

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 2.1

ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА В'ЯЗКОСТІ РІДИНИ МЕТОДОМ СТОКСА

1 КОМПЛЕКТАЦІЯ УСТАНОВКИ

- 1 Скляний циліндр із досліджуваною рідиною.
- 2 Мікрометр.
- 3 Секундомір.
- 4 Набір кульок.
- 5 Лінійка.

2 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

В'язкістю або внутрішнім тертям називається опір, що виникає при переміщенні однієї частини рідини відносно іншої.

Стокс встановив, що сила опору у випадку ламінарної течії пропорційна коефіцієнтові динамічної в'язкості η , швидкості v руху тіла щодо рідини і характерному розмірові тіла l

$$F \approx \eta l v.$$

Для кулі формула Стокса має вигляд

$$F = 6\pi\eta r v. \quad (1)$$

3 МЕТА РОБОТИ

- Вивчення якісних і кількісних характеристик реальних рідин.
- Визначення коефіцієнта внутрішнього тертя рідини в умовах ламінарної течії при постійній температурі по швидкості падіння в ній кульки (метод Стокса).

4 ОПИС ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ І

МЕТОДУ ДОСЛІДЖЕННЯ

Експериментальна установка складається із скляного циліндра з досліджуваною рідиною, на якому встановлені дві мітки А і В.

Розглянемо рух кульки в досліджуваній рідині. На неї діють три сили: сила тяжіння

$$mg = V_K \rho_K g = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho_K g, \quad (2)$$

сила Архімеда

$$F_A = \rho_p V_K g = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho_p g$$

(3)

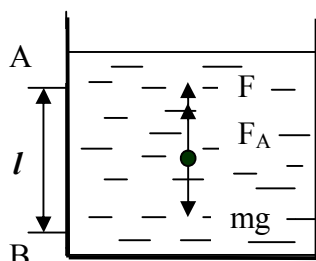


Схема експериментальної установки

і сила Стокса

$$F = 6\pi\eta r v \quad (4)$$

Тут ρ_p і ρ_k густини відповідно рідини і кульки, r радіус кульки, v - швидкість падіння кульки, g - прискорення вільного падіння, η - коефіцієнт внутрішнього тертя. При русі кульки сили F_A і mg залишаються постійними, а сила опору F зростає із збільшенням швидкості падіння. Спочатку руху вона мала, і кулька рухається прискорено. Потім настає такий момент, коли спрямовані нагору сили F_A і F зрівноважать спрямовану вниз силу тяжіння:

$$mg = F_A + F \quad (5)$$

Після цього рух стане рівномірним. Швидкість рівномірного руху визначасмо експериментально

$$v = \frac{l}{t} \quad (6)$$

де l - відстань між точками А і В. Використовуючи вищенаведені формули одержимо

$$\eta = \frac{1}{18} g d^2 \frac{(\rho_k - \rho_p)}{l} t, \quad (7)$$

де $d = 2r$ - діаметр кульки.

Формула для визначення коефіцієнта в'язкості з урахуванням поправки Ланденбурга (D - внутрішній діаметр циліндру з рідиною):

$$\eta = \frac{g d^2 t}{18l} \left[\frac{\rho_k - \rho_p}{1 + 2,4 \frac{d}{D}} \right] \quad (8)$$

Ця формула є розрахунковою в даній роботі.

5 ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

- 1 Виміряємо відстань l між мітками А і В на циліндрі масштабною лінійкою. Записуємо ці значення в таблицю.
- 2 Виміряємо за допомогою мікроскопу діаметр d кульки в поділках окуляра 5 разів у різних точках. Заносимо в табл.
- 3 За допомогою таблиці згідно до довжини тубуса переводимо поділки в міліметри.
- 4 Визначаємо середнє значення діаметра кульки. Записуємо це значення в таблицю.
- 5 Опускаємо кульку в судину через отвір у її кришці (падіння кульки має відбуватися вздовж осі симетрії циліндра). Коли кулька опиниться на рівні верхньої мітки А, включаємо секундомір. Коли кулька досягне рівня нижньої мітки В, секундомір зупиняємо і записуємо значення часу t рівномірного руху кульки в таблицю.
- 6 Виконуємо пп. 2-5 з п'ятьма кульками. Результати заносимо в таблицю.

Таблиця

№ досл.	d , поділк.	d , мм	t , с	η_i , Па·с	$\Delta\eta_i$, Па·с	$\eta = \langle \eta \rangle \pm \langle \Delta\eta \rangle$
1						
2						
3						
4						
5						
середнє	X					
$\rho_p =$	$\rho_p =$		$T =$			
$l =$			$D =$			

7 Записуємо температуру рідини T у таблицю.

8 Визначаємо за формулою (11) коефіцієнт внутрішнього тертя для кожного дослідів.

$$\eta_1 =$$

$$\eta_2 =$$

$$\eta_3 =$$

$$\eta_4 =$$

$$\eta_5 =$$

9 Підрахуємо середнє значення коефіцієнта внутрішнього тертя

$$\langle \eta \rangle = \frac{1}{5}(\eta_1 + \eta_2 + \eta_3 + \eta_4 + \eta_5) =$$

абсолютну похибку кожного виміру

$$\Delta \eta_1 = \quad \Delta \eta_2 \quad \Delta \eta_3 =$$

$$\Delta \eta_4 = \quad \Delta \eta_5 =$$

середньоквадратичну похибку $\langle \Delta \eta \rangle$ по правилу "3б".

$$\langle \Delta \eta \rangle = 3 \sqrt{\frac{1}{5(5-1)}(\Delta \eta_1)^2 + (\Delta \eta_2)^2 + (\Delta \eta_3)^2 + (\Delta \eta_4)^2 + (\Delta \eta_5)^2}$$

$$\langle \Delta \eta \rangle =$$

10 Записуємо результат у стандартній формі

$$\eta = \langle \eta \rangle \pm \langle \Delta \eta \rangle$$

$$\eta =$$

11 Підрахуємо число Рейнольдса для однієї з падаючих кульок і зробіть висновок про характер обтікання рідиною кульки.

$$\text{Re} = \frac{\rho v r}{\eta} =$$

7 ВИСНОВКИ

8 КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

- 1 Охарактеризуйте ламінарну і турбулентну течію рідини. Яка величина є критерієм ламінарності?
- 2 Дайте визначення градієнта швидкості.
- 3 Напишіть і сформулюйте закон Ньютона для визначення сили внутрішнього тертя при ламінарній течії рідини.
- 4 Який фізичний зміст коефіцієнта внутрішнього тертя η ? Від чого він залежить? Одиниці вимірювання.
- 5 Опишіть механізм виникнення сили опору, що діє на кульку, яка рухається в рідині.
- 6 Напишіть формулу Стокса і визначте границі її застосовності.
- 7 Які сили діють на падаючу кульку? Чому дорівнює кожна з цих сил? Як рухається кулька в рідині, починаючи з її поверхні?
- 8 Виведіть розрахункову формулу для визначення коефіцієнта внутрішнього тертя рідини (без поправки Ланденбурга).
- 9 У чому зміст поправки Ланденбурга?
- 10 Що спричиняє в'язкість рідини з погляду мікроскопічних уявлень?

Дата виконання лабораторної роботи: _____

Відмітка про виконання лабораторної роботи: _____

Відмітка про захист лабораторної роботи: _____