

Przewrotna woda

Abstrakt

Woda nie wylewa się ze szklanki odwróconej do góry dnem.

Zastosowanie/Słowa kluczowe

ciśnienie, woda, ciśnienie atmosferyczne, ciśnienie hydrostatyczne

Materiały

- szklanka
- woda
- kartka, kartonik lub plastikowa płytką o wymiarach nieco większych niż otwór szklanki

Bezpieczeństwo

Doświadczenie jest bezpieczne.

Warunki szczególne

brak

Wykonanie

Napełnij szklankę wodą i połóż na niej kartkę. Przytrzymując kartkę, szybkim ruchem odwróć szklankę do góry dnem. Puść kartkę.

Wytlumaczenie

Użyte w tekście oznaczenia:

d – gęstość wody

g – przyspieszenie ziemskie

V – objętość wody

h – wysokość słupa wody

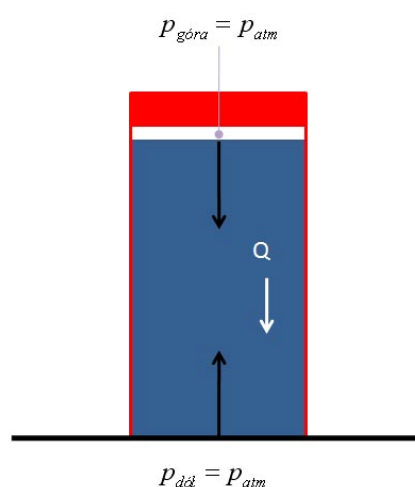
S – pole powierzchni otworu szklanki

m_w – masa wody

m_p – masa płytki (kartki)

p_{atm} – ciśnienie atmosferyczne

1. Woda w szklance (sytuacja odwrócona – stan nierównowagowy)



Wszystkie siły działające na wodę+płytkę do góry:

$$F_{\uparrow} = p_{dół} \cdot S$$

Wszystkie siły działające na wodę+płytkę do dołu:

$$F_{\downarrow} = (m_w + m_p) \cdot g + p_{atm} \cdot S$$

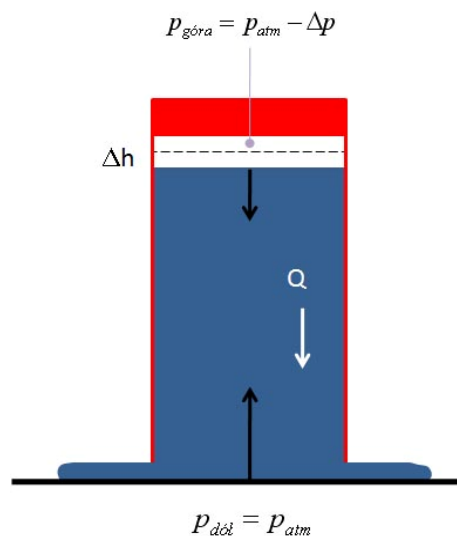
Siła wypadkowa wychodzi do dołu:

$$F_{\downarrow} - F_{\uparrow} = (m_w + m_p) \cdot g$$

Na układ woda-płytkę działają następujące siły: 1. siła ciśnienia działającego od góry (od bąbla powietrza zamkniętego w środku szklanki, nad taflą wody), 2. siła ciśnienia atmosferycznego działającego od dołu na zewnątrz szklanki, 3. siła grawitacji ściągnająca wodę i płytkę w dół. Na początku powietrze w bąblu ma ciśnienie równe atmosferycznemu, więc ciśnienia górne i dolne są takie same, lecz przeciwnie skierowane. Siły od ciśnień się znoszą, więc wypadkową siłą działającą na układ woda-płytkę jest po prostu ciężar wody i płytki. W tej sytuacji woda i płytka zaczynają swobodnie opadać. Trwa to ułamek sekundy. Pojawia się prześwit dla wody, która wylewa się na płytkę i na niej zostaje*. Wody ubywa ze szklanki, więc „rozciągamy” objętość powietrza zamkniętego nad wodą, w związku z czym jego ciśnienie maleje o Δp . Słup wody maleje o Δh . Ponieważ ciśnienie górne zaczyna maleć, znika równowaga między dolnym i górnym ciśnieniem, w związku z czym pojawia się siła skierowana do góry, która rośnie z każdą kroplą wydostającej się wody. Wzrost ten trwa tak długo, aż wypadkowa siła skierowana w górę będzie równa sile ciężenia skierowanej w dół. Wówczas opadanie wody i płytki ustanie.

* W wersji z plastikową płytką woda wypływa na płytkę. W wersji z kartką woda po prostu wsiąka w papier. W obu wypadkach ubywa jej ze szklanki, co powoduje spadek ciśnienia powietrza zamkniętego w szklance.

2. Woda w szklance (sytuacja odwrócona – stan równowagi)



Dla wody (h liczone w cm):

$$\Delta h = \frac{h^2}{1000 - h}$$



$$F_{\uparrow} = p_{atm} \cdot S$$

$$F_{\downarrow} = (m_w + m_p) \cdot g + (p_{atm} - \Delta p) \cdot S$$

Woda nie wylatuje, czyli wypadkowa siła = 0:

$$F_{\uparrow} - F_{\downarrow} = 0$$

$$\Delta p \cdot S = (m_w + m_p) g$$

Jeśli masa płytki jest pomijalnie mała to:

$$\Delta p \cdot S = m_w g$$

$$\Delta p \cdot S = d \cdot V \cdot g = d \cdot S \cdot h \cdot g$$

$$\Delta p = d h g$$

Rozprężanie gazu w górnej części to przemiana izotermiczna:

$$\Delta p = p_{atm} \frac{\Delta V}{V + \Delta V} = p_{atm} \frac{\Delta h}{h + \Delta h}$$

zatem

$$d h g = p_{atm} \frac{\Delta h}{h + \Delta h} \Rightarrow \Delta h = \frac{h^2}{\frac{p_{atm}}{d g} - h}$$

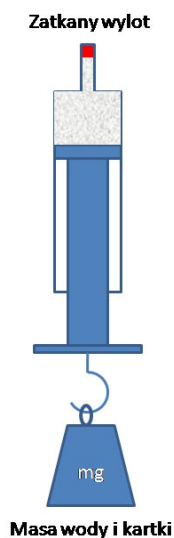
W stanie równowagi wypadkowa siła działająca na układ woda-płytkę wynosi zero. Wówczas woda i płytkę nie przemieszczają się ani w górę ani w dół. Rozpisując warunek równowagi sił i korzystając z równania gazu doskonałego w celu policzenia Δp , można policzyć, że aby utrzymać „do góry nogami” słup wody o wysokości 10 cm wystarczy, aby poziom wody w szklance obniżył się o 1 mm! Niewiarygodne, ale tak mówią wzory. Jest to na tyle mało, że ludzkie oko nie dostrzeże różnicy, ale wystarczająco dużo, żeby utrzymać do góry nogami 10 cm słup cieczy. Jeśli chcemy dowiedzieć się, o ile musi obniżyć się poziom wody, której wysokość słupa wynosi h , aby po obróceniu nie wyleciała ze szklanki, korzystamy ze wzoru (wysokość w cm):

(1)

$$\Delta h = \frac{h^2}{1000 - h}$$

Wartość 1000 wynika z tego, że do rozważań używamy gęstości wody. Dla innych cieczy będzie to inna liczba (mniejsza dla cieczy o większej gęstości).

Analogicznym eksperymentem jest zawieszenie ciężaru na tłoczku zatkniętej strzykawki.



Alternatywy

Szklanka nie musi być pełna.

Rozwiązywanie problemów

Na wypadek niepowodzenia doświadczenie lepiej wykonywać nad dużą miską