

Krzysztof Szymański

Pracownia Fizyczna I

Instrukcje wykonywania doświadczeń

Wydział Fizyki, Uniwersytet w Białymstoku

Białystok, 2012-03-01

Spis treści

Wstęp	4
Zasady pracy w Pracowni Fizycznej I.....	5
Wykonywanie doświadczeń w Pracowni Fizycznej I.....	5
Wykonywanie opisów doświadczeń	6
Warunki uzyskania zaliczenia zajęć	7
Szczegółowe instrukcje.....	8
1. Pomiar π	9
2. Sprawdzanie prawa Hooke'a dla sprężyny	11
3. Wahadło matematyczne	12
4. Sprawdzanie prawa Ohma	13
5. Wyznaczanie ogniskowej soczewki.....	14
6. Pomiar oporu metodą czteropunktową	15
7. Sprawdzanie prawa Archimedes'a	16
8. Badanie drgań sprężyny – wyznaczanie masy	17
9. Pomiar stosunku c_p/c_v dla powietrza.....	18
10. Doświadczenie Rüchardt'a	19
11. Badanie promieniowania żarówki.....	21
12. Sprawdzanie twierdzenia Steinera	23
13. Waga prądowa	25
14. Charakterystyka prądowo napięciowa diody	27
15. Wyznaczanie rozkładu statystycznego.....	29
16. Badanie fal stojących w powietrzu	30
17. Badanie zmian gęstości wody w funkcji temperatury.....	31
18. Badanie natężenia oświetlenia punktowego źródła światła	32
19. Badanie napięcia w obwodzie RC	33
20. Badanie prądu w obwodzie RC.....	35
21. Wahadło rewersyjne.....	37
22. Wyznaczanie prędkości dźwięku w CO_2	38
23. Badanie refleksu eksperymentatora	40
24. Badanie rozszerzalności cieplnej powietrza	41
25. Sprawdzanie prawa Malusa	43

26. Wyznaczanie objętości brył	45
27. Ruch jednostajnie zmienny	47
28. Badanie drgań torsyjnych.....	49
29. Współczynnik temperaturowy oporu	51
30. Doświadczenie Francka-Hertza	53
31. Charakterystyka termopary	55
32. Przerwa energetyczna w InSb	57
33. Pomiar oporu metodą van der Pauwa	59
34. Drgania relaksacyjne neonówki	62
35. Rozpad promieniotwórczy	64
36. Pryzmat, pomiar długości fali światła.....	67
37. Pomiar ciepła właściwego.....	69
Literatura.....	72

Wstęp

Oddajemy do użytku kolejną wersję skryptu oraz opisany w nim zestaw układów eksperymentalnych dostępny w Pracowni Fizycznej I Wydziału Fizyki Uniwersytetu w Białymstoku.

Skrypt dostępny jest przez internet

<http://physics.uwb.edu.pl/wydzial.php?p=136>

Informacje o ewentualnych zauważonych proszę przesyłać na adres:

kszym@alpha.uwb.edu.pl

Zasady pracy w Pracowni Fizycznej I

Wykonywanie doświadczeń w Pracowni Fizycznej I

1. Prowadzący oraz studenci zobowiązani są do przestrzegania Regulaminu porządkowego Pracowni Fizycznej I.
2. Na zajęcia przychodzimy po uprzednim przygotowaniu się. Musimy znać zagadnienia dotyczące doświadczeń oraz metodę pomiaru umożliwiającą przez zestaw pomiarowy. Część wymaganych informacji przedstawiona jest w prezentowanych instrukcjach, reszta w cytowanej literaturze. W instrukcjach stosujemy skrótowe oznaczenia literatury, np. [Szc1,t.4,108÷119] oznacza tom 4, strony 108÷119 książki S.Szczeniowskiego pt. "Fizyka doświadczalna" wydanej przez PWN w Warszawie w roku 1964. Spis literatury znajduje się na końcu skryptu.
3. Do kolejnych zajęć (z wyjątkiem pierwszego doświadczenia laboratoryjnego, oczywiście) student przystępuje po oddaniu opisu poprzedniego doświadczenia.
4. Przed rozpoczęciem właściwych pomiarów należy włączyć tablicę zasilającą, sprawdzić prawidłowość ustawienia (poziom, pion) aparatury takiej jak wagi, katetometry i galwanometry, sprawdzić czy mierniki takie jak np. woltomierze, amperomierze, galwanometry są wyzerowane (jeśli nie, to je wyzerować).
5. Przed włączeniem **przyrządu pomiarowego** (np. woltomierz, amperomierz, waga laboratoryjna) sprawdzamy, czy jest on ustawiony na **największym zakresie**, włączamy go i dopiero wtedy zmniejszamy zakres. Właściwy pomiar wykonujemy na możliwie małym zakresie. Inne postępowanie grozi uszkodzeniem aparatury. Przed włączeniem **zasilacza** ustawiamy go z kolei na **najmniejszym zakresie**.
6. Po wykonaniu doświadczenia stanowisko należy uporządkować, wyłączyć wyłączniki aparatury zasilanej prądem elektrycznym, zaaretować aparaturę taką jak waga czy galwanometr oraz wyłączyć tablicę zasilającą. Ścieramy rozchlapaną wodę.

7. Szczególną uwagę należy zwracać na zasilacze wysokiego napięcia. Przed włączeniem tablicy sprawdzamy, czy pokrętła zasilacza są ustawione na 0 (najmniejszy zakres, patrz punkt 4). Po skończeniu pomiarów skręcamy pokrętła zasilacza do 0 i dopiero wtedy wyłączamy zasilacz i tablicę.
8. Drobny sprzęt pomiarowy studenci wypożyczają od laboranta (zostawiając legitymacje).

Wykonywanie opisów doświadczeń

1. Do opisu przeprowadzonego doświadczenia musi być **dołączona kartka z oryginalnymi wynikami pomiarów** (zapisanymi długopisem bądź piórem a nie ołówkiem), numerem doświadczenia, datą i podpisem prowadzącego asystenta.
2. Każdy wynik pomiaru obarczony jest błędem i **błąd ten należy zawsze wyznaczyć**. Pamiętać należy o poprawnym zapisie wyników tj. o zostawieniu odpowiedniej ilości cyfr znaczących.
3. **Wykresy** wykonujemy odręcznie na **papierze milimetrowym** lub przy użyciu graficznych programów komputerowych. Bez względu na to czym się posługujemy, należy oznaczyć osie wykresów. Punkty eksperymentalne muszą mieć **zaznaczone błędy**. W przypadku, gdy błąd jest mały i są trudności z przedstawieniem graficznym, należy o tym wyraźnie napisać. Wszelkie linie pojawiające się na wykresach muszą być opisane.
4. Przy porównywaniu wyników z literaturą zawsze podajemy **źródło informacji** (autor, tytuł, wydawnictwo, rok i strona).
5. Opis doświadczenia powinien zawierać bardzo krótką charakterystykę metody pomiaru i wykorzystanej aparatury (a nie opis układu znajdującego się w jakimś podręczniku). Szczególną uwagę należy zwrócić na opis sposobu przeprowadzenia pomiarów, zabiegów prowadzących do zwiększenia dokładności bądź efektywności (np. decyzja o użyciu suwmiarki a nie linijki, wybór liczby drgań przy pomiarze okresu, osłonięcie przyrządu pomiarowego papierem w celu wyeliminowania ruchów powietrza itp.). W opisie powinny być przedstawione wyniki pomiarów i ich błędy. Szczególnie przejrzystym i

komunikatywnym sposobem jest przedstawianie wyników na wykresach. Dobór odpowiednich współrzędnych na osiach wykresu (patrz szczegółowe instrukcje) pozwala od razu sprawdzić, czy mierzone zależności zgadzają się opisem teoretycznym. W dyskusji należy stwierdzić, czy w granicach błędów pomiarowych pomiary nasze zgadzają się z tym, co wiemy o przebiegu zjawiska. Jeśli można, porównujemy wyniki z wartościami tablicowymi. W przypadku odstępstw wyników pomiarów od spodziewanych wartości staramy się znaleźć przyczyny niezgodności, tkwiące bądź w naszej działalności bądź też w układzie pomiarowym. Pamiętajmy, że celem doświadczenia nie jest uzyskanie wyniku zgodnego z tablicami, lecz zaprezentowanie poprawnego sposobu pomiaru i poprawne oszacowanie błędu.

6. Nie wykonujemy czynności zbędnych! W opisie wystarczy np. zaprezentować obliczenia błędu dla kilku punktów pomiarowych i dodać, że w pozostałych przypadkach błędy wyznaczamy w analogiczny sposób.

Warunki uzyskania zaliczenia zajęć

1. Prowadzący asystenci mogą ustalić warunki zaliczania inne niż podane niżej.
2. Po zajęciach wstępnych (rachunek błędów, zapoznanie ze sposobem korzystania z podstawowych przyrządów, wspólne wykonanie i opracowanie eksperymentu) proponujemy przeprowadzenie kolokwium. Zaliczenie wymaga zdobycia 50% punktów.
3. Prowadzący asystenci ustalają terminy wykonywania odpowiednich doświadczeń przez studentów. Za każde doświadczenie, w zależności od stopnia trudności, można otrzymać maksymalnie od 6 do 10 punktów tygodniowo (za łatwe doświadczenie student otrzymuje od 0 do 6 punktów a za trudne od 0 do 10 punktów tygodniowo). Kolejnym warunkiem zaliczenia zajęć jest zdobycie ponad $0.6 \cdot 8 \cdot N$ punktów, gdzie N jest liczbą tygodni, w których odbyły się zajęcia danej grupy. Do momentu uzyskania minimalnej liczby punktów obecność na zajęciach jest obowiązkowa.

Szczegółowe instrukcje

	punktacja	strona
1. Pomiar π	6	9
2. Sprawdzanie prawa Hooke'a dla sprężyny	6	11
3. Wahadło matematyczne	6	12
4. Sprawdzanie prawa Ohma	6	13
5. Wyznaczanie ogniskowej soczewki	6	14
6. Pomiar oporu metodą czteropunktową	6	15
7. Sprawdzanie prawa Archimedesesa	7	16
8. Badanie drgań sprężyny - wyznaczanie masy	7	17
9. Pomiar stosunku c_p/c_v dla powietrza	7	18
10. Doświadczenie Rüchardt'a	8	19
11. Badanie promieniowania żarówki	8	21
12. Sprawdzanie twierdzenia Steinera	8	23
13. Waga prądowa	8	25
14. Charakterystyka prądowo napięciowa diody	8	27
15. Wyznaczanie rozkładu statystycznego	8	29
16. Badanie fal stojących w powietrzu	8	30
17. Badanie zmian gęstości wody w funkcji temperatury	8	31
18. Badanie natężenia oświetlenia punktowego źródła światła	8	32
19. Badanie napięcia w obwodzie RC	8	33
20. Badanie prądu w obwodzie RC	8	35
21. Wahadło rewersyjne	8	37
22. Wyznaczanie prędkości dźwięku w CO_2	8	38
23. Badanie refleksu eksperymentatora	8	40
24. Badanie rozszerzalności cieplnej powietrza	9	41
25. Sprawdzanie prawa Malusa	9	43
26. Wyznaczanie objętości brył	9	45
27. Ruch jednostajnie zmienny	9	47
28. Badanie drgań torsyjnych	9	49
29. Współczynnik temperaturowy oporu	9	51
30. Doświadczenie Francka-Hertza	10	52
31. Charakterystyka termopary	20	54
32. Przerwa energetyczna w InSb	20	56
33. Pomiar oporu metodą van der Pauwa	20	58
34. Drgania relaksacyjne neonówki	20	61
35. Rozpad promieniotwórczy	20	63
36. Pryzmat, pomiar długości fali światła	20	66
37. Pomiar ciepła właściwego	20	67

1. Pomiar π

(1 tydzień, 6 pkt.)

Zagadnienia: pomiar długości, wyznaczanie pola powierzchni, ważenie.

literatura: Dry1,39÷51; Szy75,70÷81; Szy99,70÷86.

1. Pomiar pola powierzchni

Przed przystąpieniem do doświadczenia zaopatrujemy się w papier milimetrowy, najlepiej formatu większego niż A4. W zestawie znajdują się dwa czworokąty wykonane z blachy (tytanowej!). Celem doświadczenia jest wyznaczenie pola powierzchni tych dwóch czworokątów. Sposób wyznaczenia powierzchni musimy zaproponować sami i zaopatrzyć się wcześniej w odpowiednie materiały (np. dobrze zatemperowany ołówek, szpilki, nitka...).

Ważymy dokładnie czworokąty używając wagi analitycznej (uwaga, aparatura precyzyjna, należy obchodzić się z nią bardzo ostrożnie). Wyznaczamy stosunek mas i porównujemy ze stosunkiem powierzchni.

2. Pomiar stosunku obwodu koła do średnicy.

W zestawie znajdują się dwa koła. Wyznaczamy ich średnice oraz obwody (jak to zrobić?). Sprawdzamy, czy w granicy błędów eksperymentalnych stosunek obwodu do średnicy wynosi π .

INSTRUKCJA OBSŁUGI WAGI ANALITYCZNEJ

Waga analityczna jest jednym z najbardziej drogiej, precyzyjnych i delikatnych przyrządów znajdujących się w Pracowni. Obsługa niezgodna ze wskazaniami instrukcji prowadzi może do trwałego uszkodzenia przyrządu.

Belka wagi analitycznej wyposażona jest w szafirowe łożyska decydujące o dokładności i czułości. W celu uniknięcia wypracowywania się łożysk i zabezpieczenia przed wstrząsami (np. drganiami gruntu wywoływanymi przez burze, przejeżdżające samochody) po pomiarach unosi się belkę do góry tak, że łożyska wiszą w powietrzu. Mówimy o zaaretowaniu wagi. Wagę aretuje się przez pokręcenie pokrętłem aretażu (u dołu wagi). Podczas aretowania widać unoszenie się belki do góry, gaśnie też żarówka oświetlająca skalę przyrządu.

Waga której nie używamy musi być stale zaaretowana. Nie wolno zmieniać odważników i stawiać czegokolwiek na szalce odaretowanej wagi!

1. Przed przystąpieniem do pomiarów należy sprawdzić, czy waga jest zaaretowana.
2. Sprawdzić i ewentualnie skorygować ustawienie poziomu poprzez pokręcanie tylnymi nóżkami wagi.
3. Włączyć zasilacz oświetlenia skali przez przekręcenie w kierunku ruchu wskazówek zegara czarnego pokrętła zasilacza wagi. Powinna zapalić się czerwona lampka zasilacza.
4. Wyzerować wagę. Oznacza to, że należy ustawić na pokrętkach odważników 0 i powolnym ruchem odaretować wagę. Po ustaleniu się wahań korygujemy ostrość oświetlenia skali (małe pokrętło z przodu, z prawej strony) i zmieniamy położenie nici pajęczej tak, żeby wskazywała 0 (małe pokrętło pod skalą). Zaaretowujemy a następnie odaretowujemy wagę i sprawdzamy, czy waga wskazuje 0. Jeśli nie, zapisujemy wskazania, które później uwzględnimy w rachunku błędów. Sprawdzamy 0 kilkakrotnie.
5. Nie wolno stawiać na szalce wagi analitycznej przedmiotów mokrych, gorących lub ciał sypkich bez odpowiedniego pojemnika.
6. Przed postawieniem przedmiotu na szalce wagi musimy znać w przybliżeniu jego masę. Określamy ją przy użyciu wagi laboratoryjnej.
7. Stawiamy przedmiot na szalce zaaretowanej wagi, ustawiamy pokrętkami odważników odpowiednią masę (lewym pokrętkiem ustawiamy masy od 1g do 99g, prawym od 10mg do 990 mg) i powoli odaretowujemy wagę. Jeśli masa jest źle dobrana, zaaretowujemy wagę ponownie, zmieniamy odważniki i dopiero wtedy odaretowujemy. Jeśli nić pajęczą nie wychodzi poza skalę, oznacza to, że masa odważników jest dobrana poprawnie.
8. Odczytujemy masę ważonego ciała. Masa ta jest równa masie użytych odważników i poprawce (z odpowiednim znakiem) odczytanej na podświetlonej skali. Po odczycie wagę aretujemy, odaretowujemy i dokonujemy ponownego odczytu. Czynności te powtarzamy kilkakrotnie. Ostatnią czynnością powinno być oczywiście zaaretowanie wagi.
9. Po zdjęciu przedmiotu z szalki, zamykamy okienka wagi, wyłączamy zasilacz i tablicę.

2. Sprawdzanie prawa Hooke'a dla sprężyny

(1 tydzień, 6 pkt.)

Zagadnienia: drgania harmoniczne, drgania sprężyny, prawo Hooke'a.

Literatura: Szy75,169÷170; Szy99,179÷179; Dry1,132÷137, Szy2,297÷305.

Celem doświadczenia jest zbadanie zależności wydłużenia od naprężenia sprężyny, wyznaczenie współczynnika sprężystości sprężyny k , wyznaczenie okresu drgań masy zawieszonyj na sprężynie oraz porównanie zmierzonego okresu z okresem wynikającym ze współczynnika sprężystości

1. Przeprowadzenie doświadczenia

Przeprowadzamy badania wydłużenia sprężyny w zależności od zawieszonygo obciążenia. Zmiany długości mierzymy przy użyciu katetometru. Następnie wyznaczamy okres małych drgań masy zawieszonyj na sprężynie. Wyznaczamy masę sprężyny przy użyciu wagi laboratoryjnej.

2. Opracowanie wyników

Przedstawiamy na wykresie zależność wydłużenia od obciążenia. Sprawdzamy, czy dla badanej sprężyny spełnione jest prawo Hooke'a:

$$F = -kx, \quad (1.1)$$

gdzie F jest siłą działającą na sprężynę (tu: naprężeniem), x wydłużeniem sprężyny a k tzw. współczynnikiem sprężystości sprężyny. Jeśli prawo Hooke'a jest spełnione, wyznaczamy współczynnik k .

Sprawdzamy, czy zmierzony okres drgań ciężarka o masie m zgadza się z przewidywanym okresem T :

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m + \frac{1}{3}m_s}{k}}, \quad (1.2)$$

gdzie m_s jest masą sprężyny.

3. Wahadło matematyczne

(1 tydzień, 6 pkt).

Zagadnienia: ruch harmoniczny prosty, ruch harmoniczny tłumiony, wahadło matematyczne, wahadło fizyczne, małe drgania, przyspieszenie ziemskie.

literatura: Res80,422÷434,449÷451; Res98,344÷359,372÷373; Dry1,86÷90; Szy2,297÷305.

Celem doświadczenia jest zbadanie zależności okresu drgań wahadła matematycznego od długości i zawieszanej masy, oraz wyznaczenie przyspieszenia ziemskiego.

Sposób pomiaru okresu opisany jest w podanej literaturze. Długość od punktu zawieszenia do środka masy przedmiotu mierzymy katetometrem. Czas mierzymy zegarem elektronicznym. Pamiętajmy o błędach związanych momentem uruchomienia i zatrzymania zegara - zależnych od refleksu eksperymentatora. Pomiary powtarzamy kilkakrotnie w celu oszacowania błędu przypadkowego.

Wyniki pomiarów przedstawiamy na wykresie z odpowiednio dobranymi współrzędnymi tak, żeby w przypadku spełnienia zależności (3.1) punkty pomiarowe ułożyły się na linii prostej (jakie to współrzędne?).

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} \quad (3.1)$$

Dopasowujemy linię prostą do danych doświadczalnych i z wartości współczynnika kierunkowego wyznaczamy przyspieszenie ziemskie. Sprawdzamy czy wyznaczona prosta w granicach błędu przechodzi przez zero układu współrzędnych.

Zawieszamy przedmioty o innej masie i przeprowadzamy analogiczne pomiary. Przedstawiamy na wykresie zależność okresu drgań od masy zawieszzonego ciała. Sprawdzamy, czy w granicach błędu punkty układają się na linii poziomej.

4. Sprawdzanie prawa Ohma

(1 tydzień, 6 pkt.)

Zagadnienia: Napięcie i natężenie prądu, woltomierz, amperomierz, opór, oporność właściwa, prawo Ohma.

literatura: Hal80,153÷165; Hal98,133÷145; Dry1,344÷348; Szy2,297÷305.

Celem doświadczenia jest wyznaczenie zależności pomiędzy natężeniem a napięciem prądu płynącego przez opornik.

Układ wyposażony jest w 24V zasilacz prądu stałego, regulowany opornik, amperomierz, woltomierz oraz badany opornik. Zasilacz z regulowanym opornikiem tworzą prosty zasilacz z regulowanym napięciem. Do takiego zasilacza podłączamy badany opornik, woltomierz i amperomierz. Badamy zależność natężenia od napięcia prądu płynącego przez opornik, wyniki przedstawiamy na wykresie. Odczytane wartości prądu i napięcia korygujemy wykorzystując podane na przyrządach wartości oporów wewnętrznych. W opisie podajemy sposób przeprowadzania korekty. Dyskutujemy, czy jest spełnione prawo Ohma i jeśli tak, to dopasowujemy linię prostą do danych eksperymentalnych oraz wyznaczamy opór opornika. Mierzmy również opór opornika bezpośrednio miernikiem uniwersalnym i porównujemy wyniki.

Przy opracowaniu danych nie zapominamy o dokładnym przedstawieniu schematu pomiarowego (woltomierz i amperomierz można podłączyć na co najmniej dwa różne sposoby!).

5. Wyznaczanie ogniskowej soczewki

(1 tydzień, 6 pkt.)

Zagadnienia: soczewka cienka, obraz pozorny i rzeczywisty, równanie soczewki, powiększenie

literatura: Hal80,481÷490; Hal98,439÷469; Szy2,287÷297.

Celem doświadczenia jest obserwacja obrazu rzeczywistego tworzonego przez soczewkę skupiającą, sprawdzenie równania soczewki oraz wzoru na powiększenie soczewki.

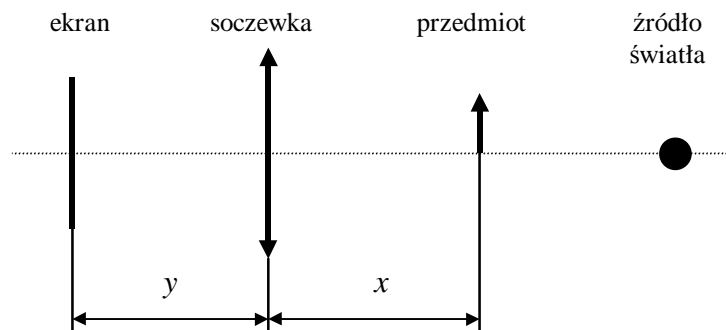
1. Przeprowadzenie pomiarów

W zestawie znajduje się biały ekran, soczewka skupiająca, rysunek na matówce (przedmiot) oraz źródło światła służące do oświetlenia przedmiotu, patrz rysunek 5.1. Ustawiamy przedmiot w odległości około 80 cm od ekranu i zmieniamy położenie soczewki. Obserwujemy obraz powstający na ekranie. Dobieramy natężenie oświetlenia tak, by obraz był dobrze widoczny.

W pewnym położeniu tworzy się ostry obraz powiększony. Mierzymy odległości x i y . Następnie mierzymy odległość pomiędzy wybranymi punktami na rysunku (wysokość przedmiotu, d) oraz pomiędzy odpowiednimi punktami na ekranie (wysokość obrazu, h).

Zmieniamy położenie soczewki tak, by uzyskać ostry obraz pomniejszony. Możemy zmienić natężenie oświetlenia w uzyskania lepszego obrazu. Ponownie mierzymy x , y , d i h .

Następnie zmieniamy położenie przedmiotu i przeprowadzamy analogiczne pomiary.



Rys. 5.1 Schemat układu optycznego

2. Opracowanie wyników

W pierwszej części eksperymentu sprawdzamy zależność

$$\frac{1}{x} + \frac{1}{y} = \frac{1}{f}, \quad (5.1)$$

gdzie f jest ogniskową soczewki. W tym celu przedstawiamy na wykresie zależność $1/x+1/y$ od y/x . Sprawdzamy, czy punkty układają się na linii poziomej i jeśli tak, to wyznaczamy wartość ogniskowej.

W drugiej części eksperymentu przedstawiamy na wykresie zależność powiększenia (stosunku wysokości obrazu i przedmiotu h/d) od stosunku odległości y/x . Sprawdzamy, czy punkty układają się na linii prostej przechodzącej przez zero. Sprawdzamy, czy współczynnik kierunkowy tej linii w granicach błędu jest równy 1.

6. Pomiar oporu metodą czteropunktową

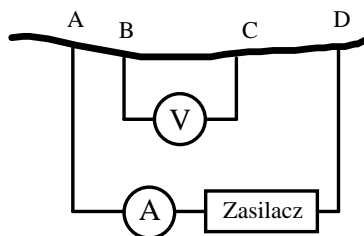
(1 tydzień, 6 pkt.)

Zagadnienia: prąd, napięcie, opór, oporność właściwa, opór wewnętrzny woltomierza i amperomierza,

Literatura: Szcl ,t.3, 163÷172; Enc2, 266; Szy2,297÷305.

Celem doświadczenia jest pomiar oporu drutu (wykonanego ze stopu o handlowej nazwie kanthal, używanego jako drut oporowy, odporny na utlenianie w wysokich temperaturach) metodą czteropunktową oraz wyznaczenie oporności właściwej materiału.

Czteropunktowa metoda pomiaru oporu polega na przyłączeniu do próbki czterech kontaktów, z których dwa są kontaktami przez które przepuszczamy prąd (A i D), a na dwóch pozostałych mierzymy napięcie (B i C).



Rys.6.1 Schemat połączeń w czteropunktowej metodzie pomiaru oporu.

Zestawiamy obwód elektryczny według rysunku 6.1 i mierzymy zależność napięcia U pomiędzy kontaktami B i C od wartości płynącego przez drut prądu I . Uwzględniamy oczywiście wpływ oporności wewnętrznych przyrządów na pomiary. Następnie mierzymy długość L pomiędzy punktami B i C. Zmieniamy odległość L i powtarzamy pomiary. Wyniki przedstawiamy na wykresie, w którym na jednej osi jest napięcie a na drugiej iloczyn prądu i długości, $I \cdot L$. Sprawdzamy, czy otrzymaliśmy zależność liniową i jeśli tak, wyznaczamy współczynnik kierunkowy prostej najlepiej pasującej do danych eksperymentalnych. Zależność pomiędzy występującymi wielkościami ma postać:

$$U = I \frac{4\rho \cdot L}{\pi d^2}, \quad (6.1)$$

gdzie ρ jest opornością właściwą drutu a d jego średnicą. Wartość współczynnika kierunkowego oraz pomiar średnicy drutu umożliwia wyznaczenie oporności właściwej.

7. Sprawdzanie prawa Archimidesa

(1 tydzień, 7 pkt.)

Zagadnienia: prawo Archimidesa, siła wyporu, ciśnienie hydrostatyczne, ciężar, masa, gęstość, ciężar właściwy.

literatura: Res80,511÷526; Res98,425÷437, Szy2,297÷305.

Celem doświadczenia jest sprawdzenie prawa Archimidesa poprzez zbadanie zależności pomiędzy objętością ciała i siłą wyporu.

W zestawie znajduje się kilkanaście przedmiotów wykonanych z różnych materiałów. Siły wyporu wyznaczamy poprzez ważenie ciał w powietrzu i w wodzie. Objętości wyznaczamy poprzez mierzenie odpowiednich długości i średnic suwmiarką.

Wyniki pomiarów (siła wyporu w zależności od objętości przedmiotu) przedstawiamy na wykresie, dyskutujemy zgodność z oczekiwaniami oraz, jeśli to możliwe, wyznaczamy ciężar właściwy wody.

Pamiętać musimy o tym, by nie ważyć w powietrzu mokrych przedmiotów a przy wyznaczaniu siły wyporu używać stale tej samej wody (dlaczego?). Czy należy uwzględnić to, że nic na której wieszamy przedmioty ma objętość, ciężar i może być mokra? Czy należy uwzględnić siłę wyporu powietrza?

8. Badanie drgań sprężyny – wyznaczanie masy

(1 tydzień, 7 pkt.)

*Zagadnienia: drgania harmoniczne, drgania sprężyny, prawo Hooke'a.**Literatura: Szy75,169÷170; Szy99,175÷179; Dry1,132÷137; Szy2,287÷297.*

Celem doświadczenia jest wyznaczenie masy sprężyny poprzez zbadanie zależności okresu drgań sprężyny od obciążenia i porównanie z masą wyznaczoną przy użyciu wagi laboratoryjnej.

1. Przeprowadzenie doświadczenia

Wyznaczamy zależność okresu drgań sprężyny od zawieszoności obciążenia. Bierzemy pod uwagę również masę szalki. Czas mierzymy zegarem elektronicznym. Uwzględniamy błąd związany z momentem uruchomienia i zatrzymania zegara zależny od refleksu eksperymentatora.

Wyznaczamy masę sprężyny używając wagi laboratoryjnej. Zliczamy też ilość zwojów sprężyny.

Analogiczne pomiary wykonujemy dla drugiej sprężyny wykonanej z takiego samego materiału, różniące się tylko ilością zwojów.

2. Opracowanie wyników

Okres drgań sprężyny o masie m_s i współczynniku sprężystości k , obciążonej masą m dany jest wyrażeniem:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m + \frac{1}{3}m_s}{k}}. \quad (8.1)$$

Przekształcamy (8.1) do postaci:

$$m = \frac{k}{4\pi^2} T^2 - \frac{1}{3} m_s, \quad (8.2)$$

i przedstawiamy na wykresie zależność T^2 od m . Sprawdzamy, czy punkty układają się na linii prostej i jeśli tak, dopasowujemy do danych linię prostą i wyznaczamy k oraz m_s . Porównujemy m_s z masami wyznaczonymi przy użyciu wagi. Porównujemy stosunek współczynników sprężystości obu sprężyn ze stosunkiem ilości zwojów.

9. Pomiar stosunku c_p/c_v dla powietrza

(1 tydzień, 7 pkt.)

*Zagadnienia: ciepło, temperatura, c_p i c_v , gaz doskonały, przemiany gazowe.**literatura: Res80,683÷710; Res98,571÷592; Szy75, 278÷279; Szy99, 405÷406; Szy2,297÷305.*

Celem doświadczenia jest wyznaczenie stosunku ciepł właściwych c_p/c_v dla powietrza.

Opis metody pomiaru znajduje się w [Szy1,278÷279]. Przekształcając wzór 13.24 z cytowanej wyżej pracy otrzymujemy:

$$h_1 = \frac{\kappa}{\kappa - 1} h_2, \quad (9.1)$$

gdzie h_1 , h_2 i κ są oznaczeniami z cytowanej literatury. Wyznaczamy zależność h_1 od h_2 i sprawdzamy, czy te wielkości są proporcjonalne. Jeśli tak, dopasowujemy do danych prostą przechodzącą przez środek układu współrzędnych (dlaczego?). Odpowiednie wzory na dopasowanie prostej można znaleźć w [Szy2,297÷305]. Na podstawie wartości współczynnika kierunkowego wyznaczamy κ i porównujemy z wartościami dostępnymi w literaturze.

10. Doświadczenie Rüchardt'a

(1 tydzień, 7 pkt.)

Zagadnienia: ciepło, temperatura, ciepło właściwe c_p i c_v , gaz doskonały, przemiany gazowe, przemiana adiabatyczna, drgania harmoniczne.

literatura: Res80,683÷710; Res98,571÷592; Szy75, 278÷279; Szy99, 405÷406; Szy2,297÷305, Phy11÷3.

Celem doświadczenia jest wyznaczenie stosunku ciepł właściwych c_p/c_v dla powietrza metodą Rüchardt'a.

1. Idea eksperymentu

Cylindryczny ciężarek o masie m znajduje się w pionowej rurce szklanej nad naczyniem o objętości V wypełnionym powietrzem. Ciężarek może przesuwać się w rurce niczym tłok i sprężać powietrze w naczyniu. Sprężane powietrze działa na masę m jak sprężyna. Gdy do naczynia będziemy pompować powietrze, ciężarek zacznie wykonywać drgania. Okres oscylacji, T , dany jest równaniem:

$$T = 2\sqrt{\frac{mV}{\kappa r^4 p}}, \quad (10.1)$$

gdzie p jest ciśnieniem w naczyniu, r promieniem ciężarka a κ stosunkiem ciepł właściwych gazu, c_p/c_v .

Układ doświadczalny składa się z naczynia, rurki i masy wykonującej oscylacje, pompki pompującej powietrze, fotokomórki rejestrującej oscylacje oraz elektronicznego układu zliczania impulsów.

2. Wykonanie pomiarów

Uruchamiamy pompkę pompującą powietrze i pokręcając zaworem dobieramy strumień gazu taki, by oscylacje masy były jak największe.

Włączamy układ rejestrujący i obserwujemy miganie diody fotokomórki. Włączamy sygnał dźwiękowy w celu zapewnienia kontroli detekcji oscylacji. Wybieramy określony czas pomiaru i uruchamiamy układ zliczający. Dostaniemy w ten sposób ilość oscylacji w zadanym czasie. Zmieniamy szybkość przepływu powietrza i powtarzamy pomiary. Sprawdzamy, wpływ szybkości na okres oscylacji.

Na naczyniu do którego pompujemy powietrze zaznaczona jest kreska wskazująca objętość. Uwzględniamy pozostałą objętość, od kreski do dolnej ścianki drgającej masy. W tym celu musimy zmierzyć średnicę wewnątrz szklanej rurki oraz średnią odległość od kreski do położenia dolnej części drgającej masy.

Przy użyciu suwmiarki wyznaczamy średnicę a następnie ważymy drgającą masę.

Wartość ciśnienia atmosferycznego odczytujemy ze wskazań barometru znajdującego się w pracowni.

Wykonujemy pomiary dla kilku innych mas znajdujących się w zestawie.

3. Opracowanie wyników

Po przekształceniu (10.1) otrzymujemy wyrażenie na κ :

$$\kappa = \frac{4mV}{T^2 pr^4}. \quad (10.2)$$

Za ciśnienie p przyjmujemy wartość odczytaną z barometru zwiększoną o ciśnienie drgającej masy Δp :

$$\Delta p = \frac{mg}{\pi r^2}, \quad (10.3)$$

gdzie g jest przyspieszeniem ziemskim. Wyznamy κ dla każdej z drgających mas. Dyskutujemy, czy wyniki są ze sobą zgodne w granicach błędów.

11. Badanie promieniowania żarówki

(1 tydzień, 8 pkt.)

Zagadnienia: prąd, napięcie, opór, zależność oporu od temperatury, moc prądu, opór wewnętrzny woltomierza i amperomierza, promieniowanie ciała doskonale czarnego, prawo Stefana-Boltzmana.

Literatura: Szcl ,t.3,214÷219, t.4, 190÷192.

Celem doświadczenia jest wyznaczenie charakterystyki prądowo-napięciowej żarówki, określenie temperatury włókna na podstawie zmian oporu, wykreślenie mocy żarówki w funkcji T^4 oraz oszacowanie stałej Stefana-Boltzmana.

Układ pomiarowy składa się z regulowanego zasilacza prądu stałego, woltomierza i amperomierza, badanej żarówki oraz z włókna wolframowego identycznego jak te, które znajduje się w żarówce.

Uprasza się o ostrożne obchodzenie się z włóknem!

1. Wykonanie doświadczenia.

Zestawiamy układ do wyznaczenia charakterystyki prądowo-napięciowej. Mierzmy charakterystykę. Pamiętajmy o uwzględnieniu oporu wewnętrznego przyrządów o tym, by nie uszkodzić przyrządów przez pomiar dużych wartości prądów i napięć na zbyt małych zakresach oraz o tym, by mierzyć na możliwie małych zakresach (większa dokładność!). W celu sprawdzenia powtarzalności pomiarów, mierzmy charakterystykę zwiększając a następnie zmniejszając wartości prądu.

Odczytujemy wartość temperatury w pomieszczeniu.

Mierzmy opór wyłączonej żarówki miernikiem uniwersalnym.

Używając wagi analitycznej wyznaczamy masę włókna.

2. Opracowanie wyników.

Sporządzamy wykres zależności $I(U)$ (charakterystyka prądowo-napięciowa) oraz $R(U)$. Sprawdzamy, czy ekstrapolowana do zera wartość oporu zgadza się z wartością wyznaczoną miernikiem uniwersalnym.

Na podstawie podanej w tabeli zależności oporu włókna wolframowego od temperatury określamy temperaturę włókna. Wykorzystujemy fakt, że w temperaturze pokojowej T_0 znany jest opór włókna, R_0 . W wyższej temperaturze, T , opór włókna wynosi R i mamy proporcjonalność:

$$\frac{r(T)}{R} = \frac{r(T_0)}{R_0}, \quad (11.1)$$

gdzie $r(T)$ jest wartością oporu w temperaturze T odczytaną z tabeli.

Dla każdego punktu charakterystyki prądowo-napięciowej określamy moc wydzielaną na żarówce, $P=I \cdot U$. Przyjmujemy, że jest to również moc wypromieniowywana przez żarówkę (czy jest to sensowne założenie?)

Całkowita moc P wypromieniowywana przez ciało doskonale czarne o temperaturze T dana jest prawem Stefana-Boltzmana:

$$P = \sigma_0 \cdot S \cdot T^4, \quad (11.2)$$

gdzie S jest powierzchnią ciała. W celu sprawdzenia (11.2) wyniki pomiarów przedstawiamy na wykresie, którego osiami są moc P oraz T^4 , gdzie T jest temperaturą włókna w skali Kelvina. Sprawdzamy, czy punkty układają się na linii prostej. Jeśli tak, wyznaczamy współczynnik kierunkowy prostej, który powinien być równy $\sigma_0 \cdot S$.

W celu oszacowania powierzchni włókna wykorzystujemy pomiar jego masy. Zakładamy, że włókno jest zwinięte z drutu o promieniu α i długości L oraz że gęstość wolframu wynosi d . Wtedy:

$$m = \pi \alpha^2 L \cdot d. \quad (11.3)$$

Z definicji oporu właściwego mamy:

$$R_0 = \rho \frac{L}{\pi \alpha^2}. \quad (11.4)$$

Przekształcając równania (11.3) i (11.4) otrzymujemy pole powierzchni bocznej drutu:

$$S = 2\pi \alpha L = \sqrt[4]{\frac{16 \cdot \pi^2 R_0 m^3}{\rho d^3}}. \quad (11.5)$$

Korzystając z (11.5) szacujemy pole powierzchni włókna. Gęstość i opór właściwy wolframu w temperaturze pokojowej odczytujemy z tablic. Z wyznaczonego współczynnika kierunkowego prostej (patrz (11.1)) oraz pola powierzchni S , szacujemy wartość stałej Stefana-Boltzmann.

Opór nici wolframowej, odpowiadający długości 1 cm i średnicy 1cm na podstawie "Tablice wielkości fizycznych", Moskwa, Atomizdat 1976, str.316.

Temperatura [K]	Opór [$10^{-6} \Omega$]	Temperatura [K]	Opór [$10^{-6} \Omega$]
273	6.37	2000	72.19
293	6.99	2100	76.49
300	7.20	2200	80.83
400	10.26	2300	85.22
500	13.45	2400	89.65
600	16.85	2500	94.13
700	20.49	2600	98.66
800	24.19	2700	103.22
900	27.94	2800	107.85
1000	31.74	2900	112.51
1100	35.58	3000	117.21
1200	39.46	3100	121.95
1300	43.40	3200	126.76
1400	47.37	3300	131.60
1500	51.40	3400	136.49
1600	55.46	3500	141.42
1700	59.58	3600	
1800	63.74	3650	149.15
1900	67.94		

12. Sprawdzanie twierdzenia Steinera

(1 tydzień, 8 pkt.)

Zagadnienia: moment bezwładności, środek masy, twierdzenie Steinera, wahadło matematyczne, wahadło fizyczne, drgania harmoniczne, małe drgania.

Literatura: Res80,321÷338, 414÷428; Res98,266÷279,344÷354; Wro1,t.1,721÷722;Szy2,287÷297.

Celem doświadczenia jest sprawdzenie, czy związek pomiędzy okresem drgań T wahadła fizycznego a odległością osi i środka masy r , dany jest wzorem:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I + mr^2}{mgr}} \quad (12.1)$$

gdzie I jest momentem bezwładności względem środka masy, m masą wahadła a g przyspieszeniem ziemskim.

1. Pomiary zależności T od r .

a) Do płyty z wywierconymi otworami przyklejamy kartkę papieru.

b) Używając pionu i wieszając płytę na kilku otworach wyznaczamy środek ciężkości.

c) Wieszamy płytę na jakimś otworze (na ostrej krawędzi pręta, która zmniejsza opory ruchu) i mierzymy okres małych drgań. Do pomiaru okresu drgań używamy licznika drgań.

d) Ostрым końcem pręta zaznaczamy położenie osi, względem której odbywały się drgania i po zdjęciu płyty mierzymy odległość osi obrotu i środka ciężkości. Przeprowadzamy pomiary dla wielu otworów otrzymując związek pomiędzy okresem T a odległością r .

2. Opracowanie wyników

Zależność T od r , przy ustalonym I , m oraz g można sprawdzić następująco. Przekształcając (5.1) otrzymujemy:

$$T^2 r = \frac{4\pi^2 I}{mg} + \frac{4\pi^2}{g} r^2 \quad (12.2)$$

Jeśli wyniki pomiarów przedstawimy we współrzędnych r^2 oraz $T^2 r$ (tzn. na osiach x i y będziemy odkładać odpowiednio r^2 i $T^2 r$), to w przypadku, gdy równanie (12.2) będzie spełnione, punkty ułożą się na linii prostej. Ze współczynnika kierunkowego można wyznaczyć wartość przyspieszenia ziemskiego.

Jak korzystać z licznika drgań?

Licznik drgań służy do zliczania drgań w zadanym czasie szczególnie przydatny jest przy mierzeniu małych okresów. Składa się z przystawki, w której umieszczono źródło światła i fototranzystor rozdzielone szczeliną, zasilacza i przelicznika P-44. Drgająca wskazówka przecina wiązkę światła i wtedy generowany jest impuls rejestrowany dalej przez przelicznik P-44. W celu uruchomienia licznika drgań włączamy zasilacz (widać padającą wiązkę światła), szczelinę przystawki umieszczamy tak, by drgająca wskazówka przecinała wiązkę światła. Włączamy przelicznik P-44, wciskamy „preset count”, ustawiamy określoną liczbę zliczeń, np. 2×10^2 „pulses” i wciskamy przycisk „start-stop”. Przelicznik P-44 mierzy czas trwania 200 impulsów powstających w chwili przecinania wiązki światła przez wskazówkę. Zwracamy uwagę na to, że jednemu okresowi odpowiadają dwa impulsy (dlaczego?).

13. Waga prądowa

(1 tydzień, 8 pkt.)

Zagadnienia: prąd stały, definicja ampera w układzie SI, pole magnetyczne, działanie pola magnetycznego na przewodnik z prądem, elektromagnes, efekt Halla.

Literatura: Hal75, 153÷157, 205÷215, 220÷222, 249÷253; Hal98, 133÷135, 178÷192, 217÷219, 249÷253, Phy1 4÷7; Szy2,297÷305.

Celem doświadczenia jest zbadanie zależności siły działającej na przewodnik z prądem od wartości natężenia prądu, długości przewodnika i wartości pola magnetycznego.

Układ eksperymentalny składa się z wagi, do której można przymocować prostokątne ramki z przewodnika. Trzy ramki różnią się rozmiarami, czwarta z nich składa się z dwóch zwojów przewodnika. Na ramkach podana jest ich szerokość. Ramka umieszczona jest w szczelinie elektromagnesu. Zasilając elektromagnes prądem wytwarzamy pole magnetyczne którego wartość możemy zmierzyć teslomierzem

1. Wykonanie pomiarów.

Zawieszamy najszerszą ramkę z pojedynczym zwojem. Balansujemy wagę i odcytujemy wskazania w Gramach. Włączamy teslomierz Włączamy zasilacz zasilający elektromagnes i mierzymy pole B w szczelinie. Włączamy zasilacz zasilający ramkę, przepuszczamy określony prąd I , którego wartość odcytujemy na zasilaczu. Po włączeniu prądu pojawia się dodatkowa siła działająca na ramkę. Powtórnie balansujemy wagę i odcytujemy jej wskazanie. Różnica wskazań wagi daje siłę F , która powinna być równa:

$$F = BILn, \quad (13.1)$$

gdzie L jest szerokością ramki a n liczbą zwojów, w tym przypadku $n=1$.

Przeprowadzamy serię pomiarów dla ustalonej (ok. 200 mT) wartości pola B i różnych wartości prądu I .

Przeprowadzamy serię dla ustalonej (6÷7 A) wartości prądu i różnych wartości pola B .

Wykonujemy pomiary na pozostałych ramkach przy ustalonej wartości prądu i pola.

2. Opracowanie wyników

Wykonujemy wykresy zależności F od I oraz F od B . Sprawdzamy, czy odpowiednie wielkości są do siebie proporcjonalne.

Wykonujemy trzeci wykres, na którym umieszczamy wszystkie wykonane pomiary. Na jednej osi przedstawiamy wartość siły a na drugiej $BILn$, gdzie n jest liczbą zwojów (w naszym przypadku 1 lub 2). Sprawdzamy zgodność wyników z zależnością (13.1).

Sposób pomiaru pola magnetycznego

Teslomierz składa się z urządzenia zasilającego oraz sondy pomiarowej. Włącznik główny znajduje się z tyłu urządzenia.

Sonda jest delikatnym elementem zabezpieczonym osłoną w kształcie rurki. Przed pomiarem zdejmujemy osłonę. W przypadku nieobecności pola magnetycznego (wyłączony elektromagnes) teslomierz powinien wskazywać zero. W przeciwnym wypadku należy go wyzerować odpowiednim pokrętkiem.

Przy pomiarze pola magnetycznego wykorzystany jest efekt Halla. Przez sondę umieszczoną w polu magnetycznym płynie prąd i powstaje napięcie Halla, które jest proporcjonalne do pola. Dbamy o to, by płaszczyzna sondy była prostopadła do linii sił pola magnetycznego. Zwracamy uwagę na to, że obrócenie płaszczyzny sondy o kąt π zmienia znak wskazywanego pola.

14. Charakterystyka prądowo napięciowa diody

(1 tydzień, 8 pkt.)

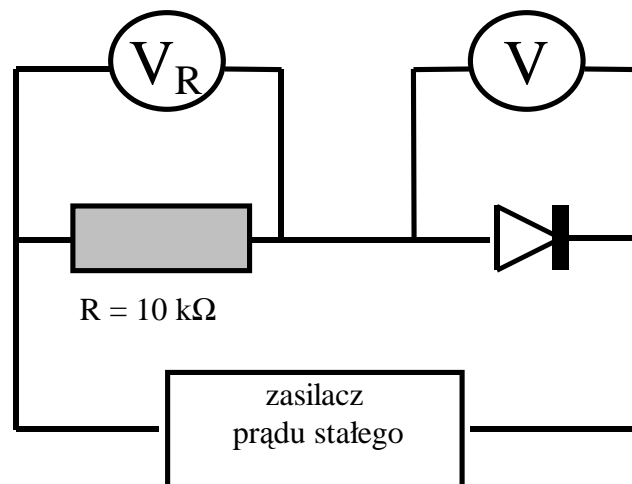
Zagadnienia: prąd, napięcie, opór, charakterystyka prądowo-napięciowa, półprzewodniki, złącze p-n, dioda półprzewodnikowa.

literatura: Gin1, 275÷293; Dry, 427÷438, 450÷459.

Celem doświadczenia jest wyznaczenie statycznej charakterystyki prądowo-napięciowej diody półprzewodnikowej oraz porównanie wyników ze wzorami opisującymi złącze p-n.

1. Przeprowadzenie pomiarów.

Budujemy układ wg. schematu przedstawionego na rysunku 14.1.



Rys. 14.1 Schemat układu do wyznaczenia charakterystyki statycznej diody.

Woltomierz V_R połączony z opornikiem R pełni rolę amperomierza. Przeprowadzamy pomiary zależności prądu płynącego przez diodę od napięcia na diodzie. Sprawdzamy, czy przy pomiarach w kierunku przewodzenia nie wzrasta temperatura diody. Nie podajemy zbyt dużych napięć w kierunku przewodzenia. Szczególnie starannie wykonujemy pomiary w obszarze małych dodatnich i ujemnych napięć.

Zasilacz jest tak skonstruowany, że poprzez pokręcanie potencjometrem możemy uzyskać zmianę znaku oraz wielkości napięcia.

Przed przystąpieniem do pomiarów musimy wyzerować woltomierze. W tym celu wciskamy przycisk "ZERO" i przy użyciu śrubokręta ustawiamy zero kręcąc potencjometrem "ZERO DC". Następnie wyciskamy przycisk "ZERO".

Odczytujemy jaka jest temperatura otoczenia T .

2. Opracowanie wyników

Wyniki opracowujemy w dwóch etapach. W pierwszym etapie przedstawiamy na wykresie zależność prądu od napięcia.

W drugim etapie postępujemy w sposób bardziej wyrafinowany. Ograniczamy się do analizy wyników odpowiadających małym wartościom napięć. Ściślej, ograniczamy się do takich napięć, dla których $eU/k_B T$ jest znacznie mniejsze od 1. Wtedy po przyłożeniu napięcia U przez złącze p-n płynie prąd I :

$$I = I_0 \left(e^{\frac{eU}{k_B T}} - 1 \right), \quad (14.1)$$

gdzie I_0 jest prądem zaporowym wywołanym termiczną generacją nośników, e ładunkiem elektronu, T temperaturą (wyrażoną w stopniach Kelvina) a k_B stałą Boltzmanna. W celu sprawdzenia zależności (14.1) przedstawiamy wyniki pomiarów na wykresie, którego osią x jest $\exp(eU/k_B T)$ a osią y prąd I ($\exp(x)$ to tyle samo co e^x). Sprawdzamy, czy jest obszar napięć, w którym zależność $y(x)$ jest liniowa. Jeśli tak, dopasowujemy do danych w tym obszarze linię prostą o równaniu $y=ax+b$. Sprawdzamy, czy stosunek a/b jest w granicach błędu równy -1 (dlaczego tak powinno być?).

Nieco inne podejście polega na rozwinięciu (14.1) w szereg Taylora i pozostawieniu tylko trzech pierwszych wyrazów:

$$I = I_0 (e^\varepsilon - 1) \approx I_0 \left(1 + \varepsilon + \frac{\varepsilon^2}{2} - 1 \right), \quad (14.2)$$

gdzie $\varepsilon = eU/k_B T$. Po przekształceniu otrzymujemy:

$$\frac{I}{U} = \frac{I_0 e}{k_B T} + \frac{e^2 I_0}{2(k_B T)^2} U. \quad (14.3)$$

Przedstawiamy dane na wykresie, którego osią x jest U a osią y I/U . Sprawdzamy, czy punkty układają się na linii prostej i jeśli tak, to znajdujemy równanie prostej $y=ax+b$. Sprawdzamy, czy stosunek a/b równy jest $e/2k_B T$.

15. Wyznaczanie rozkładu statystycznego

(1 tydzień, 8 pkt.)

Zagadnienia: rozkład statystyczny, histogram, rozkład Gaussa, wartość średnia, błąd wartości średniej, odchylenie średnie standardowe, wariancja rozkładu.

Literatura: Szy75, 41÷52; Bro1,783; Szy2, 75÷82; Bra1, 199÷204, 283÷287.

Celem doświadczenia jest wyznaczenie histogramu jakiejś wielkości i porównanie go z rozkładem Gaussa.

Przed przystąpieniem do doświadczenia należy zaopatrzyć się w ok. 100 szt. przedmiotów takich, których długości można łatwo mierzyć suwmiarką lub śrubą mikrometryczną (np. jakieś nasiona, zapałki, itp.). Można też wyznaczyć histogram innych wielkości, np. masy czy objętości, trzeba wziąć jednak pod uwagę konieczność wykonania dużej liczby pomiarów.

Wykonanie doświadczenia:

1. Mierzmy długości przedmiotów, x_i , zapisujemy wyniki i sporządzamy histogram. Należy dobrać odpowiednią liczbę przedziałów w histogramie tak, żeby nie był on zbyt "postrzępiony" ani też zbyt "ubogi". Wykonanie małej liczby pomiarów zawsze prowadzi do histogramu zbyt "ubogiego".

2. Obliczamy wartość średnią, x_{sr} , jej błąd oraz odchylenie średnie standardowe, σ , mierzonych wielkości x_i .

3. Na histogramie rysujemy krzywą odpowiadającą rozkładowi Gaussa:

$$y(x) = \frac{A}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(x-x_{sr})^2/2\sigma^2}, \quad (15.1)$$

gdzie A jest polem powierzchni pod histogramem. Czy otrzymany rozkład podlega rozkładowi Gaussa, czy może takiego wniosku wyciągnąć nie można? Odpowiedź uzasadnić.

4. Używając testu χ^2 przetestować hipotezę o zgodności otrzymanego rozkładu z rozkładem Gaussa [Bra1,283÷287].

16. Badanie fal stojących w powietrzu

(1 tydzień, 8 pkt.)

Zagadnienia: fale akustyczne, fale płaskie, fale stojące, rezonans, interferencja.

literatura: Szy75, 233÷237, 245÷247, Szy99, 331÷343; Res75 503÷509; Res98 597÷613.

Celem doświadczenia jest sprawdzenie liniowej zależności pomiędzy częstotliwością a długością fali dźwiękowej oraz wyznaczenie prędkości dźwięku.

W układzie znajduje się rura z regulowanym poziomem lustra wody. W górnej części znajduje się głośnik połączony z generatorem drgań sinusoidalnych oraz mikrofon połączony z woltomierzem prądu zmiennego. Dla ustalonej częstotliwości badamy zależność napięcia od położenia lustra wody. Położenie to mierzymy katetometrem. Wyniki przedstawiamy na wykresie i odczytujemy jaki jest okres zmian napięcia. Określamy długość fali i wyznaczmy błąd pomiaru

Pomiary długości fali stojącej przeprowadzamy dla możliwie małych i możliwie dużych częstotliwości. Ponieważ:

$$v = c/\lambda, \quad (16.1)$$

gdzie v jest częstotliwością, c prędkością a λ długością fali, wyniki przedstawiamy na wykresie, którego osią odciętych jest odwrotność długości fali, $1/\lambda$, a osią rzędnych częstotliwość v . Dyskutujemy, czy otrzymaliśmy zależność liniową i jeśli tak, dopasowujemy linię prostą. Z wartości parametrów dopasowania wyznaczamy prędkość dźwięku.

Uwaga: proszę się upewnić, że w generatorze ustawiony jest sygnał sinusoidalny a nie prostokątny!!!

17. Badanie zmian gęstości wody w funkcji temperatury

(1 tydzień, 8 pkt.)

Zagadnienia: gęstość bezwzględna, gęstość względna, ciężar właściwy, współczynnik rozszerzalności liniowej, współczynnik rozszerzalności objętościowej, siła wyporu, waga Westphala, waga Moora, waga hydrostatyczna, anomalna rozszerzalność wody.

Literatura: Rew1,62÷66; Dry1,57÷60, 65÷68; Szcz1,t.2,15÷22.

Celem doświadczenia jest wyznaczenie gęstości względnej wody w funkcji temperatury.

Sposób wyznaczania gęstości cieczy podany jest w cytowanej literaturze. Układ pomiarowy wyposażony jest w łaźnię wodną umożliwiającą zmianę temperatury wody. Temperatury niższe od pokojowej uzyskujemy przez umieszczenie w łaźni wodnej lodu lub przez dolanie niewielkiej ilości ciekłego azotu. Temperatury wyższe osiągamy przez ogrzewanie łaźni grzałką o regulowanej mocy. Temperaturę mierzymy termometrem laboratoryjnym. Zwracamy uwagę na to by nurek był całkowicie zanurzony i nie dotykał do ścianek naczynia.

Używamy wody destylowanej. W czasie podgrzewania łaźni wodnej do nurka mogą przyczepiać się pęcherzyki powietrza, które fałszują pomiary. Pamiętajmy o usuwaniu tych pęcherzyków.

Pamiętać musimy o tym, że objętość nurka szklanego zależy od temperatury (rozszerzalność cieplna szkła). Uwzględniamy to określając granice współczynnika liniowej rozszerzalności temperaturowej materiału, α [Por1], z którego zrobiony jest nurek, oraz wyznaczając objętość nurka. Możemy przyjąć, że względne zmiany objętości $\Delta V/V$ są proporcjonalne do względnych zmian rozmiarów liniowych $\Delta L/L$, więc:

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{3\Delta L}{L} = 3\alpha\Delta T. \quad (17.1)$$

Wyniki pomiarów przedstawiamy na wykresie. Ponieważ waga nie jest wyskalowana w jednostkach bezwzględnych, przedstawiamy wielkości względne, tj. stosunek $\rho(t)/\rho(20^\circ\text{C})$ w funkcji temperatury, gdzie $\rho(t)$ jest gęstością wody w temperaturze t . W ten sam sposób przedstawiamy też dane literaturowe [Por1,A32÷A34].

18. Badanie natężenia oświetlenia punktowego źródła światła

(1 tydzień, 8 pkt.)

Zagadnienia: zjawisko fotoelektryczne wewnętrzne, fotoopornik, zależność natężenia światła od odległości od źródła punktowego.

Literatura: Szy75, 517÷521; Szy98 448÷451, 466÷468; Mey1, 289÷297; Szy2,287÷297.

Celem doświadczenia jest wyznaczenie zależności natężenia światła wysyłanego przez punktowe źródło od odległości od źródła. Detektorem natężenia oświetlenia jest fotoopornik.

Zmiana przewodnictwa σ (odwrotności oporu: $\sigma=1/R$) fotoopornika powodowana jest zjawiskiem fotoelektrycznym wewnętrznym. Z tego powodu można spodziewać się liniowej zależności przewodnictwa σ od natężenia oświetlenia. Natężenie światła wysyłanego przez źródło punktowe maleje z odległością r jak $1/r^2$.

1. Przeprowadzenie pomiarów

Wykonujemy pomiary badając przewodnictwo σ w zależności od odległości fotoopornika od punktowego źródła światła. Na ławie optycznej ustawiamy fotoopornik, lampę z soczewką stanowiącą źródło światła oraz idealizację punktowego źródła światła. Punktowe źródło światła wykonane jest z rozpraszającej szybki (matówki) umieszczonej w przesłonie z małym otworem. Na otworze z matówką powinien skupiać się strumień światła. Ustawiamy lampę i ogniskową soczewki tak, by otwór był oświetlony najsilniej. Staramy się ustawić układ tak, by ilość rozproszonego światła poza otworem była jak najmniejsza. Zwracamy uwagę na poprawny pomiar odległości. Studenci często popełniają błąd i za r przyjmują odległości pomiędzy jakimiś częściami uchwytów. Odległość r jest odcinkiem pomiędzy matówką a aktywną częścią fotoopornika.

Mierzymy również przewodnictwo σ_∞ przy zasłoniętej matówce. Wartość σ_∞ odpowiada przewodnictwu pochodzącemu od światła rozproszonego (oraz od przewodnictwa w nieobecności oświetlenia).

Sprawdzamy powtarzalność pomiarów $\sigma(r)$ oraz szacujemy dokładności wyznaczenia σ i r umożliwiające przez przyrządy pomiarowe. Te dane wykorzystamy w rachunku błędów.

2. Opracowanie wyników

Możemy zapisać, że

$$\sigma = \frac{A}{r^2} + \sigma_\infty, \quad (18.1)$$

gdzie A jest nieznaną stałą. Przekształcamy (18.1) do postaci:

$$\ln \frac{\sigma - \sigma_\infty}{\sigma_0} = \ln A' - 2 \ln \frac{r}{r_0}, \quad (18.2)$$

gdzie r_0 jest jednostką długości ($r_0=1\text{m}$), σ_0 jednostką przewodnictwa ($\sigma_0=1/\Omega$), a A' pewną stałą. Przedstawiamy dane na wykresie, którego osiami są $\ln \frac{\sigma - \sigma_\infty}{\sigma_0}$ oraz $\ln \frac{r}{r_0}$.

Sprawdzamy, czy punkty pomiarowe układają się na linii prostej i jeśli tak, to wyznaczamy jej współczynnik kierunkowy.

19. Badanie napięcia w obwodzie RC

(1 tydzień, 8 pkt.)

Zagadnienia: opór, pojemność, prąd, napięcie, prawo Ohma, prądy i napięcia w obwodzie RC, opór wewnętrzny woltomierza, woltomierz elektrostatyczny.

literatura: Hal80,191÷197; Hal98,105÷111, 165÷170; Rew1, 221÷224, 231÷232
Szy75,367÷370,341; Szy99,217÷217,224; Szy2,287÷297.

Celem doświadczenia jest wyznaczenie zależności napięcia od czasu w obwodzie RC oraz porównanie z odpowiednimi zależnościami teoretycznymi.

Uwaga: Elementy obwodu (wyjście zasilacza oraz okładki kondensatora) mogą znajdować się pod wysokim napięciem. Nie należy dotykać ręką do niez izolowanych elementów obwodu. Wszelkie zmiany w obwodzie robimy po uprzednim zmniejszeniu napięcia na zasilaczu do 0, wyłączeniu zasilacza i rozładowaniu kondensatora. W celu rozładowania kondensatora ustawiamy przełącznik w pozycji 1 i zwieramy okładki kondensatora metalowym elementem z izolującym uchwytem (podczas wyładowania widać iskrę i słychać trzask).

1. Ładowanie kondensatora

a) przeprowadzenie pomiarów

W układzie znajduje się opornik o oporze kilku MΩ oraz kondensator o pojemności rzędu 1μF. Budujemy układ według schematu przedstawionego na rysunku 19.1.

Przełącznik ustawiamy w pozycji 1, włączamy zasilacz i czekamy, aż przestanie piszczeć (piszczenie sygnalizuje wstępne ustawianie parametrów lub przeciążenie zasilacza). Ustawiamy zasilacz na 300V.

Ustawiamy przełącznik w pozycji 2 i jednocześnie uruchamiamy zegar. Notujemy wskazania woltomierza i zegara. Warto przeprowadzić pomiary kilkakrotnie w celu określenia powtarzalności i błędów. W tym celu ustawiamy przełącznik w pozycji 1 i zwieramy okładki kondensatora metalowym elementem z izolującym uchwytem.

Wartości oporu i pojemności mierzymy bezpośrednio miernikiem uniwersalnym.

b) opracowanie danych

W czasie ładowania (przełącznik w pozycji 2) napięcie wskazywane przez woltomierz w chwili t jest równe:

$$U(t) = U_{\infty} \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right), \quad (19.1)$$

gdzie U_{∞} jest napięciem na kondensatorze po bardzo długim czasie (czy to napięcie jest równe napięciu na zasilaczu?), t czasem, R opornością opornika a C pojemnością kondensatora. Przekształcamy (12.1) do postaci:

$$t = -RC \ln \left(1 - \frac{U(t)}{U_{\infty}} \right). \quad (19.2)$$

Przedstawiamy wyniki pomiarów na wykresie, gdzie współrzędnymi są czas oraz logarytm z $1-U(t)/U_\infty$. Sprawdzamy, czy punkty układają się na linii prostej i jeśli tak, to ze współczynnika kierunkowego określamy wartość RC . Dyskutujemy, czy ta wartość jest zgodna z iloczynem RC otrzymanym drogą bezpośredniego pomiaru R i C .

2. Rozładowanie kondensatora

Ustawiamy przełącznik w pozycji 2 i czekamy aż kondensator całkowicie się naładuje. Przesuwamy przełącznik do pozycji 1, uruchamiamy zegar i notujemy wskazania przyrządów.

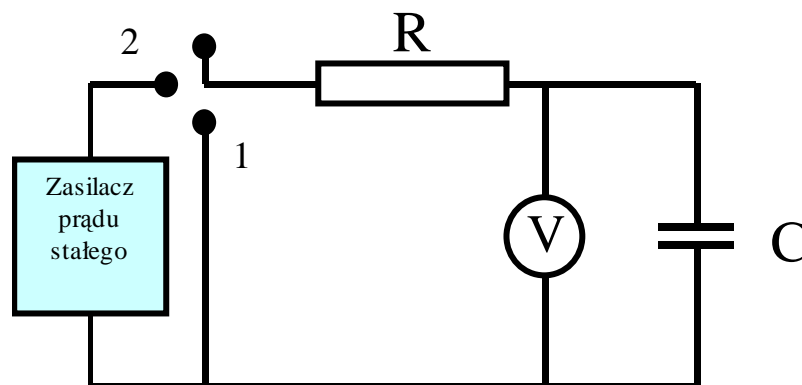
Podczas rozładowania napięcie wskazywane przez woltomierz w chwili t jest równe:

$$U(t) = U_0 e^{\frac{-t}{RC}}, \quad (19.3)$$

gdzie U_0 jest napięciem na kondensatorze w chwili $t=0$. Przekształcamy (19.3) do postaci:

$$t = -RC \ln\left(\frac{U(t)}{1V}\right) + RC \ln\left(\frac{U_0}{1V}\right). \quad (19.4)$$

Wyniki pomiarów na wykresie, gdzie współrzędnymi są czas oraz logarytm z $U(t)/1V$ ($1V$ jest jednostką napięcia i pojawia się w mianownikach wyrażenia (19.4) po to, by logarytmować wielkość bezwymiarową). Sprawdzamy, czy punkty układają się na linii prostej i jeśli tak, to ze współczynnika kierunkowego określamy wartość RC . Dyskutujemy, czy ta wartość jest zgodna z iloczynem RC otrzymanym drogą bezpośredniego pomiaru R i C .



Rys. 19.1 Schemat układu do badania napięcia w obwodzie RC.

20. Badanie prądu w obwodzie RC

(1 tydzień, 8 pkt.)

Zagadnienia: opór, pojemność, prąd, napięcie, prawo Ohma, prądy i napięcia w obwodzie RC, opór wewnętrzny woltomierza, woltomierz elektrostatyczny.

*literatura: Hal80,191÷197; Hal98,105÷111, 165÷170; Rew1, 221÷224, 231÷232
Szy75,367÷370,341; Szy99,217÷217,224; Szy2,287÷297.*

Celem doświadczenia jest wyznaczenie zależności prądu od czasu w procesie ładowania i rozładowania kondensatora w obwodzie RC oraz porównanie z odpowiednimi zależnościami teoretycznymi.

Uwaga: Elementy obwodu (wyjście zasilacza oraz okładki kondensatora) mogą znajdować się pod wysokim napięciem. Nie należy dotykać ręką do nieizolowanych elementów obwodu. Wszelkie zmiany w obwodzie robimy po uprzednim zmniejszeniu napięcia na zasilaczu do 0, wyłączeniu zasilacza i rozładowaniu kondensatora. W celu rozładowania kondensatora ustawiamy przełącznik w pozycji 1 i zwieramy okładki kondensatora metalowym elementem z izolującym uchwytem (podczas wyładowania widać iskrę i słychać trzask).

1. Przeprowadzenie pomiarów.

W układzie znajduje się opornik o oporze kilku MΩ oraz kondensator o pojemności rzędu 1μF. Budujemy układ według schematu przedstawionego na rysunku 20.1. Przełącznik ustawiamy w pozycji 2, włączamy zasilacz i czekamy, aż przestanie piszczeć (piszczenie sygnalizuje wstępne ustawianie parametrów lub przeciążenie zasilacza). Ustawiamy zasilacz na 300V. Ustawiamy przełącznik w pozycji 1 i jednocześnie uruchamiamy zegar. Notujemy wskazania amperomierza i zegara.

Po naładowaniu kondensatora ustawiamy przełącznik w pozycji 2 i jednocześnie uruchamiamy zegar. Mierzmy prąd podczas rozładowywania się kondensatora.

Warto przeprowadzić pomiary kilkakrotnie w celu określenia powtarzalności i błędów. Wartości oporu i pojemności mierzymy bezpośrednio miernikiem uniwersalnym.

Prąd w chwili t w procesie ładowania kondensatora dany jest zależnością:

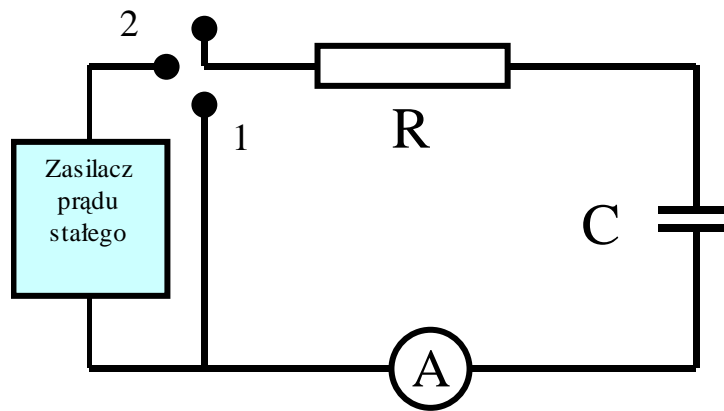
$$I(t) = I_0 \cdot e^{\frac{-t}{RC}}, \quad (20.1)$$

gdzie I_0 jest prądem w chwili $t=0$ (w procesie rozładowania prąd płynie w przeciwną stronę, a zależność od czasu jest taka jak w (20.1)). Przekształcamy (20.1) do postaci:

$$t = -RC \ln\left(\frac{I(t)}{1\text{mA}}\right) + RC \ln\left(\frac{I_0}{1\text{mA}}\right). \quad (20.2)$$

Wyniki pomiarów na wykresie, gdzie współrzędnymi są czas oraz logarytm z $I(t)/1\text{mA}$ (1mA jest jednostką prądu i pojawia się w mianownikach wyrażenia (20.2) po to, by logarytmować wielkość bezwymiarową). Sprawdzamy, czy punkty układają się na linii prostej i jeśli tak, to

ze współczynnika kierunkowego określamy wartość RC . Dyskutujemy, czy ta wartość jest zgodna z iloczynem RC otrzymanym drogą bezpośredniego pomiaru R i C .



Rys. 20.1 Schemat układu do badania prądu w obwodzie RC.

21. Wahadło rewersyjne

(1 tydzień, 8 pkt.)

Zagadnienia: przyspieszenie ziemskie, wahadło matematyczne, wahadło fizyczne, wahadło rewersyjne, drgania harmoniczne, małe drgania.

Literatura: Szy75,206,216÷219; Szy99,300,306÷309; Dry1,97÷102.

Celem doświadczenia jest możliwie dokładne wyznaczenie przyspieszenia ziemskiego za pomocą wahadła rewersyjnego.

Sposób przeprowadzenia pomiarów opisany jest w podanej niżej literaturze. Odległość między osiami obrotu mierzymy przy użyciu taśmy stalowej. Czas mierzymy zegarem elektronicznym. Pamiętajmy o błędach związanych momentem uruchomienia i zatrzymania zegara - zależnych od refleksu eksperymentatora.

Zwracamy uwagę na to, że warunek równości okresów (przy wahaniach wokół jednej a potem drugiej osi) spełniony jest w dwóch przypadkach: wtedy, gdy środek ciężkości wahadła leży w odpowiednim punkcie, bliżej jednej z osi oraz wtedy, gdy leży dokładnie pomiędzy osiami.

Układ wyposażony jest w śruby regulacyjne pozwalające na poziome ustawienie osi podstawki na której spoczywa wahadło. W przypadku niepoprawnego ustawienia wahadło wykonuje dodatkowe, niepożądane drgania.

22. Wyznaczanie prędkości dźwięku w CO₂

(1 tydzień, 8 pkt.)

Zagadnienia: ruch falowy, dźwięk, zasada pracy oscyloskopu

literatura: Res80,597÷602; Res98,496÷500; Feyl, t.I,cz.2 328÷329.

Celem doświadczenia jest zmierzenie prędkości dźwięku w powietrzu oraz w dwutlenku węgla metodą oscyloskopową.

1. Idea pomiaru

Generator wysyła co pewien czas (ok. 0.1s) sygnał sinusoidalny o częstotliwości rzędu kHz (patrz Rys. 22.1). Sygnał ten wędruje na wejście głośnika tworząc falę dźwiękową, która biegnie wzdłuż rury wypełnionej gazem. Ten sam sygnał wędruje na wejście A oscyloskopu dwukanałowego tworząc obraz. Fala dźwiękowa po pewnym czasie (bardzo krótkim w porównaniu do czasu reakcji człowieka!) dociera do mikrofonu i generuje w nim sygnał elektryczny, który doprowadzany jest na wejście B oscyloskopu. Na oscyloskopie możemy obserwować opóźnienie sygnału docierającego z mikrofonu (wejście B) w stosunku do sygnału docierającego z generatora (wejście A). Opóźnienie to test czasem w którym fala dźwiękowa przebywa drogę H .

2. Przeprowadzenie wstępnych testów

Budujemy zestaw według schematu przedstawionego na rys. 22.1. Włączamy zasilacz generatora, słyszymy charakterystyczny dźwięk wydawany przez głośnik. Włączamy oscyloskop i obserwujemy sygnały na wejściu A i B oscyloskopu. Warunki pracy oscyloskopu ustawiamy tak, by oscyloskop był wyzwalany sygnałem z wejścia A. Dobieramy wzmocnienie oraz podstawę czasu tak, by można było wygodnie odczytywać opóźnienie sygnału ΔT (rys. 22.2).

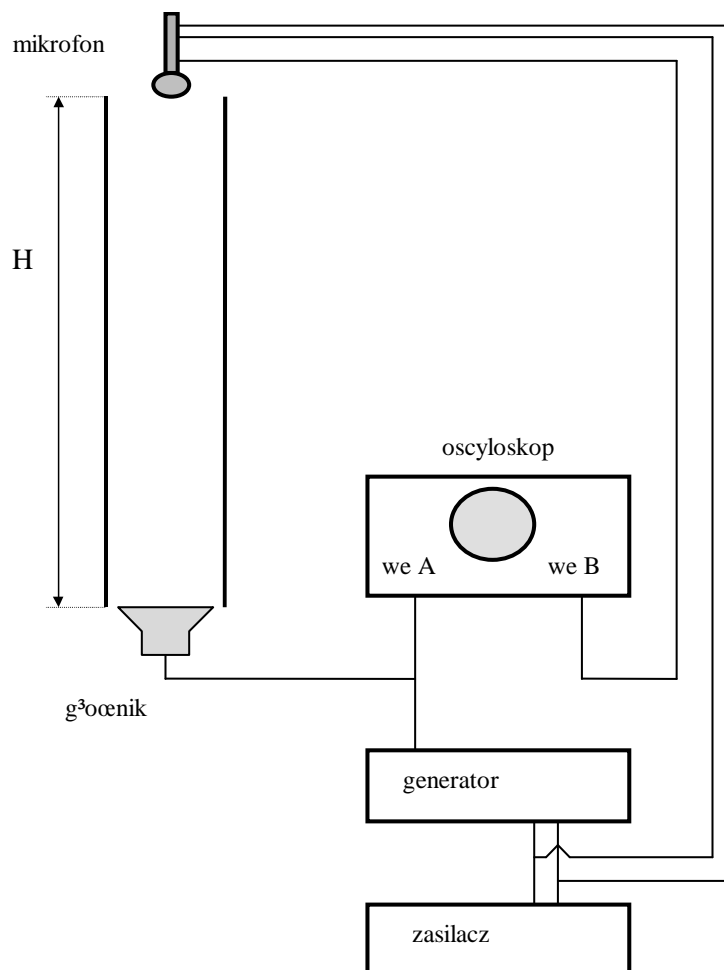
W celu upewnienia się że obserwowane na oscyloskopie przesunięcie sygnałów związane jest z opóźnieniem sygnału docierającego z mikrofonu (patrz rys. 22.2) przeprowadzamy dwa testy. W pierwszym zmieniamy częstotliwość sygnału dźwiękowego (pokrętko na generatorze). Nie powinno to zmienić opóźnienia sygnału ΔT . W drugim teście zmieniamy położenie mikrofonu. Obserwujemy zmianę czasu ΔT na ekranie oscyloskopu.

3. Przeprowadzenie właściwych pomiarów.

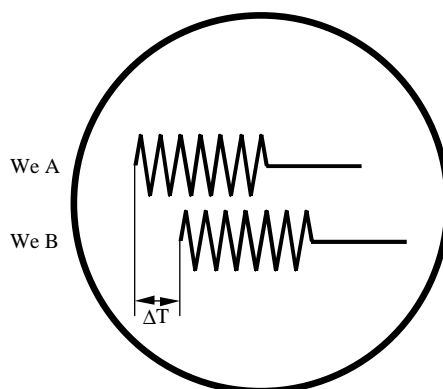
Zaczynamy od pomiaru prędkości dźwięku w powietrzu. Usuwamy z rury resztki dwutlenku węgla, które mogły pozostać po poprzednio przeprowadzonym eksperymencie. Następnie mierzymy czas ΔT dla różnych odległości mikrofonu od głośnika H . Wyznaczamy błędy pojedynczych pomiarów. Następnie przedmuchiemy rurę dwutlenkiem węgla i przeprowadzamy analogiczne pomiary.

4. Opracowanie danych

Zmierzone zależności ΔT i H przedstawiamy na wykresie. Sprawdzamy, czy punkty układają się na linii prostej przechodzącej przez początek układu współrzędnych. Jeśli tak to do punktów eksperymentalnych dopasowujemy linię prostą i na podstawie współczynnika kierunkowego wyznaczamy prędkość dźwięku. Porównujemy otrzymane wyniki z literaturą.



Rys. 22.1 Układ do pomiarów prędkości dźwięku w gazie



Rys. 22.2 Sygnały widoczne na ekranie oscyloskopu

23. Badanie refleksu eksperymentatora

(1 tydzień, 8 pkt.)

Zagadnienia: wartość średnia i odchylenie średnie standardowe rozkładu zmiennej losowej, błąd systematyczny, błąd przypadkowy, histogram.

Literatura: Szy75, 41÷52; Bro1,783; Szy2, 75÷82; Bra1, 199÷204, 283÷287.

Celem doświadczenia jest zmierzenie systematycznego oraz przypadkowego błędu spowodowanego refleksem eksperymentatora.

W układzie eksperymentalnym znajduje się dioda migająca z ustalonym okresem. Eksperymentator wciska przycisk w momencie kolejnych mignięć diody. Układ podaje informację o czasie pomiędzy mignięciami oraz czasie pomiędzy kolejnymi wciśnięciami przycisku.

Inny rodzaj pracy układu pozwala na zapalanie się diody w przypadkowych chwilach czasu

1. Przeprowadzenie pomiarów

Wybieramy rodzaj pracy ze stałym okresem. w tym celu wciskamy "USTAW" a następnie kilkakrotnie przycisk Δ lub ∇ aż do uzyskania odpowiedniego okresu. Wciskamy "POMIAR". Mierzmy okresy i zapisujemy wyniki w celu przedstawienia ich na histogramie.

Uwaga: Zaleca się robienie histogramów już w czasie przeprowadzania pomiarów, ponieważ widać wtedy wyraźnie czy można zakończyć serię pomiarową, czy też należy kontynuować pomiary.

Zmieniamy okres na znacznie krótszy i przeprowadzamy kolejną serię pomiarów.

Zmieniamy sposób zapalania się diody z okresowego na przypadkowy. Wciskamy kilkakrotnie przycisk Δ aż do pojawienia się "OKRES MRUGANIA LOSOWY". Wciskamy "POMIAR" i przeprowadzamy kolejną serię pomiarów.

2. Opracowanie pomiarów

Wyniki przedstawiamy na histogramach. Znajdujemy wartość średnią oraz odchylenie średnie standardowe. Używając testu χ^2 testujemy hipotezę o zgodności otrzymanych rozkładów z rozkładem Gaussa. Dyskutujemy otrzymane rezultaty. Czy w czasie wykonywania eksperymentu "uczymy się". Jak wpływa to na wynik pomiarów? Jak to sprawdzić?

24. Badanie rozszerzalności cieplnej powietrza

(1 tydzień, 9 pkt.)

Zagadnienia: gaz doskonały, równanie stanu gazu doskonałego, współczynnik rozszerzalności liniowej i objętościowej, współczynnik rozszerzalności objętościowej gazu doskonałego przy stałym ciśnieniu.

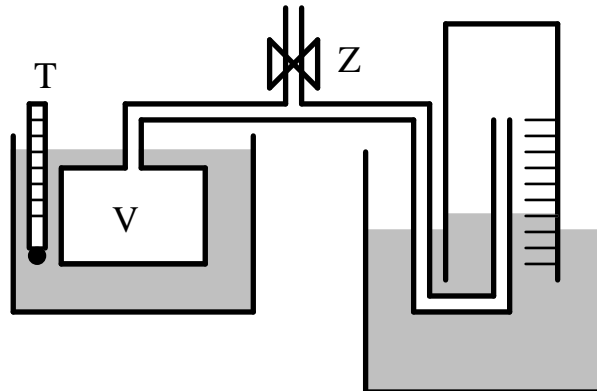
literatura: Res80,683÷696; Res98,571÷581; Szy75, 259÷261; Szy99, 405÷406; Szy2,297÷305.

Celem doświadczenia jest zbadanie zmian objętości powietrza pod wpływem zmian temperatury przy stałym ciśnieniu.

1. Idea doświadczenia

Układ pomiarowy składa się ze szczelnego naczynia zanurzonego w łaźni wodnej (czajnik), które połączone jest rurką z odwróconym do góry dnem cylindrem pomiarowym (rys.10.1). Dolny brzeg cylindra zanurzony jest w wodzie. Położenie cylindra można zmieniać tak, by w układzie było stałe ciśnienie równe ciśnieniu atmosferycznemu. Wzrost temperatury w objętości V powoduje wzrost objętości powietrza, które wypycha wodę z cylindra pomiarowego.

W układzie znajduje się drugie naczynie o objętości V służące do wyznaczenia objętości.



Rys.10.1 Układ do pomiarów rozszerzalności termicznej gazów

2. Wykonanie doświadczenia.

Nalewamy zimnej wody do czajnika tak, by naczynie V było całkowicie zanurzone. Otwieramy zawór Z i umieszczamy cylinder pomiarowy możliwie nisko względem lustra wody. Zamykamy zawór Z i zaczynamy właściwe pomiary. Odczytujemy temperaturę wskazywaną przez termometr T . Dobieramy położenie cylindra pomiarowego tak, by lustra wody w cylindrze i na zewnątrz cylindra były na tym samym poziomie (w sytuacji przedstawionej na rysunku lustra nie są na tym samym poziomie i cylinder należałoby opuścić). Odczytujemy położenie poziomu na cylindrze pomiarowym.

Włączamy grzałkę kąpielii wodnej i zmieniamy temperaturę w naczyniu V . Grzałka zasilana jest przez autotransformator co pozwala na zmianę szybkości grzania i ustalenie określonej temperatury w naczyniu V . Gdy będziemy pewni, że naczynie V osiągnęło

temperaturę wskazywaną przez termometr, korygujemy położenie cylindra pomiarowego (lustra wody na tym samym poziomie!) i ponownie odczytujemy położenie lustra wody.

W czasie przeprowadzania pomiarów mierzymy drugim termometrem temperaturę pomieszczenia (cylindra pomiarowego). Wyznaczamy również objętość naczynia V przy użyciu innego cylindra pomiarowego.

3. Analiza wyników.

Zakładamy, że cylinder pomiarowy znajduje się stale w temperaturze T_0 oraz że ciśnienie atmosferyczne jest równe p_0 . W objętości V oraz w cylindrze i łączącej je rurce znajduje się stała liczba moli powietrza. Załóżmy, że powietrze jest gazem doskonałym. W objętości V w temperaturze T znajduje się n_1 moli powietrza, gdzie z równania Clapeyrona mamy:

$$p_0V = n_1RT \quad (10.1)$$

W cylindrze i rurce znajduje się n_2 moli powietrza, które spełnia równanie:

$$p_0(V_0 + \Delta V_0) = n_2RT_0, \quad (10.2)$$

gdzie $V_0 + \Delta V$ jest objętością powietrza o temperaturze T_0 w cylindrze i rurce, a V_0 objętością powietrza o temperaturze T_0 w cylindrze i rurce, gdy temperatura w naczyniu V wynosi T_0 . Widzimy, że ΔV_0 jest przyrostem objętości w cylindrze pomiarowym spowodowanym zmianą temperatur od T_0 do T .

Ponieważ $n_1 + n_2 = \text{const.}$, więc:

$$\frac{p_0V}{RT} + \frac{p_0(V_0 + \Delta V_0)}{RT_0} = \text{const.} \quad (10.3)$$

po przekształceniu otrzymujemy:

$$\frac{T_0}{T} = -\frac{\Delta V_0}{V} + \text{const.} \quad (10.4)$$

Widzimy, że względne zmiany objętości są związane liniową zależnością ze stosunkiem temperatury otoczenia i kąpieli wodnej, a współczynnik proporcjonalności jest równy -1.

Wyniki pomiarów przedstawiamy na wykresie, którego osiami są $\Delta V_0/V$ oraz T_0/T . Jeśli punkty pomiarowe układają się na linii prostej, znajdujemy współczynnik kierunkowy i dyskutujemy otrzymane rezultaty.

25. Sprawdzanie prawa Malusa

(1 tydzień, 9 pkt.)

Zagadnienia: polaryzacja światła, polaryzator, prawo Malusa, zjawisko fotoelektryczne wewnętrzne, fotoopornik.

Literatura: Szy75, 517÷519, 579÷581; Szy99, 466÷467; Mey1, 244÷245
Hal80, 588÷595; Res98 561÷566.

Celem doświadczenia jest zbadanie natężenia światła przechodzącego przez skrzyżowane polaryzatory, porównanie wyników z prawem Malusa oraz uwzględnienie „nieidealności” polaryzatorów.

1. Pomiary z polaryzatorami.

Na ławie optycznej znajdują się dwa polaryzatory wyposażone w kątomierze oraz źródło światła. Natężenie oświetlenia mierzymy przy użyciu fotoopornika oraz omomierza. Najpierw musimy określić położenie osi polaryzatorów. W tym celu zmieniamy położenie kątowe jednego z polaryzatorów i znajdujemy minimalny opór fotoopornika. Temu położeniu polaryzatorów odpowiada równoległe ustawienie osi optycznych, w naszych oznaczeniach będzie to odpowiadało $\phi=0$.

Notujemy wartość oporu odpowiadającą równoległemu ustawieniu osi, skręcamy jeden z polaryzatorów i ponownie odczytujemy opór. Przyjmujemy, natężenie oświetlenia I jest proporcjonalne do odwrotności oporu (proporcjonalne do przewodnictwa). W ten sposób otrzymujemy eksperymentalną zależność $I(\phi)$, gdzie ϕ jest kątem skreślenia osi polaryzatorów. Sprawdzamy, jaka jest powtarzalność pomiarów $I(\phi)$, i uwzględniamy to w rachunku błędów.

Sprawdzamy, czy po obrocie któregoś z polaryzatorów o π nie zmienia się wartość natężenia światła (dlaczego nie powinna się zmieniać?). Jeśli się zmienia, to uwzględniamy ten fakt w rachunku błędów.

2. Opracowanie wyników.

Sprawdzamy, czy otrzymane wyniki spełniają prawo Malusa:

$$I(\phi) = I_{max} \cos^2 \phi, \quad (25.1)$$

gdzie I_{max} jest maksymalnym natężeniem przechodzącym przez polaryzatory.

Jeśli założymy, że polaryzator jest nieidealny, tzn. amplituda fali spolaryzowanej w płaszczyźnie prostopadłej do osi polaryzatora nie jest wygaszana całkowicie, to można pokazać, że zamiast równania (25.1) trzeba wziąć:

$$I(\phi) = I_{max} \cos^2 \phi + \delta I, \quad (25.2)$$

gdzie δI jest minimalnym natężeniem światła. Ponieważ bezpośredni mierzoną wielkością jest opór, więc:

$$\frac{1}{R} = A \cos^2 \phi + B, \quad (25.3)$$

gdzie A i B są pewnymi stałymi. W przypadku, gdyby zależność (25.1) była spełniona, powinniśmy otrzymać $B=0$.

W celu sprawdzenia które z równań, (25.1) czy (25.2) lepiej opisuje wyniki eksperymentu, sporządzamy wykres, którego osiami są: odwrotność oporu $1/R$ i $\cos^2\phi$. Jeśli punkty eksperymentalne układają się na linii prostej, znajdujemy parametry najlepiej pasującej prostej i dyskutujemy otrzymane rezultaty.

26. Wyznaczanie objętości brył

(1 tydzień, 9 punktów)

Zagadnienia: przemiany gazowe, przemiana izotermiczna, przemiana adiabatyczna, gęstość, ciężar właściwy, ciepło, temperatura.

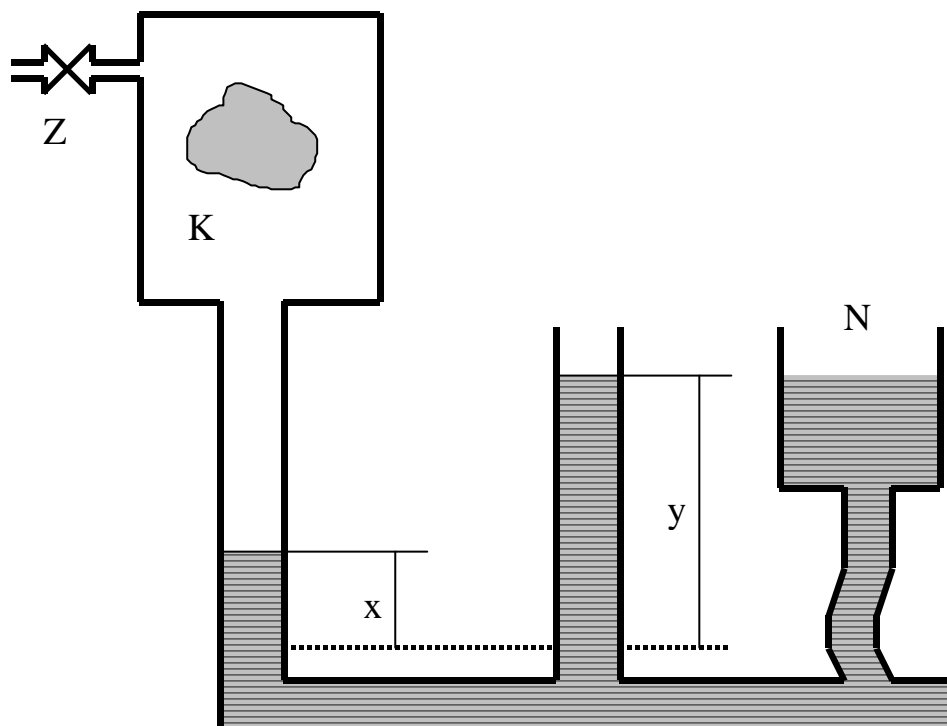
literatura: Res80,683÷696; Res98,571÷581; Szy2,297÷305.

Celem doświadczenia jest wyznaczenie objętości dwóch próbek o nieregularnym kształcie wykonanych ze stopu glinu i ołowiu.

1. Idea doświadczenia

Idea doświadczenia polega na tym, że badany przedmiot zamykamy w szczelnej komorze, zmieniamy objętość komory i mierzymy zmianę ciśnienia gazu w komorze. Zmiana ciśnienia związana jest z objętością ciała. Wcześniej wykonujemy skalowanie używając próbek o znanej objętości. Zaletą metody jest to, że ciało zanurzone jest nie w cieczy a w gazie i nie ma problemów ze zwilżalnością, tworzeniem się pęcherzyków, suszeniem, etc.

Zmiana objętości i pomiar ciśnienia realizowana jest w ten sposób, że z komorą K (rys.26.1) połączone jest jedno ramię szklanej U-rurki, w której znajduje się ciecz. Na koniec drugiego ramienia U-rurki działa ciśnienie atmosferyczne. Do U-rurki dołączone jest dodatkowo naczynie N z cieczą. Zmieniając poziom cieczy w naczyniu zmieniamy ciśnienie i objętość w komorze. Komora wyposażona jest w zawór Z, który można otworzyć w celu wyrównania się ciśnienia atmosferycznego z ciśnieniem w komorze.



Rys. 26.1 Schemat układu do wyznaczenia objętości.

2. Skalowanie przyrządu

Wkładamy do komory określoną ilość walców referencyjnych. Wcześniej mierzymy średnice i wysokości walców suwmiarką i wyznaczamy ich objętości. Otwieramy zawór Z, zamykamy komorę i poprzez zmianę położenia naczynia N doprowadzamy poziomy cieczy w U- rurce do kreski 0 (przerywana pozioma linia na rys. 26.1). Zamykamy powoli i delikatnie zawór Z tak, żeby poziomy się nie zmieniły. Zmieniamy położenie naczynia N i obserwujemy zmiany wysokości słupów cieczy x i y (na rys.26.1 pokazana jest sytuacja po podniesieniu naczynia N). Po odczekaniu tak długiego czasu, że zmiany poziomów już nie zachodzą, notujemy wskazania i znowu zmieniamy położenie naczynia N. W ten sposób dla danej objętości walców referencyjnych V znajdziemy współczynnik proporcjonalności $\alpha(V)$ pomiędzy x i y :

$$y = \alpha(V) \cdot x, \quad (26.1)$$

Ważne jest, by nie robić zbyt dużych zmian poziomów, gdyż wtedy trzeba długo czekać na wyrównanie się temperatur w komorze i na zewnątrz. Mówiąc ściśle, należy dokonywać przemiany gazowej izotermicznej a nie adiabatycznej.

Opisane wyżej pomiary przeprowadzamy dla innych objętości V i wyniki przedstawiamy na wykresie, którego osiami są V i $\alpha(V)$. W ten sposób otrzymamy skalowanie przyrządu.

3. Pomiary objętości

Wkładamy mierzone ciało do komory i tak jak poprzednio wyznaczamy współczynnik proporcjonalności α . Korzystając ze skalowania odczytujemy objętość ciała. Przeprowadzamy pomiar sprawdzający - ważymy ciało i obliczamy gęstość. Wyniki porównujemy z literaturą.

27. Ruch jednostajnie zmienny

(1 tydzień, 9 punktów)

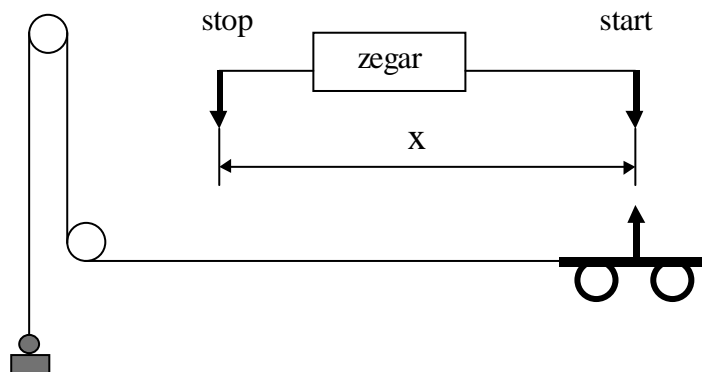
Zagadnienia: definicja położenia, prędkości i przyspieszenia, prędkość średnia, pojęcie pochodnej, ekstrapolacja

literatura: Res80, 57÷70; Res98, 44÷55.

Pierwszym celem doświadczenia jest zbadanie zależności drogi od czasu w ruchu jednostajnie zmiennym. Drugim celem jest pomiar prędkości średniej na coraz krótszych odcinkach drogi i wyznaczenie ekstrapolowanej prędkości średniej, która jest prędkością chwilową.

1. Przeprowadzenie pomiarów

W zestawie znajduje się wózek przyspieszany stałą siłą oraz zegar, który może być włączany lub wyłączany przez przejeżdżający wózek.

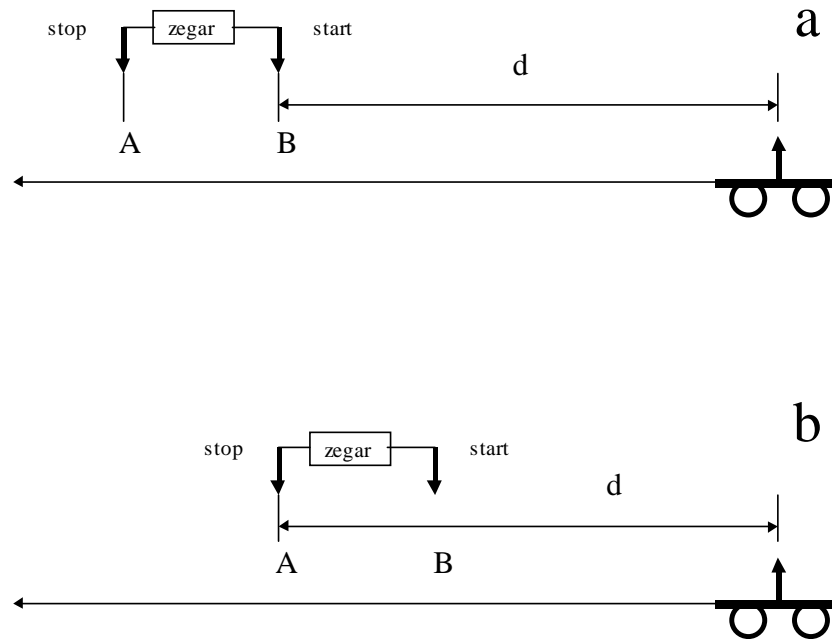


Rys. 27.1 Schemat układu do badania zależności drogi od czasu

W pierwszej części eksperymentu badamy jak zależy droga x od czasu, który upływa od uruchomienia do zatrzymania zegara (rys 27.1).

W drugiej części ustawiamy układ startujący w stałej odległości d od wózka, w punkcie B, (rys.27.2 a). Układ zatrzymujący ustawiamy w punkcie A. Puszczamy wózek z prędkością początkową równą zero i mierzymy czas przejazdu odcinka AB. Następnie zmieniamy położenie punktu A i powtarzamy pomiary. Otrzymujemy zależność czasu przejazdu od odległości AB przy ustalonej odległości d .

Następnie ustawiamy układ według rys. 27.2b zachowując nie zmienioną odległość d i przeprowadzamy analogiczne pomiary.



Rys. 27.2 Schemat układu do wyznaczania prędkości chwilowej.

2. Opracowanie wyników

W pierwszej części eksperymentu sprawdzamy zależność

$$x = \frac{1}{2} at^2 \quad (27.1)$$

W tym celu wyniki przedstawiamy na wykresie, którego osiami są x i t^2 . Z nachylenia prostej otrzymujemy wartość przyspieszenia.

W drugiej części eksperymentu przedstawiamy na wykresie zależność prędkości średniej v_{AB} od czasu przejazdu odcinka AB, t_{AB} . Ekstrapolujemy wyniki do $t_{AB}=0$. Otrzymaną w ten sposób prędkość chwilową porównujemy ze spodziewaną prędkością w ruchu jednostajnie zmiennym:

$$v = \sqrt{2ad} \quad (27.2)$$

28. Badanie drgań torsyjnych

(1 tydzień, 9 punktów)

Zagadnienia: prawo Hooke'a, moduł Yunga, moduł sztywności, współczynnik Poissona, drgania harmoniczne, małe drgania, moment bezwładności.

Literatura: Res80,321÷338, 414÷428; Res98,266÷279,344÷354; Szy75,153÷156,167÷169; Szy99,170÷179; Szy2,287÷297.

Celem doświadczenia jest zbadanie zależności okresu drgań ciała zawieszonoego na sprężystym drucie od momentu bezwładności i długości drutu oraz wyznaczenie modułu sztywności drutu.

1. Przeprowadzenie pomiarów.

W układzie pomiarowym znajduje się kilka jednorodnych brył, które mają kształt wydrążonych walców („kółek” z otworami). Ważymy poszczególne bryły i mierzymy ich rozmiary w celu wyznaczenia momentów bezwładności. Mocujemy kilka spośród brył w dolnym uchwycie drutu. Górny koniec drutu (używamy tu strun gitarowych) mocujemy w uchwycie stojaka. Mierzmy długość części drutu znajdującej się między uchwytami oraz średnicę drutu. Obracamy bryłę o mały kąt (jak najmniejszy, umożliwiając jeszcze obserwacje drgań, małe drgania!) i wyznaczamy okres drgań. Pomiarów okresu dokonujemy dla różnych długości drutu i różnej ilości zawieszonych brył. Do zliczania okresów możemy użyć licznika drgań.

2. Opracowanie wyników.

Okres drgań torsyjnych wyraża się wzorem:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{2l(J + J_0)}{\pi G r^4}}, \quad (28.1)$$

gdzie J jest momentem bezwładności zawieszonych brył, J_0 momentem bezwładności uchwytu, r promieniem drutu, l jego długością a G modułem sztywności materiału, z którego wykonany jest drut.

Moment bezwładności wydrążonego walca względem osi przechodzącej przez środek prostopadle do podstaw wynosi:

$$J = \frac{1}{2} m (R_1^2 - R_2^2), \quad (28.2)$$

gdzie m jest masą a R_1 i R_2 promieniami podstawy.

Wyniki przedstawiamy na wykresie, w którym na jednej osi jest T^2/l a na drugiej J . Wszystkie pomiary przedstawiamy na tym samym wykresie. Wprowadzamy różne oznaczenia dla punktów pomiarowych odpowiadające różnym strunom. Sprawdzamy, czy punkty pomiarowe układają się na linii prostej. Jeśli tak, znajdujemy równanie prostej najlepiej pasującej do danych. Czy prosta powinna przechodzić przez początek układu współrzędnych? Jaki jest sens fizyczny wyrazu wolnego w równaniu prostej? Wyznaczamy moduł sztywności materiału, z którego zrobione są struny. Porównujemy z danymi dla stali i dyskutujemy otrzymany wynik.

Jak korzystać z licznika drgań?

Licznik drgań służy do zliczania drgań w zadanym czasie szczególnie przydatny jest przy mierzeniu małych okresów. Składa się z przystawki, w której umieszczono źródło światła i fototranzystor rozdzielone szczeliną, zasilacza i przelicznika P-44. Drgająca wskazówka przecina wiązkę światła i wtedy generowany jest impuls rejestrowany dalej przez przelicznik P-44. W celu uruchomienia licznika drgań włączamy zasilacz (widać padającą wiązkę światła), szczelinę przystawki umieszczamy tak, by drgająca wskazówka przecinała wiązkę światła. Włączamy przelicznik P-44, wciskamy „preset count”, ustawiamy określoną liczbę zliczeń, np. 2×10^2 „pulses” i wciskamy przycisk „start-stop”. Przelicznik P-44 mierzy czas trwania 200 impulsów powstających w chwili przecinania wiązki światła przez wskazówkę. Zwracamy uwagę na to, że jednemu okresowi odpowiadają dwa impulsy (dlaczego?).

29. Współczynnik temperaturowy oporu

(1 tydzień, 9 punktów)

Zagadnienia: napięcie i natężenie prądu, opór, prawo Ohma, opór właściwy, zależność oporności od temperatury (dla metali, półprzewodników i izolatorów), współczynnik temperaturowy oporu.

literatura: Szy75, 379÷386; Szy99 448÷452; Gin1, 316÷320, Enc1, t.2, 405; Enc1, t.2, 706; Enc1, t.3, 722; instrukcja doświadczenia 6.

Celem doświadczenia jest wyznaczenie temperaturowych współczynników oporu metali.

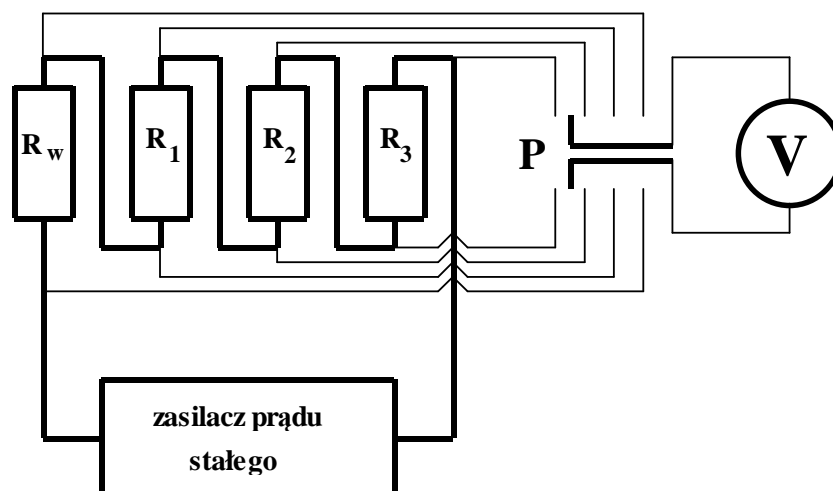
Trzy próbki, R_1 , R_2 i R_3 oraz opornik wzorcowy R_w (Rys. 29.1) połączone są szeregowo ze źródłem prądu stałego (aktualnie w układzie znajdują się oporniki wykonane z miedzi, platyny i wolframu; biały osad na opornikach, który może kojarzyć się z zaawansowaną korozją to szkło wodne użyte do usztywnienia drutu). Natężenie prądu wyznaczamy poprzez pomiar napięcia na oporniku wzorcowym R_w . Układ zasilany jest zasilaczem prądu stałego, który najwygodniej jest ustawić na stabilizację prądową (dlaczego?).

Opór mierzymy metodą czteropunktową. Do każdej próbki dołączone są w tym celu dwa kontakty napięciowe. Przełącznikiem P można wybrać połączenie kontaktów napięciowych odpowiedniej próbki z woltomierzem.

Próbki są umieszczone w naczyniu aluminiowym, które ogrzewamy w kąpeli wodnej. Temperaturę mierzymy termometrem umieszczonym w pobliżu próbek. Pamiętać musimy o tym, że w czasie podgrzewania lub chłodzenia różne części układu mają różne temperatury. Staramy się więc tak zaplanować i przeprowadzić pomiary, by szybkości zmian temperatury były możliwie małe. W celu upewnienia się, czy skończone szybkości zmian temperatury nie zaburzają pomiarów, przeprowadzamy je zarówno podczas podgrzewania układu, jak i chłodzenia.

Wyniki pomiarów przedstawiamy graficznie i dyskutujemy, czy otrzymaliśmy liniową zależność oporu od temperatury. Jeśli tak, wyznaczamy współczynniki temperaturowe oporu i porównujemy je z danymi literaturowymi.

Uwaga: prąd płynący przez oporniki nie może przekraczać 0.3A!!!



Rys. 29.1. Schemat układu do wyznaczania współczynników temperaturowych oporu metali.

30. Doświadczenie Francka-Hertza

(1 tydzień, 10 punktów)

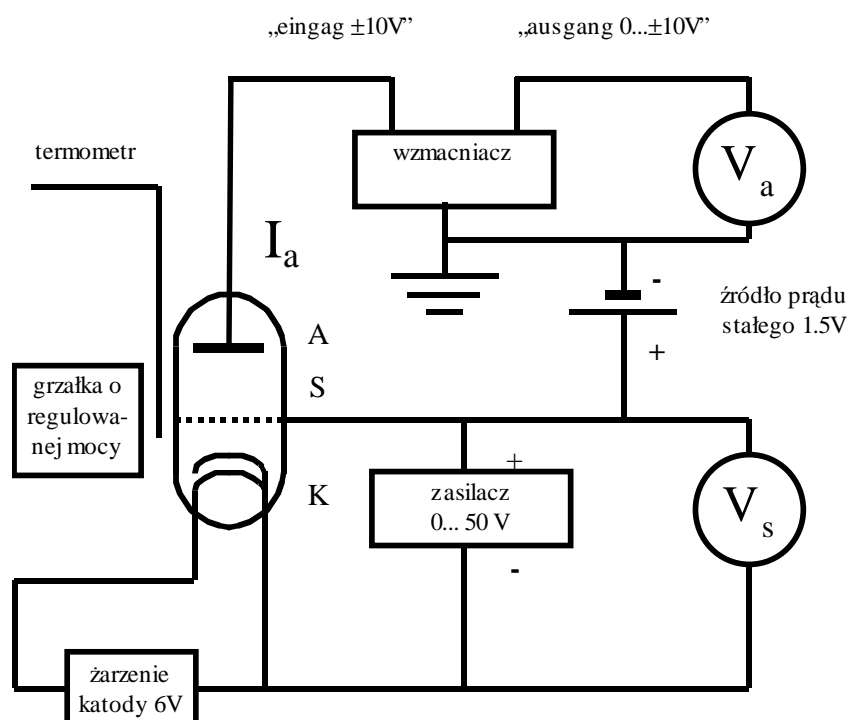
Zagadnienia: pojęcie kwantu energii, energia fotonu, jonizacja atomu.

literatura: Szy75, 604÷606; Szy99 511÷515; Phy 1, Eis1, 132÷135; Hal80, 629÷631, 639÷644; Hal98 594÷596, 600÷606; Enc1, t.1, 634÷635.

Celem doświadczenia jest wyznaczenie różnicy energii pomiędzy stanem podstawowym elektronów walencyjnych Hg a pierwszym stanem wzbudzonym 6^3P_1 .

1. Idea eksperymentu

W doświadczeniu tym bada się prąd płynący w lampie elektronowej wypełnionej parami rtęci. Elektrony emitowane są z rozżarzonej katody K (rys. 30.1) a następnie przyspieszane przez pole elektryczne wytworzone poprzez przyłożenie napięcia V_s pomiędzy siatką S a katodą K. Elektrony przyspieszane w słabym polu tracą energię kinetyczną w procesach zderzeń elastycznych z parami rtęci. W przypadku gdy elektron uzyskuje energię kinetyczną równą wielokrotności energii jonizacji obserwujemy „silne wyhamowanie” strumienia elektronów czyli mały prąd anodowy. W doświadczeniu obserwujemy oscylacyjną zależność prądu anodowego I_a od napięcia V_s .



Rys. 30.1 Schemat połączeń w doświadczeniu Francka-Hertza.

2. Wykonanie pomiarów

- Włączamy grzałkę lampy i ustawiamy pokrętkę regulacji na $t=150^{\circ}\text{C}$ (czarne pokrętko z prawej strony obudowy lampy).
- Włączamy żarzenie katody i obserwujemy jej rozgrzewanie (uzyskanie barwy żaru).
- We wzmacniaczu ustawiamy „Low Drift”, „0 time constant” oraz wzmocnienie (amplification) 10^4 .
- Po ustaleniu się temperatury wewnątrz obudowy lampy pokrętką 0 wzmacniacza zerujemy wskazania woltomierza V_a .
- Zmieniamy napięcie na siatce V_s i obserwujemy zmiany prądu anodowego. Prąd anodowy I_a jest równy $V_a/(\text{wzmocnienie}\cdot 10^4\Omega)$. Pierwsze minimum I_a powinno pojawić się przy V_s równym około 5V. Wyznaczamy wartości napięć V_s przy których prąd I_a ma lokalne minimum.

Uwaga: Przy zbyt dużych wartościach napięcia V_s w lampie następuje wyładowanie widoczne jako silne świecenie. Należy wtedy zmniejszyć wartość napięcia V_s .

- W kolejnym kroku zwiększamy temperaturę i przeprowadzamy analogiczne pomiary. Zwracamy uwagę na to, że im wyższa temperatura tym wyższe napięcie V_s możemy przyłożyć do katody a zatem obserwować więcej minimów bez powodowania wyładowania.

3. Opracowanie danych

Wyznaczone napięcia odpowiadające minimum I_s wszystkich serii pomiarowych przedstawiamy na jednym wykresie. Ośią rzędną jest napięcie a odciętą numer minimum. Sprawdzamy, czy punkty układają się na linii prostej i jeśli tak to z jej nachylenia wyznaczamy interesujące nas napięcie jonizacji.

31. Charakterystyka termopary

(2 tygodnie 20 pkt.)

Zagadnienia: napięcie, temperatura, zjawisko termoelektryczne, termopara, charakterystyka termopary.

Literatura: Szc1, t.3, 233÷238; Szy75, 386÷391, 621; Szy99 435÷456, 537.

Celem doświadczenia jest wyznaczenie charakterystyki termopary konstantan-miedź na podstawie trzech charakterystycznych punktów skali temperatury: wrzenia azotu (T_N), topnienia lodu (T_L) i wrzenia wody pod normalnym ciśnieniem (T_W). Wskazania wyskalowanej termopary są następnie porównywane ze wskazaniami termometru.

W zestawie znajduje się termopara umieszczona w długich rurkach szklanych z zatopionymi końcami. Rurki te możemy umieścić w wysokim naczyniu szklanym w którym doprowadzać będziemy wodę do wrzenia lub w termosie z ciekłym azotem. Rurki szklane dlatego są długie, by transport ciepła powodowany przez ścianki rurek nie wprowadzał dużego błędu systematycznego temperatury.

1. Skalowanie termopary

Umieszczamy oba spojenia termopary w wodzie z lodem. Lód musi być drobno potłuczony. Odczytujemy wskazania woltomierza na najmniejszym zakresie. Po dostatecznie długim czasie, gdy będziemy pewni że spojenia termopar osiągnęły temperaturę wody z lodem (0°C), czyli że wskazania woltomierza nie zmieniają się w funkcji czasu, zerujemy woltomierz specjalnym pokrętkiem. Następnie umieszczamy jedno ze spojeń w ciekłym azocie (drugie pozostaje w wodzie z lodem), notujemy wskazania woltomierza w funkcji czasu i po dostatecznie długim czasie wyznaczamy napięcie U_N odpowiadające temperaturze T_N .

Przenosimy spojenie do naczynia z wodą (destylowaną!). Doprowadzamy wodę do wrzenia i podobnie jak poprzednio odczytujemy napięcie w funkcji czasu. Wyznaczamy napięcie U_w odpowiadające temperaturze T_w wrzenia wody destylowanej.

2. Wyznaczenie charakterystyki termopary

Na podstawie otrzymanych napięć U_N i U_w wyznaczamy równanie drugiego stopnia na podstawie którego będziemy mogli przeliczyć napięcie mierzone termoparą na temperaturę. Ponieważ punktem odniesienia jest temperatura topnienia lodu, T_L , równanie będzie miało postać:

$$T = AU^2 + BU + T_L, \quad (31.1)$$

gdzie A i B są stałymi współczynnikami charakteryzującymi termoparę. W celu znalezienia wartości współczynników A i B rozwiązujemy układ równań:

$$T_N = AU_N^2 + BU_N + T_L, \quad (31.2)$$

$$T_w = AU_w^2 + BU_w + T_L, \quad (31.3)$$

w którym A i B są niewiadomymi. Wyznaczamy błędy współczynników A i B .

3. Porównanie wskazań termometru i wyskalowanej termopary

Umieszczamy oba spojenia termopary w wodzie z lodem. Po dostatecznie długim czasie, gdy będziemy pewni że spojenia termopar osiągnęły temperaturę wody z lodem (0°C), czyli że wskazania woltomierza nie zmieniają się w funkcji czasu, zerujemy woltomierz. Następnie umieszczamy jedno ze spojeń w wodzie, którą będziemy mogli podgrzewać. W wodzie tej umieszczamy też termometr laboratoryjny. podgrzewamy naczynie z wodą. Odczytujemy wskazania woltomierza oraz wskazania termometru. Przeliczamy napięcie na temperaturę wykorzystując (31.1). Przedstawiamy na wykresie tak przeliczoną temperaturę oraz wskazania termometru.

32. Przerwa energetyczna w InSb

(2 tygodnie, 20 pkt.)

Zagadnienia: półprzewodniki samoistne i domieszkowe, struktura pasmowa, przerwa energetyczna, zależność przewodnictwa od temperatury dla półprzewodników, ruchliwość nośników prądu, termopara, pomiar temperatury za pomocą termopary.

Literatura: Ash1,664÷690; Kit1,220÷251; Szy75,379÷386; Szy99, 448÷451; Gin1,275÷288, instrukcja doświadczenia nr 6.

Celem doświadczenia jest wyznaczenie przerwy energetycznej półprzewodnika InSb na podstawie pomiaru oporu w funkcji temperatury.

1. Przeprowadzenie pomiarów.

Próbka InSb zaopatrzona jest w dwa kontakty prądowe i dwa napięciowe (czteropunktowa metoda pomiaru oporu). Źródłem prądu jest zasilacz stabilizowany. Pamiętać musimy o tym, by nie przepuszczać zbyt dużego prądu, gdyż spowoduje on grzanie próbki. Wartość prądu dobieramy na podstawie charakterystyki prądowo napięciowej w temperaturze ciekłego azotu. Sprawdzamy czy w danej temperaturze wartości prądu są proporcjonalne do przyłożonego napięcia.

Próbka umieszczona jest w cylindrze metalowym wyposażonym w grzałkę. Cylinder ten znajduje się w termosie. W pobliżu próbki umieszczona jest końcówka termopary. Charakterystyka stosowanej termopary w przedziale temperatur 77-370K jest nieliniowa i ma postać:

$$T = (27.7 \pm 0.1) \text{ K/mV} \cdot U - (0.65 \pm 0.03) \text{ K/(mV)}^2 \cdot U^2 + (270.6 \pm 0.5) \text{ K}, \quad (32.1)$$

gdzie T jest temperaturą "ciepłego" końca termopary a U napięciem na termoparze, gdy "zimny" koniec znajduje się w wodzie z lodem.

Równanie z którego można obliczyć napięcie przy określonej temperaturze ma postać:

$$U = (0.0214 \pm 0.0005) \text{ mV/K} \cdot T + (2.9 \pm 0.1) \cdot 10^{-5} \text{ mV/K}^2 \cdot T^2 - (7.93 \pm 0.06) \text{ mV}. \quad (32.2)$$

Temperatury wyższe od pokojowych uzyskujemy przez podgrzewanie grzałki. Pamiętajmy o odczekaniu odpowiednio długiego czasu, gdyż temperatury w różnych częściach termosu muszą się wyrównać. Obniżanie temperatury próbki przeprowadzamy dolewając stopniowo niewielkie ilości ciekłego azotu do termosu z próbką. Pomiary oporności przeprowadzamy w zakresie temperatur od 77 do 370K.

Uwaga: Równanie 16.2 można otrzymać z 16.1 w ten sposób, że z równania kwadratowego 16.1 wyliczamy U . Następnie rozwijamy pierwiastki w szereg Taylora do wyrazów rzędu T^2 . Równania 16.1 i 16.2 nie są więc równoważne w sensie matematycznym. Są natomiast wygodne w użyciu i zgodne w granicach błędów.

2. Opracowanie wyników.

Wiadomo, że w półprzewodniku koncentracja nośników prądu proporcjonalna jest do:

$$T^{\frac{3}{2}} e^{-\frac{E_g}{2k_B T}}, \quad (32.3)$$

gdzie E_g jest wartością przerwy energetycznej, T temperaturą a k_B stałą Boltzmann. Przewodnictwo (odwrotność oporności właściwej) jest z kolei proporcjonalne do koncentracji. Jeśli zatem wyniki przedstawiamy na wykresie, którego osiami są $\ln(RT^{3/2})$ oraz $1/T$ (R jest opornością próbki, lub nawet wielkością proporcjonalną do oporności), to z liniowej części wykresu można będzie wyznaczyć wartość E_g . Przy porównywaniu wyników z danymi literaturowymi zwrócić uwagę na to, w jakiej temperaturze były mierzone podawane przerwy energetyczne.

33. Pomiar oporu metodą van der Pauwa

(2 tygodnie, 20 pkt.)

Zagadnienia: prąd, napięcie, opór, oporność właściwa, czteropunktowa metoda pomiaru oporu.

Literatura: instrukcja doświadczenia nr 6.

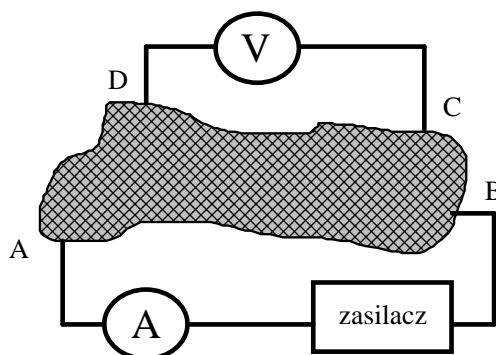
Celem doświadczenia jest zapoznanie się z metodą wyznaczenie oporu właściwego metodą van der Pauwa, przeprowadzenie pomiarów oraz porównanie wyników z pomiarami wykonanymi metodą czteropunktową.

1. Opis idei metody van der Pauwa

Na brzegu nieskończenie cienkiej, jednorodnej folii przewodzącej znajdują się cztery punktowe kontakty elektryczne, które oznaczamy literami A, B, C i D (Rys. 33.1). Jeśli **prąd I_{AB} płynie od kontaktu A do B**, to przez R_{ABCD} oznaczać będziemy wielkość:

$$R_{ABCD} = \frac{(U_D - U_C)}{I_{AB}}, \quad (33.1)$$

gdzie U_D i U_C są potencjałami w punktach D i C. W przypadku kontaktów rozmieszczonych tak jak na Rys. 33.1 R_{ABCD} jest wielkością dodatnią.



Rys. 33.1. Schemat elektryczny układu do pomiaru oporu metodą van der Pauwa.

Korzystając z teorii funkcji zespolonych (odwzorowania konforemne) można udowodnić (L.J.van der Pauw, Philips Res. Rep. 13, 1, 1958), że:

$$e^{\left(\frac{\pi d R_{ABCD}}{\rho}\right)} + e^{\left(\frac{\pi d R_{BCDA}}{\rho}\right)} = 1, \quad (33.2)$$

gdzie ρ jest oporem właściwym a d grubością materiału. Relacja (33.2) pozwala na prosty pomiar oporu właściwego materiałów. Wprowadźmy dwie zmienne, u i v zdefiniowane następująco:

$$u = 2\rho \frac{1}{\pi d(R_{ABCD} + R_{BCDA})}, \quad (33.3)$$

$$v = \frac{R_{ABCD} - R_{BCDA}}{R_{ABCD} + R_{BCDA}}, \quad (33.4)$$

wtedy, po podstawieniu równań (33.3), (33.4) do (33.2) i po przekształceniu otrzymujemy:

$$u = \frac{1}{\ln\left(e^{\frac{-v}{u}} + e^{\frac{v}{u}}\right)}, \quad (33.5)$$

Równanie (33.5) definiuje pewną funkcję f :

$$u = f(v), \quad (33.6)$$

której wartości podane są w załączonej tabelicy. Dla 0 funkcja f przybiera wartość $1/\ln(2)=1.442695\dots$ a dla 1 wartość 0. Podstawiając (33.3) i (33.4) do (33.6) po przekształceniach otrzymujemy:

$$\rho = \frac{\pi d}{2} \cdot (R_{ABCD} + R_{BCDA}) \cdot f\left(\frac{R_{ABCD} - R_{BCDA}}{R_{ABCD} + R_{BCDA}}\right). \quad (33.7)$$

Opór właściwy wyznaczamy mierząc wartości R_{ABCD} i R_{BCDA} oraz grubość d . Następnie odczytujemy lub obliczamy wartość funkcji $f(x)$ dla

$$x = \frac{R_{ABCD} - R_{BCDA}}{R_{ABCD} + R_{BCDA}} \quad (33.8)$$

(patrz tabelka) i korzystając z (33.7) obliczamy ρ .

2. Wykonanie pomiarów

W układzie znajduje się kawałek blachy, którą możemy uznać za cienką bo jej grubość jest znacznie mniejsza od szerokości. Cztery krokodylki są kontaktami prądowymi i napięciowymi, przyczepiamy je jak najbliżej brzegu blachy.

Zestawiamy układ wg. rysunku 33.1 (zwracamy uwagę na kolejność kontaktów). Mierzmy prąd i napięcie w celu wyznaczenia R_{ABCD} . Zmieniamy przewody na zaciskach przyrządów **nie zmieniając położenia krokodylków** i wyznaczamy R_{BCDA} . Obie wielkości, R_{ABCD} i R_{BCDA} powinny być dodatnie. Te wielkości już wystarczają do wyznaczenia ρ . Następnie zmieniamy położenia krokodylków i powtarzamy pomiary.

W układzie znajduje się wąski pasek blachy, którego opór właściwy możemy zmierzyć klasyczną metodą czteropunktową. Wykonujemy pomiary prądu, napięcia, mierzmy odległości pomiędzy kontaktami i grubość i szerokość paska blachy.

3. Opracowanie danych

Wyniki przedstawiamy na wykresie, w którym na jednej osi jest $f(x)$ (patrz równanie (33.7, 33.8)) a na drugiej odwrotność $R_{ABCD} + R_{BCDA}$. Sprawdzamy czy otrzymaliśmy zależność liniową i jeśli tak, wyznaczamy z wykresu wartość ρ/d . Wartość tę porównujemy z wynikiem otrzymanym metodą czteropunktową.

Wartości funkcji $f(x)$ zdefiniowanej równaniem:

$$f(x) = 1/\ln\{ \exp[-x/f(x)] + \exp[x/f(x)] \}$$

przedstawione są w poniższej tabelce:

x	$f(x)$	x	$f(x)$	x	$f(x)$	x	$f(x)$
0.0	1.4427	0.5	1.3080	0.91	0.8367	0.96	0.6835
0.1	1.4377	0.6	1.2411	0.92	0.8116	0.97	0.6391
0.2	1.4225	0.7	1.1534	0.93	0.7843	0.98	0.5839
0.3	1.3966	0.8	1.0351	0.94	0.7545	0.99	0.5059
0.4	1.3590	0.9	0.8600	0.95	0.7202	1.00	0.0

34. Drgania relaksacyjne neonówki

(2 tygodnie, 20 pkt.)

Zagadnienia: obwód RC, neonówka, drgania relaksacyjne, przepływ prądu przez gazy.

Literatura: Szy75,461÷465; Szy99,266÷269; Hal80,191÷197; Hal98,165÷170.

Celem doświadczenia jest zbadanie zależności okresu drgań relaksacyjnych neonówki od napięcia zasilania, oporu i pojemności oraz porównanie z przewidywaniami teoretycznymi.

1. Badanie zależności okresu drgań od U_0 , R i C .

W celu zaobserwowania drgań relaksacyjnych budujemy obwód przedstawiony na Rys. 34.1a. Ustawiamy wstępnie $U_0=200\text{V}$, $R=2\text{M}\Omega$, $C=1\mu\text{F}$. Obserwujemy drgania relaksacyjne. Zmieniamy wartości U_0 (**nie przekraczamy 250V!!!**), R i C .

W prostym modelu drgań relaksacyjnych układu przedstawionego na Rys. 34.1a zakładamy, że kondensator ładuje się od napięcia U_g do napięcia U_z poprzez opór R . W tym czasie neonówka nie pali się i jej opór jest nieskończony. Okres w którym następuje wspomniana zmiana napięcia na kondensatorze wynosi:

$$T = RC \ln \frac{U_0 - U_g}{U_0 - U_z} \quad (34.1)$$

Po przekroczeniu napięcia zapłonu U_z opór neonówki maleje i kondensator rozładowuje się. Jeśli przyjmiemy, że czas rozładowania kondensatora jest znacznie mniejszy od T , wtedy T będzie okresem drgań relaksacyjnych. Sprawdzamy najpierw, czy okres jest proporcjonalny do C . W tym celu zmierzone wartości $T(C)$, przy ustalonym R i U_0 , przedstawiamy na wykresie i sprawdzamy, czy otrzymaliśmy zależność liniową. Pomiar przeprowadzamy dla kilku różnych wartości R i U_0 . Analogicznie badamy zależność $T(R)$.

W celu sprawdzenia zależności T od U_0 , przekształcamy równanie (34.1) do postaci:

$$U_0 \left(1 - e^{-\frac{T}{RC}} \right) = U_z - U_g e^{-\frac{T}{RC}} \quad (34.2)$$

Można przyjąć, że w równaniu (34.2) występują dwa niezależne parametry x i y :

$$x = e^{-\frac{T}{RC}}, \quad (34.3)$$

$$y = U_0 \left(1 - e^{-\frac{T}{RC}} \right) \quad (34.4)$$

Parametry x oraz y związane są zależnością liniową o współczynnikach U_z i U_g . Przedstawiamy wszystkie zmierzone poprzednio wielkości na wykresie o osiach x i y . Wykonujemy dodatkowe pomiary dla odpowiednich wartości U_0 , R i C tak, żeby parametr x zmieniał się w możliwie szerokim zakresie. Zwracamy uwagę na to, że **należy wykonać**

pomiary dla wielu różnych wartości U_0 . W przeciwnym razie parametry x i y nie będą niezależne! Sprawdzamy, czy wyniki układają się na linii prostej i jeśli tak, to dopasowujemy linię prostą. Wyznaczamy stąd wartości U_z i U_g .

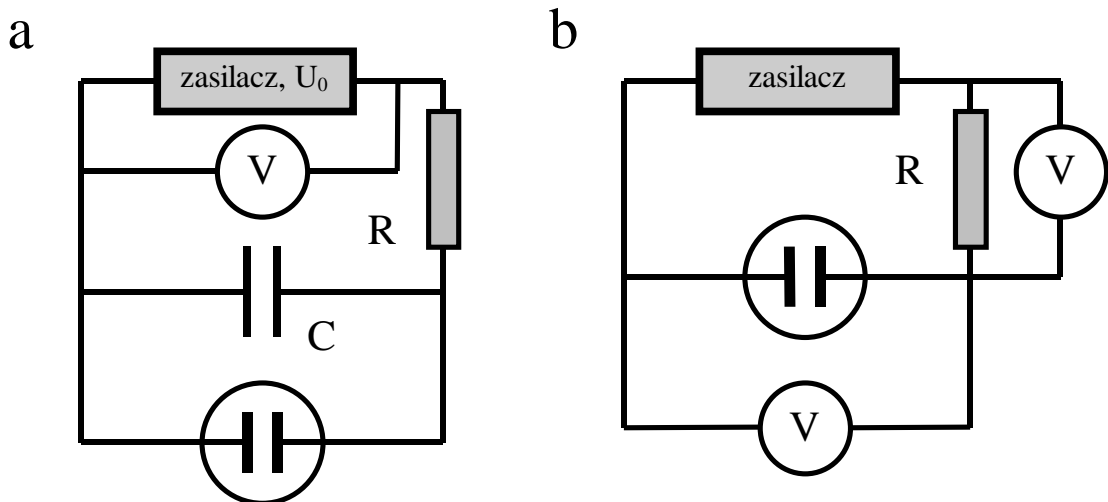
2. Wyznaczanie charakterystyki prądowo napięciowej, bezpośrednio wyznaczanie U_z i U_g .

W celu wyznaczenia charakterystyki prądowo - napięciowej budujemy układ wg schematu przedstawionego na Rys. 34.1b. Woltmierz przyłączony do opornika pełni rolę amperomierza:

$$I = \frac{U_R}{R} \quad (34.5)$$

gdzie U_R jest napięciem mierzonym na oporze R . Przeprowadzamy pomiary zależności prądu od napięcia przyłożonego do neonówki. Wyznaczamy minimalne napięcie, przy którym pali się neonówka (napięcie gaśnięcia). Przy ostrożnym zwiększaniu napięcia na zgaszonej neonówce, określamy maksymalne napięcie, przy którym neonówka jeszcze się nie pali (napięcie zapłonu). Tak wyznaczone napięcia porównujemy z wyznaczonymi poprzednio U_z i U_g .

Uwaga: neonówka może nie być symetryczna tzn. że po zamianie znaku napięcia albo po zamianie nóżek neonówki możemy otrzymać nieco inną charakterystykę. Zwracamy więc uwagę na to, by wszystkie pomiary przeprowadzać w tej samej konfiguracji.



Rys. 34.1. Schemat układu do badania drgań relaksacyjnych (a) i wyznaczania charakterystyki prądowo - napięciowej neonówki (b)

35. Rozpad promieniotwórczy

(2 tygodnie, 20 pkt.)

Zagadnienia: promieniowanie γ , rozpad promieniotwórczy, detekcja promieniowania γ , sonda scyntylicyjna, rozkład statystyczny, prawdopodobieństwo, histogram, promieniowanie α .

literatura: Kac1, 590÷595, Bra1, 132÷137.

Pierwszym celem doświadczenia jest wyznaczenie rozkładu liczby zliczeń w ustalonym czasie i porównanie go z rozkładem Poissona. Drugim celem jest wyznaczenie rozkładu czasów pomiędzy dwoma kolejnymi aktami zarejestrowania kwantów promieniowania γ , i porównanie z rozkładem eksponencjalnym.

Układ pomiarowy składa się z sondy scyntylicyjnej (znajduje się wewnątrz ołowianego domku) zasilanej zasilaczem wysokiego napięcia (high power supply) oraz kasety zasilającej. W kasecie znajduje się blok dyskryminatora oraz blok wzmacniacza i przelicznika impulsów. Przy pomiarze czasu między dwoma impulsami stosowany jest wyzwalacz. Impulsy z sondy kierowane są do wzmacniacza a następnie do dyskryminatora. Ustawienie odpowiedniego progu dyskryminatora powoduje to, że szum elektroniczny oraz impulsy o małej amplitudzie nie wchodzi na wyjście dyskryminatora. Impulsy są dalej podawane na wejście przelicznika. Schemat połączeń i ustawienia warunków pracy pokazany jest w tabelach.

Uwaga: należy pamiętać o zasadach pracy z zasilaczem wysokiego napięcia - patrz rozdział pt. Zasady pracy w Pracowni Fizycznej I.

1. Ustalenie warunków pracy sondy i dyskryminatora.

Zestawiamy układ według schematu przedstawionego na Rys. 35.1. Ustawiamy napięcie sondy równe ok. 1200V, próg dyskryminatora w pobliżu 0, wstawiamy źródło do domku i obserwujemy zliczanie w ustalonym czasie, np. 2s. Zwiększamy wartość napięcia progowego dyskryminatora tak, żeby przez dyskryminator nie przechodziły impulsy szumu elektronicznego. Obserwujemy zmniejszenie liczby zliczeń. Szum elektroniczny jest obecny również po wyjęciu źródła i ten fakt pozwala odróżnić impulsy szumu od impulsów dawanych przez źródło.

Po wyjęciu źródła z domku i odcięciu się od szumu obserwujemy również zliczanie impulsów. Jest to tzw. promieniowanie α . Obserwujemy zmniejszenie szybkości zliczeń po wstawieniu między źródło a sondę jakiegoś materiału np. kawałka metalu. W ten sposób upewniamy się, że mamy do czynienia z rejestracją kwantów γ a nie z szumem elektronicznym.

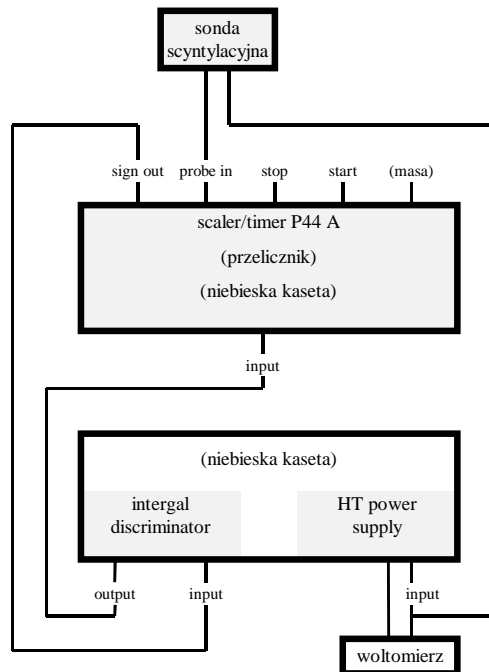
2. Wyznaczanie rozkładu liczby zliczeń.

Poprzez umieszczenie źródła na odpowiedniej wysokości oraz dobranie odpowiedniego progu dyskryminatora ustalamy częstotliwość rejestrowania na 1-3 imp./s. Mierzmy dokładnie częstotliwość (zliczanie przez długi czas).

Ustawiamy określony czas zliczania, np. 1s i mierzymy ilość zliczeń w tym czasie. Wyniki przedstawiamy od razu na histogramie (0 też jest liczbą zliczeń!). Normujemy histogram i porównujemy z przewidywaniami teoretycznymi. Prawdopodobieństwo zarejestrowania n zliczeń w określonym czasie wynosi:

$$p(n) = \frac{N^n}{n!} e^{-N}, \quad (35.1)$$

gdzie N jest średnią liczbą zliczeń w tym czasie.



Rys. 35.1. Schemat połączeń przy pomiarze liczby impulsów w zadanym czasie.

Na przeliczniku wciskamy przycisk „preset time”. Ustawiamy czas zliczania np. w celu zliczania przez $2 \cdot 10^2 s = 200s$ należy wcisnąć „multiplier 2x” i „seconds 10”. Pomiar uruchamiamy przez wciśnięcie „start-stop” (0 też może być wynikiem pomiaru!). Pomiar kasujemy przez wciśnięcie „reset”

3. Wyznaczanie rozkładu czasu między dwoma kolejnymi impulsami

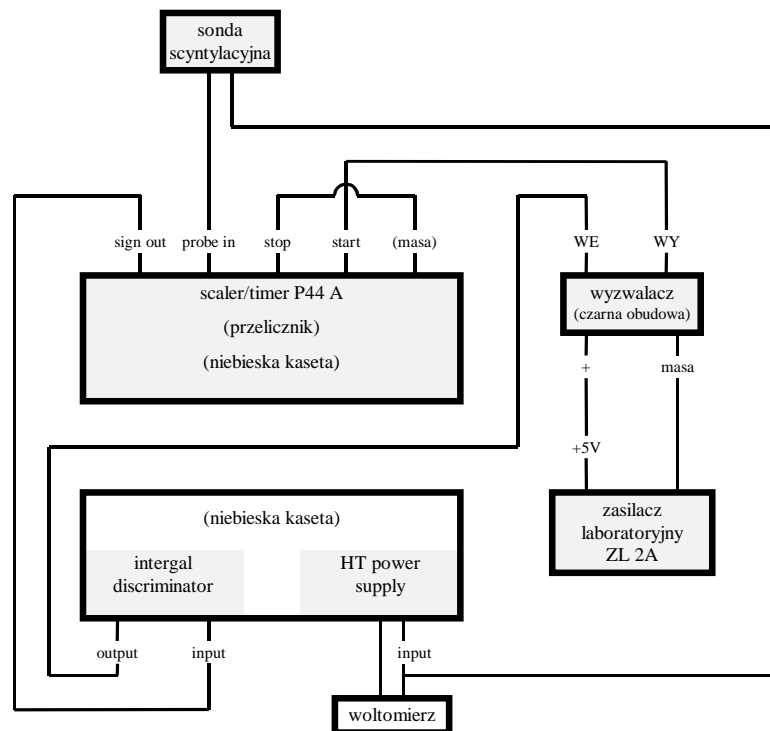
Budujemy układ według schematu przedstawionego na Rys. 35.2. Podobnie jak poprzednio ustalamy częstotliwość rejestrowania na 1-3 imp./s. Mierzmy dokładnie częstotliwość (zliczanie przez długi czas). Następnie mierzymy czasy między dwoma kolejnymi impulsami i wyniki od razu przedstawiamy na histogramie. Widzimy w ten sposób, kiedy należy zakończyć pomiary. Na osi poziomej histogramu zaznaczamy przedziały czasu, a na pionowej ilość rejestracji. Po zakończeniu pomiarów czasu powtórnie mierzymy częstotliwość w celu sprawdzenia, czy nie zmieniły się warunki pracy aparatury. Gęstość prawdopodobieństwa, ρ , obserwacji czasu t między dwoma kolejnymi impulsami wynosi:

$$\rho(t) = f e^{-tf}, \quad (35.2)$$

gdzie f jest częstotliwością zliczeń. Ponieważ

$$\int_0^{\infty} \rho(\tau) d\tau = 1, \quad (35.3)$$

więc normujemy nasz histogram tak, żeby pole powierzchni pod histogramem było równe 1 i rysujemy funkcję $\rho(t)$. Dyskutujemy zgodność histogramu z funkcją $\rho(t)$.



Rys. 35.2. Schemat połączeń przy pomiarze czasu pomiędzy dwoma kolejnymi impulsami.

Na przeliczniku wciskamy „preset time” oraz „preset count”. Pomiar czasu uruchamiamy przez wciśnięcie przycisku „Pomiar” wyzwalacza. Przelicznik czeka na pojawienie się pierwszego impulsu i zaczyna mierzyć czas (pali się lampka „gate”). Drugi impuls zatrzymuje pomiar (0 też może być wynikiem pomiaru!). Pomiar kasujemy przyciskiem „reset”.

36. Pryzmat, pomiar długości fali światła

(2 tygodnie, 20 pkt.)

Zagadnienia: fale elektromagnetyczne, światło, długość i częstotliwość fal, energia kwantu światła, załamanie światła, kąt najmniejszego odchylenia, widmo emisyjne pierwiastków, spektrometr, cechowanie spektrometru, dioda luminescencyjna.

literatura: Dry1, 287÷303, Szy75, 532÷535, 555÷559; 602÷603; Szy99, 490÷495, 515÷516 Szcz1, t.4, 108÷119.

Celem doświadczenia jest wyskalowanie spektrometru na podstawie widma emisyjnego rtęci a następnie wyznaczenie długości fali oraz szerokości pasma emisyjnego światła emitowanego przez popularne diody luminescencyjne emitujące światło koloru czerwonego, żółtego i zielonego.

1. Przeprowadzenie pomiarów.

Zasada działania spektrometru i opis regulacji znajduje się w [Dry1,289-293]. Dysponujemy spektrometrem, w którym konieczna jest jedynie regulacja ustawienia płaszczyzny stolika, szerokości szczeliny, ostrości widzenia lunety i ostrości widzenia noniuszy. Spektrometr wyposażony jest w śruby blokujące stół, blokadę koła podziałowego (ustawienie zera przy równoległych osiach lunety i kolimatora), blokadę lunety oraz śrubę umożliwiającą precyzyjne przesuwanie lunety o niewielkie kąty (po jej zablokowaniu). Spektrometr jest urządzeniem precyzyjnym, uprasza się więc o delikatną i inteligentną obsługę.

Przed przystąpieniem do doświadczenia zaopatrujemy się w tabelę, w której zapisane będą długości fal linii widmowych rtęci oraz odpowiadające im barwy - wtedy nie będziemy mieć kłopotu z identyfikacją linii [Szy75, 624].

Cechowanie spektrometru wykonujemy metodą pomiaru kąta minimum odchylenia linii emisyjnych. Źródłem światła jest lampa rtęciowa. Mierzmy kąty najmniejszego odchylenia poszczególnych linii. Staramy się dokonać możliwie precyzyjnego pomiaru przy małej rozwartości szczeliny.

Następnie mierzymy kąty najmniejszego odchylenia światła diód luminescencyjnych znajdujących się w układzie. Zwracamy uwagę na to, że linie emisyjne diód są poszerzone w stosunku do linii emisyjnych rtęci. Określamy szerokość kątową linii emisyjnych.

2. Opracowanie danych.

Na wykresie przedstawiamy długość fali światła linii rtęci w funkcji kąta najmniejszego odchylenia. Następnie zaznaczamy kąty najmniejszego odchylenia oraz rozmycie katowe odpowiadające diodom. Z wykresu odczytujemy średnie długości fal światła emitowanego przez diody luminescencyjne, λ , oraz przedział długości fal odpowiadający rozmyciu, $\Delta\lambda$. Uwaga: nie mylić rozmycia katowego z błędem eksperymentalnym; zarówno wyznaczana wartość średnia jak i rozmycie katowe są obarczone błędami, które należy wyznaczyć. W kolejnym kroku wykorzystując zależność na energię fotonu E :

$$E = \frac{hc}{\lambda}, \quad (36.1)$$

gdzie h jest stałą Plancka a c prędkością światła, obliczamy średnią energię emitowanego światła oraz szerokość pasma emisyjnego (rozmycie energetyczne ΔE odpowiadające

rozmyciu długości fal $\Delta\lambda$). Wyznaczamy błąd wielkości E i błąd wielkości ΔE . Wyniki podajemy w elektronowoltach

37. Pomiar ciepła właściwego

(2 tygodnie, 20 pkt.)

Zagadnienia: ciepło, temperatura, termopara, ciepło właściwe, pojemność cieplna kalorymetru, przemiany fazowe, ekstrapolacja.

literatura: Szy75, 254÷257, 281÷285; Szy99, 398÷401, 433÷438; Dry1, 209÷211.

Celem doświadczenia jest wyznaczenie ciepła właściwego wody w stanie ciekłym i stałym.

1. Idea pomiarów

Po dostarczeniu do pustego kalorymetru określonej porcji energii (ciepła) ΔQ , zaobserwujemy wzrost temperatury o ΔT_{cal} . Wtedy

$$\Delta Q = \Delta T_{cal} \cdot C, \quad (37.1)$$

gdzie C jest pojemnością cieplną kalorymetru. W przypadku, gdy w kalorymetrze znajduje się woda o masie m , wzrost temperatury wyniesie ΔT_w :

$$\Delta Q = \Delta T_w \cdot (C + mc_w), \quad (37.2)$$

gdzie c_w jest ciepłem właściwym wody. W przypadku, gdy w kalorymetrze znajduje się taka sama ilość lodu:

$$\Delta Q = \Delta T_L \cdot (C + mc_L), \quad (37.3)$$

gdzie ΔT_L i c_L są odpowiednio wzrostem temperatury i ciepłem właściwym lodu. Wstawiając (37.1) do (37.2) i (37.3) po przekształceniach otrzymujemy:

$$c_w = \frac{\Delta Q}{m} \left(\frac{1}{\Delta T_w} + \frac{1}{\Delta T_{cal}} \right), \quad (37.4)$$

$$c_L = \frac{\Delta Q}{m} \left(\frac{1}{\Delta T_L} + \frac{1}{\Delta T_{cal}} \right), \quad (37.5)$$

Widać, że poprzez pomiar odpowiednich skoków temperatury, masy wody oraz ilości dostarczonego ciepła można wyznaczyć bezwzględne wartości ciepła właściwych.

Stosunek ciepła właściwych może być wyznaczony na podstawie pomiarów skoków temperatury:

$$\frac{c_w}{c_L} = \frac{\frac{1}{\Delta T_w} - \frac{1}{\Delta T_{cal}}}{\frac{1}{\Delta T_L} - \frac{1}{\Delta T_{cal}}}. \quad (37.6)$$

2. Opis aparatury pomiarowej

Kalorymetr wykonany jest ze stopu Al, wewnątrz znajduje się końcówka termopary. Druga końcówka umieszczona jest w termosie wodzie z lodem. Pojemność kalorymetru wynosi **około** 90 cm^3 , pojemność cieplna **około** 390 J/K . Kalorymetr umieszczony jest w drugim termosie w celu zmniejszenia wymiany ciepła z otoczeniem.

W ściance kalorymetru znajduje się uzwojenie grzałki o oporności $11.4(2) \Omega$. Grzałka zasilana jest urządzeniem, które pozwala na dostarczanie do układu ściśle określonych porcji energii.

3. Przeprowadzenie eksperymentu

a) przygotowanie termometru

Doświadczenie zaczynamy od umieszczenia „zimnego” końca termopary w mieszaninie drobno potłuczonego lodu z wodą. Kawałki lodu nie mogą być duże, gdyż mogłoby mieć temperaturę niższą od zera. Lód powinien wypełniać znaczną objętość termosu. Co pewien czas powinniśmy delikatnie wymieszać zawartość termosu w celu uniknięcia gromadzenia się na dnie wody o temperaturze 4°C .

Odkręcamy wkręty przykrywki kalorymetru, i wkładamy końcówkę termopary do wody z lodem. Sprawdzamy jakie napięcie wskazuje woltomierz i wykonujemy niezbędną korektę zera.

Charakterystyka termopary ma postać:

$$T = (27.7 \pm 0.1) \text{ K/mV} \cdot U - (0.64 \pm 0.03) \text{ K/(mV)}^2 \cdot U^2 + (270.3 \pm 0.4) \text{ K}, \quad (37.7)$$

gdzie T jest temperaturą „ciepłego” końca termopary a U napięciem na termoparze, gdy „zimny” koniec znajduje się w wodzie z lodem. Równanie z którego można obliczyć napięcie przy określonej temperaturze ma postać:

$$U = (0.0213 \pm 0.0005) \text{ mV/K} \cdot T + (2.9 \pm 0.1) \cdot 10^{-5} \text{ mV/K}^2 \cdot T^2 - (7.93 \pm 0.06) \text{ mV}. \quad (37.8)$$

Uwaga: Równanie 37.8 można otrzymać z 37.7 w ten sposób, że z równania kwadratowego 30.7 wyliczamy U . Następnie rozwijamy pierwiastki w szereg Taylora do wyrazów rzędu T^2 . Równania 37.7 i 37.8 nie są więc równoważne w sensie matematycznym. Są natomiast wygodne w użyciu i zgodne w granicach błędów.

b) pomiar pojemności cieplnej kalorymetru

Osuszamy dokładnie wnętrze kalorymetru, przykrywkę i końcówkę termopary. Mocujemy przykrywkę i umieszczamy kalorymetr w termosie. Zaczynamy notować co 10 s wskazania woltomierza. Wykonujemy jednocześnie roboczy wykres na papierze milimetrowym. Po uzyskaniu pewności, że napięcie nie zmienia się lub że zmienia się liniowo w czasie możemy dostarczyć porcję ciepła do układu. W tym celu ustawiamy zasilacz w reżimie stałego prądu na około 2 A oraz przerywacz prądu na około 20s. Notujemy jaką dokładnie wartość ustawiliśmy.

Włączamy przerywacz i co 10 s notujemy wskazania woltomierza. Obserwujemy wzrost napięcia a potem spadek. Notowanie wyników przerywamy dopiero po upewnieniu się, że zmiany napięcia zależą liniowo od czasu. Dlatego tak ważne jest sporządzanie roboczego wykresu. Po ustaleniu się liniowego spadku temperatury powtarzamy pomiary.

Uwaga: Po dostatecznie długim czasie obserwacji zauważymy oczywiście, że zmiany napięcia a więc i temperatury w funkcji czasu nie są tak naprawdę liniowe a raczej eksponencjalne, zgodnie z rysunkami przedstawionymi w cytowanej na początku literaturze. Mówiąc o liniowej zależności od czasu mamy na myśli okresy równe kilkanaście-10s.

c) pomiary z lodem

Ważymy pusty kalorymetr. Wlewamy doń około 80 cm^3 wody destylowanej i ponownie ważymy. Po zamknięciu umieszczamy kalorymetr w termosie. Mierzmy temperaturę w kalorymetrze (trzeba przeliczyć napięcie na temperaturę, wzór (37.7)). Wlewamy ostrożnie trochę ciekłego azotu do termosu i obserwujemy spadek temperatury. Po ochłodzeniu do ok. 260K czekamy aż temperatura zacznie sama wzrastać. Po upewnieniu się, że temperatura wzrasta liniowo z czasem (robimy wykres!) dostarczamy porcję ciepła i notujemy wskazania woltomierza. Po ustaleniu się liniowego wzrostu temperatury powtarzamy pomiary

d) pomiary z wodą

Przepuszczamy prąd przez grzałkę kalorymetry i w ten sposób podgrzewamy lód aż do całkowitego stopienia się (obserwujemy jaka jest temperatura!). Przerywamy grzanie. Po upewnieniu się, że temperatura wzrasta liniowo z czasem (robimy wykres!) dostarczamy porcję ciepła i powtarzamy znane już czynności.

4. Opracowanie wyników

Najistotniejszą częścią opracowania jest określenie skoków temperatury po dostarczeniu porcji ciepła. Posługujemy się ekstrapolacją różnicy temperatur do nieskończonej szybkiej wymiany ciepła. Idea metody jest opisana w podanej literaturze. Ekstrapolacji dokonujemy metoda graficzną, przy użyciu papieru milimetrowego.

Na podstawie podanej oporności grzałki oraz znanej wartości natężenia prądu i czasu wyznaczamy ilość ciepła dostarczaną do układu w każdej porcji. Szacujemy błąd tej wielkości. Korzystając z równań 37.4 i 37.5 wyznaczamy ciepła właściwe wody i lodu oraz szacujemy błędy.

Korzystając z równania 37.6 wyznaczamy stosunek c_w/c_L . Szacujemy błąd. Wszystkie wielkości porównujemy z literaturą.

Literatura

- Ash1 N.W.Ashcroft i N.D.Mermin "Fizyka ciała stałego", PWN, Warszawa 1986.
- Bra1 S.Brandt "Metody statystyczne i obliczeniowe analizy danych", PWN, Warszawa 1999.
- Bro1 I.N.Bronsztein i K.A.Siemiendiajew, "Matematyka, poradnik encyklopedyczny" PWN, Warszawa 1995.
- Dry1 T. Dryński "Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki", wydanie VII, PWN, Warszawa 1977.
- Eis1 R. Eisberg i R. Resnick "Fizyka kwantowa atomów, cząsteczek, ciał stałych, jąder i cząstek elementarnych", PWN, Warszawa 1983.
- Enc1 "Encyklopedia Fizyki", praca zbiorowa, tom 1-3, PWN, Warszawa 1972.
- Enc2 "Encyklopedia Techniki", praca zbiorowa, tom Materiałoznawstwo, Wydawnictwa Naukowe, Warszawa 1975.
- Fey1 Feynmana wykłady z fizyki, tom 1-3, PWN, Warszawa 1974.
- Gin1 J.Ginter "Wstęp do fizyki atomu, cząsteczki i ciała stałego" PWN, Warszawa 1979.
- Hal80 D.Halliday i R.Resnick "Fizyka dla studentów nauk przyrodniczych i technicznych", tom2, Warszawa 1980.
- Hal98 D.Halliday i R.Resnick "Fizyka dla studentów nauk przyrodniczych i technicznych", tom2, Warszawa 1998.
- Kac1 praca pod redakcją F.Kaczmarka "Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki dla zaawansowanych" PWN, Warszawa 1982.
- Kit1 C.Kittel "Wstęp do fizyki ciała stałego" PWN, Warszawa 1999.
- Mey1 J.R.Meyer-Arendt "Wstęp do optyki", PWN, Warszawa 1977.
- Phy1 "PHYWE series of publications", University Laboratory Experiments Physics, 1990.
- Por1 "Poradnik fizyko-chemiczny", praca zbiorowa, WNT, Warszawa 1974.
- Rew1 T.Rewaj "Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki w politechnice", PWN, Warszawa 1978.
- Res80 R.Resnick i D. Halliday "Fizyka dla studentów nauk przyrodniczych i technicznych", tom1, Warszawa 1980.
- Res98 R.Resnick i D. Halliday "Fizyka dla studentów nauk przyrodniczych i technicznych", tom1, Warszawa 1998.
- Szc1 S.Szczeniowski "Fizyka doświadczalna" PWN, Warszawa 1964.
- Szy75 H.Szydłowski, "Pracownia Fizyczna", PWN, Warszawa 1975.
- Szy99 H.Szydłowski, "Pracownia Fizyczna", PWN, Warszawa 1999.
- Szy2 H.Szydłowski, "Teoria pomiarów", PWN, Warszawa 1981.
- Wro1 A.K.Wróblewski i J.A.Zakrzewski "Wstęp do fizyki", PWN, Warszawa 1984.