

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»
Факультет інформатики та обчислювальної техніки
Кафедра інформатики та програмної інженерії

Звіт

з лабораторної роботи №4 з
дисципліни «Ігрова фізика»

«Визначення коефіцієнта в'язкості
рідини методом Стокса»

Варіант 10

Виконав студент ІП-13, Замковий Дмитро Володимирович

(шифр, прізвище, ім'я, по батькові)

Перевірів Скирта Юрій Борисович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Лабораторна робота 4

Визначення коефіцієнта в'язкості рідини методом Стокса

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

Теорія:

В загальному вигляді закон Стокса має наступний вигляд:

$$F_c = 6\pi r\eta v,$$

та має виконуватись умова:

$$Re = \frac{vr\rho_1}{\eta} \ll 1$$

Для обчислення швидкості $v_{уст}$ в даній роботі необхідно використати формулу

$$v = \frac{l}{t},$$

де l – відстань яку пройшла кулька

t – час за який кулька пройшла цю відстань

Вимірявши усталену швидкість падіння кульки та знаючи її радіус, а також величини густин речовини кульки та рідини, можна обчислити коефіцієнти в'язкості рідини за формулою

$$\eta = \frac{2}{9}gr^2 \frac{\rho - \rho_1}{v_{уст}}$$

В чому і полягає ідея Стокса

На початку вимірювань необхідно також визначити, на якій відстані від відкритої поверхні гліцерину повинна бути нанесена верхня позначка, щоб на момент її проходження швидкість кульки була рівною $v_{уст}$. Для цього необхідно визначити шлях S , який пройде кулька за час $t = 3\tau$ якби її рух від поверхні мав нульову початкову швидкість. Якщо проінтегрувати вираз у межах від 0 до 3τ , то отримаємо:

$$S(3\tau) = \int_0^{3\tau} v(t)dt = v_{уст} * \tau \left(\frac{t}{\tau} - 1 + e^{-\frac{t}{\tau}} \right) \Big|_0^{3\tau} = \frac{8}{81} gr^4 \frac{\rho(\rho - \rho_1)}{\eta^2}$$

Розрахунки:

Густина матеріалу кульок $\rho = 11,3 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$

Густина гліцерину $\rho_1 = 1200 \text{ кг/м}^3$

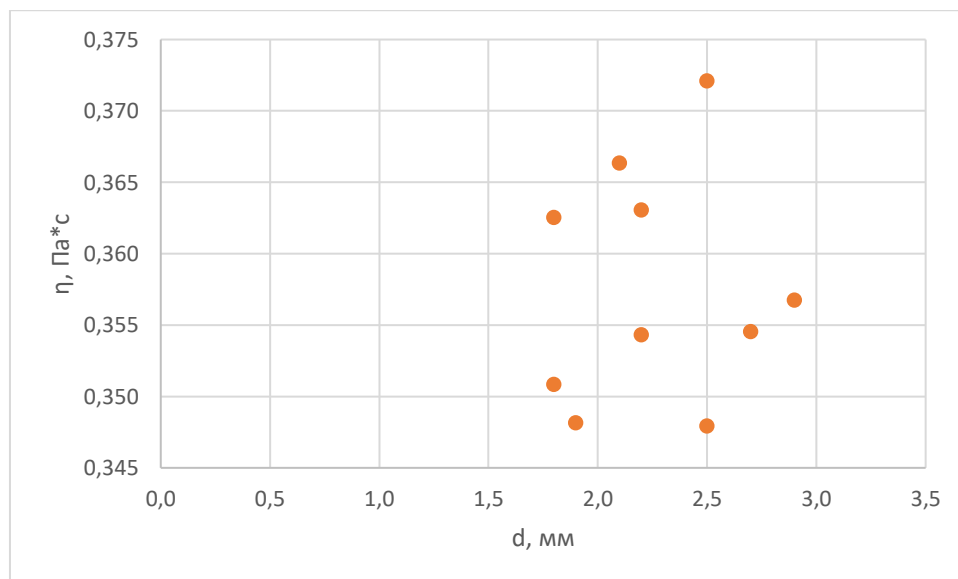
Температура гліцерину $t = 25,6^\circ\text{C}$

№	d, м	l, м	t, с	$v_{\text{уст}}, \text{ м/с}$	$\eta, \text{ Па}\cdot\text{с}$	$\eta_i - \langle \eta \rangle, \text{ Па}\cdot\text{с}$	$(\eta_i - \langle \eta \rangle)^2, (\text{Па}\cdot\text{с})^2$
1	0.0027	0.520	4.594	0.113	0.355	-0.0031	0.00000967
2	0.0019	0.355	6.219	0.057	0.348	-0.0095	0.00009049
3	0.0018	0.363	7.140	0.051	0.351	-0.0068	0.00004661
4	0.0029	0.513	3.953	0.130	0.357	-0.0009	0.00000082
5	0.0025	0.683	6.907	0.099	0.348	-0.0097	0.00009435
6	0.0018	0.359	7.297	0.049	0.363	0.0049	0.00002381
7	0.0022	0.414	5.641	0.073	0.363	0.0054	0.00002902
8	0.0025	0.406	4.391	0.092	0.372	0.0145	0.00020897
9	0.0022	0.470	6.250	0.075	0.354	-0.0033	0.00001118
10	0.0021	0.410	6.187	0.066	0.366	0.0087	0.00007552

Для найгіршого випадку ($d = 0.0029$) з'ясуємо на якій відстані від відкритої поверхні гліцерину повинна бути верхня позначка

$$S(3\tau) = \frac{8}{81} g r^4 \frac{\rho(\rho - \rho_1)}{\eta^2} = 0.003841$$

Переконаємось, що між d і η не має систематичної залежності



Вирахуємо вибірковий стандарт середнього

$$a = 0.9$$

$$\langle \eta \rangle = 0.358$$

$$S_{\langle \eta \rangle} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n \Delta \eta_i^2} = 0.002561$$

$$\eta = \langle \eta \rangle \pm \eta_{a, n} * S_{\langle \eta \rangle} = 0.358 \pm 2.92 * 0.002561 = 0.358 \pm 0.007479 \text{ (Па*с)}$$

Визначимо відсотковий вміст води у розчині гліцерину

Розчин гліцерину водний			
Вміст гліцерину, масові відсотки	В'язкість η , 10^{-3} Па·с		
	20 °C	25 °C	30 °C
100	1495,0	942,0	622,0
99	1194,0	772,0	509,0
98	971,0	627,0	423,0
97	802,0	521,0	353,0
96	659,0	434,0	295,0
95	543,0	365,0	248,0

Оскільки найближче табличне значення до температури у досліді - 25°C, а $\langle \eta \rangle = 0.358$, то з таблиці в імітаторі дізнаємось, що вміст гліцерину в розчині ~ 95%, а тобто вміст води в розчині ~ 5%

Висновок:

В ході даної лабораторної роботи я дослідив метод визначення коефіцієнта в'язкості рідини методом Стокса, а саме: провів експеримент в емітаторі, заповнив таблицю для подальшого її аналізу, визначив застосовність формули Стокса, з'ясував на якій відстані від відкритої поверхні гліцерину повинна бути верхня позначка, визначив усталені швидкості падіння кульки і вирахував за даною формулою коефіцієнти в'язкості гліцерину, переконався, що між коефіцієнтом в'язкості і діаметром кульки немає залежності, визначив середнє значення коефіцієнта в'язкості гліцерину, вирахував стандарт середнього, визначив відсотковий вміст води у досліджуваному гліцерині.

Відповіді на контрольні запитання:

1. Коефіцієнти в'язкості. Формула Ньютона для сили внутрішнього тертя.

Коефіцієнт в'язкості - фізична величина, чисельно рівна силі внутрішнього тертя F , що діє на кожну одиницю площі контакту двох шарів S , що рухаються відносно один одного з градієнтом швидкості, рівним одиниці.

$$F_T = \eta \cdot S \cdot \frac{dv}{dz} \quad (1), \text{ де}$$

S – площа межуючих поверхонь рідини і бруска;

η – коефіцієнт пропорційності або в'язкості;

$\frac{dv}{dz}$ – градієнт (перепад) швидкості, який характеризує зміну швидкості між межуючими шарами в напрямі перпендикулярному до течії рідини

2. Ламінарний і турбулентний рух. Число Рейнольдса.

Ламінарний рух - це регулярний рух рідини або газу, при якому рідина (газ) рухається шарами, паралельними напрямку потоку. При цьому перемішування між сусідніми шарами рідини немає.

Турбулентність — невпорядкований рух, який в загальному випадку виникає в рідинах, газоподібних або крапельних середовищах, коли вони обтікають непроникні поверхні або ж коли сусідні один з одним потоки однієї і тієї ж рідини слідує поруч або проникають один в інший. (Т. Карман).

Число Рейнольдса – безвимірний величина, яка характеризує відношення інерціальних сил до сил в'язкості тертя у в'язких рідинах і газах

3. Які кульки потрібно використовувати для вимірювань?

Для досліду можна використовувати кульки для яких дійсна нерівність

$$\frac{vr\rho_1}{\eta} \ll 1$$

4. На якій відстані від відкритої поверхні гліцерину слід наносити верхню позначку?

Для того аби порахувати цю відстань потрібно визначити шлях який пройде кулька за час - 3τ , якби її рух від поверхні мав нульову швидкість. Запишемо та розкриємо формулу:

$$S(3\tau) = \int_0^{3\tau} v(t)dt = v_{уст} \tau \left(\frac{t}{\tau} - 1 + e^{-\frac{t}{\tau}} \right) \Big|_0^{3\tau} \approx 2v_{уст} \tau \approx \frac{8}{81} gr^4 \frac{\rho(\rho - \rho_1)}{\eta^2}$$

5. Що є критерієм надійності даного експерименту?

Критерієм надійності даного експерименту буде відсутня систематична залежність η від g . ця залежність може мати тільки випадковий характер, пов'язаний із випадковими похибками. Тільки у цьому разі можна усереднювати результати вимірювань та робити висновки щодо справедливості теоретичних положень.