



CENTRUM NAUKI  
KOPERNIK

## Wyścigi walców

Walec waży tyle samo i mają takie same rozmiary, ale ich masa jest inaczej rozłożona. W jednym z nich skupiona jest wokół osi walca, a w drugim – rozmieszczona blisko obwodu. Ten drugi walec trudniej rozkręcić i dlatego stacza się on dłużej. Ale gdy już się rozpędzi, trudniej jest go też zatrzymać.

Wielkość, opisująca rozkład masy względem osi obrotu, nazywa się momentem bezwładności. Decyduje on o tym, jak trudno jest rozkręcić daną bryłę. Walec, który stoczył się później, ma większy moment bezwładności.

Eksperymentuj!

# Wyścigi walców

Po co w sportowych samochodach montuje się felgi wykonane ze stopów metali lekkich? Nie tylko dlatego, że ładnie wyglądają. Takie felgi pomagają szybciej rozpędzić auto i skuteczniej je wyhamować. Zupełnie odwrotne zadanie mają koła zamachowe używane w wielu maszynach – w tym w samochodowych silnikach.



CENTRUM NAUKI  
KOPERNIK

## → Trochę teorii

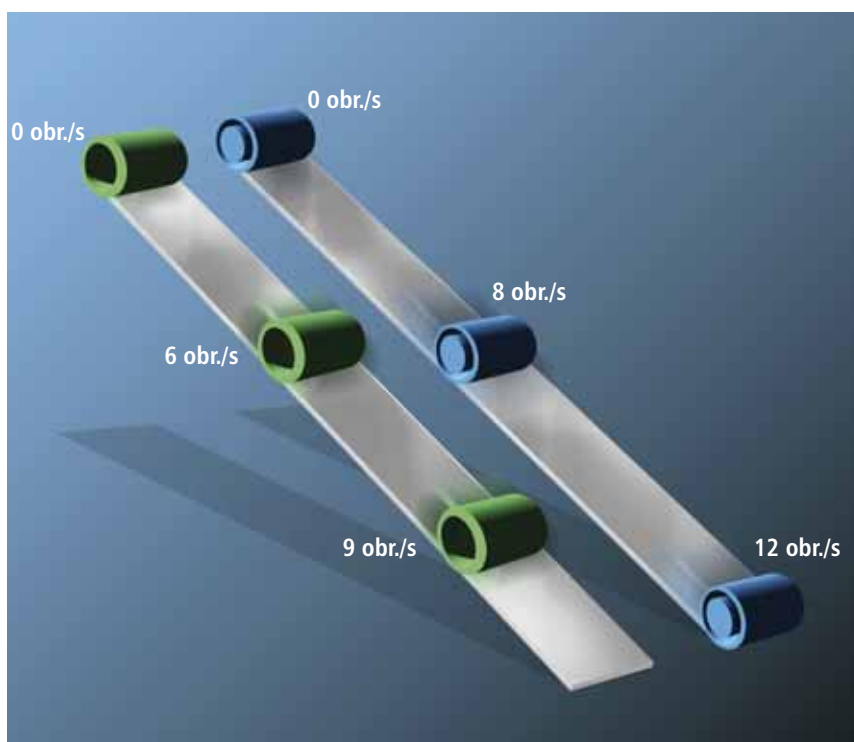
**D**wa walce stacają się po identycznych torach. Zwycięzcą wyścigu za każdym razem jest ten sam walec. Z pewnością nie jest to przypadek. Walce muszą się czymś różnić. Na pierwszy rzut oka walce są identyczne – mają te same rozmiary i ważą tyle samo, co można zresztą sprawdzić. Wystarczy się im jednak dokładniej przyjrzeć, aby stwierdzić, że różnica polega na sposobie rozłożenia masy w ich wnętrzu.

W jednym walcu masa jest skupiona na jego obwodzie, natomiast w drugim znajduje się blisko środka, wzdłuż osi obrotu. I to właśnie ten drugi walec zawsze jako pierwszy dociera do mety.

Celowo „bohaterami” doświadczenia są walce – bryły obrotowe, które mogą wykonywać jednocześnie dwa ruchy: obrotowy i postępowy. Ruch obrotowy opisuje wielkość nazywana przez fizyków prędkością obrotową, a miarą ruchu postępowego w naszym przypadku z góry na dół jest prędkość postępową, zwana po prostu prędkością. Im szybciej walec stacza się w dół, tym szybciej obraca się także wokół własnej osi, co łatwo zaobserwować w trakcie przeprowadzania doświadczenia.

Gdy chcemy wprawić jakieś ciało w ruch postępowy lub zatrzymać takie, które już się porusza, musimy użyć pewnej siły. Im większa masa ciała, tym trudniej zmienić stan ruchu postępowego. Miarą tego, jak trudno wprawić ciało w ruch obrotowy, jest moment bezwładności. Zależy on nie tylko od całkowitej masy, ale także od jej rozłożenia względem osi obrotu. Ciało o masie skupionej blisko osi obrotu ma mały moment bezwładności – łatwo je wprowadzić w ruch obrotowy. Jeśli masa rozłożona jest daleko od osi obrotu – trudniej wprawić je w ruch obrotowy – moment bezwładności takiego ciała jest duży (rysunek po prawej).

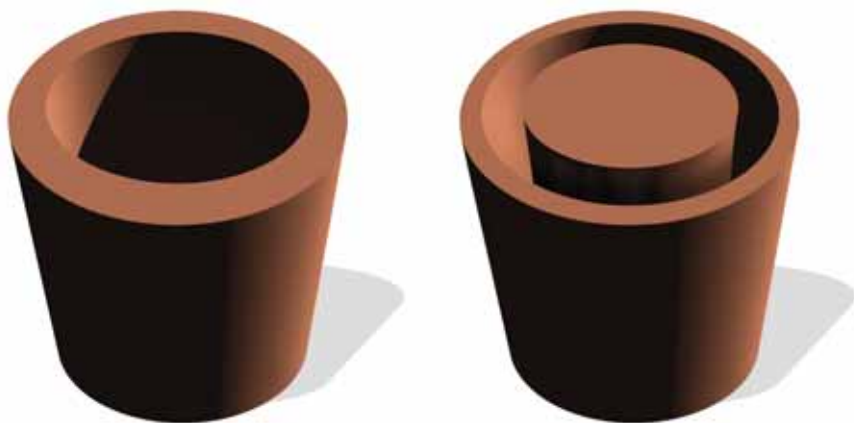
Walce stają na starcie. Chwileczkę, jak to? Same wdrapują się na szczyt równi? Nie, ktoś musi je tam podnieść. Dzięki wykonanej przez tę osobę pracy walce uzyskują pewną energię potencjalną. Podczas ruchu w dół po równi zamieniają ją na energię kinetyczną, związaną z ruchem postępowym



**Dwa walce o takich samych masach i średnicy równej 10 cm stacają się po równi o kącie nachylenia 30 stopni i długości 2 m. Kiedy walec, którego masa jest skupiona blisko osi obrotu, jest w połowie drogi, jego kolega o masie rozłożonej daleko od osi obrotu jest ok. 20 cm z tyłu. Na mecie przewaga szybszego walca wynosi już ok. 50 cm. Na rysunku zaznaczono prędkości obrotowe obu walców**

i obrotowym. Początkowe energie potencjalne obydwu walców są jednakowe, więc energie kinetyczne na dole równi również będą identyczne. Jednak energia kinetyczna obracającego się bez poślizgu walca jest tym większa, im ma on większą masę, promień, moment bezwładności oraz im większa jest jego prędkość kątowa. Walce biorące udział w naszym wyścigu mają

te same promienie i masy. Z warunku, że energia kinetyczna obu walców na końcu równi jest jednakowa, wynika, że jeśli jeden z nich ma większy moment bezwładności, to mniejsza jest jego prędkość kątowa. Właśnie taki jest wynik przeprowadzonego doświadczenia: wolniej toczy się ten walec, którego masa rozłożona jest na obwodzie. ■



**Używane podczas eksperymentu walce mają jednakowe rozmiary i wagę. Różnią się jednak sposobem, w jaki rozłożona jest ich masa. Wyścig po równi zawsze wygrywa ten, którego masa jest skupiona blisko osi obrotu**

## → O historii

Ruch i jego przyczyny były przez wiele wieków podstawowym problemem filozofii przyrody, nauki, którą dziś nazywamy fizyką. Mimo że jest to najbardziej powszechne zjawisko fizyczne, dopiero Izaak Newton w 1686 roku stworzył podstawy mechaniki klasycznej, formułując trzy podstawowe zasady dynamiki. Zawarł je w słynnym dziele zatytułowanym „Philosophiae naturalis principia mathematica”. Od momentu opublikowania tej przełomowej pracy ludzkość nauczyła się poprawnie opisywać ruch i obroty ciał pod działaniem dowolnych sił, co rozpoczęło dynamiczny rozwój nauki i techniki.

W czasach rozkwitu przemysłu i transportu opartego na maszynach parowych koła zamachowe, czyli koła o dużym momencie bezwładności, odgrywały niebagatelną rolę. W owych czasach silniki parowe były najczęściej konstrukcjami jedno- lub dwutłokowymi o dużej pojemności. Taka konstrukcja pracowała bardzo nierówno, wprowadzając cały układ w niepożądaną drgania, co m.in. przyczyniało się do szybkiego zużywania elementów.



Zastosowanie dużych i ciężkich kół zamachowych poprawiało kulturę pracy maszyn i dodatkowo zwiększało ich trwałość. Dzisiaj w muzeach możemy oglądać lokomotywy parowe, których koła zamachowe były tak duże, że musiały być montowane na zewnątrz głównej bryły pojazdu. ■

**Koła zamachowe najczęściej były i do dziś są konstruowane z żeliwa. Ten materiał posiada zarówno odpowiednią wagę, jak i wytrzymałość na tarcie**

## → Współczesne zastosowania

Współcześnie koła zamachowe stosuje się m.in. w silnikach spalinyowych samochodów, zapewniając im równomierną pracę. Im mniej cylindrów oraz im większa pojemność silnika, tym większe i cięższe koła zamachowe trzeba stosować (co oczywiście zwiększa masę całego pojazdu i spalanie benzyny).

Zdarzają się też sytuacje, w których zależy nam na odwrotnym efekcie. W samochodach montujemy lekkie, aluminiowe felgi, które mają mniejszy moment bezwładności, a więc łatwiej wprawić je w ruch obrotowy, a tym samym rozpędzić samochód. W rowerach z tego samego powodu montuje się aluminiowe, a nie stalowe obręcze kół.

Nie tylko masę, lecz także moment bezwładności muszą uwzględniać projektanci elementów wykonujących ruch obrotowy w najrozmaitszych

urządzeniach, zwykle dążąc do optymalnej jego wartości zależnie od funkcji urządzenia. Na przykład turbiny wytwarzające prąd w elektrowniach muszą kręcić się jednostajnie, nawet jeśli występują niewielkie zaburzenia w działaniu czynnika napędzającego (wiatru w przypadku elektrowni wiatrowych, wody w elektrowniach wodnych, pary wodnej w przypadku elektrowni węglowych i atomowych). Aby sprostać temu wymaganiu, turbiny są sprzęgane z potężnymi kołami zamachowymi o ogromnych momentach bezwładności. ■

**Alufelgi są lżejsze od stalowych, mają więc mniejszy moment bezwładności, a to ułatwia przyspieszanie i hamowanie samochodu**



## → A to ciekawe

Związek między momentem bezwładności a sposobem rozłożenia masy wokół osi obrotu wykorzystują często sportowcy. Łyżwiarz zaczyna „kręcić” piruet z rozłożonymi rękami, a następnie przyciąga ręce do siebie. W ten sposób zmniejsza swój moment bezwładności i zaczyna wirować szybciej – dzięki temu piruet staje się bardzo efektowny! W podobny sposób postępują zawodnicy skaczący do wody z trampoliny. Zaraz po wybiciu „kulą się” się, przyciągając ręce i nogi do tułowia – co pozwala im osiągnąć szybsze obroty ciała, a tym samym wykonać więcej ewolucji w trakcie krótkiego lotu.

Ze zmianą momentów bezwładności w trudno wyobrażalnej skali mamy do czynienia w przypadku powstawania specyficznych obiektów kosmicznych zwanych gwiazdami neutronowymi. Ostatnią fazą ewolucji wielu gwiazd jest gwałtowne skurczenie się masywnego jądra. Gdyby gwiazda wielkości Słońca w toku ewolucji zmieniła się w gwiazdę neutronową, miałaby wówczas średnicę ok. 20 km (czyli ok. 70 000 razy mniejszą, niż ma obecnie Słońce)! Tak silne zmniejszenie rozmiarów spowodowałoby ogromne przyspieszenie ruchu obrotowego (podobnie jak u łyżwiarza



Widoczna na środku zdjęcia gwiazda neutronowa (pulsar) w Mgławicy Kraba obraca się z niesamowitą prędkością, wykonując obrót wokół własnej osi co 33 milisekundy

robiącego piruet). Obserwowane przez astronomów gwiazdy neutronowe wykonują pełny obrót wokół własnej osi w czasie od 1/1000 s do 1 s. Dla porównania Słońcu taki obrót zajmuje do 1 miesiąca.

Reguła, która tłumaczy szybsze wirowanie skupionej masy, to zasada zachowania momentu pędu. Więcej na ten temat można znaleźć w opisie

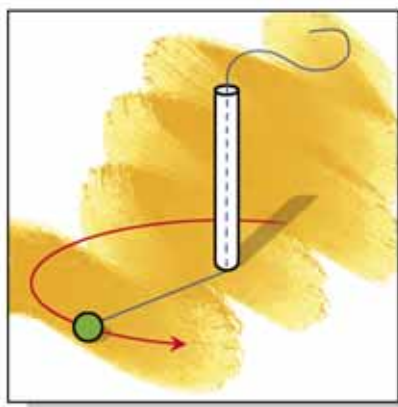
poświęconym eksperymentowi „Wirujące krzesło”. Teraz powiedzmy tylko, że moment pędu to iloczyn momentu bezwładności i prędkości kątowej. Jeśli na ciało nie działają żadne siły zewnętrzne, pozostaje on stały – zachowuje tę samą wartość. Łyżwiarz (lub kurcząca się gwiazda), zmniejszając moment bezwładności, osiąga wzrost prędkości kątowej. ■

## → Więcej doświadczeń

1. Przygotuj dwie jednakowe puszki po napojach, kawałek plasteliny i do półtorametrową deskę, z której będzie można zrobić równię pochyłą. Następnie umocuj dodatkowe obciążenie z plasteliny na denkach puszek w różnych odległościach od osi ich obrotu. Teraz ustaw puszki na szczycie zjeżdżalni i pozwól, aby stoczyły się na dół. Obserwuj ruch puszek na równi pochyłej i zwróć uwagę na to, która z nich pierwsza dotrze do podstawy równi pochyłej. Poeksperymentuj, zmieniając sposób rozłożenia dodatkowej masy.

2. Do końca 1,5-metrowej nici przymocuj kulkę plasteliny. Następnie przełóż końcówkę nici przez sztywną rurkę. Teraz wprowadź kulkę w ruch obrotowy, tak żeby zataczała możliwie jak

największe koła. Promień zataczanego okręgu możesz regulować długością nici. Co się dzieje, gdy kulka zbliża się do rurki? Czy potrafisz odpowiedzieć, jaki jest wówczas moment bezwładności kulki? ■



## → W internecie

Jo-jo i moment bezwładności  
<http://entertainment.howstuffworks.com/yo-yo.html>

Dla naprawdę dociekliwych  
[www.lightandmatter.com/html\\_books/0sn/ch04/ch04.html](http://www.lightandmatter.com/html_books/0sn/ch04/ch04.html)

Ulepszone, ale wciąż w użyciu  
[www.motofakty.pl/arttykul/dwumaso\\_w\\_kolo\\_zamachowe.html](http://www.motofakty.pl/arttykul/dwumaso_w_kolo_zamachowe.html)

Koło zamachowe w akcji  
<http://pl.youtube.com/watch?v=TiG5-CANfOPA&feature=related>