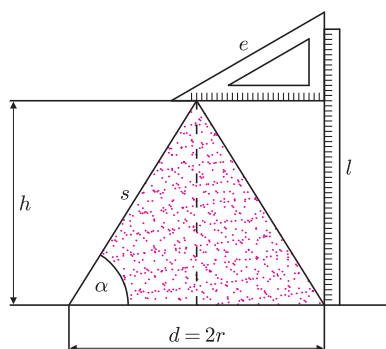


Badamy niezwykle właściwości ciał sypkich

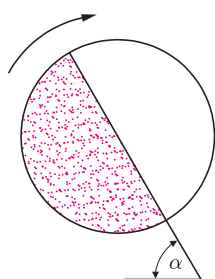
Stanisław BEDNAREK

Na pytanie, ile znamy stanów skupienia ciał, odpowiadamy zwykle, że trzy – stały, ciekły i gazowy. Czy wszystkie ciała dają się zaliczyć do jednej z tych trzech kategorii? Weźmy dla przykładu suchy piasek. Jeżeli wsypimy go do słoika, to przyjmie on jego kształt, wsypany do butelki przyjmuje również jej kształt. Widzimy, że piasek, podobnie jak ciecz, przyjmuje kształt naczynia, w którym został umieszczony. Wsypmy piasek na płaską powierzchnię. Piasek utworzy stożkowy pagórek o określonym kącie nachylenia powierzchni do podłoża. Natomiast ciecz rozleje się maksymalnie szeroko, tworząc z podłożem kąt nachylenia równy zeru.



Rys. 1. Wyznaczanie maksymalnego kąta stabilności; s – ciało sypkie, e – ekierka, l – linijka, h – wysokość, d – średnica, r – promień, α – maksymalny kąt stabilności.

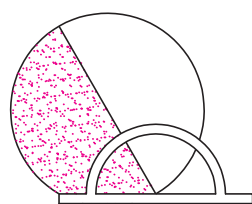
Jedną z interesujących właściwości ciał sypkich jest maksymalny kąt stabilności. Weźmy po szklance cukru, mąki, grochu i kaszy. Wsypmy je kolejno na płaską powierzchnię. Korzystając z ekierki i linijki, postaramy się określić ich maksymalne kąty stabilności. Przykładając ekierkę do linijki, zmierzmy wysokość usypanego pagórka (rys. 1). Następnie mierzymy jego średnicę i dzielimy przez dwa, obliczamy promień. Z kolei obliczamy tangens maksymalnego kąta stabilności, dzieląc wysokość przez promień. Na koniec, posługując się tablicami funkcji trygonometrycznych lub kalkulatorem z funkcjami, dla obliczonej wartości tangensa odczytujemy maksymalny kąt stabilności α .



Rys. 2. Obserwacja maksymalnego kąta stabilności α podczas obrotu.

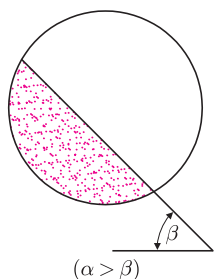
Maksymalny kąt stabilności możemy również wyznaczyć w inny sposób. W tym celu potrzebne będzie płaskie, przezroczyste pudełko w kształcie walca o średnicy 7–8 cm. W takie pudełka pakowane są niektóre cukierki lub galaretki. Jeśli mamy dostęp do gabinetu chemicznego lub fizycznego, możemy wypożyczyć dwuczęściowe, szklane, okrągłe naczynie nazywane szalką Petriego. Jeżeli nie uda się nam zdobyć pudełka, to możemy posłużyć się słoikiem z zakrętką.

Pudełko lub słoik napełniamy do połowy ciałem sypkim, np. kaszą czy cukrem, i zamykamy. Następnie ustawiamy pudełko, tak żeby jego oś była pozioma, i obracamy je wokół tej osi (rys. 2). Jak zachowuje się ciało wewnątrz pudełka? Obracając pudełko lub słoik, zauważamy, że kąt nachylenia ciała wzrasta aż do pewnej wartości, którą jest maksymalny kąt stabilności α . Kąt ten można zmierzyć, przykładając kątomierz bezpośrednio do pudełka lub słoika (rys. 3). Po przekroczeniu maksymalnego kąta stabilności α ciało zsypuje się i kąt β nachylenia jego powierzchni do poziomu staje się mniejszy od α . Ten nowy kąt nachylenia powierzchni ciała nazywa się kątem odpowiedzi (rys. 4).



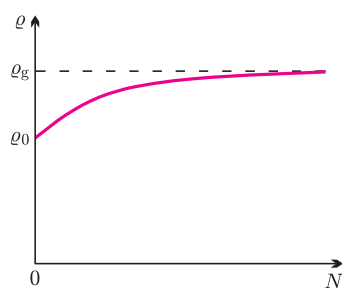
Rys. 3. Bezpośredni pomiar maksymalnego kąta stabilności kątomierzem.

Godny uwagi jest sposób, w jaki zachodzi przejście ciała sypkiego od stanu z maksymalnym kątem stabilności do stanu określonego przez kąt odpowiedzi. Przejście to odbywa się przez obsypywanie kolejnych porcji ciała w postaci małych lawinek. Lawinki te tworzą się jednak tylko z powierzchniowych warstw ciała, a warstwy położone głębiej pozostają nieruchome. Proces ten zachodzi odmiennie niż w przypadku cieczy, w których przemieszczanie następuje w całej objętości ciała.

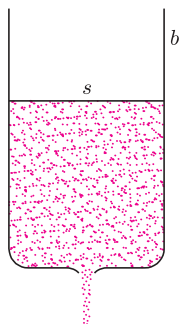


Rys. 4. Kąt odpowiedzi ciała sypkiego β .

Zbadamy teraz, jak zmienia się gęstość ciała sypkiego w wyniku wstrząsów. Do słoika wsypujemy ciało sypkie, np. kaszę, wypełniając nią około 3/4 objętości. Pisakiem zaznaczamy na szkle położenie górnej powierzchni ciała. Linijką mierzymy wysokość słupka ciała w słoiku i zapisujemy wynik. Potrząsamy jeden raz słoikiem i ponownie zaznaczamy położenie górnej powierzchni ciała oraz przeprowadzamy pomiar i zapisujemy jego wynik. Opisane czynności powtarzamy wielokrotnie, tak długo aż po kolejnym potrząśnięciu słoikiem nie zaobserwujemy zmian wysokości.



Rys. 5. Zależność gęstości ciała sypkiego ρ od liczby wstrząśnień N ; ρ_g – gęstość graniczna, ρ_0 – gęstość początkowa.



Rys. 6. Badanie czasu wypływu ciała sypkiego; b – butelka, s – ciało sypkie.

Obliczamy odwrotność wysokości i przyjmujemy ją jako miarę gęstości ciała sypkiego. Sporządzamy wykres przedstawiający zależność gęstości ciała sypkiego od liczby wstrząśnień (rys. 5). Wykonane doświadczenie umożliwia nam wyciągnięcie dwóch wniosków. Pierwszy z nich sugeruje, że ciało sypkie nie ma ustalonej gęstości. Gęstość ciała sypkiego zależy bowiem od jego „historii”, czyli od tego, jakim procesom było ono wcześniej poddawane. Drugi wniosek sugeruje, że istnieje pewna gęstość graniczna, do której dąży ciało w wyniku wielokrotnego potrząśnięcia.

Kolejne doświadczenie pozwoli nam stwierdzić, jak szybko ciała sypkie wypływają przez otwór w naczyniu. Do jego przeprowadzenia będzie potrzebna przezroczysta, plastikowa butelka od napojów o pojemności 1,5 l, suchy piasek, linijka, kawałek taśmy klejącej, nożyczki, mocna nitka i stoper lub zegarek z sekundnikiem. W środku dna butelki wywiercamy otwór o średnicy 5–8 mm, używając do tego celu ostrego końca nożyczek. Zaklejamy otwór kawałkiem taśmy klejącej. Szyjkę butelki obwiązujemy nitką, tak żeby można było zawiesić butelkę w pozycji pionowej.

Butelkę napełniamy piaskiem. Do bocznej powierzchni butelki przykładamy linijkę i odklejamy taśmę, pozwalając na swobodne wysypywanie się piasku z butelki (rys. 6). W ustalonych przedziałach czasu, np. co $\Delta t = 15$ s, odczytujemy długość słupka piasku Δl , który wysypał się z butelki. Następnie obliczamy prędkość wysypywania się piasku, dzieląc Δl przez Δt . Jaki warunek spełniają obliczone prędkości? Powtarzamy doświadczenie, używając wody zamiast piasku i obliczamy prędkość jej wypływu. Jaki warunek spełniają prędkości wypływu wody? Okazuje się, że prędkość wysypywania piasku z butelki jest stała i nie zależy od wysokości słupka piasku znajdującego się w butelce. Zupełnie inaczej rzecz ma się z wodą. Jej szybkość wypływu jest zmienna i zależy od wysokości słupka wody w butelce – im większa wysokość, tym większa prędkość wypływu. To właśnie stała prędkość wysypywania się piasku pozwoliła na jego zastosowanie do pomiaru czasu w klepsydrach.

W tym momencie nasuwa się pytanie, jak wyjaśnić to niezwykle zachowanie się piasku? Prędkość wypływu wody jest zależna od wysokości słupka wody nad otworem, ponieważ zależy ona od ciśnienia, a to z kolei zależy od wysokości. W przypadku ciała sypkiego prędkość jego wypływu jest stała, a więc również jego ciśnienie powinno pozostawać stałe, niezależnie od wysokości. Dzieje się tak dlatego, że ciężar piasku jest równoważony przez siły tarcia między ziarnami piasku i przez siły tarcia o ścianki naczynia. Ponadto, w materiałach sypkich tworzą się konstrukcje nośne, złożone z ciasno upakowanych i zazębiających się ziaren, które pomagają równoważyć ciężar materiału sypkiego. W wyniku tego ciśnienie w ciele sypkim jest stałe, a czas jego wypływu wprost proporcjonalny do wysokości słupka ciała nad otworem.



Piaskowy obraz w akcji.

Kończąc, wspomnę o piaskowych obrazach, czyli interesujących pamiątkach, wykorzystujących właściwości materiałów sypkich (fotografia). Obrazy takie składają się z dwóch szybek oprawionych w ramkę, między którymi zamknięte są różnokolorowe ziarna piasku, powietrze i woda. Odległość między szybkami jest porównywalna z rozmiarami ziaren piasku. Tak więc układ można traktować jako dwuwymiarowy. Po ustawieniu ramki pod pewnym kątem do poziomu rozpoczyna się proces przesypywania kolorowych ziaren piasku, które tworzą niepowtarzalne, fascynujące wzory. Jeżeli ktoś chciałby dowiedzieć się więcej o piaskowych obrazach, może zajrzeć pod adres internetowy

http://www.ewmar.pl/index_piaski.htm.