

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.06-05.01/ 274.00.1/Б /ОК5-1-2024
	Екземпляр № 1	Арк 29 / 1

ЗАТВЕРДЖЕНО

Науково-методичною радою
Державного університету
«Житомирська політехніка»
протокол від 12 вересня 2024 р.
№ 5

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ до лабораторних робіт з дисципліни «ФІЗИКА»

для здобувачів вищої освіти освітнього ступеня «бакалавр»
спеціальності 274 «Автомобільний транспорт»
освітньо-професійна програма «Автомобільний транспорт»
Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій,
мехатроніки і робототехніки
Кафедра автомобілів і транспортних технологій

Рекомендовано на засіданні
кафедри автомобілів і
транспортних технологій
23 серпня 2024 р., протокол № 7

Розробники: д.т.н., доцент кафедри комп'ютерних технологій у медицині та телекомунікаціях Роман КОЛОМІЄЦЬ

Житомир
2024

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.06-05.01/ 274.00.1/Б /ОК5-1-2024
	Екземпляр № 1 Арк 29 / 2	

Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Фізика» для здобувачів вищої освіти освітнього ступеня «бакалавр» спеціальності 274 «Автомобільний транспорт» освітньо-професійна програма «Автомобільний транспорт» [Електронне видання]. – Житомир: Державний університет «Житомирська політехніка», 2024. – 54 с.

Розробники: д.т.н., доцент кафедри комп'ютерних технологій у медицині та телекомунікаціях Роман КОЛОМІЄЦЬ

Рецензенти:

Дмитро БЕГЕРСЬКИЙ – кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій.

Володимир ШУМЛЯКІВСЬКИЙ – кандидат технічних наук, завідувач кафедри автомобілів і транспортних технологій.

Затверджено Вченою радою факультету комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і робототехніки
(протокол № 6 від «28» серпня 2024 р.)

Методичні рекомендації призначені для забезпечення підготовки, виконання та захисту лабораторних з дисципліни «Фізика» студентами освітнього ступеня «бакалавр» спеціальності 274 «Автомобільний транспорт» освітньо-професійна програма «Автомобільний транспорт».

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.06-05.01/ 274.00.1/Б /ОК5-1-2024
	Екземпляр № 1	Арк 29 / 3

ЗМІСТ

Лабораторна робота № 1	5
Лабораторна робота № 2.....	6
Лабораторна робота № 3.....	9
Лабораторна робота № 4.....	11
Лабораторна робота № 5.....	14
Лабораторна робота № 6.....	Ошибка! Закладка не определена.
Лабораторна робота № 7.....	Ошибка! Закладка не определена.
Лабораторна робота № 8.....	Ошибка! Закладка не определена.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.06-05.01/ 274.00.1/Б /ОК5-1-2024
	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 29 / 4</i>

ВСТУП

Дані методичні рекомендації розраховані на студентів спеціальності 274 «Автомобільний транспорт».

Лабораторні роботи охоплюють окремі розділи лекційного курсу з навчальної дисципліни «Фізика».

Звіти з практичних і лабораторних робіт оформлюються на стандартних аркушах формату А4 під загальним титульним.

Захисти робіт передбачаються на наступних практичних або лабораторних заняттях і є необхідною умовою допуску до заліку або екзамену.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.06-05.01/ 274.00.1/Б /ОК5-1-2024
	Екземпляр № 1	Арк 29 / 6

Порядок виконання роботи

1. Підготувати таблиці для запису результатів вимірювань.
2. Підготувати терези до зважування (згідно з інструкцією) та провести зважування. Результати записати в таблицю.
3. Штангенциркулем виміряти лінійні розміри тіл з точністю, яку дозволяє штангенциркуль. Кожний розмір виміряти п'ять разів у різних місцях тіла. Результати записати в таблицю.
4. Визначити похибки вимірювання штангенциркулем і терезами (згідно з паспортом).

Обробка результатів вимірювання

1. Згідно з результатами вимірювання визначити густину тіл і розрахувати похибки вимірювання.
2. Кінцевий результат розрахунків записати у вигляді: $\rho = \bar{\rho} \pm \Delta\rho$.

Лабораторна робота № 2.

Визначення прискорення вільного падіння за допомогою математичного маятника

Мета роботи – визначити прискорення сили тяжіння.

Прилади і матеріали: секундомір, (оборотний) маятник.

Теоретичні відомості

Всяке фізичне тіло, підвішене в точці, що лежить вище його центра ваги, може виконувати коливальний рух і являє собою фізичний маятник. Його називають оборотним, якщо можна використовувати дві точки підвісу, що лежать по різні боки від центра ваги.

Застосування оборотного маятника для визначення прискорення сили тяжіння ґрунтується на тій його властивості, що завжди на ньому можна знайти дві такі точки, при послідовному підвішуванні за які маятника, період його коливань залишається одним і тим самим. Відстань між цими точками є приведеною довжиною даного маятника.

Період T малих коливань маятника визначається за формулою:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{mga}}, \quad (2A.1)$$

де I – його момент інерції відносно точки підвісу; a – відстань від точки підвісу до центра мас; m – маса маятника.

За теоремою Штейнера про моменти інерції маємо:

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.06-05.01/ 274.00.1/Б /ОК5-1-2024
	Екземпляр № 1	Арк 29 / 7

$$I = I_0 + ma^2,$$

де I_0 – момент інерції маятника відносно осі, що проходить через центр мас і паралельна осі коливань.

Позначивши через T_1 і T_2 періоди коливань відносно двох точок підвісу, матимемо:

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{I_0 + ma_1^2}{mga_1}}, \quad T_2 = 2\pi \sqrt{\frac{I_0 + ma_2^2}{mga_2}}.$$

Звідси слідує:

$$T_1^2 ga_1 - T_2^2 ga_2 = 4\pi^2(a_1^2 - a_2^2),$$

і після перетворень, даних Беселем:

$$g = \frac{8\pi^2 l}{T_1^2 + T_2^2} \cdot \left(1 + \frac{(T_1^2 - T_2^2)l}{(T_1^2 + T_2^2)(a_1 - a_2)} \right)^{-1}, \quad (2A.2)$$

тут $l = a_1 + a_2$ – приведена довжина.

Якщо $T_1 = T_2 = T$, то (2A.2) набуде вигляду:

$$g = \frac{4\pi^2 l}{T^2}. \quad (2A.3)$$

Добитися повної рівності періодів нелегко. Але формула Бесея (2A.2) дозволяє з достатньою точністю і досить просто визначити величину прискорення, якщо періоди приблизно рівні. Навіть коли a_1 і a_2 сильно відрізняються одне від одного, то при T_1 і T_2 близьких за значеннями, визначати a_1 і a_2 з точністю менше 1 мм немає необхідності.

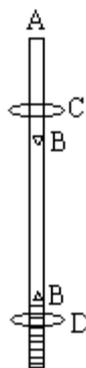


Рис. 2А.1.

Використовуваний в роботі оборотний маятник зображено на рис. 2А.1. На металевому стержні А нерухомо закріплено опорні призми В. Так само нерухомо закріплена чечевиця С, а друга D може переміщуватися по частині стержня зі шкалою. Віддаль між призмами В $l = 730$ мм.

Порядок виконання роботи

1. Визначити місце розташування чечевиці D на стержні, щоб $T_1 = T_2$:

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.06-05.01/ 274.00.1/Б /ОК5-1-2024
	Екземпляр № 1	Арк 29 / 8

а) користуючись секундоміром, визначити періоди малих коливань маятника для різних положень чечевиці D: перший період для $x=0$, а далі зміщувати її на $\Delta x = 2 \text{ см}$ (або інше значення Δx , яке вкаже керівник робіт). Визначити не менше п'яти значень T_1 . Кожний період визначається із 30 коливань.

x, см					
T ₁ , с	1				
	2				
	3				
	середн.				

б) одержані результати зобразити графічно, відклавши по осі абсцис x , а осі ординат – період T_1 .

в) змінивши вісь обертання маятника, тобто змусивши його коливатись на другій опорній призмі, знову проводять вимірювання пункту а) для періоду T_2 ,

x, см					
T ₂ , с	1				
	2				
	3				
	середн.				

і результати переносять на графік періоду T_1 . Точка перетину обох графіків і дасть місце знаходження чечевиці D, коли $T_1 \cong T_2$.

2. Для визначеного положення чечевиці D визначити періоди коливань T_1 і T_2 . Періоди визначати не менше трьох разів із 50 коливань маятника.

№ досліду	T ₁ , с	T ₂ , с
1		
2		
3		
середн. є		

3. Зняти маятник з кронштейна і установити в положенні рівноваги на гострій грані трикутної призми. З точністю до 1 мм визначити a_1 і a_2 .

4. За формулою (2А.2) розрахувати значення g .

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Задача [7]	12.3	12.4	12.5	12.14	12.14	12.46	12.47	12.38	12.50	12.24

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.06-05.01/ 274.00.1/Б /ОК5-1-2024
	Екземпляр № 1	Арк 29 / 9

Лабораторна робота 3.

Кінематика поступального руху

Мета роботи – експериментально перевірити закони кінематики й динаміки поступального руху.

Прилади і матеріали: машина Атвуда, секундомір, тягарі.

Опис установки

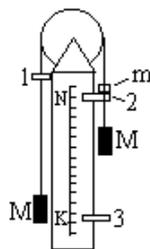


Рис. 2.1.

Установка складається з машини Атвуда і секундоміра.

Машина Атвуда – вертикальна штанга, вгорі якої встановлений легкий блок, що обертається з незначним тертям. Через блок перекинута нитка з тягарями однакових мас M . Тягарі можуть утримуватися в будь-якому положенні електромагнітом 1. На штанзі кріпиться рухоме кільце 2, яке служить для зняття додаткової маси m при проходженні через нього правого тягара. Знизу до штанги кріпиться приймальний блок 3 для правого тягара.

Для приведення машини в дію необхідно розімкнути коло електромагніта. Тягарі під дією додаткової маси приходять у рух і рухаються рівноприскорено, поки маса не зніметься кільцем 2. Далі вони рухаються за інерцією, тобто рівномірно. У момент проходження правого тягара через кільце вмикається секундомір.

Секундомір вимикається, коли тягар досягає приймального блока. Таким чином, секундомір зафіксує час проходження тягарем шляху НК. Щоб привести машину в вихідне положення, необхідно повернути тягарі у вихідний стан і ввімкнути електромагніт.

Теоретичні відомості

Шлях пройдений тілом, при рівномірному русі визначається за формулою $S = vt$, звідки випливає співвідношення:

$$\frac{S_1}{t_1} = \frac{S_2}{t_2} = \dots = \frac{S_n}{t_n}, \quad (2.1)$$

де $S_1, S_2, S_3, \dots, S_n$ – відрізки шляху; t_1, t_2, \dots, t_n – інтервали часу проходження даних відрізків шляху. Якщо тягарі рухаються рівноприскорено, то справедливі формули:

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.06-05.01/ 274.00.1/Б /ОК5-1-2024
	Екземпляр № 1	Арк 29 / 10

$$S = \frac{at^2}{2}, \quad a = \frac{mg}{2M + m}, \quad (2.2)$$

де m , M – відповідно додаткова маса і маса тіла.

Початкова швидкість тягарів у цьому досліді дорівнює нулю.

Розглянемо динаміку рівноприскореного руху тягарів. Сила, що приводить систему в рух, дорівнює різниці ваги правого і лівого тіл. Припустимо, що тягарі завантажили масами $m_1 < m_2$. Тоді $F_1 = (m_2 - m_1)g$. Якщо обидва навантаження перекласти на правий тягар, то сила визначатиметься як $F_2 = (m_1 + m_2)g$. На основі закону Ньютона для двох випадків дістанемо:

$$a_1 = \frac{(m_2 - m_1)g}{2M + m_1 + m_2}, \quad a_2 = \frac{(m_1 + m_2)g}{2M + m_1 + m_2}.$$

Звідси можна знайти співвідношення:

$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{m_2 - m_1}{m_2 + m_1}. \quad (2.3)$$

Порядок виконання роботи

Завдання 1. Перевірити співвідношення (2.1). Для цього, встановлюючи приймальний блок 3 машини Атвуда на різній висоті, виміряти секундоміром не менше трьох разів час t_1 і t_2 при заданому викладачем положенні кільця 2.

Шлях S_1 , см	Час t_1 , с	Шлях S_2 , см	Час t_2 , с

Знайти швидкість рівномірного руху і записати у вигляді:

$$\frac{S_1}{t_1} = \left(\frac{S_1}{t_1} \right)_{\text{ср}} \pm \Delta \left(\frac{S_1}{t_1} \right).$$

Перевірити, чи різниця між швидкостями, визначеними для двох дослідів, менша за сумарну абсолютну похибку визначення цих швидкостей:

$$\left| \left(\frac{S_1}{t_1} \right)_{\text{ср}} - \left(\frac{S_2}{t_2} \right)_{\text{ср}} \right| < \Delta \left(\frac{S_1}{t_1} \right) + \Delta \left(\frac{S_2}{t_2} \right).$$

Завдання 2. Перевірити виконання формули (2.2). Для цього зняти кільце 2 зі штанги. У початковий момент руху тягарів секундомір вмикається, а вимикається в момент, коли правий тягар торкається блока 3. Установлюючи приймальний блок на різній висоті, виміряти шлях і відповідний час рівноприскореного руху правого тягара.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.06-05.01/ 274.00.1/Б /ОК5-1-2024
	Екземпляр № 1	

Шлях S, см	Час t, с

За цими даними побудувати графік залежності $s = f(t)$. За формулою (2.2) у цій системі координат побудувати теоретичний графік руху (області розходження експериментального і теоретичного графіків заштрихувати).

За цими даними побудувати графік залежності $s = f(t)$. За формулою (2.2) у цій системі координат побудувати теоретичний графік руху (області розходження експериментального і теоретичного графіків заштрихувати).

Завдання 3. Перевірити співвідношення (2.3). Спочатку покласти на правий тягар два додаткових тягарі масою m_1 і m_2 . Виміряти не менш як три рази значення t_1 .

Шлях S, см	Час t_1 , с	Час t_2 , с

Потім перекласти менший тягар на лівий і повторити вимірювання. Ліву частину співвідношення (2.3) обчислити, використовуючи формули (2.2), а праву – за заданими масами додаткових тягарів.

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Задача[7]	2.19	2.20	2.22	2.24	2.25	2.26	2.27	2.28	2.30	2.31	2.32	2.33

Лабораторна робота 4.

Визначення моменту інерції маховика

Мета роботи – навчитись експериментально і теоретично визначати момент інерції твердого тіла.

Прилади і матеріали: установка для визначення моменту інерції маховика, вертикальна лінійка, секундомір, штангенциркуль, технічні терези і важки до них.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.06-05.01/ 274.00.1/Б /ОК5-1-2024
	Екземпляр № 1	Арк 29 / 12

Теоретичні відомості та опис приладу

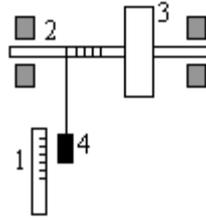


Рис. 4.1.

Для тіл правильної геометричної форми момент інерції можна знайти теоретично, а для тіл складної форми – експериментально. У даній роботі розглядається один із методів експериментального визначення моменту інерції маховика.

Прилад для визначення інерції маховика (рис. 4.1) складається з підставки з лінійкою і вала, що обертається на кулькових підшипниках. На вал насаджено маховик, момент інерції якого необхідно визначити. До вала прикріплена нитка з тягарем, який приводить у рух дану систему.

Тягар m , піднятий на висоту h , має потенціальну енергію mgh . Залишений сам на себе тягар опускатиметься, змушуючи маховик обертатися рівноприскорено. При падінні тягара його потенціальна енергія зменшується, перетворюючись у кінетичну енергію $\frac{1}{2}mv^2$ поступального руху тягара, кінетичну енергію $\frac{1}{2}I\omega^2$ обертального руху маховика і витрачається частково на роботу fh_1 по подоланню тертя. При досягненні найнижчого положення згідно з законом збереження енергії:

$$mgh_1 = \frac{mv^2}{2} + \frac{I\omega^2}{2} + fh_1. \quad (4.1)$$

У найнижчому положенні тягар, де він має тільки кінетичну енергію обертання, не зупиняється, знову підіймається на деяку висоту $h_2 < h_1$. У цьому положенні він має потенціальну енергію mgh_2 .

Зменшення потенціальної енергії при піднятті на висоту h_2 дорівнює роботі подолання опору на шляху $h_1 + h_2$:

$$mgh_1 - mgh_2 = f(h_1 + h_2). \quad (4.2)$$

Лінійну швидкість руху точок вала можна виразити через висоту піднімання h_1 і час опускання t тягара з цієї висоти:

$$v = \frac{2h_1}{t}. \quad (4.3)$$

Кутова швидкість вала (отже і маховика):

$$\omega = \frac{v}{r},$$

де r – радіус вала.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.06-05.01/ 274.00.1/Б /ОК5-1-2024
	Екземпляр № 1	Арк 29 / 13

Оскільки лінійна швидкість точок вала дорівнює швидкості поступального руху тягаря, то

$$\omega = \frac{2h_1}{rt}. \quad (4.4)$$

Підставивши (4.2) – (4.4) в формулу (4.1), після перетворень дістанемо остаточне значення для моменту інерції маховика:

$$I = mr^2 \left(\frac{gt^2 h_2}{(h_1 + h_2)h_1} - 1 \right). \quad (4.5)$$

Порядок виконання роботи

1. Виміряти штангенциркулем у трьох – чотирьох місцях діаметр вала $d (r = d/2)$. Установити, проти якої поділки n_0 шкали знаходиться основа тягаря в найнижчому положенні. Намотати нитку доти, поки основа тягаря не досягне заданої поділки на шкалі. Нехай основа тягаря при цьому знаходиться проти поділки шкали n_1 . Очевидно, в цьому разі висота, на яку піднято тягар, $h_1 = n_0 - n_1$.

2. Відпустити тягар з одночасним пуском секундоміра. У момент, коли тягар досягне найнижчого положення, вимкнути секундомір і, продовжуючи спостерігати за його підняттям, установити найвищу поділку n_2 шкали, до якої піднялася основа тягаря. Висота піднімання $h_2 = n_0 - n_2$. Дослід повторити п'ять разів. Зважити тягар на технічних терезах. Результати занести до табл. 4.1.

Таблиця 4.1

№ п/п	n_0 , см	n_1 , см	n_2 , см	h_1 , см	Δh_1 , см	h_2 , см	Δh_2 , см	d , мм	Δd , мм	t , с	Δt , с	m , г	I , кг·м ²
1													
2													
3													
4													
5													
Ср													

Обробка результатів вимірювання

1. Розрахувати за формулою (4.5) найімовірніше значення моменту інерції маховика, використовуючи середні значення.

2. Визначити значення абсолютної похибки для моменту інерції ΔI маховика і записати остаточний результат у вигляді:

$$I = I_0 \pm \Delta I.$$

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.06-05.01/ 274.00.1/Б /ОК5-1-2024
	Екземпляр № 1	Арк 29 / 14

3. Установити розміри маховика і, вважаючи його однорідним сталевим диском, визначити його момент інерції (теоретичне значення), та порівняти з експериментальним результатом.

4. За формулою (4.2) оцінити силу тертя.

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Задача[7]	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.21	3.22	3.23	3.24	3.25	3.26

Лабораторна робота 5.

Правило рівноваги важеля

Мета роботи – експериментально перевірити закон збереження механічної енергії та закон збереження імпульсу.

Прилади і матеріали: вимірювальна установка, набір куль, технічні ваги, прес-форма.

Теоретичні відомості

Мірою взаємодії тіл при ударі, крім ударної сили F , може бути зміна її імпульсу за час удару:

$$\int_0^t F dt = F_{\text{cp}} \cdot t, \quad (6.1)$$

де F_{cp} – середня сила удару; t – тривалість удару.

Позначивши $\Delta(mv)$ зміну імпульсу тіла за час удару, дістанемо з другого закону динаміки:

$$F_{\text{cp}} \cdot t = \Delta(mv). \quad (6.2)$$

Розсіяння механічної енергії при ударі характеризується коефіцієнтом відновлення енергії ε , що визначається як відношення сумарної кінетичної енергії E'_k тіл після удару до сумарної кінетичної енергії E_k тіл до удару:

$$\varepsilon = \frac{E'_k}{E_k}. \quad (6.3)$$

Значення коефіцієнта відновлення залежить від фізичних властивостей матеріалів, форми і маси тіл, що співударяються. Для абсолютно пружного удару $\varepsilon = 1$. У цьому випадку кінетична енергія тіл до удару дорівнює кінетичній енергії тіл після удару: $E'_k = E_k$. Якщо після удару утворюється єдине тіло, то удар називають абсолютно непружним, для нього $\varepsilon < 1$.

У даній роботі розглядається центральне зіткнення куль, підвішених у вигляді маятників, при чому одна куля до удару знаходиться в спокої ($v_2 = 0$).

Застосовуючи до тіл, що зіткнулися, закон збереження імпульсу, можна записати:

для пружного удару

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.06-05.01/ 274.00.1/Б /ОК5-1-2024
	Екземпляр № 1	Арк 29 / 15

$$m_1 \mathbf{v}_1 = m_1 \mathbf{u}_1 + m_2 \mathbf{u}_2, \quad (6.4)$$

для непружного удару

$$m_1 \mathbf{v}_1 = (m_1 + m_2) \mathbf{u}, \quad (6.5)$$

де m_1, m_2 – маси куль, що зіткнулися; \mathbf{v}_1 – швидкість першої кулі до удару; $\mathbf{u}_1, \mathbf{u}_2$ – швидкості першої та другої куль після пружного удару; \mathbf{u} – спільна швидкість куль після непружного удару.

Швидкість кулі до і після зіткнення можна визначити, знаючи висоту, з якої тіло починає рух до удару, і висоту його підйому після удару. Без урахування втрат енергії на подолання сил опору на основі закону збереження енергії маємо:

$$v_1 = \sqrt{2gh_1}, \quad u_1 = \sqrt{2gh'_1}, \quad u_2 = \sqrt{2gh'_2},$$

де h_1 – висота падіння першої кулі; h'_1, h'_2 – висота підняття відповідно першої і другої кулі після зіткнення.

Оскільки на установці безпосередньо вимірюють кути, на які відскакують кулі після удару, і кут відхилення першої кулі, швидкості куль будемо визначати із співвідношень:

$$v = 2\sqrt{gl} \sin \frac{\alpha_v}{2}, \quad u_1 = 2\sqrt{gl} \sin \frac{\alpha_1}{2},$$

$$u_2 = 2\sqrt{gl} \sin \frac{\alpha_2}{2}, \quad (6.6)$$

де l – відстань від точки підвісу до центра куль; α_v – кут відхилення; α_1, α_2 – кути відскоку відповідно першої і другої кулі.

Опис установки

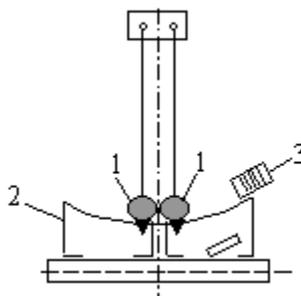


Рис. 6.1.

Дві кулі, підвішені на біфілярних підвісах, можуть коливатися вздовж проградуйованої шкали.

Перша куля може утримуватись електромагнітом, який установлюється в довільному місці правої шкали. Шкали, а також місця кріплення біфілярних підвісів можуть перемішуватись. Це необхідно для зміни міжцентрової відстані для різних куль (у спокої кулі повинні дотикатись одна до одної). Для виготовлення непружної (пластилінової) кулі є спеціальна прес-форма.

Порядок виконання роботи

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.06-05.01/ 274.00.1/Б /ОК5-1-2024
	Екземпляр № 1	Арк 29 / 16

Завдання 1. Визначити коефіцієнт відновлення енергії для пружного і для непружного ударів.

1. Перевірити горизонтальність положення основи приладу. У разі необхідності встановити його за рівнем з допомогою гвинтів.

2. На технічних терезах визначити масу куль: m_1 , m_2 (пружних) і m'_2 (непружної).

3. Використовуючи електромагніт, здійснити удар малої правої кулі з великою лівою, що знаходиться в спокої, при куті відхилення α_v , заданому викладачем, зняти відлік кутів відхилення обох куль α_1 і α_2 після удару. Оскільки одному спостерігачеві практично неможливо зняти одразу два відліки, то роблять так: спочатку беруть відлік кута відхилення однієї кулі, а потім виконують повторний удар і беруть відлік кута відхилення другої. Удар з одного положення повторити не менше 10 разів, що значить для кожної кулі дістати не менше ніж 5 значень кутів відхилення α_1 і α_2 .

4. Результати вимірювань записати в табл. 6.1.

Таблиця 6.1

№ п/п	m_1 , г	m_2 , г	α_v , град	α_1 , град	α_2 , град	u_1 , м/с	u_2 , м/с	v , м/с	ε	$\Delta\varepsilon$
1										
2										
3										
4										
5										

5. Зняти ліву пружну кулю і замінити її непружною (пластиліною). Повторити всі операції в тій самій послідовності.

6. Результати вимірювань записати в табл. 6.2.

Таблиця 6.2

№ п/п	m_1 , г	m_2 , г	α_v , град	α , град	u , м/с	v , м/с	ε	$\Delta\varepsilon$
1								
2								
3								
4								
5								

7. Виміряти довжину підвісу куль, за формулами (6.6) розрахувати швидкості v_1 , u_1 , u_2 куль.

8. За формулою

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.06-05.01/ 274.00.1/Б /ОК5-1-2024
	Екземпляр № 1	Арк 29 / 17

$$\varepsilon = \frac{m_1 \sin^2 \frac{\alpha_1}{2} + m_2 \sin^2 \frac{\alpha_2}{2}}{m_1 \sin^2 \frac{\alpha_B}{2}}, \quad (6.7)$$

одержаною на основі (6.3) і (6.6), визначити коефіцієнти відновлення енергії для пружного і непружного ударів.

9. Визначити похибки вимірювання ε .

Завдання 2. Перевірити закон збереження імпульсу для пружного і непружного ударів. Із виразу (6.4) для пружного удару:

$$u_2 = \frac{2m_1 v_1}{m_1 + m_2}, \quad u_1 = \frac{(m_1 - m_2)v_1}{m_1 + m_2}, \quad (6.8)$$

а з виразу (6.5) для непружного удару:

$$u = \frac{m_1 v_1}{m_1 + m_2}. \quad (6.9)$$

Закон збереження імпульсу перевіряють порівнюванням значень швидкостей u_1 , u_2 та u , знайдених за формулами (6.8) і (6.9), з їх експериментальними значеннями, знайденими за кутом відхилення (див. формули (6.6)).

При виконанні завдання 2 необхідно:

- 1) проробити всі операції, вказані в завданні 1;
- 2) визначивши швидкості u_1 , u_2 і u за формулами (6.8) і (6.9), розрахувати теоретичні значення швидкостей u_1 , u_2 і u ;
- 3) визначити швидкості u_2 і u за кутом відхилення куль (див. формули (6.6));
- 4) оцінити похибки, з якими визначили швидкості u_1 , u_2 і u .

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Задача [7]	2.84	2.85	2.86	2.87	2.88	2.90	2.92	2.93	2.69	2.71

Лабораторна робота 6.

Вимірювання модуля Юнга.

Мета роботи – навчитись вимірювати модуль Юнга.

Прилади і матеріали: установка для вимірювання видовження дротини при її навантаженні, набір тягарів, мікрометр, лінійка.

Теоретичні відомості та опис установки

Якщо до тіла прикласти взаємно зрівноважені сили, то тіло деформується. Деформацію називають пружною, якщо після зняття сил відновлюються початкова форма і розміри тіла. При розтягу (стиску) однорідного стержня його видовження (скорочення) δL у межах пружності прямо пропорційне

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.06-05.01/ 274.00.1/Б /ОК5-1-2024
	Екземпляр № 1	Арк 29 / 18

прикладеній силі F , початковій довжині L і обернено пропорційне площі поперечного перерізу:

$$\delta L = \frac{1}{E} \frac{FL}{S}, \quad (5.1)$$

де $\frac{1}{E} = \alpha$ – коефіцієнт пружності, який залежить тільки від матеріалу стержня. Цю закономірність установив Гук і її називають законом Гука.

Величина E в (5.1) використовується як кількісна характеристика пружних властивостей матеріалу і називається модулем Юнга.

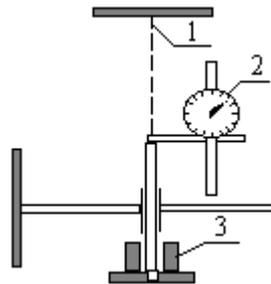


Рис. 5.1.

У даній роботі треба експериментально дослідити деформацію розглянутої сталюї дротини, перевірити виконання закону Гука і визначити модуль Юнга матеріалу дротини.

Вимірвальна установка складається з дротини L , індикатора видовження, тягарів відомої маси. Модуль Юнга E для дротини круглого перерізу діаметром d дорівнює:

$$E = \frac{4F_0L}{\pi d^2 \delta L_{\text{ср}}}, \quad (5.2)$$

де F_0 – розтягуюча сила, викликана одним тягарем; $\delta L_{\text{ср}}$ – середнє значення видовження під дією сили F_0 .

Порядок виконання роботи

1. Виміряти довжину і діаметр дротини кілька разів, результати занести в графи 2, 3 табл. 5.1.

Таблиця 5.1

№ п/п	L , м	d , мм	Сила розтягу (стиску), H	Видовження δL , мм, при						$\overline{\delta L}$, мм	$\Delta(\delta L)$, мм
				навантаженні	розвантаженні	навантаженні	розвантаженні	навантаженні	розвантаженні		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1											
2											
3											
4											
5											

2. Установити індикатор на нуль при ненавантаженій дротині.

3. Послідовно навантажувати дротину тягарями однакової маси (тягарі кладуть на шальку без удару) і записувати значення видовження дротини за індикатором. Потім дротину розвантажити в зворотному порядку. Покази індикатора записати в графі 5 – 6. Експеримент повторити ще два рази і заповнити графі 7 – 10.

4. Для кожного навантаження знайти середнє значення видовження дротини і заповнити графу 11.

5. Побудувати графік залежності видовження дротини від розтягуючої сили (згідно з даними граф 4 та 11).

6. За формою графіка зробити висновок про виконання (чи порушення) закону Гука.

7. За даними графі 11 визначити середнє значення $\delta L_{\text{ср}}$ розтягу дротини під дією одного тягара F_0 , за формулою (5.2) – модуль Юнга матеріалу дротини і порівняти його з табличним значенням для сталі.

8. Знайти похибки вимірювання і знайденого значення модуля Юнга.

Остаточний результат записати у вигляді:

$$E = E_0 \pm \Delta E .$$

Контрольні запитання

1. Яку деформацію називають пружною, пластичною? У чому суть закону Гука?
2. Яка фізична суть коефіцієнта пружності та модуля Юнга?
3. Як визначити потенціальну енергію пружної деформації?
4. Вивести формулу потенціальної енергії пружнодеформованого стержня.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.06-05.01/ 274.00.1/Б /ОК5-1-2024
	Екземпляр № 1	Арк 29 / 20

5. Описати типову діаграму напруг для металічного зразка.
6. Як описується деформація здвигу?

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Задача [8]	4.43	4.44	4.45	4.46	4.47	4.43	4.44	4.45	4.46	4.47	4.43	4.44

Лабораторна робота 7.

Послідовне і паралельне з'єднання опорів. Закон Ома.

Основні теоретичні положення:

1. Взаємозв'язок між параметрами електронного газу та струмом в матеріалі: $\vec{j} = q \cdot n \cdot \vec{V}_{дрейфу}$;

2. Закон Ома.

а) для однорідної ділянки кола $I = \frac{U}{R}$;

б) для неоднорідної ділянки кола $I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2 + \varepsilon}{R + r}$;

в) для замкнутого кола $I = \frac{\varepsilon}{R + r}$;

г) в диференціальній формі $\vec{j} = \sigma \vec{E}$,

де $U = \varphi_1 - \varphi_2$ - напруга на ділянці кола, ε - ЕРС, R - зовнішній і r - внутрішній опори, σ - питома електропровідність, $j = \frac{I}{S}$ густина струму, S - переріз провідника.

3. Закон Джоуля-Ленца

$$Q = IUt = I^2 R t = \frac{U^2}{R} t.$$

4. Опір ділянки провідника $R = \rho \frac{l}{S'}$,

де ρ - питомий опір, l - довжина, S - площа поперечного перерізу провідника.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.06-05.01/ 274.00.1/Б /ОК5-1-2024
	Екземпляр № 1	Арк 29 / 21

Типові задачі

1. Знайти середню швидкість електронів упорядкованого руху електронів в мідному провіднику товщиною $0,5\text{см}$, якщо концентрація вільних електронів в ньому 10^{22}см^{-3} , а сила струму 10^4А . Знайти середню швидкість хаотичного руху електронів при температурі $T=300\text{К}$.

Рекомендація: шукати потрібні формули і рахувати.

Пам'ятати, що кінетична енергія хаотичного руху зв'язана з абсолютною температурою:

$$\frac{m \cdot V_T^2}{2} = \frac{3}{2} k_B \cdot T$$

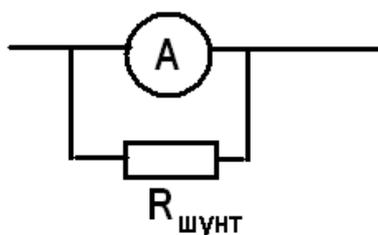
2. Сила струму в провіднику рівномірно зростає від $I_0 = 0$ до $I = 2\text{А}$ протягом $t = 5\text{с}$. Знайти заряд, який протікає в провіднику за цей час.

Рекомендація: $I = \frac{dQ}{dt}$, $dQ = I \cdot dt$, $Q = \int_{t_1}^{t_2} I(t) \cdot dt$

3. Знайти густину струму, якщо за 2с через провідник перерізом $1,6\text{мм}^2$ пройшло $2 \cdot 10^{19}$ електронів.

4. Зашунтований амперметр вимірює струми силою до $I=10\text{А}$. Яку максимальну силу струму можна ним поміряти без шунта, якщо опір амперметра $R_a = 0,02\text{Ом}$, а опір шунта $R_{шунт} = 5\text{мОм}$?

Рекомендація: схема включення амперметра з шунтом



Якщо амперметр працює з шунтом, то опір системи є :

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_a} + \frac{1}{R_{шунта}}$$

Напруга на системі без шунта: $U = I \cdot R_a$

Напруга на системі з шунтом: $U = I_{\text{без шунта}} \cdot R$

Порівняємо:

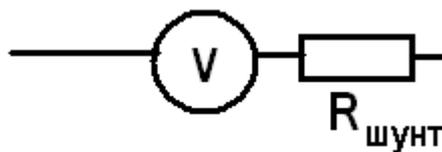
$$U = I_{\text{без шунта}} \cdot R = I \cdot R_a$$

$$I_{\text{без шунта}} = I \cdot R_a / R$$

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.06-05.01/ 274.00.1/Б /ОК5-1-2024
	Екземпляр № 1	Арк 29 / 22

5. Який додатковий опір необхідно приєднати до вольтметра, що має внутрішній опір 5кОм , щоб граничне значення вимірюваної вольтметром напруги збільшилось в 5 раз?

Рекомендація: схема включення вольтметра з шунтом:



Якщо вольтметр працює з шунтом, то опір системи є :

$$R = R_V + R_{\text{шунта}}$$

Струм крізь ланцюг без шунта: $I = U / R_V$

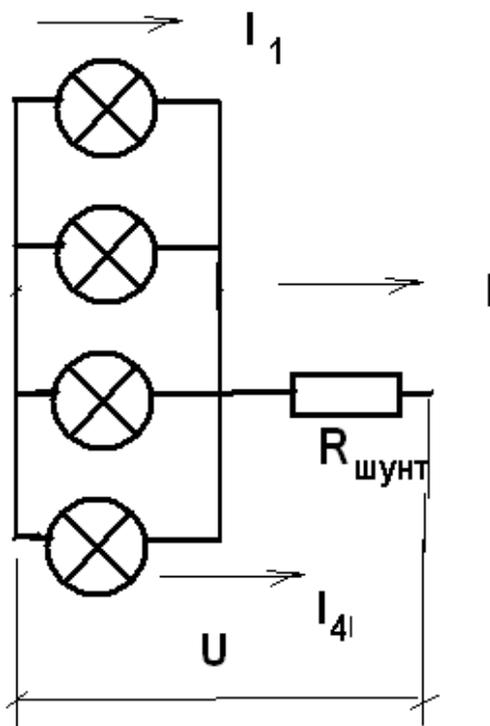
Струм крізь ланцюг з шунтом: $I = U_{\text{шунт}} / R$

Порівняємо:

$$U / R_V = U_{\text{шунт}} / R$$

$$U = U_{\text{шунт}} R_V / R$$

6. Чотири лампочки, розраховані на напругу 3В і силу струму $0,3\text{А}$ треба ввімкнути паралельно і живити від джерела напругою $5,4\text{В}$. Який додатковий опір треба ввімкнути послідовно з лампочками?



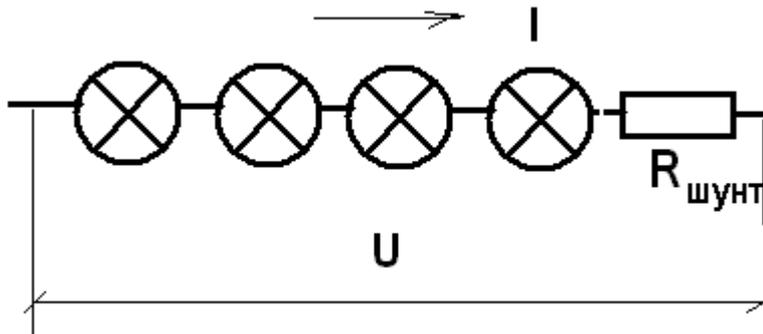
$$I = 4I_1$$

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.06-05.01/ 274.00.1/Б /ОК5-1-2024
	Екземпляр № 1	Арк 29 / 23

$$U = U_{\text{Л}} + U_{\text{шунт}}$$

$$U = 5.4 \text{ В}; \quad U_{\text{Л}} = 3 \text{ В} \quad U = 2.4 \text{ В};$$

$$R_{\text{шунта}} = \frac{U_{\text{шунт}}}{I} = \frac{U_{\text{шунт}}}{4I_1} = \frac{2.4 \text{ В}}{4 \cdot 0.3 \text{ А}} = 2 \text{ Ом};$$



7. Визначити внутрішній опір і ЕРС джерела струму, якщо в зовнішньому колі при силі струму $I_1 = 4 \text{ А}$ виділяється потужність $P_1 = 10 \text{ Вт}$, а при силі струму $I_2 = 6 \text{ А}$ - потужність $P_2 = 12 \text{ Вт}$.

Дано:

$$I_1 = 4 \text{ А}$$

$$I_2 = 6 \text{ А}$$

$$P_1 = 10 \text{ Вт}$$

$$P_2 = 12 \text{ Вт}$$

$$r - ? \quad \varepsilon - ?$$

Розв'язок. Потужність, що виділяється в зовнішньому

$$\text{колі } P_1 = I_1^2 R_1 \quad \text{і}$$

$$P_2 = I_2^2 R_2'$$

Звідси можемо знайти зовнішні опори R_1 і R_2 :

$$R_1 = \frac{5}{8} \text{ Ом}, \quad R_2 = \frac{1}{3} \text{ Ом}.$$

Запишемо закон Ома для повного кола

$$\begin{cases} I_1 = \frac{\varepsilon}{R_1 + r} \\ I_2 = \frac{\varepsilon}{R_2 + r} \end{cases}$$

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.06-05.01/ 274.00.1/Б /ОК5-1-2024
	Екземпляр № 1	Арк 29 / 24

Розділивши почленно друге рівняння на перше, отримаємо

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{R_1 + r}{R_2 + r};$$

Звідси знаходимо r :

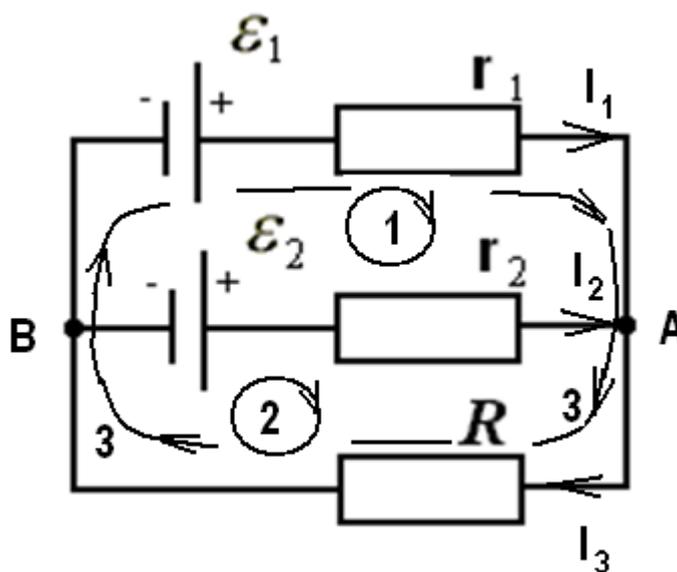
$$I_2 R_2 + I_2 r = I_1 R_1 + I_1 r.$$

$$r = \frac{I_1 R_1 - I_2 R_2}{I_2 - I_1} = \frac{4 \cdot \frac{5}{8} - 6 \cdot \frac{1}{3}}{6 - 4} = \frac{0,5}{2} = 0,25(\text{Ом})$$

$$\varepsilon = I(R_1 + r) = 4 \cdot \left(\frac{5}{8} + \frac{1}{4} \right) = 3,5(\text{В}).$$

Відповідь: $r = 0,25 \text{ Ом}$, $\varepsilon = 3,5 \text{ В}$.

8. Два джерела струму з ЕРС $\varepsilon_1 = 11 \text{ В}$, $\varepsilon_2 = 4 \text{ В}$ з'єднано з зовнішнім опором як показано на рис. Внутрішні опори джерел дорівнюють відповідно $r_1 = 0,5 \text{ Ом}$, $r_2 = 1 \text{ Ом}$. Знайти сили струмів в усіх ділянках кола.



При розрахунку складних ланцюгів постійного струму із застосуванням правил Кирхгофа необхідно:

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.06-05.01/ 274.00.1/Б /ОК5-1-2024
	Екземпляр № 1	

1. Вибрати довільний напрямок струмів на всіх ділянках кола; дійсний напрямок струмів стане відомим при аналізі рішень рівнянь завдання: якщо шуканий струм вийде позитивним, то його напрямок було обрано правильно, негативним - його дійсний напрям протилежно обраному. (Виконано)
2. Вибрати напрямок обходу контуру і строго його дотримуватися; падіння напруги на опорі IR позитивно, якщо струм на даній ділянці збігається з напрямком обходу, і, навпаки; ЕРС, що діють за обраним напрямом обходу, вважаються позитивними, проти - негативними. (Виконано)
3. Скласти стільки рівнянь, щоб їх число дорівнювало числу шуканих величин (в систему рівнянь повинні входити всі опору і ЕРС даної ланцюга); кожен розглянутий контур повинен містити хоча б один елемент, що не міститься в попередніх контурах, інакше вийдуть рівняння, що є простою комбінацією вихідних.

За 1 правилом для вузла А: $I_1 + I_2 - I_3 = 0$

За 2 правилом:

Контур 1: $E_1 - r_1 - r_2 - E_2$ $I_1 r_1 - I_2 r_2 = E_1 - E_2$

Контур 2: $E_2 - r_2 - R$ $I_2 r_2 + I_3 R = E_2$

Контур 3: $E_1 - r_1 - R$ $I_1 r_1 + I_3 R = E_1$

Розбираємося з математичним забезпеченням:

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

$$I_1 r_1 - I_2 r_2 = E_1 - E_2$$

$$I_2 r_2 + I_3 R = E_2$$

$$I_1 r_1 + I_3 R = E_1$$

Рахуємо кількість рівнянь и кількість змінних, що шукаємо.

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

$$I_2 r_2 + I_3 R = E_2$$

$$I_1 r_1 + I_3 R = E_1$$

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.06-05.01/ 274.00.1/Б /ОК5-1-2024
	Екземпляр № 1	Арк 29 / 26

Обрані рівняння простіше розв'язати.

$$I_2 r_2 + (I_1 + I_2)R = E_2$$

$$I_1 r_1 + (I_1 + I_2)R = E_1$$

$$I_1 = \frac{E_2 - I_2 R - I_2 r_2}{R}$$

Далі розв'язати самостійно.

Лабораторна робота 8.

Вимірювання довжин хвилі світла різних кольорів

Мета роботи – навчитися визначати характеристики електростатичного поля.

Прилади і матеріали: електролітична ванна, набір електродів, джерело струму, гальванометр, вольтметр.

Теоретичні відомості

Усякий нерухомий електричний заряд створює в оточуючому просторі електростатичне поле, яке можна виявити внесенням пробного заряду в будь-яку точку поля. Силову характеристикою поля є його напруженість E , що дорівнює силі, з якою поле діє на одиницю заряду, вміщеного в дану точку поля: $E = \frac{F}{q_0}$, де q_0 – пробний заряд.

Графічно поле прийнято зображати силовими лініями. Лінія, дотична до якої в кожній точці збігається за напрямом з вектором напруженості електростатичного поля, називається силовою. Значить, силова лінія у кожній точці, через яку вона проходить, визначає напрям сили, що діє на позитивний заряд, поміщений у дану точку поля. Густина силових ліній характеризує числове значення напруженості. Через одиничну площадку, поставлену перпендикулярно до силових ліній однорідного поля, прийнято проводити число ліній, що дорівнює E .

Енергетичною характеристикою поля є потенціал, вимірюваний роботою, що виконується силами поля при переміщенні одиничного позитивного заряду з заданої точки поля в точку, що знаходиться за межами поля. Робота поля, створюваного зарядом Q , з переміщення заряду q з однієї точки в іншу: $A = q(\varphi_1 - \varphi_2)$.

Потенціал φ електростатичного поля є функцією координат. Можна виділити сукупність точок з одним і тим самим потенціалом. Для поля, створюваного точковим зарядом, такі сукупності точок утворюють концентричні сферичні

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.06-05.01/ 274.00.1/Б /ОК5-1-2024
	Екземпляр № 1	Арк 29 / 27

поверхні. Геометричне місце точок рівного потенціалу називають екіпотенціальною поверхнею.

Розглянемо дві нескінченно близькі екіпотенціальні поверхні φ і $\varphi + d\varphi$ (рис. 13.1). Вектор напруженості направлений проти нормалі (нормаль направлена в бік збільшення потенціалу) до екіпотенціальної поверхні φ і перетинає екіпотенціальні поверхні в точках a і b . Відстань $d_2 = a - b$ – найкоротша від точки b до другої екіпотенціальної поверхні.

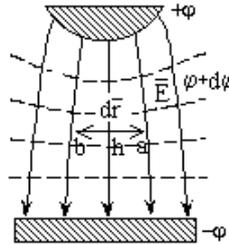


Рис. 13.1.

При переміщенні одиничного позитивного заряду з точки b в точку a виконується робота $dA = E dr$ ($q = 1$).

Виражаючи цю роботу через різницю потенціалів, дістаємо:
 $dA = \varphi - (-\varphi + d\varphi) = -d\varphi$.

Порівнюючи здобуті для роботи вирази, знаходимо:

$$E = -\frac{d\varphi}{dr}$$

Величина $\frac{d\varphi}{dr}$ характеризує швидкість зміни потенціалу в напрямі нормалі n і називається градієнтом потенціалу.

Градієнт потенціалу є величина векторна:

$$E = -\mathbf{grad} \varphi,$$

$$E = -\frac{d\varphi}{dr} \mathbf{n}, \quad (13.1)$$

де n – одиничний вектор нормалі до поверхні.

Значення $\mathbf{grad} \varphi$ в проєкціях на координатні осі може бути виражено у вигляді:

$$\mathbf{grad} \varphi = i \frac{\partial \varphi}{\partial x} + j \frac{\partial \varphi}{\partial y} + k \frac{\partial \varphi}{\partial z},$$

де i, j, k – орти в напрямку координатних осей.

Поля для яких виконуються співвідношення (13.1), називають потенціальними, або консервативними. Робота сил такого поля не залежить від форми шляху переходу, а залежить від положення початкової і кінцевої точок.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.06-05.01/ 274.00.1/Б /ОК5-1-2024
	Екземпляр № 1	Арк 29 / 28

Опис установки

Установка для вивчення електростатичного поля складається з ванни 1, наповненої електролітом, і з двох електродів 2 довільної форми (рис. 13.2).

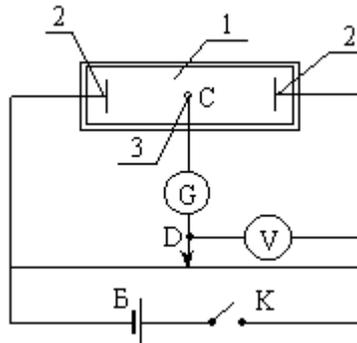


Рис. 13.2.

Щоб визначити потенціал у будь-якій точці поля, використовують метод зонду. Зонд вмикається в діагональ моста Уїтстона.

Нехай зонд встановлений у деякій точці С поля, потенціал якої необхідно визначити. Переміщуючи повзун реохорда, знаходимо так точку D, щоб її потенціал дорівнював потенціалу точки С. У цьому разі струм через гальванометр не проходить. Значення потенціалу точки відносно правого електрода можна визначити вольтметром V. Вплив поляризації усувається тим, що для живлення моста Уїтстона замість постійного струму використовується змінний.

Оскільки умови рівноваги моста не залежать від напруги, що подається на реохорд, то перехід на змінний струм не приведе ні до яких спотворень. Як індикатор нуля в цьому разі можна використати будь-який чутливий прилад змінного струму (осцилограф, гальванометр тощо).

Порядок виконання роботи

1. Скласти схему (конфігурацію електродів і їх розміщення вказує викладач).
2. Установити зонд поблизу правого електрода, а перемикач гальванометра – в положення “Грубо”.
3. Увімкнути джерело струму і, переміщуючи повзунок реохорда, встановити напругу U_1 за вольтметром згідно із вказівками викладача. Потрібно завчасно визначити необхідну кількість екіпотенціальних ліній. Стрибки потенціалу визначають, ділячи покази вольтметра V на кількість ліній.
4. Переміщуючи зонд, відшукати таку точку поля, щоб струм не проходив через гальванометр. Установити перемикач у положення “Точно” і зондом урівноважити міст.
5. Відмітити на папері положення точки із заданим потенціалом $\varphi_1 = U_1$.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.06-05.01/ 274.00.1/Б /ОК5-1-2024
	Екземпляр № 1	Арк 29 / 29

6. Пересуваючи зонд, знайти точки з потенціалом φ_1 . Багаторазовим переміщенням зонда накреслити першу еквіпотенціальну лінію і записати значення потенціалу.

7. Установити напругу U_2 , аналогічно відшукати наступну еквіпотенціальну лінію.

8. Для поля, еквіпотенціальні лінії якого знайдено, побудувати сім'ю силових ліній.

9. Визначити максимальну й мінімальну напруженості поля на одній з силових ліній:

$$E_{\max} = \frac{\Delta\varphi}{\Delta r_{\min}}, \quad E_{\min} = \frac{\Delta\varphi}{\Delta r_{\max}},$$

де $\Delta\varphi$ – різниця потенціалів між сусідніми еквіпотенціальними лініями; Δr_{\min} , Δr_{\max} – відповідно мінімальна і максимальна відстань між ними, виміряна вздовж осьової лінії.

10. Дослідити електростатичне поле для таких конфігурацій електродів: 1 – поле плоского конденсатора; 2 – поле різнойменних зарядів (диполя); 3 – поле однойменних зарядів; 4 – поле системи точковий заряд – площина; 5 – поле системи вістря – вістря; 6 – поле системи вістря – площина; 7 – поле сферичного конденсатора і площини.

Контрольні запитання

1а. Чому дорівнює потенціальна енергія одиничного позитивного заряду в полі, створеному точковим зарядом?

2а. Покажіть, що силові лінії напруженості поля ортогональні до еквіпотенціальних ліній.

1б. Дайте визначення напруженості електростатичного поля, потенціалу.

2б. Поясніть зв'язок між потенціалом і напругою поля.

3б. Виведіть розмірність діелектричної сталої ε_0 .

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Задача	9.13	9.14	9.15	9.24	9.25	9.26	9.27	9.28	9.29	9.10