

ПАМ'ЯТАЙТЕ!

Процес будь-якого вимірювання тільки тоді вважається повністю закінченим, коли визначено абсолютну і відносну похибки результату вимірювання.

Абсолютною похибкою називають різницю між результатом вимірювання $x_{\text{вим}}$ та істинним значенням вимірюваної величини x : $\Delta x = x_{\text{вим}} - x$.

Абсолютна похибка Δ дає можливість назвати інтервал, всередині якого лежить справжнє значення вимірюваної величини. Довжина цього інтервалу дорівнює 2Δ . Інакше кажучи, абсолютна похибка показує, на скільки справжнє числове значення вимірюваної величини може відрізнятись від результату вимірювання.

Якість вимірювання характеризує *відносна похибка* $\varepsilon = \frac{\Delta x}{x_{\text{вим}}}$, яка показує, у скільки разів модуль абсолютної похибки менший за вимірювану величину $x_{\text{вим}}$. Отже, в процесі вимірювання невідома величина має лежати в інтервалі $|x_{\text{вим}} \pm \Delta x|$, а результат вимірювання $x_{\text{вим}}$ можна взяти за справжнє значення з відотною похибкою $\varepsilon = \frac{\Delta x}{x_{\text{вим}}}$.

Округлюють результат вимірювання за таким правилом: похибку округлюють до однієї значущої цифри з перевищенням, а результат вимірювання – до кількості цифр, що не перевищують тієї, з якою записано похибку.

Таблиця 1

Деякі формули для обчислень похибок

Вид функції	Абсолютна похибка	Відносна похибка
$f = x + y$	$\Delta f = \Delta x + \Delta y$	$\varepsilon_f = \frac{\Delta x + \Delta y}{x \pm y}$
$f = x - y$	$\Delta f = \Delta x + \Delta y$	
$f = x \cdot y$	$\Delta f = x\Delta y + y\Delta x$	$\varepsilon_f = \varepsilon_x + \varepsilon_y$
$f = \frac{x}{y}$	$\Delta f = \frac{x\Delta y + y\Delta x}{y^2}$	$\varepsilon_f = \varepsilon_x + \varepsilon_y$
$f = x^n$	$\Delta f = nx^{n-1} \cdot \Delta x$	$\varepsilon_f = n\varepsilon_x$
$f = \frac{1}{x} + \frac{1}{y}$	$\Delta f = \frac{\Delta x}{x^2} + \frac{\Delta y}{y^2}$	$\varepsilon_f = \frac{\frac{\Delta x}{x^2} + \frac{\Delta y}{y^2}}{\frac{1}{x} + \frac{1}{y}}$

Таблиця 2

Характеристики вимірювальних приладів

№ п/п	Вимірювальний прилад	Діапазон вимірювань	Ціна шкали поділки	Межа похибки засобу вимірювання
1	2	3	4	5
1	Лінійка дерев'яна	0-250 мм і т.д.	1 мм	0,1 мм на кожні 100 мм накатаної частини
2	Лінійка вимірна металева	0-150; 0-300; 0-500; 0-1000 мм	1 мм	0,10 мм 0,20 мм
3	Кутники креслярські	0-110; 0-130; 0-150 мм і т.д.	1 мм	0,1 мм для дерев'яних і 0,2 мм для пластмасових на кожні 100 мм накатаної частини
4	Рулетки і міри кравецькі	1 м 1,5; 2 м	5 мм	10,0 мм 30,0 мм
5	Набір тягарців з двома гачками	100 г	–	2 г
6	Секундоміри механічні	30 хв	стрибок стрілки 0,1 с 0,2 с	0,4 с (для 2-го класу точності) 0,7 с (для 3-го класу точності)* 0,6 с (для 2-го класу точності) 1,0 с (для 3-го класу точності)*
7	Терези шкільні	10-200 г	–	200 мг (10 мг)**
8	Динамометр навчальний	0-4 Н	0,1 Н	0,05 Н

* За 30 с або 60 с межа похибки дорівнює 0,2 с при стрибку стрілки 0,1 с і 0,3 с при стрибку 0,2 с.

** Зазначено похибку при найбільшому допустимому навантаженні, у дужках – при 0,1 найбільшого допустимого навантаження.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1
**ВИЗНАЧЕННЯ ПРИСКОРЕННЯ ТІЛА
ПРИ РІВНОПРИСКОРЕНОМУ РУСІ**

Мета: обчислити прискорення, з яким скочується кулька по похилому жолобу.

Обладнання: вимірювальна стрічка; метроном; жолоб; кулька; штатив з муфтами й лапкою; металевий циліндр.

Короткі теоретичні відомості

Робота зводиться до вимірювання величини переміщення \bar{s} кульки за відомий час

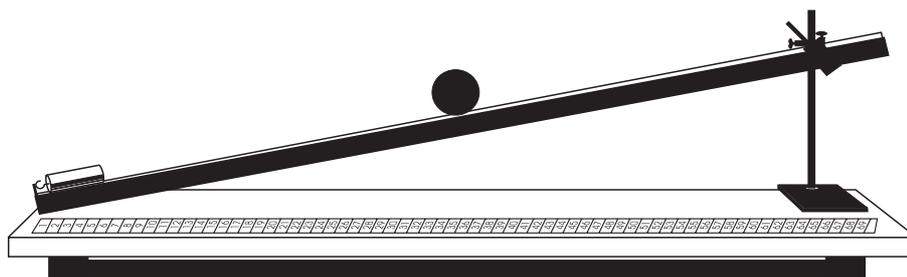
t . Оскільки при рівноприскореному русі $s_x = \frac{a_x t^2}{2}$ (початкова швидкість тіла дорівнює

нулю), то, вимірявши s_x і t , можна знайти прискорення кульки: $a_x = \frac{2s_x}{t^2}$.

Жодні вимірювання не можна зробити абсолютно точно, їх завжди виконують з певною похибкою, пов'язаною з недосконалістю засобів вимірювання та іншими причинами. Проте і за наявності похибок є кілька способів проведення вірогідних вимірювань. Найпростіший з них – обчислення середнього арифметичного з результатів кількох незалежних вимірювань тієї самої величини, якщо умови досліду не змінюються. Це й пропонується виконати в роботі.

Хід роботи

1. Закріпіть жолоб за допомогою штатива в похилому положенні під невеликим кутом до горизонту (мал. 1). Біля нижнього кінця жолоба покладіть у нього металевий циліндр.
2. Відпустивши кульку (одночасно з ударом метронома) з верхнього кінця жолоба, полічіть кількість ударів метронома до зіткнення кульки з циліндром. Дослід зручно проводити при 120 ударах метронома за хвилину.
3. Змінюючи кут нахилу жолоба до горизонту і роблячи невеликі переміщення металевого циліндра, добийтеся, щоб між моментом відпускання кульки й моментом її зіткнення з циліндром було 4 удари метронома (3 проміжки між ударами).
4. Обчисліть час руху кульки.



Мал. 1.

5. Вимірювальною стрічкою визначте величину переміщення \bar{s} кульки. Не змінюючи нахилу жолоба (умови досліду повинні залишатися незмінними), повторіть дослід п'ять разів, знову домагаючись збігу четвертого удару метронома з ударом кульки об металевий циліндр (для цього циліндр можна трохи пересувати).

6. За формулою $s_c = \frac{s_1 + s_2 + s_3 + s_4 + s_5}{5}$ знайдіть середнє значення модуля переміщення, а потім обчисліть середнє значення модуля прискорення: $a_c = \frac{2s_c}{t^2}$.

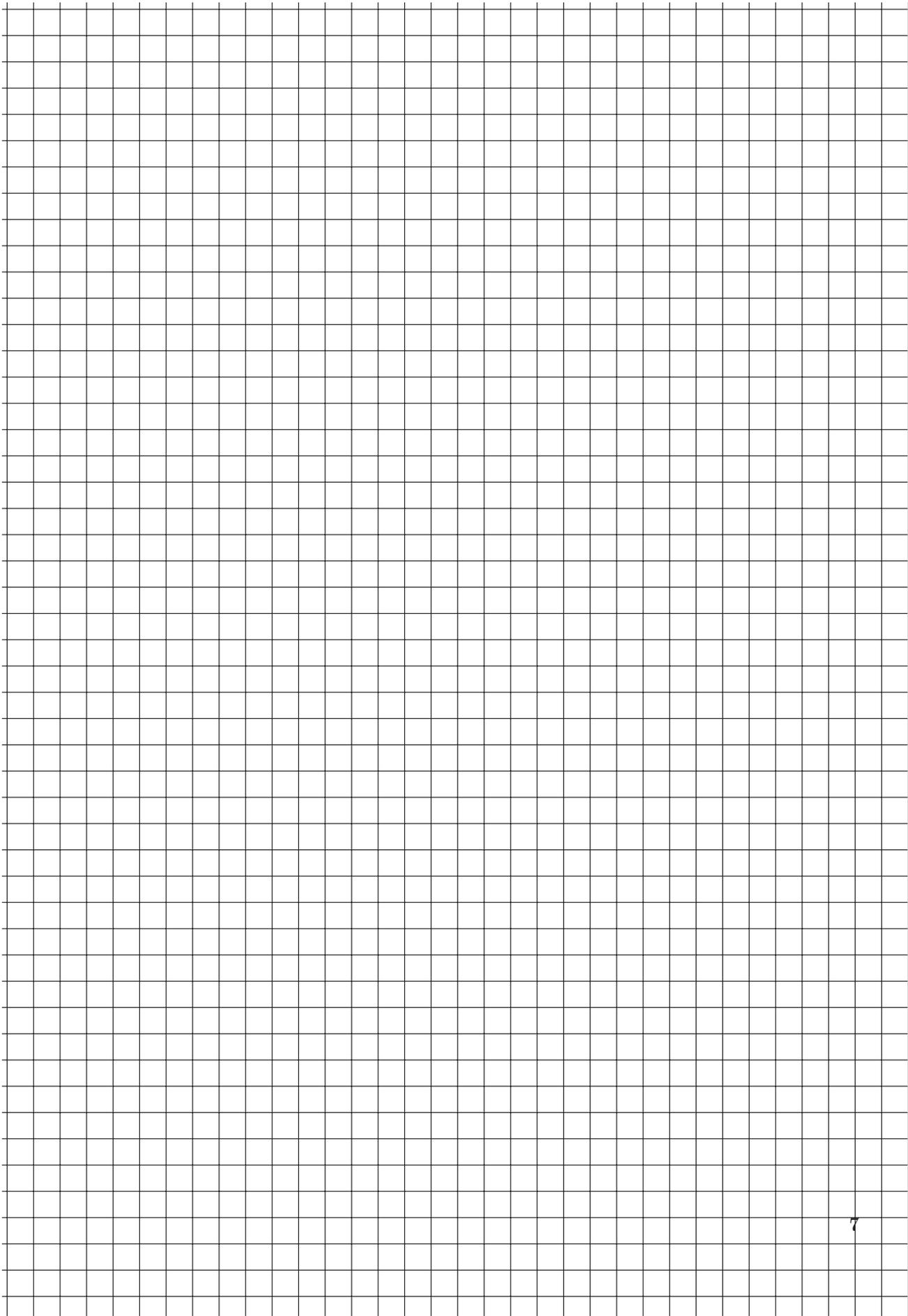
7. Результати вимірювань і обчислень запишіть у таблицю:

Номер досліду	$s, \text{ м}$	$s_c, \text{ м}$	Кількість ударів метронома	$t, \text{ с}$	$a_c, \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$
1					
2					
3					
4					
5					

8*. Обчисліть, який шлях пройде кулька від початкового положення за деякі довільно взяті послідовні рівні проміжки часу, наприклад, за кожні 0,5 с (нахил жолобу залишається тим самим, що і при виконанні завдання 1). Знайдіть відношення $s_1 : s_2 : s_3 : s_4$. Зробіть висновок. Результати обчислень перевірте дослідом.

9*. Різким поштовхом приведіть кульку в рух вгору по жолобу. Знайдіть початкову швидкість кульки.

10. За результатами дослідів зробіть висновок:



ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2

ВИЗНАЧЕННЯ ЖОРСТКОСТІ ПРУЖИНИ

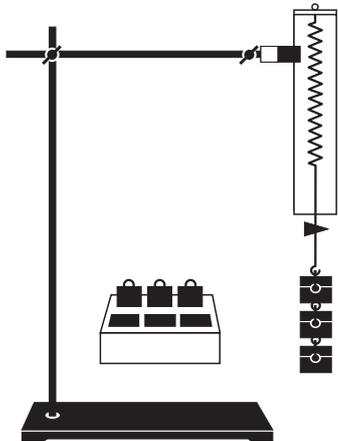
Мета: визначити жорсткість пружини за вимірюванням її видовжень при різних значеннях сили тяжіння $\vec{F} = m\vec{g}$, що зрівноважує силу пружності \vec{F}_{np} , на основі закону Гука: $k = \frac{F_{np}}{|x|}$.

Обладнання: гумовий шнур з нитяною петлею на одному з кінців; набір важків, маса кожного $m_0 = 0,100$ кг; лінійка з міліметровими поділками; штатив з муфтою і лапкою; спіральна пружина.

Короткі теоретичні відомості

У кожному з дослідів жорсткість визначають для різних значень сили пружності і видовження, тобто умови досліду змінюються. У такому разі для знаходження середнього значення величини жорсткості не можна обчислювати середнє арифметичне результатів кількох вимірювань. Скористаємося *графічним способом* визначення середнього значення, який можна застосувати у цьому разі. За результатами кількох дослідів побудуємо графік залежності модуля сили пружності F_{np} від модуля видовження $|x|$. У побудованому за результатами досліду графіку всі експериментальні точки можуть не лежати на прямій, яка відповідає формулі $F_{np} = k|x|$, що пов'язано з похибками вимірювання. У такому разі графік треба проводити так, щоб приблизно однакова кількість точок була з різних боків від прямої. Коли графік побудовано, досить узяти будь-яку точку на прямій (в середній частині графіка), визначити за ним відповідні цій точці значення сили пружності та видовження і обчислити жорсткість k . Вона і буде шуканим середнім значенням жорсткості пружини k_c . У цій роботі $k = \frac{mg}{|x|}$, тому відносна похибка $\varepsilon_k = \varepsilon_m + \varepsilon_g + \varepsilon_x$. (1)

Хід роботи



Мал. 1

1. Закріпіть на штативі кінець спіральної пружини (інший кінець пружини має стрілку-показчик і гачок (мал. 1).
2. Поряд з пружиною чи за нею встановіть і закріпіть лінійку з міліметровими поділками.
3. Запишіть ту поділку лінійки, проти якої розташована стрілка-показчик пружини.
4. Підвісьте до пружини важок відомої маси і виміряйте спричинене ним видовження пружини.
5. До першого важка додайте другий, третій і т. д., записуючи щоразу видовження $|x|$ пружини. Результати вимірювань запишіть у таблицю.
6. За результатами вимірювань побудуйте графік залежності сили пружності від видовження і, користуючись ним, визначте середнє значення жорсткості пружини k_c .
7. Обчисліть найбільшу відносну похибку, з якою знайдено значення k_c (з досліду з одним важком). У формулі (1)

$$\varepsilon_m = \frac{\Delta m}{m} = \frac{0,002 \text{ кг}}{0,100 \text{ кг}} = 0,02; \quad \varepsilon_g = \frac{\Delta g}{g} = \frac{0,2 \text{ м/с}^2}{10 \text{ м/с}^2} = 0,02;$$

$$\varepsilon_x = \frac{\Delta x}{x} = \frac{1 \text{ мм}}{25 \text{ мм}} = 0,04.$$

Значення Δm і Δx взято з табл. 2 (стор. 4), $\Delta g = 10 \text{ м/с}^2 - 9,8 \text{ м/с}^2 = 0,2 \text{ м/с}^2$.

Номер досліджу	m , кг	Δm , кг	mg , Н	$ x $, м
1				
2				
3				
4				
5				

8. Знайдіть $\Delta k = \varepsilon_k k_c$ і запишіть відповідь у вигляді: $k = k_c \pm \Delta k$.

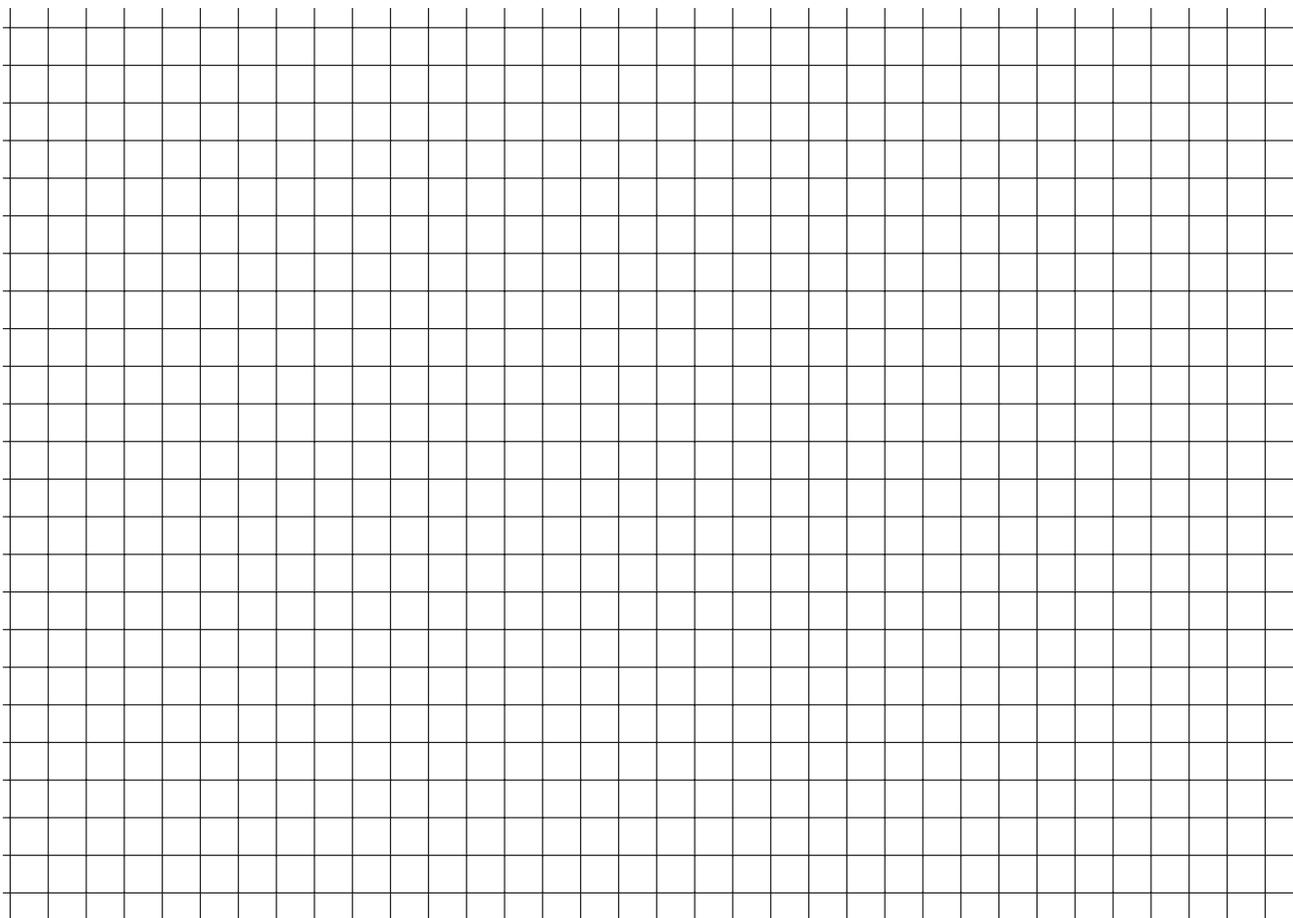
9*. Затисніть один кінець гумового шнура (той, що без петлі) в лашці штатива з таким розрахунком, щоб довжина шнура дорівнювала ___ см (значення довжини шнура вказується вчителем). Розтягуючи шнур за допомогою динамометра (або поступово збільшуючи кількість тягарців, що підвішуються до його нижнього кінця), визначіть граничне видовження шнура x_{\max} , при якому виконується закон Гука.

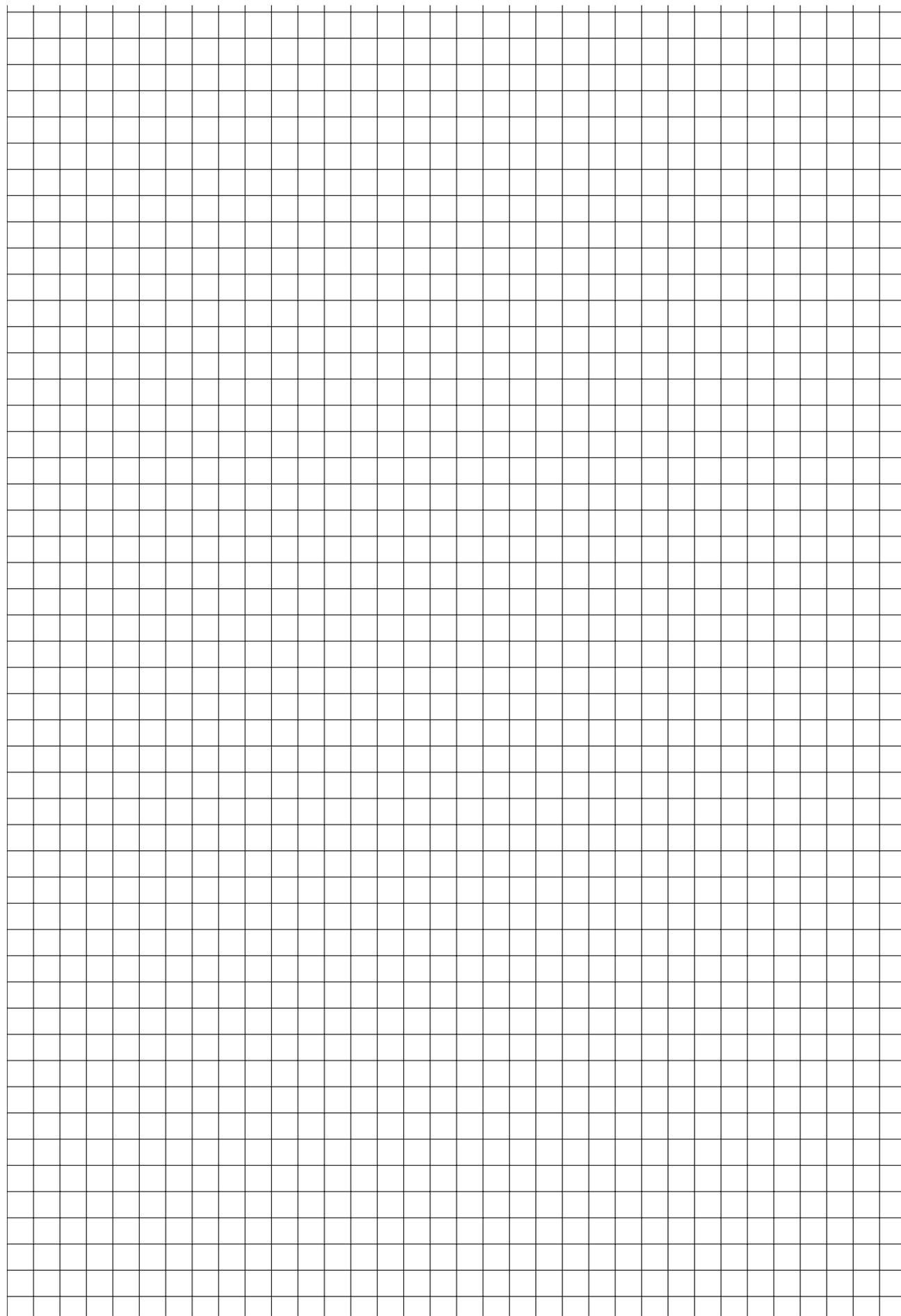
10*. Побудуйте графік залежності сили пружності від видовження.

11*. Дослідіть, як змінюється жорсткість шнура залежно від його довжини і площі поперечного перетину (площу можна змінити, складаючи шнур у 2, 3 і т. д. рази).

12*. Обчисліть, яким буде видовження шнура при заданому навантаженні (наприклад, 3Н), якщо площа поперечного перерізу шнура буде удвічі більшою, а його довжина в 2,5 рази меншою, ніж при виконанні завдання 9*. Відповідь перевірте дослідом.

13. За результатами дослідів зробіть висновок.





ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3

ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ТЕРТЯ КОВЗАННЯ

Мета: визначити коефіцієнт тертя дерев'яного бруска, що ковзає по дерев'яній лінійці, користуючись формулою $F_T = \mu P$.

Обладнання: динамометр; дерев'яний брусок; дерев'яна лінійка; набір вантажів.

Короткі теоретичні відомості

У цій роботі динамометром вимірюють силу, з якою треба тягти брусок з вантажами горизонтальною поверхнею так, щоб він рухався рівномірно. Ця сила за модулем дорівнює силі тертя F_T , що діє на брусок. За допомогою такого самого динамометра можна знайти вагу бруска з вантажем \vec{P} . Ця вага за модулем дорівнює силі нормального тиску \vec{N} бруска на поверхню, по якій він ковзає. Визначивши таким способом значення сили тертя для різних значень сили нормального тиску, треба побудувати графік залежності F_T від P і знайти середнє значення коефіцієнта тертя (див. роботу №2). Основним вимірювальним приладом у цій роботі є динамометр. Він має похибку $\Delta_d = 0,05\text{Н}$, яка дорівнює похибці вимірювання, якщо показчик збігається із штрихом шкали. Якщо ж у процесі вимірювання показчик *не збігається* із штрихом шкали (або *коливається*), то похибка вимірювання сили дорівнює $\Delta F = 0,1\text{ Н}$.

Хід роботи

1. Покладіть брусок на горизонтально розміщену дерев'яну лінійку. На брусок поставте вантаж.
2. Прикріпіть до бруска динамометр і якомога рівномірніше тягніть його вздовж лінійки. Запишіть при цьому показ динамометра.
3. Зважте брусок і вантаж.
4. До першого вантажу додайте другий, третій, щоразу зважуючи брусок і вантажі та вимірюючи силу тертя. Результати вимірювань запишіть у таблицю:

Номер досліджу	$P, \text{Н}$	$\Delta P, \text{Н}$	$F_T, \text{Н}$	$\Delta F_T, \text{Н}$
1				
2				
3				
4				
5				

5. За результатами вимірювань побудуйте графік залежності сили тертя від сили тиску і, користуючись ним, визначте середнє значення коефіцієнта тертя μ_c (див. роботу №2).

6. Обчисліть максимальну відносну похибку вимірювання коефіцієнта тертя.

Оскільки $\mu = \frac{F_T}{P}$, то $\varepsilon_\mu = \varepsilon_{F_T} + \varepsilon_P = \frac{\Delta F_T}{F_T} + \frac{\Delta P}{P}$ (1) (див. формулу (1) роботи №2).

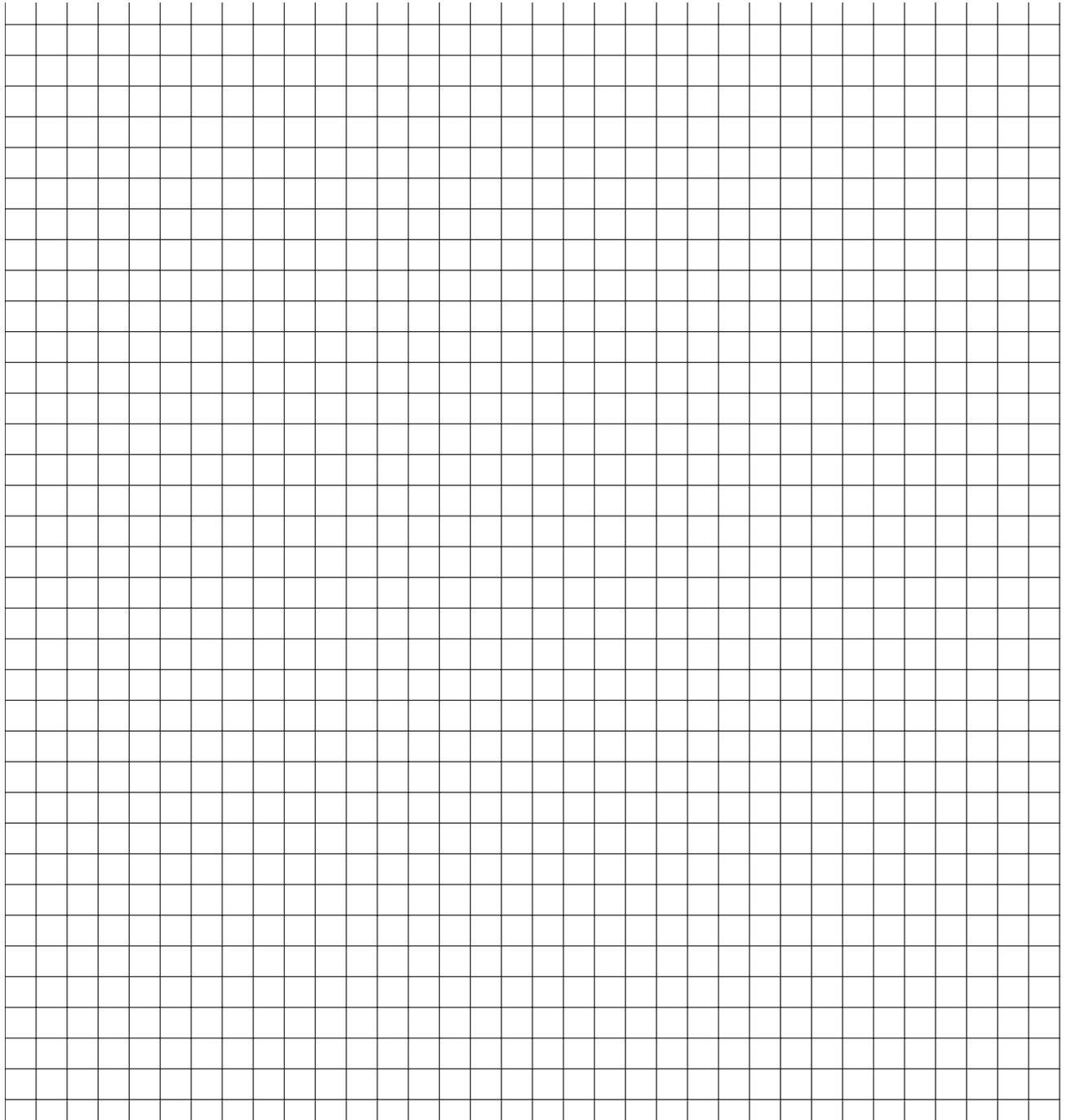
З формули (1) випливає, що з найбільшою похибкою виміряно коефіцієнт тертя в досліді з одним вантажем (бо в цьому випадку знаменники мають найменше значення).

7. Знайдіть абсолютну похибку $\Delta\mu = \varepsilon_\mu \mu_c$ і запишіть відповідь у вигляді: $\mu = \mu_c \pm \Delta\mu$.

8*. Коефіцієнт тертя ковзання можна визначити й інакше. Повільно піднімайте один кінець дошки з бруском на ній і час від часу легенько штовхайте брусок вниз по похилій площині, поки він не почне рівномірно рухатися. Закріпіть піднятий кінець дошки в лапці штатива. Використовуючи цю установку, можна визначити коефіцієнт тертя ковзання без використання динамометра. Як?

9*. З'ясуйте: а) чи залежить сила тертя ковзання від ступеня обробки поверхні тіл, що труться, і якщо залежить, то як саме; б) чи залежить сила тертя від площі тертьових поверхонь і від швидкості руху; в) у скільки разів (приблизно) сила тертя кочення менша від сили тертя ковзання, якщо всі інші умови однакові. Для кочення бруска можна скористатися круглими олівцями.

10. За результатами дослідів зробіть висновок.



ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4

ВИВЧЕННЯ РУХУ ТІЛА, КИНУТОГО ГОРИЗОНТАЛЬНО

Мета: виміряти початкову швидкість, надану тілу в горизонтальному напрямі, під час його руху під дією сили тяжіння.

Обладнання: лінійка з міліметровими поділками; штатив з муфтою і лапкою; лоток для пускання кульки; фанерна дошка; кулька; папір; кнопки; копіювальний папір.

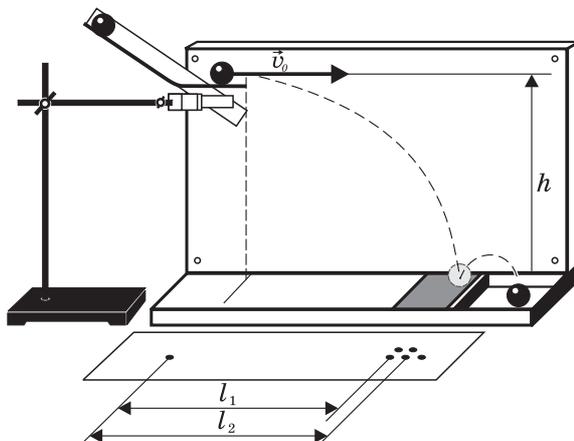
Короткі теоретичні відомості

Коли кульку кинути горизонтально, то вона рухається по параболі. За початок координат візьмемо початкове положення кульки. Вісь X спрямуємо горизонтально, а вісь Y – вертикально вниз. Тоді для будь-якого моменту часу t : $x = v_0 t$, $y = \frac{gt^2}{2}$. Дальність

польоту l – це значення координати x , яке вона матиме, якщо замість t підставити час падіння тіла з висоти h . Тому можна записати: $l = v_0 t$; $h = \frac{gt^2}{2}$. Звідси легко знайти час падіння t й початкову швидкість v_0 :

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}} \quad \text{і} \quad v_0 = \frac{l}{t}, \quad \text{або} \quad v_0 = l\sqrt{\frac{g}{2h}}.$$

Якщо пустити кульку декілька разів у незмінних умовах досліду (мал. 1), то значення дальності польоту трохи відрізняться між собою з різних причин, які неможливо врахувати. У таких випадках за значення вимірюваної величини беруть середнє арифметичне результатів, знайдених у декількох дослідах.



Мал. 1

Хід роботи

1. За допомогою штатива закріпіть фанерну дошку вертикально. При цьому тією самою лапкою затисніть виступ лотка. Загнутий кінець лотка повинен бути горизонтальним (див. мал. 1).

2. Прикріпіть до фанери кнопками аркуш паперу шириною понад 20 см і біля основи установки на смужку білого паперу покладіть копіювальний папір.

3. Повторіть дослід п'ять разів, пускаючи кульку з того самого місця лотка; приберіть копіювальний папір.

4. Виміряйте висоту h і дальність польоту l . Результати вимірювань запишіть у таблицю:

Номер досліду	h , м	l , м	l_c , м	v_{oc} , $\frac{м}{с}$
1				
2				
3				
4				
5				

5. Обчисліть середнє значення початкової швидкості за формулою: $v_{oc} = l_c \sqrt{\frac{g}{2h}}$. (1)

6. За формулами $x = v_{oc}t$ і $y = \frac{gt^2}{2}$ знайдіть координату x тіла (координату y вже обчислено) через кожні 0,05 с і побудуйте траєкторію руху на аркуші паперу, прикріпленому до фанерної дошки:

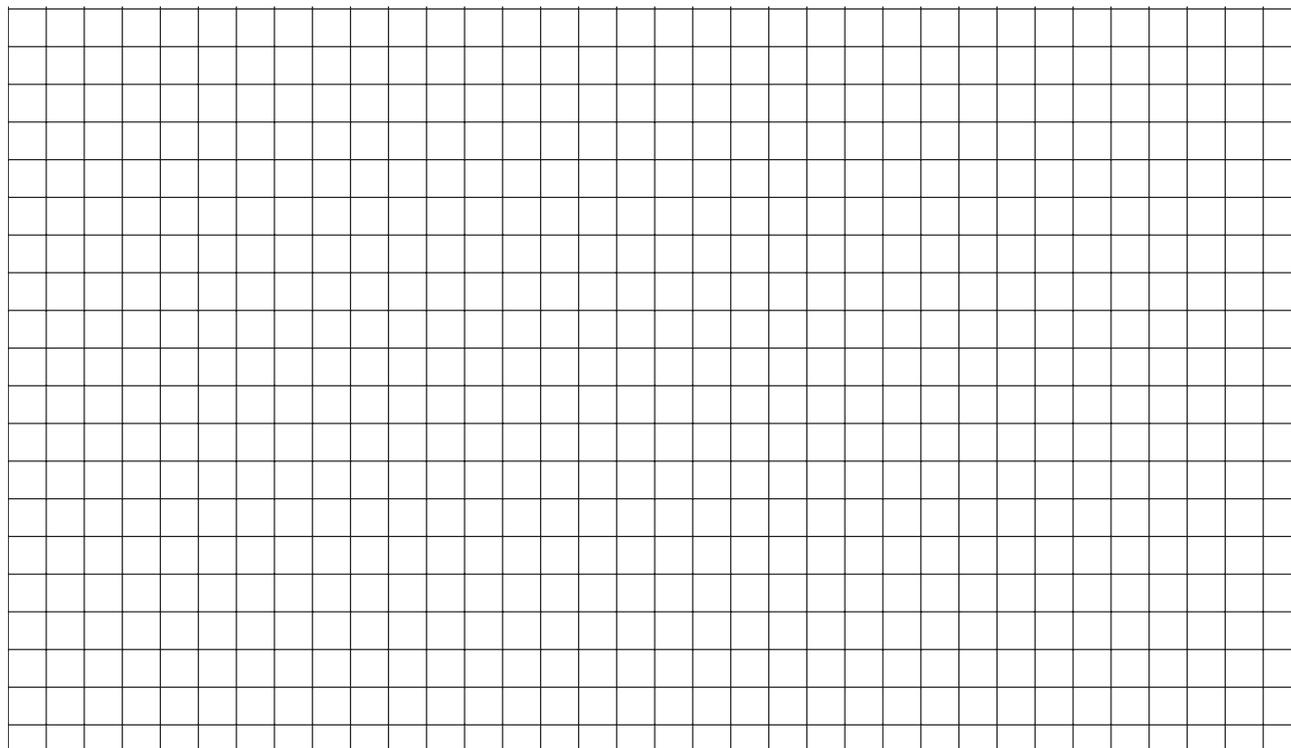
t , с	0	0,05	0,10	0,15	0,2
x , м	0				
y , м	0	0,012	0,049	0,110	0,190

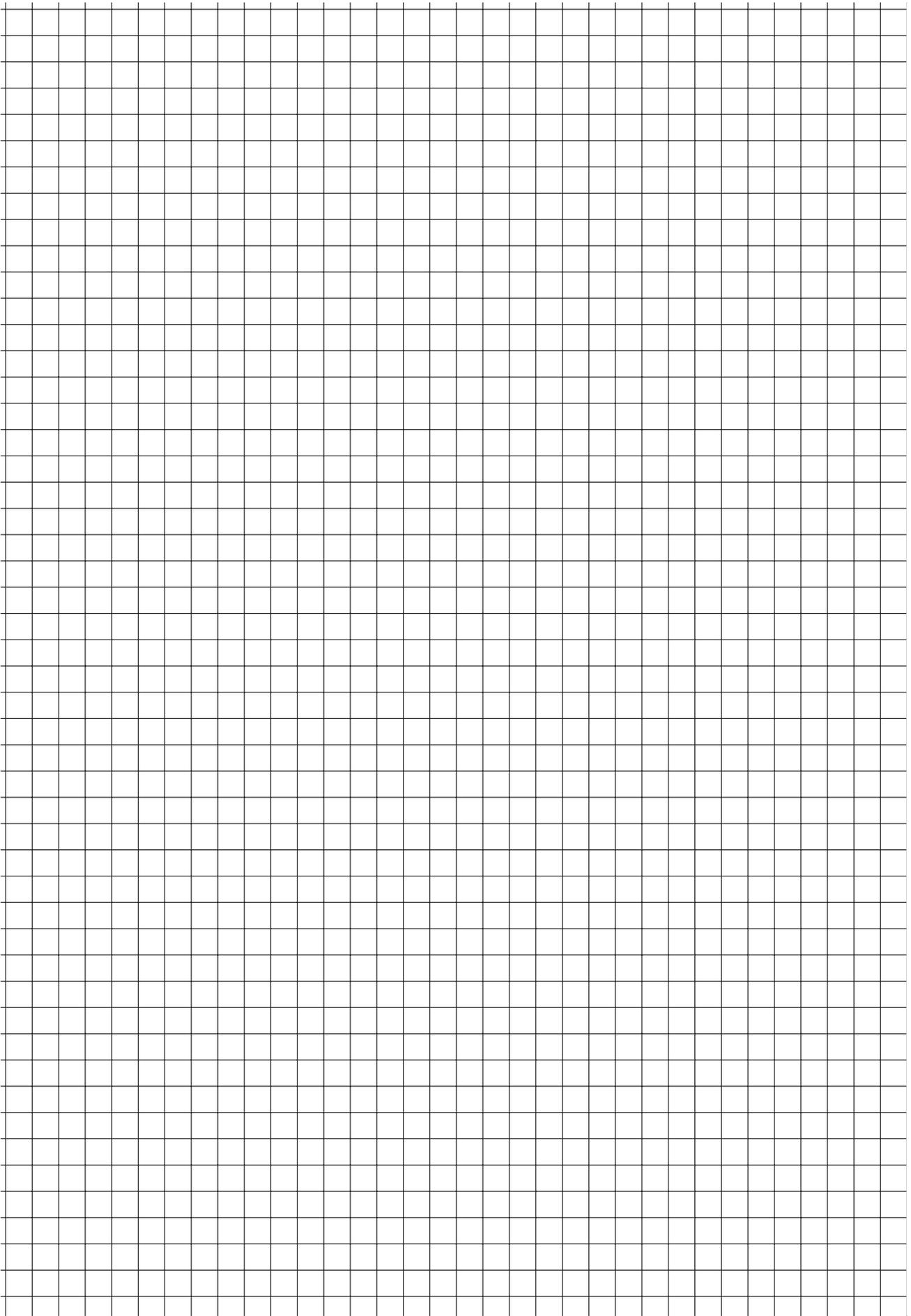
7. Пустіть кульку по жолобу і переконайтеся в тому, що її траєкторія близька до отриманої параболи.

8*. Обчисліть, якою буде дальність польоту кульки, кинутої горизонтально, якщо початкова висота дорівнює 30 см. Розрахунок перевірте дослідом.

9*. Закріпіть лоток на деякій висоті таким чином, щоб його площадка була направлена вгору під кутом 30° до горизонту. Визначіть початкову швидкість кульки в цьому разі.

10. За результатами дослідів зробіть висновок.





ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5

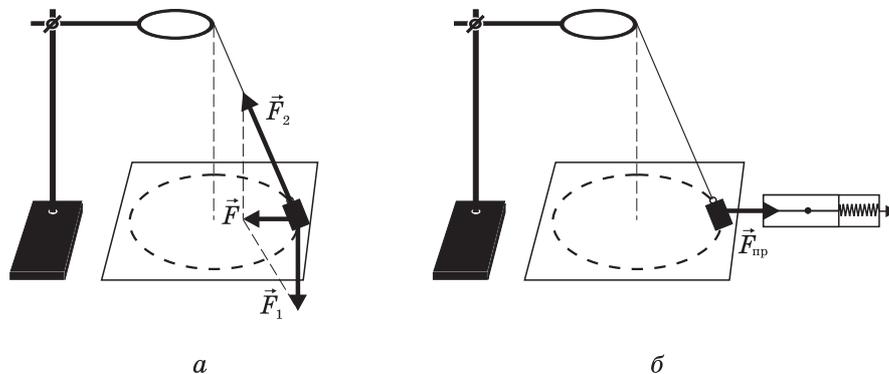
ВИВЧЕННЯ РУХУ ТІЛА ПО КОЛУ ПІД ДІЄЮ СИЛ ПРУЖНОСТІ І ТЯЖІННЯ

Мета: переконатися в тому, що під час руху тіла по колу під дією декількох сил рівнодійна сила дорівнює добутку маси тіла на прискорення: $\vec{F} = m\vec{a}$.

Обладнання: лінійка з міліметровими поділками; годинник із секундною стрілкою; динамометр; штатив з муфтою і кільцем; міцна нитка; аркуш паперу з накресленим колом (радіус 15 см); вантаж з набору з механіки.

Короткі теоретичні відомості

Для вивчення руху тіла по колу користуються конічним маятником (мал. 1, а). На прикріплене до нитки тіло (у цій роботі ним є вантаж з набору з механіки) діють сила тяжіння \vec{F}_1 і сила пружності \vec{F}_2 . Їх рівнодійна дорівнює $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$.



Мал. 1

Сила \vec{F} і надає вантажу доцентрового прискорення $a = \frac{4\pi^2 r}{T^2}$ (r – радіус кола, по якому рухається вантаж, T – період обертання вантажу).

Щоб визначити період, зручно виміряти час t певної кількості N обертів.

$$T = \frac{t}{N} \quad \text{і} \quad a = \frac{4\pi^2 N^2}{t^2} r . \quad (1)$$

Модуль рівнодійної \vec{F} сил \vec{F}_1 і \vec{F}_2 можна виміряти, скомпенсувавши її силою пружності \vec{F}_{np} пружини динамометра так, як показано на малюнку 1, б.

За другим законом Ньютона, $\frac{F_{np}}{ma} = 1$. Якщо підставити до цієї рівності знайдені на досліді значення F_{np} , m і a , може статися, що ліва частина рівності відмінна від одиниці. Це дає змогу оцінити похибку експерименту.

Хід роботи

1. Прив'яжіть нитку завдовжки близько 45 см до вантажу й підвісьте до кільця штатива.
2. Один з учнів, узявши двома пальцями нитку біля точки підвісу, приводить маятник в обертання.
3. Інший учень повинен виміряти стрічкою радіус r кола, по якому рухається вантаж. (Коло можна накреслити заздалегідь на папері й по цьому колу привести в рух маятник.)
4. Визначте період T обертання маятника за допомогою годинника із секундною стрілкою. Для цього учень, який обертає маятник, у такт з його обертами вимовляє: “нуль,

нуль” і т. д. Інший учень з годинником у руках, визначивши за секундною стрілкою зручний момент для початку відліку, вимовляє: “нуль”. Після цього перший учень лічить кількість обертів. Відрахувавши 30-40 обертів (N), зафіксуйте інтервал часу t . Дослід повторіть п’ять разів.

5. Обчисліть середнє значення прискорення за формулою (1), враховуючи, що з відносною похибкою не більш як 0,015 можна вважати, що $\pi^2 = 10$.

6. Виміряйте модуль рівнодійної F , зрівноваживши її силою пружності пружини динамометра (див. мал. 1, б).

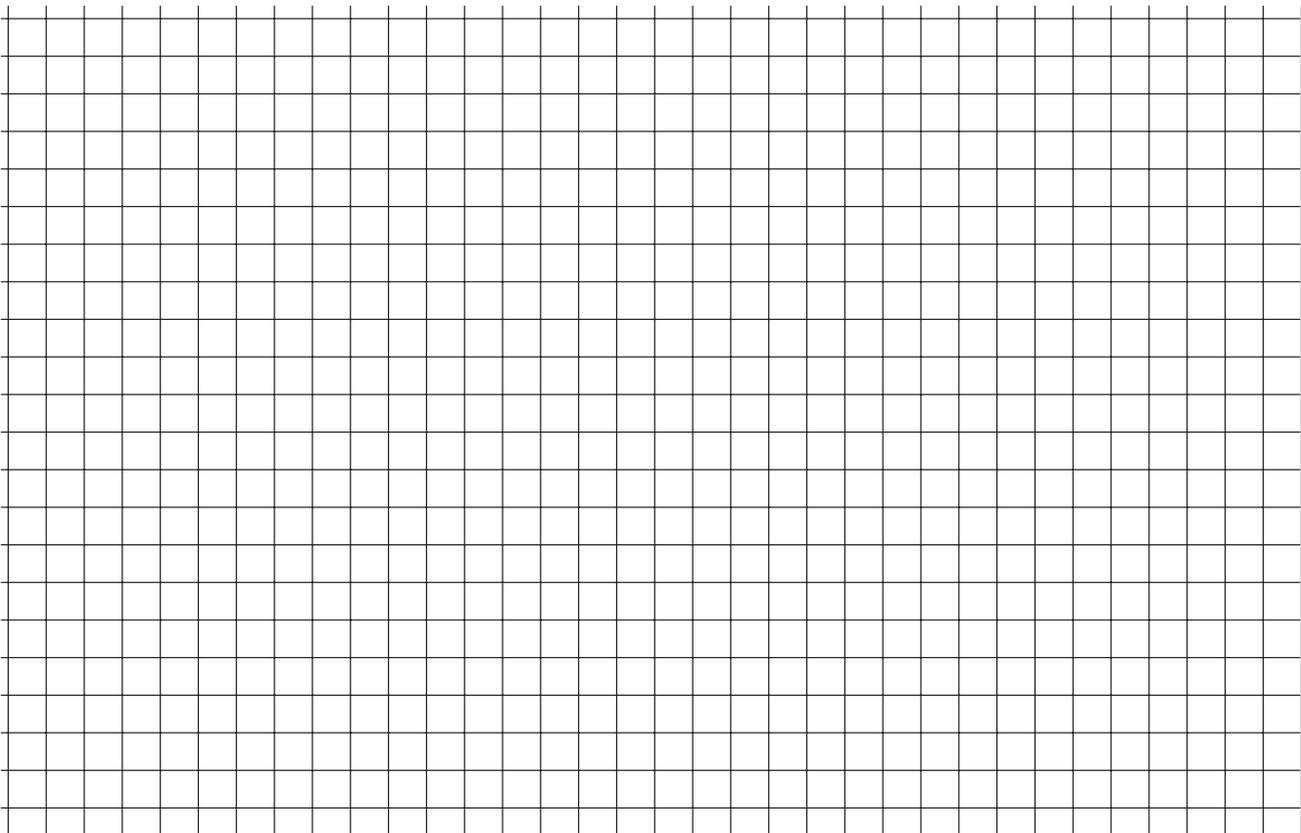
7. Результати вимірювань запишіть у таблицю:

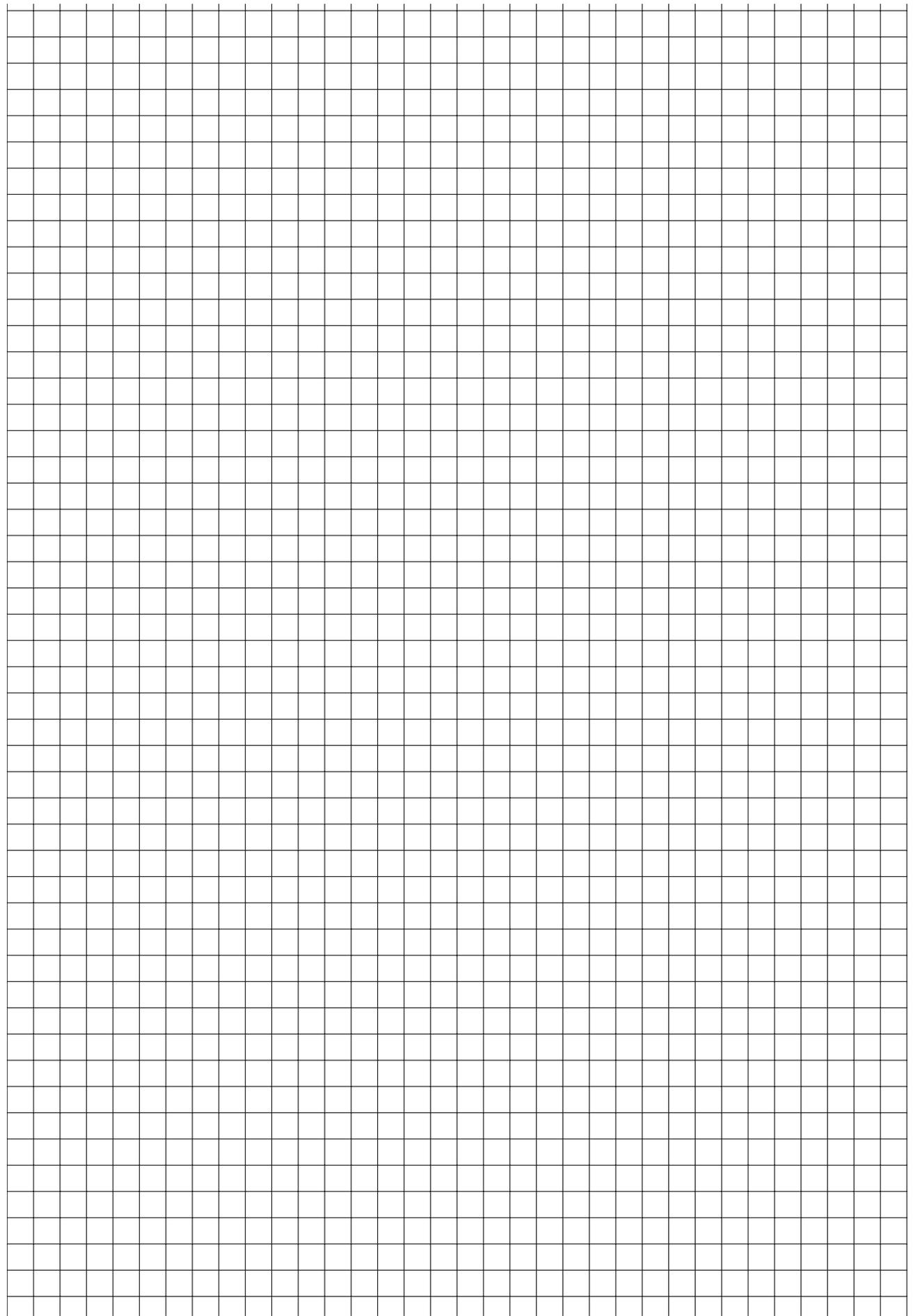
Номер досліджу	t, c	t_e, c	N	$m, кг$	$r, м$	$a, \frac{м}{c^2}$	$F_{np}, Н$
1							
2							
3							
4							
5							

8. Порівняйте відношення $\frac{F_{np}}{ma}$ з одиницею, тобто знайдіть величину $\varepsilon = \frac{\frac{F_{np}}{ma} - 1}{1}$ і зробіть висновок про похибки експериментальної перевірки того факту, що доцентрового прискорення тілу надає векторна сума всіх сил, які діють на нього.

9*. Спробуйте передбачити, чи зміниться прискорення тягарця, якщо нитку вкоротити, а радіус обертання залишити тим самим. Відповідь обґрунтуйте та перевірте на досліді.

10*. Обчисліть, якими будуть доцентрова сила і період обертання тягарця, якщо кут відхилення нитки від вертикалі дорівнює 30° . Розрахунок перевірте дослідом.





ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №6

ВИВЧЕННЯ РІВНОВАГИ ТІЛ ПІД ДІЄЮ ДЕКІЛЬКОХ СИЛ

Мета: встановити співвідношення між моментами сил, прикладених до плечей важеля під час його рівноваги.

Обладнання: лінійка; динамометр; штатив з муфтою; важіль: набір вантажів.

Короткі теоретичні відомості

До одного з плечей важеля підвішують один або декілька вантажів, а до іншого – прикріплюють динамометр (мал. 1). Цим динамометром вимірюють модуль сили \vec{F} , яку треба прикласти для того, щоб важіль був у рівновазі.

Потім за допомогою того самого динамометра вимірюють модуль ваги вантажів \vec{P} . Довжини плечей важеля вимірюють лінійкою. Після цього обчислюють абсолютні значення моментів M_1 і M_2 сил \vec{P} і \vec{F} : $M_1 = Pl_1$; $M_2 = Fl_2$.

Висновок про похибку дослідної перевірки правила моментів можна зробити, порівнявши з одиницею відношення $\frac{M_1}{M_2}$.

Хід роботи

1. Установіть важіль на штативі і зрівноважте його в горизонтальному положенні за допомогою пересувних гайок, розміщених на його кінцях.

2. Підвісьте вантаж у певній точці одного з плечей важеля.

3. Прикріпіть до іншого плеча важеля динамометр і визначте силу, яку треба прикласти до важеля, щоб він був у рівновазі.

4. Виміряйте лінійкою довжини плечей важеля l_1 і l_2 .

5. Динамометром визначте вагу вантажу \vec{P} та модуль сили \vec{F} .

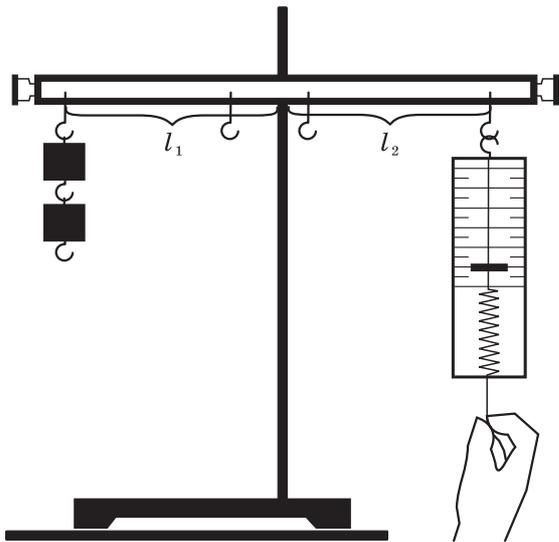
6. Знайдіть абсолютні значення моментів сил \vec{P} і \vec{F} .

7. Знайдені величини запишіть у таблицю.

8. Порівняйте відношення $\frac{M_1}{M_2}$ з одиницею, тобто знайдіть величину $\varepsilon = \frac{\left| \frac{M_1}{M_2} - 1 \right|}{1}$

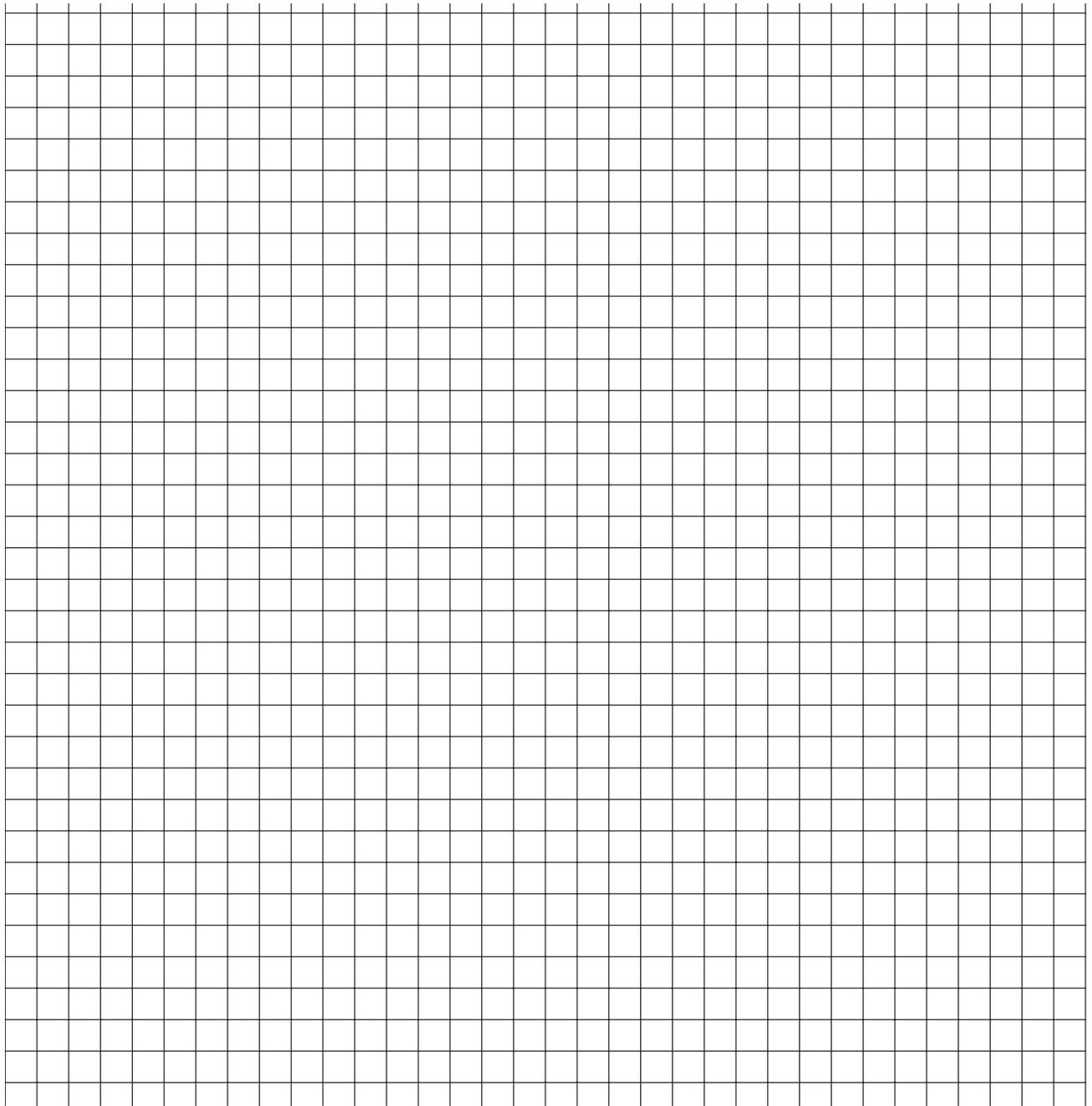
і зробіть висновок про похибки дослідної перевірки правила моментів.

9*. Перевірте умову рівноваги важеля для кількох різних випадків. Наприклад, до важеля прикладені: а) три сили, лінії дії яких вертикальні; б) дві сили, одна з яких спрямована вертикально, а інша – під деяким кутом до вертикалі і т. д.



Мал. 1

Номер досліду	$l_1, \text{м}$	$l_2, \text{м}$	$P, \text{Н}$	$F, \text{Н}$	$M_1 = Pl_1, \text{Н}\cdot\text{м}$	$M_2 = Fl_2, \text{Н}\cdot\text{м}$
1						
2						
3						
4						
5						



ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №7

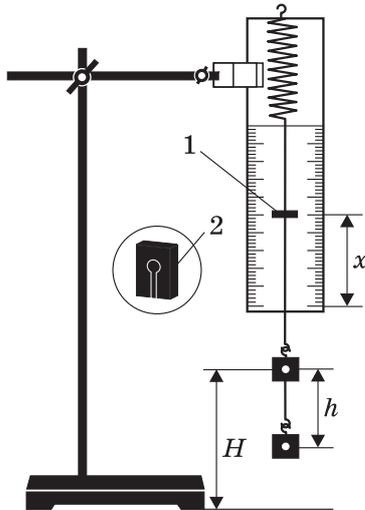
ВИВЧЕННЯ ЗАКОНУ ЗБЕРЕЖЕННЯ МЕХАНІЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Мета: порівняти, наскільки зменшується потенціальна енергія тіла під час його падіння і наскільки збільшується потенціальна енергія пружини, до якої прикріплене це тіло.

Обладнання: динамометр, жорсткість пружини якого дорівнює 40 Н/м; лінійка вимірювальна; вантаж з набору з механіки, маса вантажу $(0,100 \pm 0,002)$ кг; фіксатор; штатив з муфтою і лапкою; тягарець масою 20 г; нитка довжиною 50-60 см.

Короткі теоретичні відомості

Для роботи використовується установка, зображена на малюнку 1. Це закріплений на штативі динамометр з фіксатором 1. Пружина динамометра закінчується дротяним стержнем з гачком. Фіксатор (у збільшеному масштабі його зображено окремо – позначено цифрою 2) – це легенька коркова пластинка (розмірами $5 \times 7 \times 1,5$ мм), прорізана ножом до її центра. Пластинку насаджують на дротяний стержень динамометра. Фіксатор повинен переміщуватися вздовж стержня з невеликим тертям, однак тертя має бути достатнім, щоб фіксатор сам по собі не падав униз. У цьому треба переконатися перед початком роботи. Для цього фіксатор встановлюють біля нижнього краю шкали на обмежувальній скобі. Потім пружину розтягують і відпускають. Фіксатор разом з дротяним стержнем повинен піднятися вгору, відмічаючи цим максимальне видовження пружини, яке дорівнює відстані від упора до фіксатора.



Мал. 1

Якщо підняти вантаж, який висить на гачку динамометра, так, щоб пружина була не розтягнена, то потенціальна енергія вантажу відносно, наприклад, поверхні стола дорівнює mgH . Під час падіння вантажу (опускання на відстань $x = h$) потенціальна енергія вантажу зменшиться на $E_1 = mgh$, а енергія пружини під час її деформації збільшиться на $E_2 = \frac{kx^2}{2}$.

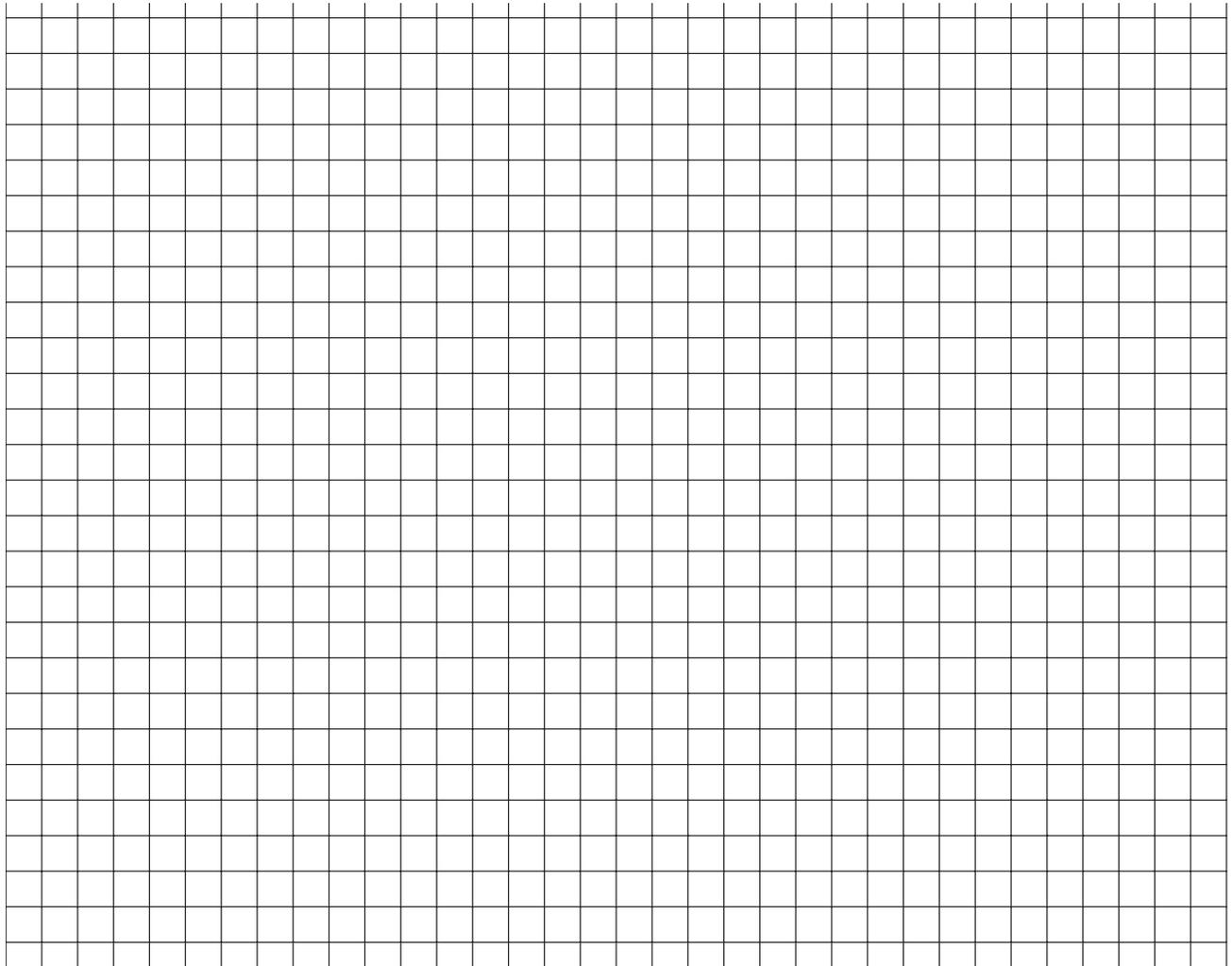
Хід роботи

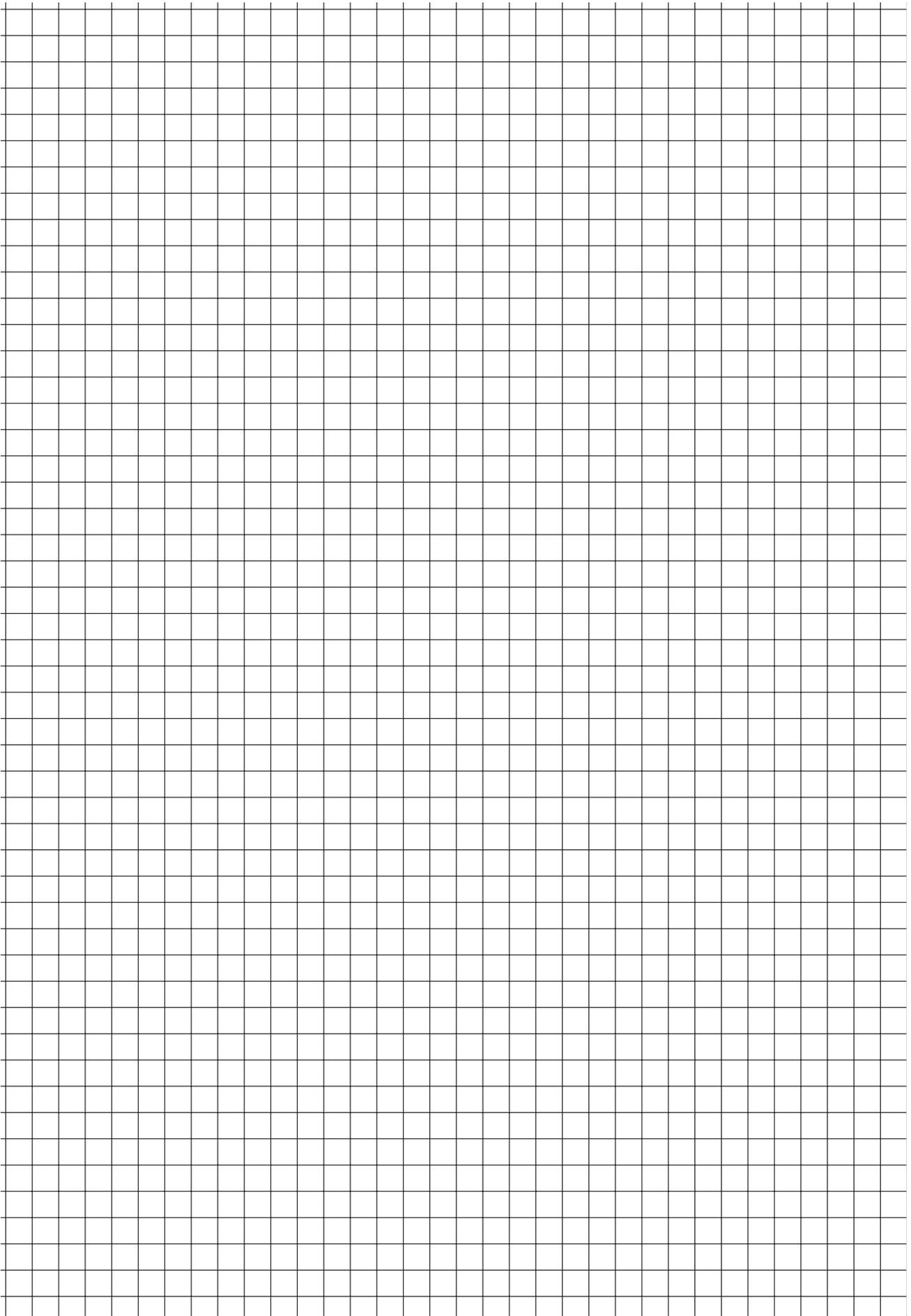
1. Вантаж із набору з механіки міцно закріпіть на гачку динамометра.
 2. Підніміть вантаж рукою, розвантажуючи пружину, і встановіть фіксатор унизу біля скоби.
 3. Опустіть вантаж. Падаючи, вантаж розтягне пружину. Зніміть вантаж і за положенням фіксатора виміряйте лінійкою максимальне видовження x пружини.
 4. Повторіть дослід п'ять разів. Обчисліть $x_c = h_c$.
 5. Обчисліть $E_{1c} = mgh_c$ і $E_{2c} = \frac{kx_c^2}{2}$.
 6. Результати дослідів запишіть у таблицю.
 7. Порівняйте відношення $\frac{E_{1c}}{E_{2c}}$ з одиницею, тобто знайдіть величину $\varepsilon = \frac{\left| \frac{E_{1c}}{E_{2c}} - 1 \right|}{1}$,
- зробіть висновок про похибку, з якою було перевірено закон збереження енергії.

Номер досліджу	x_{\max} , м	$x_c = h_c$, м	E_{1c} , Дж	E_{2c} , Дж	$\frac{E_{1c}}{E_{2c}}$
1					
2					
3					
4					
5					

8*. Підвісьте тягарець на нитці довжиною 40-50 см до лапки штатива. Розмістивши нитку горизонтально, відпустіть тягарець і визначіть механічну енергію, яка втрачається (тобто переходить у внутрішню енергію оточуючих тіл) при одному його повному коливанні.

9*. Закріпіть динамометр у лапці штатива у вертикальному положенні. Підвісьте до гачка динамометра на нитці довжиною 40-50 см тягарець масою 20 г з таким розрахунком, щоб відстань між тягарцем і поверхнею стола була 15 см. Розрахуйте, на яку висоту підніметься тягарець, якщо його відтягнути вниз на декілька сантиметрів і відпустити. Розрахунок перевірте дослідом.





учня _____ класу

Фізичний практикум

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

ВИЗНАЧЕННЯ ПРИСКОРЕННЯ

ВІЛЬНОГО ПАДІННЯ ТІЛА

Обладнання: електропрогравач; вимірвальна лінійка на 30 см з міліметровими поділками; транспорир; дві кульки однакової маси на нитці; штатив для фронтальних лабораторних робіт; два кружки з білого і копіювального паперу.

Зміст і метод виконання роботи

При вільному падінні тіла з початковою швидкістю, що дорівнює нулю, висота падіння h , модуль прискорення g і час падіння t зв'язані співвідношенням: $h = \frac{gt^2}{2}$.

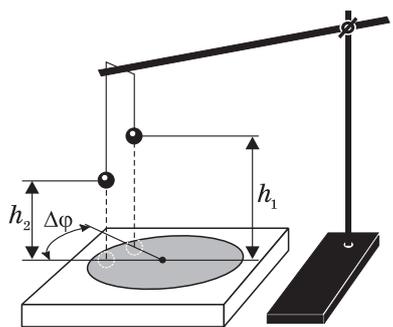
Отже, щоб визначити модуль прискорення вільного падіння g , треба знати висоту h і час падіння t . Висоту можна легко виміряти, а для визначення малого проміжку часу за невеликих значень висоти h треба застосувати *особливий прийом*. Час вільного падіння з висоти h

дорівнює $t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$. Якщо замість одного тіла використати два тіла, які падають з різних висот

h_1 і h_2 , то час їх падіння відрізняється на $\Delta t = t_1 - t_2 = \sqrt{\frac{2h_1}{g}} - \sqrt{\frac{2h_2}{g}} = \frac{\sqrt{2}(\sqrt{h_1} - \sqrt{h_2})}{\sqrt{g}}$.

Звідси модуль прискорення вільного падіння $g = \frac{2(\sqrt{h_1} - \sqrt{h_2})^2}{\Delta t^2}$. (1)

У цій роботі для вимірювання проміжку часу Δt використовується обертовий диск електропрогравача. Над диском електропрогравача на штативі закріплюють невелику дерев'яну або металеву пластинку і через неї перекидають нитку з двома однаковими кульками. При цьому кульки мають бути розміщені над диском по лінії його радіуса на різній висоті (малюнок 1).



Мал. 1

Якщо увімкнути програвач і перепалити нитку, то кульки впадуть на обертовий диск у різні моменти часу: t_1 і t_2 .

Провівши радіуси диска через точки падіння кульок, дістанемо центральний кут φ . Вимірявши його в градусах, можна визначити проміжок часу $\Delta t = t_1 - t_2$.

Якщо диск здійснює 33 оберти за хвилину, або $\frac{33}{60} = 0,55$ оберта за секунду, то за 1 с він повернеться на кут $360^\circ \cdot 0,55 = 198^\circ$. Тоді за проміжок часу Δt диск повертається на кут $\Delta\varphi = 198^\circ \cdot \Delta t$.

Звідси проміжок часу Δt у секундах $\Delta t = \frac{\varphi}{198^\circ}$. (2)

Визначивши h_1 , h_2 і Δt , визначають модуль прискорення вільного падіння за формулою (1).

Хід роботи

1. Покладіть на диск програвача кружок з копіювального паперу нашаруванням догори і на нього кружок з білого паперу. На білому папері перед цим накресліть один радіус.



2. Розмістіть кульки якомога точніше над накресленим радіусом – одну на висоті $h_1 = 25$ см, а іншу на висоті $h_2 = 10$ см.

3. Увімкніть програвач з частотою 33 об/хв і через деякий час, коли програвач набере обертів, перепаліть нитку. Вимкніть програвач і зніміть з нього білий кружок. Мітки, які залишилися на ньому, сполучіть прямими з центром кружка. Кут між цими відрізками виміряйте транспортиром і за формулою (2) обчисліть час Δt .

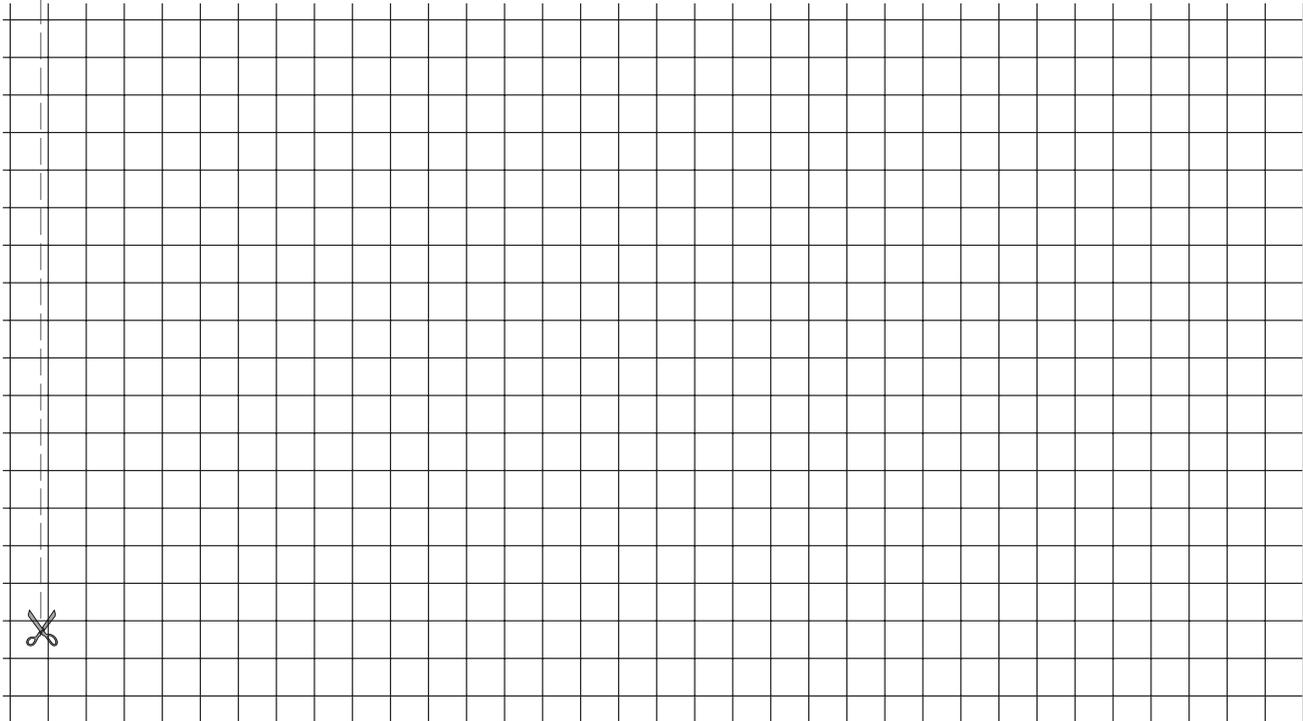
4. Обчисліть модуль прискорення вільного падіння g за формулою (1).

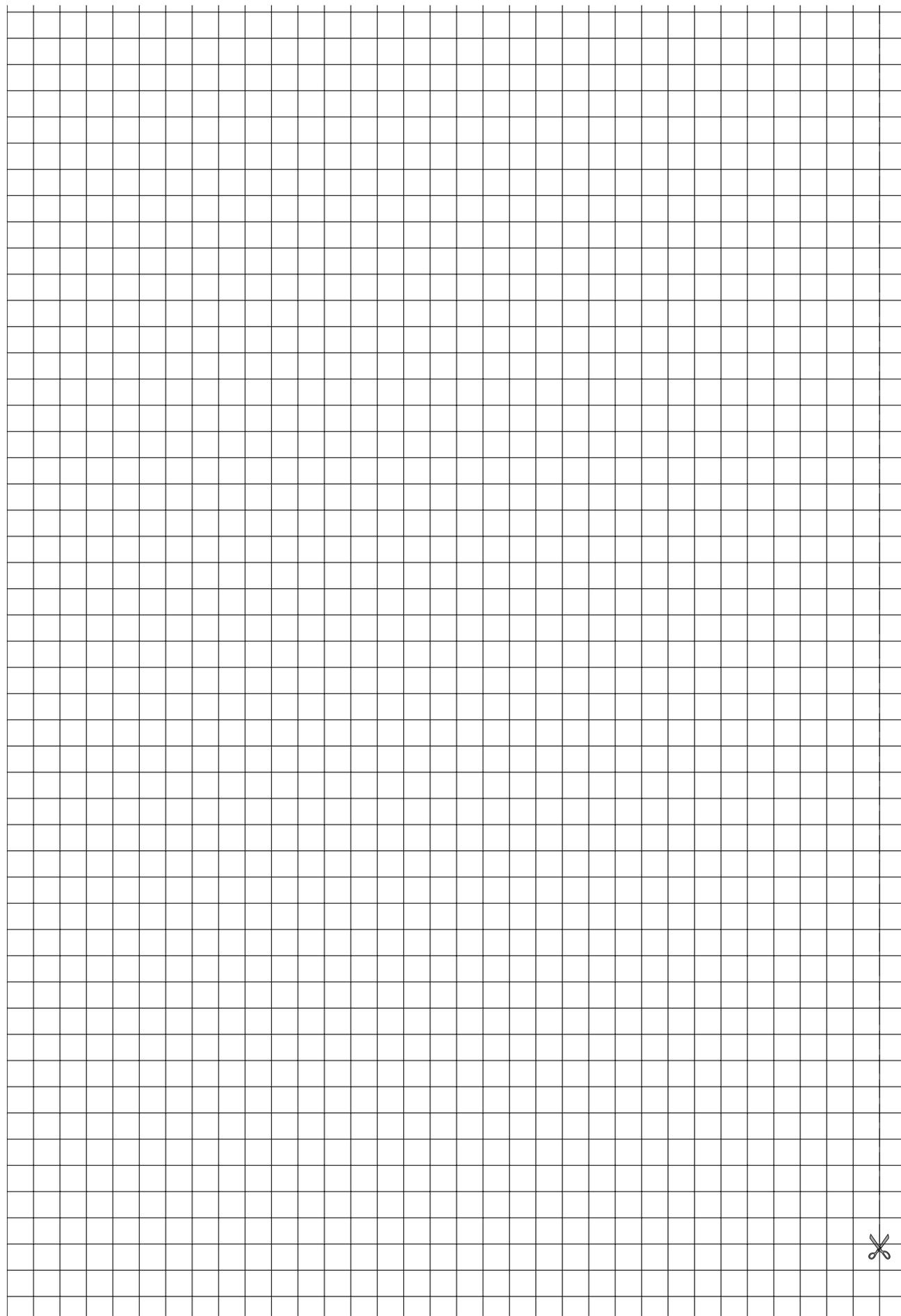
5. Повторіть дослід за інших значень висоти h_1 і h_2 . Результати вимірювань і обчислень запишіть у таблицю:

Номер п/п	Висота падіння першої кульки $h_1, \text{м}$	Висота падіння другої кульки $h_2, \text{м}$	Інтервал часу між падінням кульок $\Delta t, \text{с}$	Прискорення вільного падіння $g, \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$
1				
2				
3				
4				
5				

Контрольні запитання

1. Чому час падіння кульок у цій роботі не вимірюють ручним секундоміром?
2. Як вимірюють час падіння кульки за допомогою обертового диска?
3. Як зміниться результат вимірювання g , якщо кульки матимуть у два рази більшу масу?
4. Чи зміниться похибка результату вимірювання часу Δt , якщо відстань між кульками $h_1 - h_2$ буде більша, ніж було взято в досліді?
5. Які основні причини похибок, що виникають під час виконання цієї роботи?



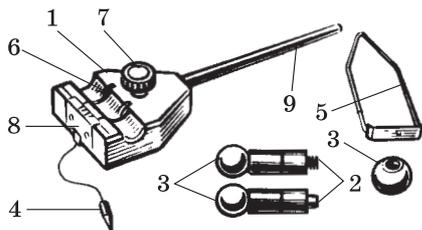


учня _____ класу

Фізичний практикум

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2 ПЕРЕВІРКА СТАЛОСТІ ВІДНОШЕННЯ ПРИ- СКОРЕНЬ ДВОХ ТІЛ ПІД ЧАС ЇХ ВЗАЄ- МОДІЇ

Обладнання: прилад для перевірки закону збереження імпульсу; штатив для фронтальних робіт; лінійка або вимірвальна стрічка з сантиметровими поділками; рівень; аркуші паперу для письма і копіювального паперу – по 2 шт.



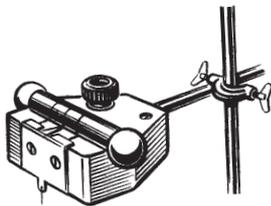
Мал. 1

Зміст і метод виконання роботи

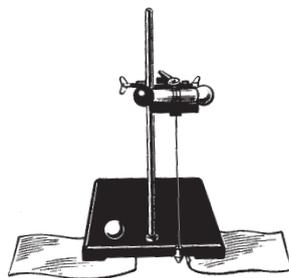
Для виконання роботи використовують прилад (мал. 1), який складається з платформи 1, двох снарядів 2 із змінними кульками 3 і скоби з дужкою 5.

Пластмасова платформа має жолоб, у якому встановлюють снаряди. Всередині платформи вмонтовано плоску пружину із скобою 6 і кнопкою 7, від натискання якої скоба входить всередину корпусу платформи. Крім того, на корпусі платформи є рухомий покажчик з виском 4 для визначення початку відліку відстаней, які пролітають снаряди, і стержень для закріплення приладу в муфті штатива.

Установку для досліду складають за мал. 3. Під час натискання кнопки снаряди одночасно вивільняються і внаслідок взаємодії розлітаються у різні боки. Початкові швидкості снарядів дорівнюють нулю. Рух снарядів під час взаємодії можна розглядати як рівноприскорений з середніми прискореннями \vec{a}_1 і \vec{a}_2 . Тому $a_1 = \frac{v_1}{t}$



Мал. 2



Мал. 3

і $a_2 = \frac{v_2}{t}$, де a_1 і a_2 – модулі прискорень,

а v_1 і v_2 – модулі горизонтальних складових швидкостей, набутих снарядами внаслідок взаємодії, t – час взаємодії, од-

наковий для обох снарядів. Виходячи з цього, можна записати, що $\frac{a_1}{a_2} = \frac{v_1}{v_2}$. (1)

На снаряди, які рухаються у горизонтальному напрямі, діють лише сили опору повітря, якими через їх малу величину можна знехтувати, тому рух снарядів у цьому напрямі можна розглядати як рівномірний. Отже, $x_1 = v_1 t_1$ і $x_2 = v_2 t_2$, де x_1 і x_2 – відстані, пройдені снарядами в горизонтальному напрямі, t_1 і t_2 – час падіння снарядів з тієї самої

висоти. Оскільки час однаковий, то $\frac{v_1}{v_2} = \frac{x_1}{x_2}$. (2)

Порівнявши вирази (1) і (2), дістанемо: $\frac{a_1}{a_2} = \frac{x_1}{x_2}$. (3)



Отже, щоб визначити відношення модулів прискорень снарядів під час їх взаємодії, треба знайти відношення дальностей їх польоту в горизонтальному напрямі.

Для спрощення вимірювань розмірами снарядів можна знехтувати і координати точок падіння можна відлічувати від точки, над якою розміщений висок.

Хід роботи

1. Складіть установку за мал. 3. Закріпіть прилад на висоті 20-30 см від поверхні стола. Перевірте горизонтальність установки платформи за допомогою рівня.

2. Нитку виска закріпіть так, щоб його вістря було біля поверхні стола. Покладіть снаряди на платформу, як показано на мал. 2. Зробіть пробний постріл.

3. На стіл у місцях падіння снарядів покладіть писальний папір, накрийте його копіювальним і притисніть основою штатива (див. мал. 3).

4. Зробіть 3-4 постріли. Щоразу вимірюйте дальність польоту снарядів. Обчисліть середнє значення дальностей для кожного снаряда x_1 і x_2 .

5. Результати вимірювань і обчислень запишіть у табл. 1:

Таблиця 1

Снаряди з пластмасовими кульками

№ досліду	Дальність польоту снарядів		Відношення дальностей польотів снарядів x_1/x_2
	x_1 , м	x_2 , м	
1			
2			
3			

6. Виконайте ще два досліди, змінивши спочатку довжину робочої частини пружини, а потім висоту встановлення платформи.

7. Для кожного досліду обчисліть відношення $\frac{x_1}{x_2}$ і порівняйте.

8. Повторіть досліди, замінивши на одному з снарядів пластмасову кульку металевою. Результати вимірювань і обчислень запишіть у табл. 2:

Таблиця 2

Один снаряд із пластмасовою кулькою, інший – зі сталлюю

№ досліду	Дальність польоту снарядів		Відношення дальностей польотів снарядів x_1/x_2
	x_1 , м	x_2 , м	
1			
2			
3			

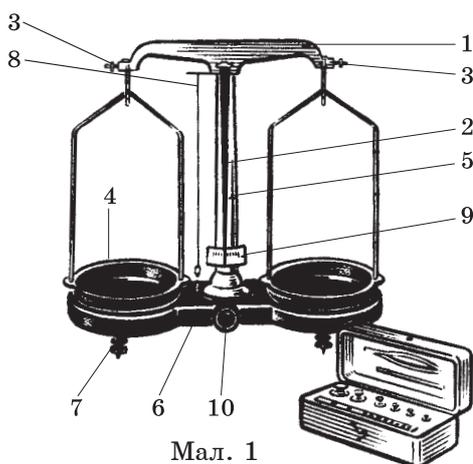
9. Обчисліть відносну похибку вимірювань за формулою $\varepsilon_{\mu} = \frac{\Delta x_1}{x_1} + \frac{\Delta x_2}{x_2}$, де Δx_1 і Δx_2 – абсолютні похибки вимірювань дальностей польоту x_1 і x_2 . Ці похибки випадкові.



Фізичний практикум ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3 ВИМІРЮВАННЯ МАСИ ТІЛА

Обладнання: циліндр сталевий від набору тіл для калориметра; терези технічні ВТ2-200; набір важків Г4-210; динамометр; секундомір; вимірювальна лінійка 30 см з міліметровими поділками; штатив для фронтальних робіт.

Зміст і метод виконання роботи



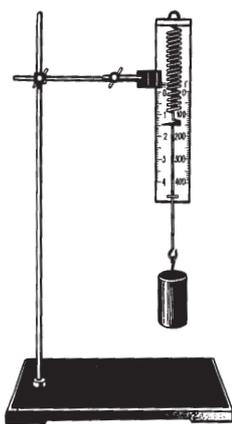
Мал. 1

У цій роботі масу тіла вимірюють двома способами: за допомогою технічних терезів і пружинного маятника.

Технічні терези (мал. 1) – високочутливий точний прилад, тому треба обережно користуватися ними, дотримуючись певних правил зважування. Терези мають потрібні пристрої, які забезпечують правильне їх встановлення і дію. Терези складаються з коромисла 1 з трьома призмами, стрілкою 2 і тарувальними гайками 3 на кінцях; двох пластмасових шальок 4 з підвісками і сергачами; стояка 5, встановленого на пластмасовій підставці 6 з двома зрівняльними гвинтами 7. На верхньому кінці стояка закріплений висок 8, а біля основи – шкала 9. Чутливість терезів при повному навантаженні (200 г) дорівнює 50 мг, а без навантаження – 10 мг.

Терези можуть нормально працювати, якщо стояк 5 буде у вертикальному положенні, чого досягають за допомогою виска 8 і двох зрівняльних гвинтів 7.

Технічні терези мають спеціальний пристрій – аретир 10, який дає можливість на час вимірювання підняти опорну пластину з коромислом і шальками. Нагадаємо, що під час зберігання, перенесення з місця на місце та заміни важків терези треба аретувати. Повертати ручку аретира треба плавно, щоб не допустити різких коливань коромисла і шальок.



Мал. 2

Для вимірювання маси тіла за допомогою пружинного маятника складають установку за мал. 2. У лапці штатива у вертикальному положенні закріплюють навчальний динамометр і підвішують до нього досліджуване тіло. Утворений в такий спосіб пружинний маятник виводять з положення рівноваги і відпускають. Під дією сил тяжіння і пружності пружини маятник здійснює

гармонічні коливання частотою ν , що дорівнює ,
$$\nu = \frac{1}{2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}} \quad (1)$$

де k – жорсткість пружини, m – маса досліджуваного тіла.

З формули (1) можна дістати вираз для маси:
$$m = \frac{k}{4\pi^2\nu^2} \quad (2)$$



Отже, щоб виміряти масу тіла другим способом, треба знати жорсткість пружини k і частоту коливань ν пружинного маятника. Для вимірювання цих величин використовують динамометр, лінійку і секундомір.

Хід роботи

Завдання 1

Вимірювання маси тіла за допомогою терезів

1. Ознайомтесь з будовою і дією технічних терезів.
2. Перевірте правильність встановлення терезів. Для цього, користуючись зрівняльними гвинтами 7, встановіть вертикально стояк 5 (вістря виска має збігатися з вістря шпильки, закріпленої на підставці терезів). Обертаючи гайки 3, розташовані на кінцях коромисла, приведіть терези в рівновагу.
3. Виміряйте масу досліджуваного тіла з точністю до 0,01 г.
4. Обчисліть абсолютну і відносну похибки вимірювання маси тіла.
5. Результати всіх вимірювань запишіть у зошит.

Завдання 2

Вимірювання маси тіла за допомогою пружинного маятника

1. Закріпіть динамометр у лапці штатива вертикально і підвісьте до його гачка досліджуване тіло (див. мал. 2). Відрегулюйте положення динамометра так, щоб під час коливань тіла стрілка динамометра не торкалася шкали, а стержень – дротяної скоби.
2. Виміряйте силу пружності пружини F (за показами динамометра) і її деформацію x за допомогою лінійки.
3. Обчисліть жорсткість пружини k . Результати вимірювань і обчислень запишіть у таблицю.
4. Приведіть пружинний маятник у коливання. Для цього відтягніть тіло вертикально вниз на 1-2 см і відпустіть. За допомогою секундоміра виміряйте час t , наприклад, 10-ти повних коливань маятника.

5. Обчисліть частоту коливань маятника за формулою $\nu = \frac{n}{t}$,

де n – число повних коливань маятника, t – час, протягом якого маятник здійснює n повних коливань.

6. Обчисліть масу коливного тіла за формулою (2).
7. Результати вимірювань і обчислень запишіть у таблицю:

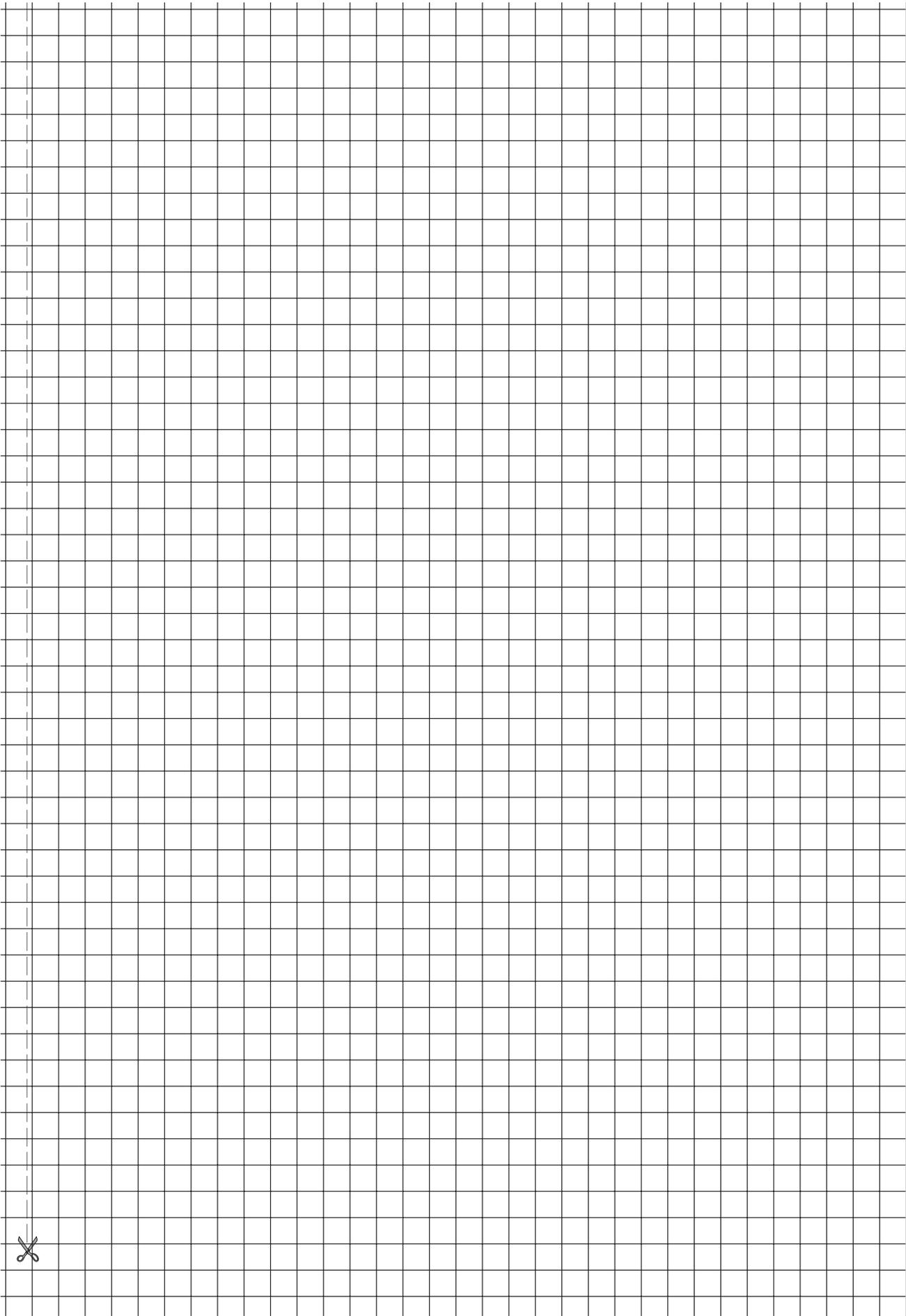
№ досліду	Сила пружності пружини F , Н	Деформація пружини x , м	Жорсткість пружини k , Н/м	Число коливань, n	Час коливань t , с	Частота коливань ν , с ⁻¹	Маса тіла m , кг

8. Обчисліть абсолютну і відносну похибки вимірювання маси тіла за формулою

$$\varepsilon = \frac{\Delta m}{m} = \frac{\Delta F}{F} + \frac{\Delta x}{x} + \frac{2\Delta t}{t}.$$

У цій формулі ΔF дорівнює сумі основної похибки динамометра і похибки відліку, похибка вимірювання деформації пружини Δx не може бути меншою за половину довжини





учня _____ класу

Фізичний практикум
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4

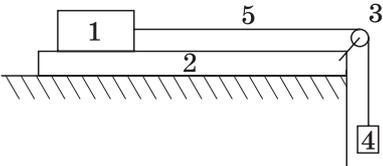
ВИВЧЕННЯ ДРУГОГО ЗАКОНУ НЬЮТОНА

Обладнання: трибометр; дерев'яний брусок; набір вантажів; секундомір; вимірювальна стрічка з сантиметровими поділками.

Зміст і метод виконання роботи

За другим законом Ньютона, прискорення, надане тілу силою \vec{F} , прямо пропорційне цій силі і обернено пропорційне масі тіла: $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$. Модуль прискорення a визначають із

співвідношення $a = \frac{2s}{t^2}$.



Мал. 1

Роботу виконують, використовуючи установку, зображену на малюнку 1.

Брусок 1 рухається по поверхні трибометра 2 під дією вантажу 4, з'єднаного з трибометром ниткою 5, перекинutoю через блок 3.

Для визначення часу використовують секундомір.

Хід роботи

ЗАВДАННЯ I. Дослідження залежності модуля прискорення від діючої сили при сталій масі тіла.

1. Визначте силу тертя при русі бруска по поверхні трибометра. Для цього, прикріпивши динамометр до бруска, рівномірно переміщуйте його по поверхні трибометра. Сила, яку показує динамометр, буде дорівнювати силі тертя.
2. Прикріпіть до нитки вантаж, притримуючи брусок рукою.
3. Відпустіть вантаж, одночасно увімкнувши секундомір і виміряйте час, протягом якого брусок пройде шлях 50 см. Дослід повторіть 5 разів і визначте середнє значення часу. Обчисліть прискорення бруска.
4. Обчисліть рівнодійну силу, що діяла на брусок (вона буде рівна різниці ваги вантажу та сили тертя: $F = P - F_{тр}$).
5. Дослід повторіть ще два рази, змінюючи вагу вантажу, підвешеного до нитки.
6. Результати вимірювань та обчислень занесіть у таблицю:

№ п/п	m , кг	P , Н	$F_{тр}$, Н	F , Н	s , м	t , с	a , $\frac{м}{с^2}$
1							
2							
3							
4							
5							



7. Знайдіть відношення $\frac{F_2}{F_1}$ та $\frac{a_2}{a_1}$; $\frac{F_3}{F_2}$ та $\frac{a_3}{a_2}$; $\frac{F_3}{F_1}$ та $\frac{a_3}{a_1}$.

8. На підставі знайдених результатів, урахувавши допущені похибки, зробіть висновок про залежність модуля прискорення від діючої сили при сталій масі тіла.

ЗАВДАННЯ II. Дослідження залежності модуля прискорення від маси рухомого тіла при сталій діючій силі.

1. Визначте масу бруска.
2. Прикріпіть до нитки вантаж масою _____.
3. Відпустіть вантаж, одночасно увімкніть секундомір і виміряйте час, протягом якого брусок пройде шлях 50 см. Дослід повторіть 5 разів і визначте середнє значення часу.
4. Повторіть дослід, поставивши на брусок вантаж масою 100 г.
5. Поставте на брусок ще один вантаж масою 100 г; ще раз повторіть дослід.
6. Обчисліть для кожного випадку прискорення бруска.
7. Результати вимірювань і обчислень занесіть у таблицю:

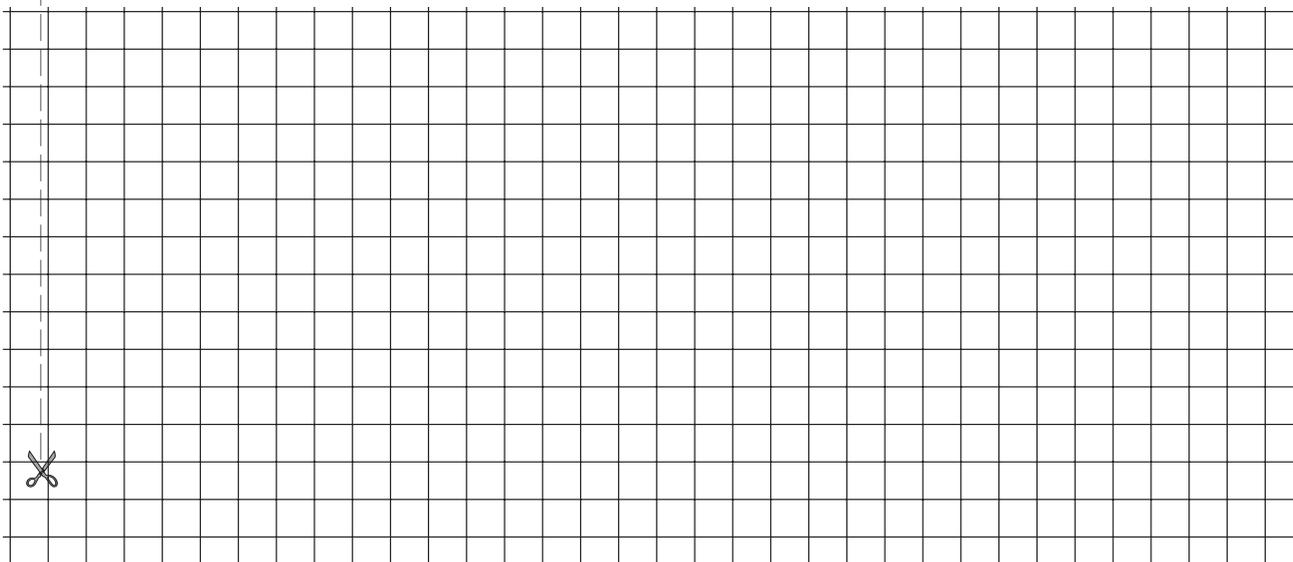
№ п/п	m , кг	s , м	t , с	a , $\frac{M}{C^2}$
1				
2				
3				
4				
5				

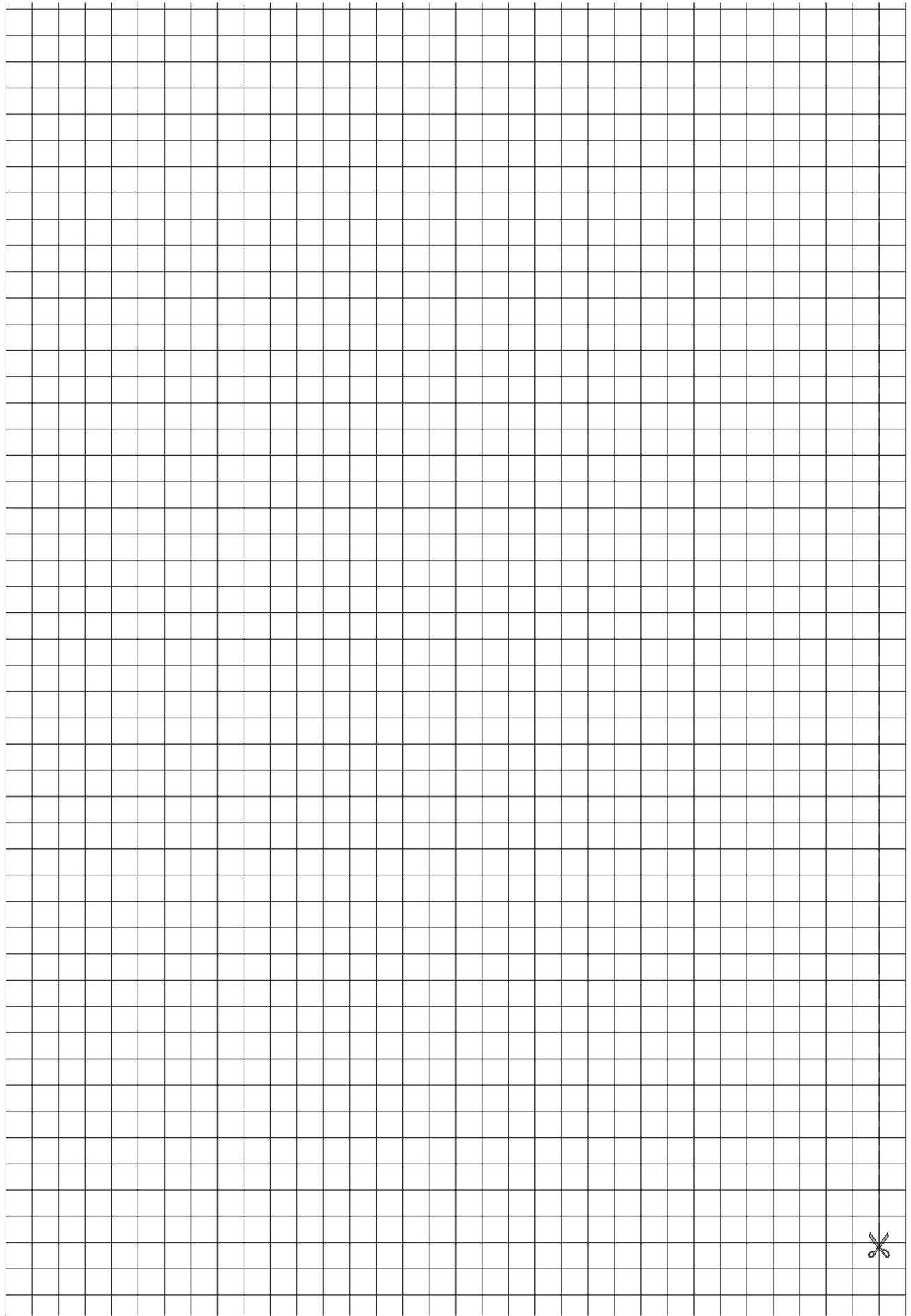
8. Знайдіть відношення $\frac{m_2}{m_1}$ та $\frac{a_2}{a_1}$; $\frac{m_3}{m_2}$ та $\frac{a_3}{a_2}$; $\frac{m_3}{m_1}$ та $\frac{a_3}{a_1}$.

9. На підставі знайдених результатів, урахувавши допущені похибки, зробіть висновок про залежність модуля прискорення від маси тіла при сталій діючій силі.

Контрольні запитання

1. Як потрібно змінити пройдений шлях для одержання більш точного значення прискорення?
2. Маси яких тіл не враховують при виконанні роботи?
3. Чому при встановленні залежності між модулями сили і переміщення потрібно враховувати тертя?





учня _____ класу

Фізичний практикум

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5 ВИВЧЕННЯ РУХУ ТІЛА ПІД ДІЄЮ СИЛИ ТЯЖІННЯ

Обладнання: пістолет балістичний лабораторний; стрічка вимірвальна з сантиметровими поділками; штатив для фронтальних робіт; аркуш паперу.

Зміст і метод виконання роботи

У цій роботі спочатку визначають, де треба встановити мішень і кільце, щоб під час пострілу з пістолета під кутом 45° до горизонту снаряд пролетів крізь кільце й влучив у мішень. Потім знайдені результати перевірити на досліді.

Очевидно, мішень треба встановити на відстані l , яку можна визначити за відомою форму-

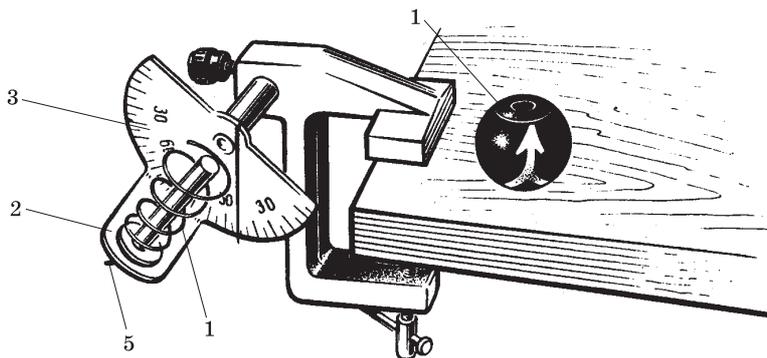
лою дальності польоту під час стрільби під кутом до горизонту: $l = \frac{2v_0^2 \cos \alpha \sin \alpha}{g}$ (1),

а кільце закріпити на штативі посередині між мішенню й пістолетом на висоті h , яку визначають за формулою висоти піднімання снаряда під час стрільби під кутом до

горизонту: $h = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}$. (2)

Для визначення числових значень цих величин треба знати модуль початкової швидкості снаряда; його визначають з досліду. Роблять це так. Спрямувавши пістолет вертикально вгору і зробивши декілька пострілів, вимірюють висоту піднімання снаряда. Потім, знаючи H і g , обчислюють модуль початкової швидкості снаряда за формулою: $v_0 = \sqrt{2gH}$. (3)

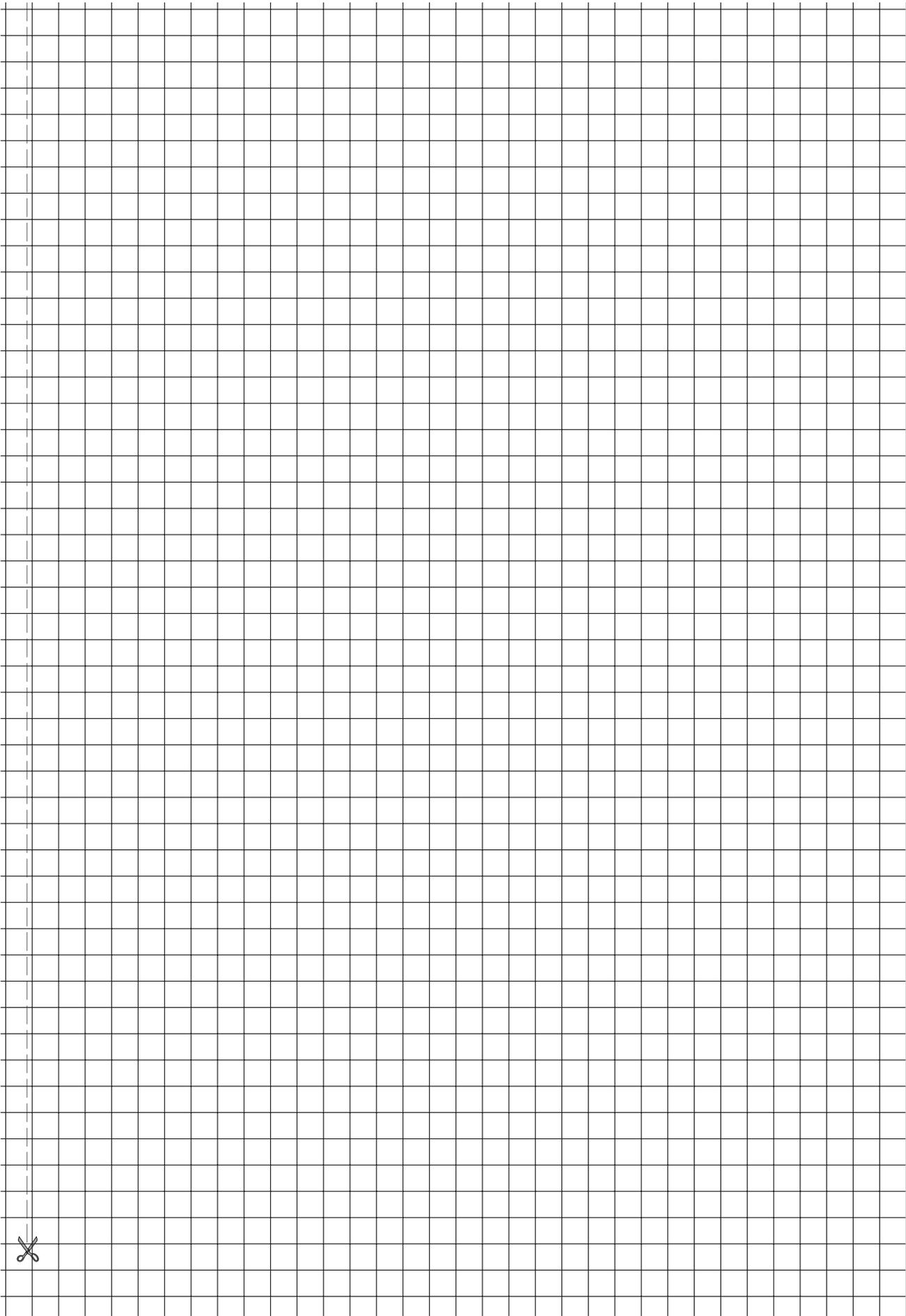
Балістичний пістолет, який використовують у цій роботі, зображено на мал. 1. Це спіральна пружина 1 зі стержнем уздовж осі, закріплена на скобі 2 з кутомірним 3. На стержень насаджують спеціальну кульку 4, в якій є наскрізний канал. Під час насаджування кулька стискає пружину й зачіплюється за спусковий гачок біля основи стержня. Якщо натиснути виступ 5 спускового гачка, то кулька вивільнюється і під дією пружини рухається вздовж стержня в заданому напрямі.



Мал. 1

На кульці зроблено добре помітну позначку у вигляді стрілки, яка під час заряджання пістолета має бути завжди в тому самому положенні. За цих умов купчастість під час стрільби буде найкращою.



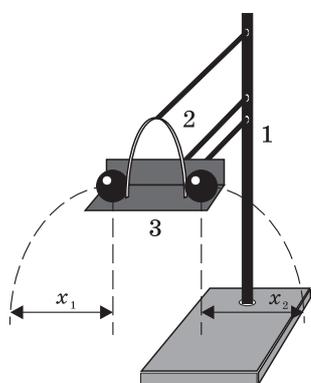


**ВИВЧЕННЯ ЗАКОНУ ЗБЕРЕЖЕННЯ
ІМПУЛЬСУ**

Обладнання: кульки різної маси – 3 шт; лінійка сталева; штатив для фронтальних робіт; жолоб; висок; стрічка вимірювальна із сантиметровими поділками; нитки; ножиці або сірники; папір копіювальний; терези з набором важків.

Зміст і метод виконання роботи

У замкнутій системі тіл геометрична сума їх імпульсів при будь-яких взаємодіях цих тіл не змінюється. Коли взаємодіють два тіла масою m_1 і m_2 , що мають початкові швидкості \vec{v}_1 і \vec{v}_2 і набувають після взаємодії швидкостей \vec{v}'_1 і \vec{v}'_2 , то $m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 = m_1\vec{v}'_1 + m_2\vec{v}'_2$ (1).



Мал. 1

Для виконання роботи використовують установку, яка зображена на малюнку 1. На штативі 1 закріплюють горизонтальний жолоб 3, на якому розміщують дві кульки. Між нерухомими кульками встановлюють сталеву лінійку 2, яка в стиснутому стані закріплена ниткою. При перепалюванні нитки лінійка розпрямляється і розкидає кульки в протилежні сторони. Якщо маса лінійки мала порівняно з масою кульки, то можна вважати, що кульки взаємодіють одна з одною. Після взаємодії кульки опишуть криволінійні траєкторії і впадуть на стіл.

Хоч система із двох кульок не є замкненою, нехтуючи силами опору повітря, можна вважати, що вздовж горизонтальної осі координат, осі OX , яка проходить через центри кульок, на них не діють ніякі зовнішні сили. Оскільки початкові швидкості кульок дорівнюють нулю, то закон збереження імпульсу (1) для модулів можна записати в такому вигляді: $m_1v'_1 = m_2v'_2$. (2)

Нехтуючи опором повітря, рух кульок після взаємодії в горизонтальному напрямі можна вважати рівномірним, тому $v'_1 = \frac{x_1}{t_1}$, $v'_2 = \frac{x_2}{t_2}$, де x_1 і x_2 – координати точок падіння кульок; t_1 , t_2 – час їх руху.

Враховавши це, перепишемо закон збереження імпульсу (2) у вигляді $m_1 \frac{x_1}{t_1} = m_2 \frac{x_2}{t_2}$.

Таким чином, щоб визначити імпульси, яких набувають кульки внаслідок взаємодії, треба знати їхні маси, координати точок їх падіння і час руху кульок. Оскільки кульки падають з однакової висоти, то час руху їх однаковий, тобто $t_1 = t_2$. Отже, щоб порівняти імпульси кульок, достатньо виміряти їх маси m_1 і m_2 та координати точок падіння x_1 і x_2 , після чого порівняти добутки m_1x_1 і m_2x_2 .

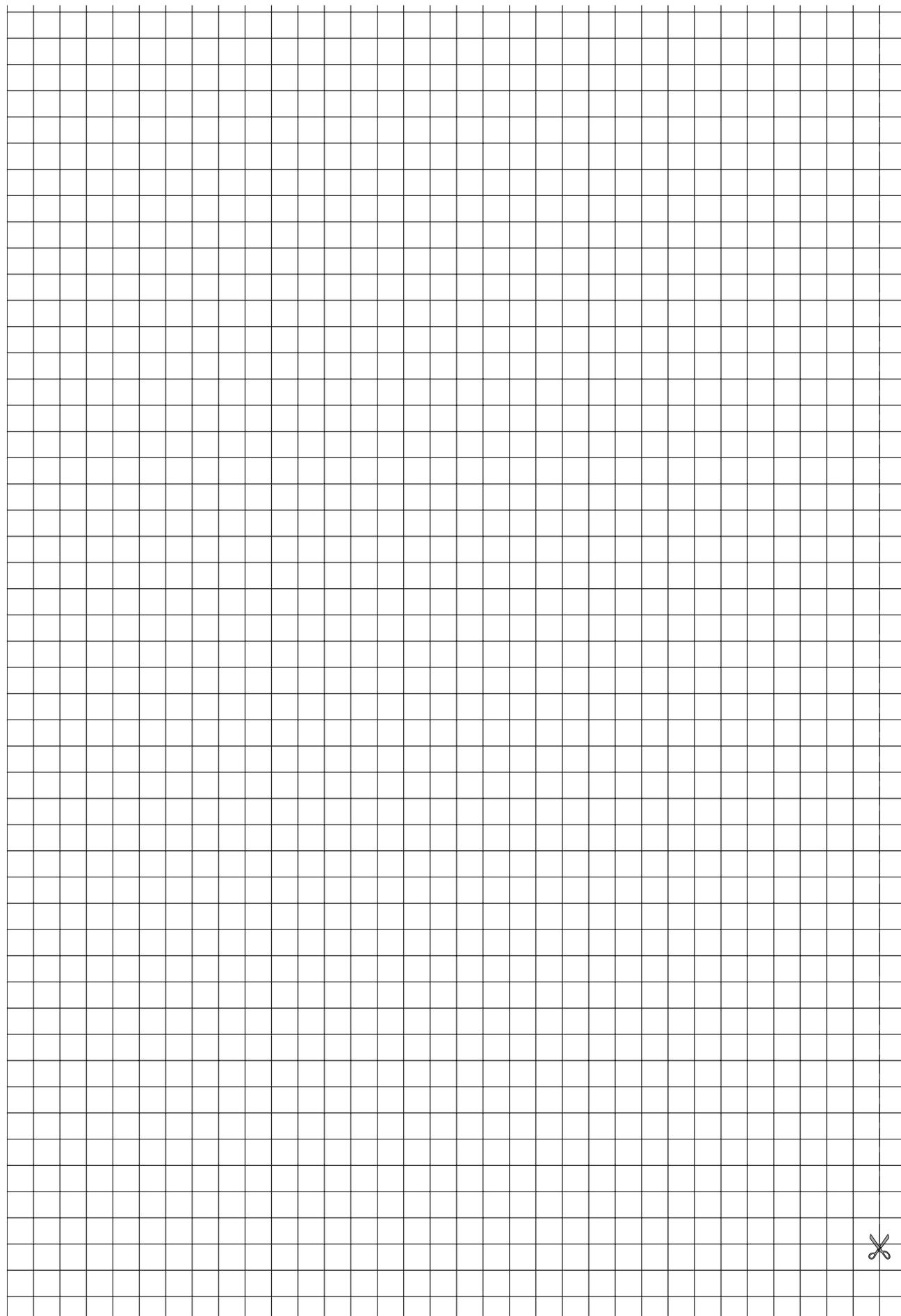
Хід роботи

1. Закріпіть на висоті 20-30 см над поверхнею стола жолоб і за допомогою рівня перевірте горизонтальність його встановлення.

2. Виміряйте маси кульок за допомогою терезів з точністю до 1 г, тобто абсолютна похибка вимірювання маси становитиме $\Delta m = 1$ г.

3. Зігніть сталеву лінійку і надіньте на неї нитяну петлю. Покладіть кульки на жолоб. За допомогою виска позначте на столі точки, на яких лежать центри кожної кульки. Щоб чітко



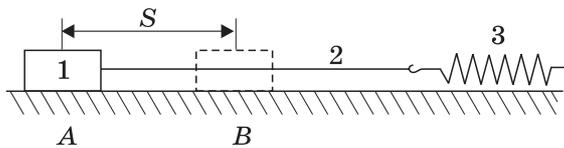


ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ТЕРТЯ КОВЗАННЯ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ЗАКОНУ ЗБЕРЕЖЕННЯ І ПЕРЕТВОРЕННЯ МЕХАНІЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Обладнання: трибометр, брусок, динамометр, нитка, лінійка.

Зміст і метод виконання роботи

У цій роботі потрібно визначити коефіцієнт тертя ковзання з використанням закону збереження і перетворення енергії. Установку для досліду зображено на малюнку 1.



Мал. 1

1. Брусок.
2. Нитка.
3. Динамометр.

Якщо розтягнути пружину динамометра, прикріпивши до неї через нитку брусок, а потім відпустити, то брусок під дією пружини переміститься на відстань s з положення A в положення B . Потенціальна енергія розтягнутої пружини перетвориться в кінетичну енергію бруска, а кінетична енергія бруска піде на виконання роботи, яку він здійснить проти сили тертя: $W_p = A_T$. (1)

$$\text{Потенціальна енергія пружини } W_p = \frac{kx^2}{2}, \quad (2)$$

де: k – жорсткість пружини, x – видовження пружини.

Робота сили тертя дорівнює добутку сили тертя на переміщення $A_T = F_T \cdot s$.

Сила тертя дорівнює добутку коефіцієнта тертя на силу нормального тиску: $F_T = \mu N$.

Сила нормального тиску під час руху по горизонтальній поверхні дорівнює вазі бруска: $N = P$.

Тому одержимо: $F_T = \mu N$, а $A_T = \mu Ps$. (3)

$$\text{Згідно формул (1), (2) і (3): } \frac{kx^2}{2} = \mu Ps.$$

$$\text{Звідси коефіцієнт тертя буде рівний: } \mu = \frac{kx^2}{2Ps}. \quad (4)$$

Хід роботи

1. Встановіть трибометр горизонтально, розташувачи на ньому брусок, з'єднаний ниткою з динамометром.

2. Тримавши брусок рукою, розтягніть пружину динамометра, переміщуючи динамометр від бруска. Виміряйте розтяг x пружини динамометра.

3. Тримавши динамометр, відпустіть брусок і виміряйте переміщення бруска s .

4. Визначіть жорсткість пружини динамометра. Для цього виміряйте розтяг пружини динамометра, який відповідає силі 1Н. Для шкільних динамометрів з межею вимірювань 4Н це видовження дорівнює $x_0 = 2,5 \text{ см} = 0,025 \text{ м}$. Тоді жорсткість пружини:

$$k = \frac{F_0}{x_0} = \frac{1 \text{ Н}}{0,025 \text{ м}} = 40 \frac{\text{Н}}{\text{м}}.$$

5. Визначіть вагу бруска P за допомогою динамометра.



6. Обчисліть коефіцієнт тертя за формулою (4).

7. Обчисліть відносну похибку вимірювання коефіцієнта тертя $\varepsilon_{\mu} = \frac{\Delta k}{k} + 2 \frac{\Delta x}{x} + \frac{\Delta P}{P} + \frac{\Delta S}{S}$.

Обчисліть абсолютну похибку вимірювання $\Delta\mu = \varepsilon_{\mu} \cdot \mu$.

8. Результати вимірювань і обчислень занесіть у таблицю.

№ п/п	$x, \text{ м}$	$s, \text{ м}$	$P, \text{ Н}$	$k, \frac{\text{ Н}}{\text{ м}}$	μ	ε_{μ}	$\Delta\mu$
1							
2							
3							
4							
5							

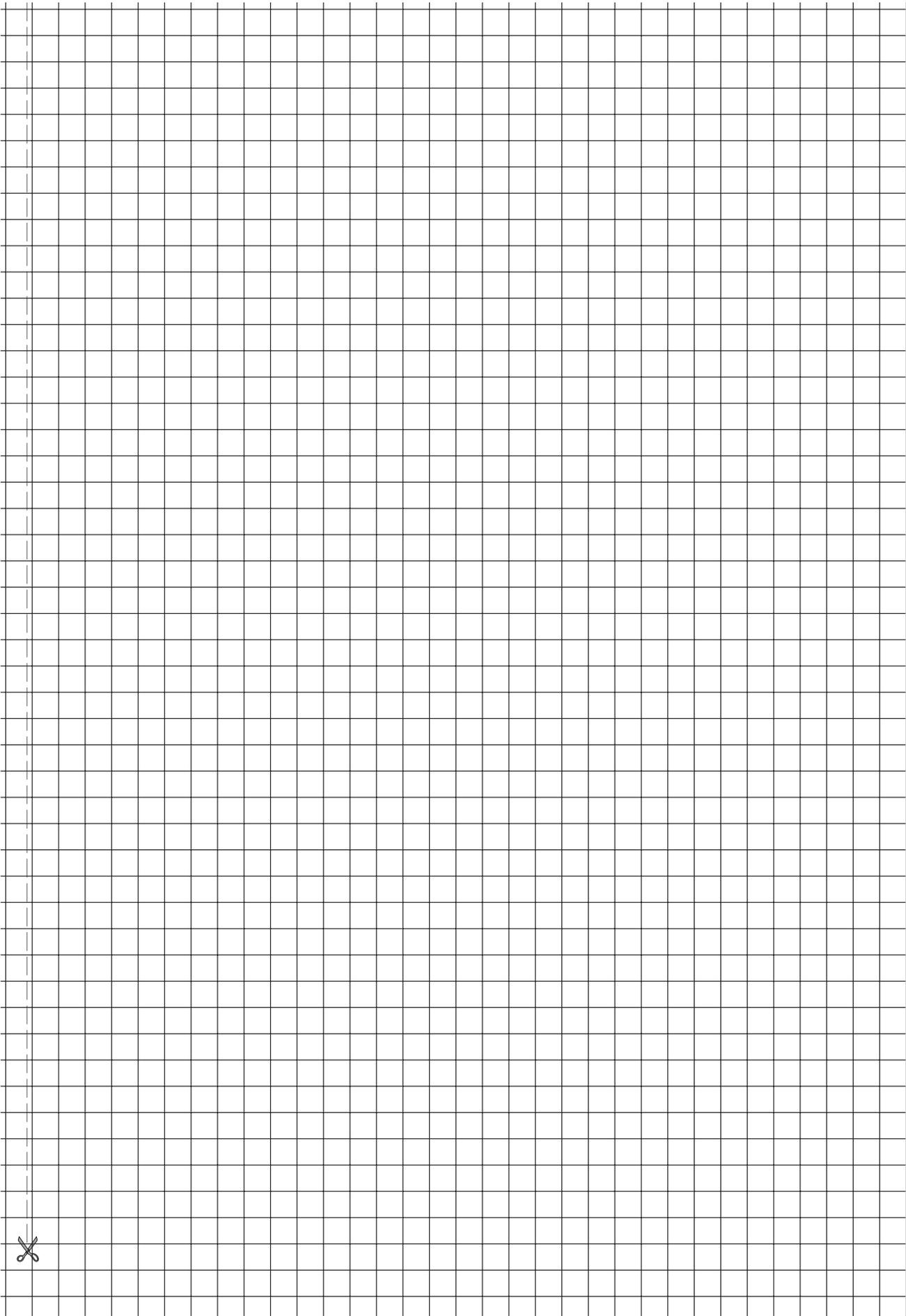
9. Повторіть дослід, змінивши масу бруска, поставивши на нього додатковий вантаж.

10. Повторіть дослід, змінивши площу дотику бруска до поверхні трибометра.

Контрольні запитання

1. Чи залежить коефіцієнт тертя від ваги бруска? Від площі поверхні дотику бруска до поверхні трибометра?
2. Які перетворення енергії відбуваються при проведенні досліджу?
3. Як виконати роботу, якщо замість динамометра взяти гумовий шнур?



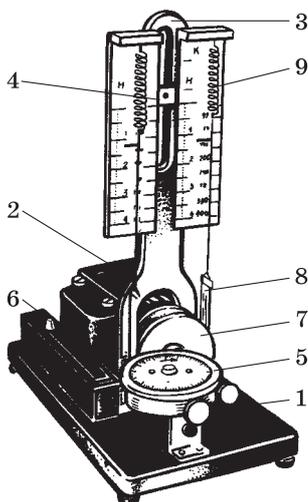


**ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ПОТУЖНОСТІ
НА ВАЛУ ЕЛЕКТРОДВИГУНА ВІД
НАВАНТАЖЕННЯ**

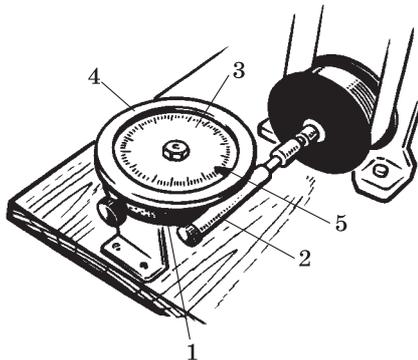
Обладнання: прилад для визначення потужності електродвигуна; секундомір; штангенциркуль (15 см); джерело постійного струму напругою 40 В (КЭФ-8).

Зміст і метод виконання роботи

Прилад для визначення потужності електродвигуна (мал. 1) змонтовано на панелі 1. Він складається з електродвигуна 2; металевого стояка 3 з поздовжнім прорізом, по якому можна пересовувати планку 4 з прикріпленими на ній динамометрами; тримача з лічильником числа обертів 5 і пускового реостата 6. На валу електродвигуна закріплений дерев'яний шків 7. Шків охоплений стрічковим гальмом 8, кінці якого накинута на гачки динамометрів 9. Натяг гальмової стрічки можна змінювати, піднімаючи динамометри на різну висоту і закріплюючи їх за допомогою стопорного гвинта.



Мал. 1



Мал. 2

Лічильник обертів (мал. 2) складається з корпусу 1, черв'ячного гвинта 2, зубчастого диска зі шкалою 3 і поворотного кільця 4 з стрілкою-показчиком 5. Шкала лічильника має поділки від 0 до 200. Кожна поділка відповідає двом обертам валу електродвигуна. Лічильник можна переміщувати на тримачі в невеликих межах уздовж осі електродвигуна. До електродвигуна лічильник під'єднують за допомогою фрикційного зчеплення. Для цього

на черв'ячний гвинт лічильника і вал електродвигуна надіто гумові наконечники.

Після вмикання електродвигуна шків починає обертатися, між ним і гальмовою стрічкою виникає сила тертя. Під дією цієї сили шків захоплює стрічку в бік обертання, і покази одного динамометра стають більші від показів іншого. Різниця показів динамометрів дорівнює силі тяги електродвигуна. Робота цієї сили за один оберт шківів дорівнює $A = \pi DF$, де A – робота, яку виконує електродвигун за один оберт, D – діаметр шківів, F – модуль сили тяги електродвигуна.

Коли шків робить за t секунд n обертів, то потужність N , яку розвиває електродвигун

на шківі, дорівнюватиме
$$N = \frac{\pi DF_n}{t}.$$

Діаметр шківів вимірюють штангенциркулем. Число обертів шківів визначають за допомогою лічильника, час – секундоміром, а модуль сили тяги за різницею показів динамометрів.



Хід роботи

1. Ознайомтеся з будовою приладу і підготуйте його до виконання роботи. Для цього планку з динамометрами опустіть униз, щоб показчики динамометрів були на нулі. Лічильник обертів з'єднайте з валом електродвигуна. Ковзний контакт реостата поставте у середнє положення.

2. Виміряйте й запишіть діаметр шківів.

Застереження. Електродвигун у мережу вмикайте тільки з дозволу вчителя або лаборанта.

3. Під'єднайте електродвигун до джерела постійного струму напругою 40 В. Після цього підніміть динамометри і натягніть стрічку так, щоб динамометр, який вимірює більшу силу, показував 0,3 Н. Запишіть покази другого динамометра.

4. Визначте час, протягом якого шківів електродвигуна робить 100 обертів. Результати вимірювань запишіть у таблицю.

5. Дослід повторіть 5-6 разів, збільшуючи щоразу натяг гальмової стрічки приблизно на 0,3 Н. Результати кожного вимірювання (покази динамометрів, число обертів і час, протягом якого двигун робить дане число обертів) запишіть у таблицю.

Примітка. Щоб не допустити тривалого перевантаження електродвигуна за умови, коли дослід виконують з повільним обертанням, вимірюють менше число обертів, наприклад 60. Закінчивши всі вимірювання, відразу вимикають електродвигун.

6. Для кожного навантаження визначте частоту обертання шківів і відповідну потужність електродвигуна. Результати обчислень також запишіть у таблицю.

№ досліду	Покази лівого динамометра, Н	Покази правого динамометра, Н	Сила тяги, F , Н	Число обертів двигуна, n	Час t , с	Частота обертання ν , об/с	Потужність N , Вт
1							
2							
3							
4							
5							
6							

7. Побудуйте графік залежності механічної потужності електродвигуна від частоти обертання його якоря. Для побудови графіка по осі абсцис відкладіть частоту обертання в масштабі: 1 см – 20 с⁻¹, а по осі ординат – потужність у масштабі: 1 см – 2 Вт.

8. Визначте за графіком, при якому навантаженні електродвигун розвиває найбільшу потужність.

Контрольні запитання

1. Чому знайдена максимальна потужність не дорівнює повній потужності, позначеній на корпусі електродвигуна?

2. Чи зміниться потужність електродвигуна, якщо при певному навантаженні відлічувати не 100, а більше або менше обертів? Коли результат буде точнішим?

3. Чому електродвигун розвиває максимальну потужність лише при певному навантаженні?



