

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О.М.БЕКЕТОВА**

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

**ДО ВИКОНАННЯ КОМП'ЮТЕРНИХ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ
З ФІЗИКИ**

(для студентів 1 курсу денної і заочної форм навчання бакалаврів за всіма
напрямами підготовки в університеті)

ХАРКІВ – ХНУМГ ім. О. М. Бекетова – 2016

Методичні вказівки до виконання комп'ютерних лабораторних робіт з фізики (для студентів 1 курсу денної і заочної форм навчання бакалаврів за всіма напрямками підготовки в університеті) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова; уклад.: О. М. Петченко, А. В. Безуглий, Є. І. Назаренко. – Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2016. – 38 с.

Укладачі: О. М. Петченко, А. В. Безуглий, Є. І. Назаренко

Рецензент канд. фіз.-мат. наук, доц. А. С. Сисоєв

Рекомендовано кафедрою фізики,
протокол № 6 від 6 лютого 2014 р.

ПЕРЕДМОВА

Розвиток дистанційного навчання, підвищення ролі і відповідно збільшення часу, який відводиться на самостійну роботу студентів стаціонару, вимагає більш широкого застосування комп'ютерних технологій при викладанні фундаментальних дисциплін, зокрема фізики.

Комп'ютерний практикум створює віртуальну фізичну лабораторію, яка дозволяє замінити виконання лабораторних робіт в реальній лабораторії, яка вимагає дорогого обладнання, виконанням їх аналогів в комп'ютерному класі і може бути використаний в усіх формах навчання включаючи дистанційну.

В даних вказівках наведено опис комп'ютерних лабораторних робіт, який включає віртуальні лабораторні роботи з курсу фізики.

Запропонований практикум ставить завдання примусити комп'ютер досліджувати різноманітні фізичні явища. Користувач має можливість вивчати фізичні явища, впевнюватися в справедливості законів фізики, виконуючи «фізичні досліди» на універсальній експериментальній установці – комп'ютері. Комп'ютерні програми дозволяють отримувати результати в широких межах зміни параметрів (фізичних величин) і дають можливість студентам з творчим мисленням для більш широкого вивчення явищ, виходячи за межі завдання, поставленого в лабораторній роботі

Методичні вказівки до кожної роботи містять: основні теоретичні відомості про явища, які вивчаються, основні фізичні закони, які їх описують; опис алгоритму комп'ютерної програми та її можливостей; вказівки до виконання роботи; вказівки щодо змісту звіту; питання та завдання для самоконтролю. В додатку 1 надаються короткі відомості з теорії похибок та методичні вказівки до їх розрахунку.

Всі комп'ютерні програми, які використовуються в практикумі виконані в середовищах «Delphi» та «C++ Builder».

Лабораторна робота № 1

ВИВЧЕННЯ ВІЛЬНОГО ПАДІННЯ

1. Мета роботи

Вивчення вільного падіння тіл в полі сил тяжіння, визначення прискорення вільного падіння. Знайомство з методом обчислення похибок прямих та непрямих вимірювань.

2. Вказівки з організації самостійної роботи студентів

Прискорення вільного падіння — це прискорення, якого набуває тіло при русі в полі сили тяжіння. Згідно з законом всесвітнього тяжіння два тіла масами m_1 і m_2 взаємодіють між собою з силою пропорційною добутку їх мас і обернено пропорційною квадрату відстані між ними:

$$F = \gamma \frac{m_1 m_2}{r^2}, \quad (2.1)$$

де γ – гравітаційна стала.

Формула (2.1) справедлива для матеріальних точок і для тіл сферичної форми. Ця взаємодія носить назву гравітаційної. Пояснити її можна наступним чином: кожне тіло, що має певну масу, створює в навколишньому просторі гравітаційне поле, яке діє на будь-яке інше тіло.

Для тіла, яке знаходиться поблизу поверхні Землі на висоті h над її поверхнею і самою Землею сила взаємодії буде мати вигляд:

$$F = \gamma \frac{m M_3}{(R_3 + h)^2}, \quad (2.2)$$

де m – маса тіла, M_3 – маса Землі, R_3 – радіус Землі, h – висота тіла над поверхнею Землі.

Якщо висота мала порівняно з радіусом Землі вираз (2.2) можна записати в формі

$$F = \gamma \frac{m M_3}{R_3^2}. \quad (2.3)$$

Перепишемо співвідношення (2.3) у вигляді

$$F = mg, \quad (2.4)$$

де величина

$$g = \gamma \frac{M_3}{(R_3 + h)^2} \quad (2.5)$$

набуває (якщо порівняти (2.4) з другим законом Ньютона) сенсу прискорення, з яким рухається тіло внаслідок притягання до Землі. Це прискорення носить назву прискорення сили земного тяжіння. Оскільки Земля не є ідеальною сферою, то поблизу поверхні Землі сила тяжіння залежить від географічної

широти місцевості та від висоти над рівнем моря. Із збільшенням висоти над поверхнею Землі сила тяжіння зменшується обернено пропорційно квадрату відстані між центрами тіла та Землі.

В даній роботі прискорення вільного падіння g визначається за прямими вимірюваннями часу t та висоти падіння h . Відстань H , яке тіло проходить за час t визначається за кінематичним законом руху:

$$H = \frac{gt^2}{2},$$

звідки

$$\sqrt{H} = t\sqrt{\frac{g}{2}}. \quad (2.6)$$

Якщо виміряти час падіння кульки з різної висоти та побудувати графік залежності \sqrt{H} від t , то згідно з (2.6) отримаємо

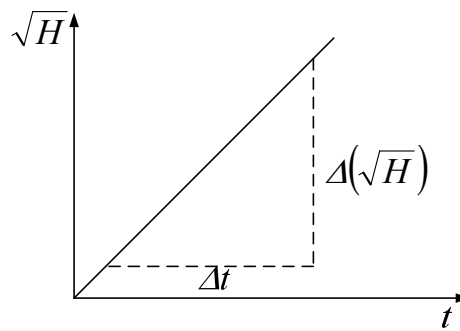


Рис. 2.1

пряму, тангенс кута нахилу якої до осі t буде дорівнювати $\sqrt{\frac{g}{2}}$. Графік

залежності \sqrt{H} від t (див. рис. 2.1) дає можливість обчислити значення g за формулою

$$g = 2\left(\frac{\Delta\sqrt{H}}{\Delta t}\right)^2 = 2\left(\frac{\sqrt{H_2} - \sqrt{H_1}}{t_2 - t_1}\right)^2. \quad (2.7)$$

3. Опис комп'ютерної програми

Програма моделює рух тіла в середовищі в широких межах зміни густини середовища ρ та коефіцієнта в'язкості η , а також в частинному випадку, коли, $\rho \cong 0$ $\eta \cong 0$, тобто, у вакуумі. Шлях падіння кульки вимірюється за шкалою, на якій нанесені поділкі в м. Час падіння кульки вимірюється секундоміром. На екрані дисплею виведені кнопки регулювання секундоміра для вмикання, вимикання та скидання до нуля. Програма дозволяє зупинити процес падіння в будь-який момент, а потім або продовжити із збереженими значеннями величин на цей момент часу, або повернутися до початкового моменту.

4. Інструкція користувачу

1. Встановіть у вікні інтерфейсу «рідина N » — «інша». Задайте значення густини $\rho = 0,000001 \text{ кг/м}^3$, в'язкості $\eta = 0,00000001 \text{ Па}\cdot\text{с}$. Скиньте секундомір, натиснувши на «Знову».
2. Встановіть висоту, згідно з № варіанту таблиці 4.1. Одразу ж після запуску програми, ввімкніть секундомір. В момент досягнення кулькою дна посудини, вимкніть секундомір. Занесіть в таблицю 2 значення висоти та часу падіння. Повторіть вимірювання 3-5 разів для кожного з шести значень висоти падіння. Висоту падіння кожного разу збільшуйте, починаючи з початкового, наведеного в таблиці 1.1 на 2 м. Занесіть дані в таблицю 4.2. Обчисліть середнє значення $\langle t \rangle$ для кожного значення висоти.

Таблиця 4.1

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
R , см	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
H , м	10	10	10	10	10	10	20	20	20	20	20	20
m , г	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6

3. Побудуйте графік залежності \sqrt{H} від $\langle t \rangle$. Обчисліть величину g за формулою (2.7).
4. Обчисліть похибки вимірювань.
5. Проведіть експеримент пункту 2 для випадку, коли кулька падає в реальних умовах у повітрі. Для цього задайте значення густини середовища $\rho = 1,29 \text{ кг/м}^3$, коефіцієнта в'язкості $\eta = 17,2 \cdot 10^{-6} \text{ Па}\cdot\text{с}$. результати занесіть в таблицю подібну до таблиці 4.2 побудуйте залежність \sqrt{H} від t на одному й тому ж графіку, що й для вакууму.

Таблиця 4.2

№	Час падіння, с					
	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6
1						
2						
3						
4						
середнє значення						
T						

5. Зміст звіту та вказівки до обробки і аналізу результатів

В звіті по роботі представити дані вимірювань, занесені в таблиці, залежності \sqrt{H} від t для вакууму та повітря, представлені на одному рисунку, висновки результатів порівняння графіків, результати обчислення похибок вимірювання, результат обчислення прискорення вільного падіння у вигляді $g = \langle g \rangle \pm \Delta g$ (у вакуумі та у повітрі, порівняння величини g з табличним значенням для даної широти місцевості).

6. Тести для самоперевірки

1. Яка мета даної роботи?
2. Як залежить величина прискорення вільного падіння від географічної широти місцевості та висоти над рівнем моря?
3. Яким кінематичним законом описується вільне падіння тіл?
4. Як визначається прискорення вільного падіння в даній роботі?
5. Які вимірювання називають прямими?
6. Які вимірювання називають непрямыми?
7. Як обчислюються похибки при прямих вимірюваннях?
8. Як обчислюються похибки при непрямих вимірюваннях?

Лабораторна робота № 2

ВИМІРЮВАННЯ КОЕФІЦІЄНТА В'ЯЗКОСТІ РІДИНИ ЗА МЕТОДОМ СТОКСА

1. Мета роботи

Вивчення особливостей руху кульки у в'язкій рідині та визначення в'язкості рідини за методом Стокса.

2. Вказівки до організації самостійної роботи

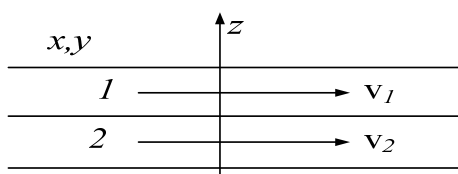


Рис. 2.1

Уявімо собі площину x,y , яка рухається в рідині або газі (див. рис. 2.1) зі швидкістю v_1 . Шар рідини (або газу), що безпосередньо прилягає до площини, прилипає до неї і починає рухатися з такою ж швидкістю. Наступний шар 2, що знаходиться нижче, теж почне рухатися, втягуючи в рух інші подальші шари речовини. Очевидно, що швидкість кожного з наступного шару буде зменшуватись в напрямку, перпендикулярному напрямку руху ($v_1 > v_2$). В такому випадку молекули верхнього шару 1 в середньому будуть мати більшу кількість руху (більше значення імпульсу ніж нижчого). Таким чином буде відбуватися гальмування кожного попереднього шару наступним, буде виникати сила, яка перешкоджатиме переміщенню речовини (рідини або газу). Зміна імпульсу тіла за одиницю часу дорівнює силі, що діє на це тіло. Отже обидві шари рідини (або газу) діятимуть одне на одне з рівними за величиною, та протилежними за напрямком силами, які лежать в площині паралельній площині x,y ; сили, які діють нижній шар, прискорюють його, сили, що діють на верхній шар, гальмують його рух. Це ніщо інше як сили тертя. Причиною виникнення яких є перенос кількості руху від одного шару до іншого. Оскільки вони виникають між шарами речовини, вони носять назву сил внутрішнього тертя або сил в'язкості.

Обчислимо швидкість зміни швидкості в напрямку осі z (тобто перпендикулярно напрямку швидкості шарів) $\frac{\Delta v}{\Delta z}$ (Δz -відстань між шарами). Якщо швидкість шарів рівномірно зростає із збільшенням координати z , то $\frac{\Delta v}{\Delta z}$ буде сталою для всієї маси рідини або газу.

Ньютон встановив для сили в'язкості F наступний закон

$$F = \eta S \frac{\Delta v}{\Delta z}, \quad (2.1)$$

Де η – коефіцієнт в'язкості, або коефіцієнт внутрішнього тертя, S – площа розмежування сусідніх шарів.

Згідно з (2.1) коефіцієнт в'язкості чисельно дорівнює силі тертя між сусідніми шарами рідини, що розташовані на відстані l м, і мають площу дотикання 1 м^2 , яка б викликала зміну швидкості між сусідніми шарами на 1 м/с .

Існують різні методи визначення коефіцієнта в'язкості рідини. Один із них, метод Стокса, базується на спостереженні падіння малої кульки в досліджуваній рідині.

Стокс розглядав повільний рух малої кульки в необмеженому середовищі, при відсутності завихрення рідини та вивів теоретично таку формулу для сили внутрішнього тертя

$$F_c = 6\pi r \eta v \quad (2.2)$$

де r – радіус кульки, η – коефіцієнт в'язкості рідини, V – швидкість кульки відносно рідини.

Розглянемо падіння малої кульки в рідині (див. рис. 2.2). В будь-який момент часу на кульку діють три сили:

1) сила тяжіння, яка направлена вертикально вниз

$$P = mg = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho g, \quad (2.3)$$

де ρ – густина речовини кульки;

2) виштовхувальна сила, або сила Архімеда, яка направлена вертикально вгору і дорівнює вазі витісненої тілом рідини

$$F_A = \frac{4}{3}\pi r^3 \delta g, \quad (2.4)$$

де δ – густина рідини;

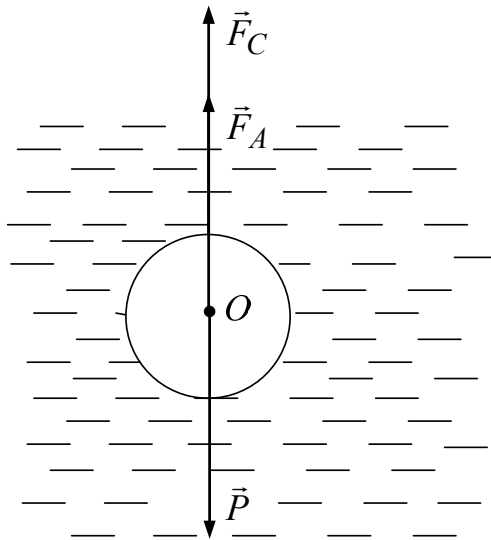


Рис. 2.2

3) сила внутрішнього тертя F_c , що направлена проти напрямку швидкості кульки.

Рівняння руху кульки, виходячи з другого закону Ньютона, можна записати у вигляді

$$\vec{F}_A + \vec{P} + \vec{F}_C = m\vec{a}, \quad (2.5)$$

Сили \vec{P} і \vec{F}_A на протязі руху падіння кульки залишаються незмінними, а сила \vec{F}_C залежить від швидкості кульки. На початку руху, коли її швидкість в початковий момент $v = 0$, ($F_c = 0$), а в подальшому вона спочатку зростає пропорційно швидкості (див. ф. (2.2)), а потім – як v^2 .

Різниця $P - F_A$, яка направлена вертикально вниз, викликає прискорення кульки. Кулька буде рухатися прискорено доти, доки всі сили, що діють на кульку, не врівноважаться. В результаті зростання швидкості кульки настає такий момент, коли

$$P - F_A - F_C = 0. \quad (2.6)$$

Підставляючи (2.2), (2.3), (2.4) в (2.6), отримуємо рівняння

$$\frac{4}{3}\pi r^3 \rho g - \frac{4}{3}\pi r^3 \delta g = 6\pi r \eta g,$$

з якого в'язкість

$$\eta = \frac{2}{9}r^2 g (\rho - \delta) \frac{1}{V}, \quad (2.7)$$

де g , ρ , δ – табличні величини, величини r та V – легко вимірюються. Одновимірний рух кульки описується за наближеними кінематичними формулами, за модифікованою схемою Ейлера (див. додаток 2).

3. Опис комп'ютерної програми

Програма моделює одновимірний рух кульки у в'язкій рідині з урахуванням всіх сил, які діють на кульку: сили тяжіння, сили Архімеда та сили внутрішнього тертя. Оскільки вимірювання часу треба виконувати для рівномірного руху, програмою передбачено виведення на екран риски в момент, коли всі сили, що діють на кульку, врівноважуються. З цього моменту рух кульки стає рівномірним. На екран виведено два секундоміри. Один вмикається з початком руху кульки і вимикається автоматично, коли кулька досягає дна судини. Другий можна вмикати і вимикати від руки, клацаючи мишкою на кнопки вмикання та вимикання. Радіус, масу кульки, висоту судини можна змінювати як завгодно, маючи тільки на увазі, що радіус кульки повинен залишатися менше за діаметр судини. Але якщо ви й забудете про це, програма нагадає, висвітить зауваження. Якщо ви виберете кульку з питомою вагою, меншою за питому вагу рідини, відразу ж висвітиться віконце з зауваженням, що кулька падати не буде. При малій різниці між густиною кульки та рідини,

кулька може пройти всю відстань, так і не досягнувши стану рівномірного руху. На панелі інтерфейсу також виведені параметри зображення, які можна змінювати, такі, як колір рідини, колір кульки, радіус зображення кульки. Тертя рідини об стінки судини, яке може виникати в реальному експерименті, коли радіус кульки та діаметр судини – величини одного порядку, не враховується.

4. Інструкція користувачу

1. Ознайомтесь з інтерфейсом програми. На панелі «Параметри установки» виберіть номер № рідини у відповідності з вашим номером варіанту. Змінюючи радіус кульки та її масу, встановіть значення ρ кульки у відповідності з таблицею 4.1 – таблицею варіантів завдань. Значення величин в віконцях можна змінювати після натискання на кнопку «Заново». Кнопка «Стоп» зупиняє експеримент із збереженням всіх величин в даний момент часу. Клацнувши кнопкою «Запуск», можна його продовжити або припинити, клацнувши мишкою на «Заново».

Таблиця 4.1

№ варіантів	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
№ рідини	№1	№1	№2	№2	№2	№2	№2	№3	№3	№4	№4	№4
R , мм	6,1	6,2	5,7	5,7	5,8	5,9	6,0	6,0	6,3	6,4	6,4	6,35
m , г	1	1	1	1,1	1,1	1,2	1,3	1	1	1	1,1	1

2. Підберіть висоту падіння таку, щоб не менше половини шляху кулька рухалася із сталою швидкістю. Поставте мітку (нижче мітки, яка висвічується в момент, коли рух стає рівномірним).
3. Виміряйте за шкалою та запишіть шлях, який кулька проходить між встановленою міткою та дном судини.
4. Заміряйте чотири – п'ять разів час проходження кулькою шляху. Занесіть дані в таблицю 4.2. Обчисліть похибки прямих та непрямих вимірювань. За похибку вимірювання довжини ΔH взяти ціну найменшої поділки шкали висоти. При обчисленні η змінними вважати величини H та t .

Таблиця 4.2

№	R , м	ΔR , м	H , м	ΔH , м	τ , с	$\Delta \tau$, с	η , Па/с	$\Delta \eta / \eta$	$\Delta \eta$, Па/с
1									
2									
3									
4									
5									

5. Зміст звіту та вказівки до обробки і аналізу результатів

В звіті повинні бути приведені мета роботи, результати вимірювань, обчислення похибок прямих вимірювань (часу), абсолютної та відносної похибки результату – в'язкості рідини, порівняння результату з табличними даними, після встановлення – яка рідини була використана в модельному експерименті.

6. Тести для самоперевірки

1. В чому полягає мета роботи?
2. Що таке сила внутрішнього тертя?
3. Які сили діють на кульку при її русі в рідині?
4. Запишіть формули для сили Стокса, сили тяжіння, сили Архімеда.
5. Запишіть рівняння руху кульки.
6. Яким буде рух кульки на початку руху?
7. Запишіть рівняння рівномірного руху кульки.

Лабораторна робота № 3

ВИЗНАЧЕННЯ СЕРЕДНЬОЇ ДОВЖИНИ ВІЛЬНОГО ПРОБІГУ МОЛЕКУЛИ

1. Мета роботи

Вивчити хаотичний рух молекул, визначити середню довжину вільного пробігу молекул.

2. Вказівки до організації самостійної роботи

Двовимірний динамічний модель ідеального газу базується на загальних положеннях молекулярно-кінетичної теорії (МКТ):

1. Всі речовини складаються з молекул (або атомів).
2. Атоми (молекули) знаходяться в стані хаотичного руху.
3. Молекули і атоми взаємодіють між собою. Характер взаємодії в решті решт і визначає: буде речовина газом, рідиною чи твердим тілом.

Внаслідок хаотичного (теплого) руху між молекулами безперервно відбуваються зіткнення. Рухаючись рівномірно і прямолінійно молекула проходить деякий шлях між двома послідовними зіткненнями, який називається довжиною вільного пробігу. Довжина вільного пробігу весь час змінюється. Середня відстань, яку проходить молекула між двома послідовними ударами, носить назву середньої довжини вільного пробігу молекули λ_2 . Для визначення λ_2 досить розділити шлях, який проходить молекула за 1 с, що чисельно дорівнює середній швидкості v , на середнє число зіткнень Z_2 , яких

молекула зазнає за 1 с $\lambda_2 = \frac{v}{Z}$.

Для визначення Z_2 будемо вважати молекулу диском, діаметр якого дорівнює d . Зобразимо шлях диска всередині ламаної смуги шириною $2d$ (див. рис. 2.1).

Інші молекули вважаємо нерухомими. Молекула, що рухається, зіткнеться тільки з тими молекулами, центри яких знаходяться на відстанях рівних або менших d . Середнє число зіткнень Z_2 за 1 с. дорівнює числу молекул в площі ламаної смуги $Z_2 = n_2 S$, де n_2 – концентрація молекул (в даному випадку n_2 – це число молекул (дисків), яке припадає на одиницю площі). Площа ламаної смуги можна прирівняти площі спрямленої смуги висотою v та шириною $2d$, отже $Z_2 = n_2(2d)v$.

Тоді середня довжина пробігу

$$\lambda_2 = \frac{1}{2 d n_2}, \quad (2.1)$$

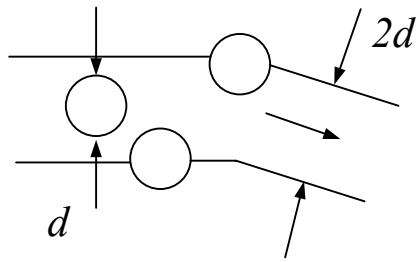


Рис. 2.1

Подібні міркування приводять для трьохвимірної моделі до формули виду

$$\lambda = \frac{l}{\pi n d^2}, \quad (2.2)$$

де n – число молекул в одиниці об'єму газу.

Порівнюючи формули (2.1) та (2.2) можна встановити зв'язок між довжинами вільного пробігу для три – та двовимірної моделі

$$\lambda = \frac{2 \lambda_2 n_2}{\pi n d}, \quad (2.3)$$

Встановимо зв'язок між n_2 та n . Визначимо концентрацію молекул на площині (грані куба)

$$n_2 = \frac{N_1 N_2}{L^2} = \frac{N^2}{L^2}.$$

Якщо розглядати куб з однаковою кількістю молекул в трьох напрямках (див. рис. 2.2), то $n = \frac{N^3}{L^3}$.

Тоді

$$\frac{n}{n_2} = \frac{N^3}{L^3} \frac{L^2}{N^2} = \frac{N}{L}. \quad (2.4)$$

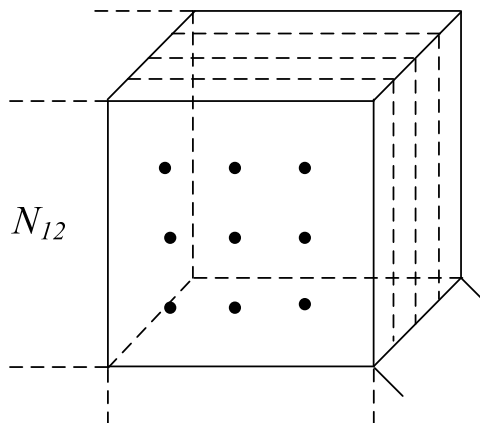


Рис. 2.2

Порівнюючи вирази (2.1) та (2.2) можна зробити висновок, що залежність λ від концентрації молекул та розмірів молекули в обох випадках: дво- і тривимірному залишається однаковою. Звичайно, при цьому треба враховувати, що у двовимірному випадку $n_2 = \frac{N^2}{L^2}$, розміри молекули характеризуються діаметром d , а в тривимірному – $n = \frac{N^3}{L^3}$, розміри $\sim d^2$.

3. Опис комп'ютерної програми

Програма створює масиви даних: координати N^2 молекул X_i, Y_i на площині X, Y та їх початкові складові швидкостей V_{xi}, V_{yi} . Початкові швидкості молекул задаються однакові за величиною та рівною ймовірній швидкості при даній температурі

$$V_{im} = \sqrt{kT/m} \quad (3.1)$$

де m – маса молекули, T – абсолютна температура, k – стала Больцмана.

Розподіл молекул на площині в початковий момент та під час руху відображається на екрані дисплею.

4. Інструкція користувачу

1. Встановіть режим роботи програми «Визначення довжини вільного пробігу», встановіть «Розподіл частинок – рівномірний», ввімкніть «Перегляд», «Показати траєкторію».
2. Задайте числові дані у відповідності з номером варіанту завдання, згідно з таблицею 5, де маса молекули m вибирається однаковою «Маса 1», «Маса 2», N – число молекул вздовж осі y («Вздовж вертикалі»), $M = M_1 + M_2$, (M_1 – число молекул в першій половині площини, M_2 – число молекул в другій половині площини вздовж осі x – вибираються однаковими $M_1 = M_2$), d – діаметр молекули («Діаметр 1», «Діаметр 2» – вибираються однакові), T – температура. Задайте «Число кроків» – 1000.

Таблиця 4.1

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
m	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4
N	10	10	10	12	12	12	10	10	10	10	10	10
M_1	5	5	5	6	6	6	5	5	5	5	5	5
M_2	5	5	5	6	6	6	5	5	5	5	5	5
d	2	2	2	2	2	2	3	3	3	4	4	4

3. Спостерігайте хаотичний рух молекул та траєкторію виділеної молекули (вона виділяється синім кольором).
4. Для прискорення вимірювань вимкніть «Перегляд» та «Показати траєкторію». Виміряйте середню довжину вільного пробігу для ваших даних. Не змінюючи вихідних даних повторіть вимірювання тричі. Запишіть в таблицю. Повторіть вимірювання ще для шести значень діаметра в межах 1-7 (10^{-10} м). Програма видає середнє значення довжини вільного пробігу молекули перераховане для трьохвимірної моделі. Запишіть в таблицю.
5. Змінюючи концентрацію молекул шляхом зміни чисел N та M , від початкових значень, з кроком $\Delta N = \Delta M = 2$ отримати сім значень λ для семи значень концентрації n при сталому значенні діаметра молекул d . Записати в таблицю. При цьому треба мати на увазі, що на екран виводиться перераховане об'ємне значення концентрації n .

5. Зміст звіту та вказівки до обробки і аналізу результатів

1. Результати вимірювань повинні бути представлені у вигляді таблиць:

Таблиця 5.1

N	$\bar{\lambda}$	d	$\lg \bar{\lambda}$	$\lg d$
n				
1				
2				
3				

Таблиця 5.2

	$\bar{\lambda}$	n	$\lg \bar{\lambda}$	$\lg n$
1				
2				
3				

2. За підрахованими значеннями логарифмів величин побудувати графіки в логарифмічному масштабі: $\lg \lambda = f(\lg d)$, $n = \text{const}$ та $\lg \lambda = f(\lg n)$, $d = \text{const}$.
3. Порівняти результати отримані з модельного експерименту з теоретичними. З теоретичної формули (3.2), беручи десятковий логарифм маємо для $n = \text{const}$

$$\lg \lambda = \lg C_1 - 2 \lg C_1,$$

Де $C_1 = 1/\pi n$, тобто маємо лінійну залежність $\lg \lambda$ як функції від аргументу $\lg d$, коефіцієнт нахилу якої дорівнює $k_m = -2$. Якщо з експериментального графіка $\lg \lambda = f(\lg d)$ визначити коефіцієнт нахилу $k_c = \Delta \lg \lambda / \Delta \lg d$, то з порівняння k_m та k_c можна зробити висновок, як узгоджуються теоретичні результати з експериментальними (як залежить λ від d). Аналогічно перевірити, як залежить λ від n . Зробити висновки.

6. Тести для самоперевірки

1. Сформулюйте три основні положення МКТ.
2. Що таке довжина вільного пробігу молекули?
3. Що таке середня довжина вільного пробігу молекули?

4. Як визначається середня довжина вільного пробігу $\bar{\lambda}$ в двовимірній моделі хаотичного руху?
5. Як визначається $\bar{\lambda}$ в тривимірній моделі?
6. Як зв'язані концентрації молекул в двовимірній та тривимірній моделях?
7. Як записується закон збереження імпульсу при пружному ударі двох кульок?
8. Як записується закон збереження енергії при пружному ударі двох кульок?

Лабораторна робота № 4

ВИВЧЕННЯ МЕТОДІВ ГРАФІЧНОГО ЗОБРАЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ

1. Мета роботи

Познайомитись із графічним зображенням електричного поля за допомогою електричних силових ліній поля.

2. Вказівки до організації самостійної роботи

Важливим поняттям електростатики є поняття точкового заряду. Точковими зарядами називають заряджені тіла, розміри яких малі порівняно з відстанню між ними. Кожен заряд створює електричне поле у навколишньому просторі. Важливою характеристикою електричного поля є вектор напруженості поля \vec{E} . Поле будь-якого електричного заряду або системи зарядів можна описати графічним способом за допомогою ліній напруженості, або силових ліній поля. Лінії напруженості проводять таким чином, щоб кількість ліній, що пронизують одиницю поверхні, перпендикулярно до площини поверхні, дорівнювала чисельному значенню вектора \vec{E} . Тоді за картиною ліній напруженості можна судити про напрям та величину вектора \vec{E} в різних точках простору.

Лінії поля точкового заряду q являють собою сукупність радіальних прямих, які виходять із позитивного заряду або входять в негативний заряд.

Для точкового заряду напруженість поля в будь-якій точці у вакуумі визначається формулою:

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2}. \quad (2.1)$$

де ϵ_0 – електрична стала.

Повне число ліній N , які перетинають сферичну поверхню довільного радіуса r називають потоком вектора \vec{E} . Воно буде дорівнювати добутку густини ліній на величину площі поверхні сфери $4\pi r^2$. Густина ліній, згідно з умовою, дорівнює

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2}. \quad (2.2)$$

Таким чином, кількість ліній N або потік вектора \vec{E} через замкнену поверхню, яка охоплює заряд, чисельно дорівнює:

$$N = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} 4\pi r^2 = \frac{q}{\epsilon_0}. \quad (2.3)$$

Це твердження являє собою зміст теореми Гауса. Отриманий результат означає, що число ліній на будь-якій відстані від заряду буде одним і тим же. Звідси виходить, що силові лінії можуть починатися на заряді і закінчуватися на заряді, або прямувати в нескінченність. Картина силових ліній точкового заряду в площині, яка включає заряд, буде подібною картині ліній для заряду, розподіленого вздовж тонкої нитки з деякою густиною τ в площині, перпендикулярній нитці. Для зарядженої нитки у вказаній площині напруженість поля визначається формулою

$$E = \frac{\tau}{2\pi \varepsilon_0 r} = \frac{N}{2\pi r}, \quad (2.4)$$

а кількість ліній, які перетинають коло радіуса r , тоді буде дорівнювати:

$$N = \frac{\tau}{\varepsilon_0}. \quad (2.5)$$

Порівнюючи вирази (2.3) та (2.5) бачимо, що немає значення: будемо ми вивчати поле, що створює точковий заряд або система точкових зарядів, які знаходяться в одній площині, чи поле в площині, перпендикулярній нитці або системі заряджених ниток. Картина силових ліній точкового заряду в площині, в якій розміщується заряд q буде такою ж як і для заряду, розподіленого вздовж тонкої нитки з лінійною густиною, що чисельно дорівнює величині точкового заряду q : $\tau = q$. Внаслідок доказаної еквівалентності далі ми будемо вживати термін – точковий заряд.

3. Опис комп'ютерної програми

Програма викреслює силові лінії електричного поля у площині. Цей процес продовжується до тих пір, поки силова лінія не йде в нескінченність, або до якого-небудь негативного заряду. Число силових ліній, які починаються біля кожного позитивного заряду пропорційне величині заряду. Величина заряду вибирається в умовних одиницях.

Зовнішній вигляд інтерфейсу програми зображено на рисунку 3.1.

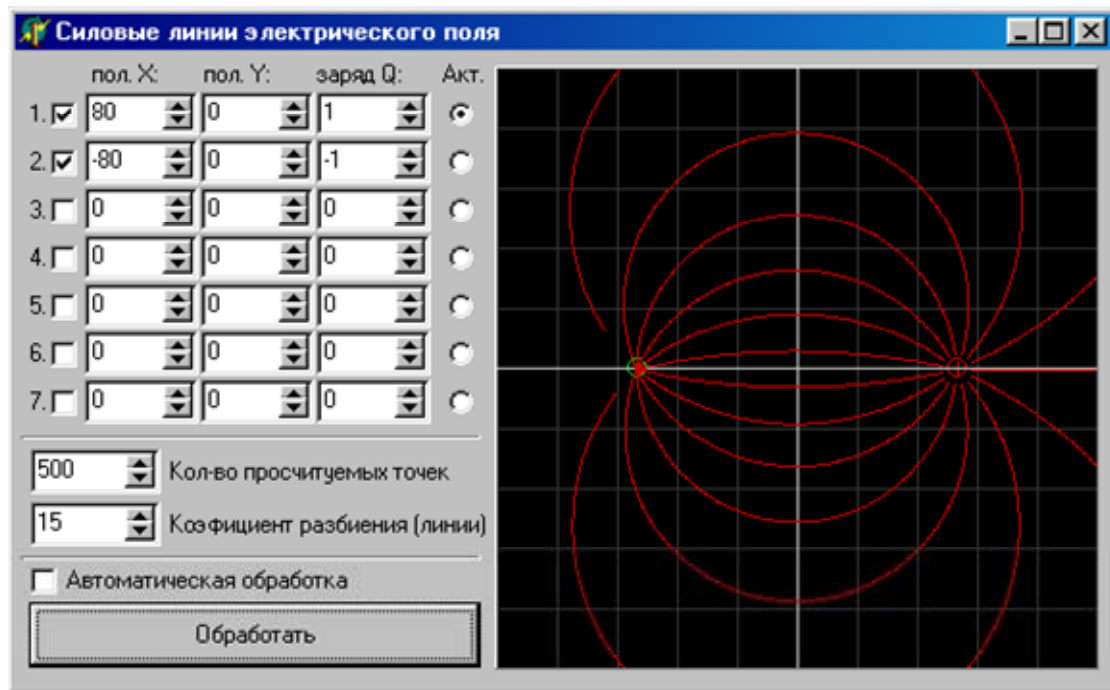


Рис. 3.1

4. Інструкція користувачу

1. Помістіть в точку з координатами $x = 0$, $y = 0$ точковий заряд q (величину q взяти з таблиці 4.1). Виберіть число ліній $N = 10$, число кроків (яке визначає довжину силових ліній на екрані) підберіть так, щоб вони охоплювали весь екран. Зарисуйте картину поля (якісно).
2. Збільшіть заряд удвічі. В скільки разів треба збільшити число N , щоб за графічним зображенням поля можна було визначити величину напруженості?
3. Виберіть на картині поля замкнену лінію довільної форми. Підрахуйте число ліній, які входять в площину, охоплену лінією N_1 (потік, який входить), число ліній, які виходять назовні N_2 (потік, що виходить). Чому дорівнює потік, який перетинає замкнену лінію?
4. Розмістіть два однакових заряди на відстані 2-х клітинок (величину q взяти з таблиці 4.1). Отримайте для них картину силових ліній, зарисуйте її (якісно).
5. Отримайте картину силових ліній для системи двох однакових зарядів протилежного знаку (якісно, для диполя). Зарисуйте її.
6. Помістіть заряд величиною $Q = 50 \div 100$ умовних одиниць в точку з координатами $x = 0$, $y = 0$. Внесіть в поле цього заряду невеликий пробний заряд q (згідно з таблицею 4.1). Змінюючи його положення відносно Q , зробіть висновок, наскільки сильно він спотворює картину поля. Повторіть операції для негативного заряду $-q$.

7. Розмістіть в вершинах квадрата заряди однакової величини за схемою (див. рис. 4.1) – така система носить назву – квадруполь. Отримайте картину силових ліній та зарисуйте її. Які особливості має картина поля квадруполя?

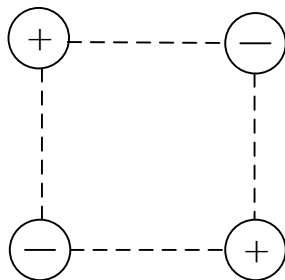


Рис. 4.1

Таблиця 4.1

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
q	1	2	1	2	3	4	2	3	4	1	5	5
N	8	8	10	10	6	6	6	8	4	12	6	8

5. Зміст звіту та вказівки до обробки та аналізу результатів

Зміст повинен містити мету роботи, якісні зарисовки картин поля, утворених одним, двома точковими зарядами, диполем, квадруполем (п.п. 1, 4, 5, 7), висновки за п.п. 3, 6, 7.

6. Тести для самоперевірки

1. Дайте визначення силової лінії поля.
2. Що характерно для силових ліній електростатичного поля?
3. Нарисуйте лінії електричного поля для точкового позитивного, негативного заряду.
4. Запишіть формулу, яка визначає напруженість точкового заряду.
5. Як пов'язаний потік вектора \vec{E} з повним числом силових ліній, що виходять із заряду (або входять в заряд)?
6. Сформулюйте теорему Гауса. Що таке диполь?
7. Яку систему зарядів називають квадруполем?

Лабораторна робота №5

ВИМІРЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ОПОРУ ПРОВІДНИКІВ ЗА МЕТОДОМ МОСТА УІТСТОНА

1. Мета роботи

Вивчити метод вимірювання опору провідників за мостовою схемою та виміряти опір провідників зазначеним методом.

2. Вказівки до організації самостійної роботи

Одним з найбільш точних методів вимірювання електричного опору є метод моста Уїтстона. Міст Уїтстона зображено на рис. 2.1.

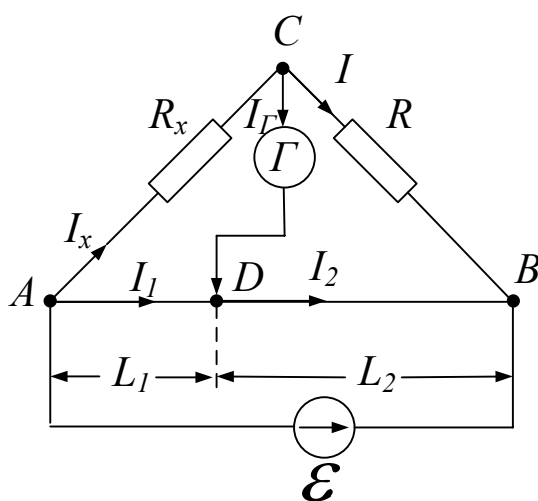


Рис. 2.1

За звичай між точками A та B вмикають калібрований дріт – реохорд із ковзним контактом D ; U – постійна напруга від джерела струму \mathcal{E} ; R – відомий еталонний опір; R_x – невідомий опір; Γ – гальванометр; L_1 і L_2 – «плечі реохорда».

Метод вимірювання опору за допомогою моста Уїтстона базується на порівнянні невідомого опору R_x з відомим еталонним опором R .

Нехай струм в плечах моста та в діагоналі CD тече так, як показано на рис. 2.1. Напрямок обходу контурів виберемо за годинниковою стрілкою. Згідно з першим правилом Кірхгофа алгебраїчна сума струмів у вузлі (нагадаємо, що вузол – це точка, де сходиться не менше трьох віток) дорівнює нулю. Тоді для вузла C маємо:

$$I_x - I - I_2 = 0. \quad (2.1)$$

Оскільки I_x входить в вузол, беремо його з плюсом, а струми I , I_2 виходять з вузла – беремо їх з мінусом.

Для вузла D :

$$I_1 - I_2 + I_2 = 0. \quad (2.2)$$

Згідно з другим правилом Кірхгофа алгебраїчна сума падінь напруги на елементах замкнутого контуру дорівнює алгебраїчній сумі ЕРС, що діють у контурі. Причому, якщо напрям струму в елементі збігається з напрямком обходу контуру, то відповідне падіння напруги входить в рівняння з плюсом, якщо не збігається – з мінусом. Якщо напрям дії ЕРС збігається з напрямком обходу, то ЕРС береться з плюсом, не збігається – з мінусом. Виходячи із сформульованих правил отримуємо ще три рівняння:

$$\begin{aligned} \text{для контуру ACDA:} & \quad I_x R_x + I_r R_r - R_1 I_1 = 0; \\ \text{для контуру ABEA:} & \quad I_1 R_1 + I_2 R_2 = U; \\ \text{для контуру CBDC:} & \quad IR - I_2 R_2 - I_r R_r = 0; \end{aligned} \quad (2.3)$$

де R_x – внутрішній опір гальванометра; R_1, R_2 – опір «плечей» реохорда L_1 та L_2 .

Всього маємо в схемі п'ять віток, п'ять струмів – п'ять невідомих і відповідно п'ять рівнянь для їх визначення (2.1-2.3).

Змінюючи положення контакту D (тим самим змінюючи співвідношення між L_1 та L_2), можна досягти того, щоб потенціал точки D став рівним потенціалу точки C ($\varphi_D = \varphi_C$). В цьому випадку струм через гальванометр дорівнює нулю, міст збалансовано. Враховуючи, що $I_r = 0$, систему (2.3) можна спростити:

$$I_x = I, \quad I_1 = I_2, \quad I_x R_x = I_1 R_1, \quad IR = I_2 R_2. \quad (2.4)$$

Поділивши останні два рівняння почленно одне на друге, маємо:

$$\frac{I_x R_x}{IR} = \frac{I_1 R_1}{I_2 R_2}. \quad (2.5)$$

Враховуючи перші два рівняння (2.4), вираз (2.5) можна спростити:

$$\frac{R_x}{R} = \frac{R_1}{R_2}. \quad (2.6)$$

Опір «плечей» реохорда можна визначити за формулами:

$$R_1 = \rho \frac{L_1}{S}, \quad R_2 = \rho \frac{L_2}{S}, \quad (2.7)$$

де ρ – питомий опір дроту реохорда, S – площа поперечного перерізу дроту.

Підставляючи значення R_1 та R_2 (2.7) в співвідношення (2.6) отримаємо формулу для обчислення невідомого опору R_x

$$R_x = R \cdot \frac{L_1}{L_2}, \quad (2.8)$$

Таким чином, підбираючи відповідно співвідношення між L_1 та L_2 (щоб $I_r = 0$), знаючи еталонний опір R , можна визначити R_x .

В роботі визначається (вимірюється) опір для випадку, коли R_x являє собою два опори R_{x1}, R_{x2} з'єднані послідовно та паралельно. Схеми послідовного та паралельного сполучення приведені на рис. 2.2.

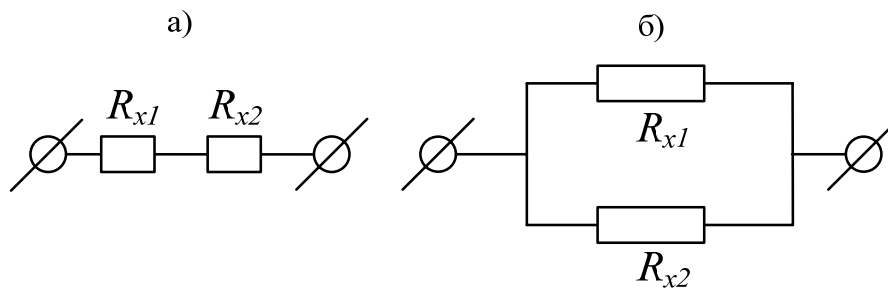


Рис. 2.2

Для послідовного сполучення (див. рис. 2.2, а) загальний опір

$$R_x = R_{1x} + R_{2x}.$$

Для паралельного сполучення (див. рис. 2.2, б)

$$R_x = \frac{R_{1x}R_{2x}}{R_{1x} + R_{2x}}. \quad (2.9)$$

3. Опис комп'ютерної програми

Алгоритм обчислень базується на розв'язку системи лінійних рівнянь, складених за правилом Кірхгофа (2.1-2.3). Програма дозволяє зібрати мостову схему з елементів, перелік яких представлений на основній панелі інтерфейсу.

Для цього клацнувши лівою клавiшею миші, наприклад, на «Реохорд» викликаємо його появу. Натискаючи на лiву клавiшу можна пересунути елемент в будь-яку точку екрану. Для виконання з'єднань між елементами схеми (див. рис. 3.1) треба навести курсор на клавiшу, клему приладу і як тільки з'явиться хрестик клацнути лiвою кнопкою, потiм навести курсор на клему другого елемента повторити теж саме. Якщо ви помилилися із з'єднанням, для того, щоб прибрати «провiд» треба навести на нього курсор, клацнути спочатку лiвою, а потiм правою клавiшею. При появі вiконця «прибрати, навести на нього курсор і клацнути лiвою клавiшею. Якщо з першого разу щось не вийшло, повторiть операцiї. Коли схема зiбрана натискаємо курсором на вимикач – «вкл». При цьому пiдключається рухомий контакт реохорда. Наводячи курсор на рухомий контакт перемiщуємо його влiво-вправо, добиваючись нульового показання гальванометра.

Якщо клацнути лiвою клавiшею на елемент – опiр, ЕРС, висвiчується допомiжна панель, за допомогою якої можна встановити певне значення R або ЕРС.

Зовнiшнiй вигляд iнтерфейсу програми зображено на рис. 3.1.

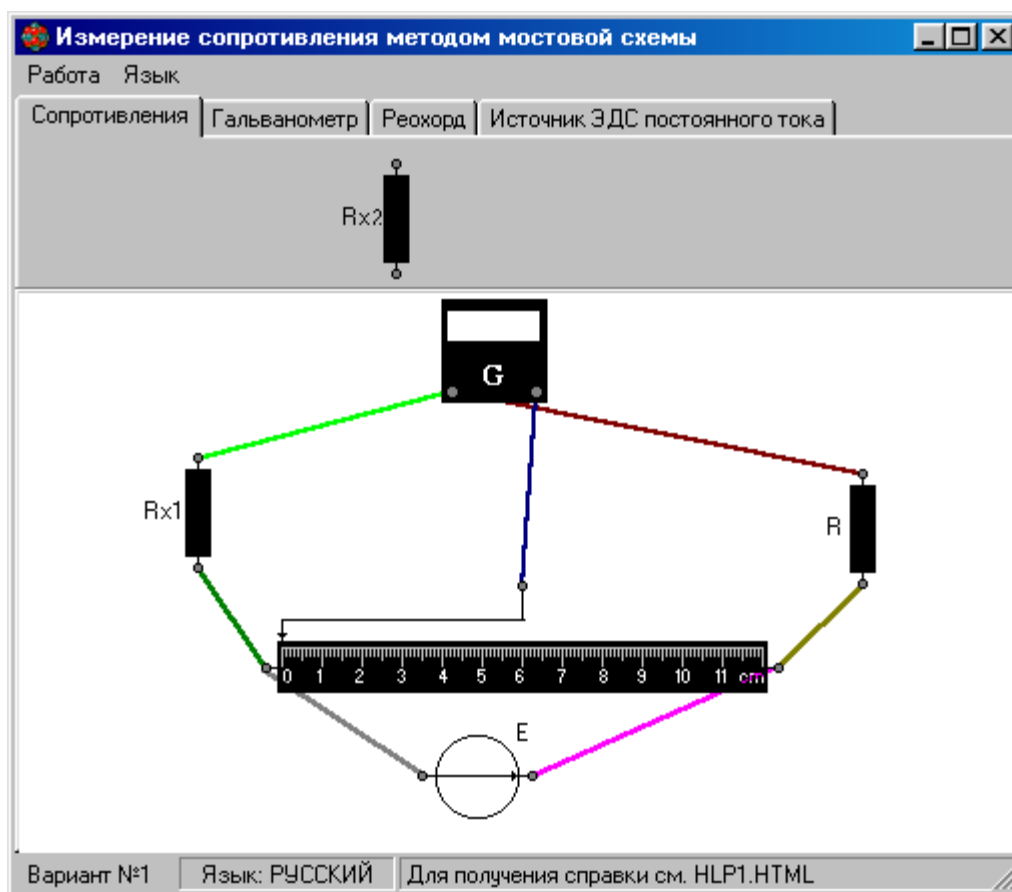


Рис. 3.1

4. Інструкція користувачу

1. Зібрати схему (див. рис. 3.1).
2. Переміщуючи повзунок реохорда, встановити силу струму, що дорівнює нулю. Виміряти за шкалою довжини «плечей» L_1 та L_2 , результати записати в таблицю вимірювань.
3. За формулою (2.8) обчислити R_{x1} . Занести результат до таблиці.
4. Відключити R_{x1} та підключити R_{x2} , виконати пункти 2, 3.
5. Підключити до клем A , C , як невідомий опір R_x два резистора з'єднані послідовно, а потім паралельно. Виконати пункти 2, 3.
6. Знаючи опори резисторів R_{x1} , R_{x2} обчислити опір при їх послідовному та паралельному сполученні. Результати занести до таблиці.
7. Обчислити похибки вимірювань, враховуючи, що $\frac{\Delta R}{R} 100\% = 2\%$, $\Delta L_1 = \Delta L_2 = 0,5$ мм.

5. Зміст звіту та вказівки до обробки і аналізу результатів

Звіт повинен містити: таблицю результатів вимірювань та розрахунки, розрахунок похибок за загальним правилом обчислень похибок для прямих та непрямих вимірювань (R_x).

6. Тести для самоперевірки

1. Сформулюйте та запишіть перше правило Кірхгофа. Що таке вузол?
2. Сформулюйте друге правило Кірхгофа.
3. Від чого залежить опір провідників? Записати формулу.
4. Як визначається опір при послідовному, паралельному з'єднанні резисторів?
5. При якому відношенні «плечей» $\frac{L_1}{L_2}$ похибка вимірювання R_x буде мінімальною?
6. В чому полягають умови балансування моста?

Лабораторна робота № 6

ОСЦИЛОГРАФУВАННЯ ФІЗИЧНИХ ПРОЦЕСІВ

1. Мета роботи

Ознайомитись із застосуванням електронного осцилографа для спостереження форми сигналу, вимірювання напруги, частоти, різниці фаз, вивчити явища, що виникають при складанні взаємно-перпендикулярних коливань.

2. Вказівки до самостійної роботи

Принцип дії електронно-променевої трубки. Найважливішою деталлю осцилографа є електронно-променева трубка – ЕПТ (див. рис. 2.1).

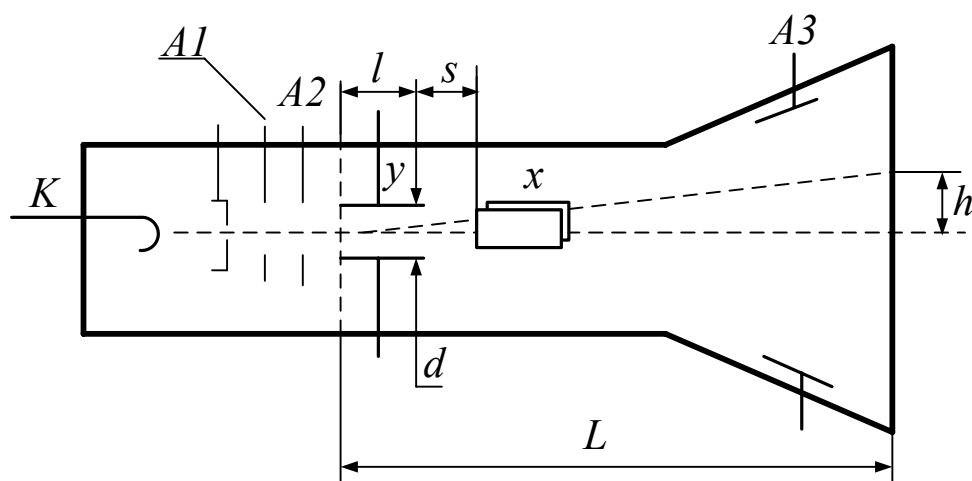


Рис. 2.1

ЕПТ складається зі скляної колби, всередині якої міститься джерело електронів – катод K . Катод знаходиться всередині керуючого (циліндричного) електрода. Зміною негативного потенціалу на ньому регулюється кількість електронів, які проходять через його отвір, що змінює яскравість плями на екрані ЕПТ. Перший анод A_1 служить для фокусування, другий анод A_2 – для прискорення електронів. Дві пари пластин Y та X служать для відхилення променя: вертикально відхиляючі пластини (пластини Y) – в вертикальній площині, горизонтально – відхиляючі (пластини X) – в горизонтальній площині.

Якщо прикласти між катодом та другим анодом напругу U_a (при напрузі між парами пластин $U_x = 0, U_y = 0$) пучок електронів буде попадати в центр екрана.

Якщо тепер подати на пластини y напругу U_y , то між ними виникне однорідне поле напруженістю

$$E_y = \frac{U_y}{d}, \quad (2.1)$$

де d – відстань між пластинами. На кожний електрон, що рухається між пластинами тепер буде діяти сила F_y , яка спричинятиме його прискорення у вертикальному напрямі

$$\frac{F_y}{m} = \frac{e E_y}{m} = \frac{e U_y}{m d}, \quad (2.2)$$

де m – маса електрона, e – його заряд.

Вертикальна складова швидкості електрона

$$v_y = a_y \Delta t_y \quad (2.3)$$

залежить від прискорення a_y та проміжку часу Δt , протягом якого електрон перебуває між пластинами. Цей проміжок часу визначається довжиною пластини l та повздовжньою швидкістю електрона v_z

$$\Delta t_y = \frac{l}{v_z}. \quad (2.4)$$

Підставляючи значення a_y (2.2) у вираз (2.3), а також Δt_y з співвідношення (2.4) отримаємо:

$$v_y = \frac{e U_y l}{m v_z d}. \quad (2.5)$$

Від краю пластин до екрана електрон проходить відстань L , яка значно більша за довжину пластин l (див. рис. 2.1), в зв'язку з цим можна знехтувати зміщенням траєкторії електрона в полі пластин порівняно з відхиленням h плями на екрані трубки і записати

$$\frac{v_y}{v_z} = \frac{h}{l}. \quad (2.6)$$

Підставляючи у співвідношення (2.6) значення v_y (2.5) знайдемо повздовжню складову швидкості електрона

$$v_z = \sqrt{\frac{e U_y L E}{m d h}}. \quad (2.7)$$

Повздовжню складову швидкості v_z можемо визначити також із умови, що робота анодної напруги над прискоренням електрона $e U_a$ іде на зміну кінетичної енергії електрона.

Таким чином:

$$v_z = \sqrt{\frac{2eU a}{m}}. \quad (2.8)$$

Прирівнюючи (2.7) та (2.8) отримаємо, що відхилення h електрона

$$v_z = \sqrt{\frac{U_y L E}{2 d U a}} = U_y S, \quad (2.9)$$

де S – константа для даної ЕПТ (якщо U_a – фіксована). Величина S носить назву чутливості ЕПТ:

$$S = \frac{h}{U_y}. \quad (2.10)$$

Із визначення (2.10) виходить, що чутливість S (ЕПТ) відносно напруги чисельно дорівнює величині зміщення променя на екрані, що приходить на один вольт напруги, прикладеної до пластин.

Принцип дії генератора розгортки. Для спостереження ходу процесів в часі (наприклад зміни напруги) на горизонтально відхиляючі пластини необхідно подавати напругу, яка лінійно зростає з часом – напругу розгортки. Якщо при цьому на Y -пластини подати напругу, яка вивчається, то електронний пучок опише на екрані графік зміни напруги в часі. Для спостереження періодичних процесів необхідно, щоб напруга розгортки змінювалась періодично. Причому період розгортки T був кратний періоду сигнал T_0 , тобто $T = nT_0$ (де n – ціле число). В цьому разі електронний промінь на екрані з кожним повторенням циклу розгортки буде викреслювати одну й ту ж траєкторію. Після проходження по горизонталі до певної точки на екрані, промінь повинен повертатись в початкове положення (зворотний хід). Викладеним вимогам можна задовольнити, якщо напруга U_x розгортки буде змінюватись за законом, зображеним на рис. 2.2, де t_1 – час прямого ходу, t_2 – час зворотного ходу променя. Така напруга називається пилкоподібною.

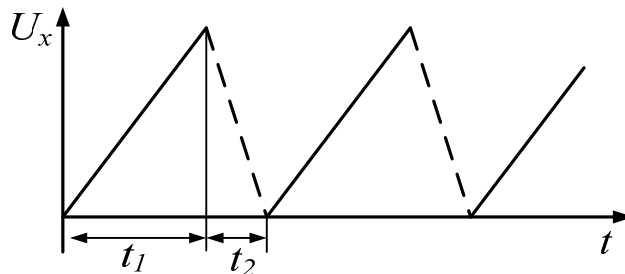


Рис. 2.2

Складання взаємно-перпендикулярних коливань. Маємо два коливання – одне направлене вздовж осі x , друге-вздовж осі y

$$X = A \sin(\omega t + \varphi),$$

$$Y = B \sin(\omega t + \Psi). \quad (2.11)$$

Виключаючи з системи рівнянь (2.11) параметр t отримаємо рівняння еліпса у вигляді:

$$\left(\frac{x}{A}\right)^2 + \left(\frac{y}{B}\right)^2 - \frac{2xy}{AB} \cos \delta = \sin^2 \delta, \quad (2.12)$$

де δ – різниця фаз коливань (2.12).

$$\delta = \varphi - \Psi.$$

Точку перетину еліпса з віссю y можна знайти з (2.12) поклавши $x = 0$ (див. рис. 2.3), тоді

$$y_0 = B \sin \delta. \quad (2.13)$$

Таким чином

$$\delta = \arcsin \frac{y_0}{B}. \quad (2.14)$$

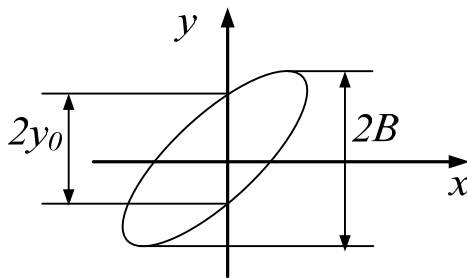


Рис. 2.3

3. Опис комп'ютерної програми

Програма має два режими роботи: в першому можна вивчити призначення відхиляючих пластин ЕПТ, в другому – принцип дії генератора розгортки, та проаналізувати складання двох взаємно перпендикулярних коливань. В першому режимі на панель інтерфейсу програми виведені вікна для завдання параметрів регулювання: напруги на відхиляючих пластинах U_y , анодної напруги U_a , відстані між пластинами d , ширини пластин l , відстаней між анодом та катодом B , пластинами та екраном L , початкової “теплової” швидкості електрона, величини яких можна змінювати в широких межах. При цьому на екрані можна спостерігати траєкторію електрона. В другому режимі на екрані ЕПТ, який розміщується в площині екрана дисплея можна спостерігати криві напруги, яка подається на вертикальні відхиляючі пластини: при вимкненій розгортці, коли подається пілкоподібна напруга на горизонтально відхиляючі пластини, а також на x - та y -пластини подаються два синусоїдальні сигнали, амплітуди, частоти та початкові фази, які можна змінювати в широких межах, спостерігаючи фігури Лісажу.

Зовнішній вигляд інтерфейсу програми зображено на рис. 3.1

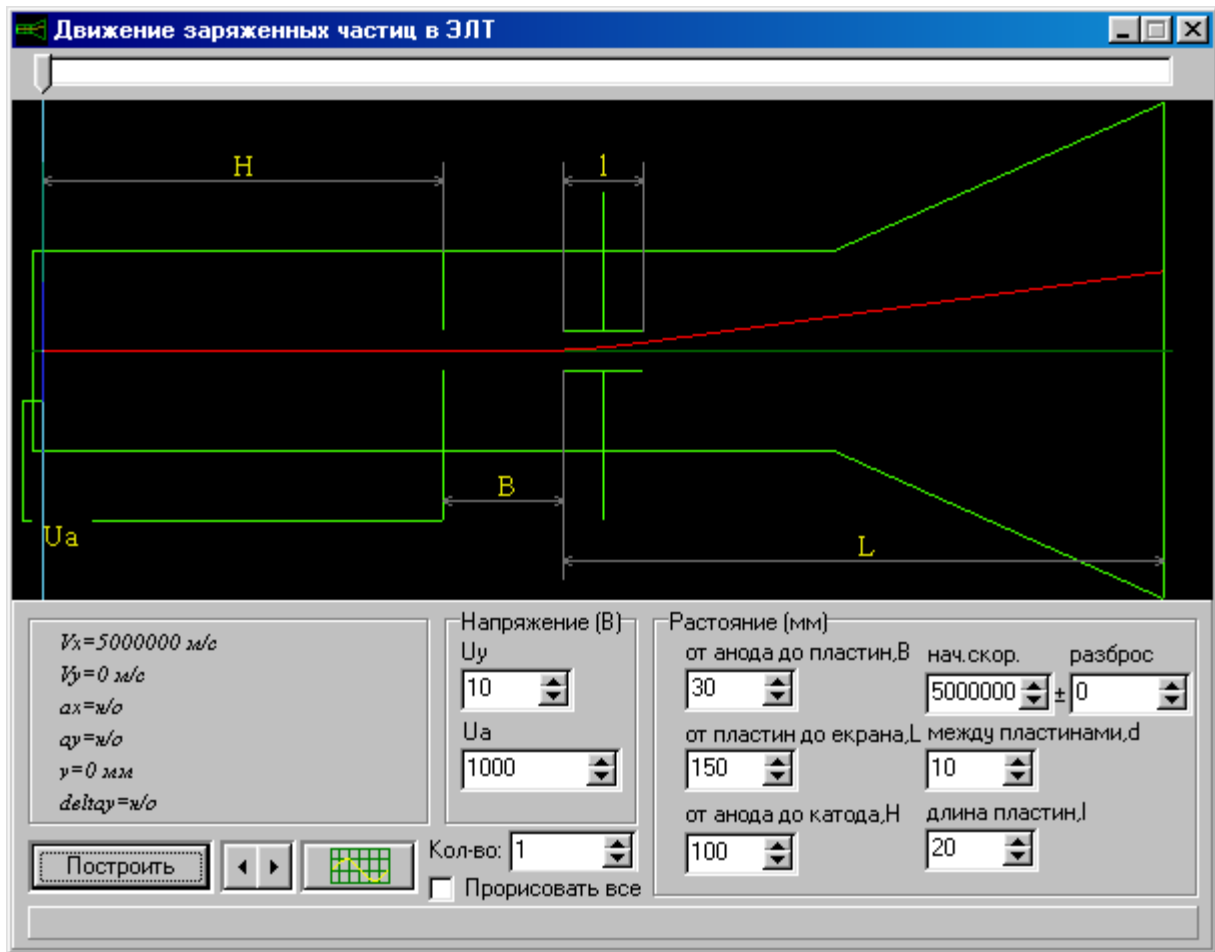


Рис. 3.1

4. Інструкція користувачу

1. За допомогою кнопок на інтерфейсі встановіть значення параметрів у відповідності з табл. 4.1 Отримайте на екрані траєкторію електрона.

Таблиця 4.1

№	U_a , В	L , мм	U_y , В	d , мм	№	U_a , В	L , мм	U_y , В	d , мм
1	1000	140	10	10	7	1000	140	10	10
2	1000	150	10	10	8	1000	150	10	10
3	1200	160	10	10	9	1200	160	10	10
4	1200	160	12	10	10	1200	160	12	10
5	1000	150	8	10	11	1000	150	8	10
6	1000	150	12	12	12	1000	150	14	14

2. Поміняйте полярність U_y . Як змінилася траєкторія?

3. Задайте кілька послідовних значень напруги U_y від максимального значення $+U_y$ до мінімального значення $-U_y$. З'ясуйте, яку лінію буде викреслювати електронний промінь на екрані ЕПТ?
4. За даними пункту 1 обчисліть чутливість ЕПТ за формулою (2.10).
5. Змініть режим програми, натиснувши кнопку \sim . В цьому режимі можна подавати напругу на обидві пари пластин, причому U_x та U_y можуть мати або синусоїдальну або пилкоподібну напругу. Подайте синусоїдальну напругу на y -пластини, на x -пластини $U_x=0$. Чи збігається висновок, зроблений в п. 3 з отриманим зображенням?
6. Подайте пилкоподібну напругу на x -пластини, на y -пластини – синусоїдальну. Зарисуйте отримане зображення. Подайте тепер на x -пластини теж синусоїдальну напругу. Порівняйте отриману криву з намальованою.
7. Зробіть висновок, чому треба на x -пластини подавати пилкоподібну напругу, тобто, висловлюючись мовою математики – напругу, яка змінюється за лінійним законом. В якому з цих двох випадків можна спостерігати істинну форму сигналу, що подається на y -пластини?
8. Підберіть період синусоїди (змінюючи ω_y) так, щоб на екрані було зображено 1, 2, 3, і т.д. періодів синусоїди. Яким співвідношенням зв'язані період розгортки (пилки) з періодом синусоїди?
9. Подайте на обидві пари пластин синусоїдальну напругу однакової амплітуди: $A=B$, та однакової частоти: $\omega_y=\omega_x$. Змінюючи різницю фаз δ отримайте: пряму; еліпс; коло; пряму з протилежним нахилом. Запишіть відповідні значення різниці фаз δ . Визначте різницю фаз за формулою (6.14).
10. Повторіть операції п. 8 для випадку, коли $A \neq B$. Якщо подати синусоїдальні напруги на обидві пари пластин, то при кратних співвідношеннях частот ω_x та ω_y ($\omega_x=n\omega_y$, або $\omega_y=n\omega_x$, n – ціле число) можна спостерігати фігури Лісажу.
11. Подайте на обидві пари пластин синусоїдальну напругу, задовольнивши умовам: $A = B$, $\delta = 30$ градусів. Зафіксуйте ω_x . Змінюючи ω_y так, щоб $\omega_x/\omega_y=1, 2, 3, 2/3$, встановіть формулу, за якою при відомому значенні ω_x можна обчислити ω_y .
12. Повторіть пункт 10, але тепер зафіксуйте ω_y і змінюючи відношення $\omega_y/\omega_x = 1, 2, 3, 2/3$ обчисліть ω_x .

5. Зміст звіту та вказівки до обробки і аналізу результатів

Звіт повинен містити:

- 1) висновки за пунктами 3, 5, 7;
- 2) встановлені залежності (формули) за пунктами 8, 10, 11;
- 3) загальний висновок відносно того, що можна спостерігати та вимірювати за допомогою Е.О.

6. Тести для самоперевірки

1. Що є найважливішою деталлю осцилографа?
2. Поясніть будову й принцип дії електронно-променевої трубки.
3. Поясніть принцип дії генератора розгортки.
4. Яку фігуру на екрані осцилографа отримаємо при складання двох взаємно-перпендикулярних коливань?

ДОДАТКИ

ДОДАТОК 1

ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ ТЕОРІЇ ПОХИБОК

Якими б точними не були прибори, досконалыми методи вимірювань, при вимірюванні фізичної величини X (часу, довжини, тощо) неможливо отримати точне, “істинне значення” величини $X_{іст}$.

Якщо позначити X_i результат деякого i -того вимірювання величини X , то величину

$$\Delta X_i = X_i - X_{іст} \quad (Д.1)$$

називають абсолютною похибкою даного вимірювання. Для характеристики точності вимірювання вводять також поняття відносної похибки

$$\delta = \frac{\Delta X}{X_{іст}}. \quad (Д.2)$$

Завдання, яке стоїть перед теорією похибок є визначення похибок вимірювання фізичних величин.

Вимірювання поділяються на прямі та непрямі. Прямим називають вимірювання, завдяки якому значення величини знаходять безпосередньо з показань прибору. Прикладами прямих вимірювань є: вимірювання температури за допомогою термометра; довжини штангенциркулем – тощо.

При непрямих вимірюваннях значення фізичної величини знаходять завдяки відомій залежності цієї величини від величин, які можуть бути виміряні шляхом прямих вимірювань. Наприклад, густину тіла – за його масою та розмірами, тощо.

Найважливіший клас похибок – випадкові похибки. Ці похибки обумовлені недосконалістю наших органів чуття, а тому не можуть бути усунуті.

ДОДАТОК 2

РОЗРАХУНОК ВИПАДКОВИХ ПОХИБОК ДЛЯ ПРЯМИХ ВИМІРЮВАНЬ

Хай, вимірюючи багато разів деяку фізичну величину, наприклад, час, за який тіло проходить одну і ту ж відстань S отримали ряд значень $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$, тоді за $X_{іст}$ приймають середнє арифметичне значення

$$\langle X \rangle = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_N}{N} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i, \quad (Д.3)$$

яке при $N \rightarrow \infty$ повинно збігатися з $X_{іст}$.

Найважливіше завдання теорії похибок – знаходження інтервалу значень фізичної величини, в середині якого з деякою ймовірністю (яку називають довірчою ймовірністю) знаходиться величина

$$(\langle X \rangle - \Delta X) < X_{icm} < (\langle X \rangle + \Delta X). \quad (Д.4)$$

Якщо, наприклад, ми гарантуємо, що вимірюючи один раз величину X за даною методикою, отримаємо результат, який лежить в межах даного інтервалу (Д.4) з гарантією 95%, то довірна ймовірність $P_{дов}$ буде дорівнювати $P_{дов}=0,95$.

Для обґрунтування методу обчислення похибок, треба встановити закон, якому підпорядковуються випадкові відхилення величини, що вимірюється. Ми тільки вкажемо основну ідею, яка полягає в припущенні (що є виправданим): невеликі відхилення ΔX від X_{icm} є більш імовірними ніж великі. На цій ідеї базується нормальний закон розподілу – закон Гауса. Але цей закон справедливий для великого числа вимірювань N .

В інженерній практиці базуються на розподілі Ст'юдента. Для кожної довірчої ймовірності P можна обчислити таке число t_{NP} (коефіцієнт Ст'юдента) для якого випадкова величина X , що підпорядковується розподілу Ст'юдента, буде знаходитися в межах

$$\langle X \rangle - t_{NP} \delta < X_{icm} < (\langle X \rangle + t_{NP} \delta), \quad (Д.5)$$

де величина δ – середньоквадратичне відхилення результату вимірювань, яке визначається формулою

$$\delta = \sqrt{\frac{(X_1 - \langle X \rangle)^2 + (X_2 - \langle X \rangle)^2 + \dots + (X_N - \langle X \rangle)^2}{N(N-1)}} = \frac{\sqrt{(X_1 - \langle X \rangle)^2}}{N(N-1)} N \quad \text{– число}$$

вимірювань, $t_{NP} \delta = \Delta X$.

Коефіцієнти Ст'юдента для різного числа вимірювань наведено в таблиці.

Таблиця

N	2	3	4	5	10	100
t_{NP}	12,7	4,3	3,2	2,8	2,0	2,0

ДОДАТОК 3

РОЗРАХУНОК ВИПАДКОВИХ ПОХИБОК ДЛЯ НЕПРЯМИХ ВИМІРЮВАНЬ

При непрямих вимірюваннях значення фізичної величини F визначається за формулою

$$F = F(X_1, X_2, \dots, X_n),$$

де X_1, X_2, \dots, X_n фізичні величини, які вимірюються прямо.

Абсолютна похибка ΔF непрямих вимірювань визначається за формулою:

$$\Delta F = \sqrt{\left(\frac{\delta F}{\delta X_1} \Delta X_1\right)^2 + \left(\frac{\delta F}{\delta X_2} \Delta X_2\right)^2 + \dots + \left(\frac{\delta F}{\delta X_N} \Delta X_N\right)^2},$$

де $\delta F/\delta X_i$ – частинна похідна функції F за змінною X_i (при її обчисленні інші змінні X_j , ($j \neq i$, $j=1-N$) вважаються сталими величинами); ΔX_i – абсолютна похибка вимірювання величини X_i .

Результат непрямого вимірювання (кінцевий результат у звіті) подається у вигляді

$$F = \langle F \rangle \pm \Delta F, \quad (\text{Д.6})$$

де $F = (\langle X_1 \rangle, \langle X_2 \rangle, \dots, \langle X_n \rangle)$ – значення функції F від середніх значень змінних.

ДОДАТОК 4

ПРАВИЛА ЗАОКРУГЛЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ОБЧИСЛЕНЬ

1. У результаті обчислень абсолютної похибки вимірювань фізичної величини треба залишати лише першу значущу цифру.
2. У середньому значенні величини остання значуща цифра повинна бути одного й того ж порядку, що й перша значуща цифра похибки.

Приклад. При обчисленні прискорення земного тяжіння g були отримані результати:

$$\langle g \rangle = 9,767 \dots \text{ м/с}^2; \Delta g = 0,2364 \dots \text{ м/с}^2.$$

У відповідності з формулою (Д.6) та правилами (1, 2) маємо

$$\langle g \rangle = (9,7 \pm 0,2) \text{ м/с}^2.$$

ЗМІСТ

	Стор.
Передмова.....	3
Лабораторна робота 1. Вивчення вільного падіння тіл.....	4
Лабораторна робота 2. Вимірювання коефіцієнта в'язкості рідини за методом Стокса.....	8
Лабораторна робота 3. Визначення середньої довжини вільного пробігу молекули.....	13
Лабораторна робота 4. Вивчення методів графічного зображення електричного поля.....	18
Лабораторна робота 5. Вимірювання електричного опору провідників за методом моста Уїтстона.....	22
Лабораторна робота 6. Осцилографування фізичних процесів.....	27
Додатки.....	34
ДОДАТОК 1. Основні положення теорії похибок.....	34
ДОДАТОК 2. Розрахунок випадкових похибок для прямих вимірювань.....	34
ДОДАТОК 3. Розрахунок випадкових похибок для непрямих вимірювань..	35
ДОДАТОК 4. Правила заокруглювання результатів обчислень.....	36

Навчальне видання

Методичні вказівки до виконання комп'ютерних лабораторних робіт з фізики (для студентів 1 курсу денної і заочної форм навчання бакалаврів за всіма напрямками підготовки в університеті)

Укладачі: **Петченко** Олександр Матвійович,
Безуглий Анатолій Васильович ,
Назаренко Євгеній Іванович

Відповідальний за випуск доц. *А. С. Сисоєв*

За авторською редакцією

Комп'ютерне верстання *А. В. Безуглий*

План 2014, поз. 177М

Підп. до друку 03.04.2014

Формат 60x84 1/16.

Друк на ризографі.

Ум.-друк. арк. 1,6.

Тираж 50 прим

Зам. № _____

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет міського господарства
імені О.М. Бекетова,
вул. Революції, 12, Харків, 61002

Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 4705 від 28.03.2014.