



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Człowiek – najlepsza inwestycja

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



FENIKS

- długofalowy program odbudowy, popularyzacji i wspomagania fizyki w szkołach w celu rozwijania podstawowych kompetencji naukowo-technicznych, matematycznych i informatycznych uczniów

Pracownia Fizyczna

ćwiczenie PF-8:

Wyznaczanie współczynnika lepkości cieczy metodą Stokesa

dr Halina Bińczycka

*Instytut Fizyki im. Mariana Smoluchowskiego
Uniwersytet Jagielloński*

Wersja UJ/1.0, marzec 2010

Zawarte w tym opracowaniu materiały przeznaczone są do wspomagania pracy nauczycieli i uczniów w czasie zajęć pozalekcyjnych w szkołach biorących udział w projekcie edukacyjnym FENIKS. Mają na celu ułatwienie przygotowania do zajęć laboratoryjnych w I Pracowni Fizycznej IF UJ.

<http://feniks.ujk.kielce.pl/>
feniks@th.if.uj.edu.pl

- długofalowy program odbudowy, popularyzacji i wspomagania fizyki w szkołach w celu rozwijania podstawowych kompetencji naukowo - technicznych, matematycznych i informatycznych uczniów

Projekt współfinansowany jest ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego



CEL ĆWICZENIA

Celem ćwiczenia jest wyznaczenie współczynnika lepkości badanej cieczy. Współczynnik ten należy wyznaczyć w oparciu o pomiary czasu przelotu kulek wody przez cylinder wypełniony cieczą.

ZAGADNIENIA DO PRZYGOTOWANIA

- lepkość;
- prawo Stokesa;
- siły działające na spadające kulki w cieczy
- naczynia połączone
- zasada działania i metoda pomiaru współczynnika lepkości za pomocą wiskozymetru Stokesa.

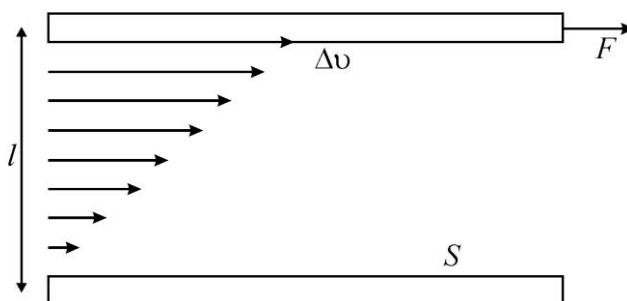
PODSTAWOWE POJĘCIA I DEFINICJE

LEPKOŚĆ

Przy przepływie wszystkich cieczy rzeczywistych występują siły tarcia. Właściwość tą nazywamy lepkością (tarcie wewnętrzne). Polega ona na działaniu siły F pomiędzy dwoma płaskimi elementami równoległymi warstw cieczy o polach powierzchni S i odległymi o l . Warstwy poruszają się z niewielkimi prędkościami różnymi o Δv . Współczynnik proporcjonalności w podanym przez Newtona wzorze to współczynnik lepkości η (czytamy-eta)

$$\frac{F}{S} = \eta \frac{\Delta v}{l}, \quad (1)$$

W układzie SI jednostką η jest $N \cdot s \cdot m^{-2} = Pa \cdot s$.



Rys.1. Rozkład prędkości płynu pomiędzy dwoma płaskimi, równoległymi, poruszającymi się względem siebie elementami.

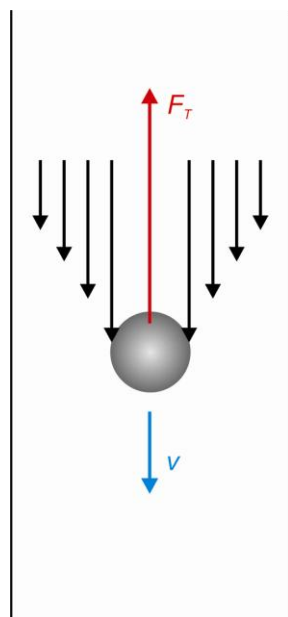
Współczynnik lepkości zależy od rodzaju cieczy i w dużym stopniu od temperatury. W cieczach wzajemnemu przesuwaniu się sąsiednich warstw przeciwdziałają siły spójności i ruchy takie są możliwe głównie dzięki ruchliwości cząsteczek przenikających z jednej warstwy do drugiej. Nasilająca się wraz ze wzrostem temperatury wymiana cząsteczek między warstwami powoduje malenie lepkości wraz ze wzrostem temperatury.

PRAWO STOKESA

Ciecz zwilżająca pokrywa cienką warstwą ciała w niej zanurzone. Załóżmy, że ciałem tym jest metalowa kulka. Gdy kulka jest w ruchu, unosi ze sobą warstwę płynu przylegającego do niej, a także na skutek tarcia wewnątrz samego płynu wprawia w ruch następne warstwy (Rys.2). Siła oporu jaką działa płyn na poruszającą się kulkę jest proporcjonalna do prędkości poruszającej się kulki. Wyraża się ona wzorem Stokesa:

$$F_T = -6\pi\eta r v \quad (2)$$

gdzie r jest promieniem kulki, v to prędkość ruchu kulki, a η jest współczynnikiem lepkości cieczy.



Rys. 2 Powstawanie sił oporu Stokesa

SIŁY DZIAŁAJĄCE NA SPADAJĄCE KULKI W CIECZY

Jeżeli kulka wykonana z materiału o gęstości ρ_k , spada w cieczy o gęstości ρ_p mniejszej od gęstości kulki pod wpływem siły grawitacji to działają na nią trzy siły (Rys.3):

siła ciężkości:

$$F_G = mg = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_k g \quad (3)$$

siła wyporu, która z prawa Archimedesesa wynosi:

$$F_W = -mg = -\frac{4}{3}\pi r^3 \rho_p g \quad (4)$$

siła oporu wyrażona wzorem Stokesa:

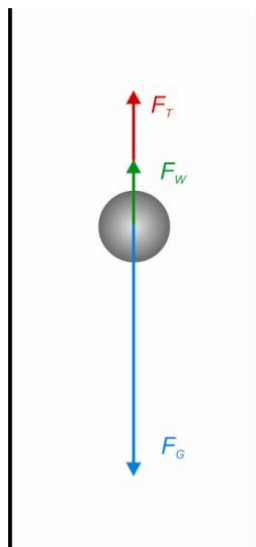
$$F_T = -6\pi\eta r v. \quad (5)$$

Wypadkowa siła \vec{F} działająca na kulkę (rys.3) jest sumą algebraiczną tych wszystkich sił:

$$\vec{F} = \vec{F}_T + \vec{F}_G + \vec{F}_w. \quad (6)$$

A zatem:

$$F = -6\pi\eta r v + \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_k g - \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_p g. \quad (7)$$



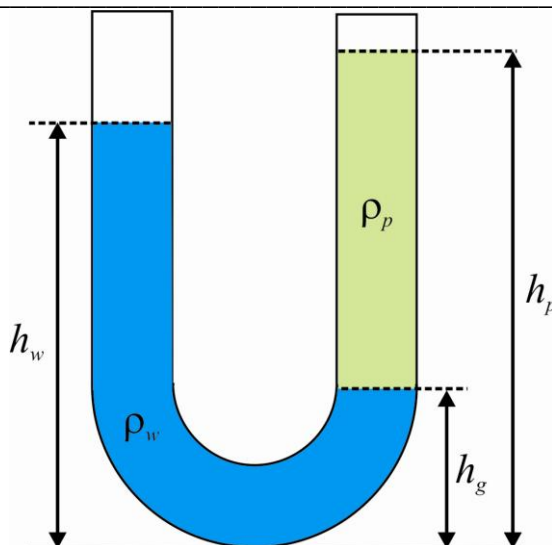
Rys. 3 Sił działające na opadającą kulkę w cieczy, gdzie F_G - siła ciężkości, F_w - siła wyporu F_T - siła oporu

NACZYNIA POŁĄCZONE

Naczynia połączone pozwalają wyznaczyć gęstość cieczy znajdującej się w jednym naczyniu, przy znanej gęstości cieczy w drugim naczyniu. Gdy wypełnimy ramiona rurki w kształcie litery U (Rys.4) różnymi cieciami to poziomy cieczy w ramionach rurki ustalają się na różnych wysokościach. Jeżeli w naczyniach jest woda destylowana o gęstości ρ_w i olej o badanej gęstości ρ_p , poziom granicy pomiędzy cieciami wynosi h_g , poziom oleju h_p i poziom wody h_w , to równość ciśnień wymaga by spełniona była zależność:

$$\rho_p = \rho_w \frac{h_w - h_g}{h_p - h_g} \quad (8)$$

Ciśnienia na niższych poziomach też są jednakowe, gdyż występuje tam tylko jeden rodzaj cieczy.



Rys.4. Naczynia połączone.

METODA POMIARU WSPÓLCZYNNIKA LEPKOŚCI ZA POMOCĄ WISKOZYMETRU STOKESA

Spadająca kulka początkowo porusza się ruchem zmiennym. W wyrażeniu (7) pierwszy składnik zależy od prędkości i istnieje taka prędkość graniczna v_0 , przy której wypadkowa siła F jest równa zero. Oznacza to, że kulka porusza się wtedy ruchem jednostajnym. Powyższe równanie jest ściśle tylko wtedy, gdy kulka porusza się w ośrodku o nieograniczonej szerokości i gdy mamy do czynienia z ruchem laminarnym płynu, w którym cząsteczki cieczy poruszają się równoległe do siebie, rys.1.

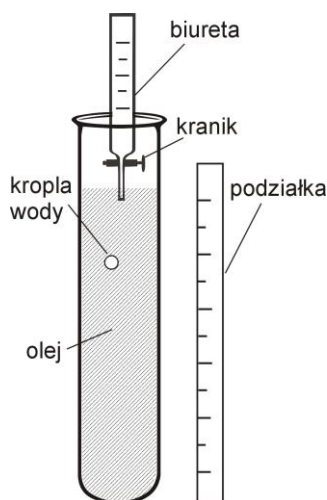
Prędkość kulki jest wyznaczana poprzez pomiar czasu przelotu kulki na określonej drodze. Przy założeniu, że $F = 0$ i $v = l/t$, gdzie t - czas spadania kulki na drodze l , otrzymuje się:

$$\eta = \frac{2(\rho_k - \rho_p)gr^2t}{9l} \quad (9)$$

Jeżeli kulka porusza się w rurze o promieniu R wypełnionej cieczą pojawia się dodatkowy opór. Pochodzi on od tarcia pomiędzy warstwami cieczy w pobliżu ścianki rury. Dla kulek o promieniu o wiele mniejszym od promienia cylindra dodatkowy opór nie wnosi dużego błędu do wyznaczonej wartości współczynnika lepkości.

UKŁAD DOŚWIADCZALNY

Przyrządy: cylinder szklany, olej, kroplomierz, stoper, termometr, woda destylowana, naczynia połączone do wyznaczenia gęstości oleju. Schemat używanej aparatury przedstawiony jest na Rys.5.



Rys.5. Schemat wiskozymetru Stokesa

PRZEBIEG DOŚWIADCZENIA

- Zmierzyć temperaturę powietrza.
- Zanotować wewnętrzną średnicę cylindra.
- Odczytać położenie górne i dolne słupa badanej cieczy i wody w naczyniach połączonych. Pomiar te umożliwią wyznaczenie gęstości badanej cieczy.
- Wypełnić kroplomierz wodą destylowaną i wlać wodę do biurety.
- Wpuścić kulkę wodną do cylindra wypełnionego olejem (możliwie blisko osi cylindra) i ustawić kranik w takim położeniu by krople tworzyły się w dogodnych dla mierzącego odstępach czasu. Początek drogi należy obrać w odległości kilku centymetrów od powierzchni cieczy, aby kulki poruszały się ruchem jednostajnym.
- Odczytać początkowy poziom wody w biurecie.
- Pomiar czasu przelotu kulek wody na ustalonym odcinku drogi l należy powtórzyć kilkakrotnie. Umożliwi to obliczenie średniego czasu spadania kulek. Równocześnie zanotować liczbę spadających kulek i zmianę objętości wody w biurecie. Wyniki pozwolą wyznaczyć średni promień kulek.

Uwaga: Zmniejszający się poziom wody w biurecie powoduje powstawanie coraz mniejszych kulek. Aby zapobiec temu zjawisku należy uzupełniać wodę w biurecie.

- Zanotować niepewności związane ze skończoną dokładnością przyrządów.

SZKIC OPRACOWANIA WYNIKÓW

Obliczyć gęstość i współczynnik lepkości badanej cieczy. Oszacować niepewności pomiarowe otrzymanych wyników. Porównać z wartością tablicową. Przedyskutować wpływ niedoskonałości przyrządów oraz skończoną precyzję wykonanych pomiarów na uzyskany wynik.

LITERATURA:

- [1] A. Magiera(red). *I Pracownia fizyczna*, IF UJ, Kraków 2006