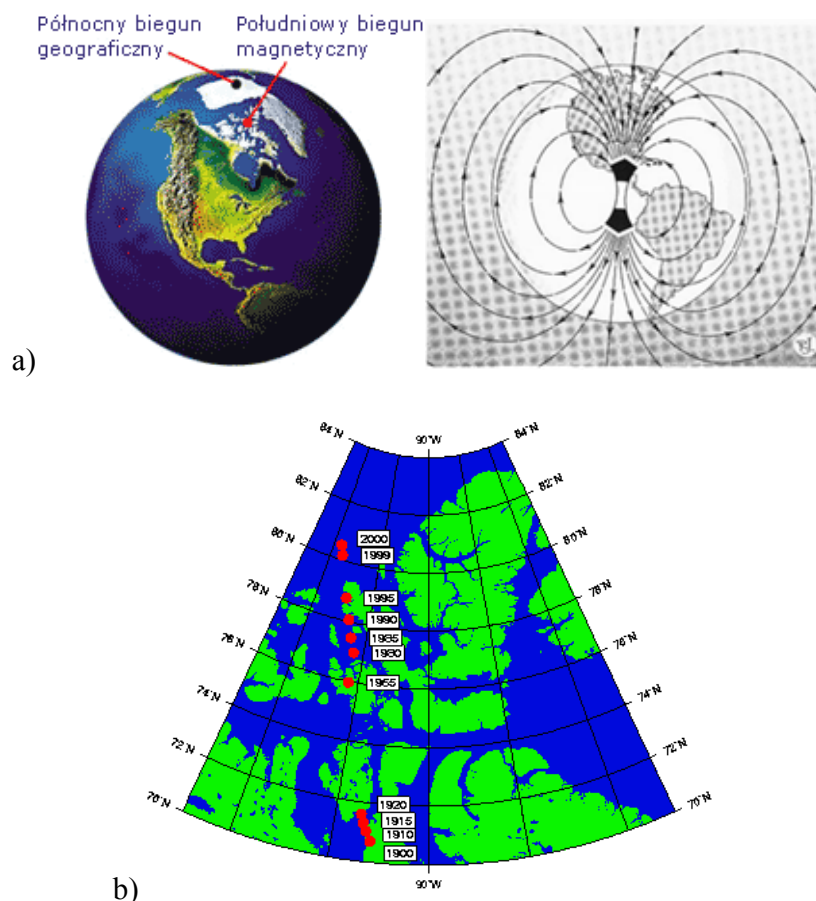


Wyznaczanie wartości składowej poziomej pola magnetycznego Ziemi metodą busoli stycznych.¹

Według obecnego stanu wiedzy pole magnetyczne Ziemi jest wywołane ruchami ciekłego, przewodzącego materiału jądra w polu elektromagnetycznym przestrzeni okołoziemskiej. Jest to układ podwójnego samowzbudzającego dynama wytwarzającego pole, które może być traktowane jako pochodzące od znajdującego się w środku Ziemi dipola magnetycznego. Oś tego dipola tworzy z osią obrotu Ziemi kąt ok. $11,5^\circ$. Jest to pole główne (dające ok. 99 % wkład do natężenia pola mierzonego na powierzchni Ziemi), które ulega powolnym zmianom, tzw. zmianom wiekowym. Na pole główne nakładają się zmienne pola wywoływane przez zjawiska elektromagnetyczne zachodzące w przestrzeni okołoziemskiej.



Rys. Lokalizacja południowego bieguna pola magnetycznego, b) „wędrowka w czasie” południowego bieguna magnetycznego

¹ Pomysłodawcami ćwiczenia byli dr A.Tunia i dr M.Roszek

Z polem magnetycznym Ziemi wiąże się szereg ciekawych zjawisk w atmosferze, takich jak np. zorza polarna. Pole magnetyczne jest też tarczą, która chroni Ziemię przed wiatrem słonecznym – naładowane cząstki z wiatru słonecznego (głównie elektrony i protony) są więzione w obszarze tzw. pasów van Allena. Oczywiście Ziemia nie jest jedynym obiektem w kosmosie, który wytwarza pole magnetyczne. Znacznie silniejsze pola, dochodzące nawet do miliarda tesli (T), wytwarzają gwiazdy neutronowe...

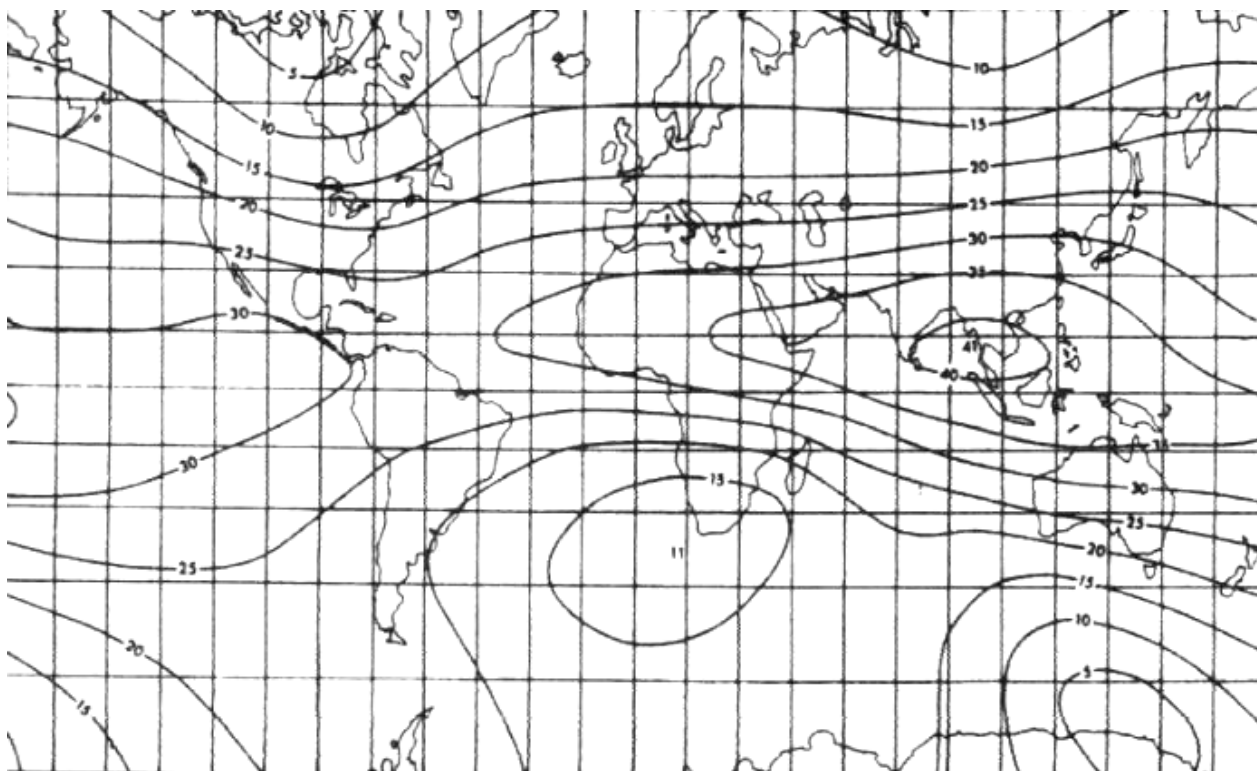
Podstawową wielkością opisującą pole magnetyczne w dowolnym punkcie jest jego natężenie H . Wektor ten może być rozłożony na dwie składowe: interesującą nas składową poziomą, czyli równoległą do powierzchni Ziemi H_{\parallel} oraz na składową prostopadłą (pionową) H_{\perp} :

$$\mathbf{H} = \mathbf{H}_{\parallel} + \mathbf{H}_{\perp}.$$

Wyznaczenia natężenia pola magnetycznego Ziemi można dokonać wykorzystując igłę magnetyczną i obwód kołowy. Igła magnetyczna ma pewien charakterystyczny moment dipolowy μ . Po umieszczeniu igły w polu magnetycznym działa na nią moment siły M :

$$\mathbf{M} = \mu \times \mathbf{H} \quad (1)$$

doprowadzający ją do położenia równoległego do kierunku wektora \mathbf{H} . Jeżeli igła magnetyczna ustawiona jest w płaszczyźnie poziomej, pod uwagę bierzemy jedynie składową natężenia pola równoległą do powierzchni Ziemi.



Wyznaczenia składowej poziomej natężenia pola geomagnetycznego można dokonać w następujący sposób. W środku kołowego obwodu o promieniu R utworzonego przez N zwojów umieszczamy kompas (busolę) z podziałką kątową w taki sposób, aby igła mogła obracać się wokół pionowej osi leżącej w płaszczyźnie obwodu. Układ ten (busolę z obwodem) sytuujemy tak, aby – jeżeli przez obwód nie płynie prąd – igła znajdowała się w jego płaszczyźnie. Jest to stan, kiedy igła znajduje się jedynie w polu geomagnetycznym o interesującym nas natężeniu H_G . Jeżeli następnie przez obwód przepuścimy prąd o natężeniu I , to zostanie wytworzone pole magnetyczne o natężeniu H_0 :

$$H_0 = \frac{NI}{2R} \quad (2)$$

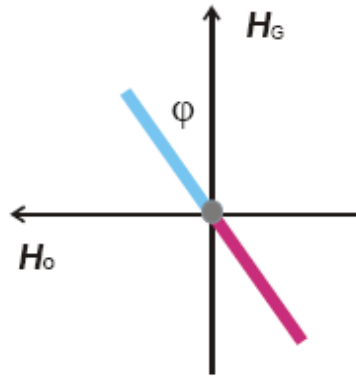
Natężenie H_0 jest skierowane prostopadłe do płaszczyzny obwodu i tym samym prostopadłe do wektora H_G . Na igłę będzie działać moment siły, którego źródłem jest pole wytworzone przez obwód

$$M_0 = \mu \times H_0 \quad (3)$$

oraz przeciwnie skierowany moment siły pochodzącej od pola ziemskiego

$$M_G = \mu \times H_G \quad (4)$$

Równowaga momentów sił spowoduje ustawienie igły w położeniu, którego kierunek jest odchylony o kąt φ od kierunku jej pierwotnego położenia i zarazem od kierunku wektora H_G .



Wartość momentu siły pola ziemskiego możemy zapisać w następujący sposób:

$$M_G = \mu H_G \sin \varphi, \quad (5)$$

natomiast momentu siły pochodzącej od obwodu

$$M_0 = \mu H_0 \sin(\pi/2 - \varphi). \quad (6)$$

Ponieważ momenty te równoważą się

$$H_G \sin \varphi = H_0 \cos \varphi. \quad (7)$$

Uwzględniając zależność (2) natężenie ziemskiego pola magnetycznego można zapisać równaniem

$$H_G = \frac{NI \cdot \operatorname{ctg} \varphi}{2R}, \quad (8)$$

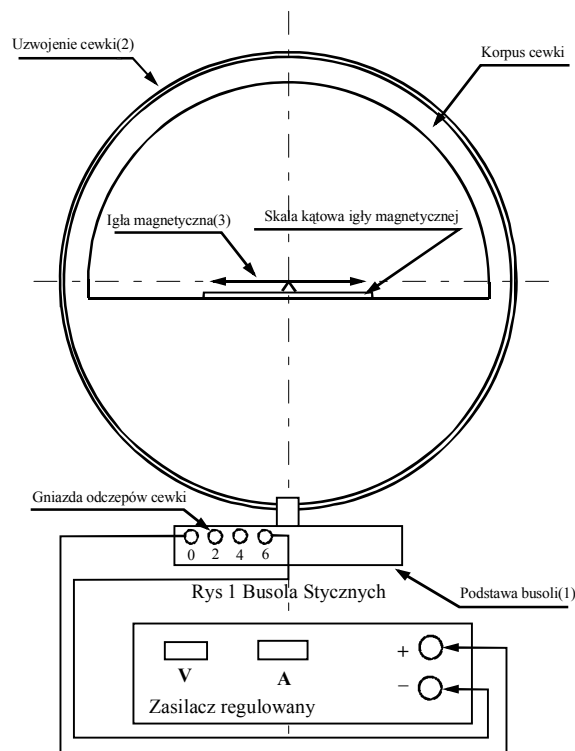
a wyznaczyć korzystając z następującej zależności:

$$\operatorname{tg} \phi = \frac{NI}{2RH_G} \quad (9)$$

Pole magnetyczne można opisywać używając pojęcia "linii indukcji pola magnetycznego". Czym różnią się te linie od linii sił pola elektrostatycznego powstającego wokół ładunków? Okazuje się, że w przeciwieństwie do linii sił pola elektrycznego, linie indukcji pola magnetycznego są zawsze zamknięte, tzn. nie mają początku ani końca.

Opis urządzenia i metoda pomiaru

Urządzenie pokazane na rysunku poniżej służy do pomiaru składowej poziomej (H_z) natężenia pola magnetycznego ziemi nosi nazwę **busoli stycznych**. Składa się ona z: obrotowej podstawy (1) na której umieszczono pionowo cewkę pomiarową o średnicy $2R$ (2) oraz igłę magnetyczną (3) ustawioną dokładnie w osi i płaszczyźnie cewki pomiarowej. Płaszczyzna obrotu igły magnetycznej jest prostopadła do płaszczyzny uzwojenia Cewka pomiarowa składa się z 6 zwojów (nawiniętych w jednej warstwie z odczepami co 1 zwoj,) drutu o średnicy ϕ 1 mm co pozwala na zasilanie prądem o natężeniu do 4 amperów. W celu wyeliminowania wpływu składowej pionowej pola magnetycznego ziemi, igła magnetyczna została wywarzona tak by jej płaszczyzna obrotu leżała w płaszczyźnie poziomej.



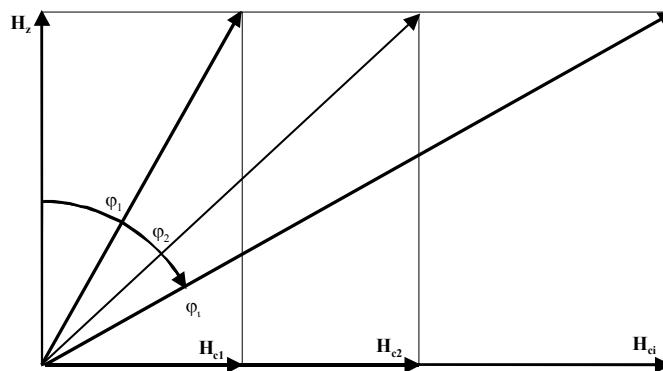
Rys. Schemat urządzenia do pomiaru składowej poziomej pola magnetycznego.
Promień uzwojenia busoli $R = 0.149$ m

Po włączeniu prądu, na każdy biegun tak ustawionej igły magnetycznej będą działały dwie siły: F_z – siła pola magnetycznego ziemi i F_c – siła pola magnetycznego cewki.

. Cewka pomiarowa zasilana prądem o natężeniu I_R ze stabilizowanego zasilacza prądu stałego wytwarza pole magnetyczne, którego wektor natężenia (H_c) jest prostopadły do płaszczyzny uzwojeń.

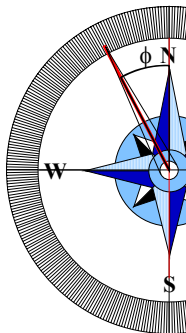
Jeżeli przed włączeniem prądu ustawimy płaszczyznę cewki dokładnie w kierunku igły magnetycznej N-S, to po włączeniu zasilania igła magnetyczna wychyli się o pewien kąt ϕ będący kierunkiem wypadkowego pola o składowych H_c i H_z .

Jak widać na rysunku stosunek H_c do H_z równy jest tangensowi kąta ϕ jaki tworzy igła magnetyczna z płaszczyzną cewki, zasilanej prądem I



Przebieg pomiarów i rachunek błędów:

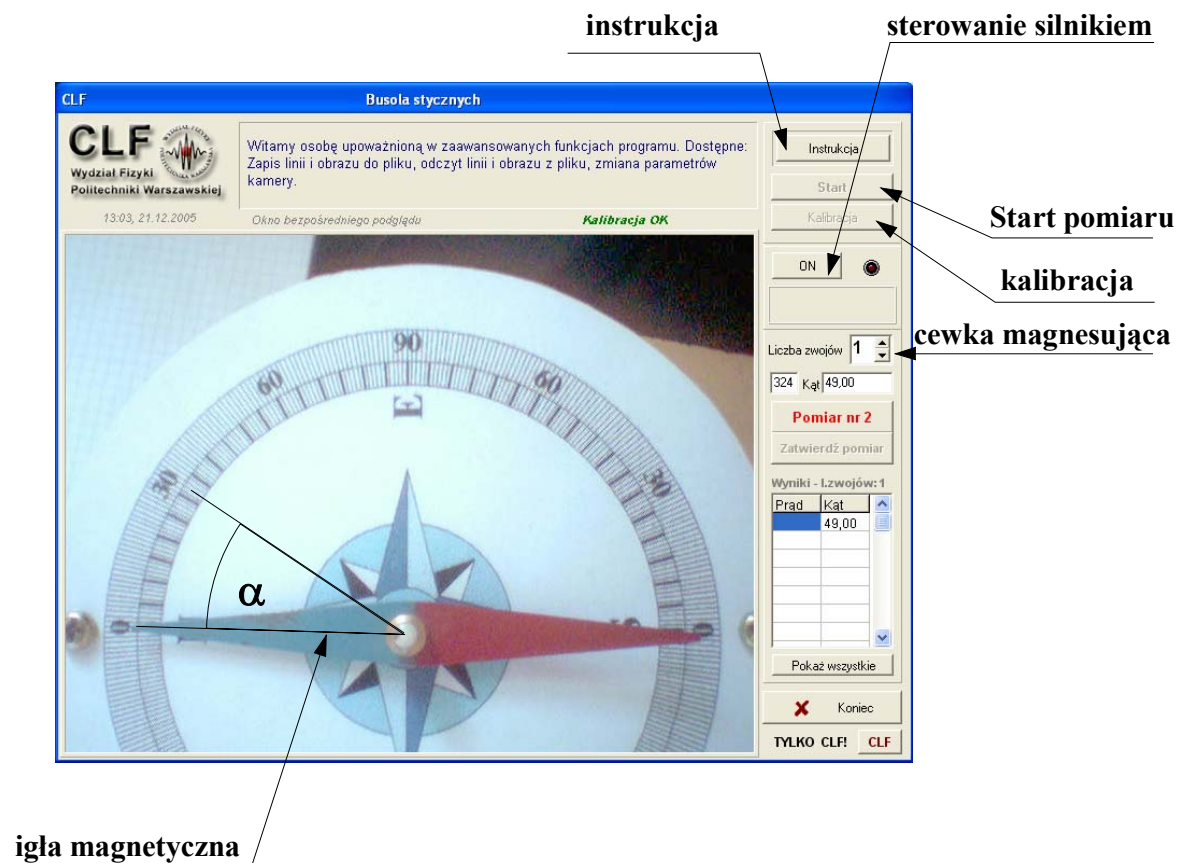
1. Wstępne zorientowanie busoli względem N-S oraz dokładne wypoziomowanie podstawy.
2. Ustawienie busoli tak by płaszczyzna cewki pokrywała się z kierunkiem igły magnetycznej. N/S (sterujemy silnikiem krokowym w zakresie $\pm 30^\circ$)
3. Zasilamy podaną przez asystenta liczbę zwojów cewki takim prądem by igła wychyliła się o kąt zawarty w przedziale do 45° - możliwe podłączenie 1-2-3-4 lub 5 zwojów (przełączanie realizowane za pomocą stykowników R-15 lub ręcznie)
4. Odczytujemy kąt wychYLENIA igły



Rys. Pole widzenia kamery

5. Pomiary powtarzamy dla dwóch kierunków przepływu prądu.
6. Szacujemy błędy pomiarowe: kąta $\phi \pm \Delta \phi$ oraz prądu $I_R \pm \Delta I_R$

Opis panelu programu sterującego



Wszystkie wyniki należy w trakcie ćwiczenia zapisywać w protokole.