

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»

Виконав(ла)

ІП-11 Панченко Сергій Віталійович

(шифр, прізвище, ім'я, по батькові)

Перевірів(ла)

Скирта Юрій Борисович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Київ 2022

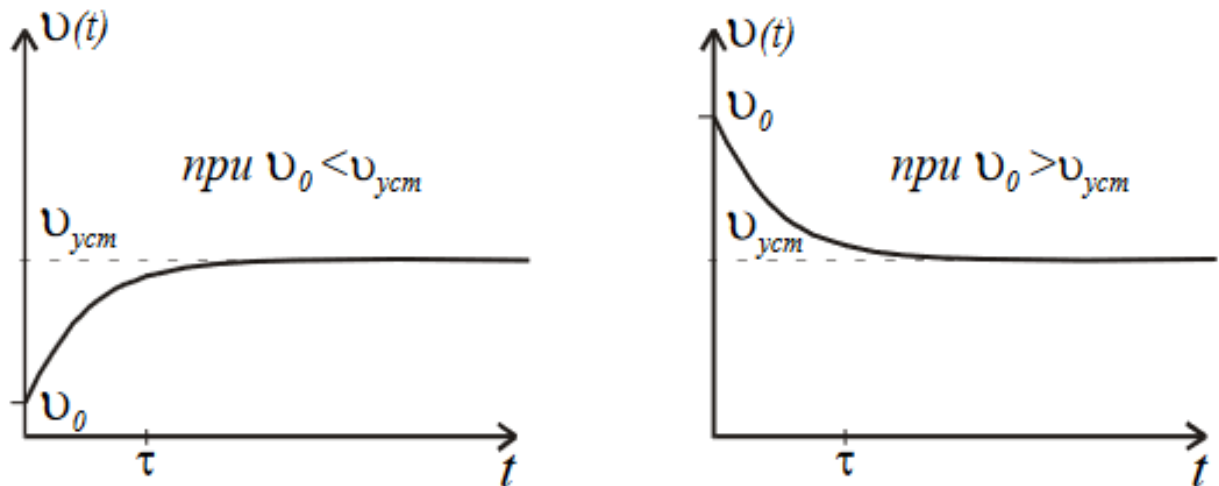
Теоретичний конспект

На рухоме тіло у в'язкій рідині діє сила опору, яка залежить від форми тіла, характеру обтікання, коефіцієнта в'язкості рідини тощо. Характер обтікання тіла рідиною визначається числом Рейнольдса (Re). Повна сила опору складається з опору тертя та опору тиску, а їхній відносний внесок визначається значенням Re . Обтікання буде ламінарним за виконання умови: $Re < Re_{кр}$, де $Re_{кр}$ – критичне значення числа Рейнольдса. Під час обтікання кульки необмеженою в'язкою рідиною та виконанні нерівності $Re = \frac{vr\rho_1}{\eta} \ll 1$. Сила опору F_C визначається формулою Стокса: $F_C = 6\pi r \eta v$ (шість піруетів), де η, ρ_1 – коефіцієнт в'язкості та густина рідини, v — швидкість кульки, r – її радіус. З'ясувавши характер руху кульки під час повільного падіння у необмеженій в'язкій рідині, отримаємо рівняння:

$$v(t) = Ce^{-\frac{6\pi r \eta}{\rho V} t} + \frac{Vg(\rho - \rho_1)}{6\pi r \eta}. \text{ Проаналізувавши розв'язок, отримаємо, що при } t \rightarrow \infty$$

маємо $v \rightarrow v_{уст} = \frac{Vg(\rho - \rho_1)}{6\pi r \eta}$, де умова $t \rightarrow \infty$ з фізичної точки зору означає, що $t \gg \tau$,

де $\tau = \frac{\rho V}{6\pi r \eta}$ – так званий час релаксації, тобто час, протягом якого рух кульки набуде усталеного характеру. Графіки залежності швидкості від часу виглядають так:



Вимірюючи усталену швидкість падіння кульки $v_{уст}$ та величини

r, ρ, ρ_1 , можна визначити коефіцієнти в'язкості рідини за формулою:

$$\eta = \frac{2}{9} g r^2 \frac{\rho - \rho_1}{v_{уст}}. \text{ У лаборатоній роботі визначимо коефіцієнт в'язкості}$$

гліцерину. Гліцерин змінює коефіцієнт в'язкості від рівня нагрітості.

Результати дослідів

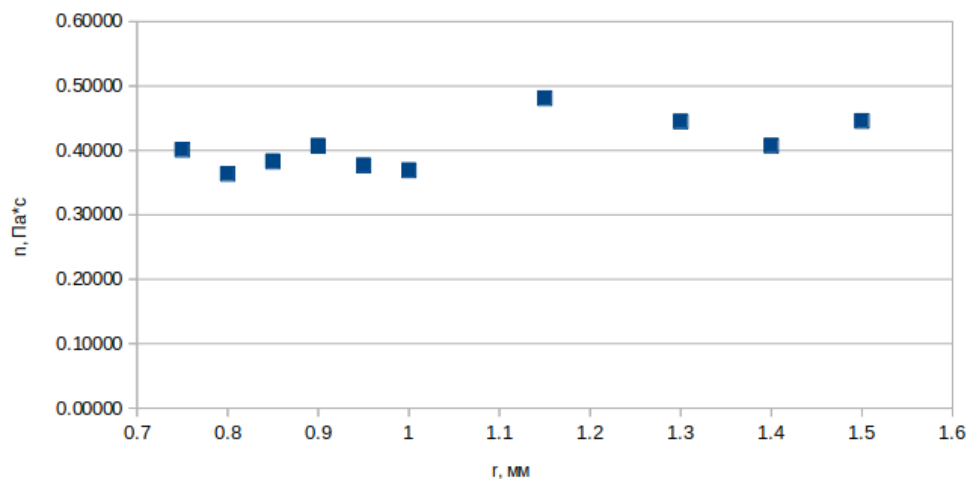
Густина матеріалу кульок	$11,3 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$
Густина гліцерину	$1,2 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$
Відстань між позначками	const
Температура гліцерину	24.2°

N_0	d (мм)	l (м)	t (с)	$v_{\text{уст}}$ (м/с)	η (Па·с)	$\eta_i - \langle \eta \rangle$ (Па·с)	$(\eta_i - \langle \eta \rangle)^2$ (Па·с) ²
1	1.5	0.991	32.123	0.03085	0.40105	-0.00693	0.00005
2	1.7	1.014	24.432	0.04150	0.38291	-0.02508	0.00063
3	1.6	1.017	26.278	0.03870	0.36374	-0.04425	0.00196
4	2	1.013	17.001	0.05958	0.36915	-0.03884	0.00151
5	2.3	1.007	16.655	0.06046	0.48111	0.07313	0.00535
6	2.6	1.031	12.34	0.08355	0.44492	0.03693	0.00136
7	2.8	0.976	9.224	0.10581	0.40744	-0.00055	0.00000
8	1.9	1.001	18.992	0.05271	0.37663	-0.03135	0.00098
9	3	0.999	9.001	0.11099	0.44591	0.03792	0.00144
10	1.8	1.002	22.89	0.04377	0.40700	-0.00098	0.00000
				$\langle \eta \rangle$	0.40798		

Формули для обчислення:

$$v = \frac{l}{t}; \eta = \frac{2}{9} \frac{gr^2(\rho - \rho_1)}{v_{\text{уст}}}; \langle \eta \rangle = \frac{\sum_{i=1}^n \eta_i}{n} = \frac{\sum_{i=1}^{10} \eta_i}{10} \approx 0.40798$$

Графік $\eta(r)$



Отже, провівши розрахунки, було визначено, що вміст гліцерину складає 95% його маси.

Варто зауважити, що оскільки температура 24.2* є дещо меншою від значення 25*, то в результаті в'язкість виявилася більшою.

Похибки вимірювань (коефіцієнт надійності $\alpha=0,9$)

$$S_{\langle \eta \rangle} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (\eta_i - \langle \eta \rangle)^2} \approx 0.01214579 \text{ (Па*с)}$$

$$\eta = \langle \eta \rangle \pm t_{\alpha, n} * S_{\langle \eta \rangle} = 0.40798 \pm 1.73 * 0.01214579 = 0.40798 \pm 0.0210122 \text{ (Па*с)}$$

Висновок

Під час лібораторної роботи, було опрацьовано теоретичний матеріал, проведено 10 дослідів, де значення бралися з відповідного імітатора Stocks.exe. Було знайдено швидкост падіння, довжину шляху, значення коефіцієнта в'язкості гліцерину, середнє арифметичне, інтервали довіри до нього, вміст гліцерину у водному розчині. Як результат, бачимо, що коефіцієнт в'язкості не залежить від маси кульки.

Контрольні запитання

1. Ламінарний і турбулентний рух. Число Рейнольдса.

Число Рейнольдса – це числова характеристика обтікання тіла рідиною, яка визначається за формулою:

$$Re = \frac{\rho u l}{\eta}$$

, де ρ – густина рідини, u – швидкість, l – довжина, η – в'язкість.

Ламінарний рух течії – це такий рух, за якого сусідні шари рідини не змішуються. Він відбувається за умови що число Рейнольдса буде меншим за критичне число Рейнольдса, тобто $Re < Re_{кр}$. Натомість турбулентний рух – це рух течії, що супроводжується утворенням вихорів (сусідні шари рідини змішуються). Він відбувається, коли число Рейнольдса більше за критичне число Рейнольдса, тобто $Re > Re_{кр}$.

Отже, **критичне число Рейнольдса $Re_{кр}$** – це така границя числа Рейнольдса для рідини, при якій ламінарний рух її течії переходить в турбулентний.

2. Формула Стокса. Умова її застосовності

Формула Стокса (або сили опору рідини):

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

застосовується, коли кульку обтікає необмежена в'язка рідина і виконується умова:

$$Re = \frac{v r \rho_1}{\eta} \ll 1 ,$$

де η – коефіцієнт в'язкості рідини, v – швидкість кульки, r – радіус кульки, ρ_1 – густина рідини, Re – число Рейнольдса.

3. Ідея вимірювання коефіцієнта в'язкості рідини методом Стокса.

Ідея вимірювання коефіцієнта в'язкості рідини методом Стокса полягає у тому, що визначення в'язкості проводиться шляхом приблизного вимірювання швидкості усталеного руху кульки у в'язкій рідині, і знаючи яку, а також густину, радіус кульки та густину рідини, можна визначити коефіцієнт в'язкості рідини за формулою:

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

де r – радіускульки, ρ – густина кульки, ρ_1 – густина рідини, g – прискорення вільного падіння, $v_{уст}$ – усталена швидкість руху.

4. Які кульки потрібно використовувати для вимірювань?

Радіуси кульок мають задовольняти умову:

$$r^3 \ll \frac{9}{2} \frac{\eta^2}{(\rho - \rho_1) \rho_1 g} ,$$

де η – коефіцієнт в'язкості рідини, ρ – густина кульки, ρ_1 – густина рідини, g – прискорення вільного падіння.

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

Мінімальна відстань від відкритої поверхні рідини, на якій треба розміщувати верхню позначку, визначається за формулою:

$$S \approx \frac{8}{81} g r^4 \frac{\rho(\rho - \rho_1)}{\eta^2} ,$$

де r – радіус кульки, ρ – густина кульки, ρ_1 – густина рідини, g – прискорення вільного падіння, η – коефіцієнт в'язкості рідини.

Підставивши густину гліцерину $\rho_1 = 1200 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, отримаємо:

$$S \approx \frac{8}{81} g r^4 \frac{\rho(\rho - 1200)}{\eta^2}$$