KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

Człowiek – najlepsza inwestycja

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

FENIKS

— długofalowy program odbudowy, popularyzacji i wspomagania fizyki w szkołach w celu rozwijania podstawowych kompetencji naukowo-technicznych, matematycznych i informatycznych uczniów

Pakiet Nr 9

Ładunki, prądy, magnesy

Tomasz Zamorski

Instytut Fizyki
Uniwersytet Rzeszowski
Wydział Matematyczno-Przyrodniczy

http://www.fonon.univ.rzeszow.pl
feniks@univ.rzeszow.pl

- długofalowy program odbudowy, popularyzacji i wspomagania fizyki w szkołach w celu rozwijania podstawowych kompetencji naukowo - technicznych, matematycznych i informatycznych uczniów

Projekt współfinansowany jest ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

Doświadczenia proponowane do wykonania w szkole na zajęciach pozalekcyjnych

Opisy doświadczeń proponowanych do wykonania w szkole na zajęciach pozalekcyjnych

Ćwiczenie S.9.1

Pomiar pojemności elektrycznej baterii.

Cel ćwiczenia:

Wykształcenie operatywności wiedzy w zakresie właściwości i podstawowych parametrów źródeł prądu stałego.

Krótki opis ćwiczenia:

Uczniowie mierzą pojemność elektryczną świeżej baterii rozładowując ją całkowicie przez opór.

Wymagana wiedza ucznia:

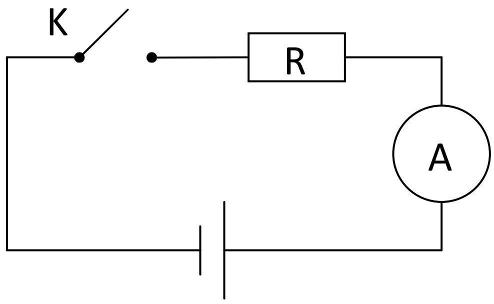
- Natężenie prądu elektrycznego. Ładunek elektryczny.
- Źródła prądu stałego. Siła elektromotoryczna i opór wewnętrzny źródła. Pojemność elektryczna baterii.

Przyrządy pomiarowe i materiały:

Świeża bateria okrągła 1,5V, opornik o oporze 10-15Ω, amperomierz, sekundomierz, przerywacz, przewody.

Wykonanie ćwiczenia:

- Łączymy obwód według schematu [3]:



- Zwieramy przerywacz *K*. Mierzymy zależność natężenia prądu *I* od czasu *t* odczytując co pewien określony czas wskazania amperomierza.
- Wykonujemy wykres zależności I(t) na dużym arkuszu papieru milimetrowego.
- Obliczamy pojemność elektryczną baterii jako pole powierzchni pod krzywą wykresu *I(t).*

Wskazówki do dyskusji niepewności pomiarowych:

Błąd pomiaru czasu można pominąć. Błąd ΔI pomiaru natężenia określamy na podstawie klasy dokładności amperomierza. Następnie wykonujemy wykres $\Delta I(t)$. Błąd wyznaczenia pojemności baterii będzie równy polu pod wykresem $\Delta I(t)$.

Literatura:

1. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, Podstawy fizyki t. 3, PWN, Warszawa 2005.
2. H. Piekara, Elektryczność i magnetyzm, PWN, Warszawwa 1970.
3. W. Gorzkowski, A. Kotlicki, Olimpiada fizyczna – Wybrane zadania doświadczalne z rozwiązaniami, Stowarzyszenie „Symetria i Własności Strukturalne", Poznań 1994.

Ćwiczenie S. 9.2
Pomiar czasu zderzenia kul stalowych metodą rozładowania kondensatora.

Cel ćwiczenia:

- Zapoznanie się ze zjawiskiem rozładowania kondensatora przez opór.
- Praktyczne zapoznanie się metodą transformacji linearyzującej funkcji wykładniczej i przydatnością tej metody w rozwiązywaniu zadań eksperymentalnych.

Krótki opis ćwiczenia:

Zwierając oporem okładki naładowanego kondensatora uczniowie uzyskują wykładniczą zależność napięcia na okładkach od czasu i wykorzystują ją do oszacowania czasu zderzenia kul stalowych. Kule pełnią w obwodzie rolę wyłącznika, który zwiera okładki kondensatora w chwili ich zetknięcia.

Wymagana wiedza ucznia:

- Pojemność elektryczna. Kondensatory. Energia naładowanego kondensatora.
- Rozładowanie kondensatora przez opór.

Przyrządy pomiarowe i materiały:

Dwie kule stalowe zawieszone na statywie, kondensator elektrolityczny o pojemności około 200μF, stoper, bateria płaska 4,5V, woltomierz prądu stałego (miernik uniwersalny) o oporze około $20\frac{k\Omega}{V}$ opornik dekadowy.

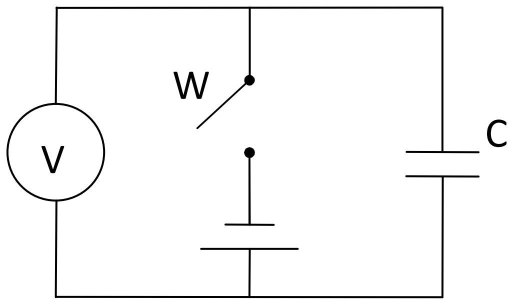
Wykonanie ćwiczenia:

1. Sprawdzamy doświadczalnie, że przy rozładowywaniu kondensatora o pojemności *C* przez opór R_w napięcie *U* na okładkach kondensatora jest wykładniczą funkcją czasu *t* :

$$U = U_0 exp\left(-\frac{t}{R_w C}\right), \tag{1}$$

gdzie exp(x) ≡ e^x, e = 2,718… jest podstawą logarytmów naturalnych, a U_0 napięciem w chwili początkowej (*t* = 0).

- Budujemy układ doświadczalny według schematu:



- Zwieramy wyłącznik W i ładujemy kondensator. Odnotowujemy napięcie U_0 między okładkami kondensatora.
- Otwieramy wyłącznik W. Kondensator zacznie się rozładowywać przez duży opór wewnętrzny R_w woltomierza. Odnotowujemy wartości napięcia U w poszczególnych chwilach czasu t. Sporządzamy wykres U(t).
- Aby sprawdzić czy otrzymane wyniki eksperymentalne są zgodne z równaniem (1) wykonujemy wykres funkcji $ln\left(\frac{U_0}{U}\right) = f(t)$. Powinna to być funkcja liniowa ponieważ z równania (1), po obustronnym zlogarytmowaniu, otrzymujemy:

$$ln\left(\frac{U_0}{U}\right) = \frac{1}{R_w C} t. \tag{2}$$

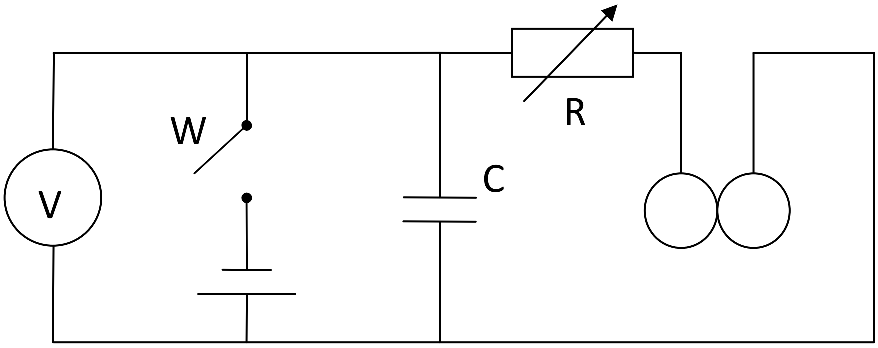
- Na podstawie wykresu $ln\left(\frac{U_0}{U}\right) = f(t)$ obliczamy współczynnik kierunkowy *b* prostej:

$$b = \frac{1}{R_w C}. \tag{3}$$

Stąd obliczamy pojemność *C* kondensatora przyjmując wartość R_w podaną przez producenta miernika.

2. Szacujemy czas zderzenia kul stalowych.

- Układ doświadczalny zbudowany w punkcie 1 uzupełniamy do postaci [3]:



- Nastawiamy opór dekadowy na wartość R = 0. Odchylamy jedną kulę. Zamykamy wyłącznik W i ładujemy kondensator. Otwieramy wyłącznik W, puszczamy kulę i odnotowujemy napięcie U_p tuż przed zderzeniem oraz napięcie U_k tuż po zderzeniu kul. Pomiary powtarzamy kilkakrotnie odchylając kulę zawsze o ten sam kąt.
- Pomiary napięcia U_p i $U_k$wykonujemy przy kilku wartościach oporu R zmieniając jego wartość od zera do dwóch omów, co 0,2 Ω.

  Ze względu na to, że opór woltomierza R_w jest dużo większy od sumy oporu przewodów R_0 i oporu *R* nastawionego na oporniku dekadowym rozładowanie kondensatora w trakcie trwania zderzenia kul praktycznie nie zachodzi przez opór R_w . Wzór (2) przyjmuje zatem postać:

$$ln\frac{U_p}{U_k} = \frac{\Delta t}{(R_0+R)\cdot C} \tag{4}$$

gdzie Δ*t* jest czasem zderzenia (zetknięcia) kul.

Stąd

$$\left(ln\frac{U_p}{U_k}\right)^{-1} = \frac{C}{\Delta t}(R_0 + R) \tag{5}$$

- Sporządzamy wykres zależności $\left(ln\frac{U_p}{U_k}\right)^{-1} = f(R)$. Z wykresu obliczamy współczynnik kierunkowy prostej b_1:

$$b_1 = \frac{C}{\Delta t}. \tag{6}$$

Stąd obliczamy czas Δ*t* trwania zderzenia.

Literatura:

1. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, Podstawy fizyki t. 3, PWN, Warszawa 2005.
2. H. Szydłowski, Pracownia fizyczna wspomagana komputerem, PWN, Warszawa 2003.
3. W. Gorzkowski, A. Kotlicki, Olimpiada fizyczna – Wybrane zadania doświadczalne z rozwiązaniami, Stowarzyszenie „Symetria i Własności Strukturalne", Poznań 1994.

Ćwiczenie S.9.3
Cechowanie elektrometru szkolnego

Cel ćwiczenia:

- Wykształcenie operatywności wiedzy w zakresie wielkości charakteryzujących pole elektryczne i własności kondensatora.
- Praktyczne zapoznanie się z problematyką skalowania przyrządu pomiarowego.

Krótki opis ćwiczenia:

Uczniowie konstruują elektrometr bezwzględny, a następnie używają go do wyskalowania szkolnego elektrometru Browna.

Wymagana wiedza ucznia:

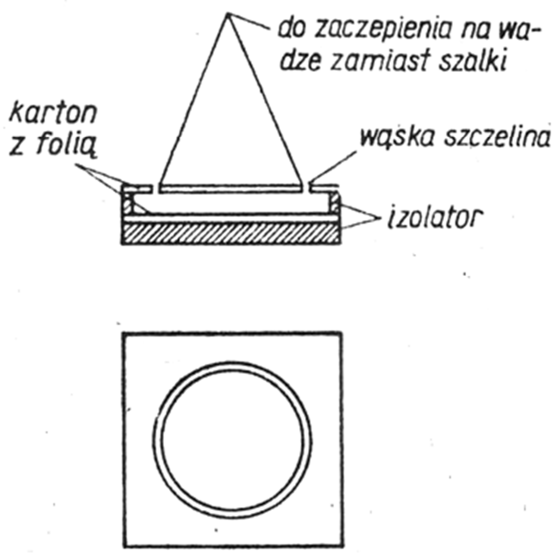
- Pole elektryczne. Natężenie i potencjał pola elektrycznego.
- Kondensatory. Pojemność kondensatora. Kondensator płaski – pole elektryczne między okładkami kondensatora płaskiego. Pojemność kondensatora płaskiego.

Przyrządy pomiarowe i materiały:

Elektrometr bezwzględny złożony z wagi laboratoryjnej i płaskiego kondensatora powietrznego, nie wyskalowany elektrometr szkolny (elektrometr Browna), przewodniki z krokodylkami, kula metalowa na pręcie izolującym, laska ebonitowa i szmatka wełniana, linijka.

Wykonanie doświadczenia:

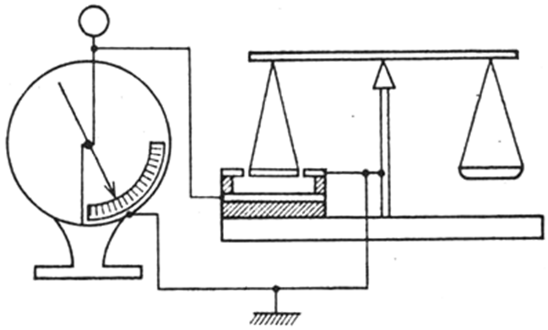
1. Konstruujemy elektrometr bezwzględny wykonując kondensator powietrzny np. z kartonu oblepionego folią metalową [2]:



Promień górnej płytki (tej zawieszonej na szalce wagi) $r \cong 50$mm, a odległość między płytkami $d \cong 10$mm.

2. Skalujemy elektrometr szkolny (w woltach).

- Elektrometr szkolny łączymy równolegle z elektrometrem bezwzględnym zestawiając układ pomiarowy jak na poniższym rysunku [2] :



Zauważmy, że siła F działająca na ruchomą płytkę elektrometru bezwzględnego, po naładowaniu go ładunkiem q, wynosi:

$$F = \frac{1}{2} qE , \tag{1}$$

gdzie $\frac{E}{2}$ jest natężeniem pola wytworzonego przez ładunki na dolnej płytce. Ładunek q można wyrazić wzorem:

$$q = V \cdot C , \tag{2}$$

gdzie V jest potencjałem dolnej płytki, a C pojemnością kondensatora, która wynosi:

$$C = \varepsilon_0 \frac{\pi \cdot r^2}{d} , \tag{3}$$

przy czym r jest promieniem górnej płytki, a d odległością między płytkami elektrometru bezwzględnego.

Z kolei natężenie pola E między płytkami wynosi:

$$E = \frac{V}{d} \tag{4}$$

Uwzględniając związki (2), (3), (4) we wzorze (1) otrzymujemy:

$$F = \frac{V^2 \pi \varepsilon_0 r^2}{2d^2} . \tag{5}$$

Siła F będzie zrównoważona ciężarem masy m na drugiej szalce wagi:

$$mg = \frac{V^2 \pi \varepsilon_0 r^2}{2d^2} . \tag{6}$$

Stąd

$$V = \frac{d}{r} \sqrt{\frac{2mg}{\pi \varepsilon_0}} . \tag{7}$$

- Wprowadzamy na elektrometry ładunek elektryczny dotykając jednego z nich pałeczką ebonitową potartą uprzednio wełnianą szmatką. Wskazówka elektrometru Browna wychyla się, przy czym należy zadbać o to by pokrywała się dokładnie z kolejnymi kreskami skali. Jeżeli chcemy zmniejszyć nieco ładunek na elektrometrze dotykamy go kulką na pręcie izolującym, a następnie kulkę tą uziemiamy.

- W wyniku naelektryzowania elektrometru bezwzględnego szalka wagi odchyla się. Należy wagę zrównoważyć kładąc na drugą szalkę odpowiednią masę m. Na podstawie wzoru (7) można obliczyć potencjał odpowiadający określonym wychyleniom wskazówki elektrometru Browna.

Uwaga:

W praktyce doprowadzenie wagi do równowagi przy naładowanym kondensatorze może być trudne. Można sobie radzić delikatnie popychając wskazówkę wagi do położenia zerowego, a następnie tak dobierać obciążenie, by wskazówka odchylała się jednakowo łatwo w obie strony.

3. Wyznaczamy pojemność elektrometru Browna

- Wyskalowany elektrometr szkolny odłączamy od elektrometru bezwzględnego i rozładowujemy go.
- Mierzymy średnicę kuli metalowej umieszczonej na izolującej podstawce. Kulę ładujemy dotykając ją laską ebonitową potartą uprzednio wełnianą szmatką.
- Stykamy na chwilę kulę z nie naładowanym elektrometrem Browna i odnotowujemy potencjał V_1, do którego elektrometr się naładował. Na kuli pozostał ładunek

  $$Q_1 = V_1 4\pi\varepsilon_0 R\,, \tag{8}$$

  gdzie R jest promieniem kuli.
- Rozładowujemy elektrometr i powtórnie dotykamy go kulą odnotowując potencjał V_2. Na kuli, po drugim zetknięciu z elektrometrem pozostał ładunek

  $$Q_2 = V_2 4\pi\varepsilon_0 R \tag{9}$$

  Natomiast na elektrometr Browna przy drugim zetknięciu z kulą spłynął ładunek

  $$Q_3 = V_2 \cdot C_x\,, \tag{10}$$

  gdzie C_x jest szukaną pojemnością elektrometru.

  Ponieważ

  $$Q_1 = Q_2 + Q_3\,, \tag{11}$$

  mamy

  $$V_1 \cdot 4\pi\varepsilon_0 R = V_2 \cdot 4\pi\varepsilon_0 R + V_2 \cdot C_x \tag{12}$$

  a stąd

  $$C_x = 4\pi\varepsilon_0 R\left(\frac{V_1}{V_2} - 1\right). \tag{13}$$

Typowy elektrometr szkolny ma pojemność kilku pF, a odchylenie jego wskazówki o 60° odpowiada napięciu rzędu 2000V [2]

Literatura:

1. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, Podstawy fizyki t. 3, PWN, Warszawa 2005.
2. W. Gorzkowski, A. Kotlicki, Olimpiada Fizyczna XXVII – XXVIII, WSiP, Warszawa 1983

Ćwiczenie S. 9.4
Pomiar pojemności kondensatora metodą rozładowania przez galwanometr

Cel ćwiczenia:

Praktyczne zapoznanie się z możliwością wykorzystania czułego miernika prądu do pomiaru pojemności kondensatora.

Krótki opis ćwiczenia:

Kondensatory o znanej i nieznanej pojemności są ładowane do tego samego napięcia, a następnie rozładowywane przez galwanometr, który pełni w układzie rolę galwanometru balistycznego. Mierząc wychylenia cewki galwanometru przy rozładowaniu obu kondensatorów możemy wyznaczyć pojemność kondensatora badanego.

Wymagana wiedza ucznia:

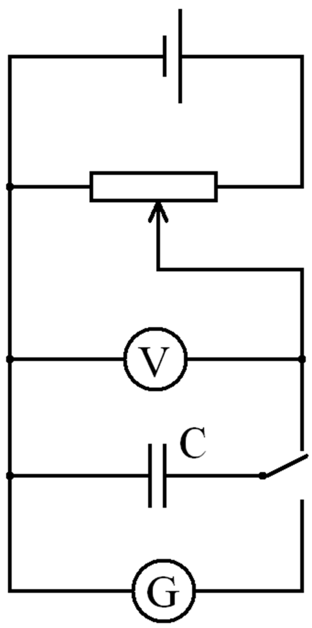
- Pojemność elektryczna. Kondensatory.
- Mierniki prądu stałego. Budowa i zasada działania galwanometru.
- Zasady dynamiki dla ruchu obrotowego. Energia kinetyczna w ruchu obrotowym.

Przyrządy pomiarowe i materiały:

Bateryjka, woltomierz, galwanometr, przełącznik, opornica suwakowa, przewody, dwa kondensatory, w tym jeden o znanej pojemności.

Wykonanie ćwiczenia:

- Łączymy układ pomiarowy według schematu [2]:



- Włączamy w obwód kondensator o znanej pojemności i ładujemy go do napięcia U. Następnie zmieniamy pozycję przełącznika i rozładowujemy kondensator przez galwanometr odnotowując jego wychylenie. Pomiary powtarzamy dla kondensatora o nieznanej pojemności ładując go do tego samego napięcia *U*.
  Uwaga: należy rozpocząć od pomiarów próbnych, w których należy dobrać takie napięcie *U*, aby wychylenia galwanometru były w przypadku obu kondensatorów możliwie duże, ale mniejsze od zakresu miernika.

- Zakładamy, że kondensator rozładowuje się całkowicie podczas wychylenia cewki galwanometru z położenia równowagi. Przyjmujemy, że zmiana momentu pędu ΔJ układu wychyłowego miernika wynosi

$$\Delta J = Mt,$$

gdzie M jest średnim momentem siły, a t czasem przepływu prądu rozładowania.
Średni moment M siły jest proporcjonalny do średniego natężenia I prądu płynącego przez cewkę:

$$M = GI.$$

Stąd

$$\Delta J = GIt = GQ,$$

gdzie Q jest ładunkiem, który przepłynął przez cewkę, a G stałą przyrządu.
Energia kinetyczna E_k, którą uzyskuje cewka galwanometru wynosi:

$$E_k = \frac{(\Delta J)^2}{2B} = \frac{G^2Q^2}{2B},$$

gdzie B jest momentem bezwładności cewki.
W końcowej fazie wychylenia energia ta zamienia się na energię potencjalną E_p sprężyny powrotnej skręconej o kąt α:

$$E_p = k\alpha^2,$$

gdzie k jest stałą .
Czyli

$$k\alpha^2 = \frac{G^2Q^2}{2B}.$$

Ponieważ kąt α jest proporcjonalny do wychylenia *w* cewki z powyższego wzoru wynika, że wychylenie to jest wprost proporcjonalne do ładunku elektrycznego przepływającego przez galwanometr. Czyli odnotowane w doświadczeniu wychylenia galwanometru w_1 i w_2 są proporcjonalne do ładunków Q_1 i Q_2 zgromadzonych odpowiednio na kondensatorze o znanej pojemności C_1 i nieznanej pojemności C_x. Oba kondensatory były ładowane do tego samego napięcia U. Zatem

$$\frac{w_1}{w_2} = \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{C_1U}{C_xU}.$$

Stąd

$$C_x = \frac{C_1w_2}{w_1}.$$

Wychylenia w_1 , w_2 trzeba zmierzyć wielokrotnie i obliczyć ich wartość średnią.

Literatura:

1. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, Podstawy fizyki t. 3, PWN, Warszawa 2005.
2. W. Gorzkowski, A. Kotlicki, Olimpiada Fizyczna – wybrane zadania doświadczalne z rozwiązaniami, Stowarzyszenie „Symetria i Własności Strukturalne”, Poznań 1994.

Ćwiczenie S.9.5
Badanie baterii słonecznej

Cel ćwiczenia:

Wyznaczenie charakterystyki obciążenia baterii słonecznej oraz określenie jej maksymalnej sprawności.

Krótki opis ćwiczenia:

W pierwszej części eksperymentu badamy zależność napięcia pomiędzy biegunami baterii od natężenia prądu płynącego przez nią pod wpływem oświetlenia. Analiza wyników pomiaru (wykres) prowadzi do odpowiedzi na pytanie czy oświetloną baterię słoneczną można uznać za źródło napięcia o określonych wartościach siły elektromotorycznej i oporu wewnętrznego. Następnie wyznaczamy sprawność baterii jako stosunek maksymalnej mocy wydzielonej na oporniku podłączonym do biegunów baterii do mocy promieniowania elektromagnetycznego padającego na jej powierzchnię aktywną.

Wymagana wiedza ucznia:

- Prawo Ohma dla zamkniętego obwodu. Siła elektromotoryczna i opór wewnętrzny źródła.
- Praca i moc prądu elektrycznego.
- Baterie słoneczne.

Przyrządy pomiarowe i materiały:

Bateria słoneczna (np. z ogrodowej lampy solarnej), opornica dekadowa lub zestaw oporników umożliwiający zmianę rezystancji w zakresie od kilkudziesięciu omów do dziesięciu kiloomów, woltomierz o oporze wewnętrznym większym od 1MΩ, żarówka o napięciu znamionowym 12V i mocy znamionowej około 5W, zasilacz prądu stałego umożliwiający zasilanie żarówki napięciem znamionowym, linijka, przewody elektryczne, zaciski, taśma klejąca, statyw z poprzeczką do umocowania żarówki na odpowiedniej wysokości.

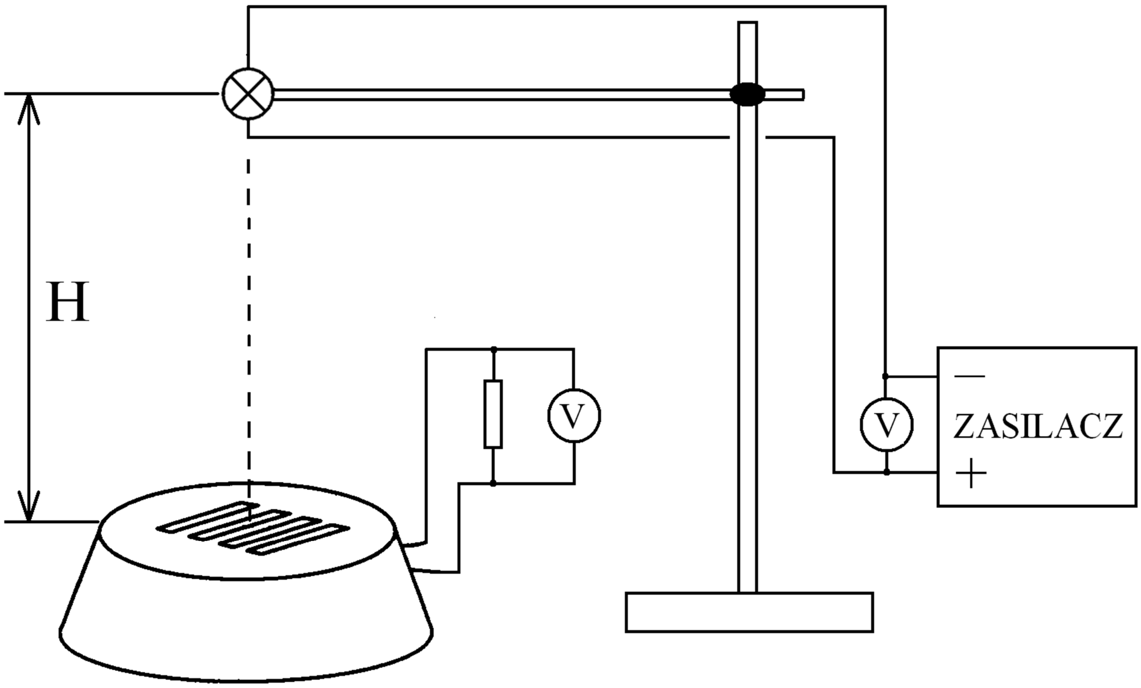
Wykonanie ćwiczenia:

1. Porównanie baterii słonecznej ze źródłem napięcia o określonej sile elektromotorycznej i oporze wewnętrznym

Napięcie U na zaciskach źródła o określonej sile elektromotorycznej E i stałym oporze wewnętrznym r jest liniową funkcją natężenia prądu I czerpanego ze źródła:

$$U = E - Ir.$$

Aby zbadać eksperymentalnie czy ta zależność obowiązuje dla baterii słonecznej zestawiamy układ pomiarowy jak na rysunku poniżej [3]:



- Baterię umieszczamy dokładnie pod żarówką połączoną z zasilaczem. Wartość napięcia zasilania mierzymy woltomierzem po to, by w razie konieczności doregulować zasilacz do napięcia znamionowego żarówki. Żarówka powinna być umieszczona dokładnie nad centralną częścią aktywnej powierzchni baterii. Odległość H pomiędzy aktywną powierzchnią baterii i włóknem żarówki powinna wynosić 12 cm.

- Oświetlamy baterię. Mierzymy napięcie U na zaciskach baterii połączonych oporem R i znajdujemy natężenie I płynącego przez nią prądu:
$$I = \frac{U}{R}.$$
Pomiar powtarzamy kilkunastokrotnie każdorazowo zmieniając opór R.

- Wykonujemy wykres $U = f(I)$. Stwierdzamy, że napięcie na zaciskach baterii nie jest liniową funkcją płynącego przez nią prądu – opór wewnętrzny baterii słonecznej nie jest stały [3].

2. Oszacowanie sprawności baterii słonecznej

Sprawność baterii słonecznej obliczamy jako stosunek maksymalnej mocy P_{Rmax} wydzielonej na oporniku dołączonym do biegunów baterii do mocy P_p promieniowania elektromagnetycznego padającego na aktywną powierzchnię baterii:
$$\eta = \frac{P_{Rmax}}{P_p}.$$
Moc P_R wydzielaną na oporniku dołączonym do baterii obliczamy na podstawie danych eksperymentalnych uzyskanych w części pierwszej:
$$P_R = UI.$$
Aby znaleźć wartość P_{Rmax} wykonujemy wykres zależności mocy P_R od wartości oporu R obciążającego baterię. Jeśli zajdzie konieczność zagęszczenia punktów pomiarowych w obszarze maksimum mocy należy wykonać dodatkowe pomiary.

Moc P_p promieniowania elektromagnetycznego padającego na powierzchnię czynną baterii szacujemy przy założeniu, że cała energia elektryczna dostarczana do żarówki zamieniana jest na energię promieniowania, a żarówka promieniuje izotropowo. Wtedy moc padająca na powierzchnię czynną baterii jest proporcjonalna do kąta bryłowego

$$\omega = \frac{S}{4\pi H^2} P_n,$$

gdzie P_n - moc żarówki przy napięciu znamionowym, S - pole powierzchni elementu aktywnego (paski).
Sprawność baterii słonecznej wynosi kilka procent [3].

Literatura:

1. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, Podstawy fizyki t. 3, PWN, Warszawa 2005.
2. W. Gorzkowski, A. Kotlicki, Olimpiada Fizyczna – wybrane zadania doświadczalne z rozwiązaniami, Stowarzyszenie „Symetria i Własności Strukturalne”, Poznań 1994.
3. LVII Olimpiada Fizyczna, materiały nadesłane do komitetów okręgowych Olimpiady Fizycznej przez Komitet Główny.

Ćwiczenie S.9.6
Pomiar temperatury płomienia świecy

Cel ćwiczenia:

Praktyczne zapoznanie się z problematyką promieniowania ciała doskonale czarnego oraz zależnością oporu elektrycznego od temperatury.

Krótki opis ćwiczenia:

Eksperyment polega na obserwacji włókna żarówki na tle płomienia świecy. Należy zmierzyć opór włókna przy takim natężeniu prądu, przy którym rozżarzone włókno znika na tle płomienia, a następnie na podstawie zależności oporu od temperatury oszacować temperaturę. Metoda pomiaru opiera się na podobieństwie własności emisyjno-absorpcyjnych świecy i żarówki [2].

Wymagana wiedza ucznia:

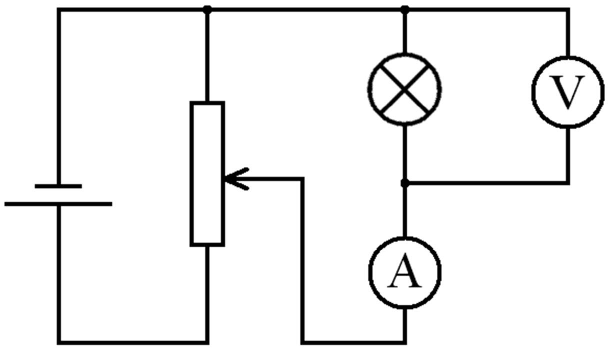
- Opór elektryczny. Zależność oporu od temperatury.
- Zdolność emisyjna i zdolność absorpcyjna. Ciało doskonale czarne.

Przyrządy pomiarowe i materiały:

Żarówka 12V;1W, dwie bateryjki płaskie 4,5V, opornica suwakowa 100Ω, amperomierz, woltomierz, płytka szklana, świeca i zapałki, krokodylki, przewody.

Wykonanie ćwiczenia:

- Mierzymy opór R_0 włókna żarówki w temperaturze pokojowej. W tym celu łączymy obwód według schematu:



Mierzymy napięcie oraz odpowiadające mu natężenie prądu płynącego przez żarówkę. Stąd z prawa Ohma znajdujemy opór żarówki. Pomiary powtarzamy przy zasilaniu żarówki coraz to niższym napięciem. Wykonujemy wykres oporu w funkcji napięcia zasilającego żarówkę. Z wykresu odczytujemy wartość oporu przy napięciu dążącym do zera. Jest to szukana wielkość R_0.

- Szklaną płytkę należy okopcić w płomieniu świecy lub zapałki. Przez taką płytkę będziemy mogli wygodnie patrzeć na rozżarzone włókno żarówki i dobrze je widzieć. Ustawiamy żarówkę na tle płomienia świecy i zmieniając napięcie zasilania doprowadzamy do sytuacji, w której rozżarzone włókno przestaje być widoczne na tle płomienia. Mierzymy napięcie, natężenie i obliczamy opór włókna R_1 w tej temperaturze.
- Opór *R* włókna wolframowego żarówki w funkcji temperatury *t* (w skali Celsjusza) można z dobrym przybliżeniem opisać wzorem [2]:

$$R = R_0[1 + \alpha(t - t_0)],$$

gdzie t_0 – temperatura panująca w pracowni, $\alpha = 0{,}0045K^{-1}$ – temperaturowy współczynnik oporu dla wolframu, R_0 - opór włókna żarówki w temperaturze t_0. Stąd możemy znaleźć temperaturę t_1 włókna żarówki:

$$t_1 = \frac{R_1 - R_0}{\alpha R_0} + t_0.$$

Uwaga: opór wewnętrzny woltomierza powinien być o wiele większy od oporu gorącego włókna żarówki.

Literatura:

1. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, Podstawy fizyki t. 3, PWN, Warszawa 2005.
2. W. Gorzkowski, A. Kotlicki, Olimpiada Fizyczna – wybrane zadania doświadczalne z rozwiązaniami, Stowarzyszenie „Symetria i Własności Strukturalne”, Poznań 1994.

Ćwiczenie S.9.7
Znajdowanie punktu „przebicia" w uzwojeniach izolowanych przewodów

Cel ćwiczenia:

Zwrócenie uwagi na praktyczny aspekt praw przepływu prądu stałego

Krótki opis ćwiczenia:

Przy znajdowaniu miejsca uszkodzenia instalacji wykorzystujemy układ mostka Wheatstone'a do pomiaru rezystancji: dwa odcinki przewodu przedzielone punktem „przebicia do masy" stanowią dwa z czterech oporników układu. Pozostałe opory to dwie opornice dekadowe umożliwiające zrównoważenie mostka.

Wymagana wiedza ucznia:

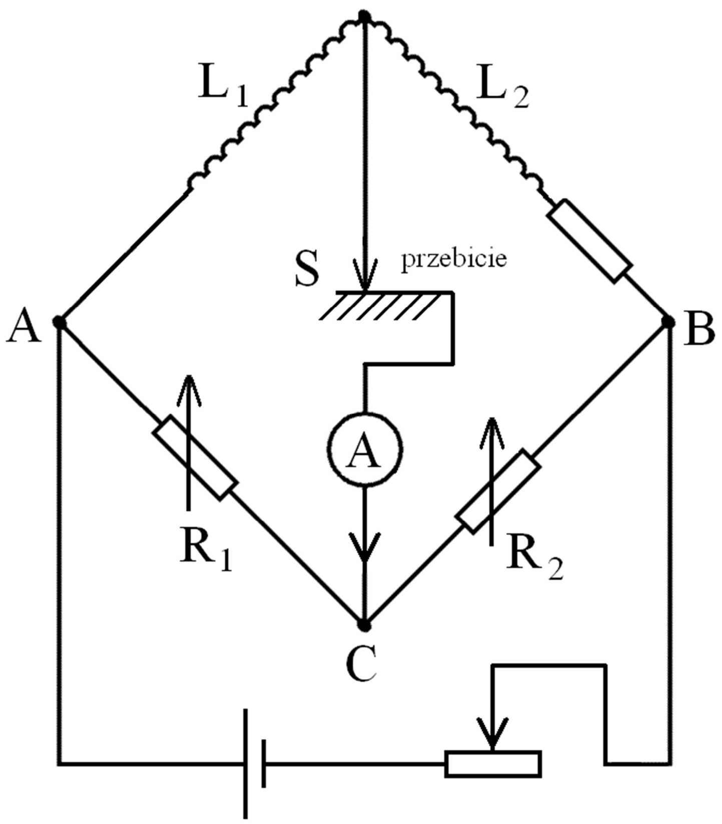
- Prąd elektryczny. Natężenie prądu.
- Prawo Ohma. I prawo Kirchhoffa.

Przyrządy pomiarowe i materiały:

Bateria 1,5 V, czuły amperomierz, dwie opornice dekadowe, opornica suwakowa 10 Ω, przewody, drut izolowany o znanej długości L nawinięty na szpulę metalową przy czym w jednym miejscu (nieznanym dla eksperymentatora) izolacja drutu jest uszkodzona.

Wykonanie ćwiczenia:

- Łączymy układ pomiarowy według schematu [2]:



- Aby znaleźć odległość punktu przebicia od jednego z końców uzwojenia zmieniamy opory R_1 i R_2 tak, aby przez amperomierz nie płynął prąd. Wtedy potencjał elektryczny w punkcie S jest taki sam jak w punkcie A. Stąd wynika równość napięć:

$$U_{AS} = U_{AC}$$

oraz

$$U_{SB} = U_{CB}$$

Na podstawie praw Ohma powyższe równania mają postać:

$$I_1 R_1 = I_2 \rho \frac{L_1}{S}$$

$$I_1 R_2 = I_2 \rho \frac{L_2}{S},$$

gdzie I_1 , I_2 - natężenia prądów płynących odpowiednio w gałęzi z opornikami dekadowymi oraz w gałęzi z odcinkami badanego przewodu, ρ - opór właściwy przewodu, S – pole jego poprzecznego przekroju.

Stąd po podzieleniu stronami:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{L_1}{L_2}.$$

Dalej kładąc

$$L_2 = L - L_1$$

dostajemy

$$L_1 = \frac{LR_1}{R_1 + R_2}.$$

Literatura:

1. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, Podstawy fizyki t. 3, PWN, Warszawa 2005.
2. W. Gorzkowski, A. Kotlicki, Olimpiada Fizyczna – wybrane zadania doświadczalne z rozwiązaniami, Stowarzyszenie „Symetria i Własności Strukturalne", Poznań 1994.

Ćwiczenie S.9.8

Wyznaczanie składowej poziomej natężenia pola magnetycznego ziemskiego za pomocą magnesu sztabkowego i kompasu.

Cel ćwiczenia:

Praktyczne zapoznanie się z zagadnieniem pola magnetycznego pochodzącego od dipola oraz problematyką drgań harmonicznych bryły sztywnej.

Krótki opis ćwiczenia:

Uczniowie wyznaczają składową poziomą natężenia pola magnetycznego Ziemi w swoim miejscu zamieszkania na podstawie pomiaru kąta odchylenia igły magnetycznej umieszczonej w polu dalekim magnesu sztabkowego.

Wymagana wiedza ucznia:

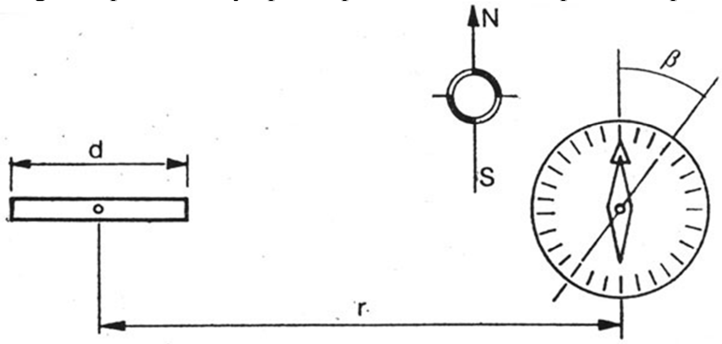
- Pole magnetyczne. Natężenie pola magnetycznego. Indukcja magnetyczna.
- Charakterystyka pola magnetycznego Ziemi.
- Dipol magnetyczny. Magnetyczny moment dipolowy. Pole dipola. Indukcja magnetyczna w odległych punktach na osi dipola.
- Dipol w polu magnetycznym.
- Drgania harmoniczne bryły sztywnej.

Przyrządy pomiarowe i materiały:

Magnes sztabkowy, kompas, waga, stoper, linijka, statyw, nici.

Wykonanie ćwiczenia:

- Mierzymy długość d i masę m magnesu sztabkowego.
- Magnes sztabkowy umieszczamy w odległości r od kompasu dbając o zachowanie warunku r ≫ d. Oś magnesu powinna być prostopadła do kierunku północ – południe.



- Mierzymy kąt β odchylenia igły kompasu od kierunku północ – południe. Zachodzi związek:

$$tg\beta = \frac{H}{H_Z}, \tag{1}$$

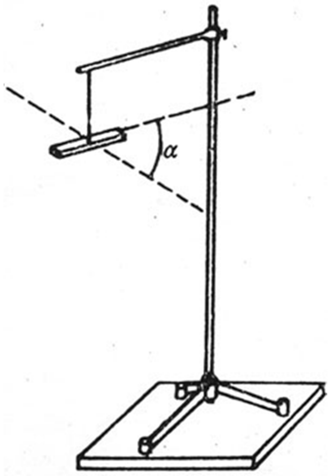
gdzie H_Z jest składową poziomą natężenia pola magnetycznego ziemskiego, a H natężeniem pola magnetycznego od magnesu sztabkowego przy czym

$$H = \frac{p_m}{2\pi\, r^3}, \tag{2}$$

gdzie p_m jest magnetycznym momentem dipolowym magnesu sztabkowego. Ze wzorów (1) i (2) wynika, że:

$$H_Z = \frac{p_m}{2\pi\, r^3 tg\beta}. \tag{3}$$

- W celu wyznaczenia momentu dipolowego p_m magnesu zawieszamy magnes na nitce przymocowanej do statywu tak, aby wisiał poziomo.



Po ustaleniu się położenia równowagi wychylamy magnes delikatnie w płaszczyźnie poziomej o mały kąt, puszczamy i mierzymy okres T swobodnych, małych drgań. Okres ten możemy wyrazić wzorem

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{p_m H_Z \mu_0}}\,, \tag{4}$$

gdzie μ_0 jest przenikalnością magnetyczną próżni, a moment bezwładności I sztabki magnesu wynosi:

$$I = \frac{md^2}{12}. \tag{5}$$

Po uwzględnieniu wzorów (4), (5) w (3) otrzymujemy:

$$H_Z = \frac{d}{T}\sqrt{\frac{\pi m}{6\mu_0 r^3 tg\beta}} \tag{6}$$

Uwaga:

Największy wpływ na wynik ma błąd pomiaru okresu T [2]. Dlatego okres drgań należy wyznaczyć starannie mierząc czas kilkudziesięciu pełnych drgań magnesu sztabkowego

Literatura:

1. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, Podstawy fizyki t. 3, PWN, Warszawa 2005.
2. A. Nadolny, K. Pniewska, Olimpiada Fizyczna XXIX – XXXI, WSiP, Warszawa 1986.

Ćwiczenie S.9.9

Badanie rozkładu potencjału w polu wytworzonym przez dwie współśrodkowe elektrody walcowe zanurzone w elektrolicie

Cel ćwiczenia

Praktyczne zapoznanie się z doświadczalnym badaniem rozkładu pola elektrycznego.

Krótki opis ćwiczenia:

Pole elektryczne jest wytworzone przez dwie koncentryczne elektrody walcowe zanurzone w wodnym roztworze siarczanu miedzi. Do elektrod dołączone jest źródło napięcia zmiennego o małej wartości. Rozkład potencjału bada się za pomocą woltomierza mierząc napięcie pomiędzy ustalonym punktem układu a sondą w kształcie prostego, cienkiego drutu.

Wymagana wiedza ucznia:

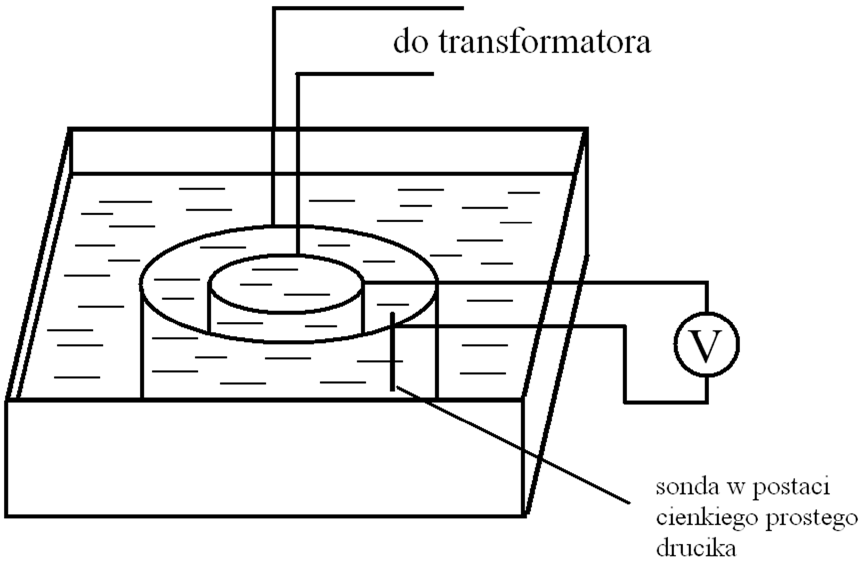
- Pole elektryczne. Natężenie i potencjał pola elektrycznego.
- Elektroliza. Prawa elektrolizy.

Przyrządy pomiarowe i materiały:

Wanna elektrolityczna z wodnym roztworem siarczanu miedzi, dwie elektrody walcowe: jedna o promieniu kilku a druga kilkunastu centymetrów, źródło napięcia zmiennego, np. stary transformator dzwonkowy 12V, woltomierz o możliwie dużym oporze wewnętrznym, kawałek prostego i cienkiego drutu metalowego, linijka, krokodylki, przewody.

Wykonanie ćwiczenia:

- Budujemy układ doświadczalny pokazany na rysunku [2].



- jedną końcówkę woltomierza łączymy z ustalonym punktem odniesienia np. na elektrodzie wewnętrznej, a drugą z ustawionym pionowo drutem pełniącym rolę sondy. Mierzymy napięcie U pomiędzy punktem odniesienia a sondą. Położenie danego punktu pola, w którym umieszczamy sondę określamy mierząc linijką odległość r sondy od środka układu.

- Ze względu na geometrię układu elektrod spodziewamy się pola o symetrii walcowej. Nasze przypuszczenia sprawdzamy doświadczalnie przykładając sondę w punktach jednakowo odległych od środka układu. Okaże się, że przy ustalonej odległości r od środka układu wartość potencjału się nie zmienia. Następnie badamy zależność napięcia U od odległości r w przedziałach:
  a) $r < R_w$, gdzie R_w jest promieniem elektrody wewnętrznej
  b) $R_w < r < R_z$, gdzie R_z jest promieniem elektrody zewnętrznej
  c) $r > R_z$.
  Okazuje się, że w przypadkach a) i c) potencjał jest równy potencjałowi na odpowiednich elektrodach natomiast w obszarze między elektrodami zmienia się w taki sposób, że napięcie U jest liniową funkcją $\log(r)$.

Literatura:

1. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, Podstawy fizyki t. 3, PWN, Warszawa 2005.
2. W. Gorzkowski, A. Kotlicki, Olimpiada Fizyczna – wybrane zadania doświadczalne z rozwiązaniami, Stowarzyszenie „Symetria i Własności Strukturalne", Poznań 1994.

Ćwiczenie S.9.10
Pomiar rezystancji i pojemności kondensatora za pomocą oscyloskopu

Cel ćwiczenia:

Zapoznanie się – na kilku przykładach – z możliwością zastosowania oscyloskopu do pomiaru rezystancji i pojemności.

Krótki opis ćwiczenia:

Pomiar rezystancji i pojemności elektrycznej za pomocą oscyloskopu opiera się na porównywaniu amplitudy napięć zmiennych na elemencie wzorcowym i badanym.

Wymagana wiedza ucznia:

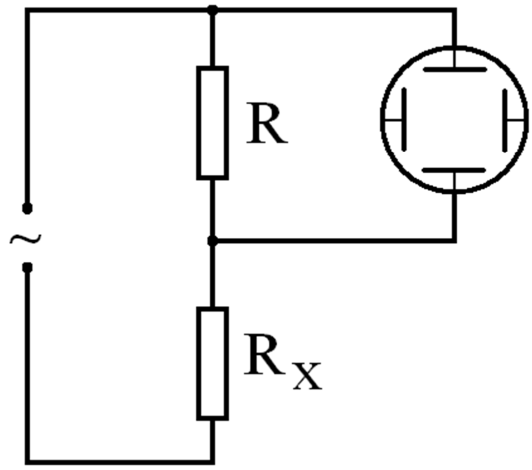
- Obwody prądu zmiennego: opór indukcyjny i pojemnościowy.
- Budowa i zasada działania oscyloskopu

Przyrządy pomiarowe i materiały:

Oscyloskop, zasilacz prądu zmiennego lub transformator sieciowy obniżający napięcie do około 5V, dwa oporniki wzorcowe o znanym oporze, opornik o nieznanym oporze, kondensator.

Wykonanie ćwiczenia:

1. Pomiar rezystancji
   - Łączymy obwód według schematu [2]:



Z oscyloskopu odczytujemy amplitudę U_R napięcia na znanym oporze R oraz amplitudę napięcia U_{Rx} na oporze nieznanym R_x . Ponieważ

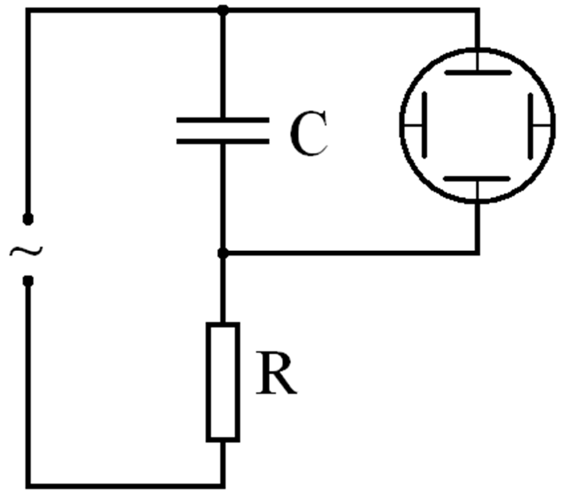
$$\frac{U_{R_x}}{U_R} = \frac{R_x}{R}$$

opór R_x możemy obliczyc ze wzoru:

$$R_x = R\frac{U_{R_x}}{U_R}.$$

2. Pomiar pojemności kondensatora

- Łączymy obwód według schematu [2]:



Za pomocą oscyloskopu mierzymy amplitudę napięcia U_R na oporniku o znanym oporze R a następnie amplitudę U_C napięcia na kondensatorze. Zachodzi związek:

$$\frac{U_R}{U_C} = 2\pi fRC,$$

gdzie $f = 50Hz$ częstotliwość zmian napięcia sieci. Stąd pojemność C kondensatora wynosi:

$$C = \frac{U_R}{2\pi fRU_c}.$$

Literatura:

1. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, Podstawy fizyki t. 3, PWN, Warszawa 2005.
2. W. Gorzkowski, A. Kotlicki, Olimpiada Fizyczna – wybrane zadania doświadczalne z rozwiązaniami, Stowarzyszenie „Symetria i Własności Strukturalne”, Poznań 1994

Ćwiczenie S.9.11

Wyznaczanie współczynnika przewodności cieplnej miedzi za pomocą termopary

Cel ćwiczenia:

- Zapoznanie się ze zjawiskiem przewodnictwa cieplnego na gruncie eksperymentalnym.
- Praktyczne zapoznanie się z zastosowaniem termopary do pomiaru temperatury.

Krótki opis ćwiczenia:

Jednorodny pręt miedziany o znanej geometrii jest ogrzewany na jednym końcu spiralą grzejną, a drugi jego koniec umieszcza się w zlewce z wodą. Do pręta przylutowane są dwa druty konstantanowe stanowiące złącza termopary miedź – konstantan. Mierząc za pomocą termopary gradient temperatury i znając moc wydzieloną w grzejniku można wyznaczyć współczynnik przewodności cieplnej miedzi.

Wymagana wiedza ucznia:

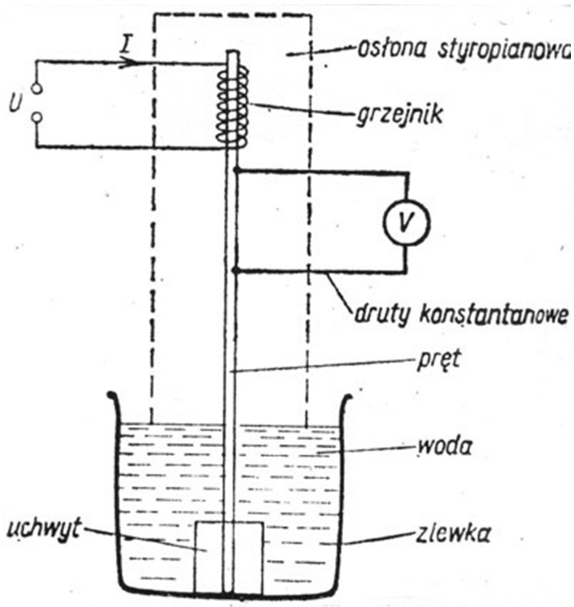
- Mechanizm przewodnictwa cieplnego metali. Równanie przewodnictwa cieplnego.
- Praca i moc prądu elektrycznego.
- Zjawisko termoelektryczne. Termopara.

Przyrządy pomiarowe i materiały:

Pręt miedziany o średnicy około 5mm z nawiniętym na jednym końcu uzwojeniem z drutu oporowego i dwoma przylutowanymi odcinkami drutu konstantanowego o średnicy około 0,2mm, zasilacz regulowany prądu stałego, woltomierz, amperomierz, czuły miliwoltomierz o dużej oporności, zlewka z wodą o pojemności około 0,5 dm^3, podstawka do mocowania pręta w zlewce, linijka, dwa kawałki styropianu.

Wykonanie ćwiczenia:

- Zestawiamy układ pomiarowy jak na poniższym rysunku [2] :



Przed osłonięciem pręta styropianem należy zmierzyć odległość *l* pomiędzy przylutowanymi drutami konstantanowymi. Odległość ta powinna wynosić około 50mm [2].

- Mierzymy średnicą pręta i obliczamy pole *S* jego przekroju poprzecznego.
- Włączamy zasilacz. Mierzymy napięcie *U* na uzwojeniu grzejnika oraz natężenie *I* prądu pobieranego przez grzejnik. Należy tak ustalić wartość napięcia i natężenia, aby moc pobierana przez grzejnik nie przekraczała 1W.
- Po ustaleniu parametrów grzejnika czekamy kilka minut, aby warunki przepływu ciepła przez pręt do wody ustabilizowały się. Następnie odnotowujemy różnicę potencjałów *E* pomiędzy złączami termopary wskazywaną przez miliwoltomierz. Różnica ta jest proporcjonalna do różnicy temperatur ΔT między złączami:

$$E = \alpha \cdot \Delta T \,, \qquad (1)$$

gdzie $\alpha = 42\frac{\mu V}{K}$ jest stałą termopary miedź – konstantan w zakresie 0 - 100°C.

- Obliczamy współczynnik η przewodności cieplnej miedzi biorąc za punkt wyjścia równanie przewodnictwa cieplnego:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \eta \frac{dT}{dx} \cdot S \,, \qquad (2)$$

gdzie ΔQ jest ilością ciepła przepływającego przez przekrój poprzeczny pręta o powierzchni S w czasie Δt, a $\frac{dT}{dx}$ jest spadkiem temperatury przypadającym na jednostkę długości pręta. Przyjmując, że

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = U \cdot I \tag{3}$$

oraz kładąc

$$\frac{dT}{dx} = \frac{\Delta T}{l} \tag{4}$$

możemy z równania (2) określić współczynnik przewodności cieplnej

$$\eta = \frac{U \cdot I \cdot l}{S \Delta T}. \tag{5}$$

Stąd po uwzględnieniu (1) dostajemy

$$\eta = \frac{U \cdot I \cdot l \cdot \alpha}{SE} \cdot. \tag{6}$$

<u>*Uwaga:*</u>

W nieco dłuższej wersji ćwiczenia możemy wykonać: 5 – 7 pomiarów dla różnych mocy grzejnika, nie przekraczając 5W. Z równania (6) wynika, że moc grzejnika $P=UI$ jest liniową funkcją E:

$$P = \eta \cdot \frac{S}{l\alpha} E. \tag{7}$$

Na podstawie wykresu $P(E)$ znajdujemy nachylenie b prostej:

$$b = \eta \frac{S}{l\alpha} \tag{8}$$

i stąd obliczamy η.

Literatura:

1. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, Podstawy fizyki t. 3, PWN, Warszawa 2005.
2. W. Gorzkowski, A. Kotlicki, Olimpiada fizyczna – wybrane zadania doświadczalne z rozwiązaniami, Stowarzyszenie „Symetria i Własności Strukturalne”, Poznań 1994