

Zjawiska wykorzystywane do uzyskania kierunku w nawigacji morskiej

Błędy kompasów, sprawdzanie i korekta

dr inż. Marcin Przywarty

p. 329

m.przywarty@am.szczecin.pl

www.irm.am.szczecin.pl

Literatura:

Mirosław Jurdziński – Dewiacja i kompensacja morskich kompasów magnetycznych

Maciej Gucma, Jakub Montewka, Antoni Zieziula – Urządzenia nawigacji technicznej

Krajczyński Edward – Urządzenia elektronawigacyjne

Krajczyński Edward – Urządzenia nawigacji technicznej

Fransiszek Wróbel – Vademecum nawigatora

...

Plan prezentacji:

- Rodzaje kierunków namiarów i kursów;
- Magnetyzm ziemski
- Magnetyzm okrętowy
- Kompasy magnetyczne
 - Metody poprawiania dokładności wskazań
 - Budowa i zasada działania
- Efekt żyroskopowy
- Żyrokompasy
 - Budowa i zasada działanie żyrokomпасów
 - Metody poprawiania dokładności wskazań
- Kompasy satelitarne

Rodzaje kierunków, namiarów i kursów

Kierunek rzeczywisty – wyznaczony względem południka rzeczywistego (linia N-S rzeczywista)

Kierunek żyrokompasowy – wyznaczony względem południka żyrokompasowego, w którego płaszczyźnie ustawia się kompas żyroskopowy (linia N-S żyrokompasowa)

Kierunek magnetyczny – wyznaczony względem południka magnetycznego, w którego płaszczyźnie ustawiłby się kompas magnetyczny, gdyby nie działał na niego żaden inny magnetyzm, z wyjątkiem magnetyzmu Ziemi (linia N-S magnetyczna)

Kierunek kompasowy – wyznaczony względem południka kompasowego, w którego płaszczyźnie ustawi się kompas magnetyczny znajdujący się na statku, a więc pozostający pod wpływem magnetyzmu Ziemi i statku (linia N-S kompasowa)

Rodzaje kierunków, namiarów i kursów

Kurs rzeczywisty KR – kąt zawarty między północną częścią linii N-S rzeczywistej a dziobową częścią linii symetrii statku

Kurs żyrokompasowy KŻ – kąt zawarty między północną częścią linii N-S żyrokompasowej a dziobową częścią linii symetrii statku

Kurs magnetyczny KM – kąt zawarty między północną częścią linii N-S magnetycznej a dziobową częścią linii symetrii statku

Kurs kompasowy KK – kąt zawarty między północną częścią linii N-S kompasowej a dziobową częścią linii symetrii statku

Rodzaje kierunków, namiarów i kursów

Namiar rzeczywisty NR – kąt zawarty między północną częścią linii N-S rzeczywistej a linią łączącą obserwatora z obiektem namierzanym

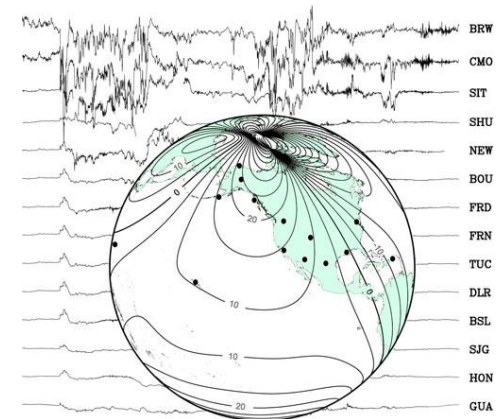
Namiar żyrokompasowy NŻ – kąt zawarty między północną częścią linii N-S żyrokompasowej a linią łączącą obserwatora z obiektem namierzanym

Namiar magnetyczny NM – kąt zawarty między północną częścią linii N-S magnetycznej a linią łączącą obserwatora z obiektem namierzanym

Namiar kompasowy NK – kąt zawarty między północną częścią linii N-S kompasowej a linią łączącą obserwatora z obiektem namierzanym

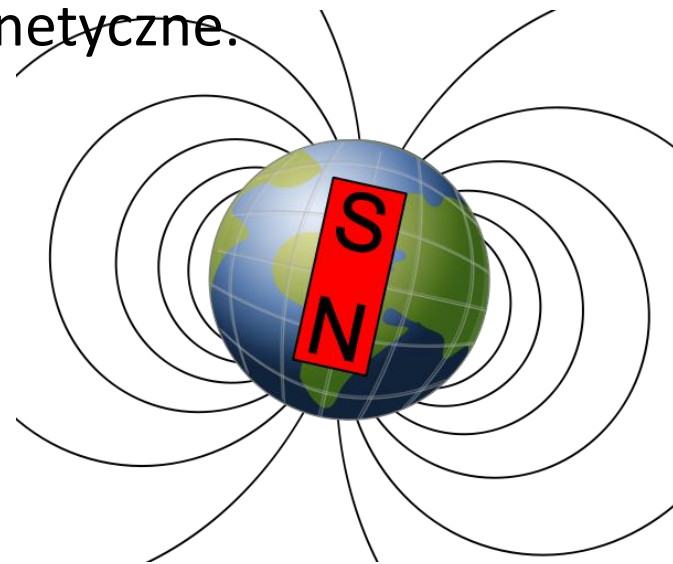
Magnetyzm ziemski

Teorią uznawaną obecnie za najbardziej prawdopodobną jest hipoteza zaproponowana przez Edwarda Bullarda, mówiąca, że pole magnetyczne Ziemi wywołują wirowe prądy elektryczne płynące w płynnym jądrze Ziemi. Obecnie uważa się, że siłą powodującą ich powstawanie są prądy konwekcyjne w płynnym jądrze Ziemi. W prądach tych, ruch obrotowy Ziemi poprzez efekt Coriolisa, wywołuje wiry działające jak jednobiegunowy generator Faradaya, wytwarzając prąd elektryczny, który wytwarza pole magnetyczne.



Magnetyzm ziemski

Bryłę Ziemi możemy traktować jak ogromny naturalny magnes. Można powiedzieć, że pole magnetyczne Ziemi reaguje tak, jak gdyby powstało na skutek działania magnesu umieszczonego wewnątrz globu. Ten zastępczy magnes znajduje się w środku Ziemi jednak jego oś nachylona jest pod kątem około $11,5^\circ$ w stosunku do osi obrotu Ziemi oraz biegunów geograficznych. Przedłużona oś umownego dipola magnetycznego, przecinając powierzchnię Ziemi tworzy bieguny magnetyczne.

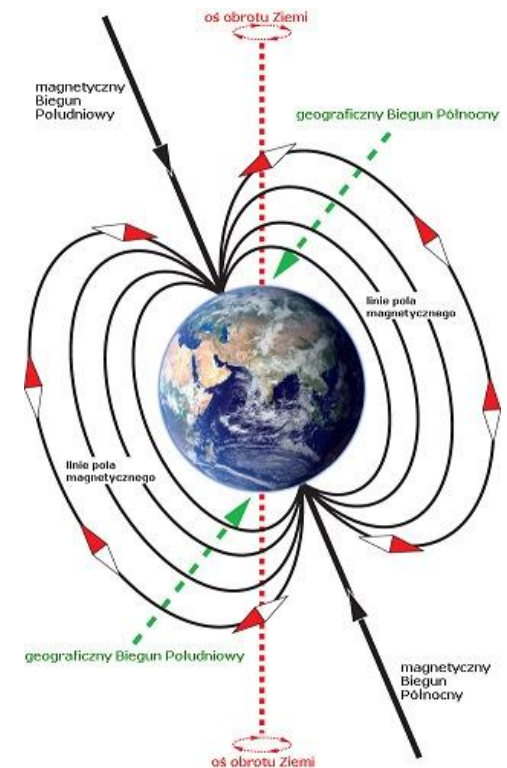


Magnetyzm ziemski

Bieguny magnetyczne można zdefiniować jako punkty, w których wektor całkowitego natężenia pola magnetycznego Ziemi jest prostopadły do powierzchni Ziemi. Nie leżą one jednak stale w tym samym miejscu, a poruszają się po powierzchni Ziemi z prędkością około 15 km/rok zataczając kręgi.

Równik magnetyczny można zdefiniować jako linię łączącą wszystkie punkty wokół Ziemi, gdzie kąty inklinacji linii sił natężenia magnetyzmu ziemskiego wynoszą zero stopni.

Kąt inklinacji jest to kąt między płaszczyzną horyzontu, a linią sił natężenia magnetyzmu ziemskiego.



Magnetyzm ziemski

Deklinacja magnetyczna – określa różnicę kątową między płaszczyzną południka geograficznego a płaszczyzną południka magnetycznego.

Zmiany kierunku linii sił poziomej składowej magnetyzmu ziemskiego można podzielić na trzy rodzaje:

- zmiany wiekowe,
- zmiany okresowe,
- zmiany nieokresowe (nieregularne)

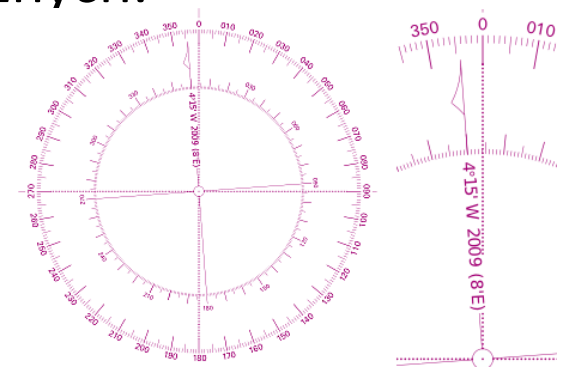
Z kolei zmiany okresowe dzielą się na roczne i dobowe. Ponadto zmiany deklinacji powodują również tak zwane zakłócenia lokalne (anomalie magnetyczne)

Magnetyzm ziemski

Wartości deklinacji oraz ich zmiany mogą być odczytane na mapach morskich. Istnieją dwie zasadnicze metody oznaczenia wartości deklinacji na mapach.

Na mapach szczegółowych – o dużej podziałce – podaje się kilka punktów, w stosunku do których określa się wartość średnią dla danego roku obserwacji oraz średnie zmiany wiekowe wartości deklinacji w roku.

Na mapach generalnych, o małej skali, wartości deklinacji przedstawiane są zwykle jako izogony obliczone dla danego roku, a w nawiasach podane są wartości zmian rocznych.



Magnetyzm okrętowy

Spośród różnych metali stosowanych w budownictwie okrętowym najsilniejsze właściwości magnetyczne mają żelazo i stal.

Żelazo z domieszką krzemu lub aluminium nabywa własności magnetycznych przez indukcję. Wkrótce po usunięciu działania pola magnetycznego stop traci te właściwości.

Stal zawierająca dodatek wolframu jest bardzo oporna na magnesowanie, gdy jednak ten proces zostanie dokonany, właściwości magnetyczne w stalowym materiale pozostają bardzo długo bez widocznych zmian. W pierwszym przypadku mamy do czynienia z typem żelaza miękkiego, w drugim z żelazem twardym i stalą twardą okrętową. Dla ułatwienia analizy można założyć, że stalowe elementy konstrukcyjne statku składają się wyłącznie ze sztab żelaza miękkiego lub wyłącznie ze sztab żelaza twardego. W rzeczywistości stal okrętowa ma właściwości obu rodzajów żelaza.

Magnetyzm okrętowy

W stali twardej użytej do budowy kadłuba, powstaje tzw. magnetyzm okrętowy stały, a w stali miękkiej magnetyzm zmienny. Zmianie kierunku położenia kadłuba statku towarzyszy zjawisko zmian indukcji, określone pojęciem magnetyzmu powstałego.

Wpływ magnetyzmu okrętowego na działanie kompasu magnetycznego przejawia się poprzez powstanie dewiacji kompasu. Wpływ ten jest niwelowany poprzez kompensację dewiacji kompasu magnetycznego, która polega na przeciwdziałaniu siłom magnetyzmu okrętowego w miejscu zamontowania kompasu przez umieszczenie w pobliżu kompasu magnesów i brył żelaza generujących pola magnetyczne o działaniu przeciwnym.

Magnetyzm okrętowy

Dewiacja kompasu - różnica między kursem kompasowym a kursem magnetycznym wyrażona w stopniach. Spowodowana zakłóceniem ziemskiego pola magnetycznego przez obiekty znajdujące się w pobliżu kompasu magnetycznego np.: stalowy kadłub statku indukują własne pole magnetyczne, ładunek i jego rozmieszczenie, ułożenie ruchomych urządzeń statku, zakłócające wskazanie kompasu magnetycznego.



Budowa kompasu magnetycznego

Kompas magnetyczny jest urządzeniem przystosowanym do utrzymywania i przekazywania ciągłej informacji o kierunku. Działanie kompasu magnetycznego opiera się na właściwościach magnetyzmu ziemskiego. Sprawność działania kompasu zależy głównie od wartości natężenia linii sił pola magnetycznego Ziemi, a szczególnie od poziomej składowej pola.



Budowa kompasu magnetycznego

Kompas magnetyczny składa się z trzech podstawowych zespołów funkcyjnych:

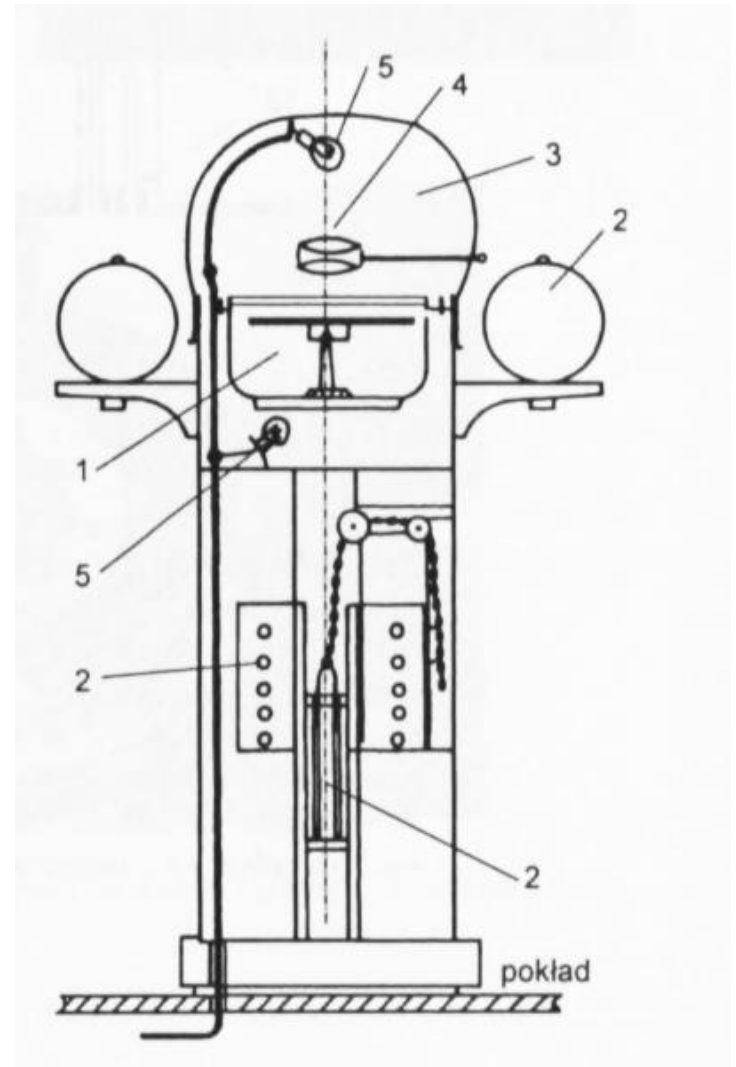
- układu pomiarowego
- układu kompensującego wpływ pola magnetyzmu okrętowego
- zespołów zmniejszających wpływ falowania morza oraz narażeń mechanicznych i klimatycznych środowiska

Ponadto, w zależności od potrzeb, w kompasach okrętowych stosowane są dodatkowe podzespoły służące do:

- zwiększania możliwości pomiaru kierunku - namierniki
- dodatkowej regulacji wskazań
- oświetlenia pomiarowego
- przekazania zdalnej obserwacji wskazań kierunku
- odtworzenia przekazanej wartości wskazań kierunku z układu pomiarowego na żadaną odległość

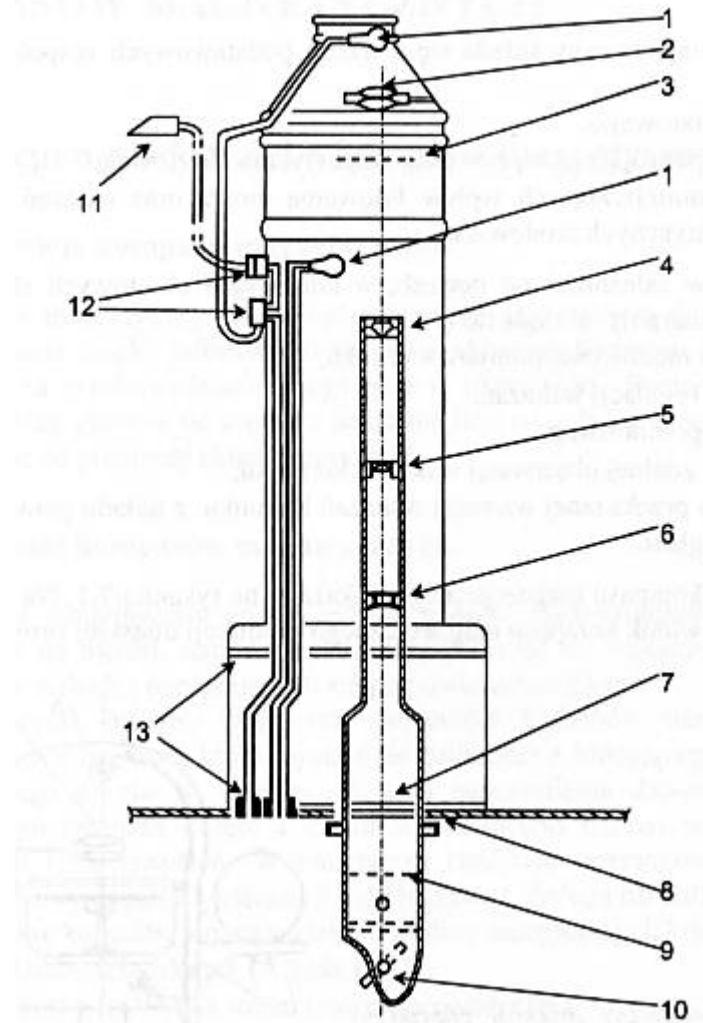
Budowa kompasu magnetycznego

1. Układ pomiarowy
2. Układ kompensujący
3. Zespół zmniejszający wpływ falowania oraz narażeń mechanicznych
4. Soczewka skupiająca
5. Oświetlenie układu pomiarowego



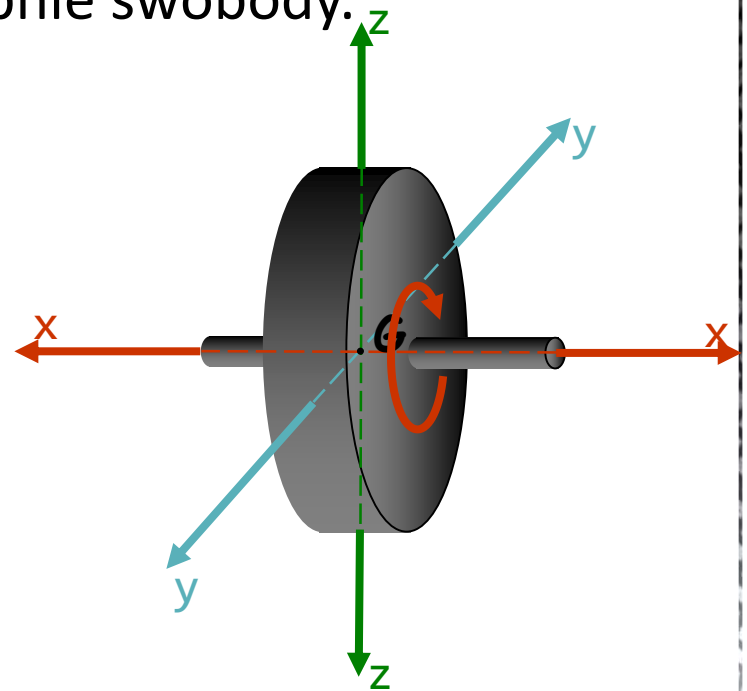
Budowa kompasu magnetycznego

1. Oświetlenie
2. Soczewka skupiająca
3. Przezroczysta róża kompasowa
4. Soczewka kierunkowa
5. Pośrednia soczewka odbijająca
6. Soczewka prostująca obraz na promienie równoległe
7. Otwór w pokładzie
8. Uszczelka gumowa
9. Szkła przyćmiewające
10. Lusterko ruchome
11. Przenośna lampka oświetleniowa
12. Gniazda wtykowe wodoszczelne
13. Uszczelnienie złączy



Efekt żyroskopowy

Żyroskop to ciało sztywne o symetrycznym kształcie, wirujące z dużą prędkością względem swojej osi obrotu. Oś względem której wiruje żyroskop nazywamy jego osią główną. W konstrukcji żyrokomпасów wykorzystuje się żyroskopy swobodne, czyli żyroskopy o trzech stopniach swobody. W praktyce stosuje się dwa rozwiązania zapewniające trzy stopnie swobody.



Efekt żyroskopowy

- żyroskop w zawieszeniu kardanowym. Zawieszenie to składa się z dwóch ramek: wewnętrznej i zewnętrznej. Ramka wewnętrzna może obracać się względem poziomej osi y dzięki odpowiednim łożyskom. Natomiast obie ramki mogą obracać się względem osi z . Środek ciężkości żyroskopu pokrywa się ze środkiem geometrycznym zawieszenia kardanowego. Rozwiązanie takie stosuje między innymi firma Sperry;



Efekt żyroskopowy

- żyroskop w pływającej kuli. W rozwiązaniu tym żyroskop umieszczony wewnątrz hermetycznie zamkniętej kuli. Kula umieszczona jest w płynie nośnym w taki sposób, aby siła wyporu równoważyła jej ciężar. W takim rozwiązaniu kula, a tym samym żyroskop posiada trzy stopnie swobody.



Efekt żyroskopowy

Jeżeli na wirujący żyroskop nie działa żadna siła zewnętrzna, to żyroskop zachowuje stałe położenie swojej osi głównej w przestrzeni. Jeżeli oś główna żyroskopu zostanie skierowana na jakąś gwiazdę, to będzie stale wskazywała kierunek na nią.

Ponieważ, Ziemia wraz z żyroskopem obraca się dookoła własnej osi, to główna oś żyroskopu zachowując stały kierunek w przestrzeni będzie zmieniała swoje położenie w stosunku do powierzchni Ziemi jako poziomej płaszczyzny odniesienia.

Jeżeli umieścimy żyroskop swobodny w dowolnym miejscu na kuli ziemskiej i z dowolnym ustawieniem jego osi głównej, to każdy z końców tej osi zakreśli w ciągu doby koło, którego wielkość i płaszczyzna położenia będą zależały od:

- Szerokości geograficznej (ϕ) miejsca umieszczenia żyroskopu
- Początkowego ustawienia osi głównej żyroskopu

Efekt żyroskopowy

Żyroskop swobodny nie może być kompasem ponieważ jego główna oś obrotu zmienia ciągle swój kierunek względem płaszczyzny południka i horyzontu (ciągła zmiana kątów).

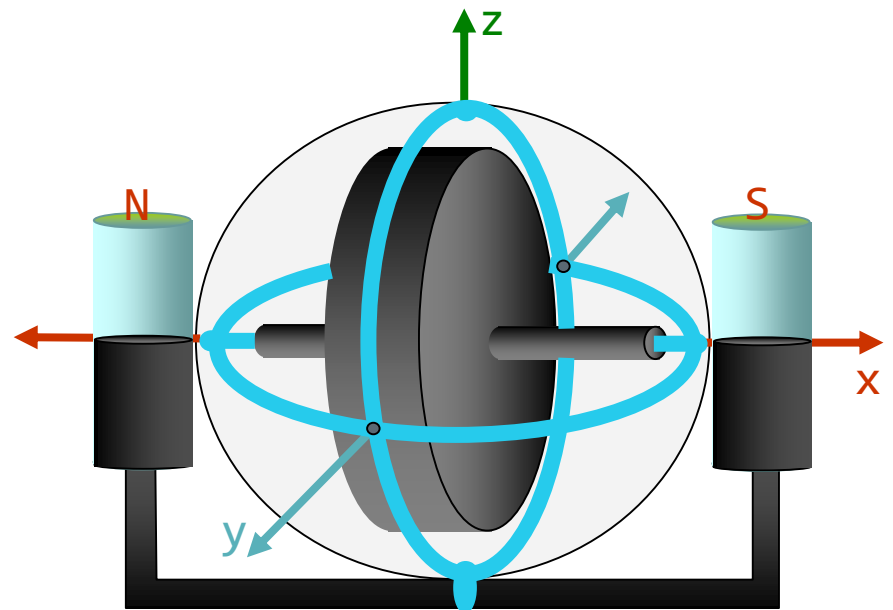
Aby otrzymać żyroskop wskazujący stały kierunek na Ziemi należy zapobiec odchyłaniu się osi głównej żyroskopu od płaszczyzny południka.

Dokonuje się tego poprzez zastosowanie urządzenia, które przy zmianach wysokości wprowadza do żyroskopu moment siły wywołujący ruch precesyjny doprowadzający oś główną żyroskopu do płaszczyzny południka. Urządzenie to ogranicza częściowo jeden stopień swobody żyroskopu swobodnego.

Efekt żyroskopowy

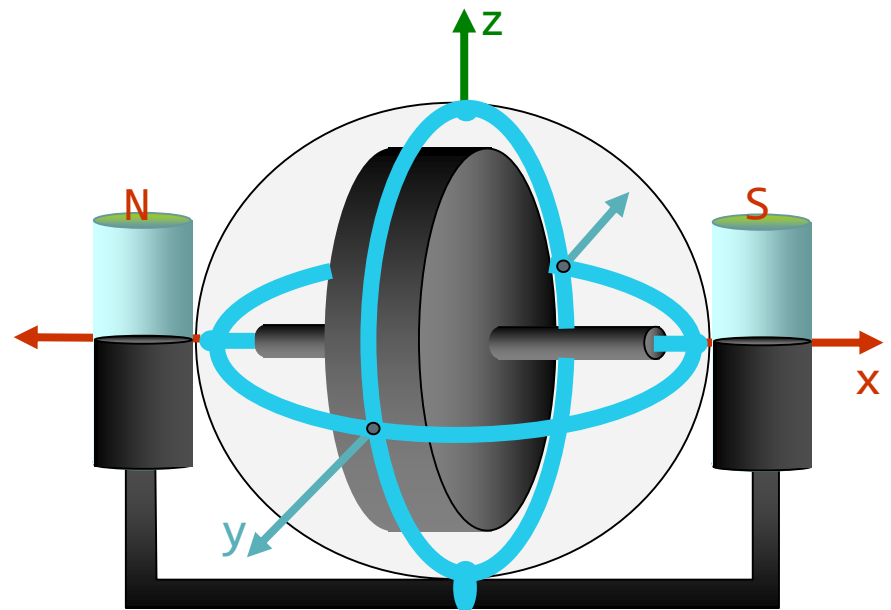
Ograniczenie stopnia swobody w kompasach uzyskuje się poprzez zastosowanie :

- naczyń rtęciowych – w kompasach jednożyroskopowych
- obniżenie środka ciężkości zespołu żyroskopowego – w kompasach dwużyroskopowych



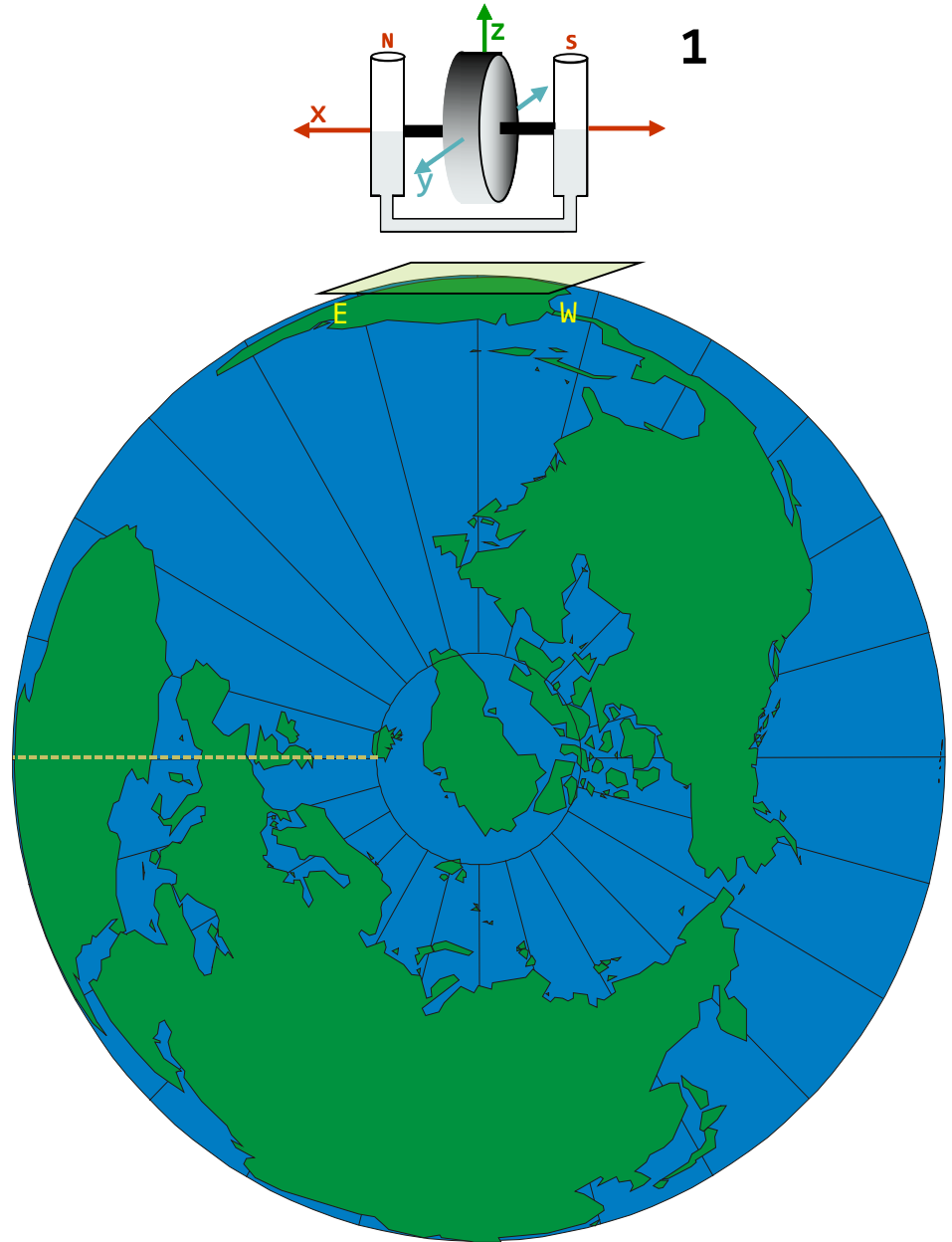
Efekt żyroskopowy

Przy poziomym ustawieniu osi x ilość rtęci w obu naczyniach jest jednakowa, a środek ciężkości zespołu naczyń pokrywa się ze środkiem ciężkości żyroskopu. W takim położeniu na żyroskop nie działa moment sił zewnętrznych.

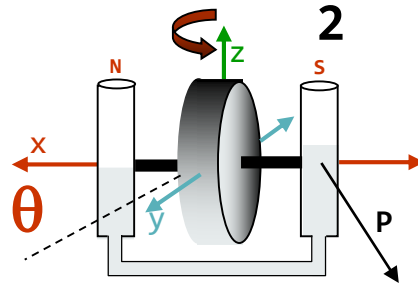


Efekt żyroskopowy

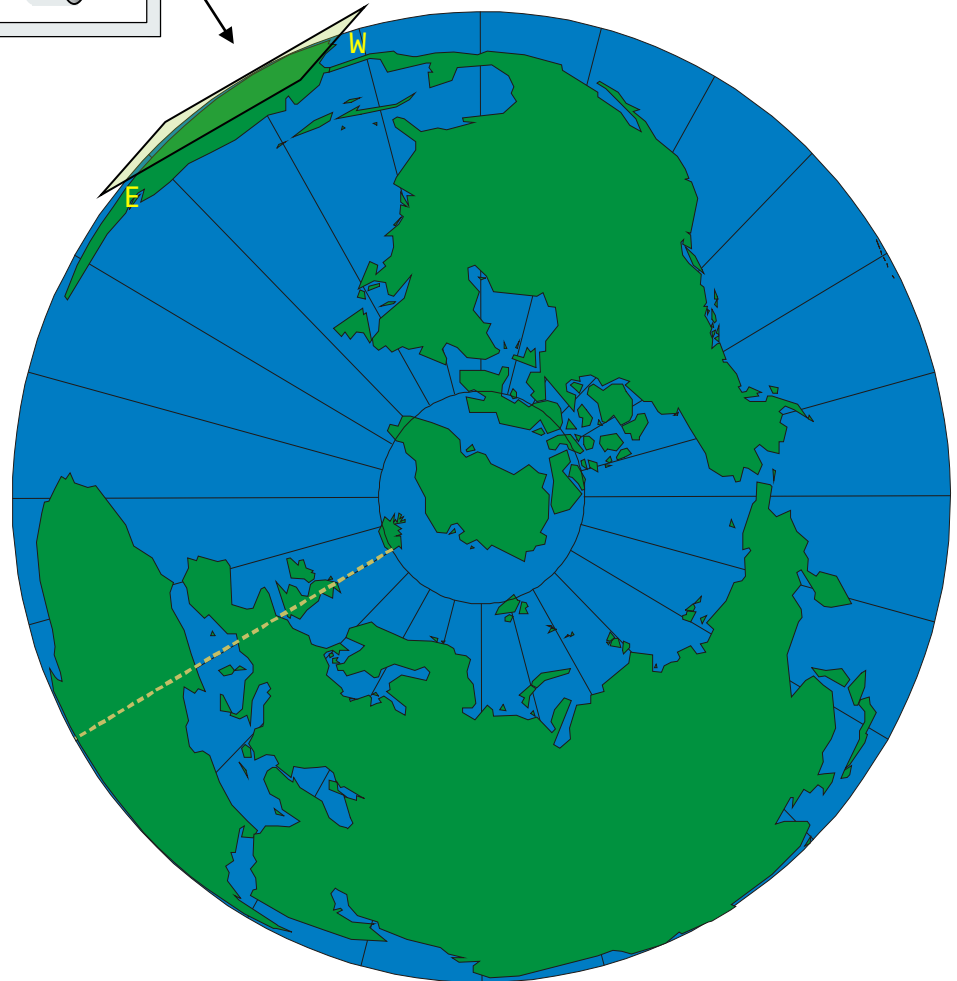
W położeniu 1 oś x jest ustawiona poziomo na równiku i skierowana północnym końcem w kierunku wschodnim od płaszczyzny południka



Efekt żyroskopowy



Po pewnym czasie kula ziemską obróci się o kąt θ co spowoduje podniesienie się osi x o ten sam kąt nad płaszczyznę horyzontu i rtęć z naczynia północnego zacznie przelewać się do naczynia południowego. Jej nadmiar o ciężarze P wywoła ruch precesyjny wokół osi z.



Efekt żyroskopowy

Ruch ten spowoduje przemieszczanie się osi głównej żyroskopu nad płaszczyznę horyzontu w kierunku płaszczyzny południka.

Północny koniec osi głównej żyroskopu, skierowany początkowo w kierunku wschodnim (położenie 1), zacznie przemieszczać się w kierunku północnym i zatoczy łuk nad horyzontem do płaszczyzny południka (położenie 2). Następnie nie zatrzyma się w płaszczyźnie południka, tylko przemieści się w kierunku zachodnim i dojdzie do płaszczyzny horyzontu (położenie 3).

Od położenia tego oś główna zacznie przemieszczać się pod horyzontem i przechodząc przez płaszczyznę południka (położenie 4), powróci do punktu wyjścia.

Płaszczyzna południka

2

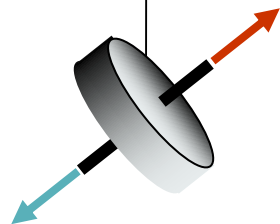
Efekt żyroskopowy

Płaszczyzna horyzontu

1
E

3
W

4



Efekt żyroskopowy

Droga zakreślona przez oś x żyroskopu jest elipsą. Wahania osi wokół płaszczyzny południka nazywamy WAHANIAMI NIETŁUMIONYMI lub ELIPTYCZNYMI

Okres czasu w którym oś x żyroskopu zakreśli pełną elipsę nazywamy OKRESEM WAHAŃ NIETŁUMIONYCH ŻYROSKOPU

Żyroskop taki nie może pełnić roli kompasu ponieważ wywołany ruch precesyjny spowodował tylko chwilowe wprowadzenie osi x w płaszczyznę południka.

Aby żyroskop mógł pełnić rolę kompasu, jego oś główna powinna ustawiać się w płaszczyźnie południka. W tym celu należy stłumić jego wahania eliptyczne.

Efekt żyroskopowy

W kompasach jednożyroskopowych precesję dodatkową uzyskuje się przez przesunięcie punktu połączenia naczyń rtęciowych z obudową w kierunku wschodnim o kąt ε

W kompasach dwużyroskopowych uzyskuje się to przez zastosowanie tłumika olejowego umieszczonego w górnej części żyroskopu.

Przesunięcie punktu połączenia naczyń rtęciowych z obudową w kierunku wschodnim wywołuje dodatkowy ruch precesyjny żyroskopu wokół osi y .

Efekt żyroskopowy

Precesja dodatkowa zawsze kieruje oś główną żyroskopu w stronę płaszczyzny horyzontu. Przy wzniesieniu osi nad horyzont precesja dodatkowa obniża to wzniesienie a przy obniżeniu osi pod horyzont podwyższa to obniżenie.

Powoduje to tłumienie wahań eliptycznych, a droga osi x żyroskopu zmienia się z eliptycznej na spiralną.

Dzięki wywołaniu dodatkowej precesji uzyskuje się tłumienie wahań eliptycznych osi x żyroskopu, jej wejście w płaszczyznę południka i utrzymywanie stałego kierunku względem Ziemi. Położenie takie nazywa się położeniem równowagi osi głównej żyroskopu .

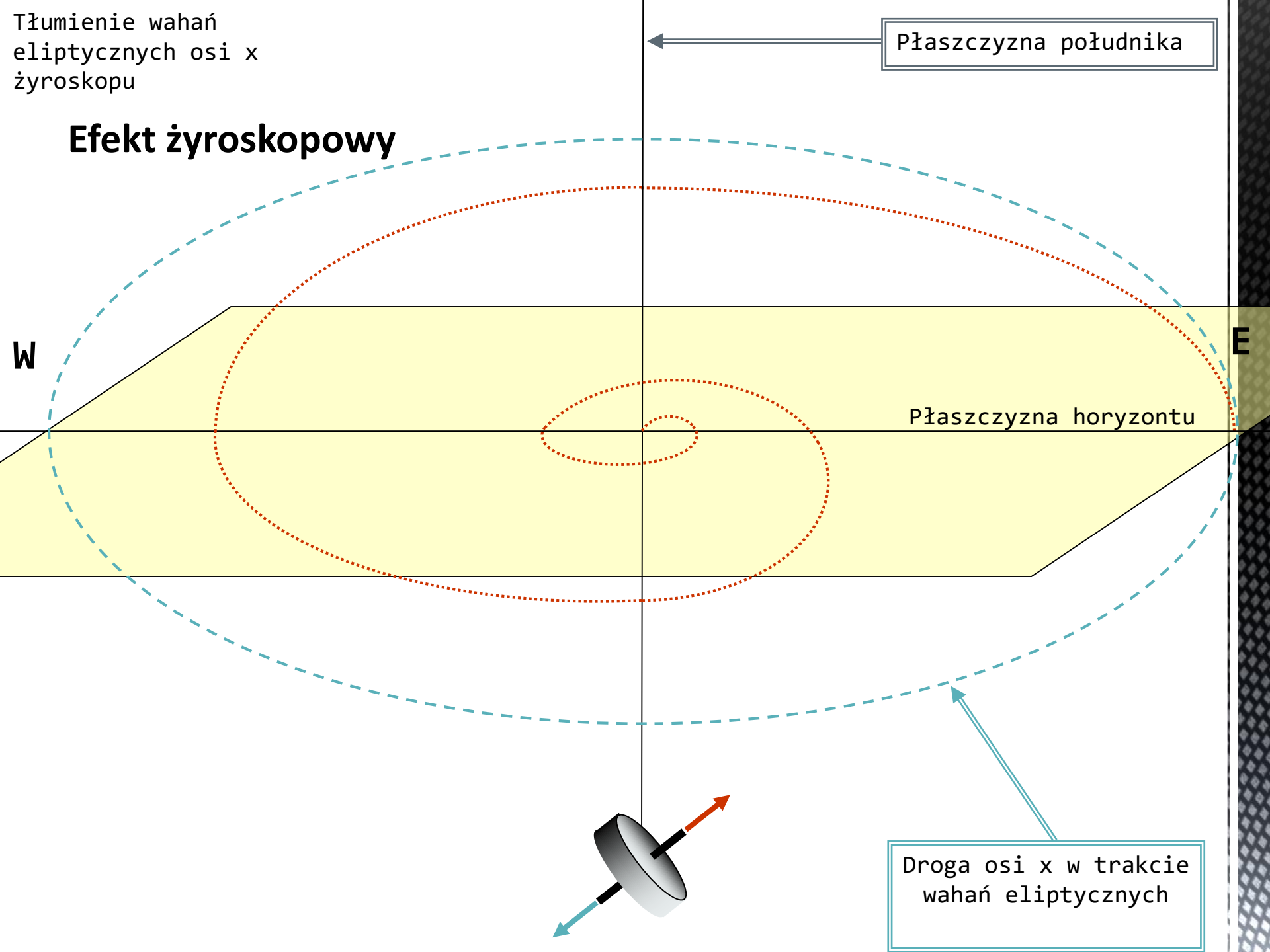
Tłumienie wahań
eliptycznych osi x
żyroskopu

Efekt żyroskopowy

Płaszczyzna południka

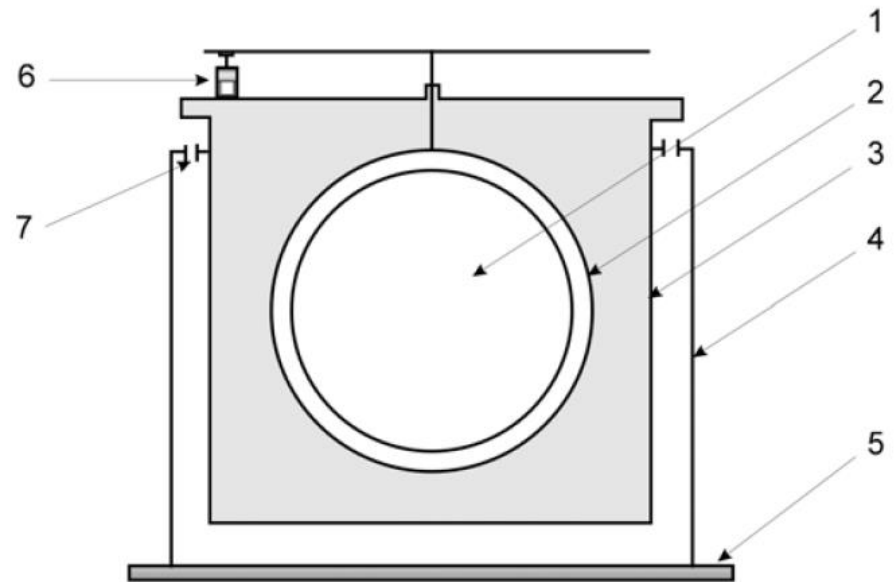
Płaszczyzna horyzontu

Droga osi x w trakcie
wahań eliptycznych



Budowa żyrokompasu

1. Kula żyroskopowa
2. Kula naśladowcza
3. Zbiornik
4. Obudowa
5. Podstawa żyrokompasu
6. Silnik azymutalny
7. Zawieszenie kardanowe



Zasada działania

Po uruchomieniu żyrokompasu kula żyroskopowa zaczyna wykonywać wahania tłumione i po pewnym czasie ustawia się nieruchomo, wyznaczając linię N - S żyrokompasową.

Gdy statek płynie stałym kursem, zespół naśladujący znajduje się w równowadze, ponieważ między elektrodami wodzącymi kuli żyroskopowej i naśladującej oporności r_1 i r_2 są sobie równe.

Przy zmianie kursu okrętu kula żyroskopowa będzie utrzymywała nadal stały kierunek, natomiast naśladująca obróci się wraz ze statkiem. To z kolei spowoduje naruszenie równości oporów między elektrodami i wywoła przepływ prądu, który uruchomi silnik azymutalny obracający kulę naśladującą oraz tarczę ze skalą co umożliwia odczytanie nowego kierunku.

Błędy żyrokompasów

Żyrokompas podobnie jak inne urządzenia pomiarowe wyznacza kurs z pewnymi błędami. Błędy te możemy podzielić na dwa rodzaje:

- stałe (systematyczne)
- zmienne (przypadkowe)

Ze względu na miejsce powstawania błędów możemy wyróżnić błędy:

- instrumentalne
- metodyczne.

Błędy żyrokompasów

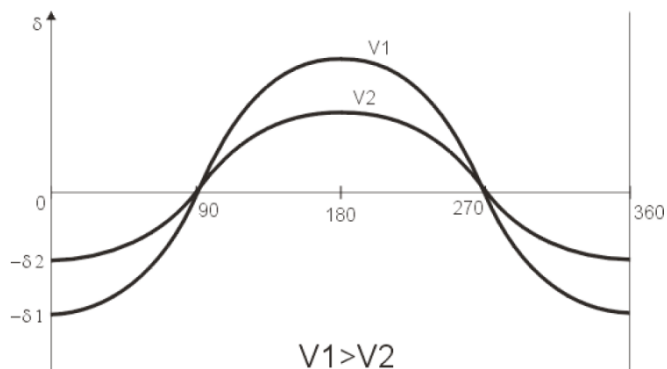
Błędy instrumentalne powstają w wyniku niedoskonałości wykonania żyrokompasu, jego zużycia, błędów odczytu wartości kursu.

Błędy metodyczne to błędy wynikające z niedoskonałości zastosowanej metody pomiaru. Przyczyną powstania tych błędów jest ruch statku. Do tego rodzaju błędów należą:

- dewiacja prędkościowa
- dewiacja inercyjna
- dewiacja wywołana kołysaniem statku

Błędy żyrokompasów

Dewiacja prędkościowa – wielkość tej dewiacji uzależniona jest od prędkości, kursu i szerokości geograficznej statku. Wartość dewiacji prędkościowej jest wprost proporcjonalna do prędkości statku, zależność od kursu przedstawiona została na rysunku. W praktyce do określenia dewiacji prędkościowej korzysta się z tabel lub automatycznych korektorów dewiacji prędkościowej.



Latitude	Northerly		Southerly		Speed of knots			
	Course							
	Sign of course correction				4	8	12	16
	-		+					
55	0	360	180	180	0.4	0.9	1.3	1.7
	15	345	165	195	0.4	0.9	1.3	1.7
	30	330	150	210	0.4	0.8	1.1	1.5
	45	315	135	225	0.3	0.6	0.9	1.3
	60	300	120	240	0.2	0.4	0.7	0.9
	75	285	105	255	0.1	0.2	0.3	0.5
	90	270	90	270	0.0	0.0	0.0	0.0
60	0	360	180	180	0.5	1.0	1.5	2.0
	15	345	165	195	0.5	0.9	1.4	1.9
	30	330	150	210	0.4	0.8	1.3	1.7
	45	315	135	225	0.4	0.7	1.1	1.6
	60	300	120	240	0.3	0.5	0.8	1.2
	75	285	105	255	0.2	0.3	0.4	0.6
	90	270	90	270	0.0	0.0	0.0	0.0

Błędy żyrokompasów

Dewiacja inercyjna – przyczyną powstawania dewiacji inercyjnej są przyspieszenia jakie powstają podczas manewrów statku, tzn. zmiany prędkości lub kursu. W wyniku działania przyspieszenia na żyroskop działają siły bezwładności, które powodują precesję żyroskopu. Oś elementu pomiarowego z położenia równowagi przesuwa się względem południka. Powstały błąd jest sumą dewiacji inercyjnej pierwszego i drugiego rodzaju.

Dewiacja pierwszego rodzaju wynika z oddziaływania przyspieszenia na obniżony środek ciężkości.

Dewiacja drugiego rodzaju występuje w wyniku działania przyspieszenia na tłumik olejowy.

Błędy żyrokompasów

Dewiacja inercyjna

Największa wartość dewiacji inercyjnej występuje w chwili zakończenia manewru, po czym na skutek działania momentu kierującego żyrokompasu i tłumienia wahań wraz z upływem czasu dąży do zera.

Wartość dewiacji inercyjnej zależy od:

- prędkości i kursu statku przed rozpoczęciem manewru,
- prędkości i kursu statku po zakończeniu manewru,
- szerokości geograficznej
- upływu czasu od chwili zakończenia manewru

W praktyce uwzględnienie wszystkich czynników jest niezwykle trudne, przyjmuje się, że błąd też zanika po około 1,5 h od zakończenia manewru

Błędy żyrokompasów

Dewiacja wywołana kołysaniem statku – falowanie morza powoduje kołysanie statku, podczas którego powstaje przyspieszenie, które działając na obniżony środek ciężkości elementu pomiarowego oraz na olej znajdujący się w układzie tłumienia powoduje powstanie błędu.

Dewiacja ta w trudnych warunkach środowiskowych osiąga w wysokich szerokościach geograficznych maksymalną wartość $\pm 1,5^\circ$, w średnich szerokościach dochodzi zaledwie do $\pm 0,5^\circ$.

Maksymalne wartości dewiacja ta osiąga na kursach ćwiartkowych. W praktyce nie wyznacza się poprawki na ten błąd, należy jednak brać pod uwagę pogorszenie dokładności wyznaczania kursu podczas kołysania statku

Kompasy satelitarne

Wszystkie kompasy satelitarne są w istocie wieloantenowymi odbiornikami GPS, które poza standardową informacją dostępną w typowym odbiorniku dostarczają informację o orientacji anten względem wybranego kierunku odniesienia. Rozwiązania takie znajdują obecnie zastosowanie nie tylko na morzu, ale także w lotnictwie i geodezji przemysłowej.

