

Дата проведення													
№ роботи	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Оцінка													

Зшит

для експериментальних робіт

з фізики

уч _____ 10 _____ класу

10

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 РОППО.
Болба М.Л. – вчитель фізики Рівненської ЗОШ I - 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 Локтева 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. Розміщуйте 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 Δx .

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 s – 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, Δx – 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 Δx .

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	± 1 мм
2	Лінійка демонстраційна	1 м	1 см	$\pm 0,5$ см
3	Мензурка	до 250 мл	1 мл	± 1 мл
4	Динамометр навчальний	4 Н	0,1 Н	$\pm 0,05$ Н
5	Секундомір механічний	0-30 хв	0,2 с	± 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 Δx 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 $\Delta_{\text{в.п.}} x = \frac{|x_1 - x_c| + |x_2 - x_c| + \dots + |x_N - x_c|}{N}.$

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 показчик 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:

$$\Delta x = \Delta_{\text{в.п.}} x + \Delta_{\text{в.л.}} x \quad (1).$$

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, виміряного 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: $l = (90 \pm 1)$ 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 ε (епсilon) і визначають з відношення абсолютної похибки до значення вимірюваної величини (як правило, вказують у відсотках):
$$\varepsilon = \frac{\Delta x}{x_{\text{досл}}} \cdot 100\%.$$

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

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

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

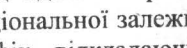
Розглянемо, як приклад, визначення середньої швидкості руху кульки. Пройдений кулькою шлях $s = 0,66$ м (мал. 1). Учень провів 5 дослідів і одержав значення часу за допомогою електронного секундоміра: $t_1 = 1,21$ с, $t_2 = 1,20$ с, $t_3 = 1,18$ с, $t_4 = 1,21$ с, $t_5 = 1,22$ с. $\Delta s = \Delta_{\text{в.п.}} s + \Delta_{\text{в.л.}} s$. $\Delta_{\text{в.п.}} s = 0,5$ см; $\Delta_{\text{в.л.}} s = 0,$

$$\Delta_6 t = \frac{|1,21 - 1,2| + |1,2 - 1,2| + |1,18 - 1,2| + |1,21 - 1,2| + |1,22 - 1,2|}{5} = 0,012 \text{ с. Оскільки}$$
$$v = \frac{s}{t} = \frac{0,66 \text{ м}}{1,2 \text{ с}} = 0,55 \frac{\text{м}}{\text{с}}; \varepsilon = \frac{\Delta s}{s} + \frac{\Delta t}{t} = \frac{0,005}{0,66} + \frac{0,04}{1,2} = 0,04.$$
$$\Delta v = v \cdot \varepsilon = 0,02 \frac{\text{м}}{\text{с}}. \text{ Отже, значення швидкості } v = (0,55 \pm 0,02) \frac{\text{м}}{\text{с}}, \text{ тобто}$$

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

Коли перевіряють закономірності, що мають вигляд $a=b$, то висновок про якість експериментальної перевірки цієї рівності можна зробити, обчисливши величину $\varepsilon = \left| \frac{a}{b} - 1 \right| \cdot 100\%$.

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. 4

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.

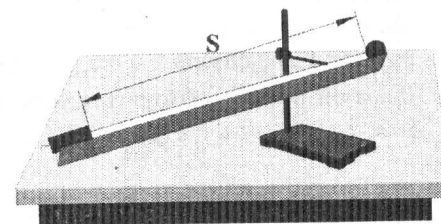
Хід і результати роботи

Характеристика засобів вимірювання

1. Інструментальна похибка: _____ секундміра _____
лінійки _____
2. Межа похибки відліку: _____
шкали лінійки _____ шкали секундміра _____

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



Мал. 5

із співвідношення: $a = \frac{2s}{t^2}$, де s —

модуль переміщення тіла за час t .

Для виконання роботи необхідно:

- встановити жолоб під кутом $20^\circ - 30^\circ$ 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.

Обробка результатів експерименту

1. $s =$ _____ $t_1 =$ _____ $t_2 =$ _____

$$t_3 = \quad t_4 = \quad t_5 =$$

2. $t_c =$

3. $a_{\text{досл.}} =$

4. Абсолютні похибки прямих вимірювань:

$$\Delta_s t = \frac{|t_1 - t_c| + \dots + |t_n - t_c|}{n} =$$

$$\Delta s = \Delta_i s + \Delta_s s =$$

$$\Delta t = \Delta_i t + \Delta_s t =$$

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:

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

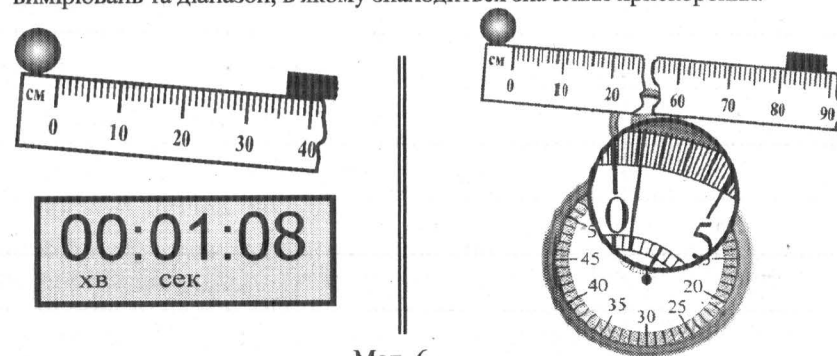
9. Таблиця результатів.

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

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 u_0 . По схилу він рухається з прискоренням a_1 протягом часу t_1 і в кінці схилу набуває швидкості u . Маючи на горизонтальній ділянці початкову швидкість u , 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	u_0 , м/с	a_1 , м/с ²	t_1 , с	u , м/с	s_2 , м	a_2 , м/с ²	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

- Який рух називають рівноприскореним?
- Запишіть формули, які описують рух тіла, що рухається рівноприскорено без початкової швидкості та рух цього ж тіла, що має початкову швидкість u_0 .
- Як відносяться переміщення, які здійснює тіло під час рівноприскореного руху за будь-які рівні інтервали часу, якщо початкова швидкість дорівнює нулю?
- Як напрямлене прискорення вільного падіння і яке його значення біля поверхні Землі?
- Тіло кинути вертикально вгору з поверхні Землі. Порівняти час підняття 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.

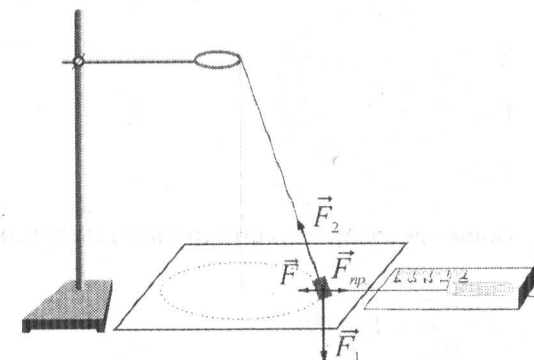
Хід і результати роботи

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;

- динамометром виміряти модуль зрівноважуючої сили $F_{np.}$;
- оцінити достовірність експериментальної перевірки II закону Ньютона.

Обробка результатів експерименту

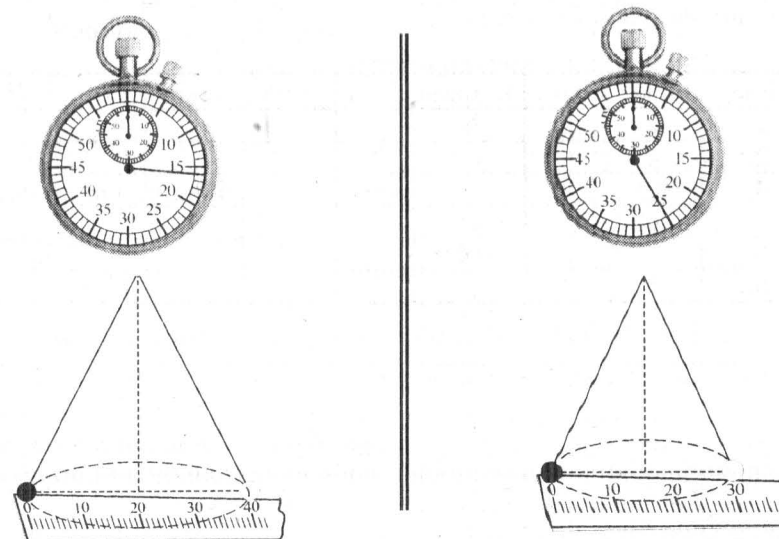
1. $m =$ _____ $r =$ _____ $N =$ _____
2. $t_1 =$ _____ $t_2 =$ _____ $t_3 =$ _____
3. $t_c =$ _____
4. $a =$ _____
5. $F =$ _____
6. $F_{np.} =$ _____
7. Оцінка достовірності експериментальної перевірки:

$$\varepsilon = \left| \frac{F}{F_{np.}} - 1 \right| \cdot 100\% =$$

Висновок: _____

Контрольні завдання

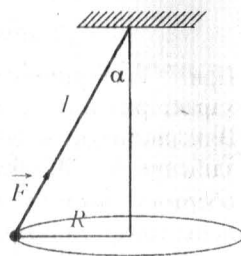
1. При експериментальному визначенні фізичних величин, які характеризують рух по колу, учень виготовив конічний маятник. Використовуючи дані, відображені на малюнку 8 і те, що маятник за час t здійснив $N = 20$ обертів по колу радіуса r , визначте: період обертання T , обертову частоту n , кутову швидкість ω , лінійну швидкість v та доцентрове прискорення a .



Мал. 8

- a) $t =$ _____
- б) $r =$ _____
- в) $T =$ _____
- г) $n =$ _____
- д) $\omega =$ _____
- е) $v =$ _____
- е) $a =$ _____

2. Кулька масою m прив'язана до нитки довжиною l і обертається в горизонтальній площині так, що нитка утворює з вертикаллю кут α (мал. 9). По колу радіуса r кулька рухається з швидкістю v і доцентровим прискоренням a так, що її період обертання T . Сила натягу нитки під час такого руху F . Використовуючи числові дані, наведені в таблиці, визначте значення невідомих величин у варіанті, вказаному вчителем.



Мал. 9

№ вар.	m , кг	l , м	α , град.	r , м	v , м/с	a , м/с ²	T , с	F , Н
1.	2	1	30					
2.	4		60	1				
3.	0,2	1				9,8		
4.	0,4		45		2			
5.		2	60					60
6.	1	1					1	

Запитання для усного заліку

1. Як напрямлене прискорення під час рівномірного руху тягарця по колу?
2. За якою формулою можна визначити доцентрове прискорення? Чому його часто називають нормальним?
3. Які сили діють на тіло, яке обертається на нитці в горизонтальній площині?
4. Що таке період обертання і як його можна визначити?
5. Який напрямок рівнодійної сили тяжіння і сили натягу нитки, що діють на конічний маятник в даній роботі? Як її можна виміряти?
6. Якими способами можна розв'язати основну задачу механіки для рівномірного руху по колу?

Експериментальна робота № 3

Дослідження пружних властивостей тіл

Мета: дослідити властивості пружини.

Обладнання: штатив лабораторний, пружина, набір тягарців масою по 100 г, лінійка.

- Завдання:**
1. Встановити залежність сили пружності від видовження і визначити жорсткість пружини.
 2. Встановити як залежить жорсткість пружини від довжини (кількості витків).

Хід і результати роботи

Характеристика засобів вимірювання

1. Інструментальна похибка лінійки _____
2. Межа похибки відліку шкали лінійки _____
3. Абсолютна похибка тягарця масою 100 г _____

Завдання 1

Ідея досліджень

Жорсткість пружини можна визначити із закону Гука $F_{пр.} = k|x|$. Для більш точного визначення жорсткості потрібно побудувати графік залежності $F_{пр.} = f(x)$ і жорсткість пружини знайти за графіком.

Для виконання завдання необхідно:

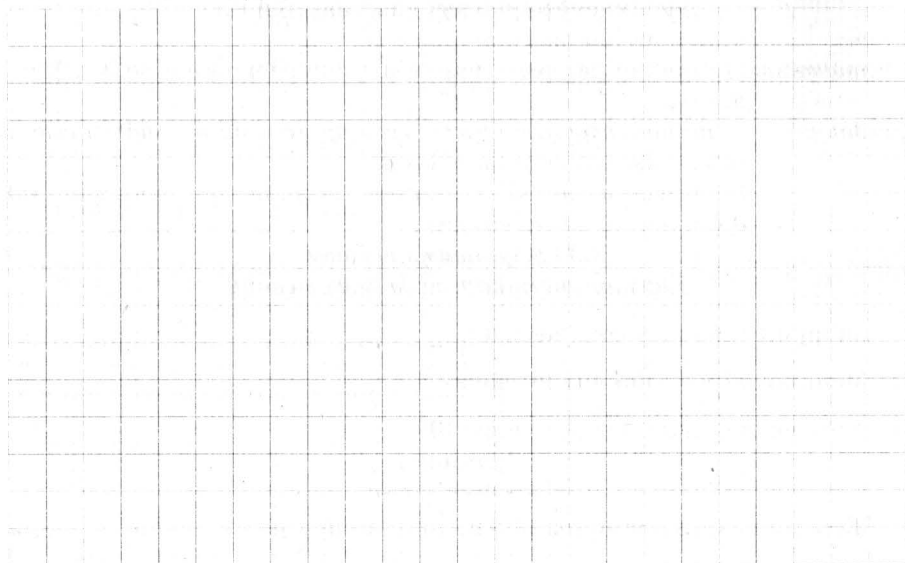
- закріпити в лапці штатива пружину і відмітити її початкову довжину;
- підвісити до пружини тягарець відомої маси m і виміряти її видовження x ;
- обчислити модуль сили пружності пружини $F_{пр.}$ (яка за модулем дорівнює силі тяжіння, що діє на тягарець) і жорсткість пружини;
- змінюючи кількість підвішених до пружини тягарців, виміряти видовження пружини і визначити силу пружності для кожного випадку;
- дані записати в таблицю і за результатами вимірювань побудувати графік залежності сили пружності від видовження $F_{пр.} = f(x)$;
- вибрати у середній частині графіка експериментальну точку (x_c, F_c) і для цього випадку обчислити середнє значення жорсткості пружини $k_{сер.}$;
- визначити найбільше значення відносної і абсолютної похибки вимірювань (для першого дослідження) і вважати їх похибками при визначенні $k_{сер.}$

Обробка результатів експерименту

1. Таблиця результатів

№ досл.	x , м	m , кг	$F_{пр.}$, Н
1.			
2.			
3.			
4.			

2. Графік залежності $F_{np.} = f(x)$



3. $x_c =$ _____ $F_c =$ _____

4. Середнє значення жорсткості пружини:

$k_{сер.} =$ _____

5. Жорсткість пружини (для першого дослід): $k_{1\text{ дослід.}} =$ _____

6. Абсолютні похибки прямих вимірювань:

$\Delta x = \Delta_l x + \Delta_g x =$ _____

$\Delta m =$ _____

7. Відносна похибка вимірювань:

$\varepsilon = \frac{\Delta m}{m_1} + \frac{\Delta x}{x_1} = \dots$

8. Абсолютна похибка вимірювань (з формули $\varepsilon = \frac{\Delta k}{k_{сер.}}$):

$\Delta k =$ _____

9. Результат досліджень: $k = k_{сер.} \pm \Delta k =$ _____

10. Діапазон, в якому знаходиться значення жорсткості $[k_{сер.} - \Delta k; k_{сер.} + \Delta k]$:

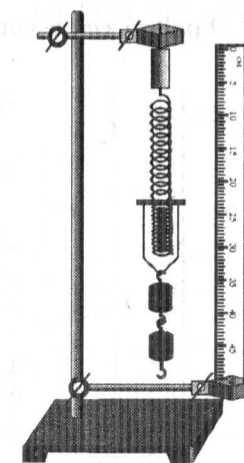
Завдання 2

Опис установки

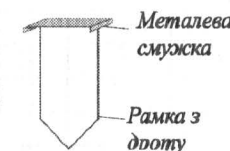
В даному завданні використовують установку, зображену на малюнку 10. Тягарці між витками пружини підвішують за допомогою пристрою, зображеного на малюнку 11.

Для виконання завдання необхідно:

- виміряти початкову довжину пружини l і, підвісивши тягарці масою m , виміряти її видовження x (кількість тягарців задає вчитель, масу пристрою і пружини вважати меншою за масу тягарців);
- провести 5 аналогічних вимірів, підвішуючи ці тягарці до різної кількості витків, і в кожному випадку виміряти довжину пружини;
- для кожного випадку визначити жорсткість пружини, використовуючи закон Гука $F_{np.} = k|x|$ та умову рівності сил пружності й тяжіння $F_{тяж.}$;
- за результатами досліджень побудувати графіки залежності жорсткості пружини від її довжини та від величини, оберненої до довжини: $k = f(l)$ і $k = f(\frac{1}{l})$;
- визначити та порівняти для двох довільних випадків відношення початкових довжин пружини і жорсткостей.



Мал. 10



Мал. 11

Обробка результатів експерименту

1. $m =$ _____ $F_{тяж.} =$ _____

2. $l_1 =$ _____ $\frac{1}{l_1} =$ _____ $x_1 =$ _____ $k_1 =$ _____

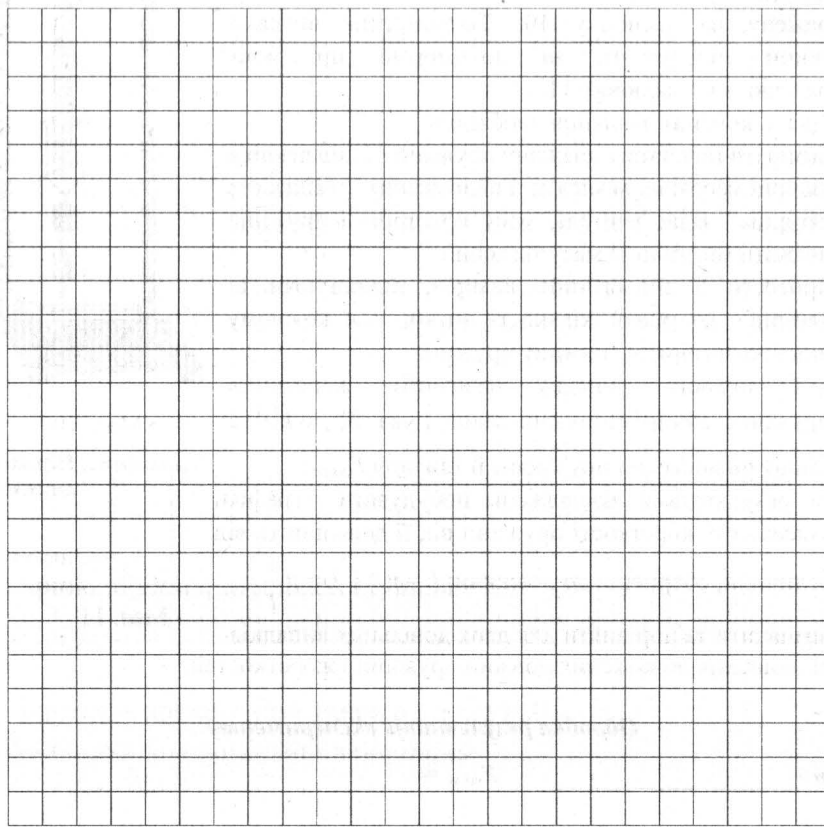
3. $l_2 =$ _____ $\frac{1}{l_2} =$ _____ $x_2 =$ _____ $k_2 =$ _____

4. $l_3 =$ _____ $\frac{1}{l_3} =$ _____ $x_3 =$ _____ $k_3 =$ _____

5. $l_4 =$ _____ $\frac{1}{l_4} =$ _____ $x_4 =$ _____ $k_4 =$ _____

6. $l_5 =$ _____ $\frac{1}{l_5} =$ _____ $x_5 =$ _____ $k_5 =$ _____

7. Графіки залежностей $k = f(l)$ і $k = f(\frac{1}{l})$



8. Відношення довжин пружини і жорсткостей для двох довільних випадків:

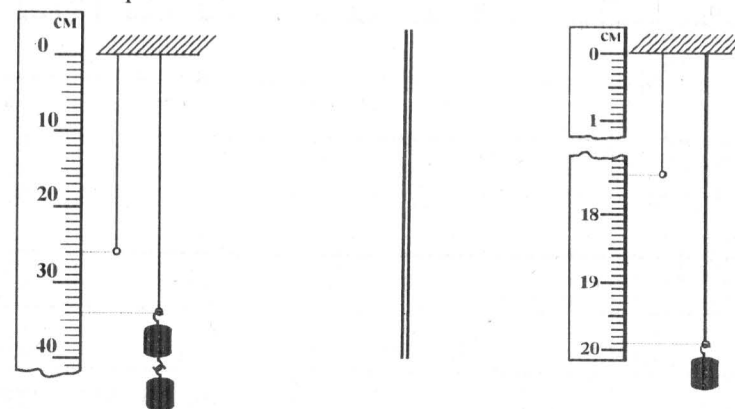
$$\frac{l}{l} =$$

$$\frac{k}{k} =$$

Висновок: _____

Контрольні завдання

- Проводячи експериментальні дослідження з визначення жорсткості гумової нитки, учень підвісив до неї тягарці масою по 100 г, виміряв її видовження x і визначив силу пружності $F_{пр}$. Використовуючи дані, відображені на малюнку 12, визначте жорсткість нитки k , відносну та абсолютну похибки вимірювань та діапазон, в якому знаходиться значення жорсткості.



Мал. 12

- $x =$ _____
- $F_{тяж.} = F_{пр.} =$ _____
- $\Delta m =$ _____
- $\Delta x =$ _____
- $k =$ _____
- $\varepsilon =$ _____
- $\Delta k =$ _____
- $[k - \Delta k; k + \Delta k]:$ _____

2. Видовження пружини жорсткістю k_1 під дією сили F становить x_1 . Видовження пружини жорсткістю k_2 під дією цієї ж сили становить x_2 . Пружини з'єднали послідовно і приклали таку ж силу. Видовження системи пружин жорсткістю k становило x . Використовуючи числові дані, наведені в таблиці, визначте значення невідомих величин у варіанті, вказаному вчителем.

№ вар.	k_1 , Н/м	k_2 , Н/м	x_1 , м	x_2 , м	F , Н	k , Н/м	x , м
1.	200	300			6		
2.			0,1	0,2	30		
3.		150				100	0,03
4.	600			0,05		200	
5.		200	0,01			120	
6.	120	60					0,1

Запитання для усного заліку

1. Як напрямлена сила пружності?
2. Який фізичний зміст жорсткості пружини?
3. Як змінюється жорсткість пружини із зміною її довжини?
4. Чи однакову жорсткість мають дві однакові за розмірами пружини, які виготовлені з різних металів (наприклад з міді та заліза)?
5. Чи однакову жорсткість мають дві пружини однакової довжини, але різного діаметра намотки витків? Пружини виготовлені з однакового матеріалу.
6. Яка жорсткість системи двох пружин, з'єднаних послідовно? паралельно? Жорсткість пружин відповідно k_1 і k_2 .

Експериментальна робота № 4

Визначення коефіцієнта тертя ковзання

Мета: навчитися визначати коефіцієнт тертя ковзання різними способами.

Обладнання: брусок прямокутної форми, лінійка, трибометр, олівець.

Хід і результати роботи

Характеристика засобів вимірювання

1. Інструментальна похибка лінійки _____
2. Межа похибки відліку шкали лінійки _____

Спосіб 1

Опис установки та ідея досліджень

Для визначення коефіцієнта тертя можна використати похилу площину (мал. 13). Якщо брусок покласти на неї і повільно піднімати її верхній кінець, то можна зафіксувати значення кута α , за якого брусок починає ковзати, рухаючись після цього рівномірно.

Умова рівноваги бруска для даного кута в проекціях на координатні осі запишеться так:

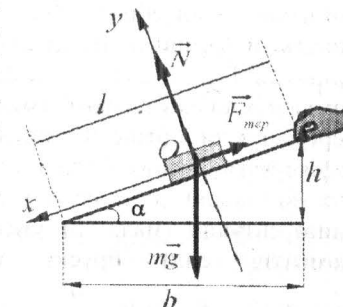
$$Ox: mg \sin \alpha - F_{\text{тер}} = 0,$$

$$Oy: N - mg \cos \alpha = 0.$$

$$\text{Враховуючи, що } F_{\text{тер}} = \mu N = \mu mg \cos \alpha,$$

$$\text{одержимо } mg \sin \alpha = \mu mg \cos \alpha.$$

Звідси $\mu = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \tan \alpha = \frac{h}{b}$, де h – висота утвореної похилої площини, b – довжина її основи.



Мал. 13

Обробка результатів експерименту

1. $h =$ _____ $b =$ _____
2. $\mu_{\text{досл.}} =$ _____
3. Абсолютні похибки прямих вимірювань:
 $\Delta h = \Delta_i h + \Delta_e h =$
 $\Delta b = \Delta_i b + \Delta_e b =$

4. Відносна похибка вимірювань:

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{h} + \frac{\Delta b}{b} =$$

5. Абсолютна похибка вимірювань (з формули $\varepsilon = \frac{\Delta \mu}{\mu_{\text{досл.}}}$):

$$\Delta \mu =$$

6. Результат досліджень: $\mu = \mu_{\text{досл.}} \pm \Delta \mu =$

7. Діапазон, в якому знаходяться значення коефіцієнта тертя:

$$[\mu_{\text{досл.}} - \Delta \mu; \mu_{\text{досл.}} + \Delta \mu]$$

Спосіб 2

Опис установки та ідея досліджень

Для визначення коефіцієнта тертя ковзання потрібно поставити брусок торцевою частиною на дошку трибометра і привести його в рух, штовхаючи олівцем у горизонтальному напрямі (мал. 14). Повільно переміщуючи олівець уздовж вертикалі, зафіксувати висоту h , за якої поступальний рух (ковзання) переходить в обертний. Для даної ситуації (мал. 15) умова рівноваги (рівність моментів сил) бруска відносно точки O запишеться: $F \cdot h = mg \cdot \frac{a}{2}$, де a – ширина бруска.

Враховуючи, що за даних умов у горизонтальному напрямі $F = F_{\text{тер}} = \mu N = \mu mg$, одержимо: $\mu mgh = \frac{mga}{2}$. Звідси $\mu = \frac{a}{2h}$.

Обробка результатів експерименту

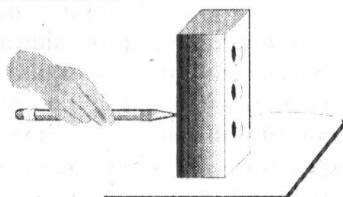
1. $h =$ _____ $a =$ _____

2. $\mu_{\text{досл.}} =$ _____

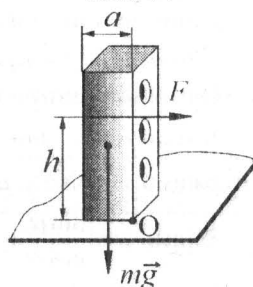
3. Абсолютні похибки прямих вимірювань:

$$\Delta h = \Delta_i h + \Delta_g h =$$

$$\Delta a = \Delta_i a + \Delta_g a =$$



Мал. 14



Мал. 15

4. Відносна похибка вимірювань:

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{h} + \frac{\Delta a}{a} =$$

5. Абсолютна похибка вимірювань (з формули $\varepsilon = \frac{\Delta \mu}{\mu_{\text{досл.}}}$):

$$\Delta \mu =$$

6. Результат досліджень: $\mu = \mu_{\text{досл.}} \pm \Delta \mu =$

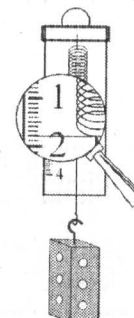
7. Діапазон, в якому знаходяться значення коефіцієнта тертя:

$$[\mu_{\text{досл.}} - \Delta \mu; \mu_{\text{досл.}} + \Delta \mu]$$

Висновок:

Контрольні завдання

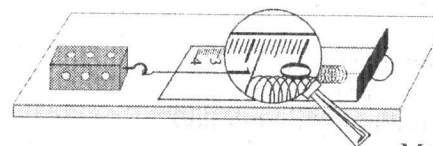
1. Визначаючи коефіцієнт тертя, учень виміряв вагу бруска P (мал. 16) та силу тертя $F_{\text{тер}}$ (мал. 17). За результатами досліджень визначте коефіцієнт тертя μ , відносну та абсолютну похибки вимірювань і діапазон, в якому знаходиться значення коефіцієнта тертя (тягарці у варіанті 2 по 1 Н).



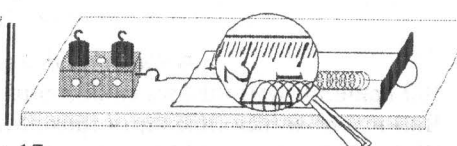
Мал. 16

а) $P =$ _____

б) $F_{\text{тер}} =$ _____



Мал. 17



в) $\Delta P =$ _____

г) $\Delta F_m =$ _____

д) $\mu =$ _____

е) $\varepsilon =$

є) $\Delta\mu =$

ж) $[\mu - \Delta\mu; \mu + \Delta\mu]$

2. Лижник масою m спускається з гори довжиною l , висотою h і довжиною основи b з прискоренням a за час t , набувши біля підніжжя швидкості v_0 . Коефіцієнт тертя при русі по снігу μ , сила тертя F . Використовуючи числові дані, наведені в таблиці, визначте значення невідомих величин у варіанті, вказаному вчителем.

№ вар.	m , кг	l , м	h , м	b , м	a , м/с ²	t , с	v_0 , м/с	μ	F , Н
1.	70	20	12					0,03	
2.	60	10		8		2			
3.		15	9				13		31
4.	80		15	20	5,7				
5.	90	15		12					28
6.	50			8				0,05	20

Запитання для усного заліку

- Які причини зумовлюють виникнення сил тертя?
- Чим відрізняється сила тертя спокою від сили тертя ковзання?
- Що характеризує коефіцієнт тертя?
- Наведіть приклад, коли сила тертя, прикладена до тіла, може збільшувати його швидкість.
- Коли висипати на горизонтальну поверхню сухий пісок (цукор), то він набере форми гірки у вигляді конуса. Яких значень може набувати кут, що утворює конічна поверхня з горизонтальною площиною?

Експериментальна робота № 5

Визначення центра мас плоских пластин

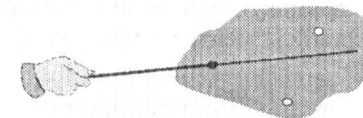
Мета: визначити положення центра мас пластинки неправильної геометричної форми.

Обладнання: пластинка неправильної геометричної форми з трьома отворами (виготовлена самостійно з цупкого паперу), штатив лабораторний, нитка, висок, лінійка, олівець, цвях.

Хід і результати роботи

Спосіб 1

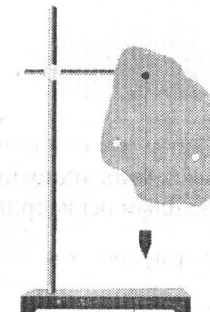
- Покласти пластинку на горизонтальну поверхню, зачепити нитку за один з її отворів і привести пластинку в поступальний рух у певному напрямі (мал. 18). На пластинці провести лінію вздовж напрямку руху (вздовж нитки).
- Зачепити нитку за інший отвір і повторити дослід. Точка перетину двох ліній, вздовж яких дія сил викликає поступальний рух, буде центром мас пластинки.
- Привести в поступальний рух пластинку, зачепивши нитку за третій отвір і перевірити чи перетинаються три лінії в одній точці.



Мал. 18

Спосіб 2

- Підвісити на цвяхові за один з отворів пластинку зворотною стороною і висок (мал. 19). На пластинці провести лінію вздовж нитки виска.
- Повторити дослід, підвісивши пластинку за другий і третій отвори. Точка перетину проведених прямих буде центром мас пластинки.
- Проколоти пластинку і визначити, чи збігаються центри мас, визначені двома способами.
- Вкласти пластинку в зошит.



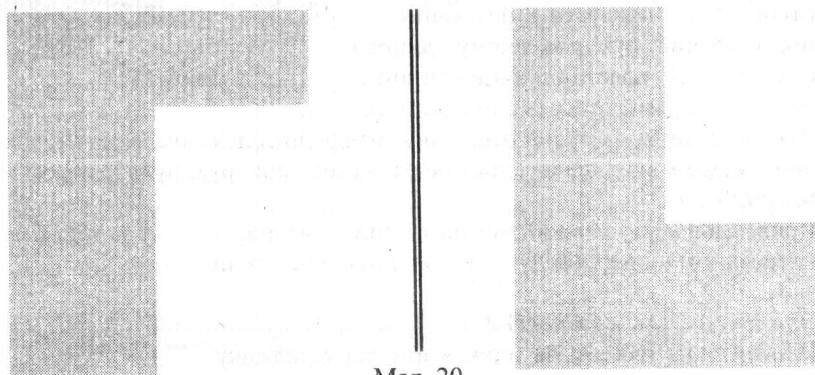
Мал. 19

Примітка: спосіб 2 дозволяє визначити центр тяжіння пластинки, але в просторі, що відповідає розмірам пластинки, гравітаційне поле можна вважати однорідним, тому центр мас і центр тяжіння співпадають.

Висновок: _____

Контрольні завдання

- Визначте центр мас однорідної пластинки у вигляді букви Г (мал. 20). Для цього потрібно розбити фігуру на два прямокутники, знайти центр мас кожного і сполучити їх лінією. Потім розбити фігуру на два прямокутники іншим способом і виконати аналогічні дії. Перетин цих ліній і є центром мас фігури.



Мал. 20

- Центр мас системи тіл, яка складається з n матеріальних точок у просторі, маси яких відповідно $m_1, m_2, \dots, m_n$, визначається через проекції на довільні осі координат за

$$\text{формулою: } x = \frac{x_1 m_1 + x_2 m_2 + \dots + x_n m_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n}.$$

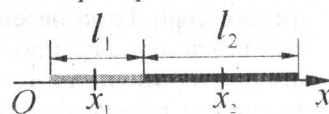
Якщо тіло має вигляд стрижня, який складається з двох однорідних частин (мал. 21), координати центра мас визначають за формулою:

$$x_{\text{ц}} = \frac{x_1 m_1 + x_2 m_2}{m_1 + m_2} \Rightarrow \frac{x_1 l_1 + x_2 l_2}{l_1 + l_2}, \text{ де } x_1 \text{ і } x_2 -$$

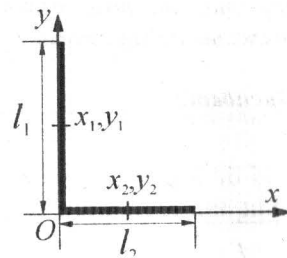
координати центра мас кожної частини.

Якщо ж частини стрижня розміщені в певній площині (мал. 22), то, крім координати x центра мас, визначають ще координату y :

$$y_{\text{ц}} = \frac{y_1 m_1 + y_2 m_2}{m_1 + m_2} \Rightarrow \frac{y_1 l_1 + y_2 l_2}{l_1 + l_2}.$$

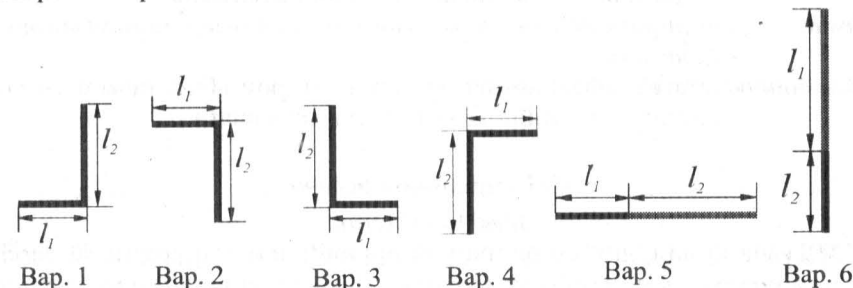


Мал. 21



Мал. 22

Стрижень зігнуто так, як показано на малюнку 23. Визначте координати центра мас стрижня.



Мал. 23

№ вар.	l_1 , см	l_2 , см	x_1 , см	x_2 , см	y_1 , см	y_2 , см	$x_{\text{ц}}$, см	$y_{\text{ц}}$, см
1.	10	15						
2.	20	30						
3.	10	15						
4.	20	30						
5.	10	15						
6.	30	20						

Запитання для усного заліку

- Дайте означення центра мас.
- Де розташовується центр мас плоских фігур, що мають правильну геометричну форму (кола, рівностороннього трикутника, квадрата, ромба)?
- Які методи визначення центра мас ви знаєте?
- В якому випадку можна вважати, що центр мас і центр тяжіння співпадають?

Експериментальна робота № 6

Дослідження коливань нитяного маятника

Мета: експериментально визначити період коливань математичного маятника.

Обладнання: штатив лабораторний, кулька з отвором або з гачком, нитка, секундомір, лінійка або вимірювальна стрічка.

Хід і результати роботи

Ідея досліджень

Масивна кулька, яка коливається на пружній довгій нерозтяжній легкій нитці, є моделлю математичного маятника. Період коливань такого маятника

можна визначити за формулою: $T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ (1) або $T_2 = \frac{t}{N}$ (2), де l – довжина

маятника, N – кількість коливань, які маятник здійснює за час t .

Для виконання роботи необхідно:

- встановити штатив на краю стола й підвісити до його кільця кульку на нитці довжиною l ($l \approx 80 - 100$ см);
- відвести кульку від положення рівноваги на відстань 5 – 8 см, відпустити й зафіксувати час t , за які маятник здійснить 15 – 20 повних коливань N ;
- вимірювання часу провести 3 рази і знайти середнє значення t_c ;
- обчислити період коливань маятника T за формулами (1) та (2) і порівняти їх значення.

Обробка результатів експерименту

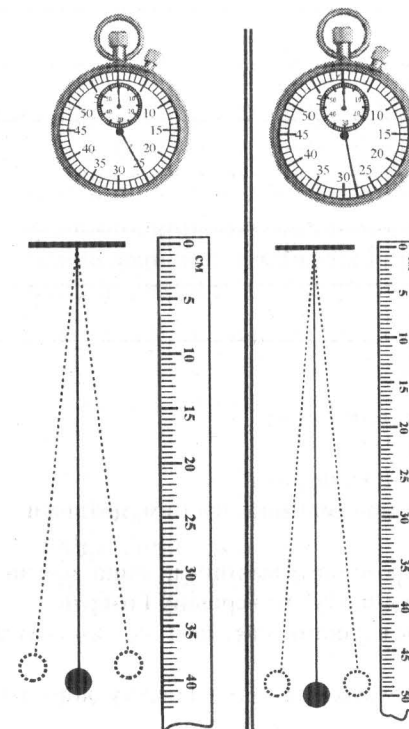
1. $l =$ _____ $N =$ _____
2. $t_1 =$ _____ $t_2 =$ _____ $t_3 =$ _____
 $t_c =$ _____
3. $T_1 =$ _____
4. $T_2 =$ _____
5. Оцінка достовірності експериментальної перевірки:

$$\varepsilon = \left| \frac{T_2}{T_1} - 1 \right| \cdot 100\% =$$

Висновок: _____

Контрольні завдання

1. За результатами досліджень учня в лабораторній роботі, які відображені на малюнку 24, визначте період коливань маятника двома способами та порівняйте їх значення (маятник здійснив 20 коливань).



Мал. 24

2. Два маятники, довжини яких l_1 і l_2 , відповідно за час t_1 і t_2 здійснили біля поверхні Землі n_1 і n_2 коливань. Період коливань першого маятника T_1 , другого – T_2 . Використовуючи дані, наведені в таблиці, визначте невідомі величини у варіанті, вказаному вчителем.

№ вар.	l_1 , м	l_2 , м	t_1 , с	t_2 , с	n_1	n_2	T_1 , с	T_2 , с	$l_1 - l_2$, м	T_1/T_2
1.	1,5	1	20			10				
2.				30	20	15				1,25
3.	0,9			40	30					1,9
4.			25	10	n	n			1,25	
5.			t	t	50	30			0,32	
6.				20	10				0,44	1,2

Запитання для усного заліку

- Що називають математичним маятником?
- За яких умов у системі виникають вільні коливання?
- Якими співвідношеннями пов'язані період коливань, частота, циклічна частота математичного маятника?
- Як зміниться період коливань математичного маятника, якщо маятник перенести з поверхні Землі в неглибоку шахту? на вершину Говерли?
- Чи залежить період коливань математичного маятника від амплітуди коливань?
- Як можна використати математичний маятник для пошуку корисних копалин?

Експериментальна робота № 7

Дослідне підтвердження закону Бойля-Маріотта

Мета:

експериментально підтвердити, що для даної маси газу за незмінної температури добуток тиску на об'єм є величиною сталою.

Обладнання: скляна трубка, закрита з одного кінця, скляний циліндр (пластиково пляшка), барометр (один на клас), лінійка.

Хід і результати роботи

Табличні дані

1. Густина води _____ 2. Тиск 1 мм.рт.ст. $\approx$ 133 Па

Ідея досліджень

Для експериментальної перевірки закону Бойля-Маріотта необхідно виміряти параметри газу, який знаходиться у скляній трубці для двох станів, і здійснити перевірку рівності $p_1 V_1 = p_2 V_2$.

I стан

Трубка не занурена у воду

- $p_1 = p_a$, де p_a – атмосферний тиск;
- $V_1 = S \cdot l_1 = l_1$ (ум.од.), де l_1 – довжина стовпчика повітря (оскільки площа поперечного перерізу трубки S скрізь однакова, то числове значення l_1 можна прийняти за значення V_1 в умовних одиницях об'єму).

Тоді $C_1 = p_1 \cdot V_1 = p_a \cdot l_1$ (ум.од.).

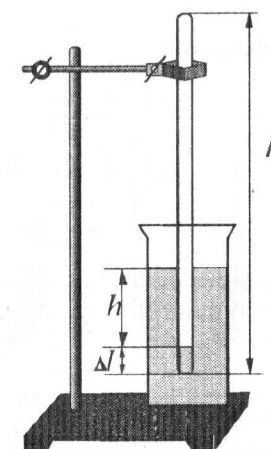
II стан

Трубка занурена відкритим кінцем у циліндр з водою (мал. 25).

- $p_2 = p_a + \rho g h$, де ρ – густина води, h – різниця рівнів води в посудині й у трубці;
- $V_2 = S \cdot l_2 = (l_1 - \Delta l)$ (ум.од.), де Δl – висота стовпчика води, яка зайшла в трубку. Тоді $C_2 = p_2 \cdot V_2 = (p_a + \rho g h) \cdot (l_1 - \Delta l)$ (ум.од.);
- здійснити достовірність експериментальної перевірки рівності $C_1 = C_2$.

Обробка результатів експерименту

1. $p_a =$ _____ $l_1 =$ _____



Мал. 25

2. $h =$ _____ $\Delta l =$ _____

3. Добутки тисків на об'єм для двох станів

$C_1 =$ _____

$C_2 =$ _____

4. Оцінка достовірності експериментальної перевірки:

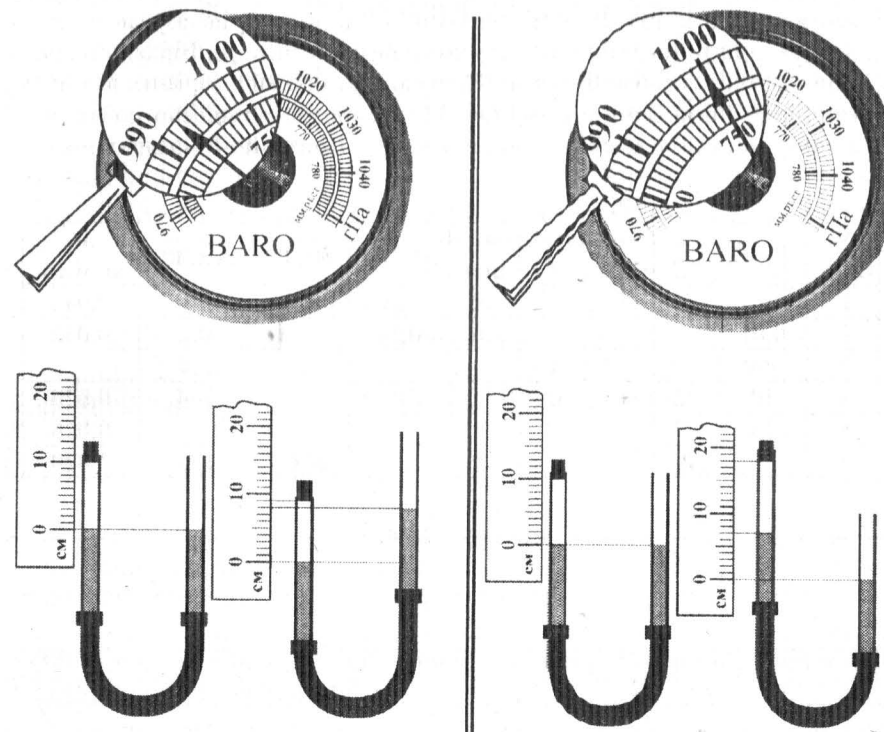
$$\varepsilon = \left| \frac{C_1}{C_2} - 1 \right| \cdot 100\% =$$

Висновок: _____

Контрольні завдання

1. В одному з дослідів підтвердження закону Бойля-Маріотта експериментатор з'єднав дві скляні й гумову трубки, як показано на малюнку 26, і налив у них ртуть (І стан). Закривши одну трубку корком, він змінював об'єм повітря в ній, опускаючи або піднімаючи відкриту трубку (ІІ стан). Використовуючи малюнок (лінійку, покази барометра та положення ртуті в трубках), визначте:

	Перший стан	Другий стан
Об'єм повітря в закритій трубці $V_1 = l_1$, ум.од.		
Тиск повітря в закритій трубці p , Па		
$C = p \cdot V$, ум.од.		



Мал. 26

Оцінка достовірності експериментальної перевірки:

2. З балона зі стисненим газом, об'єм якого V , внаслідок пошкодження вентилі витікає газ. При температурі t_1 манометр показував тиск p_1 . Згодом, при температурі t_2 , манометр показав тиск p_2 . Використовуючи дані, наведені в таблиці, визначте невідомі величини у варіанті, вказаному вчителем. Символами m_1 , m_2 , Δm , M відповідно позначено початкову й кінцеву маси газу, масу газу, яка витекла з балона, і його молярну масу.

№ вар.	$V, \text{м}^3$	$t_1, \text{°C}$	$p_1, \text{атм}$	$t_2, \text{°C}$	$p_2, \text{атм}$	$m_1, \text{кг}$	$m_2, \text{кг}$	$\Delta m, \text{кг}$	$M, \text{кг/моль}$
1.		27	100	17	50	8,8			0,044
2.	0,01	7			10	0,34		0,2	0,032
3.	400		1,2	-13	1		37	5,4	
4.	50	22		7		685		204	0,028
5.	75	27	6	7	5				0,026
6.		0	20		18		1360	173	0,029

Запитання для усного заліку

- Чому у даній роботі рекомендують трубку в руках не тримати?
- Як записується рівняння стану ідеального газу?
- Як з рівняння стану ідеального газу одержати часткові закони: Бойля-Маріотта, Гей-Люссака, Шарля?
- Які процеси називають ізотермічними, ізохорними, ізобарними?
- Які умови для теплових процесів називають нормальними? Чому дорівнює значення температури і тиску газу за нормальних умов?

Експериментальна робота № 8 Визначення відносної вологості повітря та фундаментальних сталих молекулярної фізики

Мета: визначити відносну вологість повітря, концентрацію молекул водяної пари у повітрі, сталу Больцмана та універсальну газову сталу.

Обладнання: термометр, шматочок тканини, склянка з водою, психрометрична таблиця і таблиці залежності тиску та густини насиченої водяної пари від температури.

Хід і результати роботи Табличні дані

- Молярна маса води _____
- Число Авогадро _____
- Універсальна газова стала _____
- Стала Больцмана _____

Ідея досліджень

Для виконання роботи необхідно:

- виміряти температуру повітря в кімнаті t_c ;
- змочивши шматок тканини водою, обгорнути ним резервуар термометра. Коливним рухом аркуша паперу утворити навколо термометра конвекційні потоки повітря;
- зафіксувати значення температури вологого термометра t_w , коли його покази перестануть змінюватися;
- використовуючи психрометричну таблицю або емпіричну формулу

$$\varphi = \frac{t_w}{t_c} (100^\circ\text{C} - 4(t_c - t_w)), \text{ визначити відносну вологість повітря } \varphi;$$

- скориставшись таблицею залежності тиску і густини насиченої пари від температури, визначити тиск насиченої пари p_n при температурі, яка відповідає показам сухого термометра;
- використовуючи формулу $\varphi = \frac{p}{p_n} \cdot 100\%$, обчислити тиск водяної пари p при даній температурі;
- скориставшись цією ж таблицею, визначити значення густини водяної пари ρ , яка відповідає знайденому тиску p ;
- знайти концентрацію молекул n_0 , враховуючи, що $\rho = m_0 \cdot n_0$, а

$m_0 = \frac{M}{N_A}$, де m_0 – маса молекули водяної пари, M – молярна маса води,
 N_A – число Авогадро;

- з рівняння $p = n_0 \cdot k \cdot T$ визначити сталу Больцмана, а з рівняння $p = \frac{\rho}{M} RT$ – універсальну газову сталу, де T – температура повітря в кельвінах.

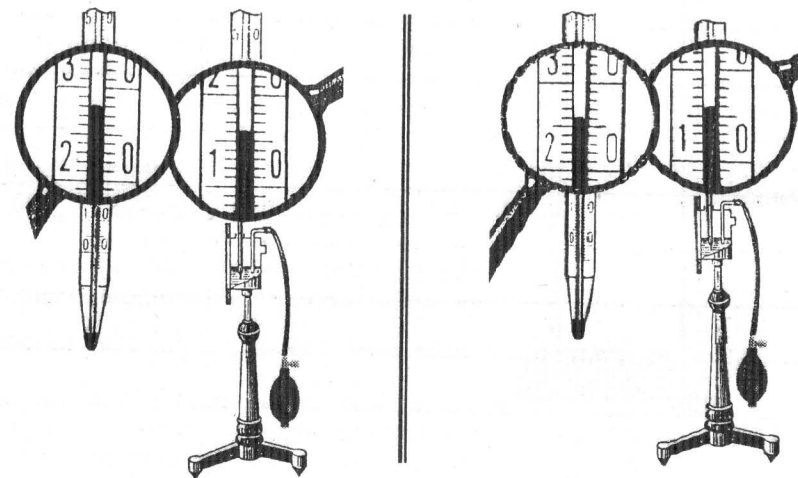
Обробка результатів експерименту

1. $t_c =$ _____ $T_c =$ _____ $t_a =$ _____
2. $\varphi =$ _____
3. $p_u =$ _____
4. $p =$ _____
5. $\rho =$ _____
6. $n_0 =$ _____
7. $k =$ _____
8. $R =$ _____
9. Оцінка точності визначення сталої Больцмана:
 $\varepsilon = \frac{|k_{\text{табл.}} - k|}{k_{\text{табл.}}} \cdot 100\% =$ _____
10. Оцінка точності визначення універсальної газової сталої:
 $\varepsilon = \frac{|R_{\text{табл.}} - R|}{R_{\text{табл.}}} \cdot 100\% =$ _____

Висновок: _____

Контрольні завдання

1. При визначенні відносної вологості повітря учень виміряв температуру повітря в класі t , налив у конденсаційний гігрометр спирт, занурив у нього термометр і, продуваючи повітря гумовою грушею (для інтенсивнішого випаровування), зафіксував температуру t_p в момент появи роси на дзеркальній передній стінці гігрометра (мал. 27). Використовуючи результати експерименту, відображені на шкалах приладів і таблиці залежності густини насиченої пари від температури, визначте густину ρ_0 насиченої пари за даної температури в кімнаті, густину водяної пари в повітрі ρ , відносну вологість повітря φ .



Мал. 27

- a) $t =$ _____
- б) $t_p =$ _____
- в) $\rho_0 =$ _____
- г) $\rho =$ _____
- д) $\varphi =$ _____

2. У кімнаті об'ємом V при температурі t_0 знаходиться водяна пара, маса якої m_0 , а густина ρ . Відносна вологість повітря за даних умов φ_0 . Після пониження температури до t конденсувалося Δm пари, а відносна вологість стала φ . Використовуючи таблиці залежності тиску та густини насиченої пари від температури і дані, наведені в таблиці, визначте невідомі величини у варіанті, вказаному вчителем.

№ вар.	$V, \text{м}^3$	$t_0, ^\circ\text{C}$	$m_0, \text{кг}$	$\rho, \text{г/м}^3$	$\varphi_0, \%$	$t, ^\circ\text{C}$	$\Delta m, \text{кг}$	$\varphi, \%$
1.	225	20			80	15		
2.	200	23		17,25		22		
3.			2,8	15,5	80		0,6	
4.		20	1,66		60		0	67
5.		18	1,6	10,7		12	0	
6.	100			12,2	90		0,3	

Експериментальна робота № 9

Вимірювання поверхневого натягу рідини

Мета: експериментально визначити поверхневий натяг води методом відривання крапель і порівняти його з табличним значенням.

Обладнання: штатив лабораторний, трубка з краном і наконечником (від медичної системи), шприц, склянка, шприц-мензурка, клин вимірювальний з міліметрового паперу.

Хід і результати роботи Табличні дані

Поверхневий натяг води: $\sigma_{\text{табл.}} =$ _____

Ідея досліджень

Для вимірювання поверхневого натягу складають установку, зображену на малюнку 28. У лапці штатива закріплюють шприц, на штуцер якого надіто трубку з краном і наконечником. У момент відривання краплі модуль сили поверхневого натягу F дорівнює модулю сили тяжіння $F_{\text{тяж.}}$, яка діє на краплю масою m .

$$F = F_{\text{тяж.}}, \text{ або } \sigma \pi d = mg. \text{ Звідси } \sigma = \frac{mg}{\pi d}.$$

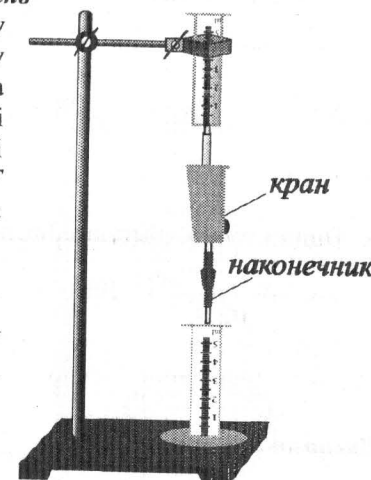
Щоб підвищити точність, вимірюють масу N крапель і поверхневий натяг обчислюють за

$$\text{формулою } \sigma = \frac{Mg}{N\pi d} \quad (1), \text{ де } M - \text{маса води,}$$

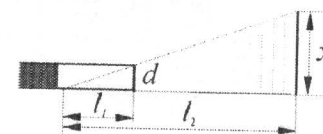
яка вилася, N – кількість крапель води, d – внутрішній діаметр трубки-наконечника. Щоб його виміряти, з міліметрового паперу вирізають прямокутний трикутник у вигляді клину. Клин поміщають у наконечник і, використовуючи подібність сторін у вказаних на малюнку 29 трикутниках, визначають внутрішній діаметр наконечника. У результаті

можна записати співвідношення: $\frac{d}{x} = \frac{l_1}{l_2},$

$$\text{звідки } d = \frac{x \cdot l_1}{l_2}.$$



Мал. 28



Мал. 29

Запитання для усного заліку

1. Що характеризують відносна й абсолютна вологість повітря?
2. Як визначають відносну й абсолютну вологість повітря?
3. Як змінюється відносна вологість повітря в кімнаті, якщо різниця показів сухого і вологого термометра зменшується? збільшується?
4. Чи може відносна вологість бути вищою ніж 100%? рівною 0%?
5. Вкажіть способи переведення ненасиченої пари в стан насичення.

Для виконання роботи необхідно:

- за допомогою вимірального клина виміряти внутрішній діаметр трубки наконечника d ;
- закрити кран і налити в шприц воду. Підставити під трубку склянку і, поступово відкриваючи кран, добитись, щоб вода з трубки капала окремими краплями;
- підставити під трубку шприц-мензурку і, відлічивши $N = 50 - 80$ крапель, закрити кран;
- зафіксувавши об'єм води, що вилася у мензурку, визначити її масу M ;
- обчислити поверхневий натяг води $\sigma_{\text{досл}}$ за формулою (1).

Обробка результатів експерименту

1. $x =$ _____ $l_1 =$ _____ $l_2 =$ _____

2. $d =$ _____

3. $N =$ _____ $M =$ _____

4. $\sigma_{\text{досл}} =$ _____

5. Оцінка точності визначення поверхневого натягу води:

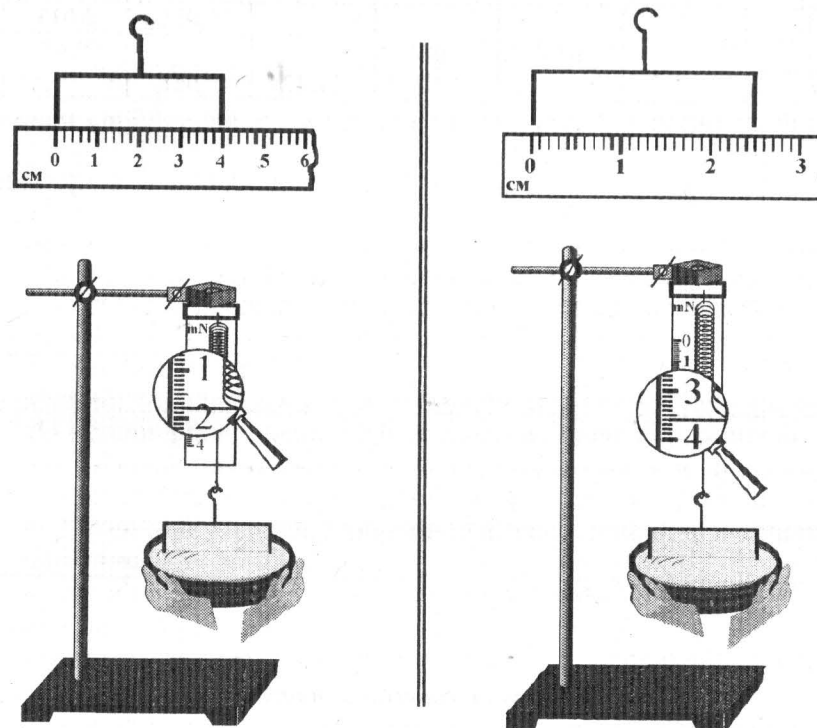
$$\varepsilon = \frac{|\sigma_{\text{табл.}} - \sigma_{\text{досл.}}|}{\sigma_{\text{табл.}}} \cdot 100\% =$$

Висновок:

Контрольні завдання

- Визначаючи поверхневий натяг рідини методом відриву петлі, учень виміряв ширину дрітної петлі l , підвісив її до мілідинамометра і занурив у рідину. Повільно виймаючи петлю, на якій утворилася плівка з рідини, він зафіксував покази динамометра F в момент розриву плівки. Використовуючи результати експерименту, відображені на малюнку 30, визначте поверхневий натяг рідини σ .

Примітка: при визначенні поверхневого натягу рідини врахуйте, що плівка має дві поверхні.



Мал. 30

а) $l =$ _____

б) $F =$ _____

в) $\sigma =$ _____

2. У капілярній трубці радіусом r рідина, густина якої ρ і поверхневий натяг σ , піднялася на висоту h . Об'єм рідини, що зайшов у трубку – V , маса рідини – m . Використовуючи дані, наведені в таблиці, визначте невідомі величини у варіанті, вказаному вчителем.

№ вар.	r , мм	ρ , кг/м ³	σ , Н/м	h , мм	V , см ³	m , г
1.	0,6	1000	0,073			
2.		800		12	0,009	
3.	0,8			6		0,008
4.	1				0,016	0,013
5.		1030	0,046			0,03
6.			0,03	11,42	0,018	

Запитання для усного заліку

1. Який фізичний зміст поверхневого натягу?
2. Як залежить поверхневий натяг рідини від температури?
3. Виведіть робочу формулу даної роботи для визначення поверхневого натягу.
4. Зобразіть форму, яку приймає поверхня рідини у скляній трубці, якщо ця рідина (наприклад ртуть) не змочує скло.
5. Наведіть приклади капілярних явищ.
6. Від яких чинників залежить висота підняття рідини в капілярі?

Експериментальна робота № 10

Вимірювання модуля пружності гуми

Мета: експериментально перевірити закон Гука і визначити модуль пружності гуми.

Обладнання: гумовий шнур, штангенциркуль (мікрометр), штатив лабораторний, динамометр, лінійка.

Хід і результати роботи

Ідея досліджень

Для деформації розтягу гумового шнура закон Гука можна записати у вигляді $\frac{\Delta l}{l_0} = \frac{\sigma}{E}$. Звідси $E = \frac{\sigma l_0}{\Delta l}$, де E – модуль пружності (Юнга) гуми, σ –

напруга ($\sigma = \frac{F}{S}$, де F – сила, яка діє на шнур, S – площа поперечного перерізу), l_0 – початкова довжина шнура, Δl – його видовження. Тоді $E = \frac{F l_0}{S \Delta l}$.

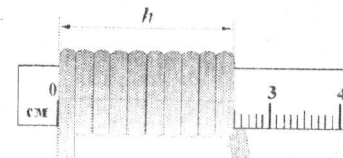
(У даній роботі похибку вимірювання модуля пружності не визначають, оскільки відносна деформація гуми залежить від часу дії сили. Окрім цього площа перерізу деформованої гуми неоднакова у різних місцях шнура).

Для виконання роботи необхідно:

- виміряти діаметр шнура d за допомогою штангенциркуля (мікрометра) або методом рядів і обчислити його площу поперечного перерізу S_0 ;
- один кінець шнура закріпити в лапці штатива, а на іншому зробити петлю;
- у середній частині шнура зробити ручкою дві позначки на відстані 25 – 40 см одна від одної. Виміряти цю відстань, вважаючи її початковою довжиною l_0 ;
- зачепити гачок динамометра за петлю і розтягувати шнур, прикладаючи силу F ;
- визначити відстань між позначками (довжину розтягнутого шнура) l і його видовження Δl ;
- обчислити площу поперечного перерізу S у деформованому стані, виходячи з того, що за малих деформацій $S_0 l_0 = S l$;
- обчислити модуль пружності гуми E .

Визначення діаметра шнура

- щільно намотати на лінійку кілька витків шнура N (мал. 31);
- виміряти ширину намотки h і знайти



Мал. 31

діаметр шнура із співвідношення $d = \frac{h}{N}$.

1. $N =$ _____ $h =$ _____

2. $d =$ _____

Обробка результатів експерименту

1. $l_0 =$ _____ $d =$ _____

2. $S_0 =$ _____

3. $F =$ _____ $l =$ _____ $\Delta l =$ _____

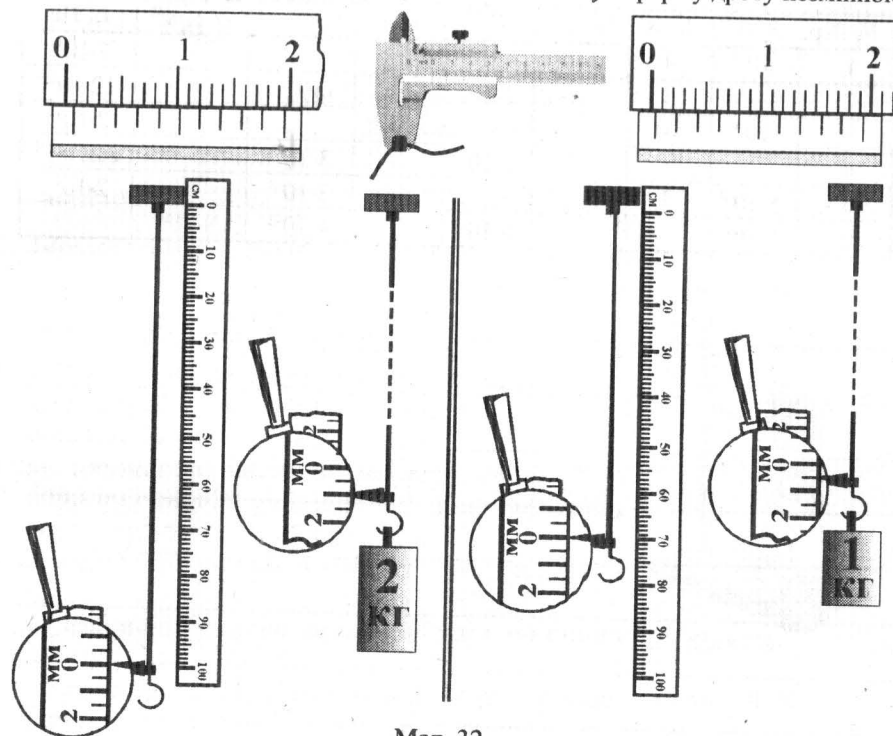
4. $S =$ _____

5. $E =$ _____

Висновок:

Контрольні завдання

1. При визначенні модуля Юнга дроту, до нього підвісили пристрій зі стрілкою, яка при зміні довжини дроту переміщується по шкалі. Дріт довжиною l_0 і площею поперечного перерізу S , діаметр d якого визначили штангенциркулем, видовжився на Δl , коли до нього підвісили гирю масою m . Використовуючи результати досліду, відображені на малюнку 32, визначте модуль Юнга E матеріалу дроту. Вважати площу перерізу дроту незмінною.



Мал. 32

а) $d =$ _____

б) $l_0 =$ _____ в) $\Delta l =$ _____

г) $m =$ _____

д) $F =$ _____

е) $S =$ _____

є) $E =$ _____

2. Коли до дротини перерізом S і довжиною l_0 підвісили вантаж масою m , то довжина дротини збільшилась на Δl і становила l за відносного видовження ε . В дротині виникла механічна напруга σ . Модуль Юнга для речовини, з якої виготовлено дріт E . Використовуючи дані, наведені в таблиці, визначте невідомі величини у варіанті, вказаному вчителем. Вважати площу перерізу дротини незмінною.

№ вар.	$S, \text{ м}^2$	$l_0, \text{ м}$	$m, \text{ кг}$	$\Delta l, \text{ м}$	$l, \text{ м}$	ε	$\sigma, \text{ Н/м}^2$	$E, \text{ Па}$
1.	10^{-5}	4	140					$7 \cdot 10^{10}$
2.	$5 \cdot 10^{-7}$	5		$2 \cdot 10^{-3}$				$12 \cdot 10^{10}$
3.	10^{-6}	10			10,01			$2 \cdot 10^{11}$
4.			30	$2 \cdot 10^{-2}$		$3 \cdot 10^{-3}$		$1,5 \cdot 10^{10}$
5.	$5 \cdot 10^{-4}$	3				$3 \cdot 10^{-3}$		$2 \cdot 10^{11}$
6.	$5 \cdot 10^{-6}$			$8 \cdot 10^{-2}$		$4 \cdot 10^{-2}$	$8 \cdot 10^9$	

Запитання для усного заліку

- Який фізичний зміст модуля пружності (модуля Юнга)?
- Чому значення модуля пружності (Юнга) наведено в довідниках, а значення жорсткості – ні?
- Яку напругу називають межею пропорційності? межею пружності? межею міцності?
- Виведіть співвідношення між модулем пружності і жорсткістю.
- Зобразіть графік залежності механічної напруги від відносного видовження, вказавши на ньому межі пропорційності, пружності і міцності. На якій ділянці залежності виконується закон Гука?

Експериментальна робота № 11

Визначення коефіцієнта корисної дії (ККД) теплового процесу

Мета: дослідним шляхом перекоонатися в тому, що енергія, яку отримала вода та посудина під час нагрівання менша від енергії, яка виділяється внаслідок спалювання спирту.

Обладнання: штатив лабораторний, сухий спирт, установка для спалювання спирту, термометр, мензурка, посудина з водою, внутрішня посудина калориметра, терези з набором важків (електронні терези).

Хід і результати роботи Табличні дані

- Питома теплоємність:

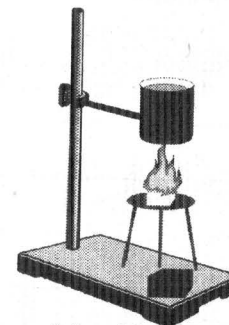
води $c_s =$ _____ алюмінію $c_a =$ _____

- Питома теплота згоряння сухого спирту: $q = 20 \text{ МДж/кг}$.

Ідея досліджень

Для виконання роботи необхідно:

- зібрати установку, зображену на малюнку 33;
- за допомогою терезів визначити масу внутрішньої посудини калориметра m ;
- за допомогою мензурки виміряти об'єм V_1 і визначити масу m_1 води, яку після цього перелити у внутрішню посудину калориметра;
- виміряти термометром початкову температуру води t_1 ;
- за допомогою терезів визначити масу m_2 сухого спирту;
- запалити сухий спирт і нагріти воду до температури $t_2 (\approx 50 - 70^\circ \text{C})$;
- погасити сухий спирт і знову визначити масу m_3 сухого спирту;
- визначити масу витраченого палива $\Delta m = m_2 - m_3$;
- обчислити кількість теплоти, яку отримала вода за формулою $Q_1 = c_s \cdot m_1 \cdot \Delta t$, посудина за формулою $Q_2 = c_a \cdot m \cdot \Delta t$, і кількість теплоти, яку віддав спирт за формулою $Q_3 = q \cdot \Delta m$.
- обчислити ККД нагрівника за формулою $\eta = \frac{Q_1 + Q_2}{Q_3} \cdot 100\%$.



Мал. 33

Обробка результатів експерименту

- $m =$ _____

2. $V_1 =$ _____ $m_1 =$ _____
3. $t_1 =$ _____ $t_2 =$ _____
4. $m_2 =$ _____ $m_3 =$ _____
5. $\Delta m =$ _____
6. $Q_1 =$ _____
7. $Q_2 =$ _____
8. $Q_3 =$ _____
9. $\eta =$ _____

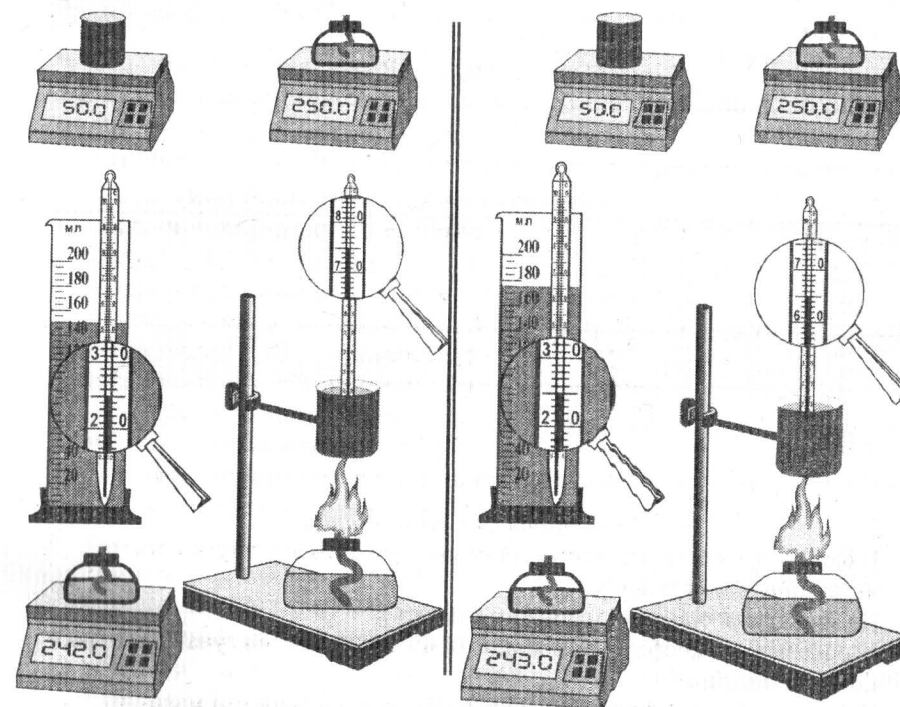
Висновок: _____

Контрольні завдання

Виконуючи лабораторну роботу з визначення ККД нагрівника, учень визначив масу алюмінієвого калориметра m , початкову масу спиртівки m_2 , визначив об'єм води в мензурці V_1 , її масу m_1 та початкову температуру t_1 і перелив її в калориметр. Після нагрівання води він визначив її кінцеву температуру t_2 і масу спиртівки m_3 після згоряння спирту. Використовуючи результати вимірювань, зображені на малюнку 34, визначте коефіцієнт корисної дії теплового процесу.

- а) $c_{води} =$ _____
- б) $c_{алюм.} =$ _____
- в) $q_{сп.} =$ _____
- г) $m =$ _____
- д) $V_1 =$ _____
- е) $m_1 =$ _____

- є) $t_1 =$ _____
- ж) $t_2 =$ _____
- з) $m_2 =$ _____
- и) $m_3 =$ _____
- і) $\Delta m =$ _____
- ї) $Q_1 =$ _____
- й) $Q_2 =$ _____
- к) $Q_3 =$ _____
- л) $\eta =$ _____



Мал. 34

2. Під час роботи ідеальної теплової машини з коефіцієнтом корисної дії η від нагрівника, температура якого T_1 , отримано кількість теплоти Q_1 , а холодильнику, температура якого T_2 , передано кількість теплоти Q_2 . При цьому теплова машина виконала роботу A . Використовуючи дані, наведені в таблиці, визначте невідомі величини у варіанті, вказаному вчителем.

№ вар.	η , %	T_1 , К	Q_1 , кДж	T_2 , К	Q_2 , кДж	A , Дж
1.			300	240	225	
2.		500			200	120
3.	20	400			2,4	
4.	25		400	200		
5.	40			180		100
6.		500	400			100

Запитання для усного заліку

1. Наведіть приклади перетворення механічної енергії у внутрішню та внутрішньої у механічну.
2. Як записують рівняння теплового балансу?
3. Що називають коефіцієнтом корисної дії теплового двигуна? Які шляхи його підвищення?
4. Чому дорівнює коефіцієнт корисної дії ідеальної теплової машини?
5. Яка роль нагрівника, холодильника і робочого тіла теплового двигуна?
6. Чому ККД теплового двигуна завжди менший від 100 %?

Експериментальна робота № 12

Вимірювання ємності конденсатора

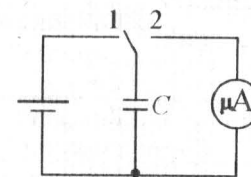
Мета: дослідити розрядження конденсаторів відомої ємності й визначити значення ємності невідомого конденсатора.

Обладнання: конденсатор відомої ємності (5 – 20 мкФ); джерело постійного струму, мікроамперметр на 100 мкА, ключ-перемикач, конденсатор невідомої ємності (5 – 20 мкФ), з'єднувальні провідники.

Хід і результати роботи

Ідея дослідження

Якщо заряджати конденсатор від джерела постійного струму, а потім розряджати через гальванометр (у нашому випадку мікроамперметр), то за незмінної напруги кількість поділок відхилення стрілки n прямо пропорційна заряду конденсатора.



Мал. 35

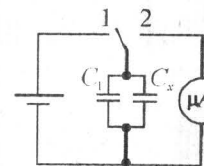
Враховуючи, що $C = \frac{q}{U}$, можна стверджувати, що

ємність конденсатора прямо пропорційна кількості поділок відхилення стрілки n : $c = k \cdot n$ (1), де k – коефіцієнт пропорційності.

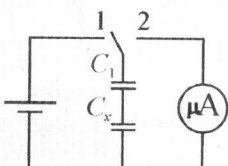
Для виконання роботи необхідно:

- зібрати електричне коло за схемою, зображеною на малюнку 35, під'єднавши конденсатор відомої ємності C_1 ;

- поставити перемикач на кілька секунд в положення 1 і, зосередивши увагу на стрілці приладу, швидко перемкнути конденсатор на гальванометр (перемикач у положення 2), зафіксувавши кількість поділок, на які відхиляється стрілка.



Мал. 36



Мал. 37

- Дослід повторити кілька разів і визначити середнє значення показів n_1 ;
- із співвідношення (1) визначити коефіцієнт пропорційності k ;
- замість конденсатора відомої ємності під'єднати конденсатор невідомої ємності. Повторити вимірювання у такій же послідовності і визначити середнє значення показів n_x ;
- із співвідношення (1) визначити ємність невідомого конденсатора C_x ;
- провести аналогічні вимірювання, з'єднавши два конденсатори паралельно (мал. 36), і визначити їх ємність $C_{\text{пар}}$;
- провести аналогічні вимірювання, з'єднавши два конденсатори послідовно (мал. 37), і визначити їх ємність $C_{\text{посл}}$;
- обчислити ємність паралельно з'єднаних конденсаторів за формулою

$C_{x1} = C_x + C_1$ та послідовно з'єднаних конденсаторів за формулою $C_{x2} = \frac{C_x \cdot C_1}{C_x + C_1}$ і у висновку порівняти результати вимірювань із результатами обчислень.

Обробка результатів експерименту

1. Таблиця результатів

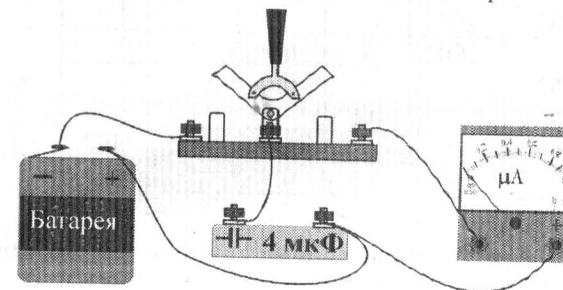
Номер досліду		Кількість поділок відхилення стрілки n				$n_{\text{серед.}}$	k
1.	Конденсатор відомої ємності $C_1 =$						
2.	Конденсатор невідомої ємності C_x						
3.	Паралельне з'єднання конденсаторів $C_{\text{пар.}}$						
4.	Послідовне з'єднання конденсаторів $C_{\text{посл.}}$						

2. $k =$
3. $C_x =$
4. $C_{\text{пар.}} =$
5. $C_{\text{посл.}} =$
6. Ємність паралельно з'єднаних конденсаторів $C_{x1} =$
7. Ємність послідовно з'єднаних конденсаторів $C_{x2} =$

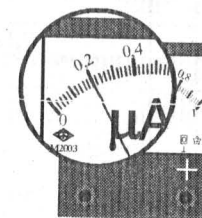
Висновок:

Контрольні завдання

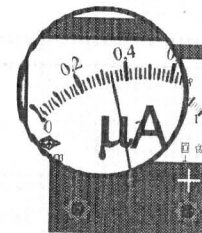
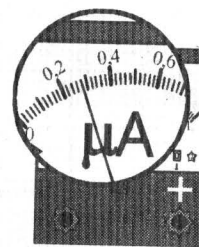
1. Визначаючи ємність конденсатора, учень склав коло, як показано на малюнку 38. Спочатку він зарядив конденсатор, перевівши перемикач у ліве положення. Після цього швидко перевів перемикач у праве положення, зафіксувавши відхилення стрілки мікроамперметра (мал. 39). Аналогічні дії він провів із невідомим конденсатором і зафіксував відхилення стрілки мікроамперметра так, як показано на малюнку 40. Визначте ємність невідомого конденсатора.



Мал. 38



Мал. 39



Мал. 40

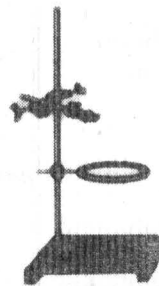
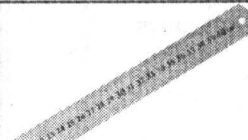
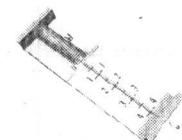
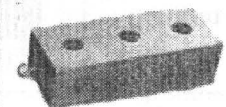
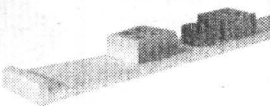
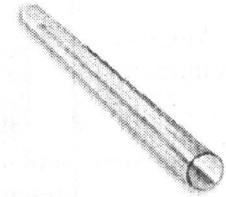
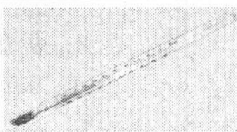
2. Два конденсатори з ємностями C_1 та C_2 зарядили відповідно до напруг U_1 та U_2 , надавши їм заряду q_1 та q_2 . Після з'єднання конденсаторів однойменними полюсами їх загальна ємність стала C , напруга U , заряд q . Використовуючи дані, наведені в таблиці, визначте невідомі величини у варіанті, вказаному вчителем.

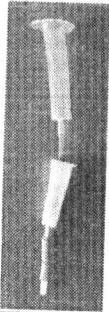
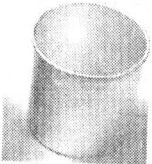
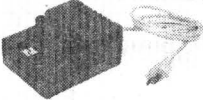
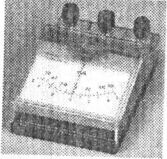
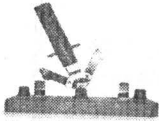
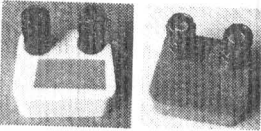
№ вар.	C_1 , мкФ	C_2 , мкФ	U_1 , В	U_2 , В	q_1 , мКл	q_2 , мКл	C , мкФ	U , В	q , мКл
1.	5	4	200	100					
2.				200	1	0,6	5		
3.		0,5	300			0,2			0,5
4.	3				0,6		4	250	
5.		2	500					400	2
6.				250	1,5	0,5	5		

Запитання для усного заліку

- Що характеризує ємність? Як її визначити? В яких одиницях вимірюється?
- Що таке конденсатор? Які є види конденсаторів?
- Чому дорівнює ємність плоского конденсатора?
- Як можна змінити ємність плоского конденсатора?
- За якої умови заряд конденсатора пропорційний його ємності?
- Конденсатор від'єднали від джерела живлення. Чи зміниться напруга між обкладками плоского конденсатора, якщо змінити відстань між ними?
- Чи існує електричне поле зарядженого плоского конденсатора поза межами його обкладок?
- Чому дорівнює енергія електричного поля конденсатора?

Обладнання, яке використовується в експериментальних роботах

Штатив лабораторний е1, 2, 3, 5, 6, 9, 10, 11		Секундомір е1, 2, 6	
Жолоб е1		Лінійка е1, 2, 3, 4, 5, 6, 10	
Динамометр е2, 10		Набір гтярців е2, 3	
Пружина е3		Брусок е4	
Трибометр е4		Пластинка е5	
Скляний циліндр е7		Скляна трубка е7	
Барометр е7		Термометр е8, 11	

Склянка е8, 9		Шприц е9	
Трубка з краном і наконеч- ником е9		Мензурка е11	
Установка для спалювання спирту е8, 9		Калориметр е11	
Електронні терези		Джерело струму е12	
Мікро- амперметр е12		Перемикач е12	
Конденсатори е12		Набір провідників е12	

Навчальне видання

*Трофімчук Анатолій Борисович
Левшенюк Ярослав Філімонович
Левшенюк Володимир Ярославович
Блащук Анатолій Петрович*

**Зошит для експериментальних робіт.
Фізика. 10 клас.
Рівень стандарту**

Комп'ютерний набір та верстка: А.Б.Трофімчук

Віддруковано ФОП Корольова С.Б. 33028, м.Рівне, вул. Петлюри, 7,
тел./факс 63-38-90, моб. +380-97-453-98-87.