

# Лабораторна робота 1

**Мета роботи:** вивчення руху матеріальної точки під дією сили, що пропорційна швидкості; визначення коефіцієнта в'язкості гліцерину.

**Обладнання:** скляний циліндр із рідиною, що досліджується (гліцерин), термометр, ареометр, мікрометр, секундомір, масштабна лінійка, дрібні кульки.

## Хід виконання

1. Відберіть кілька різних кульок (до десяти) і за допомогою мікрометра виміряйте їхні середні діаметри. Густина матеріалу кульок  $\rho$  і гліцерину  $\rho_1$  вказано на робочому столі.
2. Якщо густину  $\rho_1$  не вказано, виміряйте її за допомогою ареометра, заздалегідь перемішавши гліцерин мішалкою. Визначте також температуру гліцерину.
3. Використайте дані таблиці 5.1 та проаналізуйте застосовність формули Стокса. З'ясуйте, на якій відстані від відкритої поверхні гліцерину повинна бути верхня позначка (5.19). Для розрахунків використовуйте "найгірші" значення  $r$  і  $\eta$ , тобто максимальний радіус відібраних кульок і в'язкість 95 %-го розчину гліцерину за кімнатної температури. Якщо ця відстань виявиться надто малою, врахуйте практичні міркування.
4. Узавши кульку пінцетом, обережно опустіть її на середину відкритої поверхні гліцерину і, спостерігаючи за її рухом, виміряйте за допомогою секундоміра час проходження кульки між двома позначками. При цьому бажано, щоб око було на рівні відповідної позначки. Відстань між позначками вимірюється масштабною лінійкою. Усі результати вимірювань потрібно заносити до таблиці.
5. Визначте усталені швидкості падіння кульки і вирахуйте за формулою (5.16) коефіцієнти в'язкості гліцерину. Переконайтесь, що отримані значення  $\eta$  не становлять систематичної залежності від радіуса кульки. Побудуйте для цього графік  $\eta(r)$ .
6. Визначте середнє значення коефіцієнта в'язкості гліцерину  $\langle \eta \rangle$ . Розглядаючи  $\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_n$  як результати прямих вимірів, вирахуйте вибірковий стандарт середнього  $S_{\langle \eta \rangle}$ , скориставшись таблицею.
7. Виведіть формулу для розрахунку систематичної похибки.
8. Оцініть похибку визначення  $\langle \eta \rangle$ , врахувавши величини  $\delta_{\langle \eta \rangle}$  і  $S_{\langle \eta \rangle}$ . Занотуйте кінцевий результат, вказавши густину та температуру гліцерину.
9. Використовуючи таблицю 5.1, визначте відсотковий вміст води у досліджуваному гліцерині.

## Виконання роботи

Температура гліцерину, градуси: 20.2

Густина гліцерину, кг/м<sup>3</sup>: 1200

Густина свинцю, кг/м<sup>3</sup>: 11300

n	d (мм)	t (с)	h (м)	$v_{\text{уст}}$ (м/с)	$\eta$ (Па · с)	$\eta_i - < \eta >$ (Па · с)	$(\eta_i - < \eta >)^2 \cdot$ $10^{-3} \text{ (Па} \cdot \text{с)}^2$
1	2.4	5.047	0.295	0.0585	0.542	0.015	0.225
2	2.6	4.781	0.339	0.0709	0.525	0.002	0.004
3	1.9	5.593	0.217	0.0388	0.512	0.015	0.225
4	2.8	4.759	0.394	0.0828	0.521	0.006	0.036
5	2.7	3.765	0.285	0.0757	0.53	0.003	0.009
6	1.7	6.312	0.189	0.0299	0.532	0.005	0.025
7	2.5	5.125	0.337	0.0658	0.523	0.004	0.016
8	2.2	5.078	0.252	0.0496	0.537	0.01	0.1
9	2.8	5.156	0.421	0.0817	0.528	0.001	0.001
10	1.5	6.765	0.162	0.0239	0.518	0.009	0.081

$$\eta_1 = \frac{2g}{9} \cdot 0.0012^2 \frac{10100}{0.0585} = 0.542$$

$$\eta_2 = \frac{2g}{9} \cdot 0.0013^2 \frac{10100}{0.0709} = 0.525$$

$$\eta_3 = \frac{2g}{9} \cdot 0.00095^2 \frac{10100}{0.0388} = 0.512$$

$$\eta_4 = \frac{2g}{9} \cdot 0.0014^2 \frac{10100}{0.0828} = 0.521$$

$$\eta_5 = \frac{2g}{9} \cdot 0.00135^2 \frac{10100}{0.0757} = 0.53$$

$$\eta_6 = \frac{2g}{9} \cdot 0.00085^2 \frac{10100}{0.0299} = 0.532$$

$$\eta_7 = \frac{2g}{9} \cdot 0.00125^2 \frac{10100}{0.0658} = 0.523 \quad \eta_8 = \frac{2g}{9} \cdot 0.0011^2 \frac{10100}{0.0496} = 0.537$$

$$\eta_9 = \frac{2g}{9} \cdot 0.0014^2 \frac{10100}{0.0817} = 0.528 \quad \eta_{10} = \frac{2g}{9} \cdot 0.00075^2 \frac{10100}{0.0239} = 0.518$$

$$1. \sum_{i=1}^n \eta_i = 5.268$$

$$2. < \eta > = \frac{\sum_{i=1}^n \eta_i}{n} = \frac{5.268}{10} = 0.527$$

$$3. \sum_{i=1}^n (\eta_i - < \eta >)^2 = 0.722 \cdot 10^{-3}$$

$$4. S_{<\eta>} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\eta_i - < \eta >)^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{0.722 \cdot 10^{-3}}{90}} = 0.00283$$

$$5. \frac{S_{<\eta>}}{\eta} \cdot 100\% = 0.00283/0.527 * 100\% = 0.54\%$$

$$v_t = \frac{2g}{9} \cdot 0.0014^2 \frac{10100}{0.543} = 0.0795$$

$$T = \frac{2 \cdot 10100 \cdot 0.0014^2}{9 \cdot 0.543} = 0.0081$$

$$v(t) = v_t(1 - e^{-t/T})$$

$$x(t) = \int_0^t v(t) dt = v_t(t - T(1 - e^{-t/T}))$$

$$0.999v_t = v_t(1 - e^{-t/T}) \Rightarrow e^{-t/T} = 0.001$$

$$t_{0.999} = -T \ln(0.001) = 6.908T =$$

$$x_{99.9\%} = 0.0795(0.056 - 0.0081(1 - 0.001)) = 3.8mm$$

## Теоретичні питання

### 1. Коефіцієнт в'язкості. Формула Ньютона.

Сила внутрішнього тертя (в'язкого опору) між шарами рідини пропорційна градієнту швидкості

$$F = \eta S \frac{dv}{dx}$$

де  $\eta$  - коефіцієнт в'язкості,  $S$  - площа дотику шарів,  $\frac{dv}{dx}$  - швидкісний градієнт.

### 2. Ламінарний і турбулентний рух. Число Рейнольдса.

- Ламінарний рух — впорядкований рух шарів без змішування.
- Турбулентний — хаотичний з вихрями.
- Критерій — число Рейнольдса:

$$Re = \frac{pvd}{\eta}$$

Якщо  $Re < 1000$ , рух ламінарний, якщо  $> 2000$  – турбулентний.

### 3. Формула Стокса.

Сила опору для кульки, що рухається у в'язкій рідині при ламінарному режимі:

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

Умова застосовності — ламінарний рух.

### 4. Ідея методу Стокса.

Спостерігають падіння кульки у рідині. Коли вона рухається рівномірно, її швидкість  $V_t$  визначають за часом падіння на відомій відстані. Підставляють у формулу Стокса і обчислюють  $\eta$ .

### 5. Які кульки використовують.

Кульки повинні бути гладкі, малих розмірів, щільніші за рідину, щоб забезпечити ламінарний рух і повільне осідання (зазвичай свинцеві або сталеві).

### 6. Відстань верхньої позначки.

Позначку наносять на достатній відстані від поверхні, щоб кулька встигла набрати усталену швидкість до початку вимірювання.

### 7. Критерій надійності експерименту.

Невелике відхилення значень коефіцієнта в'язкості для різних кульок, тобто  $S_{<\eta>}/\eta < 5\%$