

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 ЛОГАРИФМІЧНОГО ДЕКРЕМЕНТА  
КОЕФІЦІЄНТА ЗАГАСАННЯ КОЛИВАНЬ»  
(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 логарифмічного декременту коефіцієнта загасання коливань» (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 1-5**  
**ВИЗНАЧЕННЯ ЛОГАРИФМІЧНОГО ДЕКРЕМЕНТА**  
**КОЕФІЦІЄНТА ЗАГАСАННЯ КОЛИВАНЬ**

**ТЕМА РОБОТИ** Механічні загасаючі коливання

**МЕТА РОБОТИ** Вивчення механічних загасаючих коливань,  
експериментальне визначення коефіцієнта і логарифмічного декременту  
загасання коливань.

**ТЕХНІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ** Крутильно-балістичний маятник з повітряним  
демпфером і освітлювачем шкали, секундомір, калькулятор

**1 ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ**

Реальні власні механічні коливання тіл відбуваються під дією на них пружних (або квазіпружних) сил і сил опору. Унаслідок дії на тіла сил опору механічна енергія коливання розсіюється в навколишнє середовище. При малих швидкостях руху тіл сили опору прямо пропорційні першому степеню швидкості

$$F_C = -r\sigma = -r \frac{dx}{dt},$$

де  $r$  - коефіцієнт опору, що залежить від в'язкості середовища, форми і розмірів тіла. Диференціальне рівняння загасаючих коливань:

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = -r \frac{dx}{dt} - kx, \quad \frac{d^2x}{dt^2} + 2\beta \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = 0,$$

де  $\beta = r/2m$  - коефіцієнт загасання коливань, а  $\omega_0^2 = k/m$ .

Рівняння (1) має дійсний розв'язок лише при  $\omega_0^2 - \beta^2 > 0$ . Циклічна частота загасаючого коливання

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}.$$

Розв'язок рівняння (1):

$$x = A_0 e^{-\beta t} \sin(\omega t + \varphi).$$

У розв'язку  $A_0$  - амплітуда початкового коливання, а

$$A = A_0 e^{-\beta t}$$

це амплітуда коливання в момент часу  $t$ . Логарифмічний декремент загасання коливань

$$\delta = \ln \frac{A_n}{A_n + 1} = \ln \frac{A_0 e^{-\beta T}}{A_0 e^{-\beta(t+T)}} = \ln e \beta T = \beta T,$$

де  $T$  - період загасаючого коливання. Для з'ясування фізичного змісту коефіцієнта загасання коливань вважаємо, що протягом часу  $t_1$  амплітуда загасаючого коливання зменшується у  $e$  разів ( $e=2,72$ ). Тоді

$$\frac{A_0}{A_t} = e, \quad \frac{A_0}{t_1} = e^{\beta t}, \quad \beta t_1 = 1, \quad \beta = \frac{1}{t_1}.$$

Отже, коефіцієнт загасання коливань - величина, обернена до проміжку часу, протягом якого амплітуда коливань зменшується в  $e$  разів. Для з'ясування фізичного змісту логарифмічного декремента загасання коливань скористаємося формулою (2):

$$\delta = \beta T = \frac{T}{t_1} = 1 / \frac{t_1}{T} = \frac{1}{n_e}.$$

Логарифмічний декремент загасання коливань - число, обернене кількості коливань, протягом яких амплітуда коливання зменшується в  $e$  разів.

## 2 МЕТОД ВИМІРУ

Крутильно-балістичний маятник описаний у лабораторній роботі 2 (рис. 3 і 4). Для виконання даної роботи на одне плече маятника встановлюють демпфер - тонкий лист металу, площа якого перпендикулярна до напрямку руху плеча приладу. Навколишнє повітря чинить опір рухові демпфера, і коливання з часом загасають.

На маятник з демпфером діють два моменти сил.

### 1. Момент сил пружності дроту

$$M_1 = -ka,$$

де  $a$  - кут відхилення маятника від положення рівноваги,  $K$ - коефіцієнт сил пружності дроту.

2. Момент сил опору

$$M_1 = -R \frac{da}{dt},$$

де  $R$  - коефіцієнт опору,  $da/dt$  - кутова швидкість маятника.

Застосовуючи до маятника основне рівняння динаміки обертального руху, одержимо диференціальне рівняння, аналогічне рівнянню (1):

$$J \frac{d^2 a}{dt^2} = -R \frac{da}{dt} - ka,$$

або після введення нових коефіцієнтів

$$R/J=2\beta, \quad k/J=\omega_0^2$$

$$\frac{d^2 a}{dt^2} + 2\beta \frac{da}{dt} + \omega_0^2 a = 0$$

де  $J$  - момент інерції маятника, розв'язок його

$$a = a_0 e^{-\beta t} \sin(\omega t + \varphi)$$

де  $a_0$  - початковий кут повороту маятника. Поворот маятника на кут  $a$  відповідає кутові променя по шкалі на кут  $2a$  і тому для малих кутів:

$$2a = \frac{N_0}{b}, \quad 2a = \frac{N}{b}$$

де  $N_0$  і  $N$ - число поділок шкали, що відповідає зсуву променя від її нуля, а  $b$  - відстань від дзеркала маятника до шкали. Отже,

$$N = N_0 e^{-\beta t}, \quad \beta = \ln \frac{N_0}{N}$$

Якщо протягом часу  $t$  маятник здійснює  $n$  коливань, то згідно рівнянь (2) і (3):

$$\delta = \ln \frac{N_0}{N} / n$$

Відносні похибки визначення  $\beta$  і  $\delta$ :

$$E_1 = \frac{\Delta\beta}{\beta} = \left( \frac{\Delta N_0}{N_0} + \frac{\Delta N}{N} \right) / \ln \frac{N_0}{N} + \frac{\Delta t}{t}$$

$$E_2 = \frac{\Delta\delta}{\delta} = \left( \frac{\Delta N_0}{N_0} + \frac{\Delta N}{N} \right) / \ln \frac{N_0}{N} + \frac{\Delta n}{n}$$

За абсолютні похибки  $\Delta N_0$  і  $\Delta N$  приймаються похибки одиничних вимірів за шкалою освітлювача, абсолютні похибки  $\Delta t$  і  $\Delta n$  визначаються як середні арифметичні похибки прямих вимірів.

### 3 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Увімкнути освітлювач, перевірити установку нуля шкали. Корекція нуля проводиться переміщенням шкали за допомогою гвинта.
2. Повернути маятник на кут, що відповідає числу поділок шкали  $N_0 = 8-10$  см. Одночасно запустити секундомір і маятник. Виміряти час, протягом якого амплітуда коливань зменшиться в 2 рази і стане дорівнювати  $N = N_0/2$ , а також число коливань  $n$ . Описаний вище досвід повторити ще 2-4 рази і приступити до обробки експериментальних даних.
3. Обчислити середні значення  $t$  і  $n$ , абсолютні похибки кожного виміру цих величин, середні абсолютні похибки як похибки прямих вимірів.
4. За формулою (3) обчислити коефіцієнт загасання коливань, підставляючи до неї середнє значення часу. Взяти  $\ln 2 = 0,693$ . Знайти відносну похибку виміру за формулою (5).
5. За формулою (4) обчислити логарифмічний декремент загасання коливань і за формулою (6) відносну похибку його виміру.
6. Заповнити табл.6 результатів роботи.

Таблиця 6

№ пор.	$n$	$\Delta n$	$t, c$	$\Delta t, c$	$N_0,$ см	$N,$ см	$\beta,$ $c^{-1}$	$E_1,$ %	$\delta$	$E_2,$ %
1										
2										
3										
4										
5										
6										

Зміст звіту: назва і номер лабораторної роботи, формули для розрахунку  $\beta$  і  $\delta$  та їх відносних похибок, таблиця результатів роботи (табл.6).

### КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Які коливання називаються загасаючими? Чим зумовлене загасання коливань?
2. Складіть диференціальне рівняння загасаючих коливань матеріальної точки.
3. За якої умови загасаючі коливання будуть періодичними й аперіодичними?
4. Поясніть розв'язок диференціального рівняння загасаючих коливань матеріальної точки.
5. Дайте визначення виведіть формулу логарифмічного декременту загасання коливань.
6. Поясніть фізичний зміст коефіцієнта загасання коливань і логарифмічного декременту загасання коливань.
7. Які моменти сил прикладені до крутильно-балістичного маятника?
8. Складіть диференціальне рівняння загасаючих коливань крутильно-балістичного маятника, дослідіть розв'язок рівняння.

9. Виведіть розрахункові формули для визначення з досліду  $\beta$  і  $\delta$ .
10. Амплітуда загасаючих коливань за 1 хвилину зменшилася в 2 рази. У скільки разів вона зменшиться за 3 хвилини?
11. Протягом 10 коливань амплітуда зменшилася в 2 рази. Визначте логарифмічний декремент загасання коливань ( $\ln 2 = 0,693$ ).
12. Логарифмічний декремент загасання коливань дорівнює 0,01. Визначте число коливань, протягом яких амплітуда зменшується в 2 рази ( $\ln 2 = 0,693$ ).
13. За якої умови коливання загасають найшвидше?

## ЛІТЕРАТУРА

[2. т.1, §8.1-8.51 3, т.1, § 58]



Методичні вказівки щодо виконання лабораторної роботи з навчальної дисципліни «**Фізика**» «Визначення логарифмічного декременту коефіцієнта загасання коливань» (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