

# Wir w zlewie, czyli o pozornych efektach pozornej siły

Ewa CZUCHRY



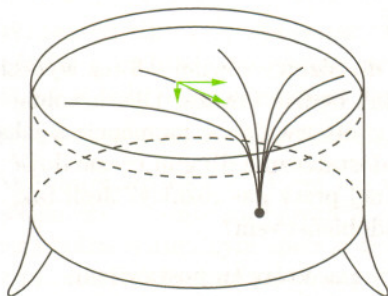
W latach sześćdziesiątych w laboratorium MIT w Bostonie ( $42^\circ\text{N}$ ) wykonano następujące doświadczenie (*Nature* 1962, 196, (4859), 1080–1081), polegające na praktycznym zrealizowaniu dobrze ugruntowanego teoretycznie faktu, że woda spływająca ze zbiornika tworzy obracający się w kierunku przeciwnym do ruchu wskazówek zegara spiralny lej (na półkuli północnej). W tym celu wykonano okrągły zbiornik o promieniu 2 metrów i 15 cm wysokości. W samym środku dolnej ścianki zbiornika znajdował się otwór odpływowy, z którego prowadziła 6-metrowa pionowa rura zakończona korkiem. Zbiornik ten wypełniano wodą tak, aby kręciła się ona w kierunku ruchu wskazówek zegara. Następnie odczekano 24 h na ustanie wszelkiego makroskopowego ruchu cząsteczek wody. Jej powierzchnia była w tym czasie przykryta plastikową folią, aby wyeliminować ewentualne prądy powietrza; kontrolowano też temperaturę w całym pomieszczeniu w celu uniknięcia prądów termicznych. Gdy wszystkie przygotowania zostały ukończone, z rury odpływającej wyciągnięto korek. Cały proces spływania wody trwał 20 minut. W ciągu pierwszych 12–15 nie było widocznego obrotu. Około 15. minuty pojawił się widoczny, stale narastający obrót spływającej wody w kierunku przeciwnym do ruchu wskazówek zegara. Pod koniec doświadczenia ruch ten był już dobrze widoczny i jeden obrót trwał 3–4 sekundy. Podobne doświadczenie wykonano parę lat później w Sydney w Australii (*Nature* 1965, 207, (5001), 1084–1085).

W niektórych podręcznikach fizyki demonstruje się działanie siły Coriolisa na przykładzie wody odpływającej ze zlewu czy umywalki. Na półkuli północnej woda ta ma tworzyć wir kręcący się przeciwnie do ruchu wskazówek zegara, a na półkuli południowej – w kierunku zgodnym. Motyw ten jest wykorzystywany w wielu filmach i powieściach sensacyjnych. Pozwala on, na przykład, porwanemu w nieznanym miejscu bohaterowi określić podczas mycia zębów, na jakiej półkuli się znajduje. Zapewne porwany mógłby równie dobrze skonstruować podręczne wahadło Foucaulta i dokonując niezauważenie przez wiele godzin żmudnych obserwacji, określić nawet swoją szerokość geograficzną (o ile oczywiście nie byłby przywiązany do łóżka). Przypuszczając, że porywacze są na tyle profesjonalni, iż nie pozwolą na wiele godzin odosobnienia ani na obserwację nocnego nieba, rzeczywistość zostaje tylko woda odpływająca z umywalki.

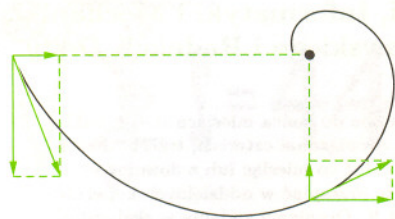
Siła Coriolisa jest to pozorna siła będąca kinematycznym efektem obrotu Ziemi wokół własnej osi. Prędkość liniowa powierzchni Ziemi jest większa na niższych szerokościach geograficznych, czyli bliżej równika, a mniejsza na wyższych szerokościach. Jeśli więc jakiś obiekt, może to być prąd morski lub powietrzny, porusza się południkowo na dłuższym dystansie, jego ruch musi kompensować zmiany prędkości liniowej powierzchni Ziemi na danej szerokości. Na półkuli północnej powoduje to odchylenie w prawo od kierunku ruchu, na półkuli południowej w lewo. Ponieważ zazwyczaj obserwujemy ruch względem ustalonego miejsca na Ziemi, obrót jej powoduje obserwowane działanie na każdy poruszający się obiekt jakiejś „siły”. „Siłę” tę nazywamy siłą Coriolisa.

Można sobie wyobrazić działanie tej siły na dużych dystansach. Pasaty, czyli wielkie masy powietrza przenoszące się znad zwrotnikowych obszarów wyżu atmosferycznego do równikowej strefy niżu, mają kierunek północnowschodni, zamiast spodziewanego północnego. Odległość przebywana przez te wiatry (23 stopnie szerokości geograficznej!) jest wystarczająco duża, aby odchylenie od ruchu południkowego – „prostoliniowego” w układzie współrzędnych związanym z nieinercyjnym układem odniesienia powierzchni Ziemi – było zauważalne.

Jak ten mechanizm może wyglądać dla wody spływającej do rury? W ruchu cząsteczek wody zbliżających się do otworu odprowadzającego wodę można wyodrębnić dwie składowe prędkości (rys. 1). Jedna z nich jest składową poziomą związaną z napływaniem wody z dalszych obszarów zbiornika w okolice odpływu. Drugą składową jest pionowe odpływanie do kanalizacji. Poza



Rys. 1



Rys. 2

najbliższym otoczeniem samego odpływu składowa pozioma prędkości jest większa od składowej pionowej. I to z tą właśnie składową (poziomą) związany jest efekt Coriolisa mający tworzyć spiralny lejek. Działanie siły Coriolisa na składową pionową powodowałoby tylko odchylenie strumienia wody na wschód. Taka siła nie tworzy jednak momentu skręcającego, a więc mogącego wywołać ruch wirowy. Z kolei składowa pozioma siły Coriolisa związana z poziomą składową prędkości powoduje odchylenie od kierunku ruchu w prawo (na półkuli północnej). Dochodzi więc dodatkowy kierunek ruchu wody, prostopadły do związanego z początkowym napływaniem bezpośrednio w kierunku lejka. Wypadkowa tych dwóch prędkości daje spiralny tor ruchu wody (rys. 2).

Taki jest model teoretyczny. W wannie albo w zlewie kuchennym prędkości i przedziały czasu są jednak znacznie mniejsze niż dla pasatów czy antypasatów, dla których efekt Coriolisa obserwujemy. Woda odpływająca do kanalizacji ma zwykle prędkość mniejszą niż metr na sekundę. To daje przyspieszenie odchylenia od kierunku ruchu związane z efektem Coriolisa rzędu 100 mikronów na sekundę do kwadratu. Załóżmy, że woda splywa wprost do zlewu. Przeciętna cząsteczka wody znajduje się w odległości dziesięciu centymetrów od odpływu. Wtedy 100 mikronów na sekundę odpowiada prędkości kątowej równej około dwustu mikroradianom na sekundę. Czyli jeden obrót na godzinę. Zmniejszając rząd wielkości o jeden, mamy jeden obrót na kilka minut. Niezależnie od często przypadkowego początkowego momentu pędu wody (powstałego z początkowych zaburzeń, nieregularnego kształtu naczynia), efekt powyższy jest raczej nieobserwowalny w warunkach domowych. Występujące dodatkowe zaburzenia są tak duże, że efekt Coriolisa sam w sobie nie wpływa zauważalnie na kierunek ruchu wody.

Dla porównania podajemy, że przyspieszenie Ziemi ze strony Słońca wynosi  $6 \text{ mm/s}^2$ , a Słońca ze strony centrum Galaktyki  $2 \text{ Å/s}^2$ .



## Zadania

Redaguje Łukasz WIECHECKI

**M 928.** Udowodnić, że dla dowolnego pokolorowania  $n$  kolorami kratek nieograniczonej kartki papieru w kratkę można znaleźć

- prostokąt, którego wierzchołki leżą w środkach kratek tego samego koloru, a boki są równoległe do linii siatki,
- $l$  poziomych i  $m$  pionowych prostych, które przecinają się w środkach  $lm$  kratek tego samego koloru ( $l, m$  – dowolne liczby naturalne).

Rozwiązanie na str. 4

**M 929.** Znaleźć przykład pokolorowania dwoma kolorami kratek nieograniczonej kartki papieru w kratkę, dla którego nie znajdziemy nieskończonego zbioru prostych poziomych i nieskończonego zbioru prostych pionowych przecinających się w środkach kratek tego samego koloru.

Rozwiązanie na str. 2

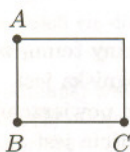
**M 930.** Udowodnić, że dla dowolnego pokolorowania dwoma kolorami kratek nieograniczonej kartki papieru w kratkę można znaleźć prostokątny trójkąt równoramienny, którego wierzchołki są środkami kratek tego samego koloru.

Rozwiązanie na str. 3

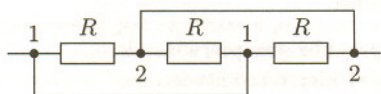
Redaguje Ewa CZUCHRY

**F 531.** Ramka prostokątna, wykonana z przewodnika, została włączona do obwodu elektrycznego najpierw w punktach  $A$  i  $B$  (rys. 1), a następnie w punktach  $B$  i  $C$ . W pierwszym przypadku opór ramki jest równy  $R_1$ , w drugim  $R_2 = 1,6R_1$ . Jaki jest stosunek oporów boku większego do mniejszego? Rozwiązanie na str. 5

Rys. 1



Rys. 2



**F 532.** Wyznaczyć opór między punktami 1 i 2 (rys. 2), jeśli każdy z trzech oporów jest równy  $1 \Omega$ . Pomiąć opór przewodników łączących.

Rozwiązanie na str. 16