

Zajęcia laboratoryjne w I Pracowni Fizycznej dla uczniów szkół ponadgimnazjalnych z rozszerzoną fizyką.

## **PF14 - Rozwiązywanie obwodów, czyli prawa Kirchhoffa**

Zagadnienia:

- przepływ prądu elektrycznego, kierunek przepływu prądu;
  - napięcie elektryczne, natężenie prądu elektrycznego, opór elektryczny, jednostki tych wielkości;
  - obwody elektryczne; symbole elementów obwodu elektrycznego: przewód, opornik, źródło stałej SEM (źródło stałego napięcia), wyłącznik, amperomierz, woltomierz, schemat obwodu, umowny kierunek przepływu prądu elektrycznego;
  - woltomierz, amperomierz, omomierz, miernik uniwersalny;
  - połączenie szeregowe, równoległe i mieszane układu oporników;
  - prawo Ohma;
  - pierwsze i drugie prawo Kirchhoffa;
- 

## **Cel ćwiczenia**

Celem ćwiczenia jest sprawdzenie praw Kirchhoffa w układzie oporników połączonych szeregowo i w połączeniu mieszanym, zaznajomienie się z obsługą miernika uniwersalnego oraz określanie niepewności pomiaru miernika elektronicznego.

## **Wprowadzenie**

Prąd elektryczny, to uporządkowany ruch ładunków elektrycznych. Umownym kierunkiem prądu jest kierunek wyznaczony przez wypadkowy ruch ładunków dodatnich. W obwodzie, w którym płynie prąd, jest to kierunek (właściwie zwrot) od (+) do (-). Natężenie prądu (symbol  $I$ ) jest definiowane jako stosunek wielkości ładunku  $q$  przepływającego przez przekrój poprzeczny przewodnika do czasu  $t$  w jakim on przepłynął:

$$I = \frac{q}{t}.$$

Jednostką natężenia prądu jest amper (symbol A).

Przepływ prądu występuje, gdy do przewodnika przyłożymy różnicę potencjałów, czyli napięcie  $U$ . Jednostką napięcia (podobnie jak i samego potencjału) w układzie SI jest wolt (V). Obie wielkości są związane ze sobą przez prawo Ohma: **Stosunek napięcia panującego między końcami przewodnika do natężenia płynącego prądu jest wielkością stałą.** Prawo to można także zapisać także w postaci wzoru:

$$\frac{U}{I} = \text{const} = R,$$

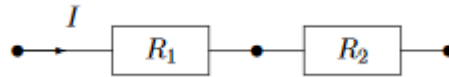
gdzie współczynnik proporcjonalności oznaczono jako  $R$ . Ma on także swoją interpretację fizyczną jako opór (jednostką oporu jest om – symbol  $\Omega$ ). Opór to wielkość fizyczna określająca własności przewodzące ciała, jego wartość zależy od wymiarów oraz rodzaju materiału. Elementy obwodu wykazujące znaczący opór nazywamy opornikami.

Oporniki mogą być połączone ze sobą w obwodzie na dwa proste sposoby:

➤ **połączenie szeregowe:**

Jest to takie połączenie, w którym koniec pierwszego opornika połączony jest z początkiem następnego opornika (rys. 1).

Rys. 1. Szeregowe połączenie dwóch oporników.



Z prawa zachowania ładunku (które podobnie jak prawo zachowania energii jest jednym z fundamentalnych praw przyrody) wynika, że przez oporniki  $R_1$  i  $R_2$  płynie prąd elektryczny o takim samym natężeniu. Zgodnie z prawem Ohma na opornikach następują napięcia  $U_1=IR_1$  i  $U_2=IR_2$ . Napięcie elektryczne pomiędzy końcami szeregu oporników jest równe sumie napięć na poszczególnych opornikach, co można zapisać:

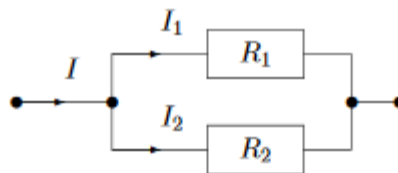
$$U_1 + U_2 = U.$$

Korzystając z prawa Ohma można pokazać, że oporniki połączone szeregowo można zastąpić opornikiem zastępczym o oporze  $R_z$  równym:

$$R_z = R_1 + R_2.$$

➤ **połączenie równoległe**

Jest to takie połączenie, w którym początek pierwszego opornika połączony jest z początkiem następnego opornika, a koniec z końcem opornika (rys. 2). W takim układzie powstają węzły czyli punkty obwodu elektrycznego (początki gałęzi), z których wychodzą co najmniej trzy przewody (gałęzie).



Rys. 2. Równoległe połączenie dwóch oporników.

Ilość ładunków elektrycznych przy przejściu przez węzeł ulega rozdzieleniu na dwie gałęzie, dlatego natężenie prądu  $I$  ulega podziałowi. Natomiast nadal suma ładunków przepływających przez obie gałęzie jest równa ładunkowi dopływającemu do węzła obwodu elektrycznego, więc

$$I = I_1 + I_2.$$

Napięcie na obu opornikach jest takie samo. Korzystając z prawa Ohma można wprowadzić zależność na opór zastępczy dla układu przedstawionego na rys. 2:

$$\frac{1}{R_z} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}.$$

Analizując uzyskane wyrażenia możemy zauważyć, że opór zastępczy połączenia szeregowego jest większy od największego użytego oporu, natomiast opór zastępczy połączenia równoległego jest mniejszy od najmniejszego z oporów wykorzystanych w tym połączeniu.

## Prawa Kirchhoffa

**Pierwsze prawo Kirchhoffa** dotyczy przepływu prądu w rozgałęzieniach (węzłach) obwodu elektrycznego. Wynika ono z zasady zachowania ładunku i brzmi następująco:

*Algebraiczna suma natężeń prądów wpływających do węzła (+) i wypływających (-) z węzła obwodu elektrycznego jest równa zeru.* Można je również zapisać w postaci wzoru:

$$\sum_{n=1,2,\dots} I_n = 0.$$

**Drugie prawo Kirchhoffa** jest konsekwencją zasady zachowania energii. Najczęściej prawo to jest sformułowane w postaci: *W zamkniętym obwodzie suma napięć na oporach równa jest sumie sił elektromotorycznych występujących w tym obwodzie.* Przy czym obwód ten może być elementem większej sieci – wówczas nosi on nazwę oczka sieci. Równanie to można również zapisać w postaci wzoru:

$$\sum_i U_i = \sum_k \mathcal{E}_k,$$

gdzie:

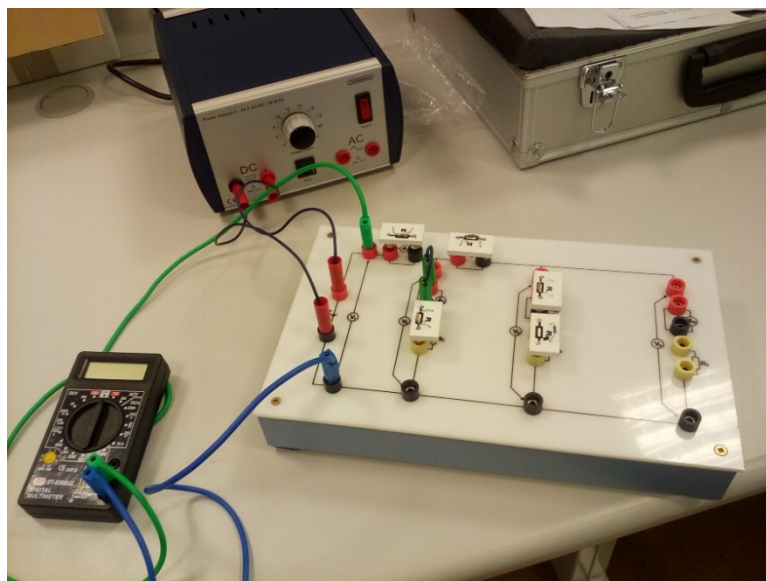
$\mathcal{E}_k$  – SEM  $k$ -tego źródła napięcia,

$U_i$  – napięcie na  $i$ -tym elemencie oczka.

Należy zwrócić uwagę, że wzory wypisane przy połączeniach równoległych i szeregowych wynikają z praw Kirchhoffa. Inaczej mówiąc na rys. 1 i 2 przedstawione są najprostsze układy, w których mają one zastosowanie. Niemniej jednak równania Kirchhoffa mają szczególne zastosowanie i ułatwiają obliczenia dla układów wielokrotnie złożonych (posiadających co najmniej kilka źródeł napięcia oraz kilka oczek).

## Przebieg ćwiczenia

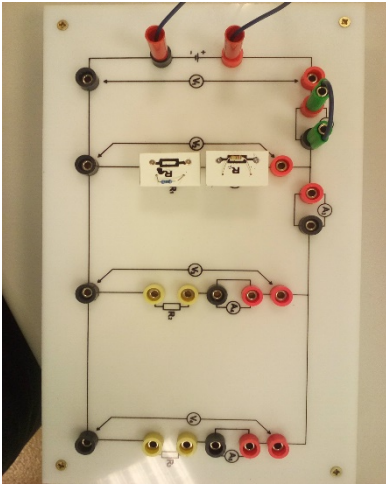
W skład układu laboratoryjnego wchodzi dwa źródła napięcia stałego, zestaw oporników, przewody, miernik uniwersalny, podstawka do wpinania elementów (rys. 3)



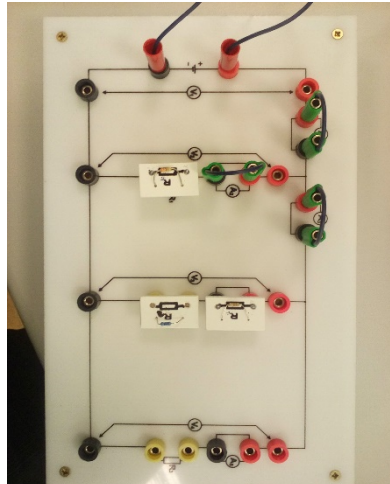
Rys. 3. Układ pomiarowy.

W pierwszej części ćwiczenia należy zmierzyć opory posiadanych oporników posługując się miernikiem uniwersalnym i oszacować niepewność tych pomiarów. Następnie należy zbudować układ składający się z dwóch oporników połączonych szeregowo (rys 4A) i źródła napięcia stałego 1,5-2,0 V i zmierzyć natężenie prądu płynącego w obwodzie i wartości napięć na opornikach. **Uwaga! Podczas pomiaru zawsze zaczynaj od największego zakresu pomiarowego, a następnie zmniejszaj zakres tak, aby zmierzyć wartość z najlepszą dokładnością.** Porównać z przewidywaniami teoretycznymi (wynikiem obliczonym z prawa Ohma).

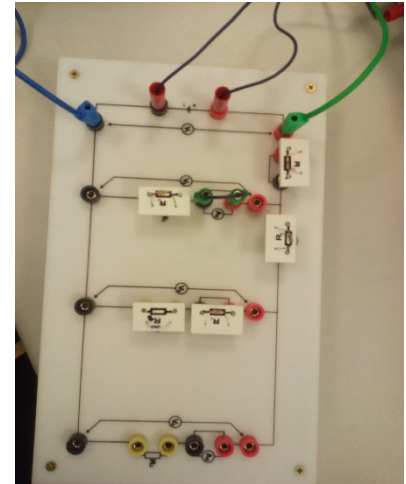
A)



B)



C)



Rys. 4. Układy pomiarowe dla poszczególnych połączeń.

W drugiej części należy złożyć układ mieszany z 3 opornikami (rys 4B). Na podanym układzie zbadać czy spełnione są I i II prawa Kirchhoffa.

W ostatniej części ćwiczenia należy zmierzyć zależności określone prawami Kirchhoffa dla bardziej złożonych układów (oczka z 5 opornikami lub 2 źródłami napięcia) (rys 4C).

Wszystkie wyniki należy na bieżąco zapisywać w stanowiącym część Karty Pracy protokole pomiarowym.

### Literatura:

- [1] Sz. Szczeniowski, Fizyka doświadczalna, tom III, PWN, Warszawa.
- [2] D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, Podstawy Fizyki, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003,