

Схвалено для використання у загальноосвітніх навчальних закладах  
(Лист ДНУ «Інститут модернізації змісту освіти» Міністерства освіти і науки  
України № 22.1/12-Г-369 від 18.06.2018)

**Трофімчук А.Б., Левшенюк Я.Ф., Левшенюк В.Я., Блащук А.П.**  
**Зошит для експериментальних робіт. Фізика. 10 клас. Рівень стандарту,**  
**56 стор.**

Рецензенти:

- Харченко Н.Б.** – кандидат педагогічних наук, доцент кафедри природничо-математичної освіти РОІППО.
- Болба М.Л.** – вчитель фізики Рівненської ЗОШ І - III ступенів № 5, вчитель-методист.

Кабінет редакційно-видавничої діяльності та друкованої пропаганди  
передового педагогічного досвіду Рівненського обласного інституту  
післядипломної педагогічної освіти.

© *Трофімчук А.Б., Левшенюк Я.Ф., Левшенюк В.Я., Блащук А.П., 2018.*

## **Шановний десятикласнику!**

Зошит для експериментальних робіт створено з метою:

- допомогти тобі і вчителю у підготовці та чіткій організації роботи під час експериментальних досліджень, оформленні результатів роботи;
- перевірки знань після завершення роботи.

В даному зошиті описані експериментальні роботи, які відповідають навчальній програмі з фізики для 10 класу (рівень стандарту) як авторського колективу під керівництвом Локтєва В. М., так і авторського колективу під керівництвом Ляшенка О.І. Окремі експериментальні роботи можна виконувати як навчальні проекти.

Необхідні розрахунки записуй стисло, без проміжних математичних дій. При написанні висновків проаналізуй отримані результати та опиши, як ти реалізував мету роботи.

Після кожної роботи пропонуються контрольні завдання. Зміст першого майже відтворює хід виконання роботи. Інформація до завдання, як правило, зображена на малюнках, розділених вертикальними лініями на два варіанти.

Оскільки роботи можна виконувати як фронтальні, так і як роботи фізичного практикуму, то друге контрольне завдання – це задача в шести варіантах, яку ти зможеш виконати вдома і пояснити під час захисту роботи. Запитання для усного заліку є орієнтовними і допоможуть тобі ще раз опрацювати теоретичний матеріал.

*Перед тим, як виконувати роботу і оформляти звіт, уважно прочитай теоретичний матеріал підручника. Щастя тобі в пошуках істини!*

## **Інструкції з безпеки під час проведення експериментальних робіт**

### **ЗМІСТ ІНСТРУКТАЖУ**

#### **До початку роботи**

1. Чітко з'ясуйте порядок і правила безпечного проведення експерименту.
2. Звільніть робоче місце від усіх непотрібних для роботи предметів. Перевірте наявність приладів та матеріалів, необхідних для виконання завдання.
3. Не приступайте до виконання роботи без дозволу вчителя.
4. Розмішуйте обладнання і прилади на робочому місці так, щоб уникнути їх падіння.

### **Під час виконання роботи**

#### ***Правила роботи з динамометром та пружинами***

1. Користуючись динамометром, не розтягуйте пружину руками.
2. Не перевантажуйте пружину динамометра навантаженням, більшим за допустиме.
3. Не допускайте розгойдування тягарців, зупиняйте їх коливання рукою.
4. Не допускайте падіння тіл (брусків) і важків під час їх зважування динамометром.

#### ***Правила зважування***

1. Користуючись терезами, не допускайте механічних ударів важків на шальки.
2. Не кладіть на шальки терезів мокрі, брудні, жирні, гарячі тіла, не насипайте сипучі речовини.
3. Дрібні важки беріть тільки пінцетом.

#### ***Робота зі склом (скляним посудом)***

1. Використовуйте скляний посуд без тріщин.
2. Не допускайте різких змін температури і механічних ударів виробів зі скла.

#### ***Правила роботи під час теплових процесів***

1. Під час виконання роботи по визначенню ККД нагрівника воду треба нагрівати не вище 70 °С.
2. Сухий спирт запалювати і гасити повинен вчитель або лаборант.
3. З метою попередження опіку забороняється брати прилади та посудину з гарячою рідиною незахищеними руками.

#### ***Правила роботи при проведенні робіт з електрики***

1. Складаючи електричне коло, уникайте перетину проводів.
2. Мікроамперметр в коло вмикайте послідовно до споживача, дотримуйтеся полярності, вказаної на передній панелі приладів.
3. Під час проведення дослідів не допускайте граничних навантажень вимірювальних приладів.
4. Використовуйте провідники з міцною ізоляцією без пошкоджень.
5. Джерело живлення вмикайте в електричне коло в останню чергу.
6. Виявивши несправність в електричних пристроях, що перебувають під напругою, негайно вимкніть джерело живлення і повідомте про це вчителя.

### **Після закінчення роботи**

1. Приберіть своє робоче місце.
2. Складіть обладнання так, як воно було складено до початку роботи.

### **Вимоги безпеки в екстремальних ситуаціях**

У разі травмування (поранення, опіки тощо) або поганого самопочуття повідомте вчителя.

## Вимірювання, похибки (невизначеності), обчислення

Проводячи експериментальні дослідження, потрібно вміти аналізувати результати, робити висновки. Оскільки всі вимірювання проводяться з певною точністю, їх результат завжди наближений. Тому після досліджень потрібно знати ступінь достовірності одержаного результату. Різницю між дійсним значенням шуканої величини і одержаним результатом  $x_{\text{досл}}$  називають *абсолютною похибкою*, яка позначається  $\Delta x$ .

Якщо значення фізичної величини знаходять безпосередньо засобами вимірювання (вагу – динамометром, напругу – вольтметром), таке вимірювання називають *прямим*. Якщо ж фізичну величину знаходять за формулою, що пов'язує її з іншими фізичними величинами, які визначають *прямим вимірюванням* (швидкість рівномірного руху за формулою  $v = \frac{s}{t}$ , де шлях вимірюють лінійкою, а час – секундоміром), то таке вимірювання називають *посереднім*.

Результат вимірювань величини  $x$  записується так:  $x = x_{\text{досл}} \pm \Delta x$ , де  $x_{\text{досл}}$  – значення фізичної величини, знайдене за допомогою прямих або посередніх вимірювань,  $\Delta x$  – абсолютна похибка вимірювань.

Похибка вимірювань у шкільних умовах зазвичай визначається систематичною та випадковою похибками. Систематична похибка пов'язана з якістю вимірювального приладу, тому її часто називають *інструментальною похибкою* вимірювального приладу  $\Delta x$ .

**Інструментальні похибки** зазначають у паспорті приладу або на їх шкалах. У таблиці вказано інструментальні похибки вимірювальних засобів, які часто використовуються при виконанні шкільного експерименту.

| № п/п | Засоби вимірювань      | Границя вимірювань | Ціна поділки (крок дискретизації) | Абсолютна інструментальна похибка |
|-------|------------------------|--------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 1     | Лінійка учнівська      | до 50 см           | 1 мм                              | $\pm 1$ мм                        |
| 2     | Лінійка демонстраційна | 1 м                | 1 см                              | $\pm 0,5$ см                      |
| 3     | Мензурка               | до 250 мл          | 1 мл                              | $\pm 1$ мл                        |
| 4     | Динамометр навчальний  | 4 Н                | 0,1 Н                             | $\pm 0,05$ Н                      |
| 5     | Секундомір механічний  | 0-30 хв            | 0,2 с                             | $\pm 1$ с за 30 хв                |
| 6     | Секундомір електронний | 0-30 хв            | 0,1 с                             | $\pm 0,3$ с                       |
|       |                        |                    | 0,01 с                            | $\pm 0,03$ с                      |

Як бачимо абсолютна інструментальна похибка в основному дорівнює або половині ціни поділки засобу або ціні поділки. Якщо вимірювальний засіб не зазначений у таблиці (наприклад медичний шприц), то інструментальну похибку доцільно брати такою, що дорівнює ціні поділки шкали приладу.

**Випадкові похибки**  $\Delta_{\epsilon}x$  пов'язані з процесом вимірювання. Дуже часто не вдається уникнути певних похибок, пов'язаних з дією різних причин, вплив яких важко врахувати. Ці причини призводять до того, що результати повторних вимірювань за тих же умов відрізняються один від одного. Наприклад, вимірюючи секундоміром час скочування кульки, неможливо за один раз точно його зафіксувати в зв'язку з такими факторами як реакція людини, тертя кульки. Найпростішим шляхом зменшення таких похибок є проведення кількох вимірювань значень шуканої величини. Наприклад, якщо виконано  $N$  вимірювань і знайдено числові значення  $x_1, x_2, \dots, x_N$ , то найбільш ймовірне значення вимірюваної величини дорівнює середньому арифметичному: 
$$x_c = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_N}{N}.$$

Тоді випадкова похибка  $\Delta_{\epsilon}x = \frac{|x_1 - x_c| + |x_2 - x_c| + \dots + |x_N - x_c|}{N}.$

Іноді немає потреби здійснювати вимірювання багато разів. Наприклад, вимірюючи вагу бруска динамометром результати будуть однаковими. Однак і в такому випадку похибки присутні, адже не завжди покажчик динамометра збігатиметься з штрихом шкали. Такі випадкові похибки називають *похибками відліку*

**Похибка відліку** для цифрових приладів дорівнює нулю. Для інших вимірювальних засобів **похибка відліку** дорівнює нулю у випадку, коли вказівник приладу (рівень рідини в мензурці) збігається з штрихом шкали даного засобу.

Якщо ж значення вимірюваної величини не збігається з штрихом шкали, то за **похибку відліку** приймають її максимальне значення (**межу**), що дорівнює половині ціни поділки шкали вимірювального приладу (для механічного секундоміра ціни поділки).

Отже в загальному абсолютна похибка вимірювань записується:

$$\Delta x = \Delta_i x + \Delta_{\epsilon} x \quad (1).$$

При використанні набору тягарців абсолютна похибка складає 2 г на кожні 100 г маси.

Абсолютну похибку вимірювань зазвичай округлюють до однієї значущої цифри ( $\Delta x = 0,028 \approx 0,03$ ). Якщо ж перша значуща цифра – одиниця, то допускається записувати дві значущі цифри, а інші відкидаються з округленням у більшу сторону.

У проміжних розрахунках допускається використовувати на одну-дві значущі цифри більше. Числове значення результату вимірювань округлюють так, щоб його остання цифра була в тому самому розряді, що й цифра похибки ( $x = 7,143 \approx 7,14$ ).

За відомою абсолютною похибкою можна визначити інтервал, в якому

знаходиться дійсне значення шуканої величини. Наприклад, якщо довжина стола, вимірюного лінійкою з ціною поділки 1 см, складає 90 см, то дійсне значення довжини знаходиться в інтервалі [89 см; 91 см] (інструментальна похибка 0,5 см; вважаємо, що не було збігу з штрихом шкали лінійки, тому похибка відліку теж 0,5 см) і результат записується так:  $l = (90 \pm 1) \text{ см}$ .

Абсолютна похибка теж не повністю характеризує точність вимірювання. Наприклад, абсолютна похибка 1 мм при вимірюванні довжини 10 м досить непогана, а при вимірюванні розмірів біля декількох міліметрів – суттєва.

Для оцінки точності вимірювань фізичної величини вводять *відносну* похибку, яку позначають символом  $\varepsilon$  (епсilon) і визначають з відношення абсолютної похибки до значення вимірюваної величини (як правило, вказують у відсотках):  $\varepsilon = \frac{\Delta x}{x_{\text{досл}}} \cdot 100\%$ .

$$\varepsilon = \frac{\Delta x}{x_{\text{досл}}} \cdot 100\%$$

Розрахунок відносних похибок посередніх вимірювань залежить від виду формули, за якою обчислюють вимірювану величину (див. таблицю).

| Вид формули       | Відносна похибка $\varepsilon$            | Вид формули              | Відносна похибка $\varepsilon$              |
|-------------------|---|--------------------------|---|
| $c = a \cdot b$   | $\frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b}$ | $c = a \pm b$            | $\frac{\Delta a + \Delta b}{a \pm b}$       |
| $c = \frac{a}{b}$ |   | $c = a^n \cdot \sqrt{b}$ | $\frac{n\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{2b}$ |

Порядок знаходження результату при непрямих вимірюваннях фізичної величини такий:

- дослідне значення величини  $x_{\text{досл}}$  визначають за формулою, що пов'язує дану величину з іншими величинами, значення яких виміряно безпосередньо приладами;
- знаходять абсолютну похибку прямих вимірювань за формулою (1);
- знаходять відносну похибку вимірювань за відповідною формулою (див. таблицю);

- з формули  $\varepsilon = \frac{\Delta x}{x_{\text{досл}}}$  визначають абсолютну похибку:  $\Delta x = x_{\text{досл}} \cdot \varepsilon$  ;

- записують результат, вказуючи абсолютну похибку:  $x = x_{\text{досл}} \pm \Delta x$  ;

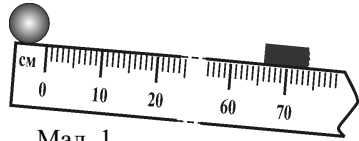
- записують інтервал, в якому знаходиться значення фізичної величини:

$$[x_{\text{досл}} - \Delta x; x_{\text{досл}} + \Delta x]$$

Розглянемо, як приклад, визначення середньої швидкості руху кульки.

Пройдений кулькою шлях  $s = 0,66 \text{ м}$  (мал. 1). Учень провів 5 дослідів і одержав значення часу за допомогою електронного секундоміра:  $t_1 = 1,21 \text{ с}$ ,  $t_2 = 1,20 \text{ с}$ ,  $t_3 = 1,18 \text{ с}$ ,  $t_4 = 1,21 \text{ с}$ ,  $t_5 = 1,22 \text{ с}$ .  $\Delta s = \Delta_1 s + \Delta_6 s$ .  $\Delta_1 s = 0,5 \text{ см}$  ;  $\Delta_6 s = 0$ ,

оскільки значення довжини збігається з штрихом лінійки. Випадкова похибка при вимірюванні довжини відсутня. Отже  $\Delta s = 0,05$  м. Середнє значення часу руху  $t_c = 1,204$  с  $\approx 1,2$  с. Випадкова похибка



Мал. 1

$$\Delta_{\delta} t = \frac{|1,21 - 1,2| + |1,2 - 1,2| + |1,18 - 1,2| + |1,21 - 1,2| + |1,22 - 1,2|}{5} = 0,012 \text{ с.}$$

Оскільки секундомір електронний, то похибка відліку дорівнює нулю. Тоді  $\Delta t = \Delta_i t + \Delta_{\delta} t$ ;  $\Delta_i t = 0,03$  с. Отже  $\Delta t \approx 0,04$  с.

$$v = \frac{s}{t} = \frac{0,66 \text{ м}}{1,2 \text{ с}} = 0,55 \frac{\text{м}}{\text{с}}; \varepsilon = \frac{\Delta s}{s} + \frac{\Delta t}{t} = \frac{0,005}{0,66} + \frac{0,04}{1,2} = 0,04.$$

$\Delta v = v \cdot \varepsilon = 0,02 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ . Отже, значення швидкості  $v = (0,55 \pm 0,02) \frac{\text{м}}{\text{с}}$ , тобто лежить в інтервалі  $[0,53 \text{ м/с}; 0,57 \text{ м/с}]$ .

Якщо в роботі необхідно визначити значення відомих (табличних) величин, зручно провести порівняння отриманих значень з табличними

за формулою  $\varepsilon = \frac{|x_{\text{табл.}} - x_{\text{досл.}}|}{x_{\text{табл.}}} \cdot 100\%$ , де  $\varepsilon$  – величина,

яка є оцінкою якості вимірювань і показує відхилення значення, знайденого експериментально, від табличного

Коли перевіряють закономірності, що мають вигляд  $a=b$ , то висновок про якість експериментальної перевірки цієї рівності можна

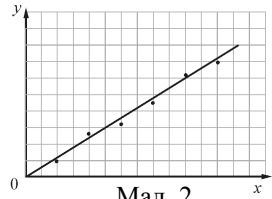
зробити, обчисливши величину  $\varepsilon = \left| \frac{a}{b} - 1 \right| \cdot 100\%$ .

Часто підсумки експерименту відображають графічно. При побудові графіка слід пам'ятати, що його проводять у вигляді плавної лінії, яка якнайближче проходить біля відмічених точок (мал. 2).

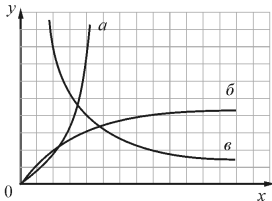
В багатьох випадках, якщо графік має вигляд однієї з кривих ліній, зображених на малюнку 3, для встановлення функціональної залежності між досліджуваними величинами часто будують графік, відкладаючи на осі

абсцис не  $x$ , а  $x^2$  (для випадку а),  $\sqrt{x}$  (для випадку б) і  $\frac{1}{x}$  або  $\frac{1}{\sqrt{x}}$  (для випадку в). Тоді, якщо залежність

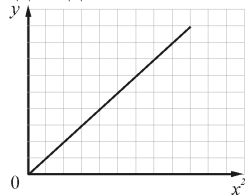
параболічна (випадок а), графік має вигляд прямої лінії. За цих умов можна стверджувати, що величина  $y$  прямо пропорційна до  $x^2$  (мал. 4).



Мал. 2



Мал. 3



Мал. 4

## Експериментальна робота № 1

### Дослідження прямолінійного рівноприскореного руху

**Мета:** дослідити рівноприскорений рух кульки по похилому жолобу та визначити її прискорення.

**Обладнання:** штатив лабораторний, жолоб, секундомір, лінійка (мірна стрічка), кулька, циліндр.

### Хід і результати роботи

#### Характеристика засобів вимірювання

1. Інструментальна похибка:

лінійки \_\_\_\_\_ секундоміра \_\_\_\_\_

2. Межа похибки відліку:

шкали лінійки \_\_\_\_\_ шкали секундоміра \_\_\_\_\_

#### Опис установки та ідея досліджень

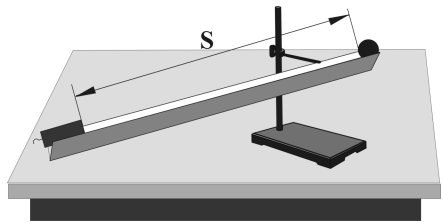
Дослідження рівноприскореного руху кульки здійснюють за допомогою похилого жолоба, на якому розміщений металевий циліндр (мал. 5). Для рівноприскореного руху (за умови  $v_0 = 0$ ), прискорення визначається із співвідношення:

$$a = \frac{2s}{t^2}, \text{ де } s - \text{ модуль переміщення}$$

тіла за час  $t$ .

Для виконання роботи необхідно:

- встановити жолоб під кутом  $20 - 30^\circ$  до горизонту і розмістити на ньому металевий циліндр, задавши цим переміщення кульки  $s$ ;
- визначити час руху кульки  $t$  по жолобу від початкового положення до циліндра. Дослід провести кілька разів і визначити середнє значення часу  $t_c$ ;
- визначити прискорення кульки  $a_{\text{досл}}$ ;
- визначити абсолютні похибки прямих вимірювань, відносну й абсолютну похибки вимірювань прискорення;
- вказати діапазон можливих значень прискорення.



Мал. 5

#### Обробка результатів експерименту

1.  $s =$  \_\_\_\_\_  $t_1 =$  \_\_\_\_\_  $t_2 =$  \_\_\_\_\_

$t_3 =$  \_\_\_\_\_  $t_4 =$  \_\_\_\_\_  $t_5 =$  \_\_\_\_\_



2.  $t_c =$

3.  $a_{\text{досл.}} =$

4. Абсолютні похибки прямих вимірювань:

$$\Delta s = \Delta_i s + \Delta_g s =$$

$$\Delta t = \Delta_i t + \Delta_g t =$$

5. Відносна похибка вимірювань (для обчисленого прискорення):

$$\varepsilon = \frac{\Delta s}{s} + 2 \frac{\Delta t}{t} =$$

6. Абсолютна похибка вимірювань (з формули  $\varepsilon = \frac{\Delta a}{a_{\text{досл.}}}$ ):

$$\Delta a =$$

7. Результат досліджень:  $a = a_{\text{досл.}} \pm \Delta a =$

8. Діапазон, в якому знаходиться значення прискорення:

$$[ a = a_{\text{досл.}} - \Delta a ; a = a_{\text{досл.}} + \Delta a ]$$

9. Таблиця результатів.

| № п/п | s, м | $\Delta s$ , м | t, с | $t_c$ , с | $\Delta t$ , с | $a_{\text{досл.}}, \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ | $\Delta a, \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ | $[a_{\text{досл.}} - \Delta a; a_{\text{досл.}} + \Delta a]$<br>$\frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ |
|-------|------|----------------|------|-----------|----------------|---|---|---|
|       |      |                |      |           |                |   |   |   |
|       |      |                |      |           |                |   |   |   |
|       |      |                |      |           |                |   |   |   |
|       |      |                |      |           |                |   |   |   |

**Висновок:** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

---



---



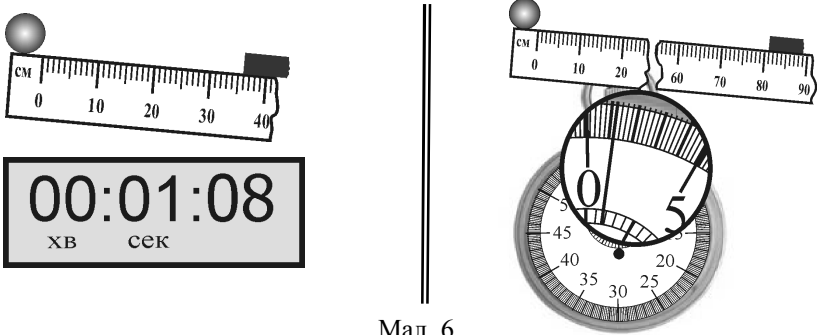
---



---

**Контрольні завдання**

1. На шкалах вимірних приладів (мал. 6) відображені результати вимірювань в одному з дослідів, проведеному учнем при виконанні експериментальної роботи. Використовуючи ці результати, визначте модуль переміщення кульки  $s$ , часу руху  $t$ , прискорення руху кульки  $a$ , відносну та абсолютну похибки вимірювань та діапазон, в якому знаходиться значення прискорення.



Мал. 6

а)  $s =$  \_\_\_\_\_ б)  $t =$  \_\_\_\_\_

в)  $\Delta s =$

г)  $\Delta t =$

д)  $a =$

е)  $\varepsilon =$

є)  $\Delta a =$

ж)  $[a - \Delta a; a + \Delta a]$

2. Початкова швидкість руху лижника зі схилу довжиною  $s_1$  становить  $v_0$ . По схилу він рухається з прискоренням  $a_1$  протягом часу  $t_1$  і в кінці схилу набуває швидкості  $v$ . Маючи на горизонтальній ділянці початкову швидкість  $v$ , він проїхав з прискоренням  $a_2$  відстань  $s_2$  протягом часу  $t_2$  і зупинився. Використовуючи дані, наведені в таблиці, визначте невідомі величини у варіанті, вказаному вчителем.

| № вар. | $s_1$ , м | $v_0$ , м/с | $a_1$ , м/с <sup>2</sup> | $t_1$ , с | $v$ , м/с | $s_2$ , м | $a_2$ , м/с <sup>2</sup> | $t_2$ , с |
|--------|-----------|-------------|--------------------------|-----------|-----------|-----------|--------------------------|-----------|
| 1.     |           | 2           | 0,5                      | 8         |           | 18        |                          |           |
| 2.     |           | 3           | 0,2                      |           |           |           | 0,4                      | 20        |
| 3.     | 100       |             |                          | 10        |           | 64        | 2                        |           |
| 4.     | 120       |             | 0,1                      |           | 7         |           |                          | 7         |
| 5.     |           | 1           |                          | 8         | 9         | 81        |                          |           |
| 6.     | 18        |             |                          | 12        | 8         |           | 0,2                      |           |

---



---



---



---



---



---



---



---



---



---

### *Запитання для усного заліку*

1. Який рух називають рівноприскореним?
2. Запишіть формули, які описують рух тіла, що рухається рівноприскорено без початкової швидкості та рух цього ж тіла, що має початкову швидкість  $v_0$ .
3. Як відносяться переміщення, які здійснює тіло під час рівноприскореного руху за будь-які рівні інтервали часу, якщо початкова швидкість дорівнює нулю?
4. Як напрямлене прискорення вільного падіння і яке його значення біля поверхні Землі?
5. Тіло кинули вертикально вгору з поверхні Землі. Порівняти час піднімання і падіння тіла. Розгляньте рух без врахування і з врахуванням опору повітря.

## Експериментальна робота № 2

### Вивчення руху тіла по колу

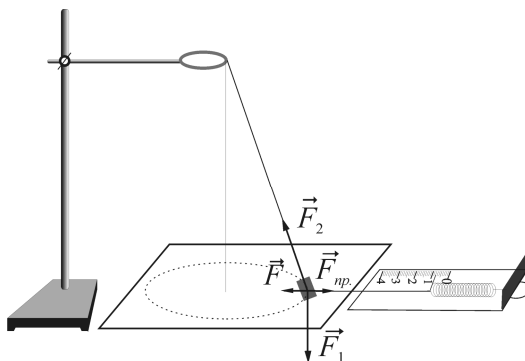
**Мета:** експериментально переконатися у виконанні II закону Ньютона під час руху тіла по колу під дією кількох сил.

**Обладнання:** штатив лабораторний, нитка, аркуш паперу з накресленим колом радіуса 10 – 20 см, тягарець відомої маси, секундомір, динамометр, лінійка.

### Хід і результати роботи

#### Ідея досліджень

На тіло, яке обертається на нитці в горизонтальній площині (конічний маятник), діють сила тяжіння  $F_1$  і сила натягу нитки  $F_2$  (мал. 7). Під дією цих сил тягарець рухається з доцентровим прискоренням  $a = \frac{4\pi^2 r}{T^2}$ , де  $r$  – радіус кола, яке описує тягарець,  $T$  – період його обертання.



Мал. 7

Період визначається із співвідношення  $T = \frac{t}{N}$ , де  $t$  – час, за який тягарець робить  $N$  обертів.

Тоді  $a = \frac{4\pi^2 N^2}{t^2} r$  (1), а рівнодійна сил, що змушують рухатися з цим прискоренням  $F = ma$  (2), де  $m$  – маса тягарця.

Модуль рівнодійної можна визначити, вимірюючи зрівноважуючу силу  $F_{np}$  динамометром, як показано на малюнку 7.

Для виконання роботи необхідно:

- накреслити на аркуші паперу коло радіусом  $r$ ;
- підвісити тягарець масою  $m$  на нитці до кільця штатива;
- взявши рукою нитку біля точки підвісу, привести тягарець в обертання вздовж накресленого кола;
- визначити час, за який тягарець здійснить  $N = 10 - 20$  обертів;
- дослід повторити три рази і обчислити середнє значення часу  $t_c$ ;
- обчислити прискорення руху тягарця  $a$  за формулою 1 і значення сили  $F$  за формулою 2;