

KĄCIK EKSPERYMENTATORA

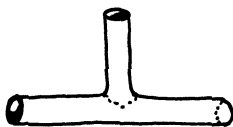
Dlaczego samolot lata? Prawo Bernoulliego

Barbara Warczak

Daniel I. Bernoulli pochodził z rodziny matematyków i fizyków, autorów wielu prac z tych dziedzin. Najbardziej zasłynął jako autor prawa hydrodynamiki, które przedstawił w wydanej w roku 1738 *Hydrodynamice*. Prawo to jest prawem zachowania energii dla strumienia cieczy o gęstości ρ , płynącego spokojnie – bez turbulencji. Jeśli taki strumień w dowolnie wybranym punkcie przepływa z prędkością v , a ciśnienie cieczy w tym punkcie wynosi p , to suma tego ciśnienia, energii kinetycznej cieczy przypadającej na jednostkę objętości ($\frac{\rho v^2}{2}$), oraz grawitacyjnej energii potencjalnej przypadającej na jednostkę objętości (ρgh , g – przyspieszenie ziemskie, h – wysokość danego punktu strumienia ponad poziom, który umownie przyjęto jako poziom energii potencjalnej równej 0) ma taką samą wartość w każdym innym punkcie tego strumienia. Można to zapisać w postaci równania Bernoulliego:

$$p + \frac{\rho v^2}{2} + \rho gh = const$$

Aby przedstawić zjawisko, które posłużyło jako model do sformułowania prawa Bernoulliego proponuję wykonać proste doświadczenie, wymagające jednak pewnych przygotowań. Potrzebne nam będą: dwa kawałki węża ogrodowego o długościach około 0.5 m każdy, pierwszy o średnicy 2.5 cala, drugi – 1.5 cala¹; dwa trójniki (Rys. 1) 2.5 cala, 2.5 cala, 1.5 cala oraz jeden – 1.5 cala, 1.5 cala, 1.5 cala; dwie złączki redukujące 2.5 cala, 1.5 cala; przezroczysty plastikowy wąż 1.5 cala na rurki wskaźnikowe – około 0.6 m.



Rys. 1. Trójnik ogrodowy

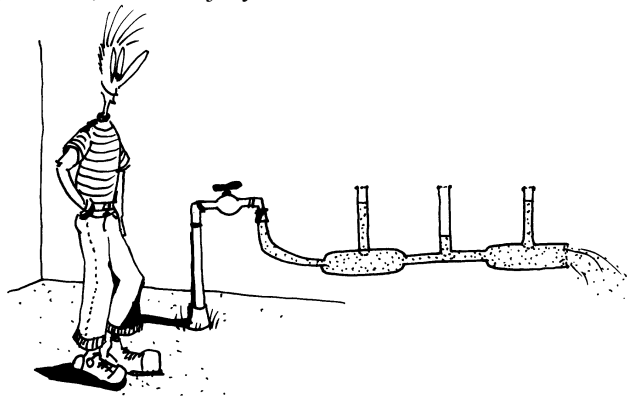
Grubszy wąż przecinamy na cztery jednakowe kawałki, cieńszy na dwa, przezroczysty na trzy kawałki. Elementy łączymy w układ doświadczalny, tak jak to przedstawiono na Rys. 2. Układ mocujemy tak, by rurki wskaźnikowe skierowane były pionowo ku górze.

Podłączamy do kranu i puszczaemy strumień wody. Obserwujemy poziomy wody w rurkach, formułujemy wnioski:

Ciśnienie wody w środkowej, węższej części węża jest mniejsze niż w zewnętrznych, grubszych – poziom wody w środkowej rurce wskaźnikowej jest niższy niż w zewnętrznych.

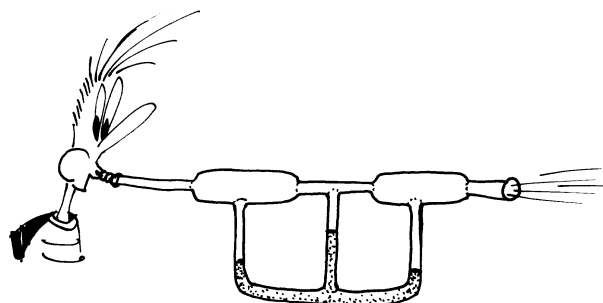
¹ Średnice tych rurek podaję w calach, gdyż takimi jednostkami posługują się handlowcy.

W pierwszej chwili wydawać się może, że wynik ten jest niezgodny ze zdrowym rozsądkiem, który zdaje się podpowiadać, że woda wtłoczona do wąskiej rury musi mieć ciśnienie wyższe niż miała płynąc przez rurę szeroką. Można go jednak wyjaśnić: woda wtłaczana do wąskiej rury nie może się w niej gromadzić, musi zatem przepłynąć przez nią z większą szybkością. Aby jednak tę większą szybkość uzyskać, w obu rurach musi wystąpić różnica ciśnień: w węższej ciśnienie musi być niższe, w szerszej wyższe.



Rys. 2. Układ doświadczalny do prezentacji prawa Bernoulliego

Takie samo zjawisko można zaobserwować w przepływających przez podobny układ gazach. Można wykorzystać ten sam układ doświadczalny. Potrzebujemy jedynie jeszcze jednego trójnika do połączenia naszych rurek wskaźnikowych w naczynia połączone, które następnie wypełniamy zabarwioną cieczą i montujemy tak, jak to pokazano na Rys. 3.



Rys. 3. Układ do demonstracji prawa Bernoulliego w gazach. Nie narysowaliśmy pompki, lecz naszego bohatera, który wtłacza powietrze do rurki. Wam radzę użyć sprężonego powietrza

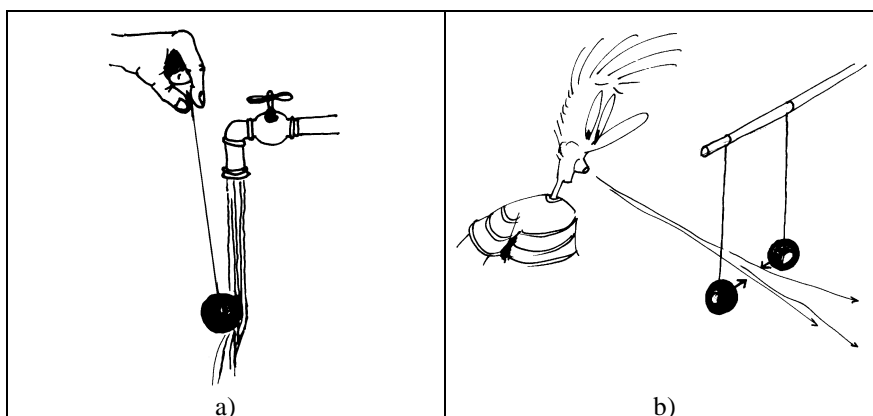
Podczas wtlaczania powietrza pompką, odkurzaczem (jeśli jest to możliwe) lub z butli ze sprężonym powietrzem poziom cieczy w środkowym naczyniu podniesie się i będzie wyższy niż w dwóch pozostałych. Oznacza to, że podobnie jak poprzednio, ciśnienie powietrza w węższej części rury jest mniejsze niż w pozostałych jej częściach.

Zgodnie z prawem Bernoulliego podczas przepływu strumienia cieczy lub gazu ciśnienie wewnątrz strumienia jest mniejsze tam, gdzie większa jest jego szybkość, czyli mniejszy jest jego przekrój.

Zanim będziemy odpowiadać na trudne pytania, proponuję kilka doświadczeń sprawdzających.

1. Dwie pingpongowe piłeczki zawieś na nitkach (wbij szpilkę w każdą z nich, zaczep nitkę o główkę szpilki):

a) Puść wodę z kranu i zbliż do strumienia jedną z piłeczek tak, aby strumień lekko ją opływał (Rys. 4a). Czy zauważyłeś jak woda wessała piłeczkę? Tak się stało, ponieważ w szybko płynącym strumieniu wody ciśnienie wewnątrz strumienia jest niższe niż ciśnienie powietrza. Różnica ciśnień powietrza i wody spowodowała wessanie piłeczki do strumienia wody, tak, że dość trudno ją stamtąd wyciągnąć.



Rys. 4. Doświadczenia z piłeczkami pingpongowymi: a) Strumień wody wciąga piłeczkę. b) Strumień powietrza wytwarza podciśnienie, piłeczki zderzają się

b) Zawieś obie piłeczki na przykład na lampie dość blisko siebie i dmuchnij między nie. Aby strumień nie był zbyt szeroki, możesz dmuchać przez rurkę np. do napojów. Ale się zderzyły! Ciśnienie wewnątrz strumienia wdmuchiwanego przez Ciebie powietrza było niższe niż ciśnienie nieruchomego powietrza otaczającego piłeczki, co spowodowało, że zostały one na siebie zepchnięte (Rys. 4b).

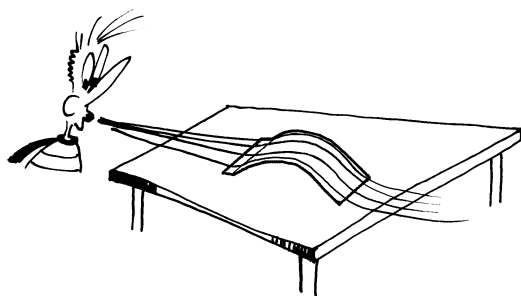
Czy już wiesz, dlaczego statki nie powinny płynąć zbyt blisko siebie? Potrafisz wyjaśnić, dlaczego mogą się zderzyć?

2. Przygotuj krążek z tekturki i przebij go w środku szpilką, a następnie włóż szpilkę do rurki do napojów tak, jak to pokazano na Rys. 5. Spróbuj teraz wydmuchać krążek z rurki. Dlaczego nie potrafisz? Powietrze, które wdmuchujesz ucieka przez wąską szczelinę między rurką a tekturowym krążkiem, co powoduje, że przeciska się bardzo szybko, a jego ciśnienie w szczelinie jest bardzo małe. Różnica ciśnień po obu stronach krążka jest przyczyną jego dociskania do krawędzi rurki.



Rys. 5. Sposób wdmuchiwanie powietrza do rurki z nałożonym krążkiem papieru

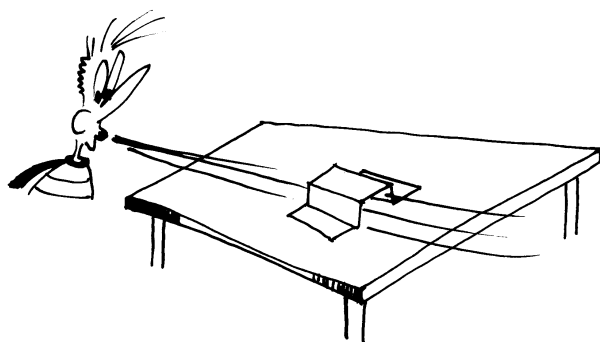
3. Kartkę papieru lekko wygnij, tak jak to przedstawiono na Rys. 6. Przyklej ją z jednej strony plastrem do stołu a następnie dmuchnij tak, aby strumień powietrza przemieszczał się nad nią (tak, jak strumień powietrza nad skrzydłem lecącego samolotu). Na pewno zauważyłeś, że kartka papieru, po przeciwnej stronie uniosła się ku górze.



Rys. 6. Tak oto wiejący wiatr zrywa dachy domów, łamie parasole. Dzięki tej sile samoloty nie spadają

W szybkim i zwężonym strumieniu powietrza nad kartką ciśnienie jest niższe niż w powietrzu pod nią. Siła wypychająca kartkę będzie zatem równa różnicy parcia od dołu (parcie to iloczyn ciśnienia i powierzchni na którą to ciśnienie działa) i parcia od góry kartki. Taka siła zrywa dachy, gdy wieje nad nimi wiatr, wypycha skrzydła, a wraz z nimi cały samolot ku górze, wykrzywia na zewnątrz nasze parasole podczas wichury.

4. Kartkę papieru wygnij tak, aby zrobić z niej mostek (Rys. 7).



Rys. 7. Na skutek działania silnych, przygruntowych wiatrów zdarza się, że walą się mosty

Skieruj pod mostek strumień powietrza – po prostu dmuchnij. Mostek nie odfrunął lecz się zawalił – rozpląszczył. W strumieniu przepływającym pod mostkiem ciśnienie było niższe niż nad nim, zatem siła działająca na jego powierzchnię zwrócona była w dół!

Teraz już potrafisz odpowiedzieć i na te pytania:

- Dlaczego wiatr zrywa spadziste dachy i porywa je w górę, chociaż wieje poziomo? Jaka siła jest tego przyczyną?
- Dlaczego na wietrze Twój parasol odgina się ku górze?
- Dlaczego samolot nie spada, jaka siła „wypycha” jego skrzydła a wraz z nimi cały samolot?
- Jak ustawić żagiel, by twoja łódź żaglowa płynęła pod wiatr?
- A może wiesz także, co ma wspólnego ułożenie ciała skoczka narciarskiego podczas „lotu” ponad skocznią, z zasięgiem jego skoku. Dlaczego tak długo potrafi utrzymać się w powietrzu?