

Ćwiczenie 41

Busola stycznych

Cel ćwiczenia

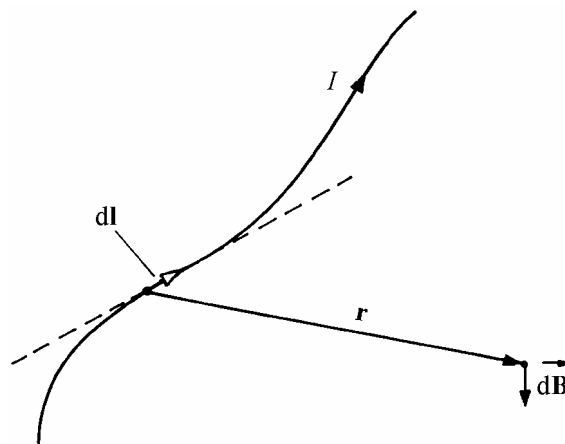
Zapoznanie się z budową i działaniem przyrządu nazwanego busolą stycznych. Wyznaczenie składowej poziomej ziemskiego pola magnetycznego.

Wprowadzenie

Wiadomo, że prąd płynący przez przewodnik wytwarza wokół niego pole magnetyczne. Wektor indukcji tego pola w dowolnym punkcie można traktować jako superpozycję przyczynków $d\mathbf{B}$ pochodzących od poszczególnych elementów $d\mathbf{l}$ długości przewodnika (rys. 1). Wartość i kierunek $d\mathbf{B}$ określa wzór Biota–Savarta

$$d\mathbf{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{d\mathbf{l} \times \mathbf{r}}{r^3}. \quad (1a)$$

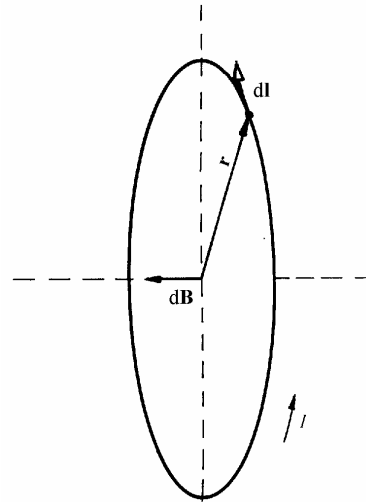
We wzorze tym $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Vs/Am jest stałą magnetyczną, I oznacza natężenie prądu, \mathbf{r} jest wektorem łączącym element $d\mathbf{l}$ i punkt, w którym obliczamy pole. Ostatnia wielkość występuje we wzorze dwukrotnie: jako wektor \mathbf{r} w iloczynie wektorowym i jako skalar r w mianowniku wzoru. Zgodnie z własnościami iloczynu wektorowego kierunek wektora $d\mathbf{B}$ jest prostopadły do płaszczyzny wektorów $d\mathbf{l}$ oraz \mathbf{r} .



Rys. 1. Ilustracja prawa Biota–Savarta

Zastosujmy wzór Biota–Savarta do obliczenia pola magnetycznego w środku przewodnika kołowego o promieniu R (rys. 2).

Rys. 2. Zastosowanie prawa Biota–Savarta do cewki kołowej



W tym przypadku wektor $d\mathbf{l}$ jest prostopadły do wektora \mathbf{r} , a więc iloczyn wektorowy $d\mathbf{l} \times \mathbf{r}$ zastąpić można zwykłym iloczynem algebraicznym Rdl . Ponadto odległość $r = R$ jest stała, zatem przyczynki $d\mathbf{B}$ są równe co do wartości

$$dB = \frac{\mu_0 I dl}{4\pi R^2}. \quad (1b)$$

i równoległe do osi koła. Można je dodawać algebraicznie, sumowanie tych przyczynków sprowadza się do sumowania elementów długości dl , co w efekcie daje długość obwodu koła, $\Sigma dl = 2\pi R$. Ostatecznie dla środka cewki kołowej, lub bardzo krótkiej zwojnicy złożonej z N zwojów, wartość indukcji pola magnetycznego wynosi

$$B = \mu_0 \frac{NI}{2R}. \quad (2)$$

Korzystając ze znajomości pola w środku cewki kołowej, danej wzorem (2), zbudować można przyrząd do pomiaru składowej poziomej pola magnetycznego Ziemi. Przyrząd ten jest nazywany busolą stycznych (rys. 3).

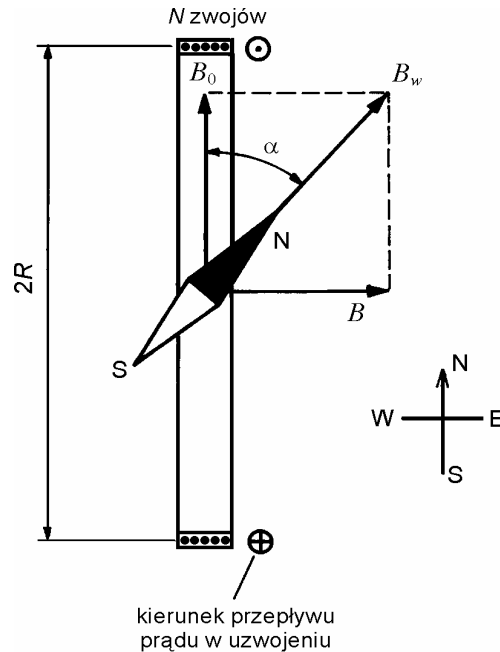
W konstrukcji busoli wykorzystano oddziaływanie pola magnetycznego wytworzonego przez cewkę z prądem, z igłą magnetyczną. Uzwojenia cewki, najczęściej miedziane, są nawinięte na cienką obręcz wykonaną z materiału nieferromagnetycznego (mosiądz, aluminium). Igła magnetyczna znajduje się w środku tej obręczy i tak jest przytwierdzona, by mogła się obracać swobodnie w płaszczyźnie poziomej. Wokół igły jest skala kątowna, na której odczytuje się wychylenie.

Oddziaływanie pola z momentem magnetycznym igły powoduje ustawienie igły równoległe do poziomej składowej pola wypadkowego. Jeśli w cewce prąd nie płynie igła magnetyczna ustawia się równoległe do składowej poziomej pola ziemskiego B_0 . Można tak ustawić busolę, by kierunek B_0 znajdował się w płaszczyźnie zwojów (rys. 3).

Włączenie prądu wywoła powstanie pola B danego wzorem (2) o kierunku prostopadłym do płaszczyzny zwojów. Igła magnetyczna ustawi się teraz w kierunku wypadkowej obu pól. Wektory pola wypadkowego \mathbf{B}_w oraz \mathbf{B}_0 i \mathbf{B} tworzą trójkąt prostokątny. Widać, że

$$\frac{B}{B_0} = \operatorname{tg} \alpha, \quad \text{stąd} \quad B_0 = \frac{B}{\operatorname{tg} \alpha} = \mu_0 \frac{N I}{2R \operatorname{tg} \alpha}. \quad (3)$$

Mierząc kąt wychylenia igły oraz natężenie prądu można wyznaczyć składową poziomą indukcji ziemskiego pola magnetycznego. (Nazwę busoli stycznych wynika z faktu, że tangens kąta wychylenia jest funkcją natężenie prądu I płynącego przez busolę (wzór (3)). Słowo „tangens” pochodzi od łacińskiego *tangere* – dotykać.)



Rys. 3. Schemat busoli stycznych. Pokazane na rysunku wektory oznaczają: \mathbf{B}_0 - pole Ziemi, \mathbf{B} - pole wytwarzane przez cewkę i \mathbf{B}_w - pole wypadkowe.

Przyczyna powstawania pola magnetycznego Ziemi została częściowo wyjaśniona dopiero w ostatnich 10–20 latach; niektóre szczegóły są jeszcze niezrozumiałe. Pole to jest wytwarzane przez potężne prądy elektryczne, powstające w płynnym materiale wnętrza Ziemi. Ziemia nie jest więc wielkim magnesem, lecz wielką samowzbudzoną prądnicą.

Energia niezbędna do podtrzymywania tych prądów pochodzi, jak się wydaje, od sił działających na Ziemię przez Księżyc. Doświadczalnym potwierdzeniem tej ostatniej hipotezy jest fakt, że planety nie posiadające masywnego księżycy – jak Merkury, Wenus czy Mars – nie posiadają pola magnetycznego.

Nie wszystkie zagadki związane z tą problematyką są zrozumiałe – problemem jest dokładniejsze wyjaśnienie przestrzennych (wędrówka ziemskich biegunów magnetycznych) i czasowych zmian pola Ziemi; a w szczególności wyjaśnienie faktu, że pole Ziemi co kilka milionów lat zmienia kierunek, co zostało stwierdzone na podstawie badania namagnesowania skał (paleomagnetyzm).

Wektor ziemskiego pola magnetycznego można rozłożyć na składowe: poziomą i pionową. Kąt pomiędzy składową poziomą i kierunkiem północnym nosi nazwę deklinacji i jest bardzo ważny dla wszystkich użytkowników kompasów. Kąt nachylenia wektora natężenia pola magnetycznego ziemskiego w stosunku do płaszczyzny poziomej to inklinacja magnetyczna. Dla Krakowa składowa pozioma indukcji ziemskiego pola magnetycznego wynosi 21 mikrotlesli.