach, obliczamy moduł sztywności  $G$  z równania (5.7).

#### Literatura:

1. Daca T., Łukasiewicz M., Włodarski Z., Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Skrypt dla studentów I i II roku studiów stacjonarnych i zaocznych, WSM, Szczecin (dostępne wydania).
2. Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Cz. 1, praca zbiorowa pod red. J. Kirkiewicza, WSM, Szczecin, 2001.
3. Szydłowski H., Pracownia fizyczna, PWN, Warszawa (dostępne wydania).
4. Dryński T., Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki, PWN, Warszawa (dostępne wydania).
5. Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki : praca zbior. Cz. 1, praca zbiorowa pod red. B. Oleś , Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2001.
6. Resnick R., Halliday D., Walker J., Podstawy fizyki T.1, PWN, Warszawa (dostępne wydania).
7. Resnick R., Halliday D., Walker J., Podstawy fizyki T.2, PWN, Warszawa (dostępne wydania).
8. Bobrowski C., Fizyka: krótki kurs, WNT, Warszawa (dostępne wydania).
9. Orear J., Fizyka T.1, WNT, Warszawa (dostępne wydania).



## 6. Wyznaczanie przyspieszenia ziemskiego przy pomocy wahadła rewersyjnego

### Cel:

- Analiza ruchu obrotowego bryły sztywnej na przykładzie wahadła rewersyjnego.
- Wyznaczenie wartości przyspieszenia ziemskiego.

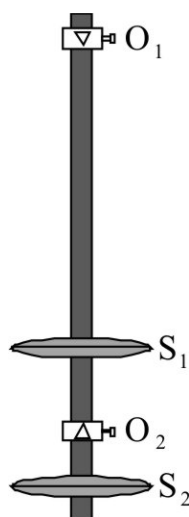
### Pytania i zagadnienia kontrolne:

- Prawo powszechnego ciężenia. Przyspieszenie ziemskie oraz ciężaru ciała.
- Budowa wahadła rewersyjnego. Co to jest długość zredukowana wahadła?
- Równanie ruchu wahadła fizycznego.
- Od czego zależy okres drgań wahadła fizycznego?
- Moment bezwładności bryły sztywnej.
- Twierdzenie Steinera.

### Opis ćwiczenia:

Wahadło rewersyjne składa się z metalowego pręta, na którym w odległości  $L$  osadzone są dwa pryzmaty  $O_1$  i  $O_2$ , zwrócone ostrzami do siebie. Pryzmaty te wyznaczają stałe osie obrotu. Położenie środka masy wahadła można zmieniać przesuwać soczewki  $S_1$  i  $S_2$ . Przy odpowiednio dobranym położeniu obu soczewek, okresy drgań wahadła na obu pryzmatach są jednakowe. Oznacza to, że odległość  $L$  między nimi jest tzw. długością zredukowaną wahadła, a jego okres drgań wyraża się wzorem:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}} \quad (6.1)$$

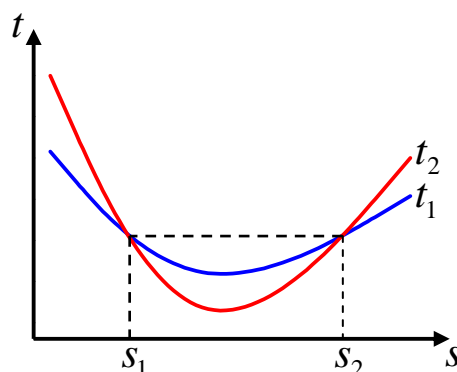


Rys. 6.1 Schemat wahadła rewersyjnego

Wykonanie ćwiczenia rozpoczynamy od ustawienia, zgodnie z instrukcją, położenia pryzmatów  $O_1$  i  $O_2$  oraz soczewki  $S_2$ . Zawieszamy wahadło na ostrzu  $O_1$ . Zmieniając położenie soczewki  $S_1$ , dokonujemy pomiaru zależności czasu  $t_1$  dziesięciu pełnych wahań wahadła w funkcji odległości  $s$



między soczewkami. Następnie zawieszamy wahadło na ostrzu  $O_2$ . Ponownie zmieniając położenie soczewki  $S_1$ , dokonujemy pomiaru zależności czasu  $t_2$  dziesięciu pełnych wahań wahadła w funkcji odległości  $s$  między soczewkami. Na jednym wykresie sporządzamy zależności czasów  $t_1$  i  $t_2$  od odległości  $s$  między soczewkami. Wykreślone krzywe przetną się w dwóch punktach, których odcięte wynoszą  $s_1$  i  $s_2$ .



Rys. 6.2 Zależność czasu  $t$  dziesięciu pełnych wahań wahadła rewersyjnego od odległości  $s$  między soczewkami

Dla obydwu wyznaczonych odległości  $s_1$  i  $s_2$  dokonujemy pomiaru czasu 10 pełnych wahań wahadła na każdym z ostrzy. Na podstawie tych czterech pomiarów obliczamy średni okres  $T$  drgań wahadła fizycznego o długości zredukowanej równej odległości  $L$  między ostrzami. Przekształcając równanie (6.1) obliczamy przyspieszenie ziemskie:

$$g = 4\pi^2 \frac{L}{T^2} \quad (6.2)$$

#### Literatura:

1. Daca T., Łukasiewicz M., Włodarski Z., Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Skrypt dla studentów I i II roku studiów stacjonarnych i zaocznych, WSM, Szczecin (dostępne wydania).
2. Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Cz. 1, praca zbiorowa pod red. J. Kirkiewicza, WSM, Szczecin, 2001.
3. Szydłowski H., Pracownia fizyczna, PWN, Warszawa (dostępne wydania).
4. Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki w politechnice, praca zbiorowa pod red. T. Rewaja, PWN, Warszawa (dostępne wydania).
5. Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki, praca zbiorowa pod red. T. Rewaja, Wydawnictwo Politechniki Szczecińskiej, Szczecin (dostępne wydania).
6. Resnick R., Halliday D., Walker J., Podstawy fizyki T.1, PWN, Warszawa (dostępne wydania).
7. Resnick R., Halliday D., Walker J., Podstawy fizyki T.2, PWN, Warszawa (dostępne wydania).
8. Bobrowski C., Fizyka: krótki kurs, WNT, Warszawa (dostępne wydania).
9. Orear J., Fizyka T.1, WNT, Warszawa (dostępne wydania).



## 7. Wyznaczanie momentu bezwładności wahadła fizycznego

### Cel:

- Analiza ruchu obrotowego bryły sztywnej na przykładzie wahadła fizycznego.
- Doświadczalne wyznaczenie środka masy wahadła fizycznego i porównanie go z wartością teoretyczną.
- Doświadczalne wyznaczenie momentu bezwładności wahadła fizycznego i porównanie go z wartością teoretyczną.

### Pytania i zagadnienia kontrolne:

- Co to jest wahadło fizyczne. Od czego zależy jego okres drgań?
- Jak można zmienić położenie osi obrotu wahadła, aby jego okres drgań nie uległ zmianie?
- Jak można teoretycznie i doświadczalnie wyznaczyć środek masy?
- Twierdzenie Steinera.
- Obliczyć moment bezwładności wahadła wykorzystywanego w ćwiczeniu.

### Opis ćwiczenia:

Okres drgań wahadła fizycznego zależy od:

- wartości jego momentu bezwładności  $I_0$  względem osi przechodzącej przez środek masy  $S$  i równoległej do osi obrotu  $O$  wahadła,
- masy  $m$  wahadła,
- odległości  $L$  między osią obrotu a środkiem masy:

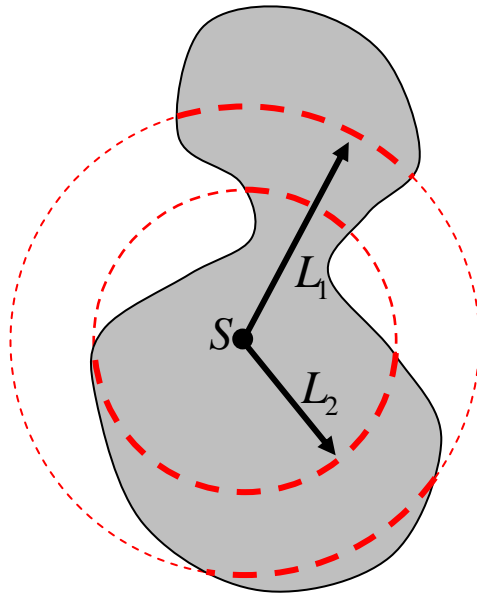
$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I_0 + mL^2}{mgL}}. \quad (7.1)$$

Dokładna analiza pokazuje, że niezależnie od kształtu wahadła okres drgań nie ulegnie zmianie, gdy oś obrotu umieścimy w dowolnym punkcie bryły sztywnej, jednakowo odległym od środka masy

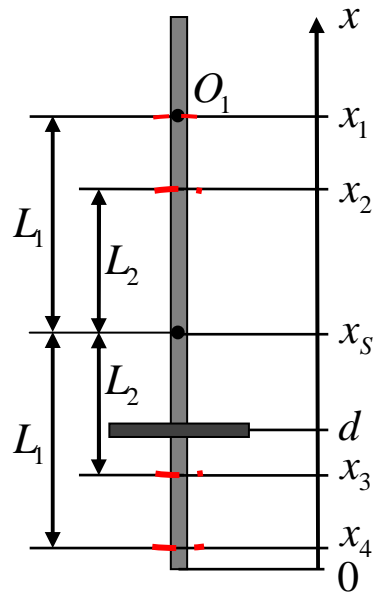
$$L_1 = L \quad (7.2)$$

lub w dowolnym punkcie którego odległość od środka masy wynosi

$$L_2 = \frac{I_0}{mL} = \frac{I_0}{mL_1}. \quad (7.3)$$



Rys. 7.1. Położenie osi obrotu wahadła fizycznego o jednakowym okresie obrotu



Rys. 7.2. Schemat wahadła fizycznego

Rozpatrzmy wahadło fizyczne zawieszone na osi  $O_1$ , które składa się z dysku umocowanego na sztywnym, metalowym pręcie (rys.7.2). Pręt ma masę  $M$ , długość  $H$  oraz promień poprzeczny  $R \ll H$ . Dysk o masie  $m$  i promieniu  $r$ , umocowany jest w odległości  $d$  od jednego z końców pręta. Dla takiego wahadła, istnieją jeszcze trzy inne położenia osi obrotu, dla których okres obrotu będzie taki sam. Jeżeli znamy ich odległości  $x_i$  od jednego z końców wahadła, możemy na podstawie prostych relacji geometrycznych wyznaczyć położenie środka masy

$$x_S = \frac{x_1 + x_4}{2} = \frac{x_2 + x_3}{2} \quad (7.4)$$

oraz odległości

$$L_1 = \frac{x_1 - x_4}{2} \quad \text{i} \quad L_2 = \frac{x_2 - x_3}{2} \quad (7.5)$$

Zgodnie z równaniem (7.3),  $I_0 = mL_1L_2$ , więc znajomość odległości  $L_1$  i  $L_2$  pozwala obliczyć moment bezwładności wahadła względem osi przechodzącej przez jego środek masy:

$$I_0 = m \cdot \frac{x_1 - x_4}{2} \cdot \frac{x_2 - x_3}{2} \quad (7.6)$$

Wykonanie ćwiczenia rozpoczynamy od wyznaczenia wymiarów geometrycznych i masy elementów tworzących wahadło – pręta i dysku. Umieszczamy dysk w odległości  $d$  od końca pręta. Obliczamy teoretyczną wartość położenia środka masy



$$x_S = \frac{\frac{1}{2}MH + md}{M + m} \quad (7.7)$$

oraz moment bezwładności wahadła względem osi przechodzącej przez środek masy wahadła

$$\begin{aligned} I_0 &= I_{pręta} + I_{dysku} = \\ &= \frac{1}{12}MH^2 + M\left(\frac{1}{2}H - x_S\right)^2 + \frac{1}{12}m(h^2 + 3r^2) + m(d - x_S)^2. \end{aligned} \quad (7.8)$$

W celu sprawdzenia poprawności obliczeń położenia środka masy podpieramy wahadło w obliczonej odległości  $x_S$  od jego końca – wahadło powinno pozostać w stanie spoczynku.

Zawieszamy wahadło zgodnie z instrukcjami prowadzącego zajęcia i dokonujemy pomiaru jego okresu drgań  $T_0$ . Zmieniając położenie osi obrotu o wartość  $\Delta x$  wyznaczamy zależność okresu drgań  $T$  wahadła od położenia osi obrotu  $x$ . Sporządzamy wykres tej zależności i odczytujemy z niego, dla jakich odległości  $x_i$  okres drgań ma wartość  $T_0$ . Na podstawie wzorów (7.4) i (7.6) wyznaczamy położenie środka masy oraz moment bezwładności wahadła względem osi przechodzącej przez jego środek masy. Porównujemy te wartości z wartościami obliczonymi na podstawie wzorów (7.7) i (7.8).

#### Literatura:

1. *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Cz. 1*, praca zbiorowa pod red. J. Kirkiewicza, WSM, Szczecin, 2001.
2. Szydłowski H., *Pracownia fizyczna*, PWN, Warszawa (dostępne wydania).
3. Resnick R., Halliday D., Walker J., *Podstawy fizyki T.1*, PWN, Warszawa (dostępne wydania).
4. Resnick R., Halliday D., Walker J., *Podstawy fizyki T.2*, PWN, Warszawa (dostępne wydania).
5. Bobrowski C., *Fizyka: krótki kurs*, WNT, Warszawa (dostępne wydania).
6. Orear J., *Fizyka T.1*, WNT, Warszawa (dostępne wydania).



## 8. Wyznaczanie momentu bezwładności żyroskopu

### Cel:

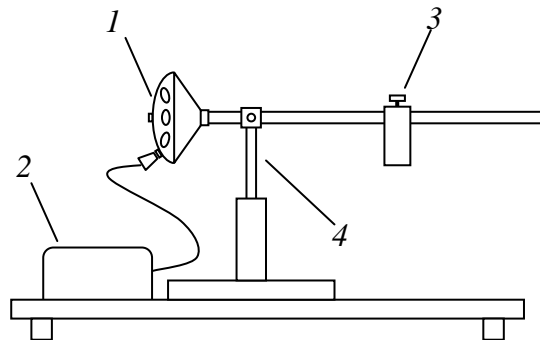
- Zapoznanie się z dynamiką ruchu obrotowego bryły sztywnej.
- Poznanie efektu żyroskopowego.
- Teoretyczne i doświadczalne wyznaczenie momentu bezwładności żyroskopu.

### Pytania i zagadnienia kontrolne:

- Moment bezwładności, moment siły i moment pędu – definicje i relacja między tymi wielkościami.
- Zasada zachowania momentu pędu.
- Budowa żyroskopu i efekt żyroskopowy.
- Przedstawić na rysunku kierunek oraz zwrot wektorów działających sił, momentów sił, momentu pędu i wektora zmiany momentu pędu, gdy żyroskop jest w stanie równowagi oraz w trakcie ruchu precesyjnego.

### Opis ćwiczenia:

Żyroskopem nazywamy bryłę sztywną, osadzoną na osi będącej równocześnie jego swobodną osią obrotu. Żyroskop zastosowany w ćwiczeniu jest stalowym walcem o masie  $M$ , wysokości  $H$ , promieniu wewnętrznym  $R_1$  i zewnętrznym  $R_2$ , obracającym się dookoła osi poziomej. Walec ten jest jednocześnie wirnikiem silnika synchronicznego i wraz z uzwojeniem znajduje się wewnątrz obudowy 1. Silnik zasilany jest z zasilacza sieciowego 2. Ruch precesyjny żyroskopu wywołany jest przesunięciem ciężarka 3 z położenia równowagi do dowolnego innego położenia i odbywa się wokół pionowej osi obrotu 4.



Rys. 8.1. Schemat przyrządu do wyznaczenia momentu bezwładności żyroskopu

Wykonanie ćwiczenia rozpoczynamy od zamocowania ciężarka o masie  $m$  w takiej odległości  $r_0$  od osi obrotu, przy której pręt jest w pozycji poziomej. Włączamy zasilanie żyroskopu i po ustabilizowaniu się prędkości kątowej wirnika do wartości maksymalnej  $\omega_0$  mocujemy ciężarek w innym położeniu  $r$ . Odłączamy przewód zasilający i wprowadzamy żyroskop w ruch precesyjny. Mierzymy okres precesji  $T$  i obliczamy prędkość kątową precesji:

$$\omega_p = \frac{2\pi}{T} \quad (8.1)$$

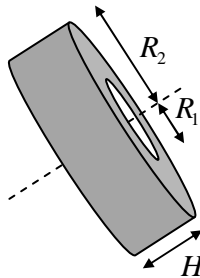


Moment bezwładności żyroskopu obliczamy ze wzoru:

$$I = \frac{mg|r - r_0|}{\omega_p \omega_0} \quad (8.2)$$

Pomiar powtarzamy kilkakrotnie dla różnych odległości  $r$  ciężarka od osi obrotu i obliczamy średnią wartość momentu bezwładności żyroskopu.

Moment bezwładności żyroskopu możemy również obliczyć na podstawie znajomości jego masy i wymiarów geometrycznych:



$$I = \frac{1}{2} M (R_1^2 + R_2^2) \quad (8.3)$$

Aby oszacować masę  $M$  żyroskopu, wykorzystujemy warunek równoważenia się momentów sił, gdy układ znajduje się w stanie równowagi

$$R_0 M g = r_0 m g, \quad (8.4)$$

gdzie  $R_0$  i  $r_0$  są odpowiednio odległościami żyroskopu i ciężarka od pionowej osi obrotu. W oszacowaniu tym zaniedbujemy masę obudowy i wirnika, które są znacznie mniejsze od masy żyroskopu.

#### Literatura:

1. Daca T., Łukasiewicz M., Włodarski Z., Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Skrypt dla studentów I i II roku studiów stacjonarnych i zaocznych, WSM, Szczecin (dostępne wydania).
2. Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Cz. 1, praca zbiorowa pod red. J. Kirkiewicza, WSM, Szczecin, 2001.
3. Szydłowski H., Pracownia fizyczna, PWN, Warszawa (dostępne wydania).
4. Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki w politechnice, praca zbiorowa pod red. T. Rewaja, PWN, Warszawa (dostępne wydania).
5. Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki, praca zbiorowa pod red. T. Rewaja, Wydawnictwo Politechniki Szczecińskiej, Szczecin (dostępne wydania).
6. Resnick R., Halliday D., Walker J., Podstawy fizyki T.1, PWN, Warszawa (dostępne wydania).
7. Resnick R., Halliday D., Walker J., Podstawy fizyki T.2, PWN, Warszawa (dostępne wydania).
8. Bobrowski C., Fizyka: krótki kurs, WNT, Warszawa (dostępne wydania).
9. Orear J., Fizyka T.1, WNT, Warszawa (dostępne wydania).





## 9. Wyznaczanie prędkości dźwięku w powietrzu metodą czasu przelotu

### Cel:

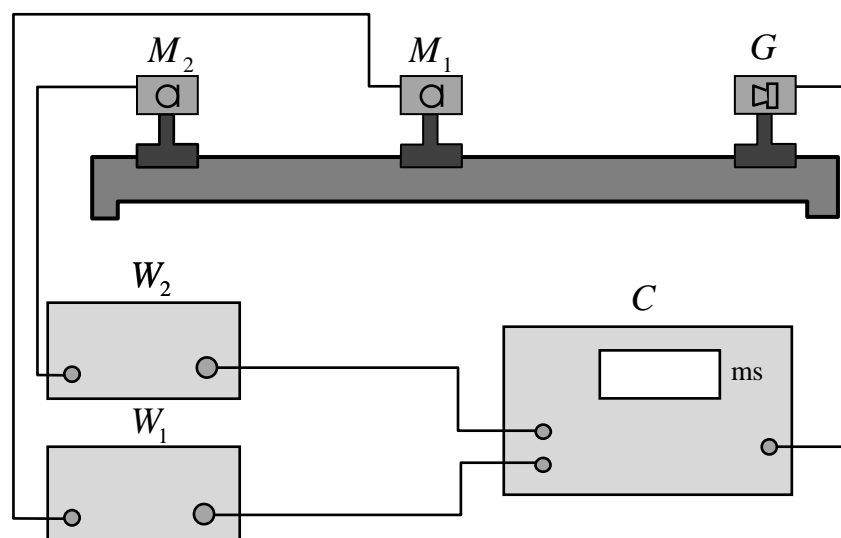
- Poznanie falowej natury dźwięku.
- Wyznaczenie prędkości dźwięku w powietrzu.

### Pytania i zagadnienia kontrolne:

- Na czym polega rozchodzenie się fali dźwiękowej? Fale podłużne i fale poprzeczne.
- Parametry określające falę dźwiękową.
- Od czego zależy prędkość rozchodzenia się fal sprężystych w ciałach stałych, cieczach i gazach? Jaka jest prędkość dźwięku w powietrzu?
- Na czym polega metoda pomiaru prędkości dźwięku stosowana w ćwiczeniu?

### Opis ćwiczenia:

Pomiar prędkości dźwięku w powietrzu metodą czasu przelotu polega na wyznaczeniu różnicy czasu  $t$  rejestracji czoła fali dźwiękowej przez dwa mikrofony  $M_1$  i  $M_2$ . Mikrofony ustawione są w odległości  $S$  od siebie i leżą w jednej linii z głośnikiem  $G$ , będącym źródłem dźwięku. W ćwiczeniu mikrofony podłączone są poprzez wzmacniacze  $W_1$  i  $W_2$  do miernika czasu  $C$ .



Rys. 9.1 Schemat układu do wyznaczania prędkości dźwięku metodą czasu przelotu

Wytworzona w głośniku fala dźwiękowa, docierając do mikrofonu  $M_1$ , generuje sygnał uruchamiający pomiar czasu w mierniku  $C$ . Fala ta po czasie  $t$  dociera do drugiego mikrofonu i generuje sygnał zatrzymujący pomiar czasu. Prędkość dźwięku obliczamy jako stosunek drogi  $S$  przebytej przez falę dźwiękową do czasu  $t$ :

$$v = \frac{S}{t}. \quad (9.1)$$



Pomiary wykonujemy dla kilku położzeń mikrofonu  $M_1$ . Ze względu na obecność szumów i odbić fal dźwiękowych w pomieszczeniu, pomiary dla każdej odległości  $S$  wykonujemy kilkakrotnie i odrzucamy czasy znacząco odbiegające od czasu średniego.

**Literatura:**

1. *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Cz. 1*, praca zbiorowa pod red. J. Kirkiewicza, WSM, Szczecin, 2001.
2. Resnick R., Halliday D., Walker J., *Podstawy fizyki T.2*, PWN, Warszawa (dostępne wydania).
3. Bobrowski C., *Fizyka: krótki kurs*, WNT, Warszawa (dostępne wydania).
4. Orear J., *Fizyka T.1*, WNT, Warszawa (dostępne wydania).



## 10. Badanie drgań własnych struny metodą rezonansu

### Cel:

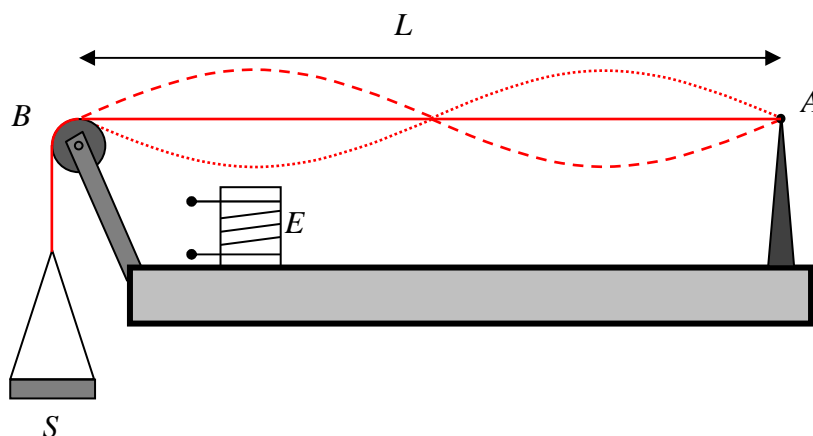
- Zapoznanie się ze zjawiskiem interferencji fal na przykładzie powstawania fali stojącej.
- Obserwacja fali stojącej.
- Wyznaczenie gęstości drutu stalowego.

### Pytania i zagadnienia kontrolne:

- Gęstość, ciężar, ciężar właściwy i masa – związek między tymi wielkościami.
- Równanie fali harmonicznnej płaskiej oraz definicja jej podstawowych parametrów: długości fali, amplitudy, okresu, częstotliwości i częstości kołowej.
- Co to jest interferencja fal?
- Jak powstają fale stojące? Równanie fali stojącej. Co to są strzałki i węzły fali stojącej?
- Zilustrować falę stojącą dla parametrów  $k=1$ ,  $k=2$  i  $k=5$ , powstającą na strunie o sztywno zamocowanych końcach.
- Jakie obciążenie drutu stosowanego w ćwiczeniu wygeneruje falę stojącą o wartości parametru  $k=1$ ?
- Od czego zależy wysokość dźwięku wytworzonego przez strunę gitarową?

### Opis ćwiczenia:

Badana stalowa struna zamocowana jest na stałe w punkcie  $A$ . Do drugiego końca struny, przewieszanej przez bloczek  $B$ , przyczepiona jest szalka  $S$  o masie  $m_s$ . Pod struną znajduje się elektromagnes  $E$ , zasilany prądem zmiennym o częstotliwości  $50\text{Hz}$ . Elektromagnes ten pobudza strunę do drgań z częstotliwością  $\nu = 100\text{Hz}$ , ponieważ w ciągu jednego okresu zmian napięcia, pole magnetyczne wytworzone przez elektromagnes dwukrotnie osiąga wartość maksymalną.



Rys. 10.1. Schemat układu do badania drgań własnych struny

Wykonanie ćwiczenia rozpoczynamy od wyznaczenia średnicy  $d$  struny i jej długości  $L$  mierzonej od punktu  $A$  do punktu podparcia na bloczku  $B$ . Ustawiamy elektromagnes w  $1/4$  długości struny. Na szlacie umieszczamy ciężarki o takiej łącznej masie  $m$ , przy której powstaje fala stojąca o długości równej długości struny. Przesuwając elektromagnes tak, aby zawsze znajdował się w miejscu występowania strzałki fali stojącej oraz dobierając odpowiednie obciążenie szalki znajdujemy fale stojące o



mniejszych długościach. Znając długość  $L$  i średnicę  $d$  struny, rząd drgania  $k$ , napięcie  $F = (m + m_s)g$  struny i jej częstotliwość  $\nu$  drgań, obliczamy gęstość struny ze wzoru:

$$\rho = \left( \frac{k}{dL\nu} \right)^2 \frac{F}{\pi} \quad (10.1)$$

#### Literatura:

1. *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Cz. 1*, praca zbiorowa pod red. J. Kirkiewicza, WSM, Szczecin, 2001.
2. Resnick R., Halliday D., Walker J., *Podstawy fizyki T.2*, PWN, Warszawa (dostępne wydania).
3. Bobrowski C., *Fizyka: krótki kurs*, WNT, Warszawa (dostępne wydania).
4. Orear J., *Fizyka T.1*, WNT, Warszawa (dostępne wydania).



## 11. Wyznaczanie ciepła parowania i ciepła topnienia

### Cel:

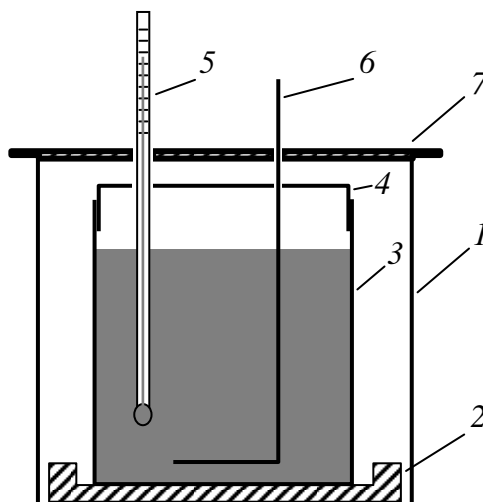
- Poznanie procesów topnienia i wrzenia jako przykładu przemian fazowych.
- Poznanie zasady sporządzania bilansu cieplnego.
- Wyznaczenie ciepła parowania wody przy użyciu kalorymetru.
- Wyznaczenie ciepła topnienia lodu przy użyciu kalorymetru.

### Pytania i zagadnienia kontrolne:

- Trzy podstawowe stany skupienia i przejścia fazowe między nimi.
- Definicja ciepła właściwego, ciepła parowania i ciepła topnienia.
- Zasada sporządzania bilansu cieplnego.
- Wyznaczenie ciepła parowania wody – ułożyć bilans cieplny i wyprowadzić wzór na ciepło parowania.
- Wyznaczenie ciepła topnienia lodu – ułożyć bilans cieplny i wyprowadzić wzór na ciepło topnienia.

### Opis ćwiczenia:

Podstawowym przyrządem wykorzystywanym do pomiaru ciepła właściwego, ciepła parowania i ciepła topnienia jest kalorymetr. Izuluje on termicznie badany układ od wpływu otoczenia. Najprostszy kalorymetr składa się z dwóch naczyń aluminiowych: większego i mniejszego. Na dnie naczynia większego - zewnętrznego *1* spoczywa drewniany krzyżak *2*, na którym ustawione jest mniejsze naczynie wewnętrzne *3* – właściwy kalorymetr. Kalorymetr ma aluminiową pokrywę *4* z otworami na termometr *5* i mieszadło *6*. Zewnętrzne naczynie przykryte jest płytką ebonitową *7*.



Rys. 11.1. Schemat kalorymetru wodnego

### Wyznaczenie ciepła topnienia lodu

Wlewamy do kalorymetru o masie  $m_k$  wodę o temperaturze około  $40^\circ\text{C}$ . Ważymy kalorymetr wraz z wodą i wyznaczamy masę wody  $m_w = m_{k+w} - m_k$ . Po zmierzeniu początkowej temperatury  $T_4$  kalorymetru i wody, wrzucamy lód o temperaturze  $T_1$ . Na skutek różnicy temperatur lód pobiera ciepło od



wody i kalorymetru. Początkowo lód ogrzewa się do temperatury  $0^{\circ}\text{C}$ , topi się zamieniając w wodę o temperaturze  $0^{\circ}\text{C}$ , która następnie podgrzewa się do temperatury końcowej  $T_3$ . Po całkowitym stopieniu się lodu ważymy kalorymetr wraz z wodą i rozpuszczonym lodem w celu wyznaczenia masy lodu  $m_l = m_{k+w+l} - m_{k+w}$ . Równanie bilansu cieplnego dla tego przypadku ma postać:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = Q_4 + Q_5 \quad (11.1)$$

gdzie:

$Q_1 = m_l c_l (T_2 - T_1)$  – ciepło pobrane przez lód o masie  $m_l$  na ogrzanie się od temperatury początkowej  $T_1$  do temperatury topnienia  $T_2 = 0^{\circ}\text{C}$ ,

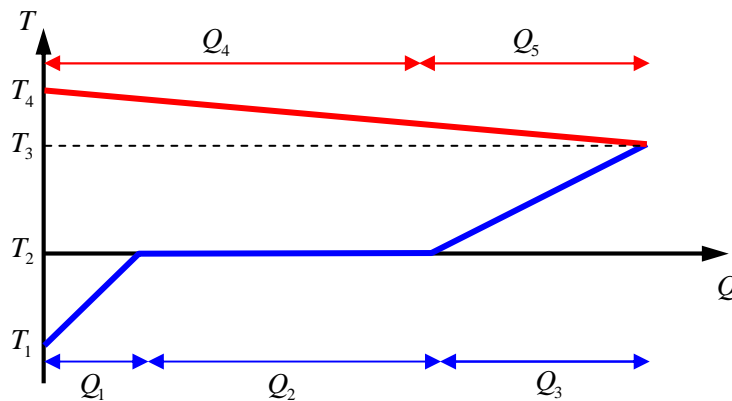
$Q_2 = m_l L$  – ciepło pobrane przez lód o masie  $m_l$  na stopienie się w temperaturze  $T_2 = 0^{\circ}\text{C}$ ,

$Q_3 = m_l c_w (T_3 - T_2)$  – ciepło pobrane przez wodę powstałą z lodu o masie  $m_l$  na ogrzanie się od temperatury topnienia  $T_2 = 0^{\circ}\text{C}$  do temperatury końcowej  $T_3$ ,

$Q_4 = m_w c_w (T_4 - T_3)$  – ciepło oddane przez wodę znajdującą się w kalorymetrze podczas ochładzania się od temperatury początkowej  $T_4$  do temperatury końcowej  $T_3$ ,

$Q_5 = m_k c_k (T_4 - T_3)$  – ciepło oddane przez kalorymetr podczas ochładzania się od temperatury początkowej  $T_4$  do temperatury końcowej  $T_3$ .

W powyższych równaniach  $c_l$ ,  $c_w$  i  $c_k$  oznaczają ciepło właściwe lodu, wody i kalorymetru (aluminium), natomiast  $L$  jest poszukiwanym ciepłem topnienia lodu.



Rys. 11.2. Wykres bilansu cieplnego dla ciepła topnienia

Korzystając z równania bilansu cieplnego (11.1) możemy wyznaczyć ciepło topnienia lodu:

$$\begin{aligned} L = \frac{Q_2}{m_l} &= \frac{Q_4 + Q_5 - Q_1 - Q_3}{m_l} = \\ &= \frac{(m_w c_w + m_k c_k)(T_4 - T_3)}{m_l} - c_l (T_2 - T_1) - c_w (T_3 - T_2). \end{aligned} \quad (11.2)$$



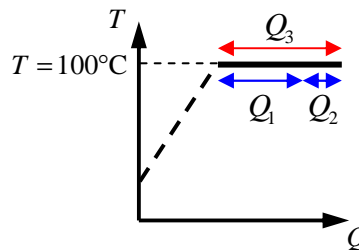
### Wyznaczenie ciepła parowania wody

Do naczynia nalewamy wodę do zaznaczonego poziomu i podgrzewamy ją do temperatury wrzenia za pomocą grzałki nurnikowej. Po wyłączeniu i wyjęciu grzałki ważymy naczynie z wodą. Ponownie umieszczamy grzałkę w wodzie i podłączamy ją do zasilania. Gdy woda zacznie ponownie wrzeć włączamy stoper i dokonujemy pomiaru napięcie  $U$  oraz natężenie  $I$  prądu przepływającego przez grzałkę. Po określonym czasie  $t$  wyłączamy zasilanie i wyjmujemy grzałkę z naczynia. Ponownie ważymy naczynie z gorącą wodą, w celu wyznaczenia masy wody  $m_p$  która w trakcie procesu wrzenia zamieniła się w parę wodną. Należy pamiętać, że nie cała energia cieplna grzałki zużywana jest na wyparowanie wody – część tej energii zostaje oddana otoczeniu przez ścianki naczynia. Równanie bilansu cieplnego dla tego przypadku ma postać:

$$Q_1 + Q_2 = Q_3 \quad (11.3)$$

gdzie:

- $Q_1 = m_p R$  – ciepło pobrane przez wodę o masie  $m_p$  na przejście w stan gazowy ( $R$  jest ciepłem parowania wody),
- $Q_2$  – ciepło pobrane przez otoczenie w wyniku strat cieplnych na ściankach naczynia,
- $Q_3 = UIt$  – ciepło oddane przez grzałkę.



Rys. 11.3. Wykres bilansu cieplnego dla ciepła parowania

Aby wyznaczyć nieznaną wartość ciepła  $Q_2$  wykonujemy ponownie doświadczenie, ogrzewając wodę grzałką o mniejszej mocy przez taki sam czas  $t$ . W obu przypadkach ciepło  $Q_2$  będzie miało taką samą wartość ponieważ czas gotowania się wody i różnica temperatur między naczyniem i otoczeniem są takie same. Ulegnie natomiast zmianie ciepło  $Q_1$  (w obu doświadczeniach wyparuje inna ilość wody) oraz ciepło  $Q_3$  (zmienia się prąd płynący przez grzałkę). Równanie bilansu cieplnego (11.3) dla pierwszego i drugiego pomiaru przyjmie postać:

$$\begin{aligned} m_{p1}R + Q_2 &= UI_1t \\ m_{p2}R + Q_2 &= UI_2t \end{aligned} \quad (11.4)$$

Przekształcając powyższy układ równań otrzymujemy wzór na ciepło parowania wody

$$R = \frac{U(I_1 - I_2)t}{m_{p1} - m_{p2}} \quad (11.5)$$

oraz ciepło oddane przez naczynie do otoczenia



$$Q_2 = \frac{1}{2} [U(I_1 + I_2)t - (m_{p1} + m_{p2})R] \quad (11.6)$$

W ćwiczeniu wyznaczmy dodatkowo wydajność obu grzałek w procesie wrzenia

$$\eta = \frac{m_p R}{UIt} \quad (11.7)$$

### Literatura:

1. *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Cz. 1*, praca zbiorowa pod red. J. Kirkiewicza, WSM, Szczecin, 2001.
2. Szydłowski H., *Pracownia fizyczna*, PWN, Warszawa (dostępne wydania).
3. *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki w politechnice*, praca zbiorowa pod red. T. Rewaja, PWN, Warszawa (dostępne wydania).
4. *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki*, praca zbiorowa pod red. T. Rewaja, Wydawnictwo Politechniki Szczecińskiej, Szczecin (dostępne wydania).
5. Dryński T., *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki*, PWN, Warszawa (dostępne wydania).
6. Resnick R., Halliday D., Walker J., *Podstawy fizyki T.2*, PWN, Warszawa (dostępne wydania).
7. Bobrowski C., *Fizyka: krótki kurs*, WNT, Warszawa (dostępne wydania).
8. Orear J., *Fizyka T.1*, WNT, Warszawa (dostępne wydania).





## 12. Wyznaczanie stosunku $c_p/c_v$

### Cel:

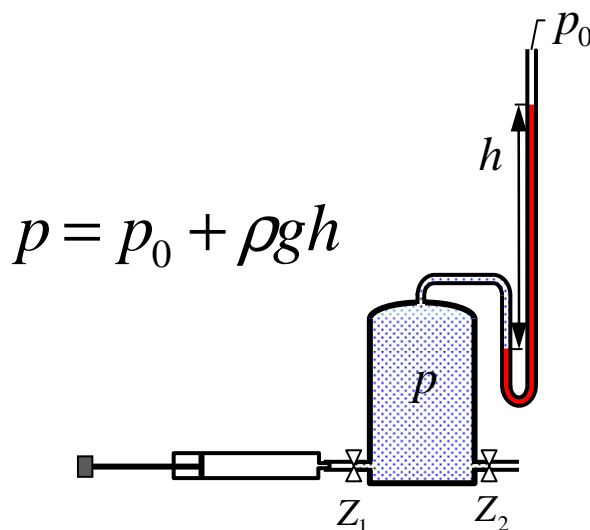
- Poznanie podstawowych przemian gazowych.
- Zapoznanie się z pomiarem ciśnienia za pomocą manometru otwartego.
- Wyznaczenie wykładnika adiabaty.

### Pytania i zagadnienia kontrolne:

- Gaz doskonały i równanie Clapeyrona.
- Cztery podstawowe przemiany gazowe.
- Ciepło właściwe gazów doskonałych.
- Co to jest stosunek  $c_p/c_v$  i od czego zależy jego wartość?
- Pomiar ciśnienia przy pomocy manometru otwartego i zamkniętego.
- Wyjaśnić dlaczego podczas wykonywania ćwiczenia, przy zamkniętym zaworze następują zmiany ciśnienia?

### Opis ćwiczenia:

W celu wyznaczenia stosunku  $c_p/c_v$  wykorzystujemy zbiornik o znacznej pojemności, manometr cieczowy otwarty, pompkę i zawory  $Z_1$ ,  $Z_2$ .

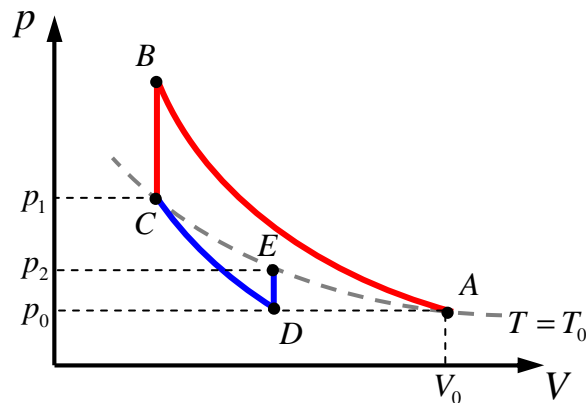


Rys. 12.1 Schemat układu do wyznaczenia stosunku  $c_p/c_v$

W chwili początkowej (stan A) badany gaz (powietrze) zajmuje całą objętość zbiornika  $V_0$ , a jego temperatura  $T_0$  i ciśnienie  $p_0$  jest takie same jak temperatura i ciśnienie otoczenia. Otwieramy zawór  $Z_1$  i za pomocą pompki wytwarzamy w zbiorniku nadwyżkę ciśnienia (różnica poziomów słupów cieczy w obu ramionach manometru powinna wynosić około  $h = 0,8$  m). Zamykamy zawór  $Z_1$  (stan B) i odczekujemy około 3 minuty. W tym czasie nagrzane w procesie adiabatycznego sprężania powietrze ochładza się izochorycznie do temperatury otoczenia (stan C), co powoduje spadek ciśnienia



w zbiorniku i w konsekwencji zmniejszenie się różnicy poziomów słupów cieczy w obu ramionach manometru. Odczytujemy różnicę  $h_1$  poziomów słupów cieczy i wyznaczamy aktualne ciśnienie powietrza w zbiorniku  $p_1 = p_0 + \rho gh_1$ .



Rys. 12.2 Wykres przemian termodynamicznych zachodzących podczas wykonywania ćwiczenia

Następnie otwieramy zawór  $Z_2$ , pozwalając na gwałtowne, adiabatyczne rozprężenie gazu w zbiorniku (stan  $D$ ). Gdy tylko ciśnienie w zbiorniku wyrówna się z ciśnieniem atmosferycznym, zamykamy zawór  $Z_2$ . Czekamy 3 minuty, aby oziębiony w trakcie adiabatycznego rozprężania gaz osiągnął ponownie temperaturę otoczenia (stan  $E$ ). W tym czasie rośnie ciśnienie gazu w zbiorniku i w konsekwencji zwiększa się różnica poziomów słupów cieczy w obu ramionach manometru do wartości  $h_2$ . Wyznaczamy ciśnienie powietrza w zbiorniku  $p_2 = p_0 + \rho gh_2$ .

Punkty  $C$  i  $E$  leżą na jednej izoterme

$$pV = \text{const} \quad (12.1)$$

ponieważ odpowiadają stanom o jednakowej temperaturze  $T_0$ . Różniczkując to równanie otrzymamy

$$pdV + Vdp = 0 \quad (12.2)$$

lub po przekształceniu

$$\frac{p}{V} = -\frac{dp}{dV} \quad (12.3)$$

Wykonując podobne obliczenia dla przemiany adiabatycznej

$$pV^\kappa = \text{const} \quad (12.4)$$

jaka zachodzi między stanami  $C$  i  $D$ , znajdziemy:



$$\frac{p}{V} = -\frac{1}{\kappa} \frac{dp}{dV} \quad (12.5)$$

Porównując równania (12.3) i (12.5) oraz przechodząc do przyrostów skończonych, odpowiadającym wynikiem doświadczenia, uzyskamy zależność:

$$\frac{\Delta p_{izot}}{\Delta V} = \frac{1}{\kappa} \frac{\Delta p_{ad}}{\Delta V}, \quad (12.6)$$

**gdzie:**  $\Delta p_{ad} = p_1 - p_0$ ,  $\Delta p_{izot} = p_1 - p_2$ .

Po przekształceniu równania (12.6) znajdujemy poszukiwaną wartość współczynnika  $\kappa$ :

$$\kappa = \frac{c_p}{c_v} = \frac{\Delta p_{ad}}{\Delta p_{izot}} = \frac{p_1 - p_0}{p_1 - p_2} \quad (12.7)$$

#### Literatura:

1. Daca T., Łukasiewicz M., Włodarski Z., Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Skrypt dla studentów I i II roku studiów stacjonarnych i zaocznych, WSM, Szczecin (dostępne wydania).
2. Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Cz. 1, praca zbiorowa pod red. J. Kirkiewicza, WSM, Szczecin, 2001.
3. Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki w politechnice, praca zbiorowa pod red. T. Rewaja, PWN, Warszawa (dostępne wydania).
4. Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki, praca zbiorowa pod red. T. Rewaja, Wydawnictwo Politechniki Szczecińskiej, Szczecin (dostępne wydania).
5. Resnick R., Halliday D., Walker J., Podstawy fizyki T.2, PWN, Warszawa (dostępne wydania).
6. Bobrowski C., Fizyka: krótki kurs, WNT, Warszawa (dostępne wydania).
7. Orear J., Fizyka T.1, WNT, Warszawa (dostępne wydania).



### 13. Wyznaczanie współczynnika rozszerzalności liniowej ciał stałych metodą elektryczną

#### Cel:

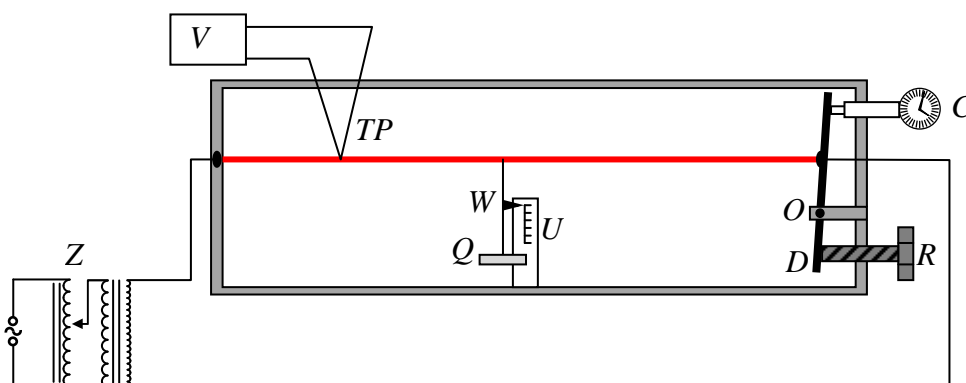
- Poznanie zjawiska rozszerzalności cieplnej ciał stałych.
- Wyznaczenie współczynnika rozszerzalności liniowej stali.

#### Pytania i zagadnienia kontrolne:

- Przedstawić graficznie i omówić oddziaływania międzyatomowe w ciele stałym.
- Rozszerzalność termiczna ciał stałych w ujęciu mikroskopowym i makroskopowym.
- Definicja współczynnika rozszerzalności liniowej.
- Ciepło Joule'a-Lenza.
- Termopara – budowa i zasada pomiaru temperatury.

#### Opis ćwiczenia:

Istota pomiaru współczynnika rozszerzalności liniowej  $\alpha$  sprowadza się do ogrzewania drutu o długości początkowej  $L_0$  i pomiaru jego wydłużenia. W ćwiczeniu przyrost temperatury uzyskujemy podłączając drut do układu zasilania  $Z$ . Podczas przepływu prądu przez drut zostaje wydzielone ciepło wywołujące wzrost jego temperatury. Do pomiaru przyrostu temperatury służy termopara  $TP$  przymocowana do badanego drutu. Powstające na termoparze napięcie mierzone jest za pomocą miliwoltomierza  $V$  i przeliczane na temperaturę w oparciu o charakterystykę termopary. Aby zapewnić stabilizację temperaturową i bezpieczeństwo pomiaru, drut umieszczony jest w gablocie przykrytej szybą wykonaną z pleksi.



Rys. 13.1. Schemat układu do wyznaczania współczynnika rozszerzalności liniowej

Wraz z przyrostem temperatury drutu o  $\Delta T$  następuje przyrost jego długości o

$$\Delta L = \alpha L_0 \Delta T, \quad (13.1)$$

powodując jego ugięcie. Wielkość ugięcia możemy obserwować na skali  $U$  za pomocą wskaźnika  $W$  obciążonego ciężarkiem  $Q$ . Pomiar wydłużenia drutu rozpoczynamy od wkręcenia śruby  $R$  aż do momentu, gdy wskazówka  $W$  wróci do pierwotnego położenia. Towarzyszy temu obrót dźwigni  $D$  wokół osi  $O$  i przesunięcie trzpienia czujnika mikrometrycznego  $C$ . Odczytana na czujniku wartość przesunięcia  $S$  jest dwukrotnie większa od wartości wydłużenia drutu  $\Delta L$ , gdyż punkt zamocowania drutu do dźwigni znajduje się w połowie odległości między czujnikiem a osią  $O$ :



$$\Delta L = \frac{S}{2} \quad (13.2)$$

**Pomiaru wydłużenia drutu dokonujemy dla kilku przyrostów temperatur. Przed wyłączeniem zasilacza po ostatnim pomiarze należy obrócić śrubę  $R$  do pierwotnego położenia, tak by czujnik mikrometryczny wskazywał zero. Niewykonanie tej czynności może spowodować zerwanie drutu. Sporządzamy wykres zależności względnego wydłużenia drutu  $\Delta L / L_0$  od przyrostu temperatury  $\Delta T$  i metodą regresji liniowej wyznaczamy współczynnik rozszerzalności liniowej  $\alpha$ .**

#### **Literatura:**

1. Daca T., Łukasiewicz M., Włodarski Z., Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Skrypt dla studentów I i II roku studiów stacjonarnych i zaocznych, WSM, Szczecin (dostępne wydania).
2. Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Cz. 1, praca zbiorowa pod red. J. Kirkwicza, WSM, Szczecin, 2001.
3. Szydłowski H., Pracownia fizyczna, PWN, Warszawa (dostępne wydania).
4. Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki w politechnice, praca zbiorowa pod red. T. Rewaja, PWN, Warszawa (dostępne wydania).
5. Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki, praca zbiorowa pod red. T. Rewaja, Wydawnictwo Politechniki Szczecińskiej, Szczecin (dostępne wydania).
6. Dryński T., Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki, PWN, Warszawa (dostępne wydania).
7. Resnick R., Halliday D., Walker J., Podstawy fizyki T.2, PWN, Warszawa (dostępne wydania).
8. Bobrowski C., Fizyka: krótki kurs, WNT, Warszawa (dostępne wydania).
9. Orear J., Fizyka T.1, WNT, Warszawa (dostępne wydania).



## 14. Wyznaczanie siły elektromotorycznej ogniwa

### Cel:

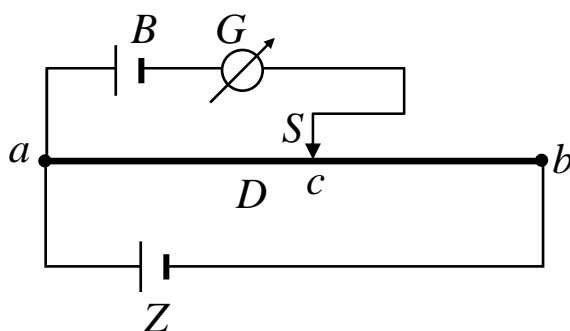
- Poznanie budowy i zasady działania ogniwa galwanicznych.
- Wyznaczenie siły elektromotorycznej ogniwa.

### Pytania i zagadnienia kontrolne:

- Budowa i cechy charakterystyczne ogniwa galwanicznego na przykładzie ogniwa Volty i akumulatora NiMH.
- Siły elektromotoryczna i opór wewnętrzny ogniwa.
- Szeregowe i równoległe łączenie źródeł SEM. Jakie korzyści daje każde z tych połączeń?
- Schemat obwodu do pomiaru SEM. Na czym polega metoda kompensacyjna?
- Przedstawić na wykresie zmiany potencjału wzdłuż oczek obwodu elektrycznego wykorzystanego w ćwiczeniu.

### Opis ćwiczenia:

Pomiaru siły elektromotorycznej  $\mathcal{E}$  ogniwa należy dokonać go w taki sposób, aby nie nastąpił spadek napięcia na jego oporze wewnętrznym  $R_w$ , a więc bez poboru prądu z ogniwa. Ponieważ przyrządy do pomiaru napięcia (woltomierze) w praktyce, pomimo bardzo dużego oporu wewnętrznego, zawsze pobierają pewien prąd, w wyniku pomiaru uzyskujemy wartość napięcia  $U$  na zaciskach ogniwa, a nie siły elektromotorycznej  $\mathcal{E}$  ogniwa. Aby tego uniknąć, można zastosować metodę kompensacyjną pomiaru, wykorzystując przedstawiony układ pomiarowy.



Rys. 14.1. Schemat obwodu do wyznaczania siły elektromotorycznej ogniwa

Drut oporowy  $D$  podłączony jest do źródła prądowego  $Z$ , w wyniku czego płynie przez niego prąd elektryczny. Badane ogniwo  $B$  podłączone jest jednym biegunem do punktu  $a$  drutu oporowego, a drugim, poprzez galwanometr  $G$ , do styku  $S$ . Położenie tego styku może się zmieniać od punktu  $a$  do punktu  $b$ . Za pomocą galwanometru można stwierdzić, że dla pewnego położenia  $c$  styku  $S$ , przez oczko obwodu z badanym ogniwem nie płynie prąd. Ma to miejsce wówczas, gdy spadek potencjału na odcinku  $ac$  drutu oporowego jest równy sile elektromotorycznej ogniwa (napięcia  $U_{ac}$  i  $\mathcal{E}$  wzajemnie się kompensują). Ponieważ przez drut oporowy płynie wówczas prąd  $I$ , to zgodnie z prawem Ohma zachodzić będzie związek



$$\varepsilon = U_{ac} = IR_{ac} = I \frac{\rho x}{A}, \quad (14.1)$$

gdzie:

- $\rho$  – opór właściwy drutu,
- $x$  – odległość między punktami  $a$  i  $c$ ,
- $A$  – przekrój drutu.

W miejsce badanego ogniwa wstawimy ogniwo wzorcowe o znanej sile elektromotorycznej  $\varepsilon_0$ . Aby ponownie doprowadzić do kompensacji napięć, należy przesunąć położenie styku  $S$  do położenia  $c_0$ . W położeniu tym

$$\varepsilon_0 = U_{ac_0} = IR_{ac_0} = I \frac{\rho x_0}{S}. \quad (14.2)$$

Dzieląc stronami równania (14.1) i (14.2), otrzymamy wzór na poszukiwaną wartość siły elektromotorycznej badanego ogniwa:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \frac{x}{x_0}. \quad (14.3)$$

W ćwiczeniu dokonujemy pomiaru siły elektromotorycznej dla dwóch ogniw oraz dla baterii zbudowanej z tych ogniw, połączonych szeregowo oraz równolegle.

#### Literatura:

1. *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Cz. 1*, praca zbiorowa pod red. J. Kirkiewicza, WSM, Szczecin, 2001.
2. Szydłowski H., *Pracownia fizyczna*, PWN, Warszawa (dostępne wydania).
3. *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki w politechnice*, praca zbiorowa pod red. T. Rewaja, PWN, Warszawa (dostępne wydania).
4. *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki*, praca zbiorowa pod red. T. Rewaja, Wydawnictwo Politechniki Szczecińskiej, Szczecin (dostępne wydania).
5. Dryński T., *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki*, PWN, Warszawa (dostępne wydania).
6. Resnick R., Halliday D., Walker J., *Podstawy fizyki T.3*, PWN, Warszawa (dostępne wydania).
7. Bobrowski C., *Fizyka: krótki kurs*, WNT, Warszawa (dostępne wydania).
8. Orear J., *Fizyka T.1*, WNT, Warszawa (dostępne wydania).



## 15. Sprawdzanie prawa Ohma dla obwodów prądu stałego

### Cel:

- Zapoznanie się z obwodami elektrycznymi prądu stałego.
- Sprawdzenie liniowej zależności wartości prądu płynącego przez opornik od przyłożonego napięcia.
- Wyznaczenie wartości oporu nieznanymi oporników i ich połączeń: szeregowego i równoległego.

### Pytania i zagadnienia kontrolne:

- Co to jest prąd elektryczny? Na czym polega jego przepływ w metalach, półprzewodnikach, cieczech i gazach?
- Prawo Ohma. Na czym polega jego sprawdzenie w ćwiczeniu?
- Opór i oporność. Od czego zależy wartość oporu przewodnika?
- Opór zastępczy w połączeniu szeregowym i równoległym oporników.

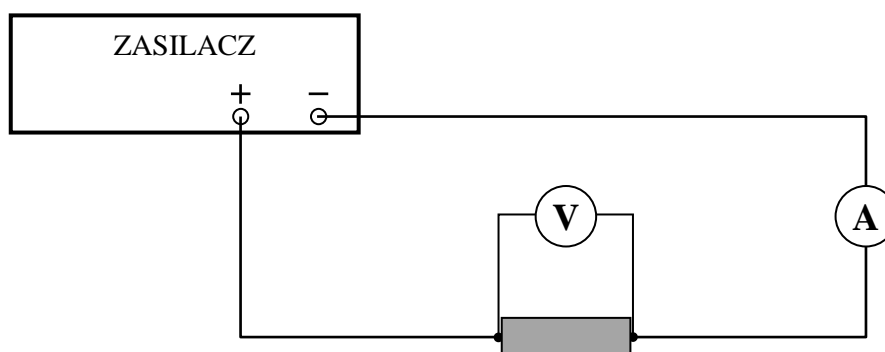
### Opis ćwiczenia:

Sprawdzenie prawa Ohma polega na wykazaniu, że prąd płynący przez opornik lub układ oporników jest wprost proporcjonalny do wartości przyłożonego napięcia

$$I = \frac{1}{R} U, \quad (15.1)$$

gdzie stałą proporcjonalności jest odwrotność oporu elektrycznego  $R$  układu.

Łączymy zgodnie ze schematem obwód elektryczny składający się z zasilacza prądu stałego, badanego opornika, amperomierza i woltomierza.



Rys. 15.1 Schemat obwodu do badania prawa Ohma

Zmieniając napięcie zasilania dokonujemy pomiaru zależności prądu  $I$  płynącego przez opornik od wartości przyłożonego do niego napięcia  $U$ . Następnie zestawiamy kolejne obwody, w których zamiast opornika  $R_1$  umieszczamy opornik  $R_2$ , oporniki  $R_1$  i  $R_2$  połączone szeregowo oraz oporniki  $R_1$  i  $R_2$  połączone równolegle. Każdorazowo dokonujemy pomiaru zależności wartości płynącego prądu od przyłożonego napięcia.





Na jednym wykresie przedstawiamy zależność  $I(U)$  dla wszystkich badanych układów. Metodą regresji liniowej znajdujemy wartość oporu poszczególnych oporników  $R_1$  i  $R_2$  oraz ich połączenia szeregowego  $R_S$  i równoległego  $R_R$ . Ze wzorów:

$$R'_S = R_1 + R_2, \quad (15.2)$$

$$R'_R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \quad (15.3)$$

obliczamy opór zastępczy układu szeregowego  $R'_S$  i równoległego  $R'_R$  oporników. Opory  $R'_S$  i  $R'_R$  porównujemy z otrzymanymi wcześniej wartościami  $R_S$  i  $R_R$ . Zapisujemy wnioski.

#### Literatura:

1. Dryński T., *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki*, PWN, Warszawa (dostępne wydania).
2. Resnick R., Halliday D., Walker J., *Podstawy fizyki T.3*, PWN, Warszawa (dostępne wydania).
3. Bobrowski C., *Fizyka: krótki kurs*, WNT, Warszawa (dostępne wydania).
4. Orear J., *Fizyka T.1*, WNT, Warszawa (dostępne wydania).



## 16. Badanie praw przepływu prądu

### Cel:

- Zapoznanie się z obwodami elektrycznymi prądu stałego.
- Wyznaczenie wartości oporu nieznanego opornika i ich połączeń za pomocą mostka Wheatstone'a.
- Analiza obwodów elektrycznych prądu stałego z uwzględnieniem praw Kirchhoffa i prawa Ohma.

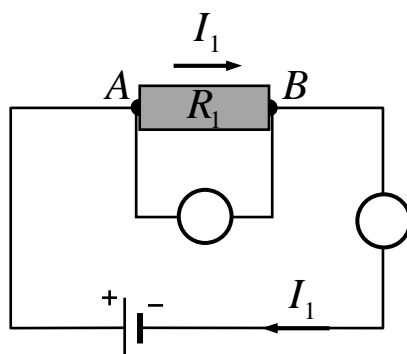
### Pytania i zagadnienia kontrolne:

- Od czego zależy opór elektryczny opornika?
- Sformułować słownie i w postaci wzorów podstawowe prawa przepływu prądu stałego: prawo Ohma oraz I i II prawo Kirchhoffa.
- Przedstawić schemat mostka Wheatstone'a. Co oznacza warunek równowagi mostka? Wyprowadzić zależność umożliwiającą wyznaczenia nieznanego oporu opornika.
- Cechy szeregowego i równoległego łączenia oporników.

### Opis ćwiczenia:

Pierwszą część ćwiczenia polega na wyznaczeniu oporu badanych oporników metodą mostkową. Przed przystąpieniem do pomiarów należy dokładnie zapoznać się z instrukcją posługiwania się używanym w ćwiczeniu mostkiem Wheatstone'a. Wyznaczamy opór każdego opornika  $R_1$  i  $R_2$  z osobna oraz opory układów tych oporników w połączeniu szeregowym oraz równoległym.

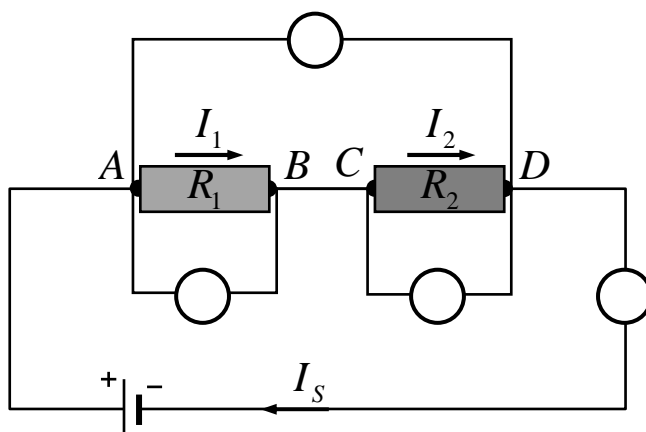
Drużną część ćwiczenia polega na zbadaniu relacji prądowo-napięciowych w obwodach elektrycznych. Zestawiamy obwód elektryczny składający się ze źródła napięcia, opornika  $R_1$ , amperomierza i woltomierza (rys. 16.1). Przerysowujemy schemat obwodu elektrycznego i w puste kółka reprezentujące woltomierz lub amperomierz wpisujemy zmierzone wartości prądu i napięcia.



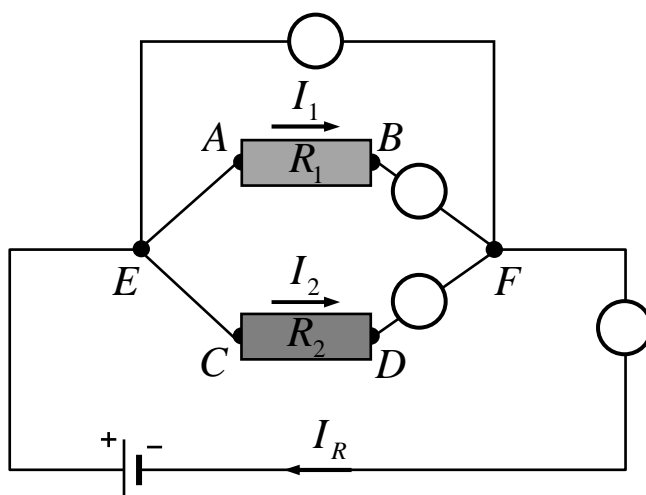
Rys. 16.1. Schemat obwodu do badania opornika  $R_1$  oraz  $R_2$

Powtarzamy wykonany pomiar, wstawiając w miejsce opornika  $R_1$  opornik  $R_2$ .

Zestawiamy dwa kolejne obwody w których opory  $R_1$  i  $R_2$  połączone są szeregowo (rys.16.2) i równoległe (rys. 16.3).



Rys. 16.2. Schemat obwodu do badania oporników  $R_1$  i  $R_2$  połączonych szeregowo



Rys. 16.3. Schemat obwodu do badania oporników  $R_1$  i  $R_2$  połączonych równolegle

Każdorazowo przerysowujemy schemat obwodu elektrycznego i w puste kółka reprezentujące woltomierz lub amperomierz wpisujemy zmierzone wartości prądu lub napięcia. Obliczamy niezmierzone bezpośrednio spadki potencjału elektrycznego między poszczególnymi punktami obwodów oraz natężenia przepływających prądów.

Na podstawie wykonanych pomiarów pokazujemy na dowolnym przykładzie, że spełnione jest prawo Ohma oraz I i II prawo Kirchhoffa. Sprawdzamy również charakterystyczne cechy układu elektrycznego składającego się z oporów połączonych szeregowo oraz równolegle.

#### Literatura:

1. *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Cz. 1*, praca zbiorowa pod red. J. Kirkiewicza, WSM, Szczecin, 2001.
2. Dryński T., *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki*, PWN, Warszawa (dostępne wydania).
3. Resnick R., Halliday D., Walker J., *Podstawy fizyki T.3*, PWN, Warszawa (dostępne wydania).
4. Bobrowski C., *Fizyka: krótki kurs*, WNT, Warszawa (dostępne wydania).
5. Orear J., *Fizyka T.1*, WNT, Warszawa (dostępne wydania).



## 17. Sprawdzanie prawa Ohma dla obwodów prądu zmiennego

### Cel:

- Zapoznanie się z obwodami elektrycznymi prądu zmiennego.
- Sprawdzenie liniowej zależności wartości prądu płynącego w układzie RLC od przyłożonego napięcia.
- Wyznaczenie wartości zawady i przesunięcia fazowego.

### Pytania i zagadnienia kontrolne:

- Co to jest prąd elektryczny zmienny? Jakie wielkości go charakteryzują?
- Scharakteryzować wielkości: opór, indukcyjność i pojemność.
- Prawo Ohma dla obwodów prądu zmiennego. Na czym polega jego sprawdzenie w ćwiczeniu?
- Co to jest przesunięcia fazowe w obwodzie szeregowym RLC prądu zmiennego? Od czego zależy jego wartość?

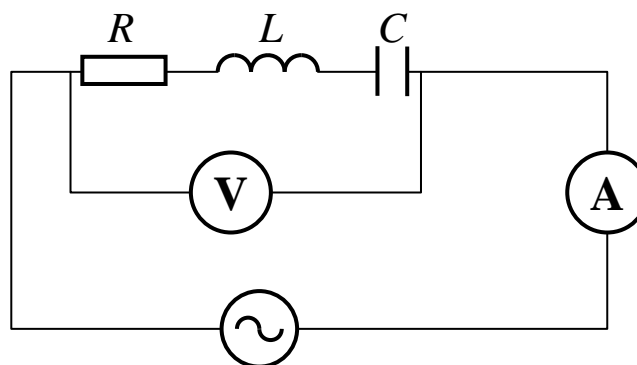
### Opis ćwiczenia:

Sprawdzenie prawa Ohma polega na wykazaniu, że prąd płynący w układzie elektrycznym jest wprost proporcjonalny do wartości przyłożonego napięcia:

$$I = \frac{1}{Z} U, \quad (17.1)$$

gdzie stałą proporcjonalności jest odwrotność zawady  $Z$  obwodu.

Łączymy zgodnie ze schematem szeregowy obwód elektryczny RLC, składający się z zasilacza prądu zmiennego, opornika o oporze omowym  $R$ , cewki o indukcyjności  $L$ , kondensatora o pojemności  $C$ , amperomierza i woltomierza.



Rys. 17.1. Schemat obwodu szeregowego RLC prądu zmiennego

Zmieniając napięcie zasilania dokonujemy pomiaru zależności prądu  $I$  płynącego przez układ szeregowy RLC od wartości przyłożonego do niego napięcia  $U$ . Pomiar powtarzamy dla kilku innych wartości  $R$ ,  $L$  i  $C$  oraz różnych częstotliwości prądu  $f$ . Każdorazowo obliczamy zawadę



$$Z = \sqrt{R^2 + \left(2\pi fL - \frac{1}{2\pi fC}\right)^2} \quad (17.2)$$

oraz przesunięcie fazowe  $\varphi$  układu z wyrażenia:

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{2\pi fL - \frac{1}{2\pi fC}}{R} \quad (17.3)$$

Na jednym wykresie przedstawiamy zależność  $I(U)$  dla wszystkich badanych układów. Metodą regresji liniowej znajdujemy wartości zawady  $Z'$  i porównujemy ją z obliczoną wcześniej wartością  $Z$ .

#### **Literatura:**

1. Szydłowski H., *Pracownia fizyczna*, PWN, Warszawa (dostępne wydania).
2. Resnick R., Halliday D., Walker J., *Podstawy fizyki T.3*, PWN, Warszawa (dostępne wydania).
3. Bobrowski C., *Fizyka: krótki kurs*, WNT, Warszawa (dostępne wydania).
4. Orear J., *Fizyka T.1*, WNT, Warszawa (dostępne wydania).



## 18. Pomiary oscyloskopowe

### Cel:

- Zapoznanie się z budową i zasadą działania oscyloskopu.
- Wyznaczenie parametrów napięcia przemiennego.

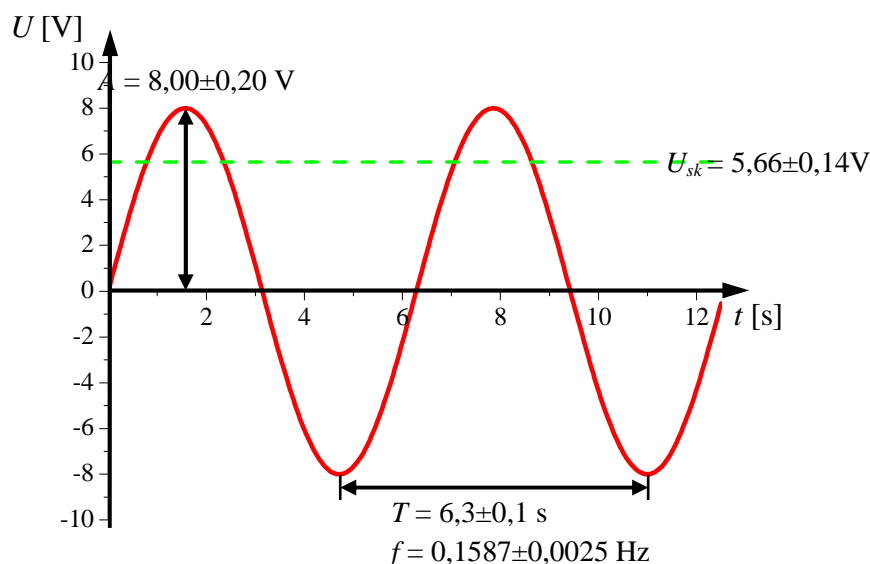
### Pytania i zagadnienia kontrolne:

- Budowa i zasada działania oscyloskopu katodowego.
- Co to jest podstawa czasu i wzmocnienie oscyloskopu?
- Opisać zasadę pomiaru amplitudy i okresu napięcia zmiennego za pomocą oscyloskopu.
- Podstawowe cechy napięcia przemiennego: częstotliwość, napięcie maksymalne i napięcie skuteczne.

### Opis ćwiczenia:

Wykonanie ćwiczenia rozpoczynamy od zapoznania się elementami regulacyjnymi stosowanego w ćwiczeniu oscyloskopu. Szczególną uwagę zwracamy na położenie przełączników regulacji czułości wejściowej i okresu podstawy czasu oraz pokręteł regulacji położenia obserwowanych przebiegów.

Podłączamy do oscyloskopu badany sygnał sinusoidalny i wyznaczamy jego podstawowe parametry: amplitudę, napięcie skuteczne, okres, częstotliwość oraz ich niepewności pomiarowe.



Rys. 18.1. Zmiany wartości napięcia sinusoidalnie zmiennego

Czynności te powtarzamy dla różnych wartości czułości wejściowych i różnych podstaw czasu. Następnie dokonujemy pomiarów dla sygnału o innej częstotliwości oraz innym kształcie (trójkątny, prostokątny).



---

### Literatura:

1. *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki w politechnice*, praca zbiorowa pod red. T. Rewaja, PWN, Warszawa (dostępne wydania).
2. *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki*, praca zbiorowa pod red. T. Rewaja, Wydawnictwo Politechniki Szczecińskiej, Szczecin (dostępne wydania).
3. *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki : praca zbior. Cz. 1*, praca zbiorowa pod red. B. Oleś , Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2001.
4. Resnick R., Halliday D., Walker J., *Podstawy fizyki T.3*, PWN, Warszawa (dostępne wydania).
5. Bobrowski C., *Fizyka: krótki kurs*, WNT, Warszawa (dostępne wydania).
6. Orear J., *Fizyka T.1*, WNT, Warszawa (dostępne wydania).



## 19. Wyznaczanie charakterystyki termopary

### Cel:

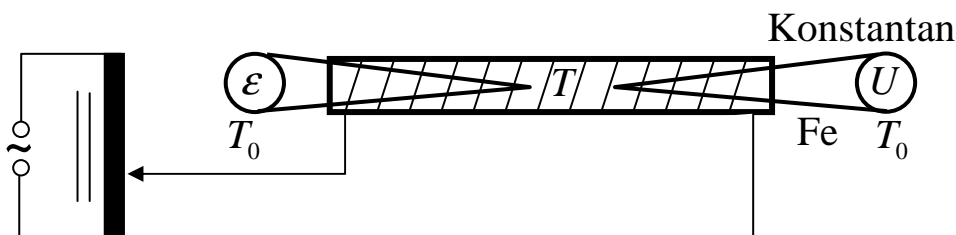
- Poznanie mechanizmu zjawisk termoelektrycznych (Seebecka i Peltiera).
- Poznanie zasady pomiaru temperatury przy pomocy termopary.
- Wyznaczenie współczynnika termoelektrycznego termopary.

### Pytania i zagadnienia kontrolne:

- Wyjaśnić powstawanie kontaktowej różnicy potencjałów na styku dwóch metali na podstawie elektronowej budowie metali.
- Przedstawić mechanizm powstawania siły termoelektrycznej.
- Zjawisko Seebecka i Peltiera.
- Budowa i charakterystyka termopary.
- Zależność siły termoelektrycznej od temperatury dla różnych termopar.

### Opis ćwiczenia:

Celem ćwiczenia jest wyznaczenie charakterystyki nieznannej termopary, tj. określenie zależności siły elektromotorycznej  $\mathcal{E}$  od różnicy temperatur  $\Theta = T - T_0$  między dwoma końcami termopary, z których jeden jest podgrzewany do temperatury  $T$ , a drugi przez cały czas znajduje się w temperaturze otoczenia  $T_0$ . Do odczytu siły elektromotorycznej  $\mathcal{E}$  używamy czułego miliwoltomierza cyfrowego, natomiast różnicę temperatur  $\Theta$  obliczamy na podstawie wskazań drugiego miliwoltomierza, podłączonego do termopary Fe – konstantan o znanej charakterystyce. Końce obydwu termopar umieszczone są w długiej, ceramicznej rurce, na którą nawinięta jest spirala grzejna podłączona poprzez auto-transformator do źródła prądu zmiennego.



Rys. 19.1 Schemat układu pomiarowego do wyznaczania charakterystyki termopary

Zwiększając stopniowo natężenie prądu płynącego przez spiralę, odczytujemy wskazania  $\mathcal{E}$  miliwoltomierza, odpowiadające rosnącym wskazaniom  $U$  miliwoltomierza podłączonego do termopary Fe – konstantan. Po osiągnięciu maksymalnego napięcia  $U$ , podanego w instrukcji wykonania ćwiczenia, wyłączamy grzanie i podczas stygnięcia układu odczytujemy wskazania  $\mathcal{E}$  miliwoltomierza, odpowiadające malejącym wskazaniom  $U$  drugiego miliwoltomierza.

Obliczymy wartość średnią  $\bar{\mathcal{E}}$  wskazań miliwoltomierza odpowiadających tym samym wartościom  $\Theta$  podczas ogrzewania i schładzania układu. Sporządzamy wykres zależności  $\bar{\mathcal{E}}(\Theta)$  i wyznaczamy współczynnik termoelektryczny nieznannej termopary.





---

### Literatura:

1. Daca T., Łukasiewicz M., Włodarski Z., Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Skrypt dla studentów I i II roku studiów stacjonarnych i zaocznych, WSM, Szczecin (dostępne wydania).
2. Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Cz. 1, praca zbiorowa pod red. J. Kirkiewicza, WSM, Szczecin, 2001.
3. Szydłowski H., Pracownia fizyczna, PWN, Warszawa (dostępne wydania).
4. Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki w politechnice, praca zbiorowa pod red. T. Rewaja, PWN, Warszawa (dostępne wydania).
5. Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki, praca zbiorowa pod red. T. Rewaja, Wydawnictwo Politechniki Szczecińskiej, Szczecin (dostępne wydania).
6. Dryński T., Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki, PWN, Warszawa (dostępne wydania).
7. Resnick R., Halliday D., Walker J., Podstawy fizyki T.3, PWN, Warszawa (dostępne wydania).
8. Bobrowski C., Fizyka: krótki kurs, WNT, Warszawa (dostępne wydania).
9. Orear J., Fizyka T.1, WNT, Warszawa (dostępne wydania).



## 20. Badanie zależności oporu metalu i półprzewodnika od temperatury

### Cel:

- Poznanie mechanizmów przepływu prądu elektrycznego oraz powstawania oporu elektrycznego.
- Zapoznanie się ze zjawiskiem zależności wartości oporu elektrycznego od temperatury.
- Wyznaczenie temperaturowego współczynnika oporu miedzi.
- Wyznaczenie wartości przerwy energetycznej dla półprzewodnika.

### Pytania i zagadnienia kontrolne:

- Opór, oporność i przewodność – relacje między tymi wielkościami.
- Na czym polega przepływ prądu elektrycznego w metalach i półprzewodnikach?
- Opisać model pasmowy przewodnika, półprzewodnika i dielektryka.
- Co jest mikroskopowym powodem występowania oporu elektrycznego?
- Dlaczego temperatura ma wpływ na wartość oporu elektrycznego? Jak zmienia się on dla metali, a jak dla półprzewodników (wzór i wykres)?

### Opis ćwiczenia:

W ćwiczenia badamy zależności oporu od temperatury dla półprzewodnika (termistora) i przewodnika miedzianego. Badane materiały umieszczone są wewnątrz urządzenia służącego do stabilizacji temperatury. W trakcie pomiarów powoli zwiększamy prąd płynący przez element grzejny i za pomocą multimetrów odczytujemy co  $5^{\circ}\text{C}$  opory metalu i termistora w zakresie temperatur  $25 - 65^{\circ}\text{C}$ .

Sporządzamy wykres zależności oporu drutu miedzianego  $R_{Cu}$  od różnicy temperatur  $T - T_0$ , gdzie  $T_0$  jest temperaturą pierwszego pomiaru. Korzystając z zależności

$$R_{Cu} = R_0 \alpha (T - T_0) + R_0 \quad (20.1)$$

wyznaczamy za pomocą regresji liniowej współczynnik temperaturowy oporu dla drutu miedzianego  $\alpha$  i porównujemy go z wartością tablicową. Dla półprzewodnika wykreślamy zależność logarytmu naturalnego oporu od odwrotności temperatury bezwzględnej. Korzystając z zależności

$$\ln(R) = \frac{E_g}{2k} \cdot \frac{1}{T} + \ln(A) \quad (20.2)$$

wyznaczamy za pomocą regresji liniowej szerokość przerwy energetycznej  $E_g$ .

### Literatura:

1. Daca T., Łukasiewicz M., Włodarski Z., Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Skrypt dla studentów I i II roku studiów stacjonarnych i zaocznych, WSM, Szczecin (dostępne wydania).
2. Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Cz. 1, praca zbiorowa pod red. J. Kirkiewicza, WSM, Szczecin, 2001.
3. Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Cz. 2, praca zbiorowa pod red. J. Kirkiewicza, WSM, Szczecin, 2003.
4. Szydłowski H., Pracownia fizyczna, PWN, Warszawa (dostępne wydania).
5. Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki w politechnice, praca zbiorowa pod red. T. Rewaja, PWN, Warszawa (dostępne wydania).
6. Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki, praca zbiorowa pod red. T. Rewaja, Wydawnictwo Politechniki Szczecińskiej, Szczecin (dostępne wydania).



7. Dryński T., Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki, PWN, Warszawa (dostępne wydania).
8. Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki : praca zbior. Cz. 1, praca zbiorowa pod red. B. Oleś, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2001.
9. Resnick R., Halliday D., Walker J., Podstawy fizyki T.3, PWN, Warszawa (dostępne wydania).
10. Bobrowski C., Fizyka: krótki kurs, WNT, Warszawa (dostępne wydania).
11. Orear J., Fizyka T.1, WNT, Warszawa (dostępne wydania).



## 21. Wyznaczanie przekładni transformatora

### Cel:

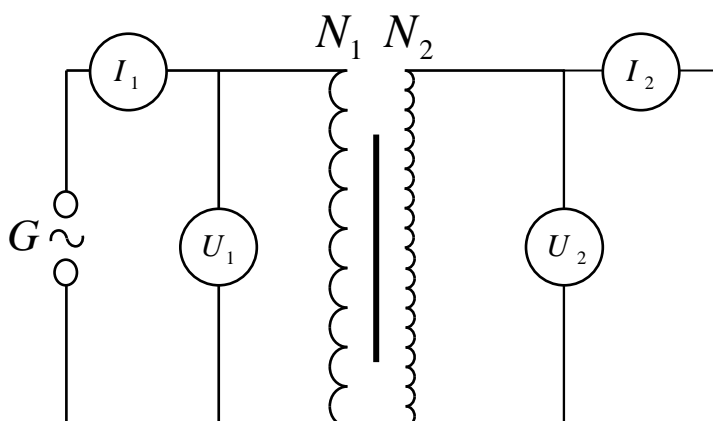
- Poznanie zjawiska indukcji elektromagnetycznej.
- Zapoznanie się z budową i zasadą działania transformatora.
- Wyznaczenie przekładni transformatora.

### Pytania i zagadnienia kontrolne:

- Zjawisko indukcji elektromagnetycznej i prawo Faraday'a.
- Budowa transformatora.
- Powstawanie napięcia w obwodzie wtórnym transformatora.
- Działanie transformatora: bieg jałowy i bieg roboczy, wydajność, przekładnia, straty mocy.

### Opis ćwiczenia:

Łączymy według schematu układ składający się z generatora  $G$ , cewki o  $N_1$  zwojach stanowiącej uzwojenie pierwotne, cewki o  $N_2$  zwojach stanowiącej uzwojenie wtórne, rdzenia stalowego, dwóch woltomierzy i dwóch amperomierzy.



Rys. 21.1 Schemat obwodu do wyznaczania przekładni transformatora

Mierzymy zależność natężeń  $I_1$  i  $I_2$  prądów płynących odpowiednio w obwodzie pierwotnym i wtórnym transformatora oraz napięcia  $U_2$  w obwodzie wtórnym transformatora od napięcia zasilania  $U_1$ . Dla wszystkich wartości napięcia zasilania obliczamy przekładnię transformatora jako stosunek napięć

$$\eta = \frac{U_2}{U_1} \quad (21.1)$$

oraz jako stosunek prądów

$$\eta' = \frac{I_1}{I_2} \quad (21.2)$$



Porównujemy otrzymane wyniki.

Powtarzamy pomiary i obliczenia dla kilku innych cewek o różnej liczbie uzwojeń, stanowiących uzwojenie wtórne transformatora. Ostatni pomiar wykonujemy dla cewki o nieznannej liczbie zwojów  $N_x$ . Liczbę zwojów tej cewki wyznaczamy na podstawie pomiaru napięć w uzwojeniu pierwotnym i wtórnym:

$$N_x = \frac{U_2}{U_1} N_1 \quad (21.3)$$

#### **Literatura:**

1. Szydłowski H., *Pracownia fizyczna*, PWN, Warszawa (dostępne wydania).
2. Dryński T., *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki*, PWN, Warszawa (dostępne wydania).
3. Resnick R., Halliday D., Walker J., *Podstawy fizyki T.3*, PWN, Warszawa (dostępne wydania).
4. Bobrowski C., *Fizyka: krótki kurs*, WNT, Warszawa (dostępne wydania).
5. Orear J., *Fizyka T.1*, WNT, Warszawa (dostępne wydania).