

Лабораторна робота № 1.

Визначення коефіцієнта внутрішнього тертя рідин методом Стокса

Мета роботи: експериментально визначити коефіцієнт внутрішнього тертя рідини (в'язкості) методом падаючої кульки, який запропонував Стокс.

Прилади і матеріали: скляний циліндр з рідиною, мікрометр, секундомір, кульки різного діаметра, масштабна лінійка.

Теоретичні відомості.

Розглянемо два шари рідини, які рухаються перпендикулярно до осі OZ з різними швидкостями v_1 і v_2 , відповідно (рис. 1.1). Дослід показує, що між шарами виникає сила внутрішнього тертя, пропорційна градієнту швидкості та площі поверхні шарів, по якій вони дотикаються між собою:

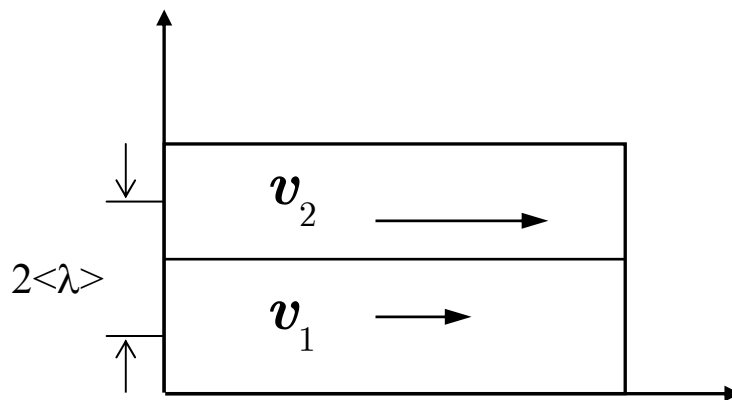


Рисунок. 1.1.

$$F = \eta \left| \frac{dv}{dz} \right| S \quad (1.1)$$

Ця формула відома як формула Ньютона для сили в'язкості. Коефіцієнт пропорційності η називається коефіцієнтом в'язкості, який характеризує властивості даної рідини. Як видно з (1.1) коефіцієнтом в'язкості називається фізична величина, чисельно рівна силі, що виникає між двома шарами рідини чи газу одиничної площі при градієнтові швидкості рівному одиниці. Коефіцієнт в'язкості вимірюється в Паскаль – секундах (Па·с).

Якщо маленька кулька повільно рухається в рідині, то вона зустрічає опір, зумовлений в'язкістю рідини. Причому, в цьому випадку спостерігається не тертя кульки до рідини, а тертя окремих шарів рідини між собою: кулька покривається тонким шаром, який рухається із швидкістю кульки. Наступні більш віддалені від кульки шари рідини рухаються із все меншими швидкостями. Стокс теоретично показав, що при падінні кульки в рідині нескінченій в усіх напрямках, без будь-яких завихрень, сила тертя, що діє на неї, виражається формулою:

$$F = 6\pi\eta r v, \quad (1.2)$$

де v - швидкість падіння кульки, r - радіус кульки.

На кульку, що падає в рідині діють три сили:

1) сила земного тяжіння, направлена вертикально вниз:

$$F_{\text{тяж}} = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_k g$$

(ρ_k - густина кульки, r - радіус кульки, g - прискорення вільного падіння);

2) сила Архімеда, направлена вертикально вгору:

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

(ρ_p - густина рідини);

3) сила опору, направлена вертикально вгору:

$$F = 6\pi\eta r v$$

Запишемо рівняння руху даної кульки:

$$ma = \frac{4}{3} \pi r^3 g (\rho_k - \rho_p) - 6\pi\eta r v \quad (1.3)$$

При русі кульки з ростом швидкості зростатиме й сила опору. При деякому значенні швидкості v , сили, що діють на кульку, зрівноважуються. Рух кульки при цьому буде рівномірним. Тому рівняння (1.3) перепишеться в такому вигляді:

$$0 = \frac{4}{3} \pi r^3 g (\rho_k - \rho_p) - 6\pi\eta r v \quad (1.4)$$

Звідси коефіцієнт внутрішнього тертя:

$$\eta = \frac{2}{9} g r^2 \frac{\rho_k - \rho_p}{v} \quad (1.5)$$

Здійснити падіння кульки в необмеженому середовищі практично неможливо, оскільки рідина завжди знаходиться в якійсь посудині, що має стінки. Врахування наявності стінок, дна посудини і поверхні рідини при русі кульки вздовж осі циліндричної посудини призводить до наступного виразу для коефіцієнта в'язкості:

$$\eta = \frac{2}{9} g r^2 \frac{\rho_k - \rho_p}{v} \frac{1}{1 + 2,4 \frac{r}{R}} \frac{1}{1 + 3,3 \frac{r}{h}} \quad (1.6)$$

де R -радіус поперечного перерізу циліндричної посудини; h - висота стовпа рідини у ній. Оскільки $\frac{r}{h}$ для даної установки дуже мале, то для обчислення коефіцієнта внутрішнього тертя можна використовувати більш просту формулу:

$$\eta = \frac{2}{9} g r^2 \frac{(\rho_k - \rho_p) \tau}{l(1 + 2,4 \frac{r}{R})}$$

де l - шлях, який проходить кулька за τ секунд.

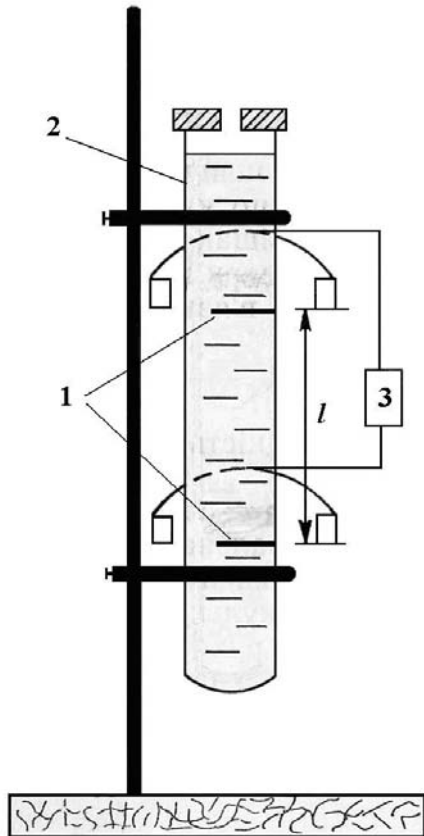


Рис. 2. Установка для вимірювання в'язкості рідини методом Стокса.

Хід виконання робіт.

1. Виміряти мікрометром діаметри кульок і визначити їх радіуси.
2. Виміряти віддаль між кільцями 1 на скляному циліндрі 2 з рідиною.
3. Пінцетом опустити кульку в циліндр, так щоб кулька падала вздовж осі циліндра. Виміряти секундоміром 3 час падіння кульки між кільцями на скляному циліндрі.
4. Дослід повторити п'ять разів з різними кульками.
5. Визначити коефіцієнт внутрішнього тертя з кожного досліду та знайти середнє значення. Розрахувати абсолютну та відносну похибки експерименту.

Результати вимірювань та обчислень занести в таблицю.

Густина кульок, густина рідини та діаметр циліндра вказані на установці.

$N \text{ П/П}$	$r, \text{ м}$	$l, \text{ м}$	$\tau, \text{ с}$	$\eta, \text{ Па}\cdot\text{с}$	$\Delta\eta, \text{ Па}\cdot\text{с}$	$E, \%$

Контрольні питання

1. Що таке в'язкість? В яких одиницях вимірюється коефіцієнт в'язкості?
2. Які сили діють на кульку, яка падає у рідині?
3. Чому, починаючи з деякого моменту часу, кулька рухається рівномірно?
4. Як змінюється швидкість руху кульки із збільшенням її діаметра?