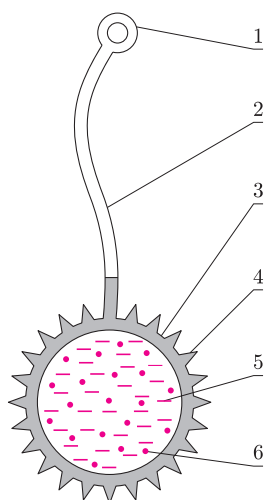


Doświadczenia z elastyczną kulą wodną (część 1)



Stanisław BEDNAREK

Współcześni fizycy do przeprowadzania doświadczeń wykorzystują często bardzo skomplikowane i kosztowne urządzenia, takie jak Wielki Zderzacz Hadronów (znany także pod angielskim akronimem LHC) w podgenewskim Europejskim Centrum Badań Jądrowych (jak brzmi oficjalna nazwa laboratorium znanego pod francuskim skrótem CERN). My do wykonywania naszych doświadczeń używaliśmy zwykle przedmiotów i materiałów codziennego użytku, z których budowaliśmy proste przyrządy i układy. Okazuje się jednak, że czasami nie musimy nawet niczego budować. Do przeprowadzania wielu interesujących doświadczeń dobrze nadają się niektóre zabawki. Jedną z ich zalet jest to, że można je wykorzystać w gotowej postaci, bez żadnych przeróbek i adaptacji. Przykładem takiej zabawki jest elastyczna kula wodna, którą możemy kupić za kilka złotych w sklepie z zabawkami lub w kiosku.



Rys. 1. Budowa elastycznej kuli wodnej;
1 – uchwyt, 2 – taśma, 3 – sfera,
4 – kolec, 5 – woda, 6 – cząstka zawiesiny.

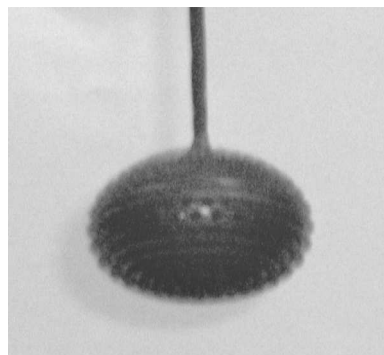
Zabawka ta wykonana jest z bardzo elastycznego, zabarwionego, ale jednocześnie przepuszczającego światło kauczuku silikonowego (fot. 1, rys. 1). Składa się ona z uchwytu w kształcie pierścienia połączonego kilkunastocentymetrowej długości taśmą ze sferą o średnicy kilku centymetrów, pokrytą regularnie rozmieszczonymi, miękkimi kolcami. Sfera wypełniona jest wodą i niemieszającą się z nią białawą substancją, tworzącą kłaczkowatą zawiesinę. Mimo swojej niezwykle prostej budowy zabawka ta pozwala na wykonanie szeregu interesujących eksperymentów, którymi zajmiemy się w tym i dwu następnym artykułach.

Tematem pierwszego eksperymentu jest kształt ciała sprężystego w ruchu obrotowym. Naszą zabawkę trzymamy palcami jednej ręki za uchwyt tak, żeby koniec z kolcami zwisał swobodnie. Zwisający koniec ma kształt kuli. Palcami drugiej ręki obejmujemy koniec z kolcami i obracamy go kilkadziesiąt razy w płaszczyźnie poziomej, aż taśma ulegnie silnemu skręceniu. Teraz puścamy go swobodnie i uważnie obserwujemy jego zachowanie i kształt. Widzimy, że zaczyna on coraz szybciej wirować wokół swojej pionowej osi. Początkowo kształt kuli ulega przy tym zmianie i staje się coraz bardziej elipsoidalny, przy czym oś wielka elipsoidy ma kierunek poziomy (fot. 2). Jest to spowodowane działaniem na zabawkę i zawartą w niej wodę sił odśrodkowych, rozciągających je w kierunku prostopadłym do osi obrotu.



Fot. 1. Wygląd zewnętrzny elastycznej kuli wodnej.

Po rozkręceniu taśmy koniec zabawki obraca się dalej w tę samą stronę i skręca taśmę w przeciwnym kierunku, zmniejszając przy tym swoją prędkość. Wraz ze spadkiem prędkości jego kształt ponownie zbliża się do sferycznego, aż w końcu zabawka zatrzymuje się i jej koniec przyjmuje kształt sferyczny. Opisane procesy powtarzają się, ale maksymalna prędkość obrotu zmniejsza się w wyniku strat energii na pokonanie sił tarcia o powietrze oraz oporów ruchu wynikających z niedoskonałej sprężystości taśmy. Doświadczenie to wyjaśnia, dlaczego niektóre planety o płynnym wnętrzu, w tym również Ziemia, mają kształt elipsoid. Pozwala również na wytłumaczenie wzajemnych przemian energii potencjalnej sprężystości na energię kinetyczną ruchu obrotowego.



Fot. 2. Elipsoidalny kształt wirującej elastycznej kuli wodnej.

Drugie doświadczenie dotyczy ruchu jednostajnego po okręgu w płaszczyźnie poziomej. Zabawkę ujmujemy za uchwyt palcami jednej dłoni tak, żeby taśma i koniec z kolcami zwisały pionowo. Zataczając dłonią małe, poziome kółka, wprawiamy kulę w ruch po okręgu w płaszczyźnie poziomej. Zauważamy, że taśma ulega przy tym odchyleniu od pionu i porusza się po powierzchni bocznej stożka (fot. 3). Zwiększając prędkość ruchu dłoni, widzimy, iż kąt odchylenia taśmy od pionu i jej długość wzrastają.

Dzieje się tak dlatego, że na poruszający się po okręgu koniec zabawki działają dwie wzajemnie prostopadłe siły. Są nimi: ciężar zabawki, skierowany pionowo i zwrócony w dół, oraz siła odśrodkowa, skierowana poziomo i zwrócona na zewnątrz okręgu. Wartość ciężaru jest stała, a wartość siły odśrodkowej jest wprost proporcjonalna do kwadratu prędkości końca zabawki. Taśma utrzymująca kulę z kolcami poruszającą się po okręgu ustawia się w kierunku

wypadkowej tych sił i przyjmuje kierunek ukośny. Przy większej prędkości taśma jest silniej rozciągana i wydłuża się, przyjmując przy tym kierunek bardziej odchylony od pionu. Podobny efekt odchylenia obserwujemy w przypadku krzesełek z pasażerami poruszającymi się po poziomym okręgu na niektórych typach karuzeli.



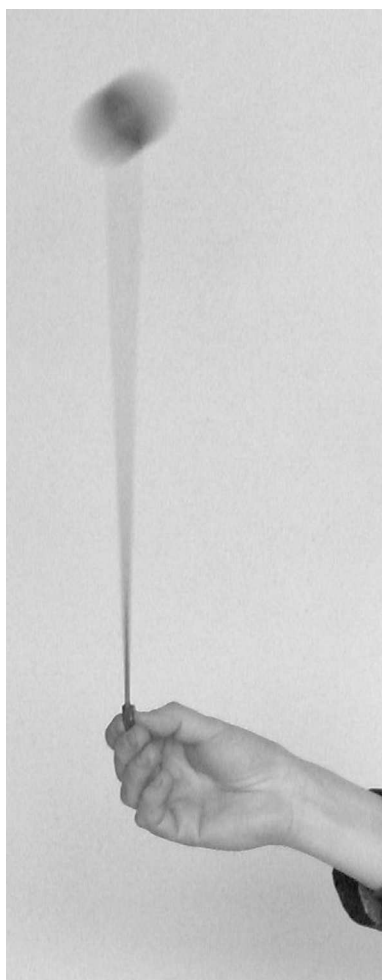
Fot. 3. Elastyczna kula wodna, poruszająca się ruchem jednostajnym po okręgu w płaszczyźnie poziomej.

W trzecim doświadczeniu zajmiemy się ruchem obrotowym kuli z kolcami w płaszczyźnie pionowej. Zabawkę trzymamy tak samo jak w poprzednim doświadczeniu. Dłonią wykonujemy ruchy po łuku w płaszczyźnie pionowej tak, żeby kula z kolcami wykonywała wahania o jak największej amplitudzie. W pewnym momencie kula wykonuje pełny obrót w płaszczyźnie pionowej. Kontynuujemy ruchy dłoni, podtrzymując ruch obrotowy kuli (fot. 4). Zwiększając szybkość ruchów dłoni, zauważamy, że kula również krąży szybciej, a długość taśmy, wyznaczająca promień toru, po którym porusza się kula z kolcami, wzrasta.

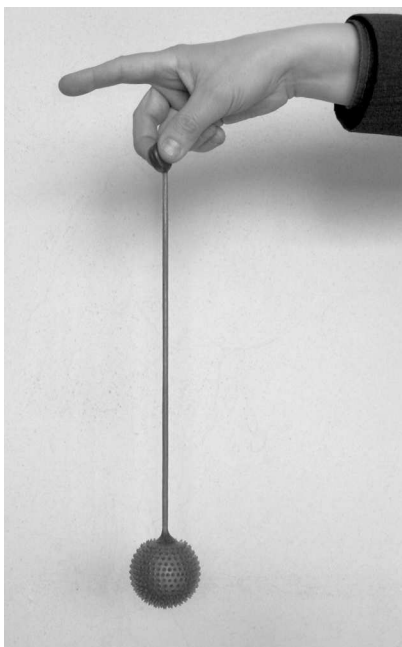
Przyczyną zaobserwowanego faktu jest wprost proporcjonalna zależność siły odśrodkowej od kwadratu prędkości kuli. W tym doświadczeniu należy zwrócić uwagę, że wskutek rozciągliwości taśmy tor ruchu kuli nie jest dokładnie okręgiem. Dzieje się tak dlatego, że kula, poruszając się ku górze, traci część swojej energii kinetycznej na rzecz wzrastającej energii potencjalnej ciężkości. Prędkość kuli na tym etapie ruchu maleje, a więc z kolei powoduje zmniejszenie siły odśrodkowej i promienia toru.

Czwarte doświadczenie ma na celu zilustrowanie zasady zachowania momentu pędu. Na początku zabawkę wprawiamy w ruch obrotowy w płaszczyźnie pionowej w sposób podobny do opisanego powyżej. Jedyna różnica polega na tym, że uchwyt zabawki trzymamy kciukiem i palcem środkowym jednej ręki, a palec wskazujący pozostaje zgięty tuż przy palcu środkowym. W pewnym momencie wyprostowujemy palec wskazujący (fot. 5), na który zaczyna nawijać się taśma, co powoduje zmniejszanie się promienia toru kuli (fot. 6). Ponieważ moment pędu poruszającej się kuli pozostaje z dobrym przybliżeniem stały, a promień toru maleje, to prędkość kątowna kuli musi wzrastać. Istotnie, przy mniejszej długości taśmy kula nawija się na palec wskazujący coraz szybciej.

To tylko niektóre z doświadczeń, jakie możemy wykonać przy użyciu tej prostej zabawki. Kolejne eksperymenty opisane zostaną już w nowym roku.



Fot. 4. Elastyczna kula wodna, wykonująca ruch obrotowy w płaszczyźnie pionowej.



Fot. 5. Przygotowanie elastycznej kuli wodnej do ilustracji zasady zachowania momentu pędu.



Fot. 6. Ilustracja zasady zachowania momentu pędu przy użyciu elastycznej kuli wodnej.