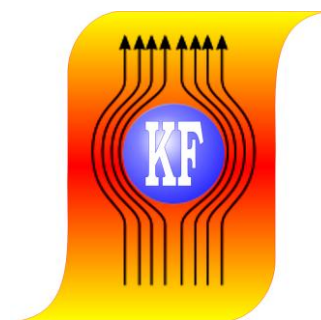
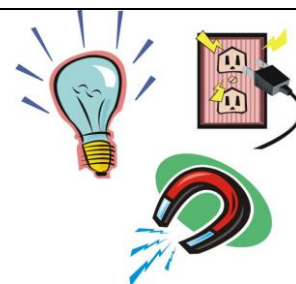


***KATEDRA FIZYKI***

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



***PRACOWNIA  
ELEKTRYCZNOŚCI I MAGNETYZMU***



***ĆWICZENIE NR E-15***

***WYZNACZANIE SKŁADOWEJ POZIOMEJ  
NATEŻENIA POLA MAGNETYCZNEGO ZIEMI  
METODĄ GAUSSA***

## I. Zagadnienia do przestudiowania

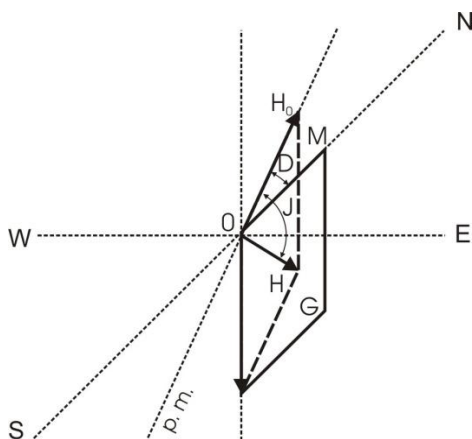
1. Magnetyzm Ziemi.
2. Wielkości charakteryzujące ziemskie pole magnetyczne: natężenie pola magnetycznego, moment magnetyczny, składowe pola magnetycznego Ziemi, inklinacja, deklinacja.
3. Ruch drgający, równanie ruchu harmonicznego.
4. Moment bezwładności bryły sztywnej.
5. Metoda Gaussa wyznaczania składowej poziomej natężenia pola magnetycznego Ziemi.

## II. Wprowadzenie teoretyczne

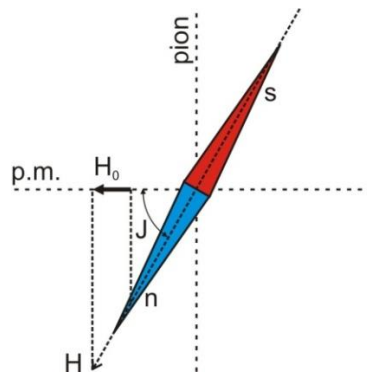
Powszechnie znany jest fakt, że w przestrzeni wokół Ziemi istnieje pole magnetyczne. Pole to związane jest z istnieniem centralnego rdzenia Ziemi, jednak mechanizm jego powstawania nie został dotychczas jednoznacznie wyjaśniony. Oś magnetyczna Ziemi nie pokrywa się z jej osią obrotu - jest odchylona o około  $15^\circ$ . Południowy biegun magnetyczny leży na półkuli północnej, a północny biegun magnetyczny znajduje się na półkuli południowej.

Pole magnetyczne Ziemi charakteryzuje natężenie pola  $H$ . Wektor natężenia pola magnetycznego  $H$  tworzy z płaszczyzną poziomą kąt  $J$ , zwany inklinacją magnetyczną, czyli nachyleniem magnetycznym. Rzut wektora natężenia pola magnetycznego  $H$  na płaszczyznę poziomą nazywamy składową poziomą  $H_0$ . Kierunek składowej poziomej  $H_0$  tworzy z południkiem geograficznym kąt  $D$ , zwany deklinacją magnetyczną lub zboczeniem magnetycznym. Tak więc podstawowymi wielkościami charakteryzującymi pole magnetyczne Ziemi są: składowa pozioma  $H_0$  wektora natężenia pola magnetycznego, inklinacja  $J$  i deklinacja  $D$ , co ilustrują rysunki 1-3.

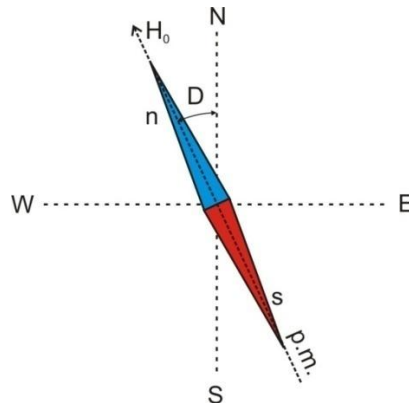
Do badania ziemskiego pola magnetycznego służą dwa proste przyrządy: igła magnetyczna busoli osadzona na osi pionowej i igła inklinacyjna zrównoważona grawitacyjnie na osi poziomej. Igła inklinacyjna, która może obracać się w płaszczyźnie pionowej, wskazuje kierunek wektora natężenia  $H$  pola magnetycznego ziemskiego.



Rys. 1. Elementy magnetyzmu ziemskiego w przestrzeni



Rys. 2. Kąt inklinacji ziemskiego pola magnetycznego



Rys. 3. Kąt deklinacji ziemskiego pola magnetycznego

Igła magnetyczna busoli przyjmuje w polu magnetycznym ziemskim kierunek składowej poziomej  $H_0$  wektora magnetycznego.

Natężenie  $H$  pola magnetycznego Ziemi można łatwo obliczyć, znając wartość składowej poziomej  $H_0$  i kąta inklinacji  $J$

$$H = H_0 / \cos J$$

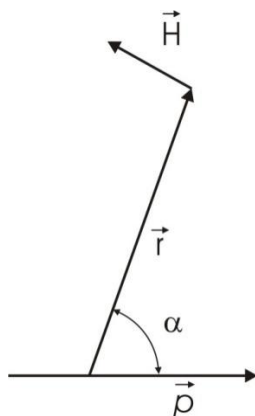
Za pomocą tych wielkości można również wyznaczyć składową pionową  $H_n$

$$H_n = H_0 \operatorname{tg} J$$

### ***Metoda pomiaru***

Natężenie pola magnetycznego w dostatecznie dużej odległości od układu o określonym momencie magnetycznym  $\overset{1}{P}$  (obwód z prądem, magnes trwały) wynosi (rys. 4)

$$H = \frac{P}{4\pi\mu_0\mu r^3} \sqrt{3\cos^2\alpha + 1} \quad (1)$$



Rys. 4. Natężenie pola magnetycznego wytworzonego przez moment magnetyczny  $\vec{p}$

W sposób analogiczny jak w przypadku pola elektrycznego określa się moment mechaniczny, działający na dipol magnetyczny umieszczony w polu magnetycznym o natężeniu  $H$

$$\vec{M} = \vec{p} \times \vec{H} \quad (2)$$

Jeżeli magnes sztabkowy (lub w kształcie pręta) zawiesimy na cienkiej długiej nici tak, aby zajmował położenie poziome, to ustawi się on równolegle do południka magnetycznego.

Po wychyleniu magnesu z położenia równowagi (w płaszczyźnie poziomej) na magnes działają siły skręcające o momencie równym

$$M = pH_0 \sin \alpha \quad (3)$$

gdzie:  $H_0$  - składowa pozioma pola magnetycznego Ziemi,  $\alpha$  - kąt wychylenia z położenia równowagi.

W wyniku działania momentu mechanicznego zaobserwujemy drgania skrętne magnesu. Zaniedbując tarcie i sprężystość nici, można zapisać

$$I \frac{d^2 \alpha}{dt^2} = -pH_0 \sin \alpha \quad (4)$$

gdzie  $I$  - moment bezwładności magnesu.

Dla małych kątów

$$\frac{d^2 \alpha}{dt^2} = -\frac{pH_0}{I} \alpha$$

Podstawiając  $\omega^2 = pH_0/I$ , otrzymamy

$$\frac{d^2 \alpha}{dt^2} + \omega^2 \alpha = 0$$

Równanie to jest różniczkowym równaniem drgań harmonicznym. Rozwiązanie tego równania ma postać

$$\alpha = \alpha_0 \cos \omega t \quad (5)$$

gdzie  $\alpha_0$  jest amplitudą drgań.

Okres drgań wynosi

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{pH_0}} \quad (6)$$

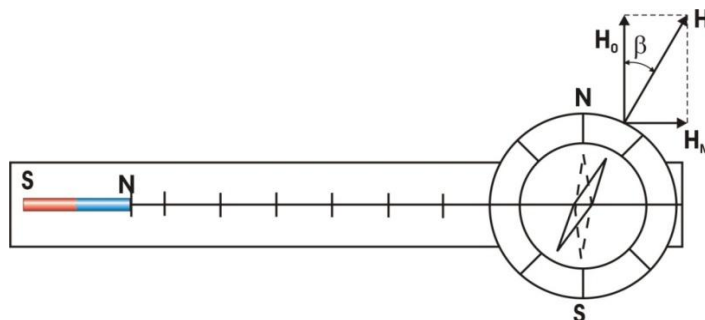
Moment bezwładności magnesu w kształcie pręta względem osi przechodzącej przez punkt ciężkości i prostopadłej do długości wynosi

$$I = \frac{ml^2}{12} \quad (7)$$

gdzie:  $l$  - długość magnesu,  $m$  - masa magnesu.

W równaniu (6) występuje jeszcze nieznana wielkość momentu magnetycznego  $p$ . Można jednak wykonać inne pomiary, które pozwolą na znalezienie związku między  $H_0$  i  $p$ , a więc na wyznaczeniu  $H_0$  bez obliczania momentu magnetycznego  $p$ .

Do przeprowadzenia pomiarów służy listwa z podziałką i busola umocowana na jednym z jej końców.



**Rys. 5. Zasada pomiaru dla listwy pomiarowej ustawionej prostopadle do południka magnetycznego**

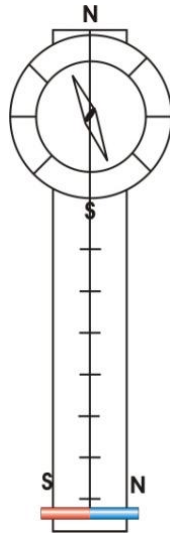
Za pomocą busoli listwę należy ustawić prostopadle do południka magnetycznego. Następnie na listwę należy położyć magnes tak, jak to pokazano na rysunku 5. Igła magnetyczna wychyli się o pewien kąt  $\beta$ , który można odczytać za pomocą podziałki busoli. Jak wynika z rysunku

$$\operatorname{tg} \beta = H_M / H_0 \quad (8)$$

gdzie  $H_M$  - natężenie pola magnetycznego magnesu w miejscu, w którym znajduje się busola.

Zakładając, że  $\mu = 1$  i  $\alpha = 0$ , równanie (1) można zapisać w postaci

$$H_M = \frac{p}{2\pi\mu_0 r^3} \quad (9)$$



Rys. 6. Zasada pomiaru dla listwy pomiarowej ustawionej równoległe do południka magnetycznego

Na podstawie równań (6), (8), (9) otrzymamy

$$H_0 = \frac{2\pi}{Tr} \sqrt{\frac{I}{2\pi\mu_0 r \operatorname{tg}\beta}} \quad (10)$$

Aby wyznaczyć  $H_0$ , należy do wzoru (10) podstawić wielkości  $r$ ,  $T$  i  $\operatorname{tg}\beta$ , otrzymane w wyniku pomiarów, oraz obliczoną wartość momentu bezwładności  $I$ . Należy zaznaczyć, że wzór w takiej postaci jest słuszny tylko w układzie SI.

Pomiary można również przeprowadzić, ustawiając listwę równoległe, a magnes prostopadle do południka magnetycznego.

Uwzględniając, że  $\mu = 1$  i  $\alpha = 90^\circ$ , równanie (1) w tym przypadku przyjmuje postać

$$H_M = \frac{p}{4\pi\mu_0 r^3} \quad (11)$$

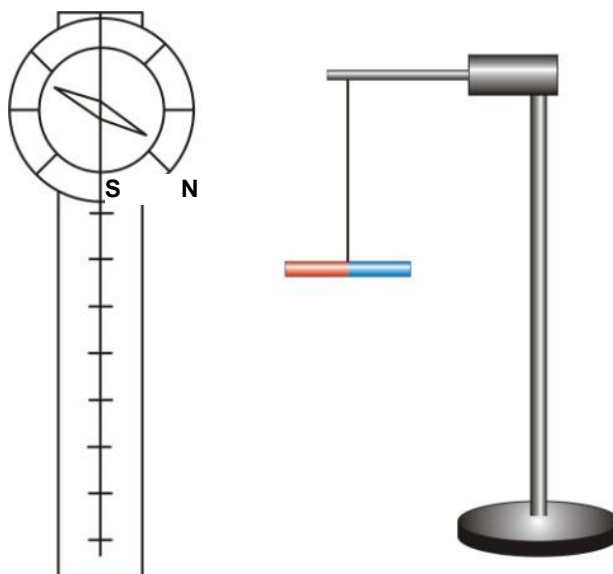
Podstawiając (11) do równania (8), otrzymujemy następujące wyrażenie:

$$H_0 = \frac{\pi}{rT} \sqrt{\frac{I}{\mu_0 \pi r \operatorname{tg}\beta}} \quad (12)$$

### III. Zestaw pomiarowy

Magnes w kształcie pręta zawieszony na nici, stoper, listwa z podziałką i busolą umocowaną na jednym z jej końców.

## IV. Schemat układu pomiarowego



Rys. 7

## V. Przebieg ćwiczenia

1. Wyprowadzić magnes z położenia równowagi w kierunku poziomym o mały kąt (ok.  $10^\circ$ ).
2. Wyznaczyć okres drgań skrętnych magnesu - w tym celu mierzymy czas odpowiadający 10 pełnym drganiom magnesu ( $t = 10 T$ ).
3. Pomiary okresu drgań skrętnych powtórzyć dziesięciokrotnie.
4. Wyniki pomiarów wpisać do tabeli pomiarów.
5. Ustawić listwę oraz magnes prostopadle do południka magnetycznego i zmierzyć kąt  $\beta$  dla dwóch odległości  $r$  magnesu od busoli (rys. 5) ( $r$  - przyjęć jako odległość od obudowy busoli do końca klocka, na którym umieszczony jest magnes).

### **UWAGA!**

*Aby zapobiec błędom spowodowanym ewentualnym niepokrywaniem się magnetycznej osi busoli z jej osią geometryczną, należy odczytać wartości kątów, o jakie wychylają się oba końce igły busoli.*

6. Aby zmniejszyć błąd związany z niedokładnym ustawieniem busoli, magnes obracamy o  $180^\circ$  wokół osi pionowej i powtarzamy pomiar. Z otrzymanych wyników obliczamy wartość średnią kąta  $\beta$  przy danej odległości magnesu od busoli.
7. Ustawić listwę równoległe, a magnes prostopadle w stosunku do południka magnetycznego (rys. 6). Wykonać pomiary tak jak w punktach 5 i 6.
8. Wyniki pomiarów wpisać do tabeli pomiarowej.

## VI. Tabela pomiarów

Lp.	t [s]	T [s]	T <sub>śr</sub> [s]	Ustawienie listwy	Odległość r [m]	Kąt β [deg]	Kąt β <sub>śr</sub> [deg]	tgβ <sub>śr</sub>	H <sub>0</sub> [A/m]	H <sub>0śr</sub> [A/m]
1				prostopadłe						
2										
3				równoległe						
4										

## VII. Opracowanie wyników pomiarowych

1. Obliczyć wartość średniego okresu drgań skrętnych T<sub>śr</sub> [s] i wpisać do tabeli.
2. Obliczyć składową poziomą H<sub>0</sub> natężenia pola magnetycznego Ziemi dla prostopadłego ustawienia listwy, korzystając ze wzoru

$$H_0 = \frac{2\pi}{Tr} \sqrt{\frac{I}{2\pi\mu_0 r \operatorname{tg}\beta}}$$

gdzie:  $I = \frac{ml^2}{12}$  - moment bezwładności magnesu,  $m = 76,297$  g - masa magnesu,  $l = 14,2$  cm - długość magnesu.

Przenikalność magnetyczna próżni:  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{V \cdot s}{A \cdot m}$ .

3. Obliczyć składową poziomą H<sub>0</sub> natężenia pola magnetycznego Ziemi dla równoległego ustawienia listwy ze wzoru

$$H_0 = \frac{\pi}{rT} \sqrt{\frac{I}{\mu_0 \pi r \operatorname{tg}\beta}}$$

4. Obliczyć wartość średnią H<sub>0śr</sub>.
5. Przeprowadzić rachunek błędów metodą różniczeki zupełnej. Przyjąć  $|\Delta r| = 0,001$  m,  $|\Delta\beta| = 3^\circ$ ,  $|\Delta T|$  obliczyć metodą Gaussa.
6. Przeprowadzić dyskusję otrzymanych wyników pomiarowych.

## Literatura

1. Halliday D., Resnick R., Walker J., Fizyka, t. 3, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003.
2. Lech J., Opracowanie wyników pomiarów w laboratorium podstaw fizyki, Wydawnictwo Wydziału Inżynierii Procesowej, Materiałowej i Fizyki Stosowanej PCz, Częstochowa 2005.
3. Nozdriew W.F., Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki ogólnej, PWN, Warszawa 1974.
4. Piekara A., Elektryczność i magnetyzm, PWN, Warszawa 1970.
5. Szczeniowski S., Fizyka doświadczalna, cz. III, Elektryczność i magnetyzm, PWN, Warszawa 1972.