

Pomiar współczynnika lepkości cieczy metodą Stokesa

Zagadnienia do przygotowania:

- Oddziaływania międzycząsteczkowe.
- Ciecze idealne i rzeczywiste (newtonowskie i nienewtonowskie). Zjawisko lepkości.
- Równanie ciągłości strugi i równanie Bernoulliego.
- Przepływ laminarny i turbulentny.
- Współczynniki lepkości.
- Równanie Poiseuille'a. Opór przepływu.
- Przepływ krwi. Lepkość krwi.
- Ciśnienie hydrostatyczne w układzie krwionośnym.

W eksperymencie wyznaczamy współczynnik lepkości gliceryny metodą Stokesa. Gdy ciecz porusza się ruchem laminarnym to pomiędzy poszczególnymi warstwami tej cieczy pojawia się siła oporu lepkiego. Jeżeli w takiej cieczy będzie się poruszało ciało, to siły oporu lepkiego będą również hamowały ruch ciała. W metodzie Stokesa stosujemy kulki o małej średnicy ze znanego materiału, które wrzucamy do pionowego cylindra z badaną cieczą. Kulka spada w cieczy i jednocześnie warstwa cieczy bezpośrednio przylegająca do kulki porusza się z prędkością równą prędkości kulki, pociągając za sobą następne warstwy cieczy. Mamy więc do czynienia z przesuwaniem się warstw cieczy względem siebie. Między warstwami cieczy działa siła oporu, działa ona także na poruszającą się kulkę. Związek między siłą oporu lepkiego a prędkością kulki, jej promieniem i właściwościami cieczy znalazł George Stokes i wyraził wzorem:

$$F = 6\pi\eta rv$$

gdzie:

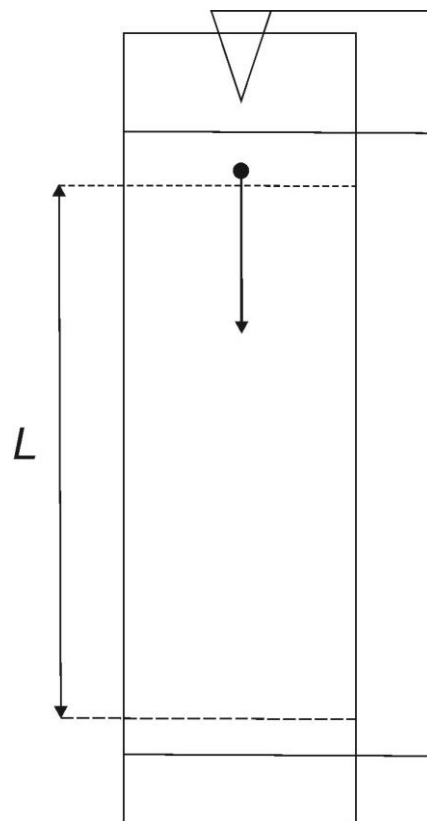
F – siła oporu lepkiego

η – współczynnik lepkości dynamicznej cieczy

r – promień kulki

v – prędkość kulki

Wzór ten jest słuszny dla ruchu laminarnego, tzn., gdy ruch kulki nie powoduje powstawania wirów i warstwy cieczy przesuwają się równoległe względem siebie.



Na kulkę o objętości q_k , poruszającą się w cieczy, działają trzy siły:

1. Siła przyciągania ziemskiego, działająca pionowo w dół:

$$P = mg$$

2. Siła oporu lepkiego, działająca pionowo w górę:

$$F = 6\pi\eta rv$$

3. Siła wyporu skierowana również pionowo w górę:

$$W = \rho_c q_k g$$

gdzie:

ρ_k – gęstość kulki

ρ_c – gęstość cieczy

q_k – objętość kulki

r – promień kulki

g – przyspieszenie ziemskie

m – masa kulki

η – współczynnik lepkości dynamicznej cieczy

v – prędkość kulki

W pierwszym momencie kulka w cieczy porusza się ruchem przyspieszonym, ponieważ siła P jest większa niż suma sił $F + W$. Po przebyciu pewnej drogi, wskutek wzrostu prędkości kulki v , siła F wzrośnie do takiej wartości, że wraz z siłą W zrównoważy siłę P , zatem ruch kulki stanie się jednostajny. Zachodzi wtedy następująca równość:

$$F + W = P$$

Siła ciężkości jest równa:

$$P = mg = \rho_k q_k g = \rho_k \frac{4}{3} \pi r^3 g$$

Siła wyporu jest równa::

$$W = \rho_c q_k g = \rho_c \frac{4}{3} \pi r^3 g$$

Zestawiając wszystkie siły w równość otrzymamy:

$$6\pi r \eta v + \rho_c \frac{4}{3} \pi r^3 g = \rho_k \frac{4}{3} \pi r^3 g$$

$$6\pi r\eta v = \frac{4}{3}\pi r^3 g(\rho_k - \rho_c)$$

$$\eta = \frac{4\pi r^3 g(\rho_k - \rho_c)}{3 \cdot 6\pi r v}$$

$$\eta = \frac{2r^2 g(\rho_k - \rho_c)}{9v}$$

ponieważ: $v = \frac{L}{t}$ i $d = 2r = d$

gdzie:

L – droga po której porusza się kulka

t – czas opadania kulki

d - średnica kulki

stąd końcowy wzór roboczy:

$$\eta = \frac{d^2 g(\rho_k - \rho_c)t}{18L}$$