

Pływanie ciał w wirującej cieczy

Cel: Obserwacja zachowania się ciał w wirującym płynie.

Przyrządy: Wirownica, przyrząd do demonstracji zachowania się ciał zanurzonych w cieczy, w postaci dwóch nachylonych rurek (równoległych lub w postaci V-rurki) wypełnionych wodą, w ramionach których umieszczono kulkę szklaną i kulkę ze styropianu.



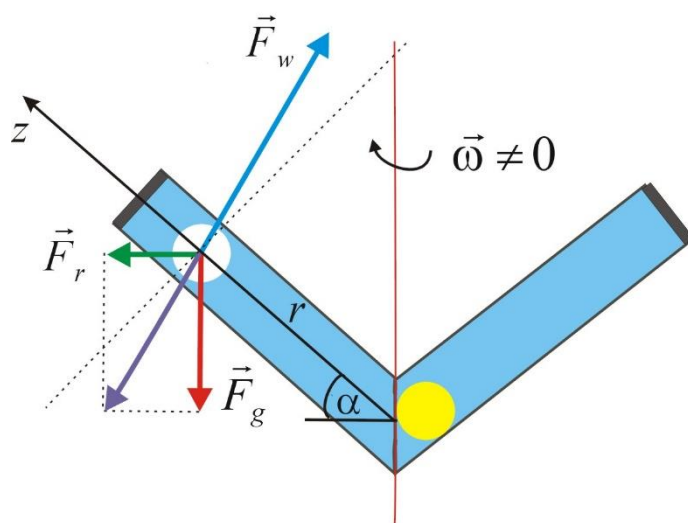
Opis: Przyrząd do demonstracji zachowania się ciał zanurzonych w cieczy składa się z dwóch rurek szczelnie wypełnionych wodą, nachylonych pod pewnym kątem do poziomu i umieszczonych w statywie tak jak na zdjęciu. W jednej z rurek umieszczona została żółta kulka o gęstości większej niż gęstość wody (np. szklana), w drugiej - kulka biała o gęstości mniejszej niż gęstość wody (np. ze styropianu). Kulka żółta tonie w wodzie i znajduje się przy osi obrotu natomiast druga kulka ustawia się na zewnątrz rurki. Przyrząd umieszczamy w wirownicy i wprawiamy w ruch obrotowy stopniowo zwiększając prędkość wirowania i obserwując zachowanie kulek.

Obserwujemy, że:

- gdy prędkość wirowania osiąga pewną wartość, styropianowa kulka (biała) zaczyna przesuwac się w kierunku osi obrotu,
- przesunięcie tej kulki, a więc również jej głębokość zanurzenia, rośnie, gdy rośnie prędkość kątowa wirowania,
- gdy biała, lekka kulka dotrze do samego dna, wtedy zaczyna wypływać ciężka kulka i szybko przesuwa się do góry, aż do korka, bez konieczności dalszego zwiększania prędkości wirowania.

Zachowanie kulki rozpatrzmy w nieinercyjnym układzie odniesienia związanym z tą kulką. Kulka o objętości V i gęstości ρ umieszczona jest w rurce z wodą (o gęstości ρ_0) obracającą się z częstością $\vec{\omega}$, w odległości r od środka układu. Rurka jest nachylona pod kątem α względem poziomu. Na kulkę działają:

- siła grawitacji $\vec{F}_g = \rho V \vec{g}$;
- siła bezwładności (odśrodkowa) $\vec{F}_r = -\rho V \vec{a}_r$ ($\vec{a}_r$ jest przyspieszeniem dośrodkowym), pozioma, o zwrocie skierowanym „na zewnątrz” od osi obrotu i o wartości $F_r = m\omega^2 r \cos\alpha$, gdzie $r \cos\alpha$ jest odległością kulki od osi obrotu;
- siła wyporu $\vec{F}_w = -\rho_0 V (\vec{g} - \vec{a}_r)$.



W wirującej cieczy kierunek działania siły wyporu (i zarazem siły wypadkowej) wyznaczany jest przez sumę wektorową siły ciężkości i siły odśrodkowej. Zmiana prędkości kątowej wirowania powoduje zmianę wartości siły odśrodkowej, a tym samym zmianę tego kierunku. W obserwowanym doświadczeniu ustawienie kierunku siły

wypadkowej, względem normalnej do rurki, decyduje o zachowaniu kulki. Przy odpowiednich prędkościach wirowania może to spowodować, że kulka o gęstości

mniej od gęstości cieczy tonie, a o gęstości większej wypływa na wierzch, co obserwujemy. Matematycznie opisuje to wypadkowa siła F_z działająca na kulkę wzdłuż osi z , równoległej do rurki, dana wzorem:

$$F_z = (\rho_0 - \rho)V(g\sin\alpha - \omega^2 r \cos^2\alpha).$$

Z wyrażenia na siłę wypadkową wynika, że jeżeli $\rho_0 > \rho$ (gęstość cieczy jest większa od gęstości piłeczki) to wartość wyrażenia w pierwszym nawiasie jest dodatnia i:

- jeżeli $g \sin \alpha > \omega^2 r \cos^2 \alpha$ (częstość wirowania jest odpowiednio mała), to wartość wyrażenia w drugim nawiasie jest dodatnia i wówczas wypadkowa siła działająca na kulkę ma wartość dodatnią, a więc skierowana jest „na zewnątrz”, zgodnie z kierunkiem osi z . Kulka przesuwa się na zewnątrz, aż do znalezienia położenia równowagi, lub dotarcia do końca rurki.
- jeżeli $g \sin \alpha < \omega^2 r \cos^2 \alpha$ (częstość wirowania jest duża), to wartość wyrażenia w drugim nawiasie jest ujemna i wypadkowa siła działająca na kulkę ma wartość ujemną, a więc skierowana jest do środka układu. W tym przypadku kulka porusza się w kierunku środka układu.
- aby kulka była w równowadze siła wypadkowa musi być równa zero $F = 0$, czyli $(g \sin \alpha - \omega^2 r \cos^2 \alpha) = 0$.

Szczegóły można znaleźć w publikacji: „Pływanie ciał w wirującej cieczy – akcelerometr”, Foton 124(2014)48-54: [551f720b-dcde-4cca-9b95-3b0227ec15f5 \(uj.edu.pl\)](https://doi.org/10.5517/2014-48-54)

Tagi: Siła dośrodkowa, ruch obrotowy, ciała w wirującej cieczy, wirownica

Literatura: Zakładka: Bibliografia [5, 20].