Ćwiczenie 12B

Badanie rozkładu pola magnetycznego prostych przewodników z prądem

12B.1. Zasada ćwiczenia

Prąd elektryczny płynący przez przewodnik wytwarza wokół niego pole magnetyczne. W ćwiczeniu wykonywany jest pomiar indukcji magnetycznej w zależności od odległości od prostoliniowego przewodnika z prądem oraz pomiar rozkładu indukcji magnetycznej wytworzonej przez dwa prostoliniowe równoległe przewodniki z prądem. Badana jest również zależność indukcji magnetycznej od natężenia prądu.

12B.2. Wiadomości teoretyczne

W celu wyznaczenia indukcji magnetycznej lub natężenia pola magnetycznego w przestrzeni wokół przewodnika z prądem (lub układu przewodników) stosujemy prawo Biota-Savarta lub prawo Ampère'a. W przypadku prostoliniowego, długiego przewodnika z prądem o natężeniu I, stosując prawo Ampère'a, otrzymamy następujące wyrażenie pozwalające obliczyć indukcję magnetyczną B w odległości r od przewodnika:

$$\oint_C \vec{B} \cdot \mathrm{d}\vec{l} = B \cdot 2\pi r = \mu_0 J. \tag{12B.1}$$

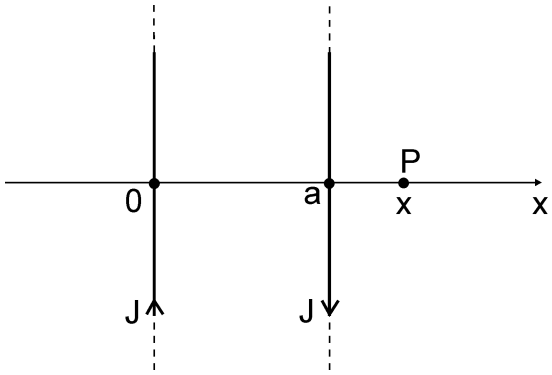
Wyraz po lewej stronie oznacza cyrkulację wektora indukcji magnetycznej $\vec{B}$ wzdłuż krzywej zamkniętej C, która w tym przypadku jest okręgiem o promieniu r obejmującym przewodnik. Zatem wartość indukcji pola magnetycznego w odległości r od prostoliniowego długiego przewodnika z prądem wynosi:

$$B = \frac{\mu_0 J}{2\pi r}. \tag{12B.2}$$

Wykorzystując wzór (12B.2) oraz zasadę superpozycji pól można łatwo obliczyć również indukcję magnetyczną w punkcie P na prostej prostopadłej do układu dwóch równoległych, długich przewodników z prądem. Przypadek ten ilustruje rys. 12B.1. Wartość indukcji magnetycznej w punkcie P o współrzędnej x wynosi:

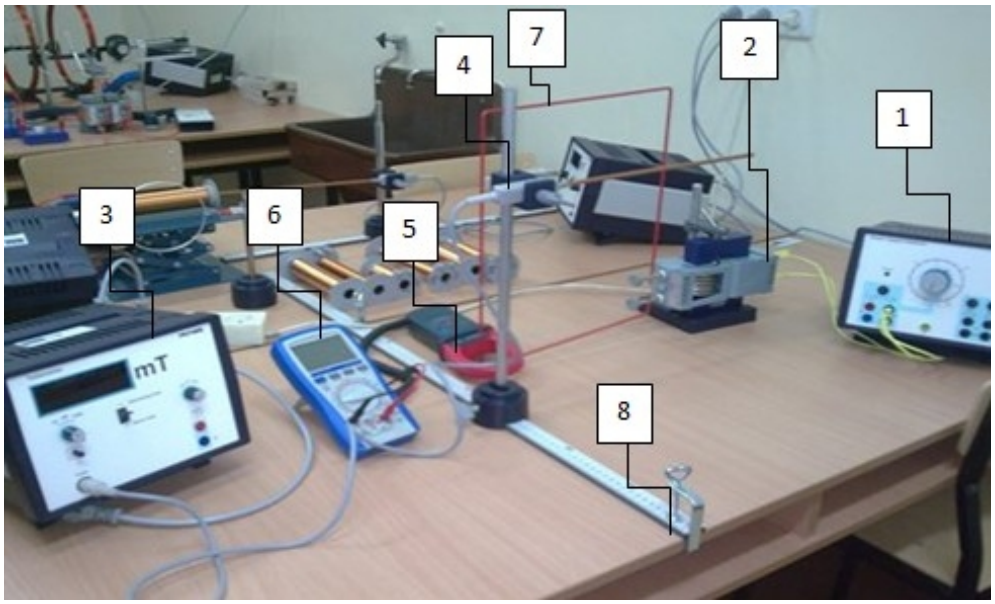
$$B(x) = \frac{\mu_0 J}{2\pi} \left(\frac{1}{x} - \frac{1}{x-a} \right), \tag{12B.3}$$

gdzie a — odległość między przewodnikami. Wzór (12B.3) można stosować również, gdy $0 < x < a$ oraz $x < 0$.



Rysunek 12B.1. Układ dwóch równoległych przewodników oddalonych od siebie o a, w których płyną prądy o natężeniu J w przeciwnych kierunkach

12B.3. Aparatura pomiarowa



Rysunek 12B.2. Aparatura pomiarowa

Aparatura pomiarowa stosowana w ćwiczeniu i pokazana na zdjęciu 12B.2 zawiera: 1. zasilacz mocy, 2. transformator, 3. teslomierz, 4. sondę hallotronową umocowaną na statywie, 5. sondę indukcyjną do pomiaru natężenia prądu, 6. miliwoltomierz, 7. dwie ramki, 8. miarkę.

Uzwojenie pierwotne transformatora połączone jest z zasilaczem mocy (wejście 0 ... 15 V, AC), a do uzwojenia wtórnego dołączona jest ramka. Do pomiaru natężenia prądu w ramce stosujemy sondę indukcyjną i miliwoltomierz (1 mV $\equiv$ 1 A). Indukcję magnetyczną mierzy teslomierz z sondą hallotronową umocowaną na statywie. Na teslomierzu należy ustawić: *Alternating Field* oraz wybrać zakres 20 mT. Teslomierz pokazuje dodatnią wartość liczbową indukcji magnetycznej.

12B.4. Zadania

1. Wyznaczyć zależność indukcji magnetycznej od natężenia prądu płynącego w przewodniku prostoliniowym w punkcie odległym o ok. 1 cm od przewodnika.
2. Wyznaczyć zależność indukcji magnetycznej od odległości od przewodnika.
3. Wyznaczyć rozkład indukcji magnetycznej wzdłuż prostej prostopadłej do dwóch równoległych przewodników, w których płynie prąd o takim samym natężeniu, ale w przeciwnych kierunkach (dwa dłuższe boki ramki).

12B.5. Przebieg pomiarów i opracowanie wyników

W zadaniach 1 i 2 wykorzystujemy większą ramkę, a w zadaniu 3 mniejszą.

ad 1. Natężenie prądu w ramce należy zmieniać w zakresie 20 A - 80 A. Przedstawić otrzymaną zależność $B = f(J)$ na wykresie i wyznaczyć dla niej prostą regresji $y = ax$ stosując wzory podane w skrypcie [3]. Obliczyć niepewność $u(a)$. Ponieważ zgodnie ze wzorem (12B.2), $a = \mu_0/2\pi r$, więc $\mu_0 = 2\pi r a$. Obliczyć μ_0 oraz niepewność względną:

$$\left|\frac{\Delta\mu_0}{\mu_0}\right| = \left|\frac{\Delta r}{r}\right| + \left|\frac{u(a)}{a}\right|, \tag{12B.4}$$

gdzie Δr — niepewność odległości r.

ad 2. Dla natężenia prądu około 80 A zmieniać odległość sondy hallotronowej od przewodnika w zakresie do ok. 3 cm. Przedstawić otrzymaną zależność $B = f(1/r)$ na wykresie i aproksymować ją prostą $y = ax$. Obliczyć a oraz $u(a)$. Ponieważ teraz $a = \mu_0 I/2\pi$, więc $\mu_0 = 2\pi a/I$. Obliczyć μ_0 oraz niepewność

$$\left|\frac{\Delta\mu_0}{\mu_0}\right| = \left|\frac{u(a)}{a}\right| + \left|\frac{\Delta J}{J}\right|, \tag{12B.5}$$

gdzie ΔJ — niepewność natężenia prądu J. Porównać wyniki obliczeń μ_0 z zadań 1 i 2 z wartością tablicową μ_0.

ad 3. Przedstawić na wspólnym wykresie zależność $B(x)$ otrzymaną w zadaniu 3 oraz zależność teoretyczną wg wzoru (12B.3).

12B.6. Wymagane wiadomości

1. Pole magnetyczne, linie sił pola, definicje indukcji magnetycznej i natężenia pola magnetycznego.

2. Prawo Biota-Savarta i prawo Ampère'a.
3. Pole magnetyczne wokół przewodników prostoliniowych.

12B.7. Literatura

[1] D. Halliday, R. Resnick, J. Walker — Podstawy fizyki, t. 3, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2005.
[2] Cz. Bobrowski — Fizyka — krótki kurs, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2005.
[3] K. Kozłowski, R. Zieliński, — I Laboratorium z fizyki— Cz.1, str.7-34.