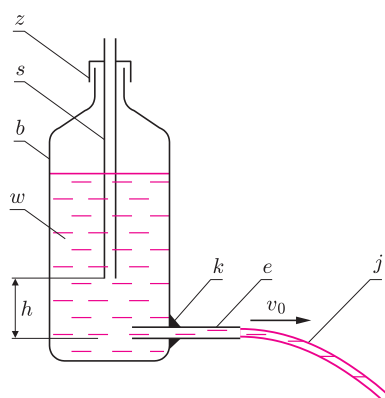


Badamy rzut poziomy

Stanisław BEDNAREK

Ruchy nazywane rzutami spotykamy bardzo często w wielu dziedzinach życia codziennego. Przykładami rzutów są, między innymi, upadek jabłka czy szklanki, strzał z wiatrówki, pchnięcie kulą czy skok narciarski. Do naszych rozważań wystarczy założenie, że rzut jest to rodzaj ruchu ciała, odbywający się w jednorodnym polu grawitacyjnym po nadaniu temu ciału pewnej prędkości początkowej. W zależności od wzajemnej orientacji kierunku i zwrotu prędkości ciała oraz przyspieszenia pola grawitacyjnego wyróżniamy rzuty poziome, ukośne i pionowe, przy czym te ostatnie mogą odbywać się w górę albo w dół i są właściwie szczególnymi przypadkami rzutu ukośnego.

Wykazując pewną cierpliwość i wkładając nieco pracy, możemy, przy użyciu bardzo prostych środków, zapoznać się nawet ilościowo z tymi efektownymi zjawiskami fizycznymi, jakimi są rzuty. Możemy również zaznajomić się z zależnościami między charakteryzującymi je wielkościami fizycznymi. Wszystkie rzuty będziemy badali za pomocą strumienia wody wypływającej ze stałą prędkością. W opisanych dalej eksperymentach zajmiemy się rzutem poziomym, rzut ukośny zaś będzie tematem następnej opowieści.



Rys. 1. Budowa butelki Mariotte'a;
b – plastikowa przezroczysta butelka,
s – sztywna rurka, *z* – zakrętka,
e – elastyczna rurka, *k* – klej,
j – strumień wody, *h* – wysokość,
*v*₀ – prędkość wypływu wody, *w* – woda.

Do naszych doświadczeń potrzebne będzie specjalne naczynie, dające strumień wody o stałej prędkości (można ją dobierać w pewnych granicach – sposób wykonania tego naczynia przedstawia rysunek 1). Będziemy potrzebowali dużej, plastikowej, przezroczystej butelki po napoju o prostych ściankach z zakrętką. Pojemność butelki powinna wynosić 2–3 l – im większa, tym lepsza. Ponadto niezbędne będą dwa kawałki plastikowej rurki o średnicy wewnętrznej 4–5 mm. Jeden z nich powinien być sztywny, a drugi elastyczny. Sztywną rurkę może stanowić prosta słomka do napojów o długości około 25 cm. Rolę elastycznej rurki będzie pełnił kawałek wężyka o długości 10–12 cm, który można kupić np. w sklepach z artykułami motoryzacyjnymi.

Wiertłem lub ostrym końcem nożyczek wykonujemy otwór w zakrętce butelki. Otwór ten powinien mieć taką średnicę, żeby można było w nim ciasno przesunąć sztywną rurkę. W bocznej ściance butelki w pobliżu jej dna wykonujemy drugi otwór przeznaczony do wsunięcia poziomo elastycznej rurki. W butelce powinien się znajdować kawałek rurki o długości około 2 cm. Miejsce przejścia elastycznej rurki przez ściankę butelki uszczelniamy, np. klejem epoksydowym. Wylot elastycznej rurki zatykamy niewielkim korkiem. Będziemy go otwierali tylko w czasie wykonywania pomiarów.

Tak przygotowane urządzenie testujemy przed wykonaniem właściwego eksperymentu. Butelkę napelniamy wodą i zakręcamy zakrętką ze sztywną rurką. Napelnioną butelkę ustawiamy na stole na podkładce, którą może stanowić kawałek deski lub kilka grubych książek, tak żeby wylot elastycznej rurki znalazł się kilkanaście centymetrów nad powierzchnią stołu. Pod tym wylotem umieszczamy kuwetę fotograficzną, brytfannę lub duży talerz. Oczywiście, doświadczenie można także wykonać w wannie lub w brodziku kabiny prysznicowej. Otwieramy wylot elastycznej rurki i pozwalamy wodzie wypływać strumieniem. Przesuwając sztywną rurkę w zakrętce i zmieniając przez to różnicę wysokości *h* jej dolnego końca i elastycznej rurki, możemy regulować prędkość wypływu strumienia wody (rys. 1).

Otrzymane naczynie nosi nazwę butelki Mariotte'a. Zasada działania tego urządzenia jest następująca. Przy dolnym końcu sztywnej rurki panuje ciśnienie atmosferyczne, podobnie przy dolnym końcu rurki elastycznej. Zmiana energii potencjalnej ciężkości *U* niewielkiej porcji wody o objętości ΔV , przemieszczającej się między tymi punktami, wynosi

$$(1) \quad U = \rho \Delta V g h,$$

gdzie ρ oznacza gęstość wody, *g* jest zaś przyspieszeniem ziemskim ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$). Gdy ta porcja wody wypływa z końca elastycznej rurki, energia potencjalna *U* zamieni się w całości na energię kinetyczną *E* poruszającej się wody, wyrażającą się wzorem

$$(2) \quad E = \frac{\rho \Delta V v_0^2}{2},$$



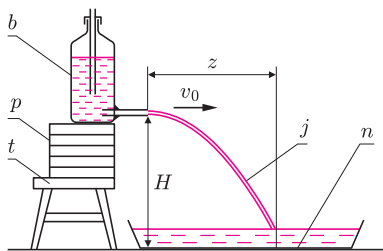
w którym v_0 oznacza prędkość wody u wylotu elastycznej rurki. Porównując wzory (1) i (2) oraz wyznaczając z otrzymanej równości v_0 , otrzymujemy

$$(3) \quad v_0 = \sqrt{2gh}.$$

W ten sposób wykazaliśmy, że dopóki poziom wody w butelce Mariotte'a będzie znajdował się powyżej dolnego końca sztywnej rurki, przełożonej przez zakrętkę, prędkość wypływu wody z elastycznej rurki będzie stała i wyrażała się wzorem (3). Na marginesie dodamy, iż później będzie ona malała wykładniczo w zależności od wysokości słupka wody znajdującej się w butelce. W przeprowadzonych rozważaniach pominęliśmy wszelkie opory ruchu wody, dlatego nasze obliczenia mają charakter przybliżony, niemniej pozwalają się zorientować w prędkości wypływu wody. Należy tylko pamiętać, że by podstawiając wysokość h do wzoru (3), wyrazić ją w metrach, wówczas prędkość wypływu otrzymamy w m/s. W dalszych rozważaniach prędkość tę będziemy nazywali prędkością rzutu.

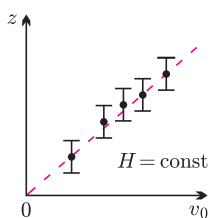
Do badania rzutu poziomego zbudujemy układ przedstawiony na rysunku 2. Butelkę Mariotte'a ustawiamy na taborecie, umieszczając pod nią kilka podkładek. Zmiana liczby tych podkładek pozwoli na regulowanie wysokości, z której wypływa strumień wody, a więc wysokości rzutu. Na podłodze, po stronie elastycznej rurki, ustawiamy dużą kufkę fotograficzną lub brytfannę, do której będzie spływała woda. Wspomnianą wysokość rzutu poziomego będziemy mierzili od powierzchni dna kufki lub brytfanny do osi elastycznej rurki. Dla prawidłowego działania układu może okazać się konieczne wyprostowanie tej rurki likwidujące jej przypadkowe wygięcia, tak żeby strumień wody wypływał poziomo.

W początkowym etapie badań zajmiemy się zależnością zasięgu rzutu od jego prędkości początkowej. Dla ułatwienia pomiarów przez zasięg będziemy rozumieli odległość punktu upadku strumienia wody na powierzchnię dna kufki lub brytfanny, mierzoną w kierunku poziomym od punktu wylotu z końca elastycznej rurki (rys. 2). Zasięg ten, podobnie jak wysokość rzutu, łatwo zmierzmy linijką, którą wygodnie jest położyć na dnie kufki. W celu uproszczenia założymy również, że głębokość wody w kufce jest niewielka i nie ma ona wpływu na położenie punktu upadku strumienia na dno.



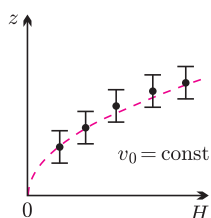
Rys. 2. Układ do badania rzutu poziomego; b – butelka Mariotte'a, p – podkładka, t – taboret, n – kufka lub brytfanna, j – strumień wody, z – zasięg rzutu, H – wysokość rzutu, v_0 – prędkość początkowa.

Rozważania ilościowe, których dokonamy w następnym odcinku, dotyczącym rzutów ukośnych, prowadzą do wniosku, że strumień wody porusza się po połowie paraboli zwróconej ramieniem ku dołowi. Wierzchołek tej paraboli znajduje się w punkcie wypływu wody z rurki. Ustaliwszy określoną wysokość rzutu H , mierzymy jego zasięg z i zapisujemy wynik pomiaru. Mierzmy również wysokość h dolnego końca sztywnej rurki od osi rurki elastycznej i obliczamy prędkość rzutu ze wzoru (3) oraz zapisujemy wynik. Zmieniamy wysokość h o kilka centymetrów, przesuwając sztywną rurkę w zakrętkę butelki i znowu przeprowadzamy pomiary. Po każdorazowym wykonaniu pomiarów wylewamy wodę z kufki, tak żeby zapewnić stałą wysokość rzutu H . Opisane czynności powtarzamy co najmniej 5–6 razy, a na podstawie uzyskanych wyników pomiarów i obliczeń sporządzamy wykres zależności zasięgu rzutu poziomego od prędkości rzutu (rys. 3). Jaka linia jest tym wykresem?



Rys. 3. Zależność zasięgu z rzutu poziomego od prędkości v_0 ; H – wysokość rzutu.

Przejdźmy teraz do zbadania zależności zasięgu rzutu poziomego od wysokości rzutu. W tym celu ustalamy stałą prędkość rzutu v_0 przez przesunięcie sztywnej rurki na określoną wysokość h i pozostawienie jej w tej pozycji. Dla wybranej wysokości rzutu H mierzymy jego zasięg z . Zmieniamy wysokość rzutu przez dodanie lub odjęcie pewnej liczby podkładek, na których jest ustawiona butelka. Po każdej parze pomiarów wylewamy wodę z kufki lub brytfanny. Powtarzając te pomiary kilkakrotnie, uzyskujemy komplet wyników, które wykorzystujemy do sporządzenia wykresu, opisującego zależność zasięgu z rzutu poziomego od wysokości H (rys. 4). Czy rzeczywiście otrzymujemy wykres paraboli?



Rys. 4. Zależność między zasięgiem z rzutu poziomego a jego wysokością H ; v_0 – prędkość rzutu.

Z dalszymi przykładami wykorzystania butelki Mariotte'a do badania rzutów spotkamy się w następnym odcinku. A na zakończenie problem do samodzielnego rozwiązania. Co należy zrobić, żeby osiągnąć większy zasięg rzutu? Jaki sposób jest do tego celu bardziej efektywny?