

Rodzina zjawisk grawitacyjnych

(Napisał: Bogdan Szenkaryk "Pinopa")

Dedykuję wszystkim, którzy to rozumieją.....

...Odrzućcie wątpliwości!.....

To rozumieją wszyscy - to jest prostsze od prostego.....

Spis treści

Wstęp

Wahadło, libracja Księżyca

Żyroskop - precesja, nutacja

Żyroskop - dryf osi "płaskiego" żyroskopu, dryfowa nutacja

Żyroskop - dryf osi rzeczywistego żyroskopu

Zamiast zakończenia

Skorowidz pojęć i skrótów

Wstęp

Zacznijmy od wyjaśnienia rzeczy najprostszej...

W szkołach uczono nas o siłach, uczono o trzech prawach dynamiki Newtona... Do pojęcia "siła" jesteśmy tak przyzwyczajeni, że wydaje się nam, że na fundamentalnym poziomie budowy i właściwości materii bez niego w fizyce nie można niczego wyjaśnić. Znamy siłę dośrodkową i, równoważącą działanie tej siły, siłę odśrodkową. Wydaje się nam, że wyjaśnienie tego wszystkiego, co dzieje się w materiale koła zamachowego podczas szybkiego ruchu obrotowego - co może doprowadzić nawet do jego rozerwania - albo wyjaśnienie ruchu ciał niebieskich na orbitach w układzie planetarnym, nie jest możliwe bez posługiwania się pojęciem siły. W rzeczywistości, aby zrozumieć, co w takich sytuacjach się dzieje, pojęcie siły nie jest potrzebne. Ale niezbędne są pojęcia prędkości oraz przyspieszenia ruchu.

Należy zwrócić uwagę na to, że w niektórych przypadkach w fizyce pomysł stosowania pojęcia siły jest "mocno naciągany". Tak sprawa wygląda właśnie w przypadku ruchu orbitalnego planet.

Bo stosując drugie prawo dynamiki można powiedzieć, że istnieje siła dośrodkowa, która działa na planetę. Bo można powiedzieć, że zakrzywiony ruch planety na orbicie istnieje, ponieważ istnieje przyspieszenie dośrodkowe. Stosując iloczyn masy planety i jej przyspieszenia dośrodkowego można nawet wyliczyć, jak wielka jest to siła. Ale jeśli idzie o wielkość siły odśrodkowej, to ją już można wyliczyć jedynie przy zastosowaniu trzeciego prawa dynamiki Newtona. Bo w inny sposób nie można... Bo tak naprawdę nie istnieje coś takiego, jak "przyspieszenie odśrodkowe".

Podczas orbitalnego ruchu planety wokół centralnego ciała niebieskiego istnieje prędkość liniowa planety, której wektor jest styczny do trajektorii orbity w miejscu jej chwilowego położenia na orbicie, oraz przyspieszenie ruchu planety w kierunku centralnego ciała. Przyczyną tego przyspieszenia planety, które jedynie z powodu istnienia specyficznego układu ciał jest nazywane przyspieszeniem dośrodkowym, jest istnienie centralnego ciała. Centralne ciało istnieje, więc istnieje przyspieszenie dośrodkowe. Gdyby przy istniejącej chwilowej prędkości planety centralne ciało przestało istnieć, planeta przestałaby być planetą. Od tego momentu byłaby zwykłym ciałem niebieskim, na które nie działa żadne przyspieszenie dośrodkowe, a jej dotychczasowa prędkość chwilowa byłaby już pod względem wartości i kierunku stałą prędkością ruchu.

To, że w chwili zniknięcia ciała centralnego planeta zaczęłaby się poruszać ruchem jednostajnym prostoliniowym (wzdłuż linii stycznej do dawnej orbity), nie wynikałoby z oddziaływania "przyspieszenia odśrodkowego". Bo takie przyspieszenie nie istniało wcześniej, czyli przed zniknięciem ciała centralnego - wtedy istniało jedynie przyspieszenie dośrodkowe i żadne inne. Ale również takie przyspieszenie nie pojawiło się w chwili zniknięcia ciała centralnego.

Ten przypadek dobitnie świadczy o "mocno naciętym" pojęciu siły odśrodkowej.

Chyba że istnienie i działanie przyspieszenia odśrodkowego powiązać z istnieniem ciała centralnego w układzie planetarnym. Co prawda, nie znajduje się ono w samym centrum układu, ale w tym przykładzie nie to jest istotne. Tu istotne jest to, że planeta również nadaje przyspieszenie ciału centralnemu i układ

jest stabilny dzięki wzajemnemu oddziaływaniu. To przyspieszenie można więc skojarzyć z pojęciem przyspieszenia odśrodkowego. Natomiast siłę, która działa na ciało centralne, można skojarzyć z siłą odśrodkową, bo jest ona równa pod względem wartości sile dośrodkowej, która działa na planetę, i jest przeciwnie skierowana.

Ale siła odśrodkowa zazwyczaj nie jest używana w takim znaczeniu, że dotyczy ona ciała centralnego. Siła odśrodkowa jest traktowana jako skutek działania bezwładności ciała i uważa się, że jest ona "przyłożona" do tego samego ciała, na które działa przyspieszenie i siła dośrodkowa. Najlepiej to widać wtedy, kiedy jako przykład podaje się działanie siły odśrodkowej na pasażerów samochodu jadącego dużą z prędkością na zakręcie. Wówczas nacisk ciał pasażerów na konstrukcję samochodu tłumaczy się jako działanie siły odśrodkowej.

Przykład z pasażerami, którzy są poddawani działaniu siły odśrodkowej, świadczy dobitnie o tym, że pojęcie "siła" (w tym przypadku - odśrodkowa) pochodzi od skojarzeń człowieka z jego przeżyciami psychicznymi, kiedy podczas ruchu odczuwa on wymuszoną zmianę kierunku ruchu jego organizmu. W rzeczywistości, w takiej sytuacji w każdej chwili istnieje jedynie prędkość ruchu poszczególnych cząstek organizmu człowieka, co w makroskali jest postrzegane jako prędkość ruchu jego całego organizmu, oraz istnieje działające na człowieka przyspieszenie, które hamuje ten ruch i zmienia jego kierunek. Bezpośrednią przyczyną przyspieszenia jest oddziaływanie elementów konstrukcji samochodu (fotel, pasy bezpieczeństwa), które wymuszają określony ruch pasażerów. Gdyby nie było tego wymuszenia - przyspieszenia, które zmienia wartość i kierunek prędkości - pasażer dalej poruszałby się z niezmienną prędkością. Mówi się, że w takiej sytuacji (gdyby poruszał się z niezmienną prędkością) poruszałby się wskutek bezwładności, co zazwyczaj rozumie się jako ruch wskutek działania siły bezwładności. Zapomina się w takiej sytuacji o tym, że gdy nie ma przyspieszeń, to także nie ma działania siły.

Co więc począć z pojęciem siły?... Czy jest ono niepotrzebne? Nie. To pojęcie jest nawet bardzo potrzebne, ale dla innych przypadków. Powinno ono być stosowane w takich przypadkach, gdy jego zastosowanie nie wpłynie ujemnie na ścisłość naukowego przekazu, oraz gdy to pojęcie jest używane "w większym stopniu" w znaczeniu potocznym, aniżeli naukowym. W naukowym sensie siła jest czymś, o czym nauka nie może wystarczająco ściśle się wypowiadać, podobnie jak nie może ściśle wypowiadać się o Bogu (czy bogu). Nauka nie może wypowiadać się ściśle o działaniu siły jako przyczyny sprawczej, która powoduje ruch i przyspieszenie na fundamentalnym poziomie oddziaływania, czyli na poziomie oddziaływań między składnikami strukturalnymi, które w nanoskali przyczyniają się do istnienia mikrostruktur, a w megaskali przyczyniają się do istnienia układów planetarnych. Nauka może jednak "wystarczająco" ściśle (bo na podstawie matematycznego wzoru) wypowiedzieć się o sile jako skutku istnienia masy i przyspieszenia, kiedy to wartość tego parametru wylicza się z (przyjętego umownie do stosowania w fizyce) iloczynu masy ciała i jego przyspieszenia.

Innym obszarem wiedzy fizycznej, w którym pojęcie siły nie na wiele się przydaje, jest wiedza o (wspomnianej już) strukturalnej budowie materii. Według dzisiejszej nauki w strukturach materii działają rozmaite siły. Są tam siły wiązań międzyatomowych, siła van der Waalsa itd. Ale z oddziaływania wszystkich sił nie wynika bezpośrednio to, co w tych strukturach jest najbardziej istotne. A najbardziej istotne w nich jest zjawisko wzajemnego przyspieszania istniejących tam składników strukturalnych.

Zjawisko wzajemnego przyspieszania składników materii jest tożsame ze zjawiskiem wzajemnego przyspieszania ciał niebieskich np. w układzie planetarnym, które obserwuje się w megaskali. Inna jest tylko skala odległości oraz inny sposób, w jaki zmienia się funkcja przyspieszeniowa w megaskali i w nanoskali. Przy mega-odległościach między składnikami materii (tworzącymi ciała niebieskie) istnieje przyspieszanie składników "zawsze do siebie", czyli istnieje tylko wzajemne przyciąganie się. Natomiast przy nano-odległościach istnieje przyspieszanie i "do siebie", i "od siebie". Przy tej skali istnieją bowiem takie odległości między składnikami, przy których istnieje zerowe przyspieszenie. Czyli przy odległości między dwoma składnikami, przy której istnieje zerowe przyspieszenie, dany składnik nie przyspiesza innych składników. Dopiero gdy sąsiedni składnik znajdzie się w mniejszej odległości od danego składnika, wówczas dany składnik nada temu sąsiadowi przyspieszenie "od siebie", czyli nada mu dodatnie przyspieszenie - odepchnie go od siebie. A gdy ten oddali się na większą odległość, niż wynosi

odległość od miejsca z zerowym przyspieszeniem, wówczas będzie on otrzymywał przeciwnie skierowane przyspieszenie, czyli będzie przyciągany. W ten sposób składniki materialnej struktury, drgając wokół miejsc z zerowym przyspieszeniem, utrzymują się nawzajem w stabilnych położeniach.

Wahadło, libracja Księżyca

Prostym przykładem, który pokazuje działanie przyspieszenia, jest wahanie wahadła. Nie będące w ruchu wahadło swobodnie zwisa pod działaniem przyspieszenia, jakie nadaje mu Ziemia. Odchylone w bok od położenia równowagi, jaka istnieje podczas "swobodnego zwisania", i puszczane swobodnie, pod wpływem przyspieszenia ziemskiego zaczyna się wahać. W przypadku zwykłego wahadła, aby ono mogło działać, muszą istnieć więzy, które utrzymują jego oś w stałym położeniu. W tym przypadku jest to miejsce zawieszenia wahadła w stałej odległości od centrum przyspieszającego pola, czyli od środka Ziemi.

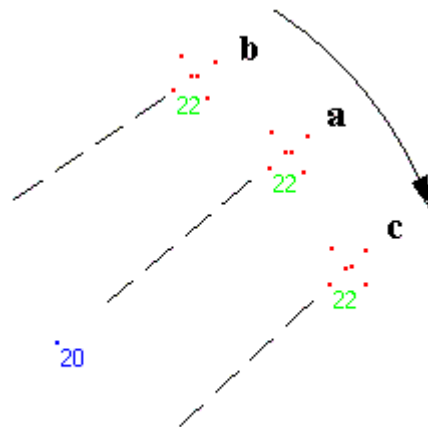
Rodzajem wahadła, które działa dzięki innym więzom, jest Księżyc. On również wykonuje wahania, a proces ten jest nazywany libracją.

Więzy, które przyczyniają się do tego, że Księżyc podczas orbitowania wokół Ziemi ma możliwość wykonywania wahań libracyjnych, są szczególnego rodzaju. Charakter tych więzów jest ściśle związany z przyspieszeniem dośrodkowym, jakie Ziemia nadaje Księżycowi, oraz z tym faktem, że wraz ze wzrostem odległości przyspieszające oddziaływanie Ziemi maleje.

Aby ułatwić zrozumienie istoty tych więzów, należy "w myślach" rozdzielić ciało Księżyca na dwie części: na część bliższą Ziemi - jest to część z mniejszą prędkością orbitalną (część MPO) - i część położoną dalej od Ziemi - jest to część z większą prędkością orbitalną (część WPO). Można na razie pominąć to, że Księżyc zachowuje się podobnie, jak wahadło i założyć, że Księżyc jest stale zwrócony (dokładnie) tą samą stroną w kierunku Ziemi. Wówczas obie części Księżyca podczas ruchu wokół Ziemi poruszają się dokładnie z tą samą prędkością kątową. Przy takim ruchu, z tą samą prędkością kątową, przyspieszenie dośrodkowe jest proporcjonalne do promienia orbity. A zatem teoretyczne, czyli wyliczone według wzoru, przyspieszenia dośrodkowe części Księżyca WPO i części MPO różnią się od siebie o tyle, o ile różnią się od siebie promienie orbit, po których poruszają się środki mas obu tych części Księżyca. Czyli teoretyczne przyspieszenie dośrodkowe części WPO jest większe od przyspieszenia dośrodkowego części MPO, i takie przyspieszenie dośrodkowe ta część powinna otrzymywać od Ziemi. A tymczasem Ziemia faktycznie działa z większym przyspieszeniem dośrodkowym na część MPO. Bo przyspieszenie ziemskie jest odwrotnie proporcjonalne do kwadratu promienia orbity.

Oznacza to, że część WPO w rzeczywistości znajduje się na swojej orbicie wyłącznie dzięki jej połączeniu z częścią MPO. Bo przy istniejącej prędkości kątowej i promieniu orbity sama ta część WPO nie mogłaby się utrzymać na tej orbicie. Utrzymuje się ona na niej dzięki temu, że otrzymuje właściwe dla jej położenia przyspieszenie dośrodkowe. Ale ten proces odbywa się za pośrednictwem części MPO, która przekazuje to przyspieszanie.

Właśnie ta sytuacja umożliwia ruchy libracyjne Księżyca, jakie on wykonuje znajdując się na orbicie wokół Ziemi. Jedna połowa (część) Księżyca WPO tworzy w tym układzie więzy i w pewnym sensie pełni rolę "orbitującej" osi, wokół której następują libracyjne wahania Księżyca jako całości. Natomiast połowa Księżyca MPO pełni rolę obciążnika wahadła. (Te wzajemne zależności są przedstawione bardziej dokładnie w rozdziale zatytułowanym "Żyroskop - dryf osi, dryfowa nutacja")



Rys. L. Libracja oktaedru

Na Rys.L przedstawiona jest modelowa sytuacja, w której ruchy libracyjne wykonuje bryła w postaci oktaedru, którego umowna oś symetrii przechodzi przez wierzchołek oznaczony jako "22". Na tym rysunku są przedstawione, nałożone na siebie, trzy obrazy przedstawiające położenie tej samej orbitującej bryły w różnych momentach czasowych oraz sytuacje z dwóch różnych rodzajów orbitowania. Jeden rodzaj orbitowania jest taki, że libracja nie występuje, i drugi rodzaj orbitowania - z istniejącą libracją.

Podczas orbitowania oktaedru w przyspieszającym (grawitacyjnym) polu, którego centrum znajduje się w punkcie oznaczonym "20", może on orbitować spokojnie, bez wahań, będąc stale zwrócony tym samym wierzchołkiem "dokładnie" w stronę centrum pola. W takiej sytuacji oś symetrii, przechodząca przez wierzchołek "22", nieustannie w czasie orbitowania przechodzi przez centrum przyspieszającego pola, czyli przez punkt "20" - na Rys. L. ta sytuacja oznaczona jest literą a. Wówczas oktaedr znajduje się w stanie równowagi trwałej. Ale oktaedr podczas orbitowania, znajdując się ciągle w stanie równowagi trwałej, może także wykonywać wahadłowe ruchy. Wówczas co pewien czas (np. co kilka okrążeń) jego oś symetrii jest maksymalnie odchyłona od neutralnego położenia w jedną bądź w drugą stronę, tak jak to widać w położeniach oznaczonych jako b oraz c na Rys. L.

Żyroskop - precesja, nutacja

Wahadła mogą mieć bardzo różnorodne kształty. Wahadłem może więc być cylindryczny dysk, który jest wyposażony w oś - może on być zawieszony obrotowo na zaczepie za pomocą jednego końca tej swojej osi. Wahadło takie działa podobnie, jak zwykłe wahadło, ale pod warunkiem, że dysk nie obraca się wokół swojej osi. Bo gdy dysk obraca się, wówczas zaczyna się sumowanie przyspieszeń wszystkich cząstek dysku, jakie one uzyskują dodatkowo wskutek obrotów, z przyspieszeniami uzyskiwanymi z zewnątrz, czyli tymi przyspieszeniami, które wcześniej z (nieobracającego się) dysku czyniły wahające się wahadło. Zaczyna się wówczas ruch dysku, który nazywa się ruchem precesyjnym, a zwykły dysk przy coraz większych obrotach staje się żyroskopem. Gdy dysk ma mniejsze obroty, nazywany jest wahadłem żyroskopowym.

Można obserwować stopniową zmianę ruchu wahadłowego, który w żaden sposób nie jest deformowany i którego istota polega na tym, że kolejne wahanía odbywają się stale w tej samej płaszczyźnie, na coraz bardziej widoczny ruch precesyjny i ruch, który jest nazywany nutacją. W tym celu w kolejnych doświadczeniach trzeba nadawać dyskowi coraz większe obroty, gdy on jest odchyłony od pionu, i uwalniać koniec jego osi, tak aby zawisając swoim drugim końcem osi na przegubowym zawieszeniu wykonywał wahlwe ruchy. Przy małych obrotach dysku widać, że obroty przyczyniają się do tego, że podczas ruchu wahadłowego oś dysku nie przechodzi już przez neutralne położenie, ale omija go "bokiem". (Neutralne położenie to takie położenie, w którym dysk, gdy jest zawieszony na jednym końcu osi, swobodnie, nieruchomo zwisa.) Ogólnie rzecz biorąc, są to ruchy podobne do wahań, ale wyglądające tak, jakby nieustannie zmieniała się płaszczyzna, w jakiej odbywa się ruch wahadłowy. Przy coraz większych obrotach dysku, w przeprowadzanych kolejno doświadczeniach, podczas kolejnych wahań dysku, omija on neutralne położenie w tak dużej odległości, że ruchy dysku są coraz mniej podobne do wahań, a coraz bardziej podobne do kołowego ruchu wokół punktu podwieszenia, który to

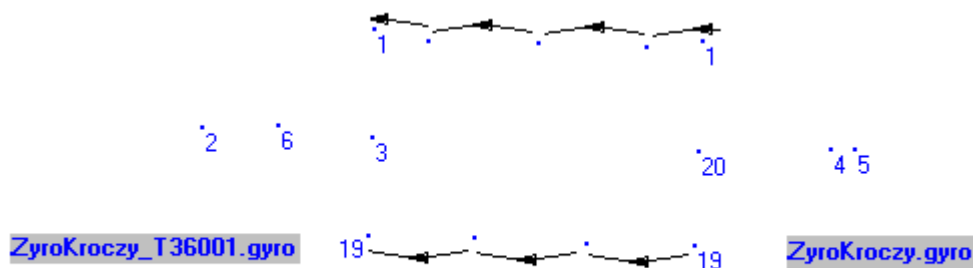
ruch jest nazywany precesją. Podczas tego ruchu zachodzi unoszenie i opadanie swobodnego końca osi. Te drgające ruchy to właśnie nutacja.

W fizyce ruch obrotowy żyroskopu, precesja i nutacja są opisane za pomocą matematycznych wzorów. Na podstawie wzorów nie można jednak dostrzec fizycznego mechanizmu, który jest przyczyną precesji i nutacji. A mechanizm ten jest prosty, ale jednocześnie zawiły w tym sensie, że przebiega on z udziałem wszystkich cząstek, które tworzą strukturę żyroskopu. Wypadkowy ruch żyroskopu odbywa się z udziałem chwilowych prędkości tych wszystkich cząstek. Te prędkości zmieniają się z chwili na chwilę i przenoszą cząstki w trakcie obrotów żyroskopu w coraz to nowe układy sytuacyjne, które są związane z przyspieszeniami dośrodkowymi i przyspieszeniami grawitacyjnymi. Ruchy wszystkich cząstek składowych żyroskopu i ich przyspieszenia mają wpływ na ruch wypadkowy żyroskopu, czyli na to, w jaki sposób on się zachowuje.

Wnikając w to, co dzieje się w żyroskopie w trakcie jego ruchu obrotowego, gdy jego oś jest położona poziomo, czyli gdy przyspieszenie grawitacyjne działa "w dół", można powiedzieć, co następuje. Przy założeniu, że patrzymy wzdłuż osi żyroskopu, a jego obroty są zgodne z ruchem wskazówek zegara, czyli "w prawo", możemy w myśli rozdzielić ciało żyroskopu na część lewą i część prawą. Przy danym kierunku obrotów żyroskopu prędkości cząstek w lewej i prawej części mają przeciwnie kierunki. Działające na cząstki grawitacyjne przyspieszenie w prawej części zwiększa ich prędkość, a zatem jest to część z realnym przyspieszeniem cząstek (część RPCz), natomiast w lewej części grawitacyjne przyspieszenie zmniejsza prędkość cząstek, a zatem jest to część z realnym hamowaniem cząstek (część RHCz). Podczas ruchu wirowego sytuacja nieustannie się zmienia - te same cząstki w czasie jednego obrotu żyroskopu połowę czasu znajdują się w części RHCz, a połowę czasu - w części RPCz. Prędkości oraz przyspieszenia wszystkich cząstek, jakie one uzyskują w każdym momencie, mają wpływ na to, w jaki sposób porusza się żyroskop. Ale na zachowanie żyroskopu ma również wpływ to, w jaki sposób jest on zawieszony bądź podparty. Rzecz w tym, że podobnie jak ruch każdej cząstki żyroskopu jest uwarunkowany przez ruchy sąsiednich cząstek i oddziaływania z nimi, tak samo dzieje się na styku ciała żyroskopu i jego podpory.

Przy założonym już kierunku ruchu obrotowego żyroskopu można go podeprzeć na jednym końcu osi za pośrednictwem przegubu Cardana - niech to będzie koniec osi bliższy względem obserwatora. Wówczas, jeśli na tę sytuację spojrzeć "z góry", oś żyroskopu zaczyna obracać się "w lewo" - wokół podpartego końca osi. Na Rys.ZK_a sytuacja ta jest przedstawiona jako "pierwszy łuk z prawej". Tutaj punktem podparcia końca osi 1-19 jest p. 19.

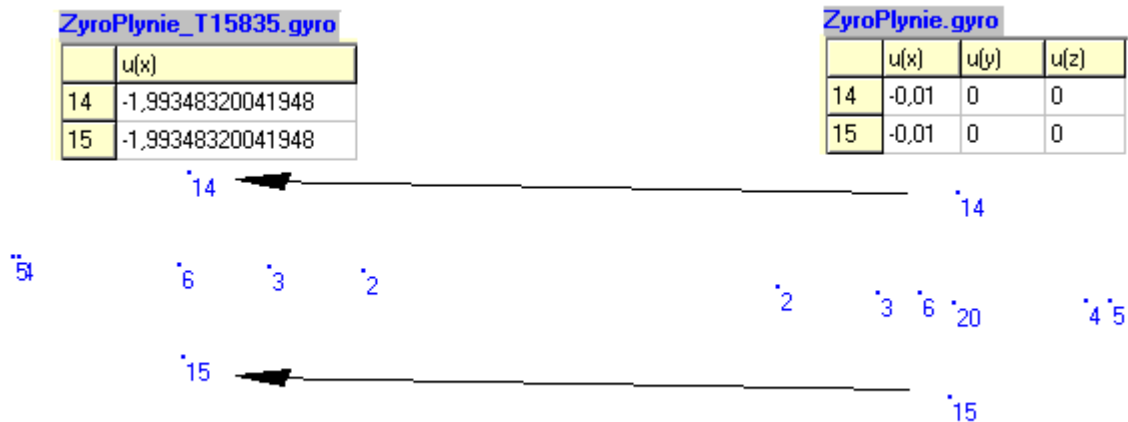
Na Rys.ZK_a można zobaczyć, w jaki sposób będzie zachowywał się żyroskop, jeśli na przemian, przez jednakowe odcinki czasu, przegubowo podpierać końce osi 19 i 1. Widać, że żyroskop podczas kolejnych etapów procesu, jakim jest jego ruch wirowy oraz podpieranie na przemian końców jego osi, wykonuje kroczący ruch w lewo. Punkt 20 na rysunku obrazuje położenie centrum pola grawitacyjnego, które przyczynia się do precesji żyroskopu i jego ruchu kroczącego. (Uwaga: Punkty 4, 5 oraz 2, 6, 3 symbolizują połowę dysku żyroskopu, którego oś obrotu przechodzi przez punkty 1 i 19 - połowy dysku w tych dwóch położeniach zostały "odcięte".)



Rys. ZK_a. Kroczący żyroskop

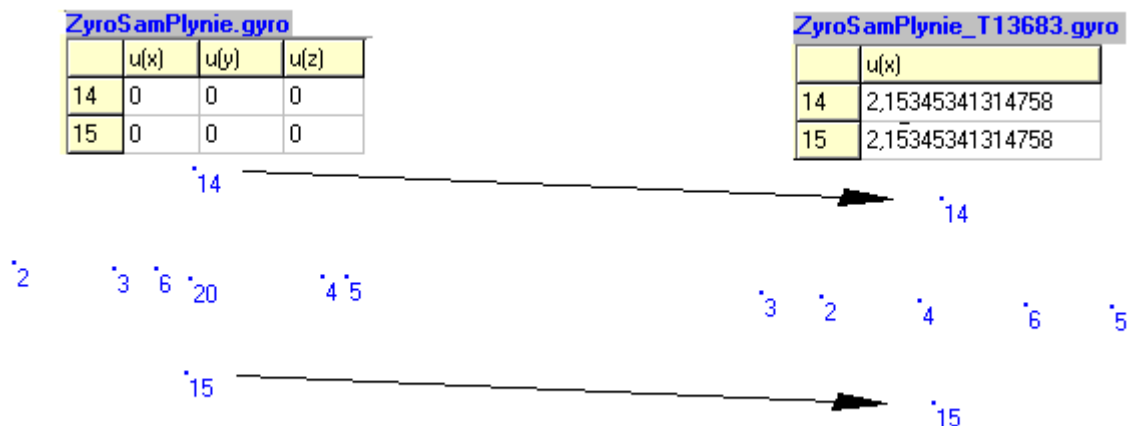
Ruch kroczący żyroskopu na Rys.ZK_a sugeruje, że jest możliwy ruch żyroskopu w sytuacji, gdy oba końce osi są podparte, ale istnieje możliwość ich poślizgu w miejscach podparcia. Sprawdzenie tej koncepcji na komputerowym modelu żyroskopu dało pozytywny wynik. Sprawdzona została możliwość

ruchu poślizgowego żyroskopu w tym samym kierunku, w którym żyroskop, którego końce osi są podpierane na przemian, ma skłonność do ruchu kroczącego. W tym kierunku żyroskop (w modelowanej sytuacji) ślizgał się i nawet przyśpieszał, ale pod warunkiem, że jego ruch rozpoczynał się od pewnej wartości prędkości początkowej. Ten ruch, jako że jego kierunek jest zgodny z kierunkiem ruchu żyroskopu kroczącego, jest na Rys.ZK_b określony z dopiskiem pro-. (Można uważać, że poślizg żyroskopu następuje w pro-kierunku.)



Rys. ZK_b. Ślizgający się żyroskop - pro-

W sytuacji, gdy żyroskop miał oba końce osi podparte na śliskiej powierzchni i rozpoczynał ruch z zerową prędkością początkową, to wówczas rozpoczynał ruch przyśpieszony w przeciwnym kierunku. Na Rys.ZK_c jest on określony z dopiskiem anty-. (Można uważać, że poślizg żyroskopu następuje w anty-kierunku.)



Rys. ZK_c. Ślizgający się żyroskop - anty-

Dla łatwiejszego zrozumienia zachodzących w tym przypadku procesów sumowania przyśpieszeń należy uwzględnić przyśpieszenia, jakie cząstki sobie nawzajem nadają i w ten sposób razem tworzą stabilną materialną strukturę żyroskopu. W pierwszym rzędzie trzeba odróżnić strukturę dysku, który jest wahlwie osadzonym dyskiem albo leży swobodnie na stole, lecz nie jest jeszcze "czynnym" żyroskopem, od struktury dysku jako żyroskopu, kiedy on jest podparty na jednym końcu osi za pomocą przegubu Cardana i posiada dużą prędkość obrotową.

W żyroskopie cząstki posiadają prędkości, które nieustannie się zmieniają. Zmiany zachodzą pod wpływem przyśpieszenia dośrodkowego, które cząstki uzyskują od struktury żyroskopu jako całości, i w wyniku przyśpieszenia grawitacyjnego. W wyniku tych przyśpieszeń i nieustannie zmieniających się prędkości cząstek składowych żyroskop jako całość, w stanie podwieszenia za jeden koniec osi, porusza się tak, że w jego ruchu można dostrzec przejawianie się wypadkowych prędkości cząstek z części RHCz i z części RPCz ciała żyroskopu. Gdy mamy żyroskop, którego oś leży poziomo, gdy obserwator patrzy wzdłuż osi i gdy żyroskop jest podwieszony za koniec, który leży bliżej obserwatora, a kierunek obrotów jest "w prawo", to (jak już była o tym mowa wcześniej) w lewej części żyroskopu cząstki są hamowane, a

w prawej przyspieszane. Nieustanne działanie grawitacyjnego przyspieszenia wyraża się w powstaniu takiego kierunku obrotów osi żyroskopu podczas precesji, że wypadkowe prędkości cząstek składowych żyroskopu w płaszczyźnie, w jakiej następuje ruch precesyjny osi, są większe w dolnej części żyroskopu, a mniejsze w górnej jego części. (Te cząstki przed chwilą, w pierwszym przypadku, znajdowały się w prawej części żyroskopu i były przyspieszane, a w nowej sytuacji ich prędkości pochodzą z sumowania dwóch prędkości - jedna wynika z prędkości obrotowej żyroskopu, a druga z prędkości ruchu precesyjnego. Natomiast w drugim przypadku, cząstki przed chwilą znajdowały się w lewej części żyroskopu i były hamowane, a w nowej sytuacji ich prędkości pochodzą z odejmowania się dwóch prędkości - jedna wynika z prędkości obrotowej żyroskopu, a druga z prędkości ruchu precesyjnego.)

Jak już o tym była mowa, przy spojrzeniu na tę sytuację "z góry" widać, że oś żyroskopu obraca się w lewo. I właśnie kierunek obrotu osi podczas precesji jest wyrazem tego, że większa wypadkowa prędkość cząstek składowych istnieje w dolnej części żyroskopu i mniejsza wypadkowa prędkość cząstek składowych istnieje w górnej jego części.

Na podstawie powyżej przedstawionego zachowania zarówno cząstek składowych żyroskopu, jak i jego samego jako całości, można domyślać się, że żyroskop podparty obydwoma końcami osi na śliskich poziomych powierzchniach powinien samoczynnie rozpocząć prostoliniowy ruch. Można domyślać się, że przy położeniu osi tego żyroskopu tak, aby była równoległa do osi żyroskopu krocącego i żeby kierunki wirowania obu żyroskopów były zgodne, jego kierunek ruchu powinien być zgodny z kierunkiem ruchu krocącego żyroskopu.

Tak jednak się nie dzieje - żyroskop podparty obydwoma końcami osi na śliskiej powierzchni nie chce poruszać się równoległe w tym samym kierunku, w jakim porusza się krocący żyroskop. Owszem, zaczyna on samoczynnie poruszać się, ale w przeciwnym kierunku. Przyczyną tego jest zjawisko zwane tarcie. Ale jest to najbardziej subtelny rodzaj tarcia, który istnieje wówczas, kiedy tarcie nie powstaje jeszcze wskutek nierówności powierzchni, kiedy występuje hamowanie ruchu. Subtelne tarcie, o którym tu mowa i które jest przyczyną ruchu w anty-kierunku, jest sam fakt istnienia podpory "od dołu", która działa na końce osi. W warunkach, gdy żyroskop wiruje i nie jest podparty "od dołu", sytuacja wszystkich cząstek pod względem wymiany prędkości i przyspieszenia z innymi sąsiednimi cząstkami jest w każdym kierunku prostopadłym do osi żyroskopu jednakowa. Ale sytuacja taka istnieje jedynie w żyroskopie podczas jego wirowania i swobodnego spadania w grawitacyjnym polu. Istnienie podpory "od dołu" nie pozwala żyroskopowi spadać. Podpora stwarza sytuację, że składowe prędkości cząstek żyroskopu, które są skierowane "w dół", po odbiciu, z powodu istnienia podpory, mają kierunek "do góry" - to jest przyczyną powstania asymetrii względem osi wirowania żyroskopu. Powstaje taka sytuacja, że po przeciwległej stronie względem podpory (czyli w górnej części żyroskopu) wypadkowe prędkości cząstek w kierunku, który jest równoległy do powierzchni śliskiej podpory, są większe niż wypadkowe prędkości cząstek po stronie podpory. Idzie tutaj o wartości bezwzględne tych prędkości, bo ich kierunki są przeciwne. Ta różnica wyraża się globalnie właśnie w taki sposób, że zaczyna się ruch żyroskopu w anty-kierunku. Sytuacja wygląda tak, jakby żyroskop toczył się po torze i ten ruch odbywał się z jednoczesnym dużym poślizgiem.

Należy szczególnie mieć na uwadze fakt, że powyższy proces odbywa się wskutek subtelnej tarcia, które istnieje z powodu istnienia toru podpierającego oba końce osi. Ale to subtelne tarcie istnieje między cząstkami w samej strukturze żyroskopu i tam ono przyczynia się do zmiany wartości wypadkowych prędkości cząstek składowych. Tarcie występujące wskutek ruchu żyroskopu wzdłuż toru, na którym są podparte jego osie, jest powszechnie znanym tarcie, które powstaje na ślizgających się powierzchniach. Nie jest ono pomocne w ruchu żyroskopu w anty-kierunku, a wręcz przeciwnie - ono ten ruch hamuje.

Powstaje pytanie, a jak to się dzieje, że żyroskop, który znajduje się w podobnej sytuacji, ale ma pewną prędkość początkową w pro-kierunku, nie hamuje tego ruchu, lecz kontynuuje i przyspiesza? Ten przypadek stwarza pewne wątpliwości i powinien być sprawdzony, czy w ogóle istnieje w naturze. Bo podobnie jak ruch krocący i ruch ślizgowy w anty-kierunku, był on sprawdzony jedynie za pomocą komputerowego modelu zjawiska. Podobnego laboratoryjnego sprawdzenia wymaga również ruch ślizgowy w anty-kierunku. Bo zjawisko występujące w określony sposób w komputerowym modelu, gdy

wszystkich cząstek składających się na wirujące ciało jest kilka czy kilkanaście, może przebiegać inaczej, niż gdyby cząstek była ogromna ilość albo gdyby doświadczenie było przeprowadzone w naturalnych warunkach w laboratorium. Tak więc ruch żyroskopu w pro-kierunku albo anty-kierunku istnieje na razie jedynie hipotetycznie i w modelowanej sytuacji. Istnienie tych ruchów w naturze wymaga doświadczalnego potwierdzenia. Istnienie kroczącego ruchu żyroskopu wynika z istnienia zjawiska precesji. Nikt zapewne podobnego doświadczenia nie wykonał, aby na przemian podpierać końce osi żyroskopu i zobaczyć ruch kroczący. Ale wykonanie takiego doświadczenia nie jest technicznie trudne. Któregoś dnia ktoś wykona wszystkie wymienione doświadczenia.

Żyroskop - dryf osi "płaskiego" żyroskopu, dryfowa nutacja

Dryfowanie osi żyroskopu jest zjawiskiem, którego istnienie było trudno przewidzieć. Było to trudne zwłaszcza z tego powodu, że nie był znany fizyczny mechanizm precesji i nutacji. W fizyce te dwa ostatnie zjawiska są, co prawda, opisywane za pomocą matematycznych wzorów, ale ten opis nie przedstawia fizycznego mechanizmu tych zjawisk, czyli oddziaływania na fundamentalnym poziomie. Nie może więc z niego wynikać istnienie w tej rodzinie jeszcze jednego zjawiska w postaci dryfu osi żyroskopu. Przeszkodą w odkryciu tego zjawiska było to, że w fizyce żyroskop jest przedstawiany jako szczególne urządzenie. A mianowicie, zgodnie z powszechnie panującym poglądem, gdy żyroskop jest umocowany za pomocą zawieszenia Cardana na pokładzie środka transportu (okrętu, samolotu), to jego oś ma stały kierunek w przestrzeni. Za przyczyną tej właściwości żyroskopu jest on wykorzystywany w przyrządzie, który nazywa się żyrokomпасem.

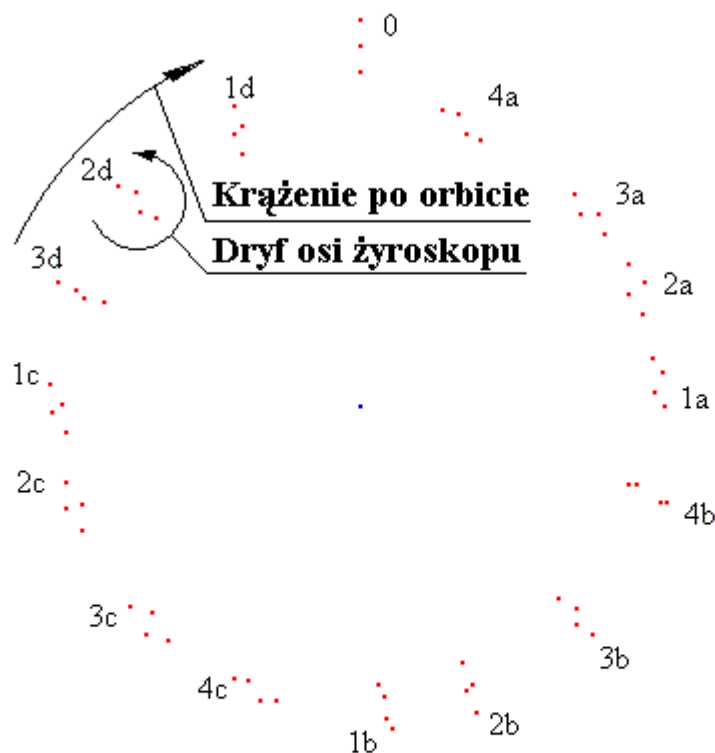
Tymczasem w pewnych warunkach ujawnia się przybliżony charakter właściwości żyroskopu, która polega na zachowaniu stałego kierunku osi w przestrzeni. Bo w pewnych warunkach występuje zjawisko w postaci dryfu osi żyroskopu, który polega na obrocie osi, czyli zmianie jej kierunku w przestrzeni. Podstawowa przyczyna dryfu osi żyroskopu jest taka sama, jak w przypadku precesji. W obu przypadkach jest ruch obrotowy żyroskopu i jest pole grawitacyjne, które z jednej strony przyspiesza cząstki składowe żyroskopu, a z drugiej strony je hamuje. Ingerencja zewnętrznego pola, które przyspiesza ruch cząstek składowych żyroskopu w trakcie jego wirowania, w obu przypadkach przyczynia się do powstania dodatkowego ruchu obrotowego jego osi w nowym kierunku. W przypadku precesji powstaje ruch obrotowy osi żyroskopu w płaszczyźnie, która jest prostopadła do kierunku działającego przyspieszenia grawitacyjnego. Natomiast w przypadku dryfu osi żyroskopu powstaje ruch obrotowy osi w płaszczyźnie, która jest równoległa do kierunku działającego przyspieszenia grawitacyjnego.

Dryf kierunku osi orbitującego żyroskopu zachodzi w sytuacji, gdy oś żyroskopu jest równoległa do płaszczyzny orbity. Natomiast zjawisko polega na obrocie tej osi w płaszczyźnie orbity w kierunku przeciwnym do kierunku ruchu żyroskopu na orbicie. Jest to równoznaczne z ruchem tej osi w płaszczyźnie, która jest równoległa do kierunku działającego przyspieszenia grawitacyjnego. W tym przypadku podczas ruchu żyroskopu na orbicie podlega on grawitacyjnemu przyspieszeniu, którego kierunek w miarę poruszania się po orbicie nieustannie się zmienia, ale płaszczyzna stale pozostaje ta sama - jest to płaszczyzna orbity.

Dryf osi żyroskopu jest przedstawiony schematycznie na Rys.GD1 i Rys.GD2. Przedstawiony na tych rysunkach żyroskop składa się z czterech cząstek, które wspólnie tworzą stabilną strukturę. W położeniu oznaczonym jako 0 cząstki symbolizujące żyroskop wirują w płaszczyźnie, która jest prostopadła do płaszczyzny rysunku i jednocześnie przechodzi przez punkt symbolizujący centralne ciało - centrum grawitacyjnego pola. Zgodnie z dotychczasową wiedzą o żyroskopach takie położenie osi żyroskopu powinno istnieć w każdej chwili podczas ruchu na orbicie, czyli także w sytuacjach, które na Rys.GD1 zostały oznaczone jako 1a, 1b, 1c, 1d, 2a, 2b, 2c itd. Tymczasem na rysunku widać, jak podczas orbitowania w kierunku "w prawo" następuje dryf osi żyroskopu, czyli jej powolny obrót "w lewo". Na rysunkach widać te zmiany podczas kolejnych okrążeń na orbicie.*)

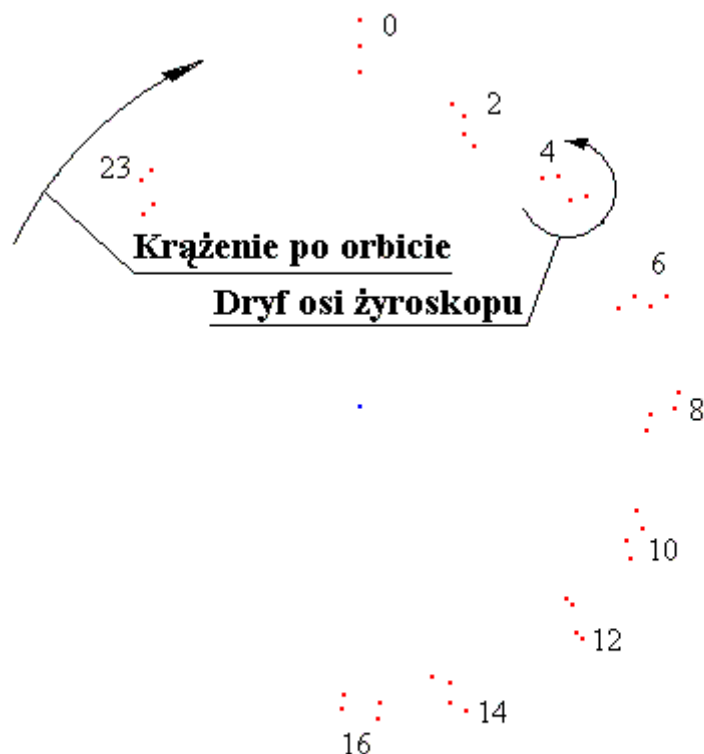
Podczas zmiany kierunku osi żyroskopu w przestrzeni, która jest tu nazywana dryfem osi, występuje jeszcze inne zjawisko - nazwijmy go tu dryfową nutacją. Jest to ruch drgający osi, który zachodzi w kierunku prostopadłym do kierunku przyspieszenia grawitacyjnego. (Tu można dodać, że nutacja, która towarzyszy precesji, jest ruchem drgającym, podczas którego koniec osi drga w kierunku równoległym do

kierunku przyspieszenia grawitacyjnego.) Dryfowa nutacja przejawia się w postaci kolebania osi żyroskopu w kierunku prostopadłym do płaszczyzny rysunku. Krótko mówiąc, jest to zjawisko towarzyszące dryfowi osi żyroskopu, a towarzyszy ono na podobnych zasadach, jak zjawisko nutacji towarzyszy precesji. W obu przypadkach są to drgania osi żyroskopu, które występują w towarzystwie zjawiska podstawowego - w jednym przypadku występują w towarzystwie precesji, a w drugim - w towarzystwie dryfu osi. Wspominamy o istnieniu tego zjawiska, choć zajmować się nim tutaj nie będziemy.



Rys. GD1. Położenie płaszczyzny wirowania żyroskopu "4punkty" na orbicie podczas czterech pierwszych orbitalnych obrotów. Następujące po sobie kolejne zmiany są numerowane od miejsca z numerem 0: 1a, 1b, 1c, 1d, 2a, 2b itd.

Na rysunkach przedstawione są zrzuty z ekranu komputera. Zrzuty zostały wykonane podczas modelowanego przebiegu dryfu osi żyroskopu przy wykorzystaniu jedynie idei wzajemnego oddziaływania cząstek, w postaci nadawanych sobie nawzajem przyspieszeń, i ich prędkości.*)

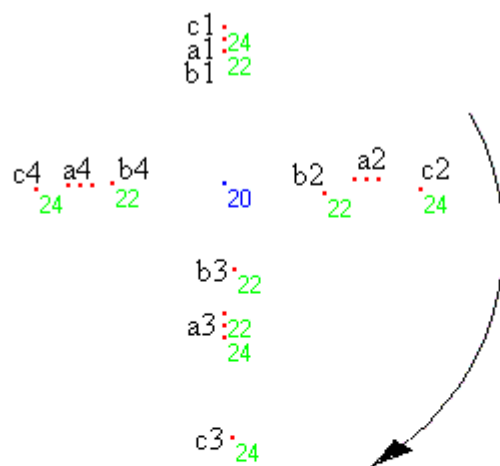


Rys. GD2. Położenie płaszczyzny wirowania żyroskopu "4punkty" na orbicie po wykonaniu 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, i 23 orbitalnych obrotów.

Można przypuszczać, że zjawisko dryfu osi żyroskopu przypadkowo odkryli fizycy pracujący w NASA. Możliwe, że stało się to w trakcie laboratoryjnego badania zachowań żyroskopu, który był zamocowany na szybko obracającym się dysku. Zjawisko zostało odkryte i przebadane w warunkach laboratoryjnych. A potem fizycy postanowili wykonać cztery żyroskopy i umieścić je na pokładzie sondy kosmicznej Gravity Probe B. Niewątpliwie, domyślano się, że i tam to zjawisko przejawia się w podobny sposób. ...I, podobnie jak wcześniej przejawiało się ono na obracającym się dysku, przejawiało się ono w podobny sposób na orbicie okołoziemskiej. Niektórzy fizycy (tak uczynili, na przykład, fizycy z Uniwersytetu Stanford oraz Amerykańskiej agencji NASA - <http://einstein.stanford.edu/index.html>) do tego odkrycia dopisują legendę. Według niej, istnienie zjawiska dryfu osi żyroskopu zostało przewidziane na podstawie teorii względności A. Einsteina. Natomiast rezultaty doświadczeń z żyroskopami, jakie zostały przeprowadzone na orbicie okołoziemskiej, zdaniem tych fizyków, potwierdzają istnienie zakrzywienia czasoprzestrzeni i słuszność samej teorii względności.

Aby zrozumieć działanie mechanizmu dryfu osi żyroskopu, należy mieć na uwadze zjawisko, które jest związane z libracją, ale jest również związane z takim ruchem ciała na orbicie, kiedy jest ono stale zwrócone tą samą swoją stroną w kierunku ciała centralnego i libracja nie występuje. W pewnym sensie to zjawisko istnieje w ukrytej postaci, i istniałoby ono nawet wówczas, gdyby orbitujące ciało było idealnie kuliste. Bo to zjawisko istnieje zawsze w orbitującym ciele. To zjawisko polega na tym, że jego części, nazwane umownie częścią MPO i częścią WPO, stanowią dla siebie nawzajem obciążenie. Bez łączności z częścią MPO (można założyć, że ona w pewnym momencie przestała istnieć), część WPO, zamiast krążyć po orbicie kołowej, krążyłaby po orbicie eliptycznej, której duża oś byłaby dłuższa od średnicy jej wcześniejszej orbity kołowej. I odwrotnie, bez łączności z częścią WPO, część MPO pomknęłaby po torze eliptycznym, na którym coraz bardziej zbliżałaby się do ciała centralnego, czyli poruszałaby się ona po orbicie eliptycznej, której duża oś byłaby krótsza od średnicy jej wcześniejszej orbity kołowej.*)

Na Rys.WO przedstawione są nałożone na siebie obrazy z różnych zrzutów ekranu komputera: są to cztery wybrane położenia na orbitach ciała a) krążącego jako jedność oraz cztery położenia jednej części tego ciała b), gdy zabrakło drugiej części c), i odwrotnie, cztery wybrane położenia części c), gdy zabrakło części b).



Rys. WO. Cztery wybrane położenia na nowych orbitach "zewnętrznej części" 24 i "wewnętrznej części" 22 (wcześniej tworzących jedną strukturę, której cztery wybrane położenia są także pokazane) w chwilę potem, gdy znikły więzy utrzymujące te części w jednej całości.

Położone na orbitach części b) i c) ciała mogą być rozpatrywane jako istniejące w różnym czasie. Ale mogą być też rozpatrywane jako orbitujące w tym samym czasie, lecz przy braku jakiegokolwiek oddziaływania między nimi.

Przyjęte założenie dotyczące zniknięcia jednej części (b lub c) orbitującego ciała bądź zniknięcia wzajemnego oddziaływania między częściami ciała (b i c) oraz przedstawienie skutków na rysunku pozwala łatwiej zrozumieć, że te części ciała nieustannie oddziałują ze sobą i dzięki temu oddziaływaniu ciało istnieje jako jedna całość. I, oczywiście, to oddziaływanie nie zależy od tego, czy ciało orbituje czy też nie. Ale tu można zobaczyć, jakie jest znaczenie tego oddziaływania dla orbitującego ciała. A można to zobaczyć dzięki temu że na części ciała (z powodu różnych odległości od ciała centralnego) działają odmienne przyspieszenia grawitacyjne.

Gdy oś żyroskopu leży w płaszczyźnie orbity i działające przyspieszenie grawitacyjne jest prostopadłe do osi, tak jak to ma miejsce na Rys.GD1 i GD2 w położeniu oznaczonym jako 0, to podczas obrotów żyroskopu wokół własnej osi jego części WPO i MPO (a mówiąc ściślej, składające się na te części cząstki) nieustannie zmieniają się miejscami. A zatem na cząstki żyroskopu nieustannie działają zmienne przyspieszenia, które istnieją (i zmieniają się) z powodu oddziaływania przyspieszenia grawitacyjnego oraz ruchu obrotowego żyroskopu. A dzieje się tak wskutek tego, że te same cząstki ciała żyroskopu na przemian zbliżają się i oddalają się od ciała centralnego.

Opisana zmienność przyspieszenia, które działa na cząstki, ma związek z podziałem ciała żyroskopu na części MPO i WPO. Ale na tę zmienność działającego na cząstki przyspieszenia można spojrzeć także z innego punktu widzenia, a mianowicie, gdy ciało żyroskopu jest w myśli podzielone na części prawą (RPCz) i lewą (RHCz). W jednej części cząstki wirującego żyroskopu są przyspieszane w wyniku grawitacyjnego oddziaływania i uzyskują dodatkowe prędkości, a w drugiej są hamowane i ich prędkość się zmniejsza. W przypadku orbitującego żyroskopu należy jednak mieć na uwadze oba te podziały. Bo w tym przypadku, gdy żyroskop znajduje się w położeniu 0 (oraz w położeniach do niego zbliżonych), cząstki znajdujące się w części WPO mają największą prędkość obwodową na orbicie (jest to składowa prędkości poszczególnych cząstek równoległa do płaszczyzny orbity), natomiast cząstki znajdujące się w części MPO żyroskopu mają najmniejszą prędkość obwodową. Wynika to z ruchu żyroskopu po orbicie. Nie jest to oczywiście tak wielka różnica, jak podczas swobodnego orbitowania ciała, gdy ciało podczas jednego obrotu na orbicie wykonuje jeden obrót wokół własnej osi. Bo w przypadku żyroskopu istnieje tendencja do zachowania stałego położenia osi w przestrzeni. Jednak różnica obwodowych prędkości zewnętrznej części i wewnętrznej części istnieje i wynika z zakrzywionego toru ruchu żyroskopu (pomimo

istniejącej tendencji do zachowania stałego kierunku osi w przestrzeni).

W chwilę po tym, gdy cząstki znajdują się w części WPO i mają największą prędkość obwodową (w ruchu orbitalnym), w wyniku ruchu wirowego żyroskopu znajdują się one w tej części, gdzie uzyskują dodatkowe przyspieszenie grawitacyjne w kierunku ciała centralnego. Po czym trafiają do części MPO, gdzie prędkość obwodowa jest najmniejsza. Potem znajdują się one w części, gdzie są hamowane, ale już znowu podążają do części WPO. I tak krążą, naprzemian zmieniając swoje prędkości i przyspieszenia, nieustannie zachowując - globalnie rzecz biorąc - swoje stabilne położenia w strukturze żyroskopu i przyczyniając się do utrzymania jedności tego ciała. Sumaryczne zmiany wypadkowych prędkości wszystkich cząstek składowych wyrażają się w taki sposób, że pod wpływem zarówno obrotów żyroskopu, jak i przenoszenia własnych prędkości obwodowych cząstek z części WPO do części MPO, i odwrotnie, czyli przenoszenia własnych prędkości obwodowych cząstek z części MPO do części WPO, następują zmiany prędkości obwodowych obu tych części. Część MPO żyroskopu, poruszająca się z mniejszą prędkością obwodową, zwiększa tę prędkość, a część WPO, poruszająca się z większą prędkością obwodową, zmniejsza tę prędkość. W ten sposób powstaje obrót osi w przeciwnym kierunku w stosunku do kierunku obrotów żyroskopu na orbicie. (Należy pamiętać, że mówi się tu o prędkościach równoległych do płaszczyzny orbity.) Końcowym efektem tych zmian i przemian, który jest obserwowany w doświadczeniach, jest właśnie dryf osi żyroskopu.

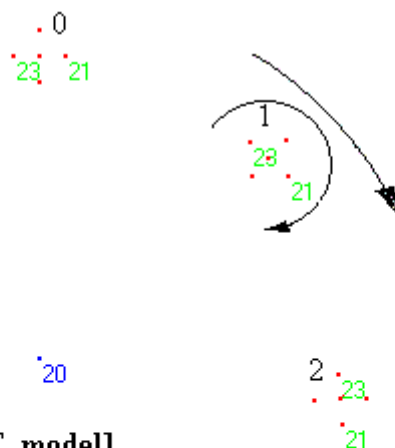
Żyroskop - dryf osi rzeczywistego żyroskopu

Efekt odmiennego wpływu tego samego przyspieszenia, grawitacyjnego, dośrodkowego, który polega na tym, że po jednej stronie obracającego się żyroskopu przyczynia się ono do wzrostu prędkości obrotowej jego cząstek składowych, a po drugiej stronie zmniejsza ich prędkość obrotową, będziemy nazywali dwustronnym akceleratorowym efektem, albo krótko - DA-efektem. Gdy patrzy się na obracający się żyroskop, to istnienia DA-efektu zobaczyć nie można. Oceniając "wzrokowo", obie strony żyroskopu, który jest usytuowany w taki sposób, że jego oś obrotu jest prostopadła do kierunku przyspieszenia grawitacyjnego, obracają się z jednakową średnią prędkością kątową. Ale jeżeli analitycznym umysłem zagłębić się w głąb struktury po obydwu stronach żyroskopu (po lewej i po prawej stronie względem jego osi), to wskutek pracy przyspieszenia grawitacyjnego i DA-efektu przebiegają tam różne procesy. Ogólnie biorąc, na zewnątrz, procesy te wyrażają swoje istnienie w postaci zjawisk: precesji, dryfu osi "płaskiego" żyroskopu (który był opisany powyżej w modelowej postaci) i obydwoma rodzajami nutacji, które towarzyszą precesji i i dryfowi osi.

Efekt odmiennego działania dośrodkowego przyspieszenia na części orbitującego ciała (żyroskopu) WPO i MPO, polegający na tym, że część ciała WPO pełni rolę osi, wokół której znajdujące się na orbicie ciało wykonuje podczas libracji wahadłowe ruchy, a część MPO pełni rolę ciężarka tego wahadła, będziemy nazywali dwustronnym wahadłowym efektem, albo krótko - DW-efektem. W tej definicji DW-efektu można dostrzec analogię z wahadłem, które pracuje, na przykład, w zegarze i służy do regulacji dokładności jego pracy.

Ten efekt jest dwustronny z tego powodu, że określenie, która część jest osią, a która ciężarkiem wahadła, jest umowne. Na ten temat można przedstawić odwrotną opinię. Można powiedzieć następująco. Z tego powodu, że w rzeczywistości część MPO pośredniczy w przekazywaniu do części WPO "wystarczająco dużej porcji" dośrodkowego przyspieszenia, która pozwala mu utrzymać się na orbicie, to właśnie część MPO pełni rolę osi wahadła, a ciężarkiem jest część WPO.

Niezależnie od tego, w jaki sposób interpretować DW-efekt, na jego podstawie w odpowiednich warunkach może przejawiać się libracja. A w innych warunkach, gdy istnieją obroty orbitującego ciała, może zachodzić hamowanie tych obrotów. Ale istnieją przypadki, gdy orbitujące ciało nie obraca się w płaszczyźnie orbity i w ogóle nie wykonuje żadnych obrotów (oprócz obrotów w ruchu orbitalnym), a DW-efekt sprzyja powstawaniu właśnie obrotów w tej płaszczyźnie. Taki właśnie przypadek jest przedstawiony na Rys.GE_model1.



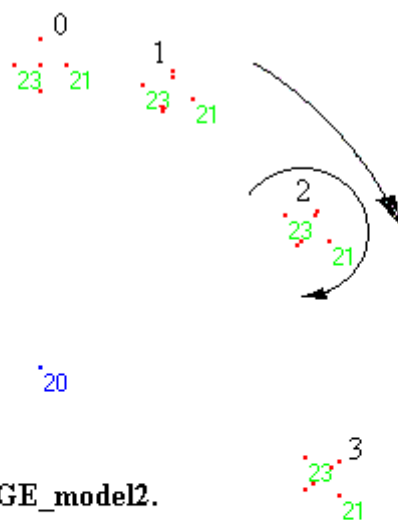
Rys. GE_model1.

Dryf osi 23-21 oktaedru podczas ruchu po orbicie wokół masywnego ciała 20 - na początku ruchu oktaedr nie obraca się wokół żadnej ze swoich osi; 0 - początek ruchu, 1 - położenie osi po wykonaniu 17467 iteracji obliczeniowych, 2 - położenie osi po wykonaniu 35461 iteracji obliczeniowych.

W tym przypadku, jak również w przypadku, który jest przedstawiony na Rys.GE_model2, ilość iteracji obliczeniowych, które program komputerowy wykonuje podczas jednego okrążenia na orbicie, równa się ok. 527.

Na rysunku widać, jak zmienia się położenie osi 23-21 po wykonaniu 17467 iteracji (ok. 33 okrążenia na orbicie). Jest to właśnie dryf osi, który przebiega wskutek przejawiania się DW-efektu. Należy tu pamiętać, że jest to dryf osi 23-21, wokół której oktaedr nie obraca się. Na podstawie tego przypadku widać, że dla zaistnienia dryfu obrotu wokół osi 23-21 nie są niezbędne.

Na Rys.GE_model2 przedstawiona jest podobna sytuacja, ale z oktaedrem, który, obracając się wokół osi 23-21, jest żyroskopem.



Rys. GE_model2.

Dryf osi 23-21 wirującego oktaedru podczas ruchu po orbicie wokół masywnego ciała 20; 0 - początek ruchu, 1 - położenie osi po wykonaniu ponad 555568 iteracji obliczeniowych, 2 - położenie osi po wykonaniu ponad 999998 iteracji obliczeniowych, 3 - położenie osi po wykonaniu 1574640 iteracji obliczeniowych.

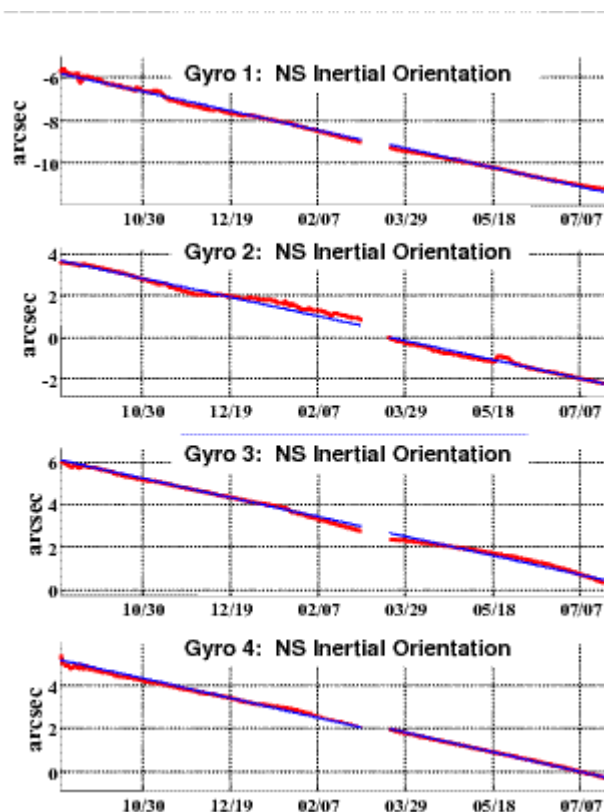
Jak widać na Rys.GE_model1 i Rys.GE_model2 kierunek dryfu osi jest zgodny z kierunkiem obrotu ciała na orbicie. A to jest odwrotny kierunek, aniżeli ten w którym dryfowała oś "płaskiego" żyroskopu, który

jest przedstawiony na Rys.GD1 i Rys.GD2. Rzecz w tym, że orbitując w polu grawitacyjnym inaczej zachowuje się "płaski" żyroskop, a inaczej zachowuje się żyroskop, który ma mocną, przestrzenną strukturę. "Płaski" żyroskop jest bardziej elastyczny i z tego powodu łatwiej poddaje się deformacjom. Z tego powodu w przypadku "płaskiego" żyroskopu na orbicie przeważa wpływ DA-efektu i zjawisko przeniesienia prędkości cząstek z części WPO do części MPO oraz z części MPO do WPO. Z tego powodu MPO stopniowo wyprzedza, a WPO stopniowo opóźnia się, i w taki sposób powstaje przeciwny kierunek dryfu w stosunku do kierunku ruchu na orbicie.

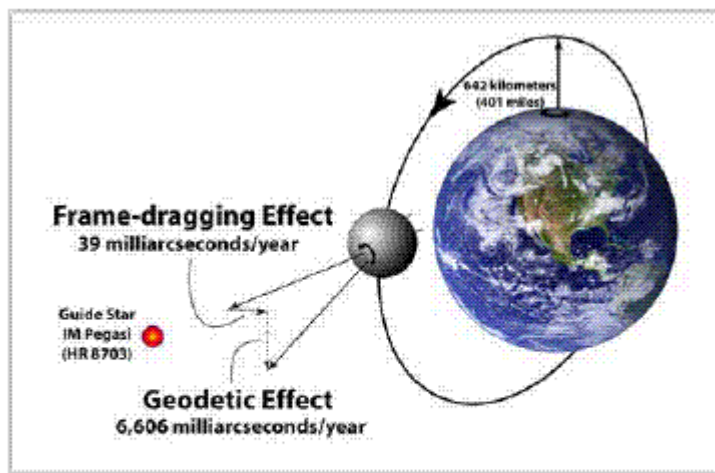
W przypadku przestrzennej struktury żyroskopu, który krąży po orbicie, przeważa wpływ DW-efektu, a DA-efekt nie jest wcale zauważalny.

Modelowe sytuacje, które są przedstawione na Rys.GE_model1 i Rys.GE_model2, różnią się od siebie tylko jednym szczegółem na Rys.GE_model2 oktaedr obraca się wokół osi 23-21. Porównując te sytuacje można dostrzec, że obroty oktaedru wokół osi 23-21 mocno wpływają na opóźnienie dryfu tej osi. W nowej sytuacji oś 23-21 oktaedru-żyroskopu podczas wykonania ok. 2988 okrążeń na orbicie (1574640 iteracji) obraca się (podczas dryfowania) na mniejszy kąt, aniżeli wtedy, gdy nie było ruchu wirowego, w ciągu wykonania ok. 67 okrążeń na orbicie (35461 iteracji). Świadczy to o tym, jak wielki jest opór żyroskopu, aby zachować uzyskany na początku kierunek osi obrotu.

Dotychczas rozpatrywaliśmy modelowe sytuacje, ale przybliżyliśmy się już do rzeczywistych sytuacji, które powstawały na pokładzie kosmicznej sondy Gravity Probe B podczas doświadczeń NASA. Na poniższym rysunku przedstawione są wykresy dryfu osi czterech żyroskopów.



Jak widać, kierunek, w jakim obraca się oś podczas dryfu, odpowiada sytuacji, jaka jest przedstawiona na Rys.GE_model2, i sytuacji, jaka jest przedstawiona na poniższym schematycznym rysunku NASA. Czyli, pokazuje, że zarówno obrót osi podczas dryfu, jak i kierunek orbitowania, są ze sobą zgodne.



Rys. GE. Prognozowany dryf osi żyroskopu na pokładzie sondy kosmicznej GP-B wg NASA (przez fizyków NASA nazywany precesją)

Nie ma tylko zgodności pod względem wielkości kąta obrotu osi żyroskopu w modelowanej i w rzeczywistej sytuacji. Ale ta różnica jest nieunikniona. Bo inaczej nie można byłoby w krótkim czasie w modelowanej sytuacji zobaczyć tego, co w rzeczywistości trwa miesiąc i lata.

(Dopisano 18.12.2010 r.)

Zamiast zakończenia

Po zapoznaniu się z przedstawioną tutaj rodziną grawitacyjnych zjawisk, po zapoznaniu się z programem komputerowym GyroDrift2010A.exe, za pomocą którego można modelować przebieg zjawisk grawitacyjnych, można powiedzieć co następuje. W pracy programu komputerowego GyroDrift2010A.exe, w celu wykonania wszystkich następujących po sobie ruchów modelowanych obiektów, są wykorzystywane jedynie prędkości i przyspieszenia obiektów - a przy tym przyspieszenia są sterowane za pomocą odpowiednich matematycznych funkcji. Obiekty, które są sterowane za pomocą programu komputerowego, które uczestniczą w modelowanych zjawiskach grawitacyjnych, zachowują się w podobny sposób, jak rzeczywiste obiekty, które uczestniczą w zjawiskach grawitacyjnych w naturalnych warunkach. O czym to świadczy?

Nie powołujemy się tutaj na teorie względności A. Einsteina i z powodzeniem opisujemy zjawiska grawitacyjne. Świadczy to o tym, że dla wyjaśnienia tych zjawisk nie są potrzebne teorie względności. I właśnie tę informację chcemy (autor i wszyscy, którzy mu pomagają) przekazać osobom z naukowego świata fizyków. Szczególnie chcielibyśmy, aby ta informacja trafiła do uczonych, którzy pracują w NASA i Stanford University. Dlatego że właśnie fizycy z tych naukowo-badawczych ośrodków znajdują się w czołówce tych, którzy tworzą fałszywą legendę o tym, że teorie względności są niezbędne dla wyjaśnienia zjawisk grawitacyjnych w dziedzinie grawitacji.

Jeśli ktokolwiek ma takie możliwości, niech przekaze tę informację osobom, które uczestniczyły w tworzeniu tej "nieszczęsnej" legendy.

Oto e-adresy tylko niektórych z nich:

(z Stanford University - oni napisali raport, który znajduje się na http://einstein.stanford.edu/content/final_report/GPB_Final_NASA_Report-020509-web.pdf) Robert Kahn - kahn@relgyro.stanford.edu, Francis Everitt - francis@relgyro.stanford.edu, Barry Muhlfelder - barry.muhlfelder@stanford.edu, Tom Langenstein - thomas.langenstein@stanford.edu, (z Harvard University) Hanspeter Pfister - pfister@seas.harvard.edu.

(Dopisano 18.12.2010 r.)

Skorowidz pojęć i skrótów:

część WPO - część orbitującego ciała, mająca (W)iększą (P)rędkość (O)rbitalną od prędkości, z jaką porusza się na orbicie środek masy tego ciała; większa prędkość orbitalna jest skutkiem większego promienia orbity, po której porusza się ta część ciała;

część MPO - część orbitującego ciała, mająca (M)niejszą (P)rędkość (O)rbitalną od prędkości, z jaką porusza się na orbicie środek masy tego ciała; mniejsza prędkość orbitalna jest skutkiem mniejszego promienia orbity, po której porusza się ta część ciała;

część RPCz i część RHCz - część orbitującego ciała, które jednocześnie wiruje wokół osi leżącej w płaszczyźnie orbity i tę oś ma prostopadłą do kierunku działającego na ciało przyspieszenia;

część RPCz leży po tej stronie płaszczyzny orbity przechodzącej przez środek masy ciała, po której prędkość obwodowa ruchu wirowego ma ten sam kierunek co przyspieszenie grawitacyjne, a jego działanie (R)ealnie (P)rzyśpiesza (Cz)ąstki, które składają się na ciało żyroskopu;

część RHCz leży po tej stronie płaszczyzny orbity przechodzącej przez środek masy ciała, po której prędkość obwodowa ruchu wirowego ma przeciwny kierunek, aniżeli kierunek przyspieszenia grawitacyjnego, a jego działanie (R)ealnie (H)amuje (Cz)ąstki, które składają się na ciało żyroskopu

dryf osi żyroskopu - zjawisko polegające na zmianie kierunku osi żyroskopu umieszczonego na pokładzie sondy kosmicznej - polegające na obrocie osi w płaszczyźnie orbity, przy czym kierunek obrotu osi jest przeciwny do kierunku ruchu sondy na orbicie

dryfowa nutacja - ruch drgający dryfującej osi żyroskopu - odbywa się on w kierunku prostopadłym do płaszczyzny, w której oś dryfuje

DA-efekt - dwustronny akceleratorowy efekt - efekt odmiennego wpływu przyspieszenia grawitacyjnego, polegający na tym, że po jednej stronie obracającego się żyroskopu powoduje ono wzrost prędkości obrotowej jego cząstek składowych, a po przeciwnej stronie zmniejsza ich prędkość obrotową.

DW-efekt - dwustronny wahadłowy efekt - efekt odmiennego wpływu dośrodkowego przyspieszenia na części orbitującego ciała WPO i MPO (na przykład, żyroskopu), polegający na tym, że część ciała WPO pełni rolę osi, wokół której ciało wykonuje wahadłowe ruchy podczas libracji na orbicie, a część MPO pełni rolę ciężarka tego wahadła.

*) Rysunki zostały wykonane na podstawie zrzutów ekranu komputera, za pomocą którego były modelowane zjawiska grawitacyjne z wahadłem i żyroskopem. Ćwiczenia z modelowanymi zjawiskami grawitacyjnymi można wykonać na komputerze z systemem operacyjnym Windows ME lub Windows XP. Na ekranie komputera można zjawiska obejrzeć i z nimi poćwiczyć, wykorzystując do tego celu program GyroDrift2010A, który znajduje się na http://nasa_ktp.republika.pl/GyroDrift2010A.zip.

Polska, Legnica, 10.12.2010 r. (Dopisano 18.12.2010 r.)