

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ  
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ МИХАЙЛА ОСТРОГРАДСЬКОГО



МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
ЩОДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ  
З НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ «ФІЗИКА»  
«ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА В'ЯЗКОСТІ РІДИНИ»  
(РОЗДІЛ «МЕХАНІКА І МОЛЕКУЛЯРНА ФІЗИКА»)  
ДЛЯ СТУДЕНТІВ ТЕХНІЧНИХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ  
ДЕННОЇ ТА ЗАОЧНОЇ ФОРМ НАВЧАННЯ

КРЕМЕНЧУК 2011

Методичні вказівки щодо виконання лабораторної роботи з навчальної дисципліни «**Фізика**» «Визначення коефіцієнта в'язкості рідини» (розділ «Механіка і молекулярна фізика») для студентів технічних спеціальностей денної та заочної форм навчання

Укладач: старш. викл. О.І.Лисенко

Рецензент д.т.н., проф. О.І.Єлізаров

Кафедра фізики

Затверджено методичною радою Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського

Протокол №\_\_\_\_\_ від \_\_\_\_\_

Заступник голови методичної ради \_\_\_\_\_доц. С.А.Сергієнко

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 1-9

### ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА В'ЯЗКОСТІ РІДИНИ

**ТЕМА РОБОТИ** Рух рідин, рух тіл в рідинах

**МЕТА РОБОТИ** Вивчення руху рідин і тіл у в'язких рідинах,

експериментальне визначення коефіцієнта в'язкості гліцерину і технічного касторового масла.

**ТЕХНІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ** Скляні циліндри з гліцерином і технічним касторовим маслом, лінійка, сталеві кульки, мікрометр, секундомір, калькулятор.

#### 1 ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ

Рідини мають дискретну молекулярну структуру, але в багатьох задачах механіки їх розглядають як суцільні однорідні середовища, що характеризуються середнім значенням густини речовини. Завдяки силам молекулярного притягування рідини в природному стані стиснуті великим тиском і тому під дією зовнішніх сил мало стискаються, чим і пояснюється їх мала стисливість. Внаслідок молекулярного притягання між рухомими шарами рідини виникає внутрішнє тертя. Рух рідини в широких трубах і водоймах, а також обтікання рідинами твердих тіл супроводжується внутрішнім тертям тільки в тонкому суміжному шарі, який безпосередньо прилягає до поверхні твердих тіл. У де-яких задачах механіки внутрішнім тертям в рідинах можна знехтувати. Рідина, в якій відсутнє внутрішнє тертя, називається ідеальною. Припускають, що всі шари ідеальної рідини, яка тече по трубах, рухаються з однаковими швидкостями.

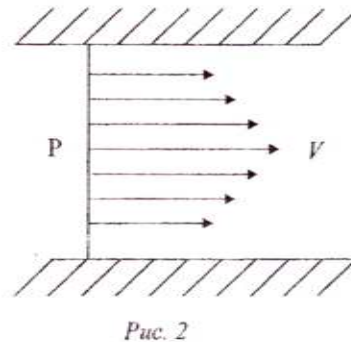
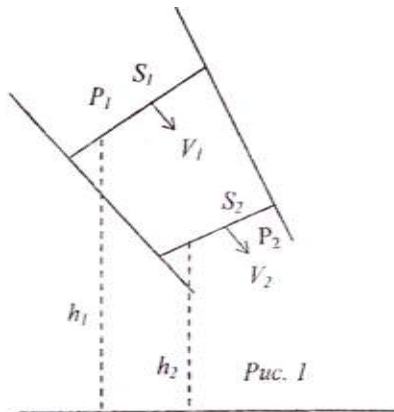
Рух рідини в трубах називається стаціонарним, якщо через різні поперечні перерізи труби за однакові проміжки часу переноситься однакова кількість рідини. Рівняння нерозривності є наслідком визначення стаціонарного руху рідини і закону збереження речовини: добуток площі поперечного перерізу труби на швидкість руху в цьому перерізі рідини - величина стала (рис. 1)

$$S_1 V_1 = S_2 V_2. \quad (1)$$

Рівняння Бернуллі можна розглядати як наслідок застосування закону збереження енергії та рівняння нерозривності до руху рідини в трубах:

при стаціонарному рухові рідин повний тиск рідини - величина стала (рис.1)

де  $p$  - статичний тиск,  $\rho gh$  - гідростатичний тиск, зумовлений дією на рідину гравітаційних сил,  $\rho V^2$  - динамічний тиск рідини.



Якщо швидкість руху в'язкої рідини в трубах порівняно невелика, рух рідини в трубах є ламінарним. При ламінарному рухові різні прошарки рідини рухаються з різними за величиною паралельними швидкостями, товщина прошарків не перебільшує радіус молекулярної взаємодії. Суміжний із стінкою труби прошарок рідини прилипає до труби і стає нерухомим внаслідок притягання між молекулами рідини і молекулами речовини труби. Сусідній з ним прошарок рідини ковзає по ньому з деякою швидкістю і т. д.

Найбільшу швидкість має прошарок рідини, що рухається вздовж осі труби (рис. 2). В'язкість (внутрішнє тертя між прошарками) рідини зумовлена двома факторами. По-перше, між молекулами прошарків рідини, що рухаються з різними швидкостями, діють сили взаємного притягування. По-друге, внаслідок міграції молекули з одного прошарку переходять до іншого, причому кожна молекула переносить імпульс. Внаслідок дії обох факторів прошарок рідини, швидкість якого більша, сповільнюється, а прошарок, швидкість якого менша, прискорюється. З макроскопічної точки зору між прошарками рідини виникає тертя. У рідинах основна роль належить першому фактору, в газах - другому. Сила внутрішнього тертя за формулою Ньютона:

$$(3)$$

де  $dS$ - поверхня дотику прошарків, що рухаються з різними швидкостями,  $dv/dz$  - градієнт швидкості в напрямі, перпендикулярному до осі труби,  $\eta$ - коефіцієнт в'язкості (коефіцієнт внутрішнього тертя). Знак показує, що сила

внутрішнього тертя сповільнює прошарок, який має більшу швидкість, і прискорює прошарок, що має меншу швидкість.

Сила опору тілу, що рухається у в'язкій рідині, залежить від форми та розмірів тіла, від стану поверхні тіла і в'язкості рідини. Зокрема, якщо у в'язкій рідині рухається куля, то суміжний з поверхнею кулі прошарок рідини рухається з такою самою швидкістю, що й куля, внутрішнє тертя відбувається між прошарками рідини (рис. 3). Фізична картина механізму внутрішнього тертя не змінюється, якщо тіло нерухоме, а рідина рухається відносно тіла.

У тому випадку, коли лінійні розміри кульки значно менші, ніж ширина посудини (в лабораторній роботі - діаметр скляного циліндра, рис.3) і куля рухається далеко від стінок посудини, силу внутрішнього тертя визначають за формулою Стокса:

$$F_t = 6\pi\eta r v \quad (4)$$

де  $v$ - швидкість кульки,  $d$  -діаметр кульки,  $\eta$ - коефіцієнт в'язкості. Метод, що застосовується в цій лабораторній роботі, оснований на формулі (4).

## 2 МЕТОД ВИМІРЮВАННЯ

На кульку, що падає під силою земного тяжіння  $F_T$  у в'язкій рідині, діє сила опору в'язкої рідини  $F$  і виштовхувальна сила  $F_B$  (рис.4), Безпосередньо після занурення кульки в рідину  $F_T > F + F_B$  куля падає з прискоренням.

Рівняння руху

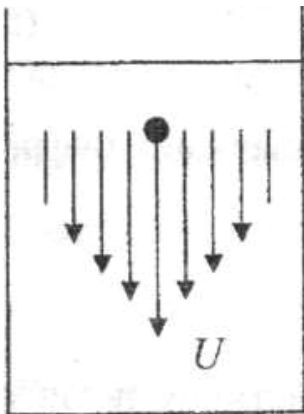


Рис. 3

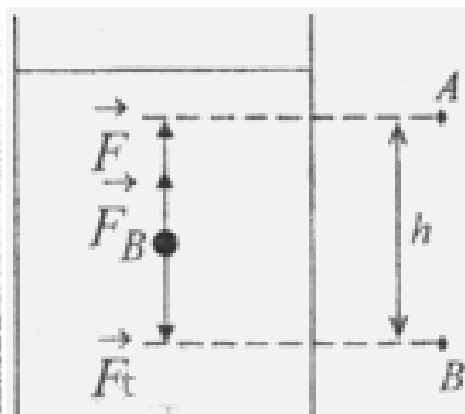


Рис. 4

Виразимо силу земного притяжіння через густину матеріалу кульки  $\rho$  і її діаметр  $d$ :

а відштовхувальну силу - через густину рідини  $\rho_1$ :

$$F_B = m_1 g = \rho_1 g V = \frac{1}{6} \cdot \pi d^3 \rho g.$$

Рівняння прискореного падіння:

$$m a = \frac{1}{6} \cdot \pi d^3 g (\rho - \rho_1) - 3 \pi d \eta v.$$

У міру збільшення швидкості сила опору збільшується, прискорення стає рівним нулю. Рівняння рівномірного руху:

$$\frac{1}{6} \cdot \pi d^3 g (\rho - \rho_1) = 3 \pi d \eta v,$$

а коефіцієнт в'язкості

$$\eta = \frac{g(\rho - \rho_1)d^2}{18v}.$$

Швидкість рівномірного руху кульки виражаємо безпосередньо вимірювані величини - шлях рівномірного руху  $h$  і тривалість руху  $t$ . Тоді коефіцієнт в'язкості:

$$\eta = \frac{g(\rho - \rho_1)d^2 t}{18h}.$$

Відносна похибка визначення коефіцієнта в'язкості

$$E = \frac{\Delta \eta}{\eta} = \frac{\Delta g}{g} + \frac{2 \Delta \rho}{\rho - \rho_1} + \frac{2 \Delta d}{d} + \frac{\Delta h}{h} + \frac{\Delta t}{t}$$

Величини  $g$ ,  $\rho$ ,  $\rho_1$  взяті з довідника з точністю до трьох значущих цифр, і тому

$$\Delta g = 0,005 \text{ м/с}^2, \Delta \rho = 0,005 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3.$$

Абсолютна похибка  $\Delta t$  визначається як середня арифметична похибка прямих вимірювань,  $\Delta h$  - як номінальна похибка вимірювання відстані між позначками "А" і "В" на циліндрі (рис.4),  $\Delta d$  - як номінальна похибка мікрометра.

Табличні значення густини:

сталь-  $7,87 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ ;

гліцерин -  $1,26 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ ;

касторове масло -  $0,900 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ .

### 3 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Розпочинаючи виконання лабораторної роботи, необхідно взяти до уваги два зауваження: формула Стокса справедлива лише для широких посудин. Якщо трапиться, що в досліді кулька рухається біля стінки циліндра, то такий

дослід треба виключати з розрахунків як промах. Рух кульки можна вважати рівномірним лише між позначками "А" і "В", що мають форму кілець. Треба старанно підготуватись до дослідів і провести їх протягом мінімального проміжку часу, оскільки протягом 15-20 хвилин рідина в умовах лабораторії може нагрітись на декілька градусів, що призведе до зміни коефіцієнта в'язкості рідини.

1.Виміряти мікрометром діаметри кульок, що застосовуються у лабораторній роботі. Якщо діаметри всіх кульок виявляться однаковими, за абсолютну похибку беруть номінальну похибку мікрометра.

2.Опустити кульку в лійку над циліндром з рідиною і виміряти тривалість її руху між позначками "А" і "В" циліндра. У момент запуску секундоміра кулька повинна проходити позначку "А", при зупинці - позначку "В". Якщо виявиться, що до металевої кульки в рідині прилипла кулька повітря, такий дослід слід вважати промахом. Дослід з вимірюванням тривалості  $t$  руху виконують 3-5 разів.

3.Обчислити середню тривалість руху кульок, абсолютну похибку кожного виміру, середню абсолютну похибку.

4.Виміряти лінійкою відстань між позначками "А" і "В" циліндра. За абсолютну похибку  $\Delta h$  беруть номінальну похибку лінійки.

5.За формулою (5) обчислити коефіцієнт в'язкості рідини, підставляючи до неї замість  $t$  середнє значення.

6.За формулою (6) обчислити відносну похибку вимірювання. Абсолютну похибку визначення коефіцієнта в'язкості знаходять як похибку непрямого вимірювання.

№ пор	$d$ , м	$\Delta d$ , м	$t$ , с	$\Delta t$ , с	$h$ , м	$\Delta h$ , м	$\eta$ , Па·с	$\Delta \eta$ , Па·с	$E$ , %
1									
2									
3									
сер									

### КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

- 1.Який рух рідини в трубах називають стаціонарним?
- 2.Виведіть рівняння нерозривності з визначенням стаціонарного руху і закону збереження речовини.  
Запишіть і поясніть рівняння Бернуллі для рухомих рідин.
- 3.Поясніть механізм внутрішнього тертя в рухомій в'язкій рідині?
- 4.Якими чинниками зумовлене внутрішнє тертя у в'язкій рідині? Якому з цих чинників належить основна роль?
- 5.Запишіть і поясніть формулу для сили внутрішнього тертя в рідинах.

6. Запишіть і поясніть формулу Стокса для сили внутрішнього тертя, яка діє на кульку, що рухається в в'язкій рідині. Поясніть механізм внутрішнього тертя під час руху у в'язкій рідині твердого тіла обтічної форми.

7. Які сили діють на кульку, що падає у в'язкій рідині під дією сил тяжіння?

8. Складіть рівняння прискореного руху кульки, що падає у в'язкій рідині під дією сили тяжіння.

9. За яких умов кулька, що падає під дією сили тяжіння у в'язкій рідині, рухається рівномірно?

10. Сформулюйте закон Архімеда для рідин і газів.

11. Виведіть формулу, яку застосовують у лабораторній роботі з розрахунку коефіцієнта в'язкості рідини.

12. Розрахуйте динамічний тиск води, що рухається зі швидкістю 0,5 м/с. Густина води  $10^3$  кг/м<sup>3</sup>.

13. Швидкість рідини в широкій частині труби діаметром 1 м дорівнює 0,3 м/с. Знайти швидкість руху рідини у вузькій частині труби діаметром 50 см.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Савельєв И.В. курс общей физики. Т.1. Механика Молекулярная физика. М.-«Наука», 1987. С.246-261.

2. Трофимова Т.И. курс физики. - М.: "Высш. Школа", 1998. - С. 51 - 59.



Методичні вказівки щодо виконання лабораторної роботи з навчальної дисципліни «**Фізика**» «Визначення коефіцієнта в'язкості рідини» (розділ «Механіка і молекулярна фізика») для студентів технічних спеціальностей денної та заочної форм навчання

Укладач: старш. викл. О.І.Лисенко

Відповідальний за випуск зав. кафедри фізики О.І.Єлізаров

Підп. до др. \_\_\_\_\_. Формат 60×84 1/16. Папір тип. Друк ризографія.

Ум. друк. арк. \_\_\_\_\_. Наклад \_\_\_\_\_ прим. Зам. № \_\_\_\_\_. Безкоштовно.

Видавничий відділ

Кременчуцького національного університету

імені Михайла Остроградського

вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600