

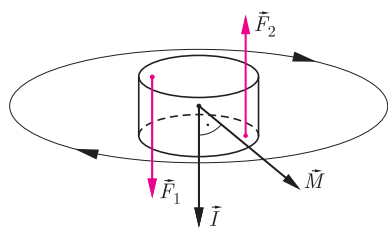
## Fidget spinner okiem fizyka

Popularna ostatnio zabawka tzw. *fidget spinner* świetnie nadaje się do obserwacji zasady zachowania momentu pędu w praktyce. Budowa tej zabawki jest bardzo prosta: jej centralnym elementem jest łożysko, wokół którego obraca się płaski element, najczęściej trójramienny, ale występujący również w innych kształtach.

Zacznijmy od tego, czym różni się dobrze wykonany fidget spinner od źle wykonanego. Każdy, kto miał okazję pobawić się różnymi egzemplarzami, wie, że niektóre wprawione w ruch wirują bardzo stabilnie, bez wyczuwalnych drgań, można je postawić na stole, na nosie, czy gdzie tam jeszcze komuś przyjdzie do głowy. Niektóre natomiast wirując, drżą, co utrudnia wykonywanie sztuczek, ponieważ drżąc, łatwiej się zsuwają. Skąd biorą się te drgania?

Po pierwsze, oś obrotu, wyznaczona przez łożysko, może nie przechodzić przez środek masy wirującego elementu. Mając taki źle wykonany spinner, można zaobserwować, że aby łożysko nie drżało, musimy je trzymać bardzo mocno, dostarczając w ten sposób siły dośrodkowej, która jest konieczna, aby wymusić ruch obrotowy środka masy wirnika wokół osi łożyska. Kiedy uchwyt rozluźniamy, zabawka przechodzi do swobodnego ruchu wirowego wokół swojego środka masy, który nie pokrywa się z osią wyznaczoną przez łożysko, więc łożysko zatacza wtedy małe okręgi wokół środka masy zabawki, co kładąc sobie spinera na palcu, odczuwamy jako drgania. Podobny efekt obserwuje się zawsze, kiedy mamy do czynienia z obiektem wirującym wokół wyznaczonej osi, na przykład w kołach samochodowych. Dlatego zawsze po wymianie opon w samochodzie w celu wyeliminowania niepożądanych drgań należy je „wylażyć”, czyli przyczepić odpowiednie ciężarki w takim miejscu na obwodzie obręczy koła, aby jego środek masy pokrywał się z osią obrotu wyznaczoną przez łożysko.

Nawet jeżeli oś obrotu wyznaczona przez łożysko przechodzi przez środek masy wirującej części, to może się zdarzyć drugi rodzaj „usterki”, mianowicie oś obrotu



Momentu pędu  $\vec{I}$  spinera wirującego w kierunku ruchu wskazówek zegara (patrząc od góry) jest skierowany pionowo w dół. Aby zacząć pochylać go w stronę obserwatora, trzeba przyłożyć moment siły  $\vec{M}$  skierowany poziomo i celujący w obserwatora. Uzyskujemy to, przykładając parę sił oznaczonych kolorowymi strzałkami – jednym palcem naciskamy łożysko z prawej strony na dole, a drugim przyciskamy je z lewej strony na górze.

Zmiana kierunku osi obrotu oznacza zmianę momentu pędu i aby ją uzyskać, musimy zadziałać momentem siły. Łatwo to zaobserwować, wykonując prosty eksperyment: chwyć nieobracaający się spinner w dwa palce za łożysko i obróć go „do góry nogami”, a następnie zrób to samo z rozpędzonym spinnerem, a przekonasz się, że w drugim przypadku zabawka będzie stawać pewien „opór”, tym większy, im szybciej wiruje i im szybciej chcemy wykonać obrót. Obracając spinner szybko w tę i z powrotem, czujemy opuszkami palców, że siły, które musimy przyłożyć do łożyska, zmieniają się w zależności od kierunku obrotu. Przy pierwszym kontakcie z taką zabawką jej reakcja na próbę obrócenia wydaje się nieintuicyjna. Jest to związane z wektorową naturą momentu pędu i momentu siły, co zostało wyjaśnione na rysunku. Warto podkreślić, że trzymając za łożysko, przykładamy zawsze moment siły, którego kierunek jest prostopadły do kierunku wektora momentu pędu, dlatego zmienia się tylko jego kierunek, a nie wartość. Podobnie dzieje się w ruchu jednostajnym po okręgu, gdzie siła jest prostopadła do prędkości i zmienia tylko kierunek prędkości, nie zmieniając wartości.

może nie pokrywać się z jedną z głównych osi tak zwanego *tensora bezwładności* wirnika. Każda bryła sztywna ma trzy prostopadłe osie zwane własnymi (bryły o pewnych symetriach mogą mieć nawet nieskończenie wiele osi własnych). Obrót wokół osi własnej wyróżnia się tym, że wektor momentu pędu i wektor prędkości kątowej mają ten sam kierunek. Jeżeli obrót odbywa się wokół osi, która nie jest osią własną, występuje zjawisko precesji – kierunek osi obrotu powoli się zmienia, zakreślając powierzchnię stożka. Precesja może występować w ruchu wirowym ciał swobodnych (np. oś obrotu Ziemi podlega precesji) lub może być wymuszona. Za pomocą spinera można również zaobserwować zjawisko precesji wymuszonej, podpierając go jednym palcem lub jeszcze lepiej (dla modeli z otworem w łożysku) nasadzając go na ołówek, który następnie stawiamy na czubku. Zaobserwujemy wtedy podobne chybotanie się (precesję), jak w przypadku staromodnego bąka, którymi dzieci bawiły się w dawnych czasach, na długo przed wynalezieniem spinnerów.

Wadliwie wyprodukowany spinner może więc przynajmniej czegoś nauczyć. Jeżeli jednak ktoś jest w posiadaniu idealnie wyważonego spinera, to może go łatwo „popsuć”, przyklejając kawałek plasteliny na jednym z ramion, i sprawdzić, jak to wpływa na jego ruch.

Jednak to, co dostarcza najwięcej zabawy ze spinnerami, to wykonywanie różnych sztuczek polegających na podrzucaniu, odbijaniu, łapaniu itp., tak aby zabawka cały czas wirowała. Wykonywanie tych ewolucji jest możliwe dzięki zasadzie zachowania momentu pędu. Gdyby nie opór powietrza i tarcie w łożysku, raz wprawiony w ruch wirowy spinner wirowałby dowolnie długo, ponieważ nie traciłby nadanego mu na początku momentu pędu, który ma nie tylko pewną wartość, ale również ustalony kierunek w przestrzeni. Dlatego podrzucając odpowiednio wirujący (wokół osi własnej) spinner, mamy gwarancję, że oś obrotu zachowa stałą orientację w przestrzeni w czasie lotu. Jest to tak zwany *efekt żyroskopowy* wykorzystywany w wielu urządzeniach mających „żyro” w nazwie.

Szymon CHARZYŃSKI