

# Fizyka jazdy na rowerze

■ ALEKSANDRA MIELEWCZYK-GRYŃ, BEATA BOCHENTYN

Kiedy w XV wieku Leonardo da Vinci projektował pierwszy model roweru, nie mógł przypuszczać, z jak rozwiniętym zagadnieniem pod względem mechaniki ma do czynienia. Niestety, sławny wynalazca nie zbudował nigdy roweru na podstawie swojego projektu.

Musiało minąć bez mała 400 lat, zanim jego następcy opracowali maszynę, która zaczęła przypominać dzisiejszy rower. Sama budowa roweru wydaje się dość oczywista dla każdego, nawet początkującego kolarza. Kierownica, rama, dwa koła, łańcuch, koła zębate i pedały – najprostszy możliwy rower.

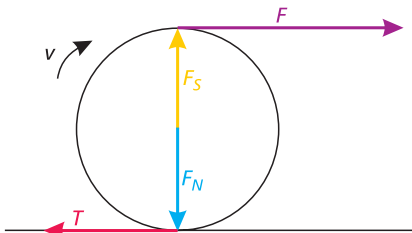
Oczywiście w dzisiejszych czasach w nowych rowerach nie brak takich bajerów jak przerzutki, amortyzatory czy też dynamy, ale nie wpływają one na „działanie” roweru, a jedynie poprawiają nasz komfort jazdy. Skoro wiemy, z czego jest zbudowany rower, to co sprawia, że możemy się na nim poruszać? Jak to się dzieje, że nie przewracamy się (przeważnie) na bok? Wbrew pozorom pytania te, pomimo, że wydają się dość oczywiste, nie posiadają jednej prostej odpowiedzi.

Zastanówmy się zatem, z jakimi zjawiskami fizycznymi możemy mieć do czynienia w trakcie poruszania się rowerem. Który z elementów konstrukcyjnych roweru sprawia, że jest to możliwe? Pierwsza na-

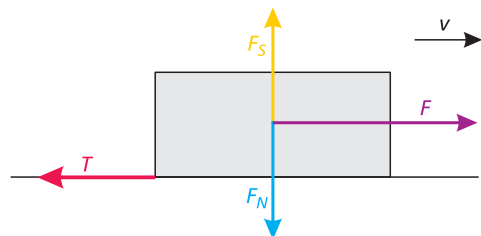


rzucająca się odpowiedź to, rzecz jasna, koła. Jakie zjawisko związane jest z ich ruchem? Oczywiście tarcie, a konkretnie zjawisko tarcia tocznego. To dzięki niemu łatwiej nam jechać na rowerze niż sunąć po ziemi. Tylko dlaczego tak się dzieje i czym różni się tarcie toczne od posuwistego? Spójrzmy na rysunki 1 i 2.

Zauważmy, że w przypadku tarcia posuwistego (rys. 2) siła tarcia jest skierowana przeciwnie do kierunku ruchu ciała, podczas gdy w przypadku tarcia tocznego (rys. 1) kierunek siły tarcia pokrywa się z kierunkiem ruchu obrotowego. Dlatego właśnie koła roweru muszą być okrągłe. Niestety, ten fakt nie wyjaśnia, dlaczego rower jest stabilny



Rys. 1. Siły działające na ciało toczące się po podłożu



Rys. 2. Siły działające na ciało przesuwane po podłożu

podczas jazdy. Zjawiskiem dotyczącym stabilności ciał obracających się jest tzw. efekt żyroskopowy. Brzmi dość przerażająco, ale każdy z nas od najmłodszych lat miał z nim styczność, gdy bawił się zwykłym bączkiem. Efekt ten polega na tym, że w momencie obrotu ciało „nie chce” zmienić swojej pozycji względem osi obrotu (rys. 3).

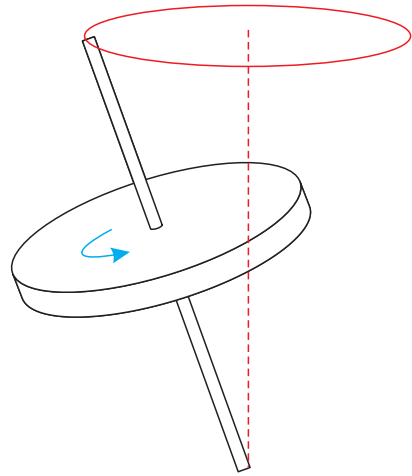
W związku z tym dochodzi do pojawienia się siły, którą nazywamy siłą żyroskopową. To ona odpowiedzialna jest za to, że bączek się nie przewraca. Nieco starsi czytelnicy zapewne kojarzą również zabawkę, której działanie również opiera się na zasadzie działania żyroskopu – Powerball. Profesor Januszajtis w „Fizyce dla politechnik” (Wyd. PWN 1977) pisze: *Oto tajemnica jazdy na rowerze! Jeżeli jadący rower przechyla się w lewo, kolarz może przeciwdziałać upadkowi (...) przez obrócenie kierownicy w lewo i wywołanie efektu żyroskopowego prostującego rower. Przy szybkiej jeździe wystarczą małe ruchy kierownicą.*

Pozostaje zatem pytanie, czy rzeczywiście sam efekt żyroskopowy może być przyczyną stabilności roweru? Okazuje się, że niestety nie. Jeżeli byśmy wyliczyli wartość siły żyroskopowej dla poruszającego się roweru to okazuje się, że prędkość obrotowa kół jest zbyt mała, żeby siły żyroskopowe w istotny sposób wpływały na stabilność naszego jednoślada.

Na początku lat 70. XX w. fizyk amerykański Dawid E. H. Jones prowadził badania nad przyczyną stabilności w ruchu. Swoje wyniki opublikował w czasopiśmie *Physics Today* w artykule „*The stability of the bicycle*” („*Stabilność roweru*”, *Phys. Today*, Kwiecień 1970, s. 34–40). Z jego doświadczeń oraz obliczeń wynikało, że poza siłą żyroskopową, która wnosi mały przyczynek do stabilności, wiele innych sił musi zostać uwzględnionych w celu opracowania ogólnego modelu. Okazuje się, że istotnym elementem jest także tzw. ślad. Jest to odległość pomiędzy osią obrotu przedniego koła, a przedłużeniem widelca.

Teoria biorąca pod uwagę długość śladu niestety w dalszym ciągu nie wyjaśniała

wszystkich zagadnień dotyczących stabilności roweru. W dalszych badaniach okazało się, że podobny efekt jak zmiana długości śladu, można uzyskać poprzez przeniesienie środka ciężkości układu człowiek-rower przy wysokich prędkościach (zauważmy, że cykliści zawsze pochylają się przy zjazdach!). Jednocześnie na stabilność roweru ma również wpływ kąt nachylenia kierownicy względem normalnej do podłoża czy nawet moment bezwładności układu kierownica-koło. Tak duża ilość czynników powoduje, że opracowanie ogólnego mo-



Rys. 3. Efekt żyroskopowy w ruchu bączka



Rys. 4. Ślad w miejskim rowerze typu holenderka



delu opisującego zachowanie jadącego roweru wydaje się być z gruntu niemożliwe.

Jednakże badacze nie ustają w wysiłkach. Jedną z prób zmierzenia się z problemem podjęła w 1990 roku grupa niemieckich fizyków – Franke, Suhr i Rieß – opracowując model teoretyczny roweru uwzględniający większość żądanych parametrów (m.in. trzy stopnie swobody ciała rowerzysty, siły dośrodkową i żyroskopową oraz rozstaw kół). W swojej pracy „*An advanced model of bicycle dynamics*” („*Zaawansowany model dynamiki roweru*”, *European Journal of Physics*, 11, 1990, s. 116–121) przyjęli pewnie „drobne” przybliżenia, nieco odbiegające od rzeczywistych warunków, z jakimi mamy do czynienia podczas jazdy rowerem. W ich modelu założono, że rower posiada nieskończenie cienkie koła, że nie dochodzi do poślizgu między kołami a podłożem, nie ma wiatru, a podłoże jest idealnie płaskie.

Czy więc możemy nazwać ten model w pełni uniwersalnym? Niestety nie. Pozostaje pytanie, co możemy zrobić, żeby uwzględnić wszystkie możliwe parametry?



Zróbmy eksperyment! Tak właśnie zrobił młody student w trakcie pisania swojej pracy magisterskiej w 2006 roku. J. D. G. Kooijman z holenderskiego uniwersytetu w Delft swoją pracę zatytułował „*Experimental validation of a model for the motion of an uncontrolled bicycle*” („*Eksperymentalne potwierdzenie modelu dla roweru będącego w ruchu niekontrolowanym*”). Eksperyment zawarty w tej pracy był bardzo prosty w swoim założeniu. Pan Kooijman „puszczał” rower bez rowerzysty wraz z przymocowanym układem pomiarowym czytującym parametry ruchu. Teraz wystarczy na podstawie jego pomiarów stworzyć model teoretyczny ilustrujący to zjawisko! Kto się tego podejmie? Może któryś z czytelników?

Zapraszamy do zgłębiania tematu stabilności roweru w oparciu o dostępną literaturę. Problem pozostaje otwarty, a badacz, któremu uda się go rozwiązać, zajmie z pewnością ważne miejsce w annałach fizyki i techniki.

*Zdjęcia Fotolia*

#### ALEKSANDRA MIELEWCZYK-GRYŃ

Katedra Fizyki Ciała Stałego  
Wydział Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej  
Politechnika Gdańska

#### BEATA BOCHENTYN

atedra Fizyki Ciała Stałego  
Wydział Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej  
Politechnika Gdańska