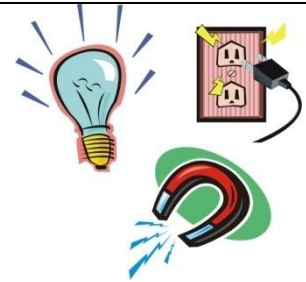


***KATEDRA FIZYKI***

***WYDZIAŁ INŻYNIERII PRODUKCJI  
I TECHNOLOGII MATERIAŁÓW  
POLITECHNIKA CZĘSTOCHOWSKA***



***PRACOWNIA  
ELEKTRYCZNOŚCI I MAGNETYZMU***



**ĆWICZENIE NR E-18**

***WYZNACZANIE SIŁ DZIAŁAJĄCYCH  
NA PRZEWODNIK Z PRĄDEM UMIESZCZONY  
W POLU MAGNETYCZNYM***

## I. Zagadnienia do przestudiowania

1. Jednorodne pola magnetyczne;
2. Indukcja magnetyczna;
3. Ruch ładunków elektrycznych;
4. Prąd;
5. Siła Lorentz'a;
6. Siła elektrodynamiczna;

## II. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest wyznaczenie zależności siły działającej na odcinek przewodnika umieszczony w jednorodnym polu magnetycznym od wartości natężenia prądu płynącego w tym przewodniku, jego długości oraz indukcji pola magnetycznego.

## III. Wstęp teoretyczny

Na cząstkę obdarzoną ładunkiem umieszczoną w polu magnetycznym działa siła, zwana od jej odkrywcy siłą Lorentz'a. Powoduje ona odchylenie ładunku od jego pierwotnego kierunku ruchu. Jeśli ładunki (elektrony) znajdują się w przewodniku, w którym płynie prąd, pojawia się siła elektrodynamiczna działająca na ten przewodnik. Siłę Lorentz'a opisujemy następującym wzorem:

$$\vec{F} = q \cdot (\vec{v} \times \vec{B}) \quad (1)$$

gdzie:

F – siła Lorentz'a

q – ładunek,

v – wektor prędkości ładunku,

B – wektor indukcji pola magnetycznego.

W przypadku gdy rozpatrujemy ładunek poruszający się w przewodniku, przez  $q$  należy rozumieć całkowity ładunek nośników w rozważanym odcinku, a przez  $v$  szybkość ich ruchu w przewodniku. Szybkość  $v$  poruszania się nośników jest związana z natężeniem prądu  $I$  w przewodniku.

Z definicji natężenia prądu mamy:

$$I = \frac{q}{t} \quad (2)$$

Ćwiczenie E-18: Wyznaczanie sił działających na przewodnik z prądem umieszczony w polu magnetycznym

gdzie:

$$t = \frac{l}{v} \quad (3)$$

jest czasem przepływu ładunku  $q$  przez przewodnik o długości  $l$ . Z wzorów (2) oraz (3) można otrzymać związek:

$$q \cdot v = I \cdot l \quad (4)$$

Fragment przewodnika znajdujący się w polu magnetycznym możemy potraktować jako wektor  $l$ , zatem:

$$q \cdot \vec{v} = I \cdot \vec{l} \quad (5)$$

Siła elektrodynamiczna przyjmuje postać:

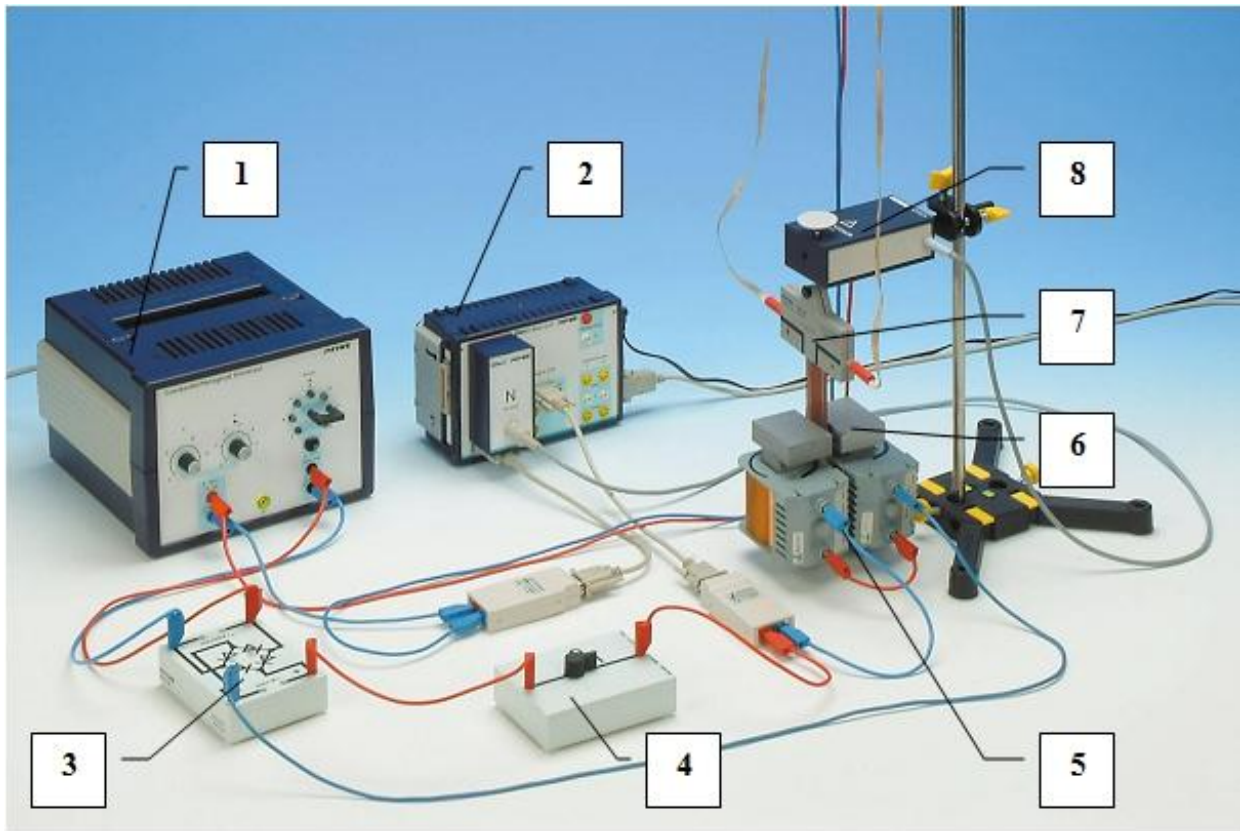
$$\vec{F} = I(\vec{l} \times \vec{B}) \quad (6)$$

Wektor siły  $F$  jest prostopadły do płaszczyzny zawierającej wektory  $v$  i  $B$ , a jego zwrot określa reguła śruby prawoskrętnej. W eksperymencie  $v$  oraz  $B$  są prostopadłe, więc miarą siły jest:

$$F = q \cdot v \cdot B \quad (7)$$

Ramki które wsuwamy między nabiegunki elektromagnesów mają kształt przypominający literę „U”. Widać, że w polu znajdują się także pionowe części przewodnika, jednak łatwo można zauważyć że siły elektrodynamiczne działające na tę część ramki mają przeciwne zwroty i dlatego się znoszą. W takim razie wypadkowa siła działająca na przewodnik jest równa sile elektrodynamicznej działającej na poziomą część ramki.

## IV. Układ pomiarowy



Rysunek 1. Urządzenia: [1] – zasilacz, [2] – interfejs komputerowy, [3] – mostek prostowniczy, [4] – włącznik zasilania elektromagnesu, [5] – elektromagnes, [6] – ruchome nabiegunki, [7] – wymienna ramka, [8] – miernik siły.

## V. Przebieg ćwiczenia

**UWAGA! NIE MODYFIKOWAĆ POŁĄCZEŃ ELEKTRYCZNYCH UKŁADU!**

### Konfiguracja wstępna programu:

1. Włączyć program „Measure” i kliknąć w czerwoną ikonę w lewym górnym rogu ekranu (lub menu Plik → Nowy pomiar...).
2. W pojawiającym się okienku „Power Graph” kliknąć w obszar z symbolem sensora „Newton”.
3. Ustawić zakres na +/- 0.4N i jednostkę na mN, uśrednianie odznaczone, wyświetlacz cyfrowy zaznaczony.
4. Kliknąć przycisk „TARA” (minimum dwukrotnie), odczekując dwie sekundy po każdym kliknięciu. Kliknąć OK. Operację tę należy powtarzać przy każdej zmianie ramki.
5. Kliknąć w symbol „S1” pod obszarem z symbolem Newtona
6. Ustawić zakres 6A, jednostka „A”, uśrednianie odznaczone, wyświetlacz cyfrowy zaznaczony.

## Ćwiczenie E-18: Wyznaczanie sił działających na przewodnik z prądem umieszczony w polu magnetycznym

Kliknąć OK.

7. Kliknąć w symbol „2/S2” obok symbolu S1.
8. Ustawić zakres 6A, jednostka „A”, uśrednianie odznaczone, wyświetlacz cyfrowy zaznaczony.  
Kliknąć OK.
9. Kliknąć obszar „Timer/Counter”. W polu modul/tryb ustawić opcję „Wył.”
10. Przejść do zakładki Ustawienia pomiarowe.
11. Zaznaczyć wszystkie kanały (F1, I1, I2). Pole Rekord X – ustawić „Czas”.
12. Pola „Warunki startowe” oraz „Warunki końcowe” ustawić na „Wciśnięcie przycisku”.
13. Pole „Rejestracja danych” ustawić kolejno na „Automatycznie”, „30”, „msec”.
14. Pozostałe ustawienia: odznaczone.
15. Przejść do zakładki Wyświetlanie.
16. Upewnić się że w opcji „Wyświetlacze cyfrowe” znajdują się „F1, prąd I1 i prąd I2”.  
„Wskaźniki” analogowe – brak, „Wykresy” – brak.
17. Kliknąć przycisk DALEJ.

### **Przygotowanie do pomiaru:**

1. Sprawdzić czy zestawienie układu pomiarowego jest zgodne z rysunkiem nr 1 i zidentyfikować wszystkie jego elementy.
2. Upewnić się, że wyłącznik elektromagnesu [4] ustawiony jest w pozycji „0” a napięcie i natężenie na zasilaczu [1] (regulowane potencjometrami) są ustawione na minimum (czerwona dioda nad gałką natężenia będzie wówczas zgaszona).
3. Zdjąć nabiegunniki [6] elektromagnesu [5].
4. Wyjąć pierwszą płytkę [7] (50 mm,  $n=2$ ) z folii i poluzować plastikową śrubę mocującą.
5. Podłączyć zasilanie płytki (dwie zwisające taśmy) w sposób przedstawiony na rysunku 1.
6. Delikatnie nałożyć płytkę na haczyk miernika siły i dokręcić mocującą śrubę do lekkiego oporu.
7. Nałożyć nabiegunniki w taki sposób, aby przerwa między nimi wynosiła około 1 cm i w taki sposób aby jej krawędzie pokrywały jak największą powierzchnię ramki.
8. Ustawić elektromagnes tak, aby zawieszona ramka znajdowała się dokładnie w środku, pomiędzy nabiegunnikami, równoległe do ich krawędzi.
9. Ustawić napięcie ramki na zasilaczu (gałka potencjometru z lewej strony) na 10V.
10. Ustawić napięcie elektromagnesu na zasilaczu (zwora po prawej) na 12V.
11. Ustawić początkowe natężenie prądu ramki na 2A.

### **Przeprowadzenie pomiaru 1 (zależność od prądu ramki):**

1. Kliknąć na Nowy pomiar, W obszarze z symbolem Newtona kliknąć przycisk „TARA”

## Ćwiczenie E-18: Wyznaczanie sił działających na przewodnik z prądem umieszczony w polu magnetycznym

- trzykrotnie, odczekując dwie sekundy po każdym kliknięciu. Kliknąć OK.
- Kliknąć przycisk DALEJ.
- Upewnić się że włącznik elektromagnesu ustawiony jest w pozycji „0”.
- W okienku „Power Graph: Pomiar” kliknąć przycisk „Rozpocznij pomiar”.
- W zależności od badanej ramki (tabela 1) odczekać ustalony czas, po czym przełączyć włącznik elektromagnesu do drugiej pozycji.
- Ponownie odczekać ustalony czas i przełączyć włącznik elektromagnesu do drugiej pozycji. Czynności z punktów 5 i 6 powtórzyć 4 razy.
- Zakończyć pomiar (przycisk „zakończ pomiar”).
- Z paska narzędzi wybrać przycisk „Wygładź” i ustawić następujące parametry: „Gładkość” – „Lewa oś”, „Kanał pomiaru” – „nadpisz”, pasek siły wygładzania ustawić na skrajnie prawą wartość („mocno”).
- Z menu Pomiar wybrać opcję „Eksport wartości pomiarowych” a jako cel wybrać opcję „Zapisz do pliku”. Format ustawić na „Eksportuj jako wart. Liczbowe” i zapisać pomiar.
- Podnieść natężenie prądu ramki o 0,5A.
- Powtórzyć operacje od punktu 1, aż do osiągnięcia natężenia 4A (włącznie).
- Powtórzyć operację dla kolejnej ramki (50mm  $n=1$ , 25mm  $n=1$ ).

**UWAGA! PONIŻEJ ZNAJDUJE SIĘ INSTRUKCJA ZDEJMOWANIA RAMKI!**

### **Przeprowadzenie pomiaru 2 (zależność od natężenia prądu elektromagnesu):**

- Zainstalować ramkę 50mm  $n=1$ .
- Ustawić napięcie ramki 10V. Ustawić natężenie prądu ramki na 4A.
- Kliknąć na Nowy pomiar, W obszarze z symbolem Newtona kliknąć przycisk „TARA” trzykrotnie, odczekując dwie sekundy po każdym kliknięciu. Kliknąć OK.
- Kliknąć przycisk DALEJ.
- Upewnić się że włącznik elektromagnesu ustawiony jest w pozycji „0”.
- W okienku „Power Graph: Pomiar” kliknąć przycisk „Rozpocznij pomiar”.
- W zależności od badanej ramki (tabela 1) odczekać ustalony czas, po czym przełączyć włącznik elektromagnesu do drugiej pozycji.
- Ponownie odczekać ustalony czas i przełączyć włącznik elektromagnesu do drugiej pozycji. Czynności z punktów 5 i 6 powtórzyć 4 razy.
- Zakończyć pomiar (przycisk „zakończ pomiar”).
- Z paska narzędzi wybrać przycisk „Wygładź” i ustawić następujące parametry: „Gładkość” – „Lewa oś”, „Kanał pomiaru” – „nadpisz”, pasek siły wygładzania ustawić na skrajnie prawą

## Ćwiczenie E-18: Wyznaczanie sił działających na przewodnik z prądem umieszczony w polu magnetycznym

wartość („mocno”).

11. Z menu Pomiar wybrać opcję „Eksport wartości pomiarowych” a jako cel wybrać opcję „Zapisz do pliku”. Format ustawić na „Eksportuj jako wart. Liczbowe” i zapisać pomiar.
12. Zmienić napięcie elektromagnesu na 10V.
13. Powtórzyć operacje od punktu 3, aż do osiągnięcia napięcia elektromagnesu 6V (włącznie).

### **OPERACJA ZDEJMOWANIA RAMKI.**

**UWAGA! CZYNNOŚĆ NALEŻY WYKONYWAĆ BARDZO DELIKATNIE Z UWAGI NA MOŻLIWOŚĆ USZKODZENIA SENSORA! UWAGA! W RAMCE PŁYNĄ DUŻE PRĄDY!**

1. Zmniejszyć napięcie ramki do **0V** i natężenie do **0A**, czerwona dioda na zasilaczu powinna zgasnąć.
2. Przeszawić wyłącznik elektromagnesu w pozycję „0”.
3. Zdjąć nabiegunniki elektromagnesu.
4. Odkręcić śrubę mocującą ramkę i delikatnie zdjąć ramkę z haczyka sensora. W tym celu należy unieść lekko ramkę pionowo do góry, kciukiem przytrzymując metalowy okrąg znajdujący się po przeciwnej stronie haczyka, i pochylić ramkę „do siebie”.
5. Odczepić taśmy doprowadzające prąd z boku ramki, **uważać by nie dotykały się wzajemnie ani żadnych metalowych części** instrumentu!
6. Odłożyć ramkę do folii.

**Tabela 1. Czasy oczekiwania**

RAMKA	CZAS OCZEKIWANIA [s]
50mm n=2	5
50mm n=1	6
25mm n=1	10

## **VI. Opracowanie wyników:**

1. Z danych wyeksportowanych podczas pomiaru sporządzić wykresy zależności siły  $F_1$  oraz napięcia  $I_1$  (w ramce) od czasu.
2. Sporządzić wykresy zależności uśrednionej wartości siły (przy włączonym polu) od prądu płynącego w ramce. Wykresy wykonać dla wszystkich ramek w tym samym układzie współrzędnych, na jednym arkuszu.
3. Sporządzić wykres zależności siły od zmian napięcia elektromagnesu (pomiar 2).
4. Sporządzić wykres zależności siły, przy stałym prądzie ramki (4A) od rodzaju ramki (długości przewodnika umieszczonego w polu magnetycznym).

## **Literatura:**

1. Halliday D., Resnick R., Walker J.: Podstawy fizyki, t. 3, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2005.
2. Bobrowski Cz.: Fizyka krótki kurs, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2005.
3. Materiały firmy PHYWE Systeme GmbH & Co. KG, „Laboratory Experiments Physics” 2005