Ćwiczenie 17

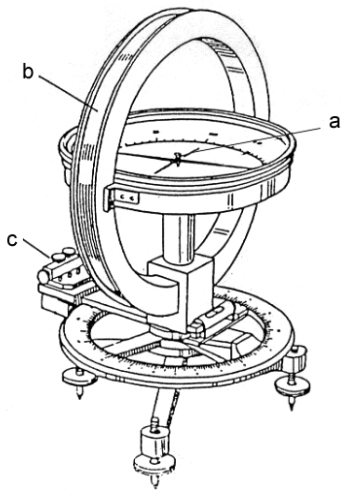
WYZNACZANIE SKŁADOWEJ POZIOMEJ NATĘŻENIA POLA MAGNETYCZNEGO ZIEMI ZA POMOCĄ BUSOLI STYCZNYCH

Busola stycznych jest urządzeniem służącym do pomiaru natężeń stałych pól magnetycznych. Na rys. 17.1 widoczne są zasadnicze elementy busoli (a – igła magnetyczna zamocowana na pionowej osi, b – zwojnica, c – przełącznik zatyczkowy). Prąd elektryczny o natężeniu I, płynący w zwojnicy, wytwarza pole magnetyczne, którego wektor natężenia jest prostopadły do płaszczyzny zwojów. Wyliczone z prawa Biota-Savarta natężenie pola magnetycznego w środku zwojnicy o liczbie zwojów n i promieniu r, przez którą płynie prąd o natężeniu I, wynosi

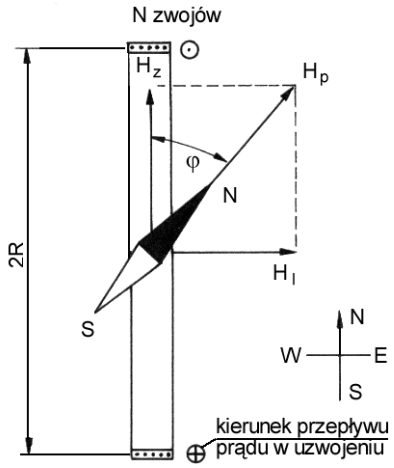
$$H_I = \frac{nI}{2r}. \qquad (17.1)$$

Wytworzone przez zwojnicę z prądem pole magnetyczne nakłada się na składową poziomą pola magnetycznego Ziemi o natężeniu H_Z. Wektor wypadkowego natężenia pola magnetycznego $\vec{H}_p$ jest sumą geometryczną natężenia pola $\vec{H}_z$ i pola zwojnicy $\vec{H}_i$ (rys. 17.1). Namagnesowana igła umieszczona w polu magnetycznym ustawi się w kierunku zgodnym z kierunkiem wypadkowego wektora natężenia pola magnetycznego $\vec{H}_p$. Z rysunku 17.2 otrzymujemy związek między kątem φ odchylenia igły magnetycznej od płaszczyzny zwojów busoli, natężeniem pola magnetycznego Ziemi H_Z i natężeniem pola magnetycznego wytworzonego przez prąd płynący w zwojnicy H_I

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{B_I}{B_Z} = \frac{H_I}{H_z}. \qquad (17.2)$$



Rys. 17.1



Rys. 17.2

17.2. Zadania

17.2.1. Wykonać pomiary wychylenia igły magnetycznej w lewo (φ_{il}) oraz, po zmianie kierunku przepływu prądu, w prawo (φ_{iP}), dla różnych wartości natężenia prądu I_i (0.2, 0,4, 0,6, 0,8, 1,0 A). Pomiary wykonać dla n = 2, 4, 6 zwojów w cewce.

17.2.2. Wyliczyć natężenie pola magnetycznego H_{Ii} w środku obwodu kołowego (wzór 17.1) dla ustalonych wartości natężenia prądu I_i, odpowiadających kątom φ_i.

17.2.3. Metodą najmniejszych kwadratów wyznaczyć natężenie pola magnetycznego Ziemi na podstawie pomiarów przeprowadzonych w pkt. 17.2.1..

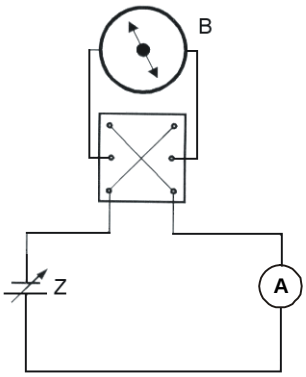
17.2.4. Na wykresie w układzie współrzędnych (tgφ, H_I) nanieść punkty doświadczalne oraz prostą o współczynniku nachylenia równym H_Z wyznaczonym w p. 17.2.3.

17.3. Zasada i przebieg pomiarów

Pomiary składowej poziomej natężenia pola magnetycznego Ziemi przeprowadzamy, posługując się busolą stycznych, w układzie przedstawionym na rys. 17.3.

Przed włączeniem cewki do źródła prądu płaszczyznę zwojów busoli orientujemy tak, aby leżała w niej igła magnetyczna. Za pomocą przełącznika zatyczkowego łączymy ze sobą dwa środkowe zwoje cewki, żeby tylko w nich płynął prąd. Tak przygotowaną busolę podłączamy do zasilacza prądu stałego i ustalamy żądaną wartość natężenia prądu w obwodzie. Igła busoli odchyli się od ustalonego położenia równowagi. Dokonujemy odczytu kąta wychylenia igły w lewą stronę – φ_l. Następnie przełącznikiem krzyżowym zmieniamy kierunek prądu w uzwojeniu busoli, powodując wychylenie igły w stronę przeciwną. Odczytujemy kąt wychylenia w prawa stronę – φ_p. Zmieniając wartości natężenia prądu w obwodzie, wykonujemy pomiary kątów wychylenia igły: φ_{il} i φ_{ip} dla ustalonych w punkcie 17.2.1. wartości natężenia prądu. Wartość kąta φ_i obliczamy jako średnią arytmetyczną

$$\varphi_i = \frac{\varphi_{il} + \varphi_{ip}}{2} .$$



Rys. 17.3

Wykorzystując przełącznik zatyczkowy, możemy załączyć kolejne uzwojenia busoli (n = 4,6). Załączanie zwojów busoli należy wykonać po odłączeniu układu od zasilacza.

Składową poziomą natężenia pola magnetycznego Ziemi wyznaczamy ze wzoru (17.2), przy użyciu metody najmniejszych kwadratów. Przyjmując y = H_I oraz x = tgφ, otrzymujemy równanie y = ax + b, gdzie b = 0, a współczynnik kierunkowy prostej a = H_Z. Korzystając z odpowiednich zależności (Wstęp, wzór (41)), otrzymujemy

$$H_Z = \frac{\sum_{i=1}^{n} \mathrm{tg}\,\varphi_i \cdot H_{Ii}}{\sum_{i=1}^{n} \mathrm{tg}^2\,\varphi_i} , \qquad (17.3)$$

gdzie: n – liczba pomiarów (n = 15).

17.4. Ocena niepewności pomiarów

Niepewność pomiaru wyznaczonej w ćwiczeniu składowej poziomej natężenia pola magnetycznego Ziemi H_Z, wyliczamy korzystając z metody najmniejszych kwadratów. Wyrażenie na niepewność standardową (Wstęp, wz. (42)) przy b = 0 przyjmuje postać

$$u(H_Z) = \sqrt{\frac{1}{n-2} \cdot \left(\frac{\sum_{i=1}^{n} H_{Ii}^2}{\sum_{i=1}^{n} tg^2\varphi_i} - H_Z^2 \right)}. \qquad (17.4)$$

Niepewności wielkości mierzonych bezpośrednio (φ oraz H_I jako funkcję I) należy oszacować metodą typu B (wzór (3) – Wstęp) w trakcie wykonywania ćwiczenia, przy czym

$$|\Delta H_I| = H_I \left| \frac{\Delta I}{I} \right|, \qquad (17.5)$$

oraz

$$\Delta(tg\,\varphi) = \left(\frac{1}{\cos^2 \varphi} \right) |\Delta\varphi|, \qquad (17.6)$$

(Δφ wyrazić w radianach).
Niepewności te należy zaznaczyć na wykresie $H_I = f(tg\varphi)$ zgodnie z p. 17.2.4.

Literatura

[1] Jaworski B., Piński A.: Elementy fizyki, t. II. Warszawa: PWN 1977.
[2] Szczeniowski S.: Fizyka doświadczalna, cz. III. Warszawa: PWN 1973.