

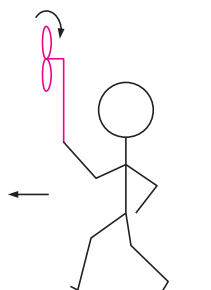
Poznajemy właściwości tarcia. Część IV: Tarcie w cieczech i gazach

Stanisław BEDNAREK

Tarcie pojawia się nie tylko w przypadku kontaktu dwóch ciał stałych, co badaliśmy w poprzednich kąciakach eksperymentatora. Siła tarcia, nazywana również oporem ruchu, występuje też podczas poruszania się ciała w cieczech i gazach. Zapewne wiemy, że w czasie jazdy samochodu lub lotu samolotu działa na te środki transportu siła oporu powietrza. Żeby popłynąć łodzią lub kajakiem na stojącej wodzie, trzeba pokonać siłę oporu wody – czyni się to zwykle za pomocą wiosła lub silnika.

Spróbujmy przeprowadzić teraz kilka doświadczeń, które pozwolą nam odpowiedzieć na pytanie, od czego zależy siła oporu podczas ruchu ciała w gazach i cieczech. Do tych doświadczeń potrzebne nam będą: plastikowy wiatraczek, który można kupić u ulicznych sprzedawców lub w sklepie z zabawkami, kilka jednakowych kartek papieru formatu A4, klej do papieru, ołówek, cyrkiel, linijka, nożyczki, plastelina, stoper albo zegarek z sekundnikiem, kalkulator, woda, gliceryna lub olej, przezroczyste naczynie o wysokości kilkudziesięciu centymetrów – im wyższe, tym lepsze, np. szklany wazonik lub menzurka, czyli cylinder używany do pomiaru objętości cieczy.

Na początek zajmiemy się oporem podczas ruchu w powietrzu. Weźmy do ręki wiatraczek i trzymając go w lekko podniesionej ręce, przejdźmy kilka kroków do przodu (rys. 1). Jak zachowuje się przy tym śmigiełko wiatraczka? Zauważamy, że wiatraczek powoli zaczyna się obracać. Dlaczego tak się dzieje? Przyczyną obrotu wiatraczka jest siła oporu powietrza, pojawiająca się wtedy, gdy z nim idziemy. Siła ta działa na śmigiełko i powoduje jego obrót, który jest dość powolny. Powtórzmy to doświadczenie, ale tym razem pobiegnijmy kilkanaście metrów z wiatraczkiem. Czy zmieniła się przy tym szybkość jego obrotu?

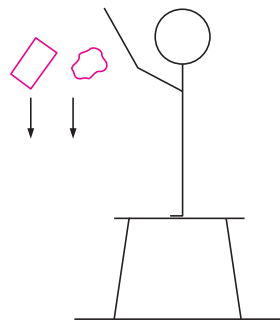


Rys. 1. Sposób wykorzystania wiatraczka do wykazania istnienia oporu powietrza i jego zależności od prędkości ruchu.

Okazuje się, że podczas biegu wiatraczek obraca się znacznie prędzej. Musi więc na niego działać większa siła. Wynika stąd wniosek, że wartość siły oporu podczas ruchu w powietrzu wzrasta wraz ze wzrostem prędkości tego ruchu. Wniosek ten dotyczy również innych gazów. Okazuje się, że przy małych prędkościach wartość siły oporu jest wprost proporcjonalna do wartości prędkości. Dla większych prędkości siła ta staje się wprost proporcjonalna do jej kwadratu, a dla jeszcze większych zależność ta staje się bardziej skomplikowana.

W następnym doświadczeniu wykorzystamy dwie jednakowe kartki papieru. Bierzymy po jednej z nich do każdej z rąk, podnosimy ręce ku górze i trzymamy kartki poziomo. Dla ułatwienia obserwacji efektu doświadczenia możemy stanąć

na taborecie lub krześle (rys. 2). W pewnej chwili puszczone jednocześnie obie kartki i obserwujemy ich ruch. Jakim ruchem spadają kartki? Która z nich spada szybciej? Okazuje się, że obie kartki spadają praktycznie tak samo szybko, wykonując przy tym od czasu do czasu ruch po zygzakowatej linii. Powtarzamy to doświadczenie kilkakrotnie, mierząc za każdym razem stoperem lub zegarkiem z sekundnikiem czas spadania dowolnej z kartek i obliczamy średni czas spadania.



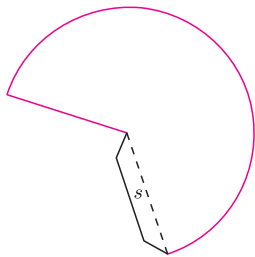
Rys. 2. Badanie zależności oporu powietrza od powierzchni spadającego ciała.

Bierzemy trzecią kartkę, zgniatamy ją w kulkę i kilkakrotnie upuszczamy z takiej samej wysokości, z której upuszczaliśmy niezgniecione kartki. Mierzmy za każdym razem czas spadania kulki i obliczamy wartość średnią. Porównujemy obie średnie. Gdyby kulka była zbyt mała i jej czas spadania tak krótki, że trudno byłoby go zmierzyć, wówczas możemy poprzestać na doświadczeniu jakościowym. W tym celu wystarczy jednocześnie upuścić z tej samej wysokości niezgniecioną kartkę oraz kulkę i zauważyć, co szybciej spadło. Dlaczego czas spadania niezgniecionych kartek jest znacznie dłuższy? Łatwo stwierdzić, że przyczyną tego jest opór powietrza, hamujący ruch niezgniecionych kartek. W przypadku zgniecionej kartki opór powietrza też występuje, ale jest on znacznie mniejszy.

Żeby wykonać kolejne doświadczenie, jedną z niezgniecionych kartek składamy na pół, mocno przyciskając linię zgięcia. Powtarzamy poprzednie doświadczenie, upuszczając złożoną kartkę z takiej samej wysokości, co poprzednio. Kilkakrotnie mierzymy czas jej spadania i obliczamy wartość średnią. Otrzymany wynik porównujemy ze średnim czasem spadania kartki niezłożonej z poprzedniego doświadczenia. Dla której kartki czas spadania jest krótszy? Okazuje się, że kartka złożona spada szybciej. Jeszcze raz powtarzamy ostatnie doświadczenia, ale tym razem kartkę złożoną na pół składamy jeszcze raz na pół, czyli czterokrotnie. Stwierdzamy, że tak złożona kartka wykazuje jeszcze krótszy czas spadania. Przyczyną tego jest znacznie mniejszy opór powietrza, którego doznaje kartka złożona. Również to doświadczenie możemy wykonać w wersji jakościowej. W tym celu wystarczy jednocześnie i z tej samej wysokości upuścić poziomo trzymane kartki: niezłożoną i złożoną oraz zaobserwować, która spada wolniej.

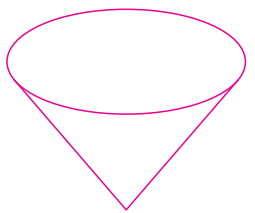
Ostatnie trzy doświadczenia prowadzą nas do wniosku, iż opór powietrza zależy od powierzchni spadającego ciała i jest on tym mniejszy, im ta powierzchnia jest mniejsza. Dokładniej, należy tu brać pod uwagę powierzchnię liczoną w kierunku prostopadłym do kierunku ruchu. Sformułowana prawidłowość dotyczy również innych gazów. Z tego też powodu spadochrony przeznaczone do wolniejszego opadania lub opuszczania ładunków o dużej masie mają większą powierzchnię.

Zbadamy teraz zależność oporu powietrza od kształtu spadającego ciała. W tym celu, przy użyciu cyrkla, linijki i ołówka, przerysujemy dwukrotnie na kartkę papieru figurę przedstawioną na rysunku 3, powiększając ją 3–4 razy.



Rys. 3. Figura przeznaczona do otrzymania powierzchni bocznej stożka; s – skrzydełko do sklejenia.

Wycinamy powiększone figury, smarujemy klejem do papieru podłużne skrzydełko i przyklejamy je do wolnego prostoliniowego boku. W ten sposób otrzymaliśmy dwie powierzchnie boczne stożka (rys. 4).



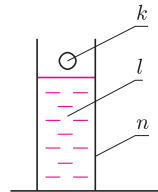
Rys. 4. Sklejona powierzchnia boczna stożka, służąca do badania zależności oporu powietrza od kształtu spadającego ciała.

Podobnie jak w poprzednich doświadczeniach, powierzchnie stożka będziemy jednocześnie upuszczali z takiej samej, możliwie dużej wysokości. Przed upuszczeniem jedną z powierzchni trzymamy zwróconą wierzchołkiem ku dołowi, a drugą wierzchołkiem ku górze. Co zauważamy? Która z powierzchni spadnie szybciej? Zmierzymy kilkakrotnie czasy ich spadania i obliczymy średnią. Okazuje się, że szybciej spada powierzchnia zwrócona wierzchołkiem w dół. Wynika to stąd, iż w czasie spadania doznaje ona mniejszego oporu powietrza. Dzieje się tak dlatego, że otaczające powietrze łatwiej ją opływa. Fizycy i inżynierowie mówią, iż powierzchnia stożka zwrócona wierzchołkiem w kierunku ruchu ma bardziej opływowy kształt, niż ta sama powierzchnia zwrócona w kierunku ruchu podstawą.

Możemy skleić z papieru powierzchnie różnych brył o takiej samej masie, np. dwie jednakowe powierzchnie boczne walca. Następnie upuszczamy je tak, jak poprzednio – jednocześnie oraz z tej samej wysokości. Spróbujmy też upuszczać te powierzchnie przy różnych ustawieniach, np. podłużnym, poprzecznym lub ukośnym względem kierunku ruchu. Pozwoli nam to porównać siły oporu dla jeszcze innych kształtów ciał. W celu zmniejszenia siły oporu pojazdom oraz innym środkom transportu nadaje się specjalnie dobrane, opływowe kształty. Na co dzień widzimy to w przypadku samochodów, skuterów i motocykli. Duże samochody ciężarowe mają nad kabiną kierowcy umieszczoną specjalnie zaokrągloną płytę, nazywaną deflektorem. Odchyła ona strumień opływającego samochód powietrza ponad skrzynię ładunkową i przez to zmniejsza opór. Warto tutaj dodać, że pojazdy wykazujące mniejszy opór powietrza zużywają w określonych warunkach mniej paliwa i przez to są tańsze w eksploatacji oraz mniej zanieczyszczają środowisko.

Ponieważ, jak stwierdziliśmy w pierwszych doświadczeniach, opór powietrza zależy od prędkości ruchu, więc dla jego łatwiejszego porównywania używa się współczynnika oporu. Im ma on niższą wartość, tym opór jest mniejszy. Przyroda w wielu przypadkach podsuwa wzory kształtów o małym współczynniku oporu – taki opływowy kształt mają, na przykład, spadające krople wody.

Teraz zajmiemy się oporem podczas ruchu w cieczach. W tym celu do wysokiego, przezroczystego naczynia nalewamy prawie do pełna wody i upuszczamy do niej kulkę o średnicy kilkunastu milimetrów wykonaną z plasteliny i trzymaną tuż nad powierzchnią wody (rys. 5). Staramy się zmierzyć czas jej opadania. Powtórzmy pomiar czasu kilkakrotnie i obliczymy wartość średnią. Następnie wylewamy wodę z naczynia i napełniamy je do takiej samej wysokości gliceryną. Do gliceryny znowu upuszczamy kulkę i mierzymy czas jej opadania. Powtarzamy te pomiary kilkakrotnie i obliczamy wartość średnią. Porównujemy średnie czasy opadania w obu cieczach. W przypadku której cieczy, gliceryny czy wody, ten czas jest dłuższy?

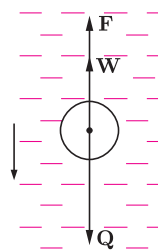


Rys. 5. Układ do badania oporu ruchu podczas opadania ciała stałego w cieczy; n – przezroczyste naczynie, l – ciecz (woda, gliceryna albo olej), k – kulka lub nakrętka.

Jeżeli nie udało się nam zdobyć dostatecznej ilości gliceryny (można na ogół kupić ją w aptece lub w drogerii), to zamiast gliceryny możemy użyć oleju, np. spożywczego. Gdyby czas opadania okazał się za krótki do zmierzenia z powodu zbyt małej wysokości naczynia, to możemy spróbować wersji jakościowej doświadczenia. Do jego przeprowadzenia potrzebne będą dwa naczynia i dwie jednakowe kulki. Jedno z naczyń wypełniamy wodą, a drugie gliceryną albo olejem. Wysokości słupów cieczy w obu naczyniach powinny być równe. Jednocześnie nad powierzchnie obu cieczy upuszczamy kulki i staramy się zauważyć, w której cieczy będą one wolniej opadać.

Opisane doświadczenia wykazały, że ciało w glicerynie lub oleju porusza się znacznie wolniej niż w wodzie, ponieważ gliceryna lub olej stawiają poruszającemu się ciału większy opór. Wielkością charakteryzującą ilościowo ten opór jest lepkość cieczy, mająca dla gliceryny i oleju dużo większą wartość niż dla wody. Wynika stąd ogólny wniosek, że opór podczas ruchu w ośrodku ciekłym lub gazowym zależy również od rodzaju ośrodka. Dokładniejsze badania wykazują, iż wartość siły oporu jest wprost proporcjonalna do lepkości ośrodka.

W przypadku opadania ciała stałego w cieczy wpływ na szybkość ruchu ma także siła wyporu, której wartość jest wprost proporcjonalna do gęstości cieczy. Oczywiście, siła ta ma zwrot ku górze i zmniejsza wypadkową siłę wprawiającą ciało w ruch. W przypadku ruchu w gazach, mających znacznie mniejszą gęstość niż ciecze, siła wyporu jest tak mała, że można ją pominąć.



Rys. 6. Siły działające na ciało opadające w cieczy; Q – siła ciężkości, W – siła wyporu, F – siła oporu ruchu.

Ponieważ wartość siły oporu w cieczy lub gazie wzrasta wraz ze wzrostem prędkości i zwrócona jest w przeciwną stronę, niż odbywa się ruch, więc wypadkowa siła działająca na opadające ciało maleje aż do zera i wtedy ruch staje się jednostajny. Takim ruchem porusza się, m.in., opadający spadochroniarz po otwarciu spadochronu i przebyciu początkowego odcinka toru.