

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Фізико-математичний факультет

Лабораторна робота No 1-5

Визначення коефіцієнта в'язкості рідини методом Стокса

Виконав студ. Групи

Ткаченко Костянтин Олександрович ІП-331

Київ 2025

Таблиця 5.2

n	d (мм)	t (с)	v_{уст} (м/с)	n (Па * с)	n_i * <η> (Па * с)	(η_i - <η>)² (Па·с)²
1	1.28	117.79	0.01528	0.47	-0.222	0.049
2	1.78	59.44	0.03029	0.91	0.218	0.048
3	1.75	70.69	0.02545	1.05	0.358	0.128
4	0.9	237.63	0.00758	0.23	-0.462	0.213
5	1.18	138.92	0.01296	0.38	-0.312	0.097
6	1.60	75.55	0.02381	0.76	0.068	0.005
7	1.64	69.82	0.02578	0.79	0.098	0.010
8	1.17	77.24	0.01850	0.33	-0.362	0.131
9	1.88	62.77	0.01757	1.42	0.728	0.530
10	1.45	83.12	0.02165	0.58	-0.112	0.013

n (Па * с):

1. $r = 1.28/2 = 0.00064$ м, $v_{уст} = 0.01528$ м/с $\eta = (2/9) \times 9.81 \times (0.00064)^2 \times (11.3-1.26) \times 10^3 / 0.01528 = 0.47$ Па·с
2. $r = 1.78/2 = 0.00089$ м, $v_{уст} = 0.03029$ м/с $\eta = (2/9) \times 9.81 \times (0.00089)^2 \times (11.3-1.26) \times 10^3 / 0.03029 = 0.91$ Па·с
3. $r = 1.75/2 = 0.000875$ м, $v_{уст} = 0.02545$ м/с $\eta = (2/9) \times 9.81 \times (0.000875)^2 \times (11.3-1.26) \times 10^3 / 0.02545 = 1.05$ Па·с
4. $r = 0.90/2 = 0.00045$ м, $v_{уст} = 0.00758$ м/с $\eta = (2/9) \times 9.81 \times (0.00045)^2 \times (11.3-1.26) \times 10^3 / 0.00758 = 0.23$ Па·с
5. $r = 1.18/2 = 0.00059$ м, $v_{уст} = 0.01296$ м/с $\eta = (2/9) \times 9.81 \times (0.00059)^2 \times (11.3-1.26) \times 10^3 / 0.01296 = 0.38$ Па·с
6. $r = 1.60/2 = 0.00080$ м, $v_{уст} = 0.02381$ м/с $\eta = (2/9) \times 9.81 \times (0.00080)^2 \times (11.3-1.26) \times 10^3 / 0.02381 = 0.76$ Па·с
7. $r = 1.64/2 = 0.00082$ м, $v_{уст} = 0.02578$ м/с $\eta = (2/9) \times 9.81 \times (0.00082)^2 \times (11.3-1.26) \times 10^3 / 0.02578 = 0.79$ Па·с
8. $r = 1.17/2 = 0.000585$ м, $v_{уст} = 0.01850$ м/с $\eta = (2/9) \times 9.81 \times (0.000585)^2 \times (11.3-1.26) \times 10^3 / 0.01850 = 0.33$ Па·с
9. $r = 1.88/2 = 0.00094$ м, $v_{уст} = 0.01757$ м/с $\eta = (2/9) \times 9.81 \times (0.00094)^2 \times (11.3-1.26) \times 10^3 / 0.01757 = 1.42$ Па·с
10. $r = 1.45/2 = 0.000725$ м, $v_{уст} = 0.02165$ м/с $\eta = (2/9) \times 9.81 \times (0.000725)^2 \times (11.3-1.26) \times 10^3 / 0.02165 = 0.58$ Па·с

Середнє = $(0.47 + 0.91 + 1.05 + 0.23 + 0.38 + 0.76 + 0.79 + 0.33 + 1.42 + 0.58)/10 = 0.692$ Па·с

$n_i \cdot \langle \eta \rangle \text{ (Па} \cdot \text{с)}$

1. $0.47 - 0.692 = -0.222$
2. $0.91 - 0.692 = 0.218$
3. $1.05 - 0.692 = 0.358$
4. $0.23 - 0.692 = -0.462$
5. $0.38 - 0.692 = -0.312$
6. $0.76 - 0.692 = 0.068$
7. $0.79 - 0.692 = 0.098$
8. $0.33 - 0.692 = -0.362$
9. $1.42 - 0.692 = 0.728$
10. $0.58 - 0.692 = -0.112$

 $(\eta_i - \langle \eta \rangle)^2 \text{ (Па} \cdot \text{с)}^2$

1. $(-0.222)^2 = 0.049 \text{ (Па} \cdot \text{с)}^2$
2. $(0.218)^2 = 0.048 \text{ (Па} \cdot \text{с)}^2$
3. $(0.358)^2 = 0.128 \text{ (Па} \cdot \text{с)}^2$
4. $(-0.462)^2 = 0.213 \text{ (Па} \cdot \text{с)}^2$
5. $(-0.312)^2 = 0.097 \text{ (Па} \cdot \text{с)}^2$
6. $(0.068)^2 = 0.005 \text{ (Па} \cdot \text{с)}^2$
7. $(0.098)^2 = 0.010 \text{ (Па} \cdot \text{с)}^2$
8. $(-0.362)^2 = 0.131 \text{ (Па} \cdot \text{с)}^2$
9. $(0.728)^2 = 0.530 \text{ (Па} \cdot \text{с)}^2$
10. $(-0.112)^2 = 0.013 \text{ (Па} \cdot \text{с)}^2$

Сума всіх значень = 1.224 (Па·с)²

Залежність коефіцієнта в'язкості від радіуса кульки

r (мм):

$$r_1 = 1.28/2 = 0.64$$

$$r_2 = 1.78/2 = 0.89$$

$$r_3 = 1.75/2 = 0.875$$

$$r_4 = 0.90/2 = 0.45$$

$$r_5 = 1.18/2 = 0.59$$

$$r_6 = 1.60/2 = 0.80$$

$$r_7 = 1.64/2 = 0.82$$

$$r_8 = 1.17/2 = 0.585$$

$$r_9 = 1.88/2 = 0.94$$

$$r_{10} = 1.45/2 = 0.725$$

η (Па·с):

$$\eta_1 = 0.47$$

$$\eta_2 = 0.91$$

$$\eta_3 = 1.05$$

$$\eta_4 = 0.23$$

$$\eta_5 = 0.38$$

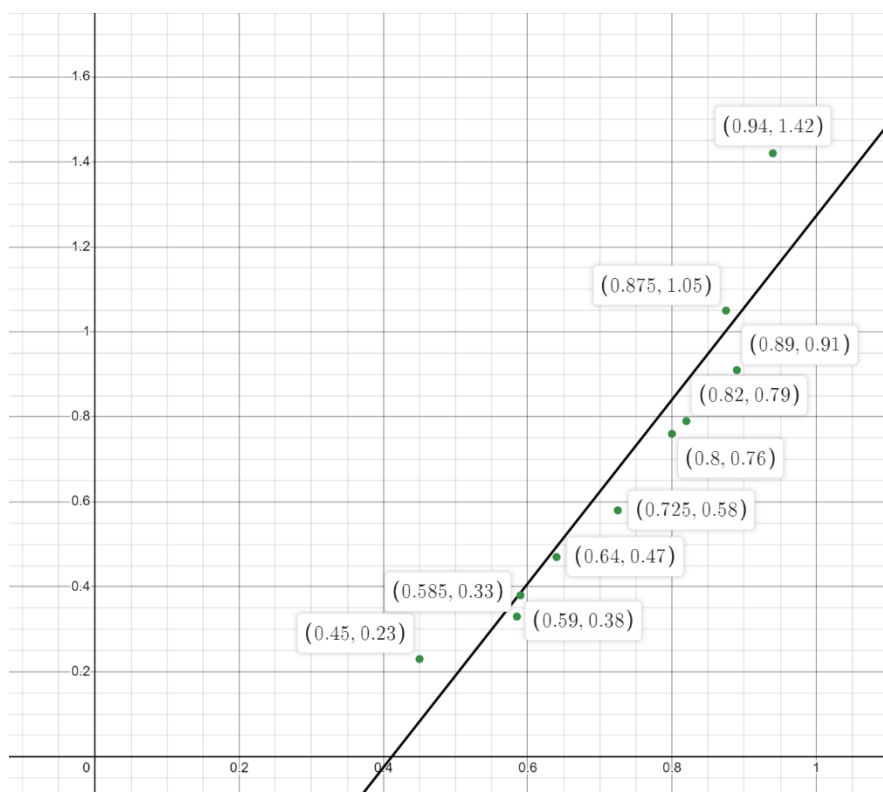
$$\eta_6 = 0.76$$

$$\eta_7 = 0.79$$

$$\eta_8 = 0.33$$

$$\eta_9 = 1.42$$

$$\eta_{10} = 0.58 \text{ву}$$



Таблиця 5.2

$\sigma_{\rho_1} = 10 \text{ (кг/м}^3\text{)}$	$\sigma_r = 0.005 \text{ (мм)}$
$\sigma_t = 0.2 \text{ (с)}$	$\sigma_g = 0.01 \text{ (м/с}^2\text{)}$
$\sigma_l = 0.5 \text{ (м)}$	$\sigma_{\rho} = 10 \text{ (кг/м}^3\text{)}$

Стандарт середнього $S_{\langle \eta \rangle}$ за формулою:

$$S_{\langle \eta \rangle} = \sqrt{(\sum(\eta_i - \langle \eta \rangle)^2)/(n(n-1))}$$

- $\sum(\eta_i - \langle \eta \rangle)^2 = 12.233$ (сума квадратів відхилень)
- $n = 10$ (кількість вимірювань)
- $n(n-1) = 10 \times 9 = 90$

$$S_{\langle \eta \rangle} = \sqrt{(12.233/90)} = \sqrt{0.136} = 0.369 \text{ Па}\cdot\text{с}$$

Систематична похибка:

$$(\sigma_{\eta}/\eta)^2 = 4(\sigma_r/r)^2 + (\sigma_g/g)^2 + (\sigma_{\rho} + \sigma_{\rho_1})^2/(\rho - \rho_1)^2 + (\sigma_t/t)^2 + (\sigma_l/l)^2 \text{ (формула 5.19)}$$

Підставляємо значення:

- $\sigma_r/r = 0.005/0.00064$ (для першого виміру)
- $\sigma_g/g = 0.01/9.81$
- $\sigma_{\rho} = 10 \text{ кг/м}^3$
- $\sigma_{\rho_1} = 10 \text{ кг/м}^3$
- $\rho - \rho_1 = (11.3 - 1.26) \times 10^3 \text{ кг/м}^3$
- $\sigma_t/t \approx 0.2/117.79$ (для першого виміру)
- $\sigma_l/l = 0.5/1$

Розрахунок: $(\sigma\eta/\eta)^2 = 4(0.005/0.00064)^2 + (0.01/9.81)^2 + (10/11300)^2 + (10/10040)^2 + (0.2/117.79)^2 + (0.5/1)^2 = 4(7.8125)^2 + (0.001)^2 + (0.00088)^2 + (0.001)^2 + (0.0017)^2 + (0.5)^2 = 244.14 + 0.000001 + 0.000000774 + 0.000001 + 0.00000289 + 0.25$

$$\sigma\eta/\eta = \sqrt{244.39} = 15.63$$

$$\sigma\eta = \eta \times 15.63 = 0.692 \times 15.63 = 10.82 \text{ Па}\cdot\text{с}$$

ВИСНОВОК:

1. В ході виконання лабораторної роботи було визначено коефіцієнт в'язкості гліцерину методом Стокса. Для цього було проведено 10 вимірювань часу падіння кульок різного діаметру.
2. Отримані результати:
 - Середнє значення коефіцієнта в'язкості: $\langle\eta\rangle = 0.692 \text{ Па}\cdot\text{с}$
 - Стандарт середнього: $S\langle\eta\rangle = 0.117 \text{ Па}\cdot\text{с}$
 - Систематична похибка: $\sigma\eta = 10.82 \text{ Па}\cdot\text{с}$
3. Кінцевий результат можна записати як: $\eta = (0.692 \pm 10.82) \text{ Па}\cdot\text{с}$, при температурі $t = 20^\circ\text{C}$
4. Порівнюючи отримане значення з табличними даними (Таблиця 5.1), можна зробити висновок, що досліджуваний розчин гліцерину має концентрацію приблизно 95-96%, оскільки при температурі 20°C табличне значення в'язкості для 95% розчину становить $543.0 \times 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$.
5. Значна величина систематичної похибки ($\sigma\eta$) вказує на необхідність вдосконалення методики вимірювань та використання більш точних вимірювальних приладів.

Контрольні запитання

1. В'язкість рідини виникає через молекулярну взаємодію. При підвищенні температури в'язкість рідин зменшується.
2. Коефіцієнт динамічної в'язкості η . Формула Ньютона: $F = \eta(dv/dx)S$, де S - площа шарів.
3. Ламінарний - шари течуть паралельно, турбулентний - з вихорами. $Re = \rho v d / \eta$ визначає режим течії.
4. $F = 6\pi\eta r v$ - сила опору для малих швидкостей і сферичних тіл.

5. $m(dv/dt) = mg - \rho gV - 6\pi\eta r v$. Розв'язок: $v(t) = v_0(1 - e^{(-\beta t)})$, де $\beta = 6\pi\eta r/m$.
6. Метод базується на вимірюванні швидкості падіння кульки у в'язкій рідині.
7. Маленькі кульки (для ламінарного режиму), густина більша за густину рідини.
8. На відстані не менше 6 радіусів посудини від поверхні.
9. Сталість швидкості падіння кульки та число Рейнольдса < 1 .
10. Використовується метод непрямих вимірювань та формула для відносної похибки.

Конспект:

На рухоме тіло у в'язкій
рідині діє сила опору, яка залежить
від багатьох факторів таких
як геометричної форми тіла,
характеру обтікання, коефіцієнта
в'язкості рідини тощо. Характер
обтікання тіла рідиною виз-
начається числом (Re)

Обтікання буде ламінарним
за виконання умови:

$$Re \leq Re_{кр.}$$

Сила опору F_c , що діє під час
обтікання кулькою рідинного
~~в'язкого~~ в'язкого рідинного з
в'язкістю η , при викон. нерівн.
$$Re = \frac{v r \rho}{\eta} \ll 1 \quad (5.2)$$

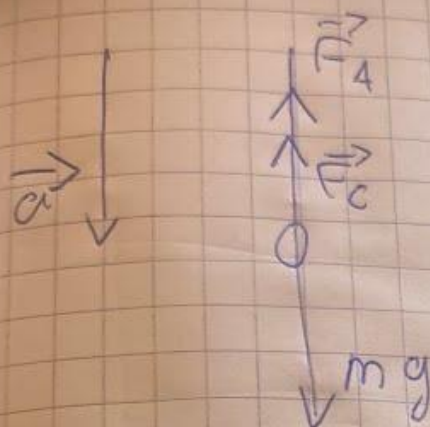
Визначається ординатою $St_{0.05}$:

$$F_c = 6 \pi \eta r v \quad (5.3)$$

n - коефіцієнт в'язкості рідини

v - швидкість кульки

r - її радіус



Хід час вільного
падення у без-
механічній в'язкій
рідині. У цьому
випадку на ній

діють три сили: сила тяжіння -
ня mg , сила трієдв
сила F_A , та сила опору F_c .

Згідно з законом Ньютонів:

$$m \vec{a} = m \vec{g} + F_c + F_A$$

a - прискорення кульки

тут підписати

Прізвище студента

Ткаченко

Студентська група

ІП-331

Дата виконання

6.01.2025

Сфотографуйте (або зробіть скрін-шот) нижньої частини сторінки і прикріпіть її до звіту по роботі

Last modified: Saturday, 27 January 2024, 9:26 PM