

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 НАПРУЖЕНОСТІ ТА ПОТЕНЦІАЛУ ГРАВІТАЦІЙНОГО  
ПОЛЯ ЗЕМЛІ ЗВОТНИМ МАЯТНИКОМ»  
(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 напруженості та потенціалу гравітаційного поля Землі зворотним маятником» (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 1-4

### ВИЗНАЧЕННЯ НАПРУЖЕНОСТІ ТА ПОТЕНЦІАЛУ

#### ГРАВІТАЦІЙНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛІ ЗВОРОТНИМ МАЯТНИКОМ

**ТЕМА РОБОТИ** Гравітаційне поле. Робота змінної сили. Теорема Штейнера.

**МЕТА РОБОТИ** Експериментальне визначення напруженості гравітаційного поля Землі, розрахунок потенціалу поля Землі і гравітаційної сталої на основі результатів вимірів.

**ТЕХНІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ** Зворотний маятник на кронштейні, металева призма, лінійка, секундомір.

#### 1 ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ

Гравітаційна взаємодія тіл полягає у їх взаємному притягуванні. Гравітаційним полем тіла (маси) називається частина простору, у якому виявляється гравітаційна дія цього тіла на інші тіла. У гравітаційному полі Землі масою  $M$  на будь-яке тіло масою  $m$ , що знаходиться на відстані  $r$  від центра Землі, діє сила:

$$F = \gamma \frac{M \cdot m}{r^2}, \quad (1)$$

де  $\gamma$  – гравітаційна стала, яка чисельно дорівнює гравітаційній силі взаємодії двох мас по 1 кг, що знаходяться на відстані 1 м одна від одної.

Напруженістю гравітаційного поля називається величина, яка визначається відношенням гравітаційної сили, що діє на тіло у гравітаційному полі, до маси цього тіла:

$$G = \frac{F}{m}, \quad (2)$$

Напруженість гравітаційного поля Землі на її поверхні:

$$G = \gamma \cdot \frac{M}{R^2}, \quad (3)$$

де  $R$  – радіус Землі.

Напруженість гравітаційного поля Землі є його силовою характеристикою і чисельно дорівнює його кінетичній характеристиці – прискоренню вільного падіння тіл у гравітаційному полі Землі:

$$G = g,$$

$$G \left( \frac{H}{M} \right) = g \left( \frac{M}{c^2} \right).$$

Потенціалом гравітаційного поля Землі називається величина, яка вимірюється відношенням потенційної енергії тіла у гравітаційному полі до маси цього тіла:

$$\varphi = \frac{\Pi}{m}. \quad (4)$$

Потенційну енергію тіла, яке знаходиться на поверхні Землі, можна визначити як роботу змінної гравітаційної сили під час переміщення тіла з межі гравітаційного поля Землі на її поверхню. При нескінченно малому переміщенні тіла масою  $m$  виконується елементарна робота гравітаційної сили:

$$d\Pi = dA = F \cdot dr = \gamma \cdot \frac{m \cdot M}{r^2} \cdot dr,$$

а вся робота гравітаційної сили:

$$\Pi = A = \gamma \cdot M \cdot m \int_{\infty}^R \frac{dr}{r^2} = -\gamma \cdot \frac{M \cdot m}{R}.$$

Знак «-» енергії вказує на те, що гравітаційна енергія є енергією протягування. Згідно з визначенням гравітаційного потенціалу:

$$\varphi = -\gamma \cdot \frac{M}{R} = -G \cdot R,$$

а модуль гравітаційного потенціалу:

$$\varphi = G \cdot R. \quad (5)$$

У лабораторній роботі напруженість гравітаційного поля Землі визначають експериментально, а модуль, гравітаційну сталу розраховують на основі результатів експерименту за формулами (5) і (6):

$$\gamma = \frac{G \cdot R^2}{M}. \quad (6)$$

Для розрахунків відповідно маса та радіус Землі:

$$M=5,98 \cdot 10^{24} \text{ кг}, R=6,37 \cdot 10^6 \text{ м}.$$

## 2 МЕТОДИКА ВИМІРЮВАННЯ

Лабораторна методика визначення напруженості гравітаційного поля Землі використовує фізичні маятники. Фізичним маятником називається тіло будь-якої форми, що коливається під дією гравітаційної та інших сил відносно осі, яка не проходить через центр мас тіла.

Якщо кути  $\alpha$  між вертикальною лінією і прямою, яка проходить через центр мас тіл та вісь коливань, малі, то:

$$\alpha = \sin\alpha = \operatorname{tg}\alpha,$$

тоді період малих коливань фізичного маятника:

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{J}{m \cdot g \cdot a}},$$

де  $J$  – момент інерції маятника відносно вісі коливань,

$m$  – маса маятника,

$a$  – відстань між центром мас та віссю коливань маятника.

Маятник, що застосовується у даній лабораторній роботі, називається зворотним (рис.1) і складається з металевго стрижня 1, двох однакових масивних тіл 2, положення яких на стрижні можна змінювати, та двох металевих призм 3, на опорних ребрах яких (О і К) маятник встановлюють по черзі. Опорою маятника є закріплений на стіні кронштейн.

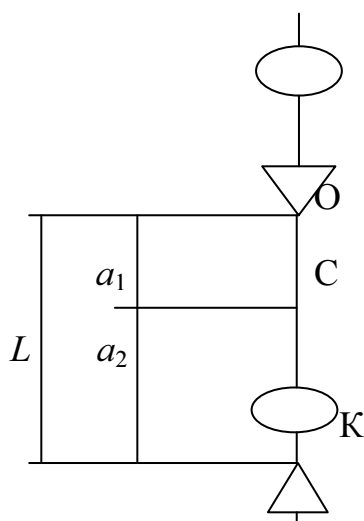


Рис. 1

Центр мас С маятника визначають експериментально за допомогою додаткової призми, на яку кладуть стрижень 1 маятника. Після тривалої роботи призми 3 можна розмістити на такій відстані  $L$ , для якої періоди малих коливань маятника відносно вісей, що проходять через ребра О і К призм, будуть рівні. Для визначення напруженості гравітаційного поля Землі можна також застосовувати іншу методику, що не потребує виконання зазначеної вище роботи та дає можливість позбутися багатьох похибок вимірювання.

Нехай для фіксованого положення ребра О призми період малих коливань маятника  $T_1$ , а для фіксованого положення ребра К призми період коливань маятника  $T_2$ , отже:

$$T_1 = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{J_1}{m \cdot G \cdot a_1}}, \quad T_2 = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{J_2}{m \cdot G \cdot a_2}}.$$

Моменти інерції маятника  $J_1$  і  $J_2$  відносно нерухомих вісей, що збігаються з ребрами О і К призм, за теоремою Штейнера дорівнюють:

$$J_1 = J_0 + m \cdot a_1^2, \quad J_2 = J_0 + m \cdot a_2^2,$$

де  $J_0$  – момент інерції маятника відносно вісі, яка проходить через центр мас маятника і паралельна ребрам О і К призм 3. Із систем рівнянь:

$$\begin{cases} T_1^2 = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot (J_0 + m \cdot a_1^2)}{m \cdot G \cdot a_1} \\ T_2^2 = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot (J_0 + m \cdot a_2^2)}{m \cdot G \cdot a_2} \end{cases}$$

Одержимо формулу для визначення  $G$ :

$$G = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot L \cdot (a_1 - a_2)}{a_1 \cdot T_1^2 - a_2 \cdot T_2^2}, \quad (7)$$

де  $L = a_1 + a_2$  – відстань між опорними ребрами О і К призм 3.

Відносна похибка визначення напруженості гравітаційного поля Землі:

$$E = \frac{\Delta G}{G} = \frac{\Delta L}{L} + 2 \cdot \frac{\Delta a_1 + \Delta a_2}{|a_1 - a_2|} + \frac{\Delta T_1}{T_1} + \frac{\Delta T_2}{T_2}. \quad (8)$$

### 3 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Слід уважно вивчити взаємне розміщення тіл 2 та призм 3 маятника, щоб надалі розрізнити призми. Зворотний маятник має значну масу і тому під час виконання роботи потрібно виконувати правила техніки безпеки.

1. Встановити на кронштейн ребро О призми, відхилити маятник від положення рівноваги на малий кут (до  $5^\circ$ ) і за допомогою секундоміра виміряти тривалість  $t_1$  від 50 до 100 повних коливань маятника. Визначити період коливань  $T_1$ , розділивши час  $t$  на кількість коливань  $n$ , тобто  $T_1 = t_1/n$ . Повторити вказані вище виміри ще два рази. Знайти середнє значення періоду  $T_1$ , абсолютну похибку кожного виміру і середню абсолютну похибку, як похибку прямих вимірів.

2. Встановити на кронштейн ребро К призми, провести три досліди вимірювання періоду коливань  $T_2$ . Знайти середнє значення  $T_2$ , абсолютну

похибку кожного виміру і середню абсолютну похибку, як похибку прямих вимірів.

3.Зняти маятник з кронштейна і обережно розмістити його на лабораторному столі. Знайти відстань  $L$  між ребрами  $O$  і  $K$ . Абсолютна похибка  $\Delta L$  такого виміру не буде перевищувати подвійну номінальну похибку для шкали лінійки.

4.Встановити на лабораторному столі допоміжну металеву призму і з її допомогою визначити положення центру мас  $C$  маятника. Лінійкою виміряти відстані  $a_1$  і  $a_2$ . Відносні похибки  $\Delta a_1$  і  $\Delta a_2$  не будуть перевищувати подвійну номінальну похибку для шкали лінійки. Після закінчення вимірювань знову встановити маятник на кронштейні.

5.За формулою (7) знайти напруженість гравітаційного поля Землі. Замість періодів  $T_1$  та  $T_2$  до формули підставляють їх середні значення. За формулою (8) знайти відносну похибку вимірювань, підставляючи до неї середні значення  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $\Delta T_1$ ,  $\Delta T_2$ .

6.За формулами (5) та (6) визначити модуль гравітаційного потенціалу та гравітаційну сталу.

Таблиця 1

№ пор	$T_1$ , с	$\Delta T_1$ , с	$T_2$ , с	$\Delta T_2$ , с	$a_1$ , м	$a_2$ , м	$L$ , м	$G$ , Н/кг	$E$ , %	$\varphi$ , Дж/кг	$\gamma$ , Н·м <sup>2</sup> /кг <sup>2</sup>
1											
2											
3											
$C_{сер}$											

Зміст звіту: назва і номер лабораторної роботи, рисунок маятника, розрахункові формули, таблиця результатів роботи.

### КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

- 1.Сформулюйте закон всесвітнього тяжіння.
- 2.Поясніть фізичний зміст гравітаційної сталої.
- 3.Дайте визначення напруженості та потенціалу гравітаційного поля.
- 4.Як знайти роботу змінної сили?

5. Виведіть формулу потенційної енергії тіла, що знаходиться в гравітаційному полі Землі на її поверхні.
6. Виведіть формулу, яка виражає залежність між напруженістю та потенціалом гравітаційного поля Землі.
7. Що називається фізичним маятником?
8. Запишіть та поясніть формулу періоду малих коливань фізичного маятника.
9. Від яких величин залежить момент інерції зворотного маятника, який застосовують у даній лабораторній роботі?
10. Сформулюйте теорему Штейнера.
11. Виведіть формулу, яку застосовують у лабораторній роботі для розрахунку напруженості гравітаційного поля Землі.
12. Яку роботу необхідно виконати, щоб тіло масою 5 кг видалити з поверхні Землі за межі її гравітаційного поля?
13. У скільки разів напруженість гравітаційного поля Землі на висоті, що дорівнює 0,1 радіуса Землі, менша, ніж напруженість поля на її поверхні?
14. На скільки зміниться момент інерції фізичного маятника, якщо відстань між віссю коливань і центром мас збільшити у 5 разів?  $m=2$  кг,  $a=0,2$  м.
15. Визначити період малих коливань кулі відносно вісі, що співпадає з дотичною до поверхні кулі. Момент інерції кулі відносно центральної вісі  $0,4mR^2$ ,  $m=3$  кг,  $R=0,2$  м.
16. У скільки разів напруженість гравітаційного поля Землі на її поверхні більша за напруженість гравітаційного поля Місяця на його поверхні?

## ЛІТЕРАТУРА

Савельєв І.В. Курс загальної фізики, М.: Высш. школа, 1982.



Методичні вказівки щодо виконання лабораторної роботи з навчальної дисципліни «**Фізика**» «Визначення напруженості та потенціалу гравітаційного поля Землі зворотним маятником» (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.Слізаров

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