

K. Cieślak, S. Gułkowski, D. Szymczuk, M. Zdrojewska, A. Zdyb

# ELEKTRYCZNOŚĆ I MAGNETYZM

## Instrukcje wykonania zadań na zajęciach laboratoryjnych z fizyki

Zestaw instrukcji przygotowano na podstawie skryptu PL:

*Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Elektryczność i magnetyzm.* B. Kuśmiderska,  
Cz. Rybka, T. Rybka, red. E. Śpiewła, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1995.

## SPIS TREŚCI:

<u>E 1.1. Badanie pola elektrycznego wytworzonego między elektrodami o różnych kształtach</u>	<u>3</u>
<u>E 2.1. Wyznaczanie oporu wewnętrznego, czułości i stałej galwanometru</u>	<u>5</u>
<u>E 2.2. Wyznaczanie okresu drgań własnych galwanometru</u>	<u>7</u>
<u>E 2.3. Wyznaczanie stałej balistycznej galwanometru balistycznego</u>	<u>9</u>
<u>E 2.4. Wyznaczanie pojemności elektrycznej metodą balistyczną</u>	<u>11</u>
<u>E 3.1. Pomiary oporu przewodników na podstawie prawa Ohma</u>	<u>13</u>
<u>E 3.2. Wyznaczanie oporu elektrycznego metodą mostka Wheatstone'a</u>	<u>16</u>
<u>E 3.3. Pomiar współczynnika temperaturowego oporu metali</u>	<u>18</u>
<u>E 5.1. Pomiar SEM ogniwa metodą kompensacji</u>	<u>21</u>
<u>E 5.2. Wyznaczanie SEM ogniwa na podstawie prawa Ohma dla obwodu zamkniętego</u>	<u>23</u>
<u>E 6.1. Wyznaczanie elementów LC obwodu metodą rezonansu</u>	<u>25</u>
<u>E 6.2.a. Pomiar indukcyjności i rezystancji cewek powietrznych mostkiem Maxwella-Wiena</u>	<u>27</u>
<u>E 6.2.b. Pomiar pojemności elektrycznej za pomocą zmiennoprądowego mostka Wheatstone'a</u>	<u>29</u>
<u>E 7.1. Wyznaczanie równoważnika elektrochemicznego miedzi, stałej Faraday'a i ładunku elementarnego</u>	<u>31</u>
<u>E 8.1. Wyznaczanie napięcia zapłonu i gaśnięcia lampy jarzeniowej</u>	<u>33</u>
<u>E 8.2. Badanie częstotliwości repetycji generatora drgań relaksacyjnych</u>	<u>35</u>
<u>E 10.1. Wyznaczanie charakterystyki diody</u>	<u>37</u>
<u>E 10.2.a. Wyznaczanie charakterystyk anodowych triody</u>	<u>39</u>
<u>E 10.2.b. Wyznaczanie charakterystyk siatkowych triody</u>	<u>41</u>
<u>E 11.1. Cechowanie termoogniwa</u>	<u>43</u>
<u>E 11.2. Wyznaczanie zdolności termoelektrycznej termoogniwa i względnej koncentracji elektronów swobodnych w metalach</u>	<u>45</u>
<u>E 12.1. Pomiar czułości i stałej lampy oscyloskopowej</u>	<u>47</u>
<u>E 12.2. Pomiar przekładni transformatora</u>	<u>49</u>
<u>E 13.1. Pomiary ładunku właściwego elektronu metodą pól skrzyżowanych</u>	<u>51</u>
<u>E 13.2. Wyznaczanie ładunku właściwego elektronu przy pomocy magnetronu</u>	<u>54</u>
<u>E 13.3. Wyznaczanie ładunku właściwego elektronu metodą ogniskowania podłużnym polem magnetycznym</u>	<u>56</u>
<u>E 14.1. Wyznaczanie charakterystyki diody półprzewodnikowej</u>	<u>58</u>
<u>E 14.2. Wyznaczanie charakterystyk tranzystora w układzie ze wspólnym emiterem</u>	<u>62</u>

## E 1.1. Badanie pola elektrycznego wytworzonego między elektrodami o różnych kształtach

### INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

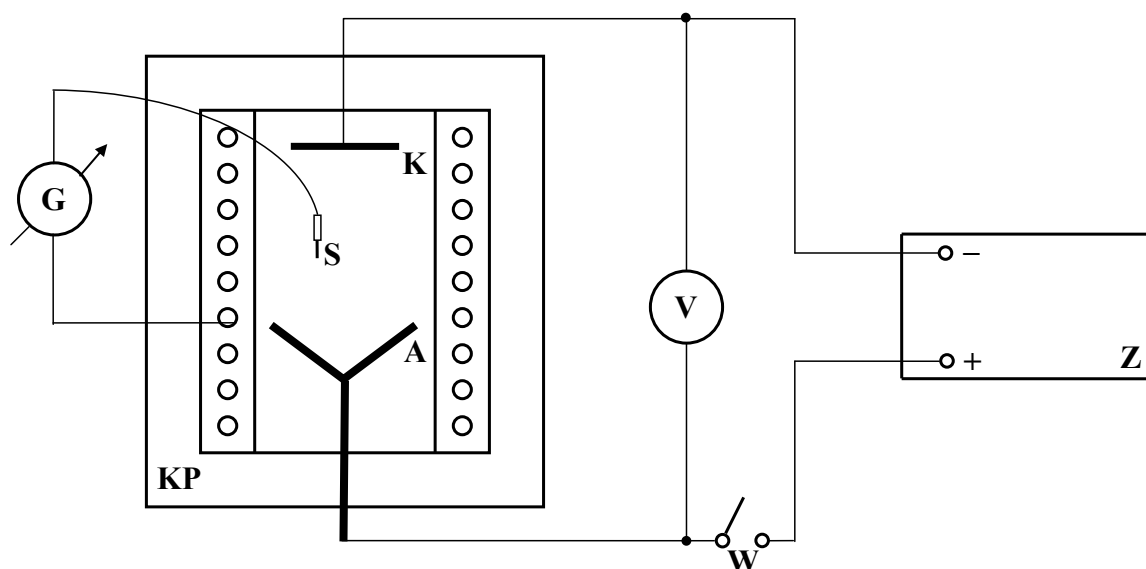
#### Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Pole elektryczne i wielkości je charakteryzujące
2. Prawo Coulomba i prawo Gaussa
3. Linie sił pola elektrycznego, powierzchnie ekwipotencjalne
4. Praca, energia potencjalna, potencjał w polu elektrostatycznym
5. Przewodnik i dielektryk w polu elektrostatycznym

#### Literatura:

1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Elektryczność i magnetyzm*, B. Kuśmiderska, Cz. Rybka, T. Rybka, red. E. Śpiewła, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1995.
2. B. Kuśmiderska, J. Meldizon, *Podstawy rachunku błędów w pracowni fizycznej*, red. E. Śpiewła, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1997.

#### Wykonanie zadania:



Rys.1 Schemat układu pomiarowego: G – galwanometr, KP – kuweta z piaskiem, K – katoda, A – anoda, S – sonda, V – woltomierz, W – włącznik, Z – zasilacz.

Po połączeniu obwodu według schematu (Rys. 1) i wyrównaniu powierzchni piasku należy umieścić anodę *A* w pojemniku. Załączyć układ pomiarowy włącznikiem *W* i ustawić odpowiednią wartość napięcia *U* podaną przez prowadzącego. W czasie wykonywania pomiarów należy zwracać uwagę, aby wartość napięcia nie ulegała wahaniom. W razie zmian

należy korygować napięcie potencjometrem zasilacza. Pomiary polegają na znalezieniu miejsc, w których potencjał jest stały. W tym celu należy wykonać następujące czynności:

1. Połączyć jedno z doprowadzeń galwanometru z pierwszym zaciskiem zamocowanym na brzegach kuwety.
2. Drugim doprowadzeniem galwanometru (sondą -  $S$ ) poszukać na piasku punktów, dla których wskazówka galwanometru nie wychyla się zaczynając od miejsc, w pobliżu których znajduje się pierwsze doprowadzenie galwanometru. Łącząc znalezione punkty otrzymamy linię równego potencjału. Czynność powtarzamy zmieniając połączenie galwanometru z kolejnymi zaciskami na kuwecie.
3. Pomiary wykonać w analogiczny sposób dla elektrod o różnym kształcie.
4. Wykorzystując przezroczystą płytę odrysować na papierze milimetrycznym kształt uzyskanych linii ekwipotencjalnych wraz z kształtem zastosowanych elektrod w skali 1:1.
5. Między anodę  $A$  i katodę  $K$  wstawić dielektryk i zbadać kształt pola elektrostatycznego w sposób podany wyżej.
6. Między anodę  $A$  i katodę  $K$  wstawić metalowy przewodnik i zbadać kształt pola elektrostatycznego w sposób podany wyżej.
7. Na podstawie linii ekwipotencjalnych wykreślić linie sił pola elektrostatycznego, a następnie zaznaczyć zwrot wektora natężenia pola elektrostatycznego.

Autor instrukcji:

Dariusz Szymczuk

## E 2.1. Wyznaczanie oporu wewnętrznego, czułości i stałej galwanometru

### INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

#### Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Siła elektrodynamiczna
2. Moment pary sił
3. Zasada działania galwanometru magnetoelektrycznego
4. Wyprowadzenie wzoru na opór wewnętrzny galwanometru
5. Definicje czułości i stałej galwanometru – prądowej i napięciowej

#### Literatura:

1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki: Elektryczność i magnetyzm*, B. Kuśmiderska, Cz. Rybka, T. Rybka, red. E. Śpiewła, Wydawnictwa Uczelniane Politechniki Lubelskiej, 1995.
2. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003, tom III.
3. B. Kuśmiderska, J. Meldizon, *Podstawy rachunku błędów w pracowni fizycznej*, Wydawnictwa Uczelniane Politechniki Lubelskiej, Lublin 1997.

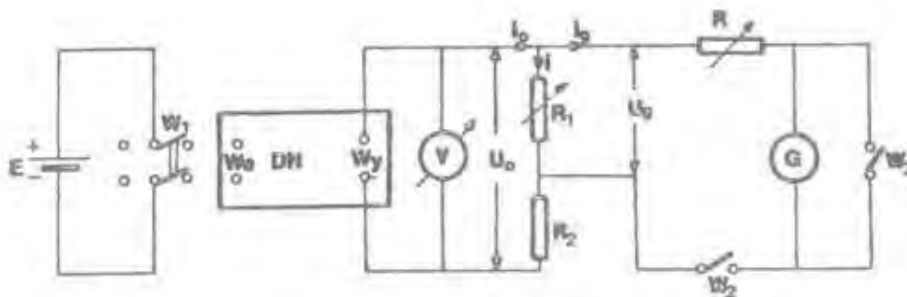
#### Wartości podawane przez prowadzącego zajęcia:

Napięcie  $U_0 = 40 \text{ mV}$ ; Opór  $R_2 = 10\,000 \, \Omega$

Opór  $R = (30 \div 100) \, \Omega$

Opór  $R_1 = (0 \div 50) \, \Omega$

#### Wykonanie zadania:



Rys. 1 Schemat obwodu elektrycznego: E - zasilacz; DN – dzielnik napięcia; V – woltomierz; R, R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub> – rezystory dekadowe; G – galwanometr; W<sub>1</sub>, W<sub>2</sub>, W<sub>3</sub> - wyłączniki

**UWAGA:** Po zestawieniu obwodu elektrycznego, w celu uniknięcia wypadku lub uszkodzenia aparatury, przed włączeniem zasilania należy poprosić prowadzącego zajęcia o sprawdzenie obwodu.

- Zestawić obwód elektryczny zgodnie ze schematem z Rys. 1.
- Ustawić wartości  $U_0, R_2, R$  oraz  $R_1 = 0$ .
- Zamknąć wyłączniki  $W_1$  i  $W_2$ . Wyłącznik  $W_3$  pozostawić otwarty.
- Zwiększać wartość oporu  $R_1$  aż do momentu, gdy wskaźnik świetlny galwanometru osiągnie koniec skali ( $n = 70$  działek).
- Zapisać w tabeli liczbę działek  $n, R_2, R_1, U_0, R$ .

$R_2$ [ $\Omega$ ]	$R_1$ [ $\Omega$ ]	$U_0$ [V]	$R$ [ $\Omega$ ]	$n$ [dz]	$U_0'$ [ $\Omega$ ]	$R'$ [ $\Omega$ ]	$R_g$ [ $\Omega$ ]	$\overline{R_g}$ [ $\Omega$ ]

- Zwiększyć wartość oporu  $R$  o kilkaset omów – **przy jego nowej wartości  $R'$  wychylenie wskaźnika świetlnego zmniejszy się.**
- Używając dzielnika napięcia DN, zwiększać stopniowo napięcie  $U_0$  do wartości  $U_0'$ , przy której wychylenie wskaźnika świetlnego powróci do maksymalnej wartości  $n = 70$  działek.
- Zapisać w tabeli wartości  $U_0'$  i  $R'$ .
- Pomiary powtórzyć dla co najmniej dziesięciu różnych wartości oporu  $R'$ .
- Opór wewnętrzny galwanometru  $R_g$  obliczyć ze wzoru:

$$R_g = \frac{U_0'(R_1 + R) - U_0(R_1 + R')}{U_0 - U_0'}$$

- Obliczyć średnią arytmetyczną oporu wewnętrznego galwanometru.
- Natężenie prądu płynącego przez galwanometr  $\overline{i_g}$  obliczyć korzystając ze wzoru:

$$\overline{i_g} = \frac{U_0}{R_2} \frac{R_1}{(R_1 + R + \overline{R_g})}$$

- Mając  $\overline{i_g}$  obliczyć:

- czułość prądową  $C_i$ : 
$$C_i = \frac{n}{\overline{i_g}}$$
- stałą prądową  $S_i$ : 
$$S_i = \frac{\overline{i_g}}{n}$$
- czułość napięciową  $C_v$ : 
$$C_v = \frac{C_i}{\overline{R_g} + R}$$
- stałą napięciową  $S_v$ : 
$$S_v = S_i(\overline{R_g} + R)$$

Odpowiednie wielkości wpisać do tabeli:

$\overline{i_g}$ [A]	$C_i$ [dz/A]	$S_i$ [A/dz]	$C_v$ [dz/V]	$S_v$ [V/dz]

- Za pomocą metody różniczkowania określić maksymalną niepewność pomiarową  $R_g$  przyjmując, że  $R_g = f(U_0, U_0', R, R', R_1)$ .

Autor instrukcji: Krystian Cieślak

## E 2.2. Wyznaczanie okresu drgań własnych galwanometru

### INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

#### Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Siła elektrodynamiczna
2. Moment pary sił
3. Zasada działania galwanometru magnetoelektrycznego
4. Wyprowadzenie wzoru na opór wewnętrzny galwanometru
5. Definicja okresu drgań własnych galwanometru

#### Literatura:

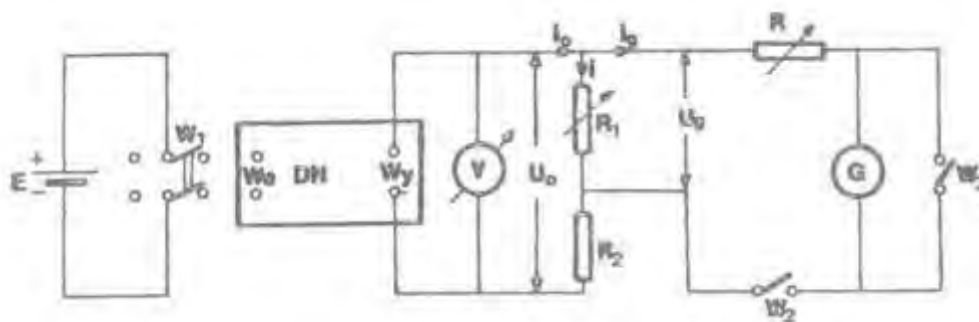
1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki: Elektryczność i magnetyzm*, B. Kuśmiderska, Cz. Rybka, T. Rybka, red. E. Śpiewła, Wydawnictwa Uczelniane Politechniki Lubelskiej, 1995.
2. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003, tom III.
3. B. Kuśmiderska, J. Meldizon, *Podstawy rachunku błędów w pracowni fizycznej*, Wydawnictwa Uczelniane Politechniki Lubelskiej, Lublin 1997.

#### Wartości podawane przez prowadzącego zajęcia:

Napięcie  $U_0 = 40 \text{ mV}$ ; Opór  $R_2 = 10\,000 \, \Omega$

Opór  $R = R_{kr} - (R_g + R_1) = R_{kr} - R_g$ , gdyż  $R_1 \ll R_g$ , gdzie:  $R_{kr} = (2350 \pm 200) \, \Omega$  i  $R_g = 184 \, \Omega$ .

#### Wykonanie zadania:



Rys. 1 Schemat obwodu elektrycznego: E - zasilacz; DN – dzielnik napięcia; V – woltomierz; R, R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub> – rezystory dekadowe; G – galwanometr; W<sub>1</sub>, W<sub>2</sub>, W<sub>3</sub> - wyłączniki

**UWAGA:** Po zestawieniu obwodu elektrycznego, w celu uniknięcia wypadku lub uszkodzenia aparatury, przed włączeniem zasilania należy poprosić prowadzącego zajęcia o sprawdzenie obwodu.

1. Zestawić obwód elektryczny zgodnie ze schematem z Rys. 1.
2. Ustawić wartości  $U_0$ ,  $R_2$ ,  $R$  oraz  $R_1 = 0$ .
3. Zamknąć wyłączniki W<sub>1</sub> i W<sub>2</sub>. Wyłącznik W<sub>3</sub> pozostawić otwarty.
4. Zwiększać wartość oporu  $R_1$  aż do momentu, gdy wskaźnik świetlny galwanometru osiągnie

koniec skali ( $n = 70$  działek).

- Podczas otwierania wyłącznik  $W_2$  wskaźnik świetlny galwanometru zacznie się wahać, należy wtedy włączyć stoper i zmierzyć czas 20-30 pełnych wahań.
- Zapisać w tabeli liczbę wahań „ $m$ ” i czas ich trwania „ $t$ ”.

$m$	$t$ [s]	$T_0$ [s]	$\overline{T_0}$ [s]

- Czynności 6 i 7 powtórzyć 15 - 20 razy.
- Obliczyć okres drgań własnych galwanometru  $T_0$  dla każdego pomiaru ze wzoru:

$$T_0 = \frac{t}{m},$$

a następnie jego wartość średnią arytmetyczną  $\overline{T_0}$ .

- Obliczyć metodą różniczkowania niepewność maksymalną wyznaczenia wartości  $T_0$ , przyjmując, że  $T_0 = f(t)$ .

**Uwaga:** W przypadku opracowania pomiarów metodą Gaussa można skorzystać z programu komputerowego „Gauss” na komputerze w pracowni.

Autor instrukcji:

Krystian Cieślak

## E 2.3. Wyznaczanie stałej balistycznej galwanometru balistycznego

### INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

#### Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Siła elektrodynamiczna
2. Moment pary sił
3. Zasada działania galwanometru magnetoelektrycznego
4. Wyprowadzenie wzoru na stałą balistyczną galwanometru
5. Definicja i sens fizyczny stałej balistycznej

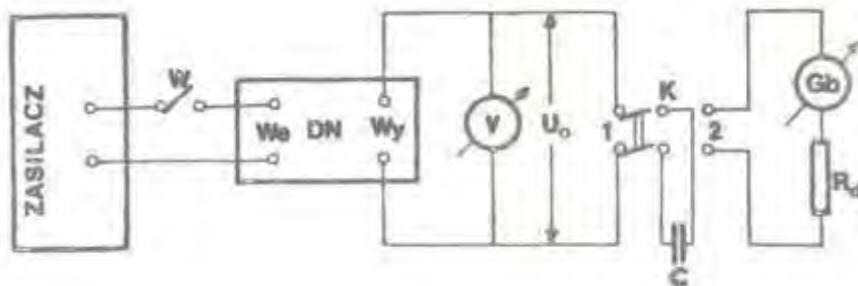
#### Literatura:

1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki: Elektryczność i magnetyzm*, B. Kuśmiderska, Cz. Rybka, T. Rybka, red. E. Śpiewła, Wydawnictwa Uczelniane Politechniki Lubelskiej, 1995.
2. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003, tom III.
3. B. Kuśmiderska, J. Meldizon, *Podstawy rachunku błędów w pracowni fizycznej*, Wydawnictwa Uczelniane Politechniki Lubelskiej, Lublin 1997.

#### Wartości podawane przez prowadzącego zajęcia:

Napięcie  $U_0$  wraz z zakresem galwanometru oraz wartością pojemności  $C$  włączanej do obwodu.

#### Wykonanie zadania:



Rys. 1 Schemat obwodu elektrycznego: DN – dzielnik napięcia; V – woltomierz; C - kondensator; Gb – galwanometr;  $R_d$  – opór zabezpieczający; W – wyłącznik; K – przełącznik

**UWAGA:** Po zestawieniu obwodu elektrycznego, w celu uniknięcia wypadku lub uszkodzenia aparatury, przed włączeniem zasilania należy poprosić prowadzącego zajęcia o sprawdzenie obwodu.

1. Zestawić obwód elektryczny zgodnie ze schematem z Rys. 1.
2. Przełącznik K ustawić w położenie 1.
3. Ustawić podane wartości: napięcia  $U_0$ , zakresu na galwanometrze oraz pojemności  $C$ .
4. Energicznym ruchem przestawić przełącznik K w położenie 2, jednocześnie obserwując maksymalne wychylenie „ $n_0$ ” wskaźnika świetlnego galwanometru.
5. Zapisać wartości  $U_0$ ,  $C$  i  $n_0$ .

Lp.	C [F]	$U_0$ [V]	$n_0$ [dz]	$S_b$ [C/dz]	$\overline{S_b}$ [C/dz]

6. Czynności od 3 do 6 powtórzyć 15 – 20 razy.  
7. Obliczyć stałą balistyczną  $S_b$  dla wszystkich pomiarów ze wzoru:

$$S_b = \frac{CU_0}{n_0} ,$$

a następnie jej wartość średnią  $\overline{S_b}$ .

8. Obliczyć metodą różniczkowania niepewność wyznaczenia stałej balistycznej, przyjmując, że  $S_b = f(C, U_0, n_0)$ .

**Uwaga:** W przypadku opracowania pomiarów metodą Gaussa można skorzystać z programu komputerowego „Gauss” na komputerze w pracowni.

Autor instrukcji:

Krystian Cieślak

## E 2.4. Wyznaczanie pojemności elektrycznej metodą balistyczną

### INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Siła elektrodynamiczna
2. Moment pary sił
3. Zasada działania galwanometru magnetoelektrycznego
4. Wyprowadzenie wzoru na stałą balistyczną galwanometru
5. Definicja i sens fizyczny stałej balistycznej

Literatura:

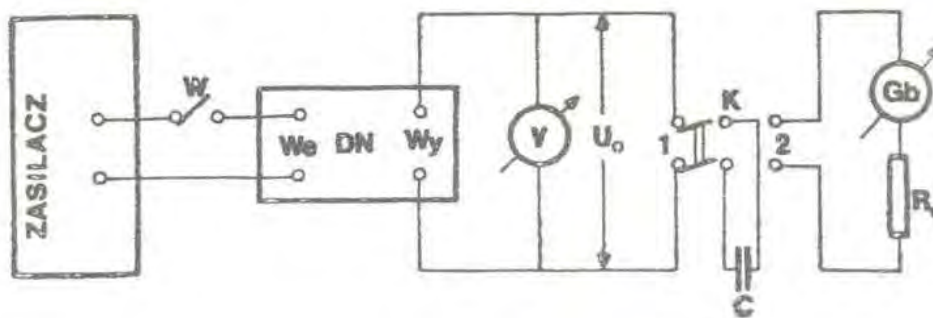
1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki: Elektryczność i magnetyzm*, B. Kuśmiderska, Cz. Rybka, T. Rybka, red. E. Śpiewła, Wydawnictwa Uczelniane Politechniki Lubelskiej, 1995.
2. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003, tom III.
3. B. Kuśmiderska, J. Meldizon, *Podstawy rachunku błędów w pracowni fizycznej*, Wydawnictwa Uczelniane Politechniki Lubelskiej, Lublin 1997.

Wartości podawane przez prowadzącego zajęcia:

Stała balistyczna  $S_b = 1,0 \times 10^{-8} \text{ C/dz}$

Zakres stosowanego napięcia ( $U_0 \div U_{0\max}$ ) dla badanej pojemności  $C$  oraz zakres ustawiany na galwanometrze

**Wykonanie zadania:**



Rys. 1 Schemat obwodu elektrycznego : DN – dzielnik napięcia; V – woltomierz; C - kondensator; Gb –galwanometr;  $R_d$  – opór zabezpieczający; W – wyłącznik; K – przełącznik

**UWAGA: Po zestawieniu obwodu elektrycznego, w celu uniknięcia wypadku lub uszkodzenia aparatury, przed włączeniem zasilania należy poprosić prowadzącego zajęcia o sprawdzenie obwodu.**

1. Zestawić obwód elektryczny zgodnie ze schematem z Rys. 1.
2. Przełącznik K ustawić w położenie 1.
3. Ustawić podaną wartość napięcia  $U_0$  i odpowiedni zakres na galwanometrze .
4. Energicznym ruchem przestawić przełącznik K w położenie 2, jednocześnie obserwując pierwsze maksymalne wychylenie „ $n_0$ ” wskaźnika świetlnego galwanometru.
5. W tabeli zapisać wartości  $S_b$ ,  $U_0$ , i  $n_0$ .

Lp.	$S_b$ [C/dz]	$U_0$ [V]	$n_0$ [dz]	$C$ [F]

6. Czynności od 3 do 6 powtórzyć 15 – 20 razy.
7. Czynności od 3 do 6 powtórzyć kilkakrotnie dla innych wartości napięcia  $U_0'$  ( $U_0' > U_0$ ) z podanego zakresu, przy czym nowe napięcie należy dobrać tak, aby  $n_0'$  różniło się od  $n_0$  o 10 działek.
8. Obliczyć pojemność  $C$  kondensatora dla każdego pomiaru ze wzoru:

$$C = \frac{S_b n_0}{U_0} .$$

9. Obliczyć metodą różniczkowania niepewność maksymalną wyznaczenia pojemności  $C$ , przyjmując, że  $C = f(U_0, n_0)$ .

**Uwaga:** W przypadku opracowania pomiarów metodą Gaussa można skorzystać z programu komputerowego „Gauss” na komputerze w pracowni.

Autor instrukcji:

Krystian Cieślak

## E 3.1. Pomiary oporu przewodników na podstawie prawa Ohma

### INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

#### Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Prąd elektryczny w metalach
2. Prawo Ohma, prawo Ohma w ujęciu molekularnym
3. Opór metali, opór właściwy
4. Zależność oporu od geometrii przewodnika i jego temperatury
5. Łączenie szeregowe i równoległe oporników
6. Mierniki prądu stałego, opory wewnętrzne mierników

#### Literatura:

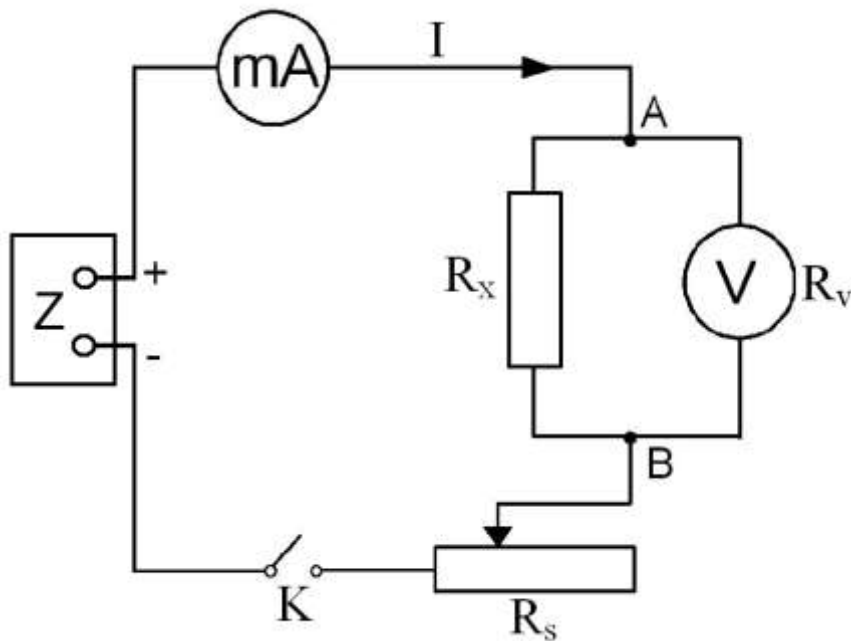
1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Elektryczność i magnetyzm*, B. Kuśmiderska, Cz. Rybka, T. Rybka, red. E. Śpiewła, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1995.
2. B. Kuśmiderska, J. Meldizon, *Podstawy rachunku błędów w pracowni fizycznej*, red. E. Śpiewła, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1997.
3. C. Bobrowski, *Fizyka-krótki kurs*. WNT, Warszawa, 2004.
4. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2003, tom III.

#### Wykonanie zadania:



Fot. 1. Stanowisko pomiarowe. W skład układu doświadczalnego wchodzi:

- Z** - zasilacz stabilizowany prądu stałego.
- $R_s$**  - opornica suwakowa,
- $R_x$**  - zestaw 11 badanych oporników,
- K** - klucze,
- mA** - miliamperomierz prądu stałego - wydawany przez prowadzącego zajęcia,
- V** - woltomierz prądu stałego - wydawany przez prowadzącego zajęcia,



Rys.1. Schemat układu do pomiaru oporu przewodnika

1. Połączyć układ pomiarowy według schematu przedstawionego na Rys. 1.
2. Po sprawdzeniu układu przez prowadzącego zajęcia, ustawić odpowiednie zakresy pomiarowe mierników.  
Ustawić napięcie wyjściowe na zasilaczu :  
  - 5V** - dla oporów badanych o numerach: 1, 4, 5, 6, 9,
  - 30V** - (przycisk wyciśnięty) dla oporów 2, 3, 7, 8 i 11.
 Włączyć zasilacz (przycisk *sieć*) oraz zamknąć klucz K (*zał*).
3. Wykonać kilka pomiarów napięcia na oporze badanym zmieniając natężenie prądu w obwodzie poprzez przesunięcie suwaka w opornicy suwakowej  $R_s$  (przesuwając suwak uważać, aby nie przekroczyć wartości dopuszczalnego prądu płynącego przez miliamperomierz).
4. Powtórzyć pomiary dla kilku oporów badanych (numery badanych oporów podaje prowadzący zajęcia).
5. Obliczyć rezystancję wewnętrzną woltomierza ze wzoru:

$$R_V = z \cdot 1000 \Omega/V$$

gdzie  $z$  – oznacza zakres woltomierza, na którym dokonano pomiaru napięcia.  
Wyniki pomiarów wpisać do tabeli

Nr badanego oporu $R_x$	$I$ [A]	$U$ [V]	$R_V$ [ $\Omega$ ]	$R_x$ [ $\Omega$ ]	Wart.śred. $R_x$ [ $\Omega$ ]
Nr oporu					

6. Obliczyć wartość badanego oporu z wzoru:

$$R_x = \frac{U \cdot R_V}{I \cdot R_V - U}$$

7. Niepewność pomiaru  $R_x$  obliczyć metodą różniczkowania.  
Maksymalne niepewności bezwzględne pomiarów napięcia i natężenia  $\Delta U$  oraz  $\Delta I$  obliczyć uwzględniając klasę miernika oraz niepewność odczytu.

Autor instrukcji:

Marta Zdrojewska

## E 3.2. Wyznaczanie oporu elektrycznego metodą mostka Wheatstone'a

### INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

#### Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Prąd elektryczny w metalach
2. Prawo Ohma oraz prawo Ohma w ujęciu molekularnym
3. Opór metali, opór właściwy
4. Zależność oporu od geometrii przewodnika i jego temperatury
5. Mostek Wheatstone'a: budowa, zasada działania, warunek równowagi

#### Literatura:

1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Elektryczność i magnetyzm*, B. Kuśmiderska, Cz. Rybka, T. Rybka, red. E. Śpiewła, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1995.
2. B. Kuśmiderska, J. Meldizon, *Podstawy rachunku błędów w pracowni fizycznej*, red. E. Śpiewła, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1997.
3. C. Bobrowski, *Fizyka-krótki kurs*. WNT, Warszawa, 2004.
4. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2003, tom III.

#### Wykonanie zadania:



Fot. 1 Stanowisko pomiarowe. W skład zestawu do pomiaru oporu  $R_x$  metodą mostka Wheatstone'a wchodzi:

$K_1$  - wyłącznik,  $K_2$  - wyłącznik telegraficzny,

$G$  - wskaźnik zera,

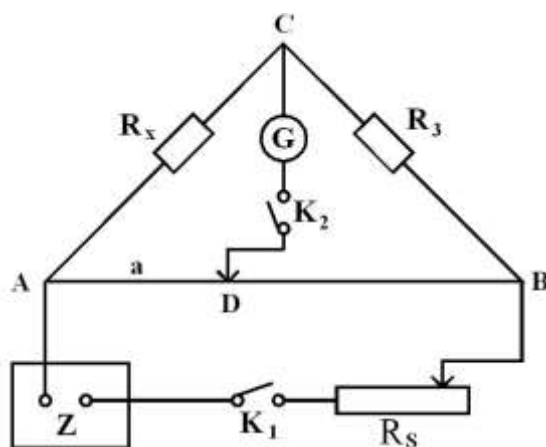
$R_S$  - opornica suwakowa,

$R_3$  - opornik dekadowy,

$R_x$  - zestaw oporników badanych,

$Z$  - zasilacz stabilizowany,

Listwa z drutem oporowym o długości  $l = 100$  cm (oznaczona na schemacie Rys. 1 jako odcinek AB).



Rys. 1 Schemat układu pomiarowego do wyznaczania nieznanego oporu  $R_x$

1. Zmontować obwód pomiarowy według schematu przedstawionego na Rys. 1. Numery badanych oporów podaje prowadzący zajęcia.
2. Po sprawdzeniu obwodu, uruchomić zasilacz stabilizowany Z wciskając przycisk *sieć*, włączyć wskaźnik zera – G i zamknąć wyłącznik  $K_1$  (pozycja *zał.*)
3. Ustawić ruchomy suwak (punkt D na schemacie) na drucie oporowym AB w połowie długości.
4. Zrównoważyć mostek ustawiając pokrętkła opornika dekadowego  $R_3$  rozpoczynając od dekad  $\times 1000\Omega$ , a kończąc na dekadzie  $\times 1\Omega$ . Sprawdzić równowagę mostka, zamykając na krótko wyłącznik telegraficzny  $K_2$  obserwując wychylenie wskazówki galwanometru G.
5. Wykonać kilka pomiarów wartości  $R_3$ , zmieniając za każdym razem położenie suwaka w zakresie od 40 do 60 cm. tak, aby wskaźnik pokazywał zero.
6. Zapisać wyniki pomiarów do tabeli oraz obliczyć wartość  $R_x$  ze wzoru:

$$R_x = R_3 \frac{a}{l - a}$$

Nr. opornika	l [m]	a [m]	$R_3$ [ $\Omega$ ]	$R_x$ [ $\Omega$ ]	$R_x$ [ $\Omega$ ] Wartość średnia

7. Dyskusję niepewności pomiarowej przeprowadzić metodą różniczkowania przyjmując, że  $R_x$  jest funkcją  $R_3$  oraz a. Niepewność maksymalną  $\Delta R_x$  ocenić uwzględniając klasę i zakres opornika. Niepewność pomiaru odległości  $\Delta a = \Delta a' + \Delta a''$ , gdzie  $\Delta a'$  - niepewność odczytu położenia suwaka na listwie,  
 $\Delta a''$  - należy określić doświadczalnie - sprawdzić w jakim zakresie przesunięcia suwaka nie następuje zaburzenie równowagi mostka.

Autor instrukcji:

Marta Zdrojewska

### E 3.3. Pomiar współczynnika temperaturowego oporu metali

#### INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

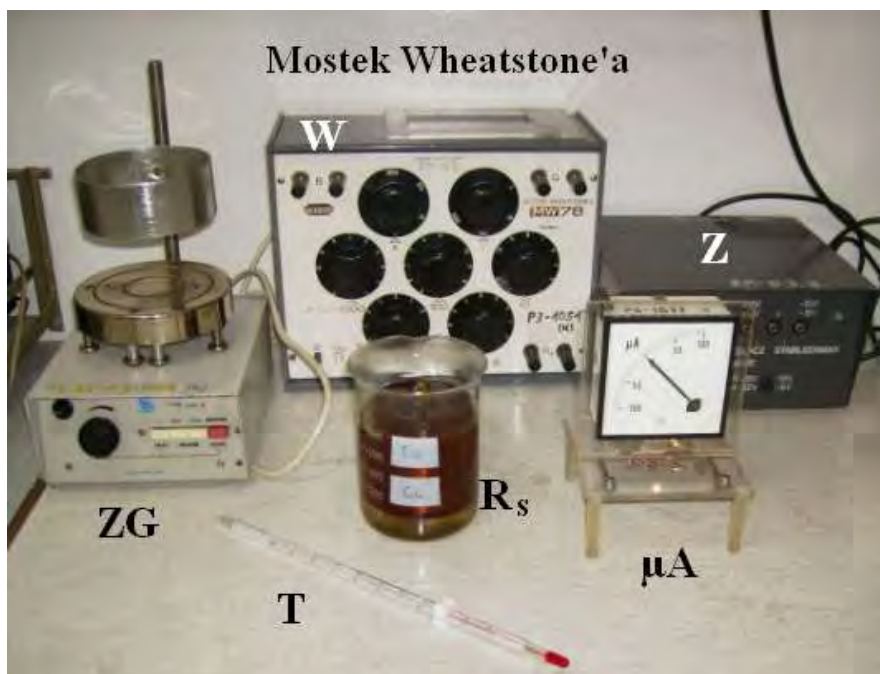
##### Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Prąd elektryczny w metalach
2. Prawo Ohma, prawo Ohma w ujęciu molekularnym
3. Opór metali, opór właściwy
4. Zależność oporu od geometrii przewodnika i jego temperatury
5. Łączenie szeregowe i równoległe oporników

##### Literatura:

1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Elektryczność i magnetyzm*, B. Kuśmiderska, Cz. Rybka, T. Rybka, red. E. Śpiewła, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1995.
2. B. Kuśmiderska, J. Meldizon, *Podstawy rachunku błędów w pracowni fizycznej*, red. E. Śpiewła, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1997.
3. C. Bobrowski, *Fizyka-krótki kurs*. WNT, Warszawa, 2004.
4. H. Szydłowski, *Pracownia fizyczna*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 1997.

##### Wykonanie zadania:



Fot. 1 Stanowisko pomiarowe. W skład zestawu doświadczalnego wchodzi:

**Z** - zasilacz stabilizowany prądu stałego

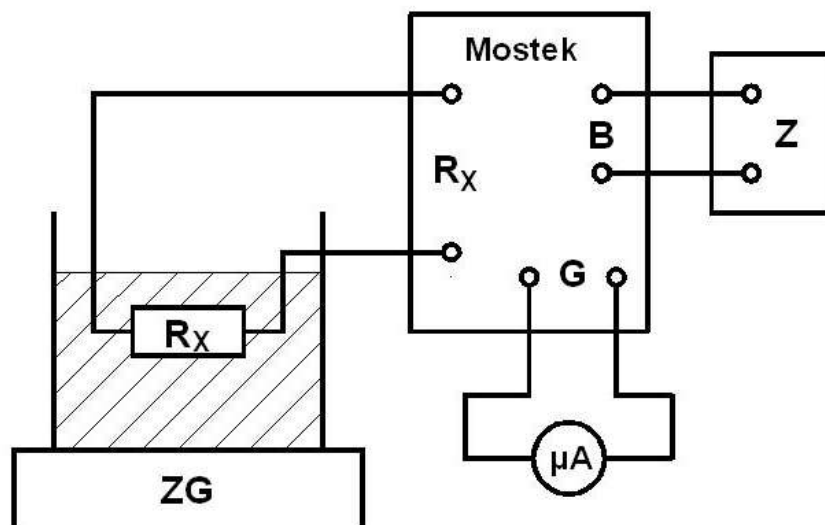
**W** - techniczny mostek Wheatstone'a

**ZG** - zasilacz grzałki i mieszadła magnetycznego

**R<sub>s</sub>** - badany opornik metalowy – wydawany przez prowadzącego zajęcia

**T** - termometr – wydawany przez prowadzącego zajęcia

**μA** - mikroamperomierz prądu stałego - wydawany przez prowadzącego zajęcia



Rys.1. Schemat układu pomiarowego

1. Połączyć układ według schematu na Rys. 1:
  - opór badany  $R_x$  umieścić na płycie grzejnika  $ZG$ ,
  - termometr  $T$  umieścić w gnieździe opornika  $R_x$  tak, by pozostawał w kontakcie z olejem i wskazywał jego temperaturę,
  - wyjście  $5V$  zasilacza  $Z$  podłączyć do zacisków  $B$  mostka Wheatstone'a,
  - opór mierzony  $R_x$  podłączyć do zacisków  $R_x$  mostka,
  - mikroamperomierz podłączyć do zacisków  $G$  mostka.
  
2. Po sprawdzeniu układu przez prowadzącego zajęcia
  - włączyć zasilacz  $Z$  ( przycisk *sieć* ),
  - uruchomić mieszadło magnetyczne (przycisk *motor*) i dobrać tak częstotliwość obrotu pola magnetycznego, aby magnes obracał się stabilnie .
  
3. Odczytać wartość oporu przewodnika w temperaturze pokojowej, równoważąc mostek. Podczas pomiaru oporu przy pomocy mostka  $M$  należy ustawić przełączniki w pozycjach  $\times 1$  i  $:100$ . Zmierzona wartość oporu jest równa sumie wartości oporów ustawionych na przełącznikach mostka podzielonej przez 100.
 

Aby zrównoważyć mostek należy kolejno:

  - wcisnąć przycisk  $B$ ,
  - wcisnąć przycisk  $G 0,1$  i ustawiając pokrętła dekad, kolejno od najwyższej do najniższej, zminimalizować wychylenie wskazówki mikroamperomierza,
  - wcisnąć przycisk  $G$  i poprawić stan równowagi mostka.
  
4. Włączyć grzałkę. Optymalną szybkość grzania uzyskuje się przy ustawieniu mocy 100W. Podczas grzania próbki wykonywać pomiary oporu  $R_x$  i temperatury (co kilka stopni).
5. Po osiągnięciu temperatury  $t = 90\text{ }^\circ\text{C}$ , przerwać proces grzania przez wyłączenie grzałki.
6. Wyniki pomiarów wpisać do tabeli:

Badany opór	t [°C]	T [K]	ΔT [K]	R <sub>x</sub> [Ω]	R <sub>o</sub> [Ω]	α [K <sup>-1</sup> ]	Wart.średnia α [K <sup>-1</sup> ]

7. Przedstawić na wykresie zależność  $R = f(T - T_0)$ , gdzie  $T_0 = 273K$ . Na wykresie dla wybranych punktów pomiarowych zaznaczyć graficznie niepewności pomiarowe wynikające z dokładności użytych przyrządów.
8. Wyznaczyć wartość  $R_0$  - opór w temperaturze  $T_0$ , metodą najmniejszych kwadratów.

$$y = b + a x$$

$$R = R_0 + R_0 \alpha (T - T_0),$$

gdzie:  $b = R_0 [\Omega]$

$$a = \alpha \cdot R_0 [\Omega/K]$$

podstawiając  $a = \alpha \cdot b$

otrzymuje się wartość współczynnika temperaturowego oporu z wzoru

$$\alpha = a/b$$

9. Niepewności  $\Delta a$  i  $\Delta b$  obliczyć metodą najmniejszych kwadratów.

Autor instrukcji:

Marta Zdrojewska

## E 5.1. Pomiary SEM ogniwa metodą kompensacji

### INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

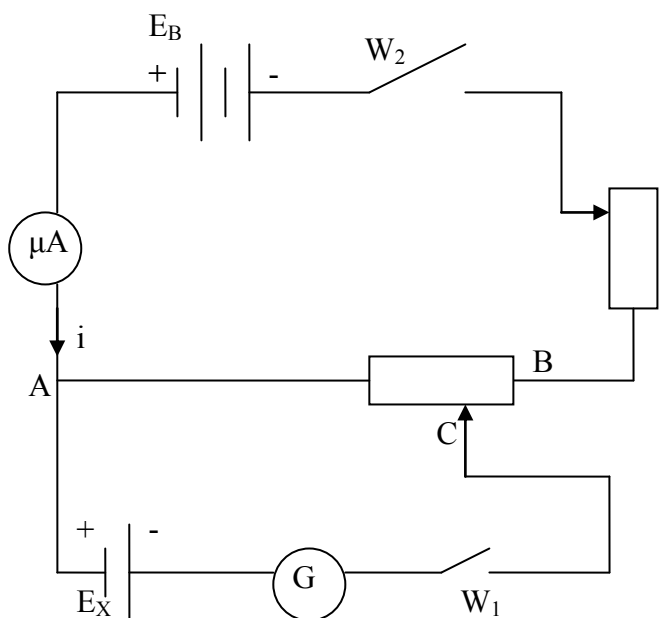
#### Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Ogniwa galwaniczne Volty, Leclanchego i Daniela
2. Prawa Kirchoffa przepływu prądu
3. Prawa Faradaya przepływu prądu przez elektrolity

#### Literatura:

1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Elektryczność i magnetyzm*, B. Kuśmiderska, Cz. Rybka, T. Rybka, red. E. Śpiewła, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1995.
2. J. Taylor, *Wstęp do analizy błęd pomiarowego*, Wydawnictwo Naukowe PWN, 1999.
3. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker „Podstawy fizyki”, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003, tom III.
4. A. K. Wróblewski, J. A. Zakrzewski, *Wstęp do fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1991.

#### Wykonanie zadania:



Rys.1. Schemat układu pomiarowego  
 $E_B$ - źródło prądu stałego  
 $W_1, W_2$ - włączniki  
 $R_S$ - potencjometr  
ABC – opornik dekadowy  
G - galwanometr  
 $\mu A$  - mikroamperomierz  
 $E_x$  – badane ogniwo

1. Aby wykonać ćwiczenie, należy zestawić obwód elektryczny według schematu pokazanego na Rys. 1. Obwód główny jest zasilany źródłem prądu stałego, natomiast jako potencjometr służy dekadowy dzielnik napięcia.
2. Po zamknięciu włącznika  $W_2$  za pomocą opornicy suwakowej  $R_S$  należy ustalić dowolną wartość natężenia prądu  $I$ .
3. Na oporniku dekadowym ABC należy ustawić maksymalną i minimalną wartość oporu. Jeśli dla tych ustawień wskazówka na galwanometrze G wychyla się w różne strony, oznacza to, że można przystąpić do dalszych pomiarów. Jeśli wskazówka nie wychyla się, oznacza to, że należy zwiększyć napięcie źródła zasilającego ( w metodzie kompensacji wartość napięcia źródła zasilającego musi być większa niż SEM badanego ogniwa).
4. Przy zamkniętym włączniku  $W_2$  należy zamknąć na chwilę włącznik  $W_1$  i dobrać taką wartość oporu  $R_X$  na oporniku dekadowym, przy którym galwanometr G wskaże wartość

równą zero (co odpowiada kompensacji w obwodzie bocznym). Następnie odczytać wartość oporu  $R_X$  i natężenie prądu  $I$ . Siłę elektromotoryczną ogniwa obliczamy ze wzoru:

$$E_X = I R_X$$

5. Pomiary należy wykonać co najmniej pięciokrotnie przy różnych wartościach natężenia prądu płynącego w obwodzie głównym (zakres zmian natężenia prądu podaje prowadzący ćwiczenia).

### Opracowanie wyników:

Wyniki pomiarów wpisać do tabeli 1. Aby ocenić dokładność uzyskanych wyników, należy obliczyć niepewność względną maksymalną  $\Delta E_X/E_X$  metodą różniczkowania. Niepewność bezpośrednia  $\Delta I$  jest sumą niepewności odczytu i niepewności wynikającej z klasy użytego mikroamperomierza. Niepewność pomiaru oporu jest związana z klasą dzielnika dekadowego.

Tabela 1.

Rodzaj ogniwa	$I$ [A]	$R_X$ [ $\Omega$ ]	$E_X$ [V]	$\bar{E}$ [V]

Autor instrukcji:

Sławomir Gułkowski

## E 5.2. Wyznaczanie SEM ogniwa na podstawie prawa Ohma dla obwodu zamkniętego

### INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

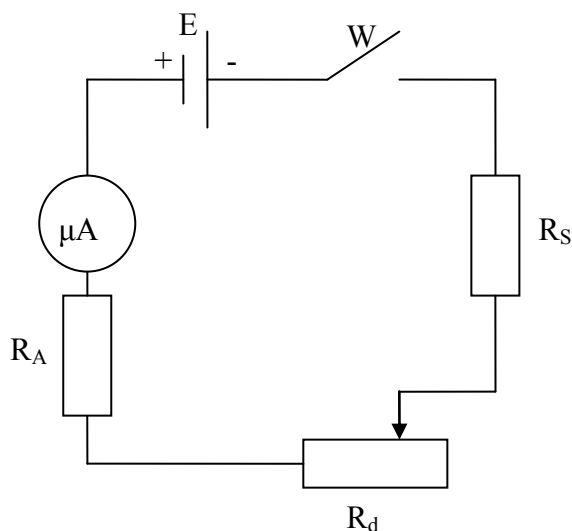
#### Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Ogniwa galwaniczne Volty, Leclanchego i Daniela
2. Prawa Kirchoffa przepływu prądu
3. Prawo Ohma
4. Prawa Faradaya przepływu prądu przez elektrolity

#### Literatura:

1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Elektryczność i magnetyzm*, B. Kuśmiderska, Cz. Rybka, T. Rybka, red. E. Śpiewła, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1995.
2. J. Taylor, *Wstęp do analizy błęd pomiarowego*, Wydawnictwo Naukowe PWN, 1999.
3. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker „Podstawy fizyki”, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003, tom III.
4. A. K. Wróblewski, J. A. Zakrzewski, *Wstęp do fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1991.

#### Wykonanie zadania:



Rys.1. Schemat układu pomiarowego

W - włącznik  
RS- potencjometr  
Rd – opornik dekadowy  
RA- opór mikroamperomierza  
μA - mikroamperomierz  
E – badane ogniwo

1. Aby wykonać ćwiczenie należy zestawić obwód elektryczny przedstawiony na Rys. 1.
2. Należy zamknąć włącznik W i opornikiem dekadowym RD należy dobrać taką wartość oporu  $R_0$  przy której w obwodzie popłynie prąd o natężeniu  $I_0$  (wartość natężenia prądu  $I_0$  podaje prowadzący ćwiczenia).
3. Następnie po zwiększeniu oporu do wartości R (przy czym  $R > R_0$ ) należy odczytać wartość natężenia prądu I płynącego w obwodzie (przedział zmian oporu R podaje prowadzący ćwiczenia).
4. Siłę elektromotoryczną ogniwa obliczamy ze wzoru:

$$E_X = \frac{I_0 I (R - R_0)}{I_0 - I}$$

5. Pomiary należy przeprowadzić co najmniej pięciokrotnie dla różnych wartości R.

### Opracowanie wyników:

Wyniki pomiarów i obliczeń należy wpisać do tabeli 1. Niepewność względną maksymalną  $\Delta E_x/E_x$  obliczyć metodą różniczkowania ze wzoru podanego powyżej. Niepewność bezpośrednia  $\Delta I$  jest sumą niepewności odczytu i niepewności wynikającej z klasy użytego mikroamperomierza. Niepewność pomiaru  $\Delta R$  związana jest z klasą opornika dekadowego.

Tabela 1.

Rodzaj ogniwa	$I_0$ [A]	$R_0$ [ $\Omega$ ]	$I$ [A]	$R$ [ $\Omega$ ]	$E_x$ [V]	$\bar{E}$ [V]

Autor instrukcji:

Sławomir Gułkowski

## E 6.1. Wyznaczanie elementów LC obwodu metodą rezonansu

### INSTRUKACJA WYKONANIA ZADANIA

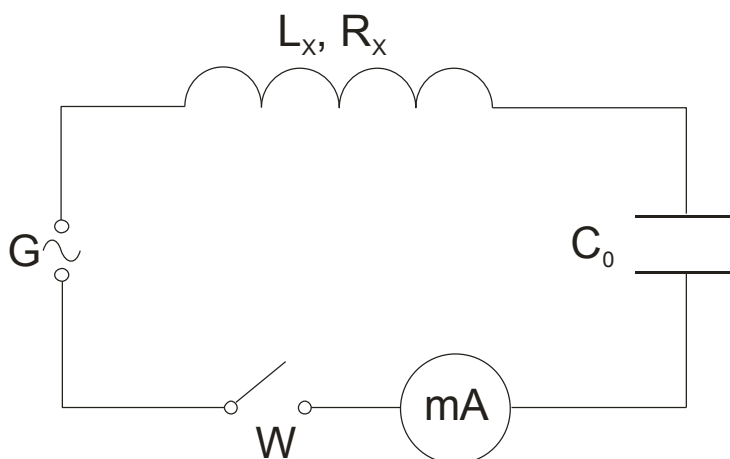
#### Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Definicja i jednostka pojemności elektrycznej
2. Indukcja elektromagnetyczna i prawo Faradaya
3. Wielkości opisujące prąd zmienny
4. Przepływ prądu w obwodzie LC i RLC
5. Opór omowy, reaktancja, impedancja, zawada
6. Zjawisko rezonansu
7. Rezonans w obwodzie RLC

#### Literatura:

1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Elektryczność i magnetyzm*, B. Kuśmiderska, Cz. Rybka, T. Rybka, red. E. Śpiewła, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1995.
2. J. Taylor, *Wstęp do analizy błęd pomiarowego*, Wydawnictwo Naukowe PWN, 1999.
3. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003, tom III.
4. A. K. Wróblewski, J. A. Zakrzewski, *Wstęp do fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1991.

#### Wykonanie zadania:



Rys. 1 Schemat układu pomiarowego:

- W – włącznik  
C<sub>0</sub> – kondensator dekadowy  
mA – miliamperomierz  
G – generator prądu zmiennego o regulowanej częstotliwości  
L<sub>x</sub> – badana cewka indukcyjna

**UWAGA:** Po zestawieniu obwodu elektrycznego, w celu uniknięcia wypadku lub uszkodzenia aparatury, przed włączeniem zasilania należy poprosić prowadzącego zajęcia o sprawdzenie obwodu.

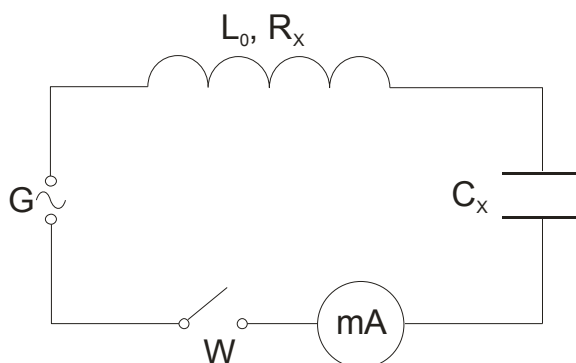
1. Zestawić obwód elektryczny zgodnie ze schematem z Rys. 1.
2. Ustalić pojemność C<sub>0</sub> i zmieniając częstotliwość na generatorze odczytywać natężenie prądu płynącego w obwodzie (I). W celu dokładnego określenia  $\nu_r$  należy zwiększyć

dokładność pomiarów w okolicy częstotliwości, dla której natężenie prądu jest maksymalne (opis w instrukcji technicznej).

3. Pomiary przeprowadzić dla trzech różnych wartości  $C_0$ .
4. Na papierze milimetrowym sporządzić wykres zależności natężenia prądu ( $I$ ) od częstotliwości  $\nu$  dla odpowiednich kondensatorów  $C_0$ .
5. Wartość  $L_x$  obliczyć ze wzoru:

$$L_x = \frac{1}{4\pi^2 \nu_r^2 C_0}. \quad (1)$$

6. Maksymalną bezwzględną niepewność pomiarową oszacować za pomocą metody różniczkowania przyjmując  $C_0$  oraz  $\nu_r$  jako zmienne.



Rys. 2 Schemat układu pomiarowego:

- W – włącznik
- $C_x$  – mierzony kondensator
- mA – miliamperomierz
- G – generator prądu zmiennego o regulowanej częstotliwości
- $L_0$  – indukcyjność dekadowa

W celu wyznaczenia pojemności kondensatora postępować analogicznie.

1. Zestawić obwód elektryczny zgodnie ze schematem z Rys. 2.
2. Ustalić pojemność  $L_0$  i zmieniając częstotliwość na generatorze odczytywać natężenie prądu płynącego w obwodzie ( $I$ ). W celu dokładnego określenia  $\nu_r$  należy zwiększyć dokładność pomiarów w okolicy częstotliwości, dla której natężenie prądu jest maksymalne (opis w instrukcji technicznej).
3. Pomiary przeprowadzić dla trzech różnych wartości  $L_0$ .
4. Na papierze milimetrowym sporządzić wykres zależności natężenia prądu ( $I$ ) od częstotliwości  $\nu$  dla odpowiednich indukcyjności  $L_0$ .
5. Sporządzić krzywe rezonansowe dla 3 wybranych wartości indukcyjności wzorcowej.
6. Wartość  $C_x$  obliczyć ze wzoru:

$$C_x = \frac{1}{4\pi^2 \nu_r^2 L_0}. \quad (2)$$

7. Maksymalną bezwzględną niepewność pomiarową oszacować za pomocą metody różniczkowania przyjmując  $L_0$  oraz  $\nu_r$  jako zmienne.

Autor instrukcji:

Krystian Cieślak

## E 6.2.a. Pomiar indukcyjności i rezystancji cewek powietrznych mostkiem Maxwella-Wiena

### INSTRUKACJA WYKONANIA ZADANIA

Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Definicja i jednostka pojemności elektrycznej
2. Indukcja elektromagnetyczna i prawo Faradaya
3. Pojęcie i wielkości opisujące prąd zmienny
4. Przepływ prądu w obwodzie LC i RLC
5. Opór omowy, reaktancja, impedancja, zawada
6. Zjawisko rezonansu
7. Rezonans w obwodzie RLC

Literatura:

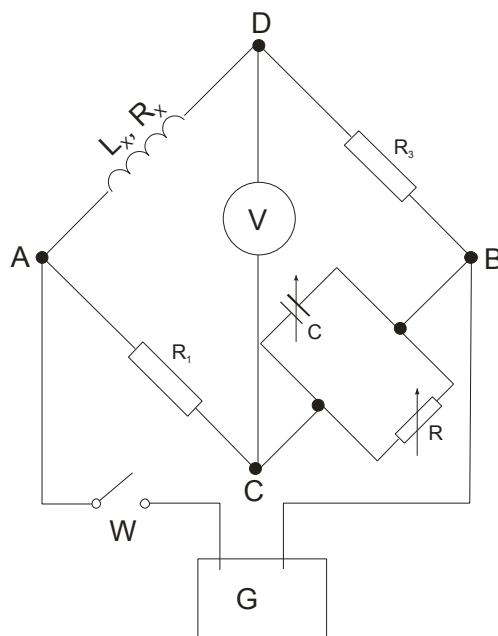
1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Elektryczność i magnetyzm*, B. Kuśmiderska, Cz. Rybka, T. Rybka, red. E. Śpiewła, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1995.
2. J. Taylor, *Wstęp do analizy błęd pomiarowego*, Wydawnictwo Naukowe PWN, 1999.
3. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003, tom III.
4. A. K. Wróblewski, J. A. Zakrzewski, *Wstęp do fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1991.

Wartości podawane przez prowadzącego zajęcia:

Wartości oporów  $R_1$  i  $R_3$

Wartość częstotliwości i napięcia na generatorze

**Wykonanie zadania:**



Rys. 1 Schemat układu pomiarowego (mostek Maxwella - Wiена):

G – generator prądu zmiennego o regulowanej częstotliwości  
C – kondensator o regulowanej pojemności  
R – opornik regulowany  
R<sub>1</sub>, R<sub>3</sub> – oporniki dekadowe  
V – woltomierz  
L<sub>x</sub> – badana cewka indukcyjna

**UWAGA: Po zestawieniu obwodu elektrycznego, w celu uniknięcia wypadku lub uszkodzenia aparatury, przed włączeniem zasilania należy poprosić prowadzącego zajęcia o sprawdzenie obwodu.**

1. Zestawić obwód elektryczny zgodnie ze schematem z Rys. 1.
2. Ustawić wartości oporów R<sub>1</sub> i R<sub>3</sub>, częstotliwości (ν) i napięcie (U) na generatorze G.
3. Zamknąć wyłącznik W.
4. Dobierać wartości C i R, tak aby woltomierz V wskazywał minimalną wartość napięcia.
5. L<sub>x</sub> i R<sub>x</sub> obliczyć ze wzorów:

$$L_x = R_1 R_3 C$$

oraz  $R_x = R_1 R_3 / R$ .

6. Pomiary przeprowadzić przynajmniej dla trzech różnych wartości R<sub>1</sub> i R<sub>3</sub>.
7. Maksymalną bezwzględną niepewność pomiarową oszacować używając metody różniczkowania.

Autor instrukcji:

Krystian Cieślak

## E 6.2.b. Pomiar pojemności elektrycznej za pomocą zmiennoprądowego mostka Wheatstone'a

### INSTRUKACJA WYKONANIA ZADANIA

#### Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Definicja i jednostka pojemności elektrycznej
2. Indukcja elektromagnetyczna i prawo Faradaya
3. Wielkości opisujące prąd zmienny
4. Przepływ prądu w obwodzie LC i RLC
5. Opór omowy, reaktancja, impedancja, zawada
6. Zjawisko rezonansu
7. Rezonans w obwodzie RLC

#### Literatura:

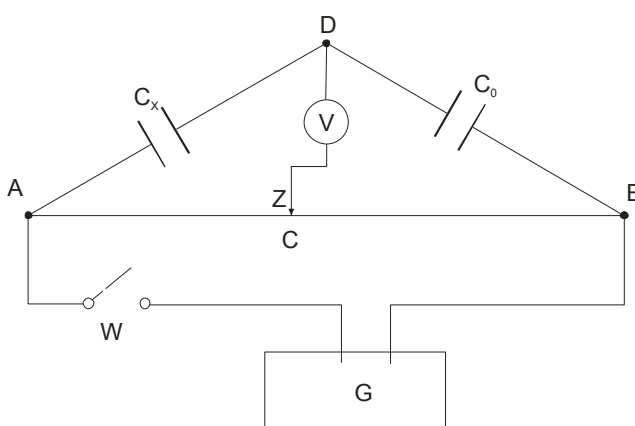
1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Elektryczność i magnetyzm*, B. Kuśmiderska, Cz. Rybka, T. Rybka, red. E. Śpiewła, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1995.
2. J. Taylor, *Wstęp do analizy błęd pomiarowego*, Wydawnictwo Naukowe PWN, 1999.
3. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003, tom III.
4. A. K. Wróblewski, J. A. Zakrzewski, *Wstęp do fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1991.

#### Wartości podawane przez prowadzącego zajęcia:

Wartość pojemności  $C_0$

Wartość częstotliwości i napięcia na generatorze

#### Wykonanie zadania:



Rys. 1 Schemat układu pomiarowego (mostek Wheatstone'a)

G – generator prądu zmiennego o regulowanej częstotliwości

$C_0$  – kondensator o regulowanej pojemności

V – woltomierz

$C_x$  – badany kondensator

**UWAGA: Po zestawieniu obwodu elektrycznego, w celu uniknięcia wypadku lub uszkodzenia aparatury, przed włączeniem zasilania należy poprosić prowadzącego zajęcia o sprawdzenie obwodu.**

1. Zestawić obwód elektryczny zgodnie ze schematem z Rys. 1.
2. Ustawić pojemność  $C_0$ , częstotliwość  $\nu$  oraz napięcie  $U$  na generatorze G.
3. Zamknąć wyłącznik W.
4. Ustawić suwak Z ( $l_{AC}$ ) tak, aby woltomierz V wskazywał zerowe napięcie.
5. Pomiary przeprowadzić dla różnych wartości  $C_0$ .
6. Nieznaną pojemność obliczyć za pomocą wzoru:

$$C_x = C_0 \frac{l_{AB} - l_{AC}}{l_{AC}} .$$

7. Maksymalną bezwzględną niepewność pomiarową oszacować za pomocą metody różniczkowania.

Autor instrukcji:

Krystian Cieślak

## E 7.1. Wyznaczanie równoważnika elektrochemicznego miedzi, stałej Faraday'a i ładunku elementarnego

### INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Zjawisko elektrolizy
2. Prawa elektrolizy Faraday'a
3. Interpretacja fizyczna stałej Faraday'a

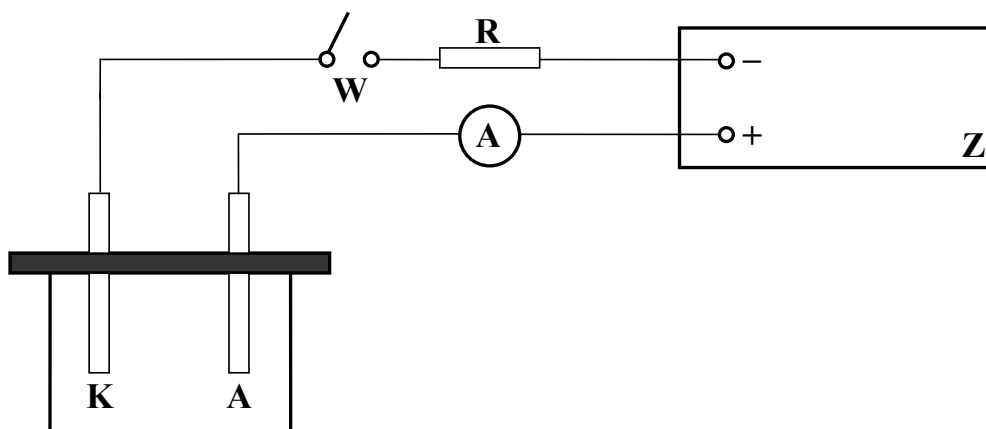
Literatura:

1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Elektryczność i magnetyzm*, B. Kuśmiderska, Cz. Rybka, T. Rybka, red. E. Śpiewła, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1995.
2. B. Kuśmiderska, J. Meldizon, *Podstawy rachunku błędów w pracowni fizycznej*, red. E. Śpiewła, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1997.

Wartości podawane przez prowadzącego zajęcia:

Natężenie prądu  $I$   
Czas trwania elektrolizy  $t$   
Masa 1 mola miedzi  $A = 63,55 \times 10^{-3} \text{ kg}$   
Wartościowość miedzi  $Z = 2$

### Wykonanie zadania:



Rys. 1 Schemat układu pomiarowego: Z – zasilacz, R – opór zabezpieczający, W – włącznik, (A) – amperomierz, K – katoda, A – anoda

Wykonanie pomiarów polega na znalezieniu masy miedzi osadzonej na katodzie. W tym celu należy wykonać następujące czynności:

1. Zestawić obwód według schematu (Rys. 1). Uwaga: Anoda jest zamontowana na stałe w postaci dwóch płytek po obu stronach katody w celu równomiernego osadzania się miedzi na katodzie.

2. Oczyszczyć katody (próbna i pomiarowa) papierem ściernym, wypłukać wodą destylowaną i osuszyć suszarką (suszarka włącza się po naciśnięciu płaskiej części z przodu obudowy).
3. Zamocować elektrodę próbną do płyty pleksiglasowej i cały układ umieścić w naczyniu z elektrolitem.
4. Włączyć układ pomiarowy włącznikiem  $W$  i ustawić podaną przez prowadzącego wartość natężenia prądu  $I$  (natężenie prądu  $I$  odczytać z amperomierza wstawionego w obwód). Po ustawieniu natężenia prądu wyłączyć układ pomiarowy włącznikiem  $W$ .
5. Zważyć elektrodę pomiarową wyznaczając masę  $m_1$  i wstawić ją w miejsce katody próbnej (elektrodę próbną opłukać nad zlewem i odłożyć do plastikowej kuwety).
6. Ponownie włączyć układ pomiarowy włącznikiem  $W$  jednocześnie włączając stoper. W czasie trwania pomiaru należy zwracać uwagę, aby wartość natężenia prądu nie ulegała wahaniom. W razie zmian należy korygować napięcie potencjometrem zasilacza.
7. Po upływie zadanego czasu pomiaru przerwać obwód z prądem włącznikiem  $W$  i wyjąć katodę z naczynia. Opłukać ją wodą zakwaszoną  $H_2SO_4$  nad zlewem, osuszyć i ponownie zważyć wyznaczając masę  $m_2$ .
8. Osadzanie wykonać dwukrotnie (masę  $m_2$  można przyjąć za masę  $m_1$  dla drugiego pomiaru).
9. Oczyszczyć elektrody papierem ściernym.
10. Rozłączyć układ pomiarowy.
11. Wyniki pomiarów wpisać do tabeli:

l.p.	$m_1$ [kg]	$m_2$ [kg]	$I$ [A]	$t$ [s]	$k$ [kg/C]	$F$ [C]	$e$ [C]
1.							
2.							

12. Wyznaczyć szukane wielkości:

$$k = \frac{m_2 - m_1}{It} \quad \text{równoważnik elektrochemiczny osadzanego materiału;}$$

$$F = \frac{R}{k} \quad \text{stała Faraday'a; \quad gdzie } R = \frac{A}{Z}, \text{ } A\text{-masa 1 mola osadzanego materiału,}$$

$$\text{Z-wartościowość osadzanego materiału;}$$

$$e = \frac{F}{N_A} \quad \text{ładunek elementarny; \quad gdzie } N_A \text{ - liczba Avogadro.}$$

13. Dyskusję błędów dla otrzymanej wartości  $k$  przeprowadzić metodą różniczkowania przyjmując za zmienne  $m_1$ ,  $m_2$ ,  $I$ ,  $t$ .

Autor instrukcji:

Dariusz Szymczuk

## E 8.1. Wyznaczanie napięcia zapłonu i gaśnięcia lampy jarzeniowej

### INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

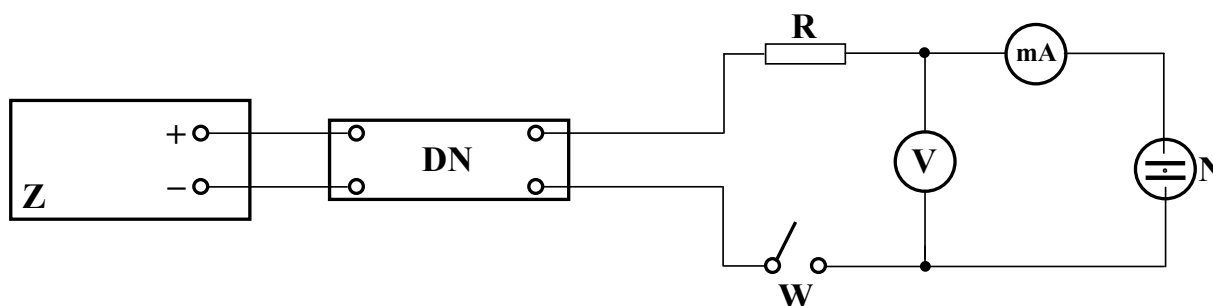
Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Zjawisko przepływu prądu w gazie rozrzedzonym
2. Zjawisko wyładowania jarzeniowego i budowa lampy neonowej
3. Układ RC, ładowanie i rozładowanie kondensatora przez opór

Literatura:

1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Elektryczność i magnetyzm*, B. Kuśmiderska, Cz. Rybka, T. Rybka, red. E. Śpiewła, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1995.
2. B. Kuśmiderska, J. Meldizon, *Podstawy rachunku błędów w pracowni fizycznej*, red. E. Śpiewła, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1997.

### Wykonanie zadania:



Rys. 1 Schemat układu pomiarowego: Z – zasilacz, DN – dzielnik napięcia, W – włącznik, N – neonówka, mA – miliamperomierz, V – woltomierz, R – opór zabezpieczający.

1. Zestawić obwód według schematu przedstawionego na Rys. 1.
2. Włączyć układ pomiarowy włącznikiem  $W$ .
3. Przy pomocy dzielnika napięcia zwiększyć napięcie  $U_0$  o możliwie najmniejszą wartość obserwując jednocześnie wskazania woltomierza. W chwili zapłonu lampy wskazówka woltomierza cofa się nieznacznie. Najwyższe wychylenie wskazówki na woltomierzu  $V$  jest napięciem zapłonu lampy  $U_z$ .
4. Za pomocą dzielnika napięcia zmniejszać napięcie  $U_0$  o możliwie najmniejszą wartość do chwili zgaśnięcia lampy. Napięcie wskazywane wtedy przez woltomierz  $V$  jest napięciem gaśnięcia lampy  $U_g$ .
5. Pomiar  $U_z$  i  $U_g$  przeprowadzić minimum 10-krotnie.
6. Rozłączyć układ pomiarowy.
7. Wyniki pomiarów wpisać do tabeli.

l.p.	$U_z$ [V]	$\bar{U}_z$ [V]	$\bar{\sigma}_z$ [V]	$U_z = \bar{U}_z \pm 3\bar{\sigma}_z$ [V]	$U_g$ [V]	$\bar{U}_g$ [V]	$\bar{\sigma}_g$ [V]	$U_g = \bar{U}_g \pm 3\bar{\sigma}_g$ [V]

8. Dyskusję błędów przeprowadzić metodą Gaussa obliczając wartości średnie i odchylenie standardowe dla  $U_z$  i  $U_g$ .

Autor instrukcji:

Dariusz Szymczuk

## E 8.2. Badanie częstotliwości repetycji generatora drgań relaksacyjnych

### INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

#### Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Zjawisko przepływu prądu w gazie rozrzedzonym
2. Zjawisko wyładowania jarzeniowego i budowa lampy neonowej
3. Układ RC, ładowanie i rozładowanie kondensatora przez opór
4. Drgania relaksacyjne

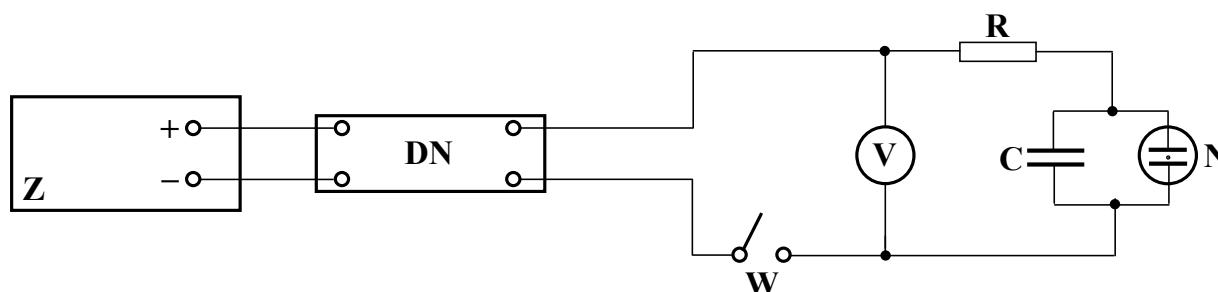
#### Literatura:

1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Elektryczność i magnetyzm*, B. Kuśmiderska, Cz. Rybka, T. Rybka, red. E. Śpiewła, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1995.
2. B. Kuśmiderska, J. Meldizon, *Podstawy rachunku błędów w pracowni fizycznej*, red. E. Śpiewła, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1997.

#### Wartości podawane przez prowadzącego zajęcia:

Napięcie	$U_0$
Pojemność	$C$
Opór	$R$
Liczba błysków lampy	$N$

#### Wykonanie zadania:



Rys. 1 Schemat układu pomiarowego: Z – zasilacz, DN – dzielnik napięcia, W – włącznik, C – kondensator dekadowy, N – neonówka, V – woltomierz, R – opór dekadowy.

1. Zestawić obwód według schematu (Rys. 1.)
2. Włączyć układ pomiarowy włącznikiem  $W$ .
3. Przy ustalonych wartościach napięcia  $U_0$ , pojemności  $C$  oraz oporu  $R$  zmierzyć czas trwania podanej przez prowadzącego liczby błysków neonówki  $N$ .
4. Pomiar powtórzyć dla kilku wartości oporu  $R$ .
5. Wyniki pomiarów wpisać do tabeli 1.
6. Na podstawie otrzymanych wyników obliczyć okres drgań dla danej wartości oporu  $R$  korzystając z definicji okresu  $T$  a następnie obliczyć częstotliwość drgań.
7. Sporządzić charakterystykę  $\nu_{rp} = f(R)$  dla ustalonych wartości  $U_0$  i  $C$ .

8. W analogiczny sposób należy przeprowadzić pomiary i sporządzić charakterystyki  $v_{rp}=f(U_0)$  dla ustalonych wartości R i C oraz  $v_{rp}=f(C)$  dla ustalonych wartości  $U_0$  i R. Uwaga: w ostatnim przypadku użyć kondensatora dekadowego w miejsce kondensatora C.
9. Dyskusję błędów pomiaru przeprowadzić metodą graficzną uwzględniając niepewność maksymalną pomiaru częstotliwości.

Tabela 1

U[V]	C [F]	R[MΩ]	N	t[s]	T[s]	$v_{rp}$ [1/s]

Autor instrukcji:

Dariusz Szymczuk

## E 10.1. Wyznaczanie charakterystyki diody

### INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

#### Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Zjawisko termoemisji, gęstość prądu, wzór Langmuira
2. Budowa i zasada działania diody lampowej
3. Parametry diody (opór wewnętrzny, opór statyczny)

#### Literatura:

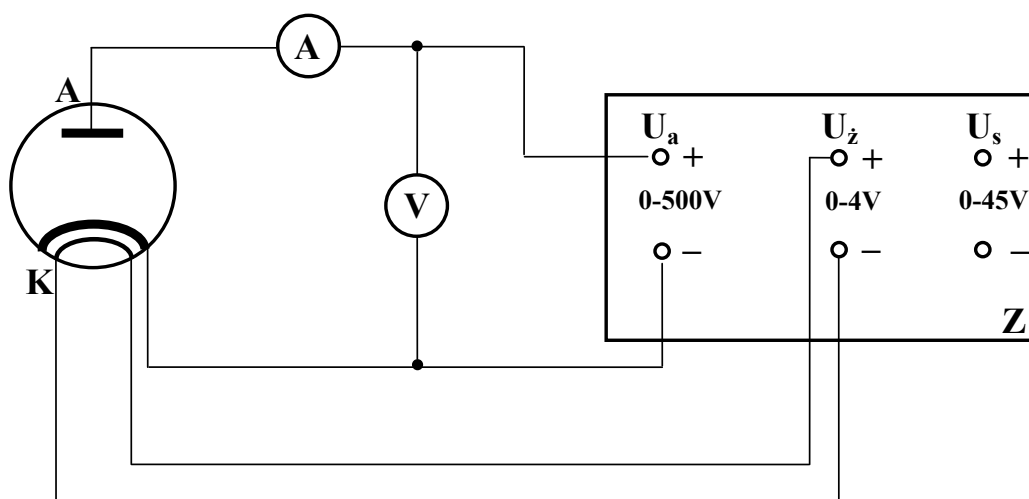
1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Elektryczność i magnetyzm*, B. Kuśmiderska, Cz. Rybka, T. Rybka, red. E. Śpiewła, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1995.
2. B. Kuśmiderska, J. Meldizon, *Podstawy rachunku błędów w pracowni fizycznej*, red. E. Śpiewła, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1997.

#### Wartości podawane przez prowadzącego zajęcia:

Zakres napięcia  $U$

Zakres natężenia prądu  $I$

#### Wykonanie zadania:



Rys. 1 Schemat układu pomiarowego: Z – zasilacz, (A) – amperomierz, V – woltomierz, A – anoda, K – katoda

Celem pomiarów jest znalezienie zależności natężenia prądu anodowego  $I_a$  od napięcia  $U_a$ .  
W tym celu należy:

1. Zestawić obwód według schematu (Rys. 1).
2. Przy pomocy potencjometrów zasilacza zmieniać napięcie anodowe  $U_a$  (zakresy zmian podane są na podstawie lampy) co 2V i odczytywać na amperomierzu  $A$  odpowiadające mu natężenie prądu anodowego  $I_a$ .
3. Przeprowadzić pomiary osobno dla anody  $A_1$  i anody  $A_2$ .
4. Dla duodiody pomiary przeprowadzić dla połączonych równolegle anod  $A_1$  i  $A_2$ .

- Wyniki pomiarów wpisać do Tabeli 1.
- Na podstawie otrzymanych wartości  $I_a$  oraz  $U_a$  sporządzić wykresy  $I_a=f(U_a)$  dla wszystkich trzech serii pomiarów.

7. Wyznaczyć opór wewnętrzny diody ze wzoru:  $\bar{R}_i = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a} = \frac{U_{a2} - U_{a1}}{I_{a2} - I_{a1}}$ .

8. Wyznaczyć opór statyczny diody dla prądu stałego ze wzoru:  $R_{(A1)} = \frac{U_{aA1}}{I_{aA1}}$ ,

$$R_{(A2)} = \frac{U_{aA2}}{I_{aA2}}.$$

- Wyniki obliczeń umieścić w tabelach.

- Niepewność względną maksymalną obliczyć metodą różniczkowania uwzględniając, że:

$$R = f(U_a, I_a) \text{ oraz } \bar{R}_i = f(U_{a1}, U_{a2}, I_{a1}, I_{a2}).$$

Tabela 1.

Rodzaj i nr lampy						
Lp	$U_a$ [V]	$I_{aA1}$ [A]	$I_{aA2}$ [A]	$I_{aA1+A2}$ [A]	$R_{(A1)}$	$R_{(A2)}$
1						
2						
.						
.						

Tabela 2.

Rodzaj i nr lampy							
Lp	$\Delta U_{aA1}$ [V]	$\Delta U_{aA2}$ [V]	$\Delta U_{aA1+A2}$ [V]	$\Delta I_{aA1}$ [A]	$\Delta I_{aA2}$ [A]	$\Delta I_{aA1+A2}$ [A]	$R_i$
1							
2							
.							
.							

Autor instrukcji:

Dariusz Szymczuk

## E 10.2.a. Wyznaczanie charakterystyk anodowych triody

### INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

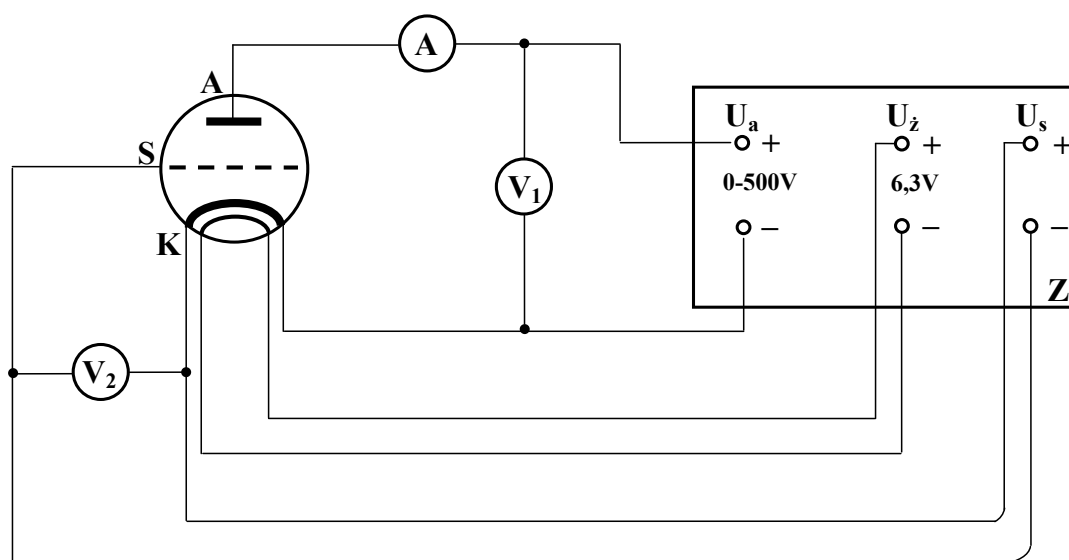
#### Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Zjawisko termoemisji, gęstość prądu, wzór Langmuira
2. Budowa i zasada działania triody
3. Parametry triody (opór wewnętrzny, nachylenie charakterystyki, współczynnik wzmacnienia)

#### Literatura:

1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Elektryczność i magnetyzm*, B. Kuśmiderska, Cz. Rybka, T. Rybka, red. E. Śpiewła, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1995.
2. B. Kuśmiderska, J. Meldizon, *Podstawy rachunku błędów w pracowni fizycznej*, red. E. Śpiewła, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1997.

#### Wykonanie zadania:



Rys. 1 Schemat układu pomiarowego: Z – zasilacz, (A) – amperomierz,  $V_1$  i  $V_2$  – woltomierze, A – anoda, K – katoda, S – siatka

1. Zestawić obwód według schematu (Rys. 1.)
2. Przy pomocy potencjometrów zasilacza ustawić odpowiednią wartość napięcia siatkowego  $U_{s1}$  i zmieniać napięcie anodowe  $U_{a1}$  co 5V i odczytać na amperomierzu A odpowiadające mu natężenie prądu anodowego (zakresy zmian napięcia żarzenia  $U_z$ , napięć siatkowych  $U_s$ , oraz zmian napięć anodowych  $U_a$  podane są na podstawie lampy).
3. W analogiczny sposób pomiary przeprowadzić dla  $U_{s2}$  i  $U_{s3}$ .
4. Wyniki pomiarów wpisać do Tabeli 1.
5. Na podstawie otrzymanych wartości  $I_a$  oraz  $U_a$  sporządzić wykresy  $I_a=f(U_a)$  przy  $U_{s1}=const$ ,  $U_{s2}=const$  i  $U_{s3}=const$ .
6. Z otrzymanej rodziny charakterystyk anodowych wyznaczyć:

$$\bar{R}_i = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a} = \frac{U_{a2} - U_{a1}}{I_{a2} - I_{a1}}, \quad \text{opór wewnętrzny}$$

$$S_a = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_s} = \frac{I_{a2} - I_{a1}}{U_{s2} - U_{s1}}, \quad \text{nachylenie charakterystyki anodowej}$$

$$\mu = -\frac{\Delta U_a}{\Delta U_s} = -\frac{U_{a2} - U_{a1}}{U_{s2} - U_{s1}}, \quad \text{współczynnik wzmocnienia}$$

7. Wyniki obliczeń wpisać do Tabeli 2.

Tabela 1.

Rodzaj i nr lampy						
Lp	U <sub>s1</sub> [V]		U <sub>s2</sub> [V]		U <sub>s3</sub> [V]	
	U <sub>a1</sub> [V]	I <sub>a1</sub> [A]	U <sub>a2</sub> [V]	I <sub>a2</sub> [A]	U <sub>a3</sub> [V]	I <sub>a3</sub> [A]
1						
2						
·						
·						

Tabela 2.

Rodzaj i nr lampy				
Lp	R <sub>i</sub> [Ω]	S <sub>a</sub> [A/V]	μ z charakterystyki	μ z obliczeń
1				
2				
·				
·				

8. Niepewność względną maksymalną obliczyć metodą różniczkowania uwzględniając, że:

$$R_i = f(U_{a1}, U_{a2}, I_{a1}, I_{a2}), \quad S_a = f(U_{s1}, U_{s2}, I_{a1}, I_{a2})$$

$$\text{oraz } \mu = f(U_{a1}, U_{a2}, U_{s1}, U_{s2}).$$

Autor instrukcji:

Dariusz Szymczuk

## E 10.2.b. Wyznaczanie charakterystyk siatkowych triody

### INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

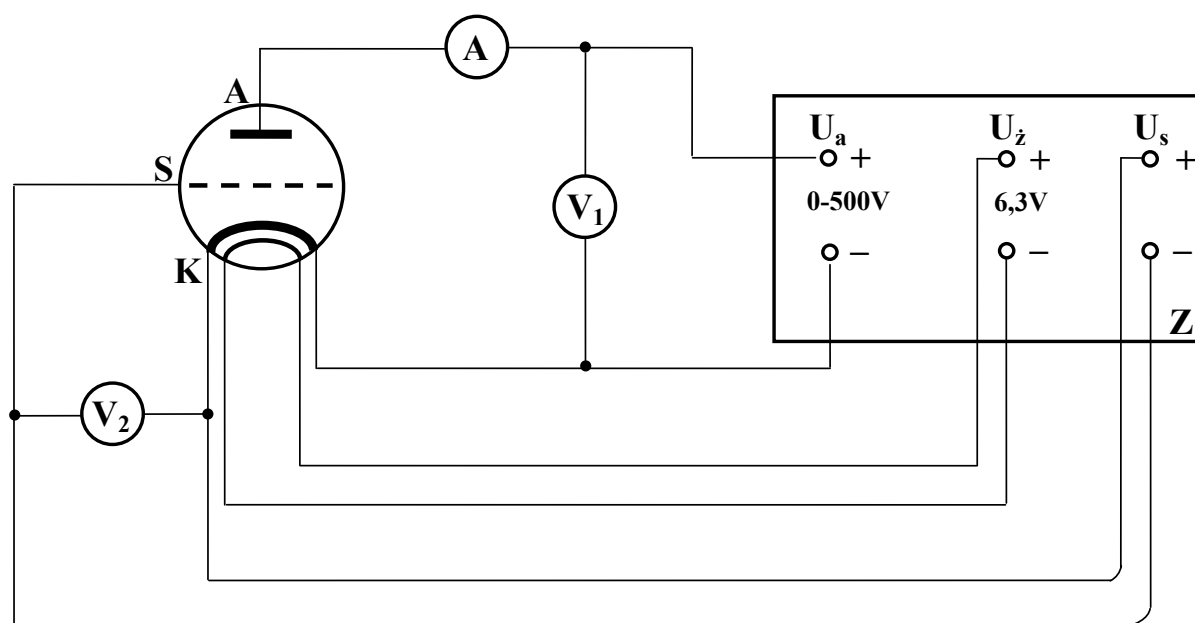
#### Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Zjawisko termoemisji, gęstość prądu, wzór Langmuira
2. Budowa i zasada działania triody
3. Parametry triody (opór wewnętrzny, nachylenie charakterystyki, współczynnik wzmacnienia)

#### Literatura:

1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Elektryczność i magnetyzm*, B. Kuśmiderska, Cz. Rybka, T. Rybka, red. E. Śpiewła, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1995.
2. B. Kuśmiderska, J. Meldizon, *Podstawy rachunku błędów w pracowni fizycznej*, red. E. Śpiewła, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1997.

#### Wykonanie zadania:



Rys. 1 Schemat układu pomiarowego. Z – zasilacz, A – amperomierz, V<sub>1</sub> i V<sub>2</sub> – woltomierze, A – anoda, K – katoda, S – siatka

1. Zestawić obwód według schematu (Rys. 1.)
2. Przy pomocy potencjometrów zasilacza ustawić odpowiednią wartość napięcia siatkowego  $U_{a1}$  i zmieniać napięcie siatkowe  $U_{s1}$  co 1V i odczytać na amperomierzu  $I_a$  odpowiadające mu natężenie prądu anodowego (zakresy zmian napięcia żarzenia  $U_z$ , napięć siatkowych  $U_s$ , oraz zmian napięć anodowych  $U_a$  podane są na podstawie lampy).
3. W analogiczny sposób pomiary przeprowadzić dla  $U_{a2}$  i  $U_{a3}$ .
4. Wyniki pomiarów wpisać do Tabeli 1.
5. Na podstawie otrzymanych wartości  $I_a$  oraz  $U_a$  sporządzić wykresy  $I_a = f(U_s)$  przy  $U_{a1} = const$ ,  $U_{a2} = const$  i  $U_{a3} = const$ .

6. Z otrzymanej rodziny charakterystyk anodowych wyznaczyć:

$$\bar{R}_i = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a} = \frac{U_{a2} - U_{a1}}{I_{a2} - I_{a1}}, \quad \text{opór wewnętrzny}$$

$$S_a = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_s} = \frac{I_{a2} - I_{a1}}{U_{s2} - U_{s1}}, \quad \text{nachylenie charakterystyki anodowej}$$

$$\mu = -\frac{\Delta U_a}{\Delta U_s} = -\frac{U_{a2} - U_{a1}}{U_{s2} - U_{s1}}, \quad \text{współczynnik wzmacnienia}$$

7. Wyniki obliczeń umieścić w Tabeli 2.

Tabela 1.

Rodzaj i nr lampy						
Lp	U <sub>a1</sub> [V]		U <sub>a2</sub> [V]		U <sub>3</sub> [V]	
	U <sub>s1</sub> [V]	I <sub>s1</sub> [A]	U <sub>s2</sub> [V]	I <sub>s2</sub> [A]	U <sub>s3</sub> [V]	I <sub>s3</sub> [A]
1						
2						
.						
.						

Tabela 2.

Rodzaj i nr lampy				
Lp	R <sub>i</sub> [Ω]	S <sub>a</sub> [A/V]	μ z charakterystyki	μ z obliczeń
1				
2				
.				
.				

8. Niepewność względną maksymalną obliczyć metodą różniczkowania uwzględniając, że:

$$R_i = f(U_{a1}, U_{a2}, I_{a1}, I_{a2}), \quad S_a = f(U_{s1}, U_{s2}, I_{a1}, I_{a2})$$

$$\text{oraz } \mu = f(U_{a1}, U_{a2}, U_{s1}, U_{s2}).$$

Autor instrukcji:

Dariusz Szymczuk

## E 11.1. Cechowanie termoogniwa

### INSTRUKACJA WYKONANIA ZADANIA

#### Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Kontaktowa różnica potencjałów
2. I i II prawo Kirchoffa
3. Zjawisko Seebecka i Thomsona

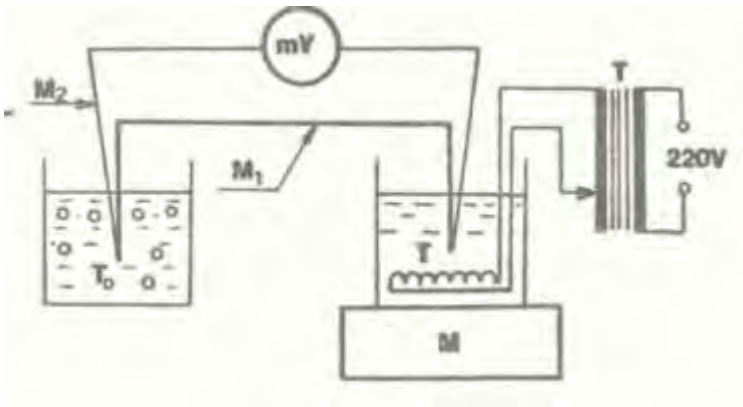
#### Literatura:

1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Elektryczność i magnetyzm*, B. Kuśmiderska, Cz. Rybka, T. Rybka, red. E. Śpiewła, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1995.
2. J. Taylor, *Wstęp do analizy błędu pomiarowego*, Wydawnictwo Naukowe PWN, 1999.
3. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003, t.3.
4. Cz. Bobrowski, *Fizyka – krótki kurs*, Wydawnictwo Naukowo Techniczne, Warszawa 1998.

#### Wykonanie zadania:



Rys.1 Fotografia przedstawiająca stanowisko pomiarowe.



Rys. 2 Schemat układu pomiarowego:  
 T – transformator  
 M – mieszadło magnetyczne  
 mV – miliwoltomierz.

1. Wyzerować miliwoltomierz.
2. Jedno ze spojeń termoogniwa umieścić w mieszaninie wody i lodu, drugie w pojemniku z grzałką wypełnionym wodą destylowaną (Rys. 2).
3. Sprawdzenie układu przez osobę prowadzącą zajęcia.
4. Podgrzewać wodę grzałką zasilaną z autotransformatora i mieszać ją przy pomocy mieszadła magnetycznego.
5. Zapisywać wartości temperatury co 5°C i odpowiadające napięcie na miliwoltomierzu.
6. Sporządzić wykres zależności napięcia od temperatury.

Autor instrukcji:

Agata Zdyb

## E 11.2. Wyznaczanie zdolności termoelektrycznej termoogniwa i względnej koncentracji elektronów swobodnych w metalach

### INSTRUKACJA WYKONANIA ZADANIA

#### Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Kontaktowa różnica potencjałów
2. I i II prawo Kirchoffa
3. Zjawisko Seebecka i Thomsona

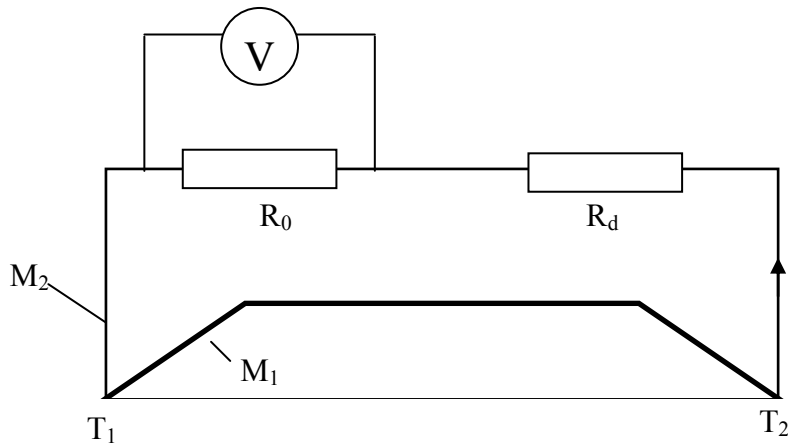
#### Literatura:

1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Elektryczność i magnetyzm*, B. Kuśmiderska, Cz. Rybka, T. Rybka, red. E. Śpiewła, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1995.
2. J. Taylor, *Wstęp do analizy błęd pomiarowego*, Wydawnictwo Naukowe PWN, 1999.
3. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003, t.3.
4. Cz. Bobrowski, *Fizyka – krótki kurs*, Wydawnictwo Naukowo Techniczne, Warszawa 1998.
5. B. Jaworski, A. Dietlaf, Ł. Miłkowska, *Kurs fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1976, t.2.

#### **Wykonanie zadania:**



Rys. 1 Fotografia przedstawiająca stanowisko pomiarowe.



Rys. 2 Schemat obwodu pomiarowego.

1. Zestawić obwód elektryczny według Rys. 2. Złącze termooigniwa  $T_2$  umieścić w mieszaninie lodu i wody, a złącze  $T_1$  we wrzącej wodzie.
2. Ustawić wartości oporów  $R_0 = 1000 \Omega$  i  $R_d = 0 \Omega$  i odczytać napięcie  $U_0$ .
3. Ustawiać podane przez prowadzącego wartości  $R_d$  i odczytywać napięcie  $U$ .
4. Pomiary wykonać dla co najmniej 10 różnych wartości  $R_d$ . Zdolność termoelektryczną ogniwa obliczyć ze wzoru:

$$\alpha = \frac{U_0 U}{U_0 - U} \frac{R_d}{R_0 (T_1 - T_2)}.$$

5. Względną koncentrację wolnych elektronów obliczyć ze wzoru:

$$\frac{n_1}{n_2} = \exp\left(\frac{\alpha \cdot e}{k}\right).$$

6. Oszacować niepewność pomiaru metodą różniczkowania.

Autor instrukcji:

Agata Zdyb

## E 12.1. Pomiar czułości i stałej lampy oscyloskopowej

### INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

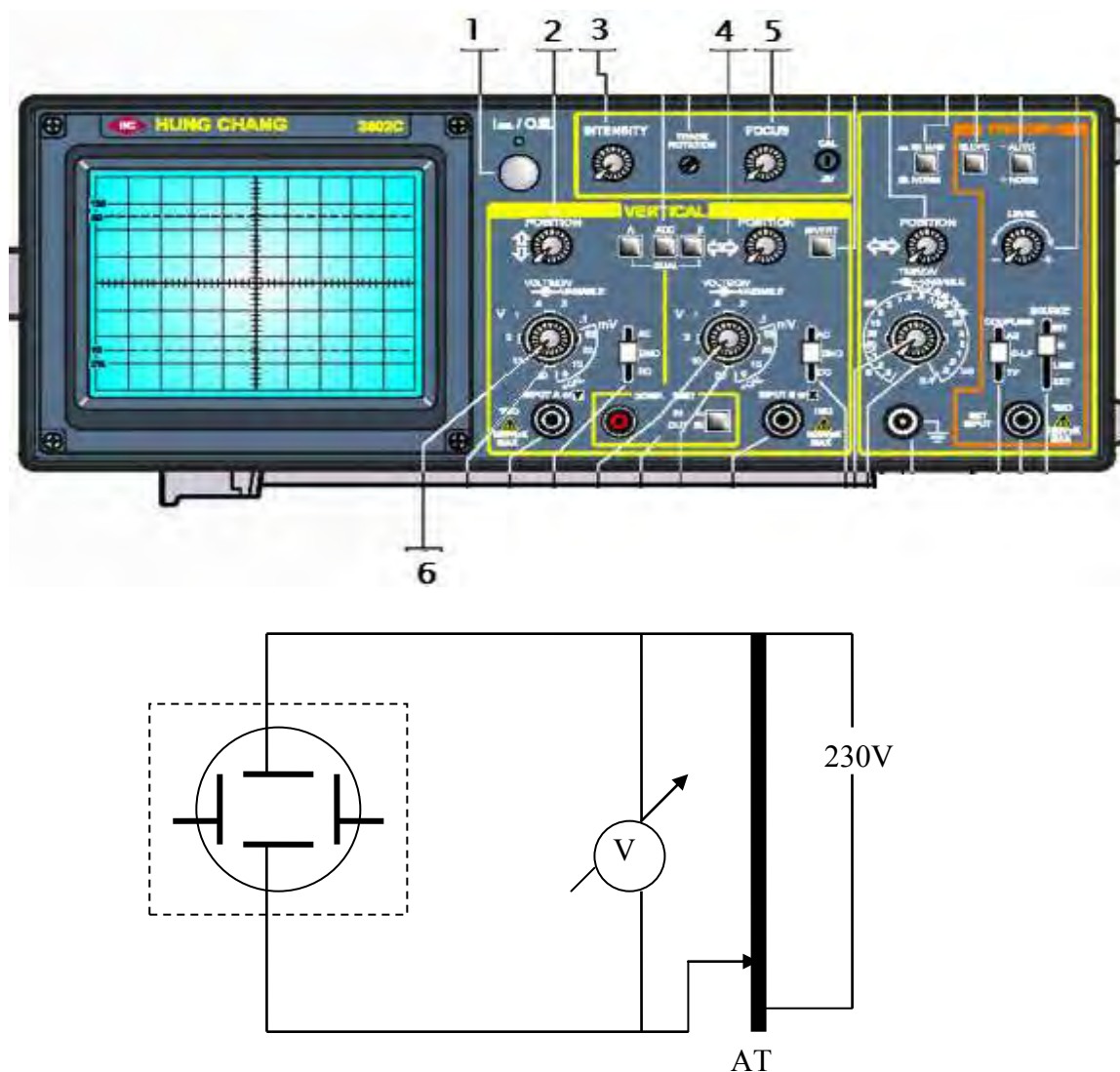
Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Budowa i zasada działania lampy oscyloskopowej
2. Wielkości charakteryzujące prąd przemienny

Literatura:

1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Elektryczność i magnetyzm*, B. Kuśmierska, Cz. Rybka, T. Rybka, red. E. Śpiewła, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1995.
2. J. Taylor, *Wstęp do analizy błęd pomiarowego*, Wydawnictwo Naukowe PWN, 1999.
3. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003, tom III.

**Wykonanie zadania:**



Rys.1. Schemat układu do pomiaru czułości lampy oscyloskopowej

1. Przyrządy należy połączyć według schematu przedstawionego na Rys. 1.
2. Przed włączeniem oscyloskopu należy ustawić w położeniu środkowym pokrętła 1, 3, 4 i 5. Następnie wciskamy przycisk rodzaju odchylenia pionowego (vertical) A (Rys. 1.)
3. Pokrętło do regulacji częstości generatora podstawy czasu ustawić w prawym skrajnym położeniu (jest wtedy wyłączony) a przełącznik OUT nie powinien być wciśnięty.
4. Włączyć oscyloskop i po pojawieniu się świecącej plamki należy ustawić ją na środku ekranu regulując przy tym jej ostrość i jasność.
5. Pokrętło do skokowej zmiany wzmocnienia wzmacniacza na osi Y (pokrętło 6, Rys.1) powinno być ustawione w położeniu 5V, przy czym pokrętło do płynnej regulacji musi być przez cały czas ustawione w lewym skrajnym położeniu. Następnie przełącznik rodzaju sygnały A ustawić należy w położeniu AC.
6. Wejście oscyloskopu musi być podłączone do zasilacza napięcia zmiennego. Przy zadanej wartości napięcia świecąca plamka wychyla się, tworząc linię o długości  $l$ . Należy więc pokrętlami 3 i 5 ustawić odpowiednią ostrość i natężenie linii na ekranie oscyloskopu.
7. Pomiary wykonuje się dla 5V i 10V położzeń regulatora wzmocnienia wzmacniacza Y, przy czym napięcie na zasilaczu zmienia się w zakresie podanym przez prowadzącego ćwiczenia.

### Opracowanie wyników:

Otrzymane wyniki należy zestawić w tabeli 1. Na podstawie wyników sporządzamy wykres zależności długości linii  $l$  w funkcji napięcia skutecznego  $U_S$ . Korzystając z wykresu oraz wzorów:

$$C = \frac{l}{2U_S\sqrt{2}} \quad \text{oraz} \quad S = \frac{2U_S\sqrt{2}}{l}$$

obliczyć należy czułość  $C$  i stałą  $S$  lampy. Niepewność względną maksymalną oblicza się metodą różniczkowania ze wzoru  $C = \frac{l}{2U_S\sqrt{2}}$ . Za  $\Delta U_S$  przyjmuje się niepewność bezwzględną

maksymalną wynikającą z klasy przyrządu cyfrowego i niepewność odczytu jego wskazań, natomiast za  $\Delta l$  niepewność bezwzględną maksymalną wynikającą z dokładności pomiaru wychylenia plamki.

Tabela 1.

$U_S$ [V]										
$l$ [m]										

Autor instrukcji:

Sławomir Gułkowski



1. Przyrządy pomiarowe należy połączyć tak, jak pokazano na Rys. 1.
2. Przed włączeniem oscyloskopu należy ustawić w położeniu środkowym pokrętła 1, 3, 4 i 5. Następnie wciskamy przycisk rodzaju odchylenia pionowego (vertical) A (Rys. 1.)
3. Pokrętło do regulacji częstości generatora podstawy czasu ustawić w prawym skrajnym położeniu (jest wtedy wyłączony) a przełącznik OUT nie powinien być wciśnięty.
4. Włączyć oscyloskop i po pojawieniu się świecącej plamki należy ustawić ją na środku ekranu regulując przy tym jej ostrość i jasność.
5. Pokrętło do skokowej zmiany wzmocnienia wzmacniacza na osi Y (pokrętło 6, Rys.1) powinno być ustawione w położeniu 5V, przy czym pokrętło do płynnej regulacji musi być przez cały czas ustawione w lewym skrajnym położeniu. Następnie przełącznik rodzaju sygnały A ustawić należy w położeniu AC.
6. Wejście oscyloskopu należy podłączyć do napięcia zmiennego podawanego z uzwojenia wtórnego transformatora, przy czym numer wyjścia uzwojenia oraz położenie regulatora wzmocnienia wzmacniacza Y (pokrętło 6, Rys.1) podaje prowadzący ćwiczenia. Przy zadanej wartości napięcia świecąca plamka wychyla się, tworząc linię o długości  $l_1$ . Należy więc pokrętkami 3 i 5 ustawić odpowiednią ostrość i natężenie linii na ekranie oscyloskopu.
7. Woltomierzem umieszczonym obok tablicy rozdzielczej należy zmierzyć napięcie sieciowe na pierwotnym uzwojeniu transformatora  $U_{S1}$  a długość linii  $l_1$ , która odpowiada temu napięciu zmierzyć na ekranie oscyloskopu. Pomiary te należy kilkakrotnie powtórzyć.

### Opracowanie wyników:

Wyniki pomiarów wpisać do tabeli 1. Na podstawie otrzymanych wyników obliczamy przekładnię transformatora ze wzoru:

$$p = \frac{Sl_1}{2\sqrt{2}U_{S1}}$$

Niepewność względną maksymalną oblicza się metodą różniczkowania ze wzoru podanego powyżej. Za  $\Delta U_{S1}$  przyjmuje się niepewność bezwzględną maksymalną wynikającą z klasy woltomierza i niepewność odczytu jego wskazań, natomiast za  $\Delta l_1$  niepewność bezwzględną maksymalną wynikającą z dokładności pomiaru wychylenia plamki. W przypadku, gdy podana jest wartość stałej lampy oscyloskopowej S przyjmuje się, że  $S = \text{const.}$ , a gdy została wyznaczona doświadczalnie to niepewność pomiaru wyznaczamy jak przy wykonywaniu ćwiczenia E 12. 1.

Tabela 1.

Nr transformatora	$l_1$ [m]	$U_{S1}$ [V]	S [V/m]	p

Autor instrukcji:

Sławomir Gułkowski

## E 13.1. Pomiary ładunku właściwego elektronu metodą pól skrzyżowanych

### INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

#### Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Definicja natężenia pola elektrostatycznego
2. Siła Lorentza
3. Ruch cząstki naładowanej w polu elektrycznym i magnetycznym
4. Ładunek właściwy elektronu

#### Literatura:

1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki: Elektryczność i magnetyzm*, B. Kuśmiderska, Cz. Rybka, T. Rybka, red. E. Śpiewła, Wydawnictwa Uczelniane Politechniki Lubelskiej, 1995.
2. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003, t. 3.
3. Cz. Bobrowski, *Fizyka – krótki kurs*, Wydawnictwo Naukowo Techniczne, Warszawa 1998.
4. B. Jaworski, A. Dietlaf, Ł. Miłkowska, *Kurs fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1976, t.2.
5. J. Taylor, *Wstęp do analizy błęd pomiarowego*, Wydawnictwo Naukowe PWN, 1999.

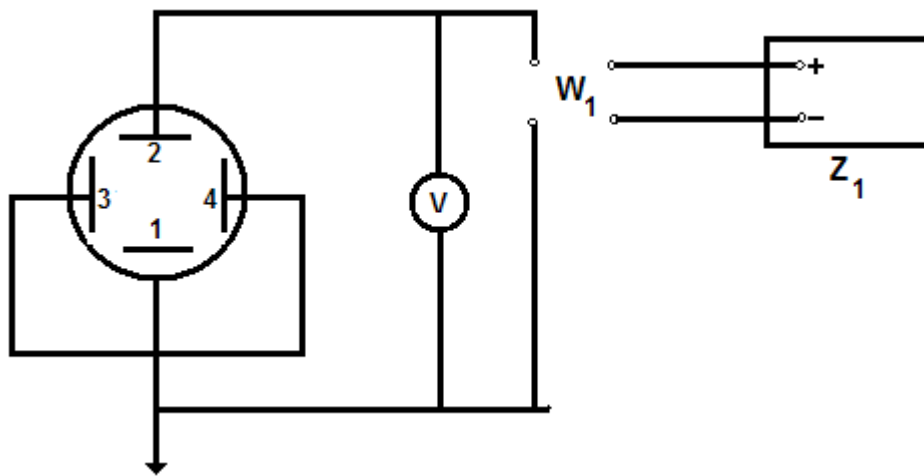
#### Wartości podawane przez prowadzącego zajęcia:

stała aparaturowa  $C = 33310 \text{ m}^{-3}$   
liczba zwojów solenoidu  $n = 10000 \text{ m}^{-1}$   
stała  $\mu_0 = 1,26 \times 10^{-6} \text{ Hm}^{-1}$

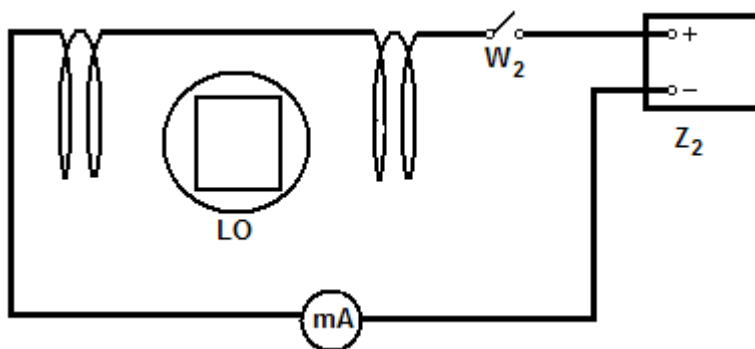
#### Wykonanie zadania:



Rys. 1 Fotografia przedstawiająca stanowisko pomiarowe.



a)



b)

Rys. 2 Schemat układu pomiarowego a) obwód elektryczny wytwarzający pole elektryczne: 1, 2 – płytki odchylenia pionowego lampy oscyloskopowej; 3, 4 – płytki odchylenia poziomego;  $Z_1$  – zasilacz anodowy; b) obwód elektryczny wytwarzający pole magnetyczne: LO – lampa oscyloskopowa;  $Z_2$  – zasilacz.

1. Zestawić obwody elektryczne według Rys 2.
2. Sprawdzenie obwodu przez osobę prowadzącą zajęcia.
3. Włączyć zasilanie lampy oscyloskopowej i po 3 min. włączyć napięcie anodowe  $U_a$ . Wyregulować ostrość i jasność plamki potencjometrami lampy.
4. Włączyć zasilacz  $Z_1$  i  $Z_2$  według instrukcji technicznej.
5. Przy otwartych wyłącznikach  $W_1$  i  $W_2$  należy odczytać położenie plamki  $y_0$  na ekranie oscyloskopu.
6. Dobierając odpowiednio napięcie, za pomocą pokrętła regulacji napięcia zasilacza  $Z_1$ , przesunąć plamkę z położenia  $y_0$  do  $y'$  (maksymalnie o 2 cm), przy zamkniętym wyłączniku  $W_1$ .
7. Po ustawieniu wartości  $y'$  odczytać wartość napięcia  $U$  i do tabeli wpisać  $y=y'-y_0$  oraz napięcie  $U$ .

$C [m^{-3}]$	$n [m^{-1}]$	$y [m]$	$U [V]$	$i [A]$	$e/m [C/kg]$	$\overline{e/m} [C/kg]$

8. Przy zamkniętym wyłączniku  $W_2$  zmienić natężenie prądu przy pomocy pokrętki VOLTAGE zasilacza  $Z_2$ , tak aby sprowadzić plamkę do położenia początkowego  $y_0$ .
9. Odczytać wartość natężenia prądu kompensującego  $i$ , a następnie wpisać ją do tabeli.
10. Powtórzyć pomiary dla trzech różnych wartości  $y$  uzyskując za każdym razem pięciokrotnie kompensację odchylenia plamki, dla każdego nastawionego uprzednio napięcia.
11. Obliczyć wartość ładunku właściwego  $e/m$  elektronu według wzoru:

$$\frac{e}{m} = \frac{U y}{\mu_0^2 n^2 i^2} C,$$

a następnie wartość średnią arytmetyczną  $\overline{e/m}$ .

12. Obliczyć metodą różniczkowania niepewność względną maksymalną wyznaczenia stosunku  $e/m$ , przyjmując, że  $e/m = f(U, i, y)$ .

Autor instrukcji:

Agata Zdyb

## E 13.2. Wyznaczanie ładunku właściwego elektronu przy pomocy magnetronu

### INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

#### Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Definicja natężenia pola elektrostatycznego
2. Siła Lorentza
3. Ruch cząstki naładowanej w polu elektrycznym i magnetycznym
4. Ładunek właściwy elektronu

#### Literatura:

1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki: Elektryczność i magnetyzm*, B. Kuśmiderska, Cz. Rybka, T. Rybka, red. E. Śpiewła, Wydawnictwa Uczelniane Politechniki Lubelskiej, 1995.
2. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003, t.3.
3. J. Taylor, *Wstęp do analizy błęd pomiarowego*, Wydawnictwo Naukowe PWN, 1999.
4. Cz. Bobrowski, *Fizyka – krótki kurs*, Wydawnictwo Naukowo Techniczne, Warszawa 1998.
5. B. Jaworski, A. Dietlaf, Ł. Miłkowska, *Kurs fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1976, t.2.

#### Wartości podawane przez prowadzącego zajęcia:

napięcie:  $U_a = 150 \text{ V}$

liczba zwojów solenoidu:  $n_{0-2} = 5461 \text{ m}^{-1}$ ,  $n_{0-3} = 8313 \text{ m}^{-1}$ ,  $n_{0-4} = 11510 \text{ m}^{-1}$ ,  $n_{0-5} = 14116 \text{ m}^{-1}$

promień anody:  $r_a = 8,9 \times 10^{-3} \text{ m}$

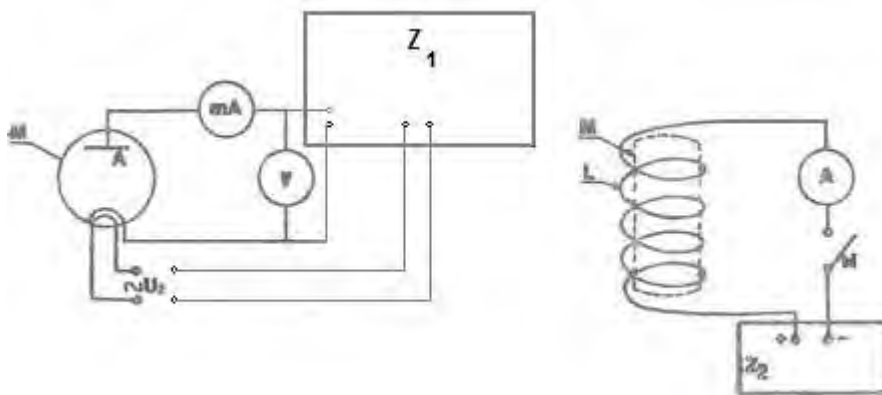
promień katody:  $r_k = 1,0 \times 10^{-3} \text{ m}$

stała  $\mu_0 = 1,26 \times 10^{-6} \text{ Hm}^{-1}$

#### **Wykonanie zadania:**



Rys. 1 Fotografia przedstawiająca stanowisko pomiarowe.



Rys.2 Schemat układu pomiarowego: M - magnetron;  $Z_1$  – zasilacz anodowy;  $Z_2$  – zasilacz stabilizowany.

1. Zestawić obwód elektryczny według Rys. 2.
2. Sprawdzenie obwodu przez osobę prowadzącą zajęcia.
3. Włączyć obwód żarzenia i obwód anodowy do źródła zasilania.
4. Ustawić wartość napięcia anodowego  $U_a$ , podaną przez osobę prowadzącą, na zasilaczu  $Z_1$ .
5. Napięcie na zasilaczu  $Z_2$  ustawiamy na wartość maksymalną.
6. Po zamknięciu wyłącznika W, zmieniać natężenie  $i_s$  prądu płynącego przez solenoid za pomocą pokrętki A, zapisując wartości prądu  $i_a$ . Natężenie prądu należy zmieniać według tabeli w instrukcji technicznej.
7. Wyniki pomiarów natężeń prądów wpisać do poniższej tabeli:

$i_s$ [A]				
$i_a$ [mA]				

8. Pomiary przeprowadzić dla trzech solenoidów o różnej liczbie zwojów  $n$ .
9. Sporządzić wykresy zależności  $i_a = f(i_s)$  i odczytać z nich wartości natężenia prądu krytycznego  $i_k$  dla każdego  $n$ .
10. Obliczyć wartość ładunku właściwego  $e/m$  elektronu dla każdego  $n$  ze wzoru:

$$\frac{e}{m} = \frac{8U_a}{\mu_0^2 n^2 i_k^2} \frac{r_a^2}{(r_a^2 + r_k^2)^2},$$

gdzie  $i_k$  – natężenie krytyczne prądu,  $r_a$  – promień anody,  $r_k$  – promień katody,  $U_a$  – napięcie między anodą i katodą.

11. Wyniki wpisać do tabeli:

$n$ [ $m^{-1}$ ]	$r_a/(r_a^2 - r_k^2)$ [ $m^{-1}$ ]	$U_a$ [V]	$i_k$ [A]	$e/m$ [C/kg]

12. Obliczyć metodą różniczkowania niepewność maksymalną wyznaczenia  $e/m$ , przyjmując, że  $e/m = f(U_a, i_k)$ .

Autor instrukcji: Agata Zdyb

## E 13.3. Wyznaczanie ładunku właściwego elektronu metodą ogniskowania podłużnym polem magnetycznym

### INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

#### Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Definicja natężenia pola elektrostatycznego
2. Siła Lorentza
3. Ruch cząstki naładowanej w polu elektrycznym i magnetycznym
4. Ładunek właściwy elektronu

#### Literatura:

1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki: Elektryczność i magnetyzm*, B. Kuśmiderska, Cz. Rybka, T. Rybka, red. E. Śpiewła, Wydawnictwa Uczelniane Politechniki Lubelskiej, 1995.
2. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003, t. 3.
3. J. Taylor, *Wstęp do analizy błęd pomiarowego*, Wydawnictwo Naukowe PWN, 1999.
4. Cz. Bobrowski, *Fizyka – krótki kurs*, Wydawnictwo Naukowo Techniczne, Warszawa 1998
5. B. Jaworski, A. Dietlaf, Ł. Miłkowska, *Kurs fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1976, t.2.

#### Wartości podawane przez prowadzącego zajęcia:

napięcie:  $U_a = 1500 \text{ V}$

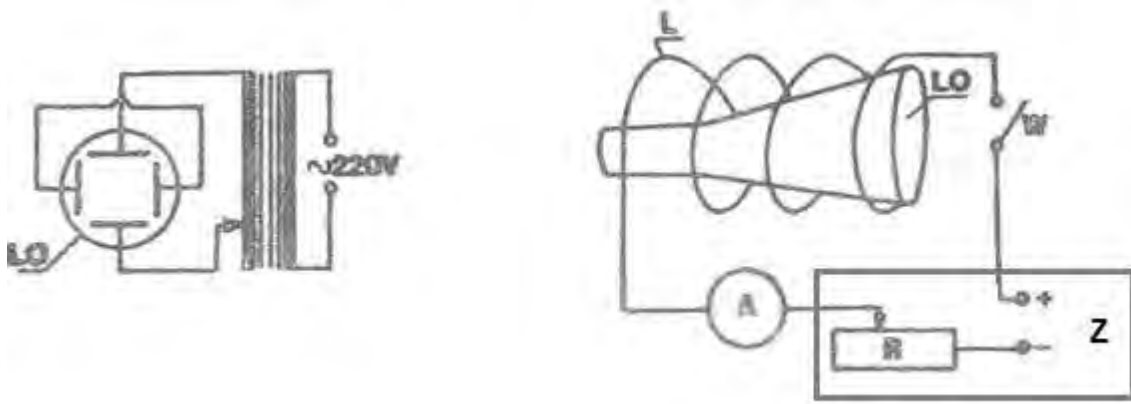
liczba zwojów solenoidu:  $n = 4840 \text{ m}^{-1}$  odległość  $h = 0,33 \text{ m}$

stała  $\mu_0 = 1,26 \times 10^{-6} \text{ Hm}^{-1}$

#### Wykonanie zadania:

Rys.1 Fotografia przedstawiająca stanowisko pomiarowe.





Rys.2 Schemat obwodu elektrycznego: LO – lampa oscyloskopowa; L – solenoid; R – potencjometr; Z – zasilacz anodowy.

1. Zestawić obwód elektryczny według Rys. 2.
2. Sprawdzenie obwodu przez osobę prowadzącą zajęcia.
3. Po włączeniu do źródeł zasilania i zamknięciu wyłącznika wyregulować jasność i ostrość plamki na ekranie oscyloskopu.
4. Włączyć zasilacz według instrukcji technicznej.
5. Ustawić podaną wartość napięcia  $U_a$  za pomocą autotransformatora, aby plamka była rozciągnięta w odcinek o długości ok. 2 cm.
6. Zamknąć wyłącznik W i zogniskować plamkę regulując natężenie prądu w obwodzie solenoidu za pomocą pokrętki A zasilacza. Zapisać wartości natężenia przy ostrej plamce.
7. Pomiary przeprowadzić co najmniej 30 razy.
8. Wyniki wpisać do tabeli:

$n$ [ $m^{-1}$ ]	$h$ [m]	$U_a$ [V]	$i_k$ [A]	$\overline{i_k}$ [A]	$\overline{e/m}$ [C/kg]

9. Obliczyć wartość średnią arytmetyczną natężenia prądu ogniskującego  $\overline{i_k}$ .
10. Obliczyć ładunek właściwy  $\overline{e/m}$  elektronu korzystając ze wzoru:

$$\left(\frac{e}{m}\right) = \frac{8\pi^2 U_a}{\mu_0 n^2 (\overline{i_k})^2 h}$$

11. Wyznaczyć niepewność pomiarową:
  - a) metodą różniczkowania wyznaczyć niepewność maksymalną wyznaczenia  $e/m$ , przyjmując, że  $e/m = f(U_a, i_k)$
  - lub
  - b) metodą Gaussa opracować wyniki (program komputerowy GAUSS jest dostępny na komputerze w pracowni).

Autor instrukcji:

Agata Zdyb

## E 14.1. Wyznaczanie charakterystyki diody półprzewodnikowej

### INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

#### Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Półprzewodniki samoistne i domieszkowe; model pasmowy półprzewodnika
2. Zależność oporu półprzewodników od temperatury
3. Złącze n-p w stanie równowagi termodynamicznej
4. Polaryzacja złącza w kierunku przewodzenia i zaporowym
5. Rozkład ładunków, natężenia pola i potencjału w obszarze złącza n-p
6. Dioda półprzewodnikowa; charakterystyka prądowo-napięciowa diody

#### Literatura:

1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Elektryczność i magnetyzm*, B. Kuśmiderska, Cz. Rybka, T. Rybka, red. E. Śpiewła, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1995.
2. D. Halliday, R. Resnick, *Podstawy fizyki*, tom. III, Wydawnictwo Naukowe PWN.
3. H. Szydłowski, *Pracownia fizyczna*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 1997.
4. B. Kuśmiderska, J. Meldizon, *Podstawy rachunku błędów w pracowni fizycznej*, red. E. Śpiewła, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1997.

#### Wartości podane przez prowadzącego zajęcia:

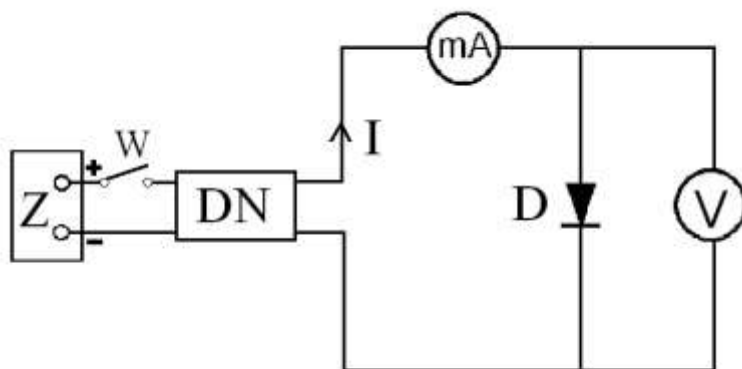
Dioda	Kierunek przewodzenia	Kierunek zaporowy
DMG-1	$U_{\max} = 0,25V$	$U_{\max} = 30,0V$
D7Ж	$U_{\max} = 0,35V$	$U_{\max} = 0,8V$
BYP	$U_{\max} = 0,70V$	$U_{\max} = 30,0V$

### Wykonanie zadania:

#### a) Polaryzacja diody w kierunku przewodzenia



**Z** – zasilacz prądu stałego,  
**W** – wyłącznik,  
**DN** – dzielnik napięcia,  
**V** – woltomierz cyfrowy,  
**mA** – miliamperomierz –  
wydawany przez prowadzącego  
zajęcia,  
**D** – badana dioda – wydawana  
przez prowadzącego zajęcia.



Rys 1. Układ pomiarowy –wyznaczanie charakterystyki prądowo-napięciowej diody półprzewodnikowej w kierunku przewodzenia

1. Połączyć obwód elektryczny zgodnie ze schematem z Rys.1
2. Po sprawdzeniu obwodu, włączyć zasilacz Z (przycisk *sieć*), zamknąć wyłącznik W (pozycja *zał*). Dobrać odpowiednie zakresy pracy mierników.
3. Używając pokręteł dzielnika napięcia ustawiać napięcie U na badanej diodzie ( zakres napięć odpowiedni dla każdej diody) i mierzyć natężenia prądu I płynącego przez miliamperomierz.
4. Wykonać kilkanaście pomiarów napięcia i natężenia tak, aby uzyskać charakterystykę  $I = f(U)$ .
5. Wyniki pomiarów wpisać do tabeli 1
6. Obliczyć opór diody  $R_d$  z wzoru  $R_d = U / I$ .

Tabela 1 Kierunek przewodzenia

Dioda	U [V]	I [A]	$R_d$ [ $\Omega$ ]

7. Sporządzić wykres charakterystyki prądowo-napięciowej diody  $I = f(U)$ , oraz zależności oporu diody od napięcia  $R_d = f(U)$ .
8. Metodą różniczkowania obliczyć niepewność pomiaru oporu diody  $R_d$  przyjmując, że opór jest funkcją U oraz I.  
 Niepewność maksymalna  $\Delta I = \Delta I' + \Delta I''$   
 gdzie  $\Delta I'$  - wynika z klasy miernika i  $\Delta I''$ - niepewności odczytu.  
 Niepewność maksymalna  $\Delta U$  wynika z klasy miernika cyfrowego (instrukcja techniczna dostępna na stanowisku pomiarowym).

## b) Polaryzacja diody w kierunku zaporowym



Przyrządy potrzebne do sporządzenia charakterystyki diody półprzewodnikowej w kierunku zaporowym:

**Z** – zasilacz stabilizowany prądu stałego,

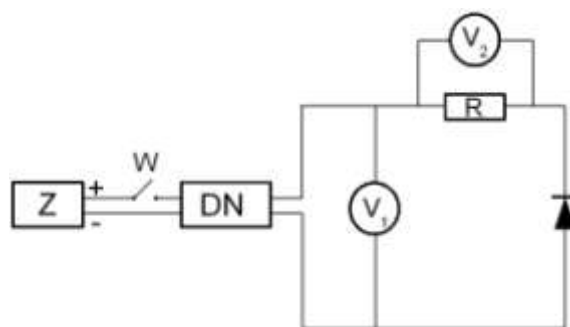
**W** – wyłącznik (klucz),

**DN** – dzielnik napięcia,

**R** – opornik,

**V<sub>1</sub> i V<sub>2</sub>** – woltomierze cyfrowe,

**D** – dioda badana.



Rys. 2. Układ pomiarowy – wyznaczenie charakterystyki prądowo-napięciowej w kierunku zaporowym

1. Połączyć obwód elektryczny zgodnie ze schematem z Rys. 2.

Na oporniku R ustawić wartość  $R = 1 \text{ k}\Omega$ .

Woltomierz i podłączony równolegle do niego opornik R pełnią rolę mikroamperomierza.

Natężenie prądu płynącego przez diodę obliczać należy z wzoru

$$I = U_2/R$$

2. Po sprawdzeniu obwodu przez prowadzącego, włączyć zasilacz Z (przyciskiem *sieć*) zamknąć wyłącznik W (pozycja *zł*).
3. Przy pomocy dzielnika napięcia ustawiać napięcie na woltomierzu  $V_1$ , (od 0 -  $U_{max}$  dla danej diody), odczytać napięcie wskazywane przez woltomierz  $V_2$ .
4. Należy przyjąć, że napięcie polaryzacji diody  $U = U_1$ , co jest słuszne gdy  $R \ll R_d$ , gdzie  $R_d$  jest oporem diody.
5. Wykonać kilkunastu pomiarów napięć tak, aby uzyskać charakterystykę  $I = f(U)$
6. Obliczyć opór diody  $R_d$  ze wzoru  $R_d = U/I$ .
7. Wyniki wpisać do tabeli 2.

Tabela 2 Kierunek zaporowy

Dioda	R [kΩ]	$U_1$ [V]	I [μA]	$U_2$ [V]	$R_d$ [kΩ]

8. Metodą różniczkowania obliczyć niepewność pomiaru oporu diody  $R_d$  przyjmując, że opór jest funkcją  $U, U_2, R$   
 Niepewności pomiaru  $\Delta U, \Delta U_2$  i  $\Delta R$  dla przyrządów aktualnie używanych do wykonania ćwiczenia są podane w instrukcji technicznej.

Autor instrukcji:

Marta Zdrojewska

## E 14.2. Wyznaczanie charakterystyk tranzystora w układzie ze wspólnym emiterem

### INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Półprzewodniki samoistne i domieszkowe; model pasmowy półprzewodnika
2. Zależność oporu półprzewodników od temperatury
3. Złącze n-p w stanie równowagi termodynamicznej
4. Polaryzacja złącza w kierunku przewodzenia i zaporowym
5. Rozkład ładunków, natężenia pola i potencjału w obszarze złącza n-p
6. Tranzystory pnp - zasada działania
7. Charakterystyki tranzystorów, parametry tranzystorów

Literatura:

1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Elektryczność i magnetyzm*, B. Kuśmiderska, Cz. Rybka, T. Rybka, red. E. Śpiewła, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1995.
2. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2003, tom III.
3. H. Szydłowski, *Pracownia fizyczna*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 1997.
4. B. Kuśmiderska, J. Meldizon, *Podstawy rachunku błędów w pracowni fizycznej*, red. E. Śpiewła, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1997.

### Wykonanie zadania:



Przyrządy potrzebne do wykonania zadań E.14.2 a,b,c.

- Z** – zasilacz prądu stałego,  
**W** – wyłączniki,  
**DN<sub>1</sub>** i **DN<sub>2</sub>** – dzielniki napięcia ,

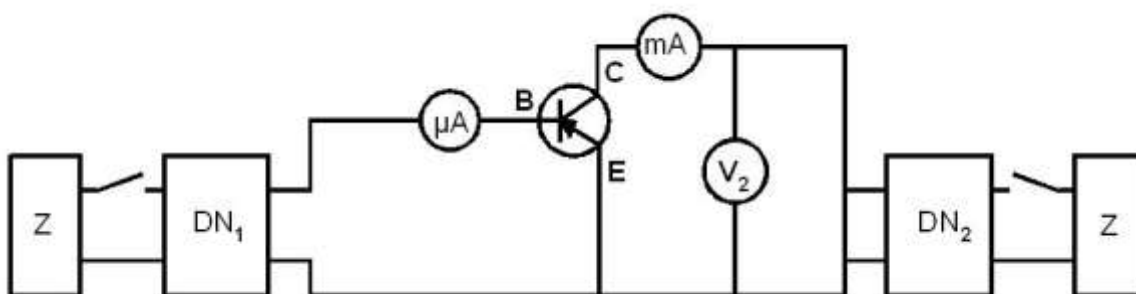
$V_1$  i  $V_2$  – woltomierze cyfrowe,

$mA$  – miliamperomierz – wydawany przez prowadzącego zajęcia,

$\mu A$  – mikroamperomierz – wydawany przez prowadzącego zajęcia,

$T$  – badany tranzystor – wydawany przez prowadzącego zajęcia.

### E.14.2a Wyznaczanie charakterystyki $I_C = f(I_B)$ przy $U_{CE} = \text{const.}$



Rys 1. Układ pomiarowy – wyznaczenie charakterystyki  $I_C = f(I_B)$  tranzystora w układzie ze wspólnym emiterem

1. Połączyć obwód elektryczny zgodnie ze schematem z Rys.1.
2. Po sprawdzeniu obwodu, dobrać odpowiednie zakresy pracy mierników, włączyć zasilacz  $Z$  (przyciskiem *sieć*), zamknąć wyłączniki (pozycja *zał*).
3. Używając pokręteł dzielnika napięcia  $DN_2$  ustawiać (podane przez prowadzącego zajęcia) napięcie między kolektorem i bazą  $U_{CE}$  - na badanym tranzystorze.
4. Używając pokręteł dzielnika napięcia  $DN_1$  ustawiać natężenia prądu bazy – w zakresie podanych wartości  $I_B$  i odczytywać natężenia prądu kolektora  $I_C$  płynącego przez miliamperomierz.
5. Wykonać kilkanaście pomiarów natężeń tak, aby uzyskać charakterystykę  $I_C = f(I_B)$ .
6. Wyniki pomiarów wpisać do Tabeli 1.

Tabela 1 .

Tranzystor	$U_{CE}$ [V]	$I_B$ [ $\mu A$ ]	$I_C$ [mA]

7. Wyznaczyć charakterystyki dla innych wartości napięcia  $U_{CE}$ .
8. Sporządzić wykresy charakterystyk  $I_C = f(I_B)$ .
9. Obliczyć współczynniki wzmocnienia prądowego dla różnych wartości  $U_{CE}$

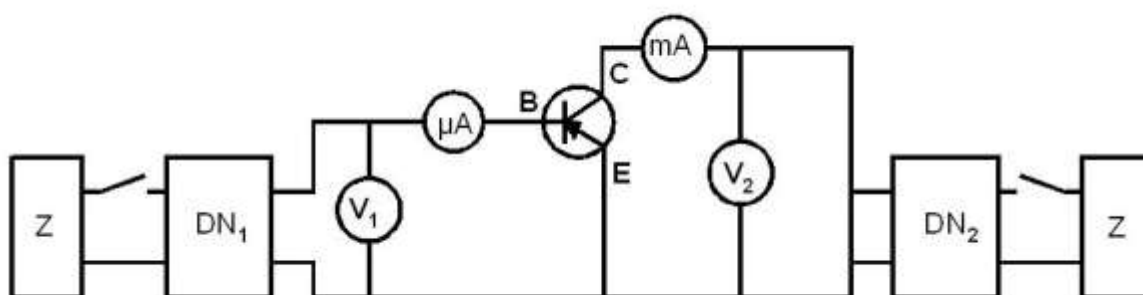
z zależności 
$$\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$$

10. Metodą różniczkowania obliczyć niepewność pomiaru współczynnika wzmocnienia prądowego.

Niepewności maksymalne pomiaru natężenia przyjmując:  $\Delta I = \Delta I' + \Delta I''$ ,  
gdzie  $\Delta I'$  - wynika z klasy miernika i  $\Delta I''$  - z niepewności odczytu.

### E.14.2b Wyznaczanie charakterystyki $U_{BE} = f(I_B)$ przy $U_{CE} = \text{const.}$

#### Wykonanie zadania:



Rys 2. Układ pomiarowy – wyznaczenie charakterystyki  $U_{BE} = f(I_B)$  tranzystora w układzie ze wspólnym emitерem

1. Połączyć obwód elektryczny zgodnie ze schematem z Rys.2.
2. Po sprawdzeniu obwodu, dobrać odpowiednie zakresy pracy mierników, włączyć zasilacz **Z** (przycisk *sieć*), zamknąć wyłączniki **W** (pozycja *zał*).
3. Używając pokręteł dzielnika napięcia **DN<sub>2</sub>** ustawiać (podane przez prowadzącego) napięcie między kolektorem i bazą  $U_{CE}$  - na badanym tranzystorze.
4. Używając pokręteł dzielnika napięcia **DN<sub>1</sub>** ustawiać napięcie pomiędzy bazą i emitерem  $U_{BE}$  (w zakresie podanym przez prowadzącego) odczytywać natężenia prądu kolektora  $I_B$  płynącego przez miliamperomierz.
5. Wykonać kilkanaście pomiarów w danym zakresie wartości natężeń prądu bazy tak, aby uzyskać charakterystykę  $U_{BE} = f(I_B)$ .
6. Wyniki pomiarów wpisać do Tabeli 2.

Tabela 2.

Tranzystor	$U_{BE}$ [V]	$I_B$ [ $\mu A$ ]	$U_{CE}$ [V]

Tranzystor	$U_{BE}$ [V]	$I_B$ [ $\mu$ A]	$U_{CE}$ [V]

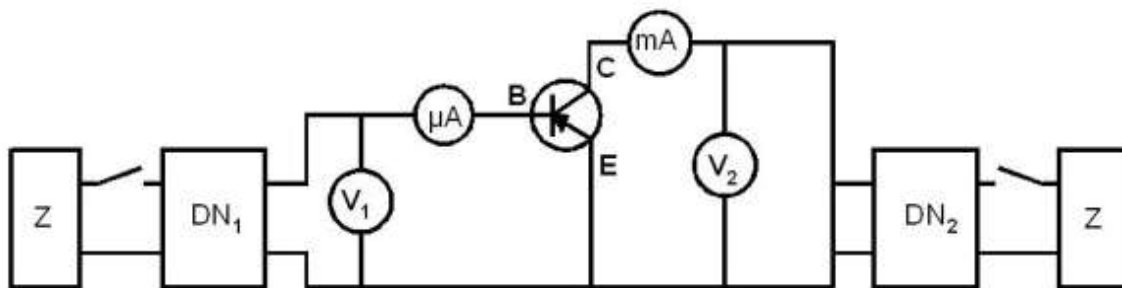
- Wyznaczyć charakterystyki dla kilku innych wartości napięcia  $U_{CE}$ .
- Sporządzić wykresy charakterystyk  $I_C = f(I_B)$ .
- Obliczyć opór wejściowy tranzystora w wybranym punkcie charakterystyki z wzoru

$$R = \frac{\Delta U_{BE}}{\Delta I_B}$$

- Metodą różniczkowania obliczyć niepewność oporu wejściowego tranzystora  
Niepewności maksymalne  $\Delta U$ ,  $\Delta I$ , dla przyrządów aktualnie używanych do wykonania, gdzie  $\Delta I'$  - wynika z klasy miernika i  $\Delta I''$  - z niepewności odczytu.

### E.14.2c Wyznaczanie charakterystyki $I_C = f(U_{CE})$ przy $I_B = \text{const.}$

#### Wykonanie zadania:



Rys 3. Układ pomiarowy – wyznaczenie charakterystyki  $I_C = f(U_{CE})$  tranzystora w układzie ze wspólnym emiterem

- Połączyć obwód elektryczny zgodnie ze schematem z Rys.3.
- Po sprawdzeniu obwodu, dobrać odpowiednie zakresy pracy mierników, włączyć zasilacz Z (przycisk *sieć*), zamknąć wyłączniki (pozycja *zał*).
- Używając pokręteł dzielnika napięcia  $DN_1$  ustawiać (podane przez prowadzącego zajęcia) natężenie prądu bazy  $I_B$  odczytywane na mikroamperomierzu.
- Używając pokręteł dzielnika napięcia  $DN_2$  ustawiać napięcie pomiędzy bazą i emiterem  $U_{CE}$  i odczytywać natężenia prądu kolektora  $I_C$  płynącego przez

miliamperomierz.

- Wykonać kilkanaście pomiarów w zadanym zakresie wartości napięć  $U_{CE}$  tak aby uzyskać charakterystykę  $I_C = f(U_{CE})$ .
- Wyniki pomiarów wpisać do Tabeli 3.

Tabela 3

Tranzystor	$I_B$ [ $\mu A$ ]	$U_{CE}$ [V]	$I_C$ [mA]	$R_{wyj}$ [ $\Omega$ ]

- Wyznaczyć charakterystyki dla kilku innych wartości napięcia  $I_B$ .
- Sporządzić wykresy charakterystyk  $I_C = f(U_{CE})$ .
- Obliczyć opór wyjściowy tranzystora w kilku wybranych punktach charakterystyki z wzoru

$$R_{wyj} = \frac{\Delta U_{CE}}{\Delta I_C}$$

- Metodą różniczkowania obliczyć niepewność oporu wyjściowego tranzystora  
Niepewności maksymalne  $\Delta U$ ,  $\Delta I$  określić dla przyrządów aktualnie używanych do wykonania ćwiczenia.

Autor instrukcji:

Marta Zdrojewska