

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
МИКОЛАЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Кафедра електроенергетики, електротехніки та електромеханіки

Фізика.

«Вимірювання фізичних величин та обробка результатів»:
методичні рекомендації для виконання лабораторних робіт
здобувачами першого (бакалаврського) рівня вищої освіти ОПП
«Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»

Миколаїв
2023

УДК 536:539.1

Ф48

Рекомендовано до друку науково-методичною комісією інженерно-енергетичного факультету Миколаївського національного аграрного університету від 07.12.2023, протокол № 4.

Укладач

Вахоніна Лариса – канд. фіз.-мат. наук, доцент кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки, Миколаївського національного аграрного університету.

Рецензенти

Грубань Василь - канд. тех. наук доцент кафедри тракторів та сільськогосподарського виробництва, Миколаївський національний аграрний університет.

Ставинський Андрій – д-р техн. наук, професор, зав. кафедрою електроенергетики, електротехніки та електромеханіки, Миколаївський національний аграрний університет.

© Миколаївський національний
аграрний університет, 2023

Зміст

Вступ.....	4
1. Вимірювання фізичних величин.....	4
2. Визначення помилки вимірювань.....	7
2.1. Визначення помилки при прямих вимірюваннях.....	8
2.2. Визначення помилки при непрямих вимірюваннях.....	10
3. Обробка результатів експерименту.....	12
3.1. Обчислення.....	13
3.2. Оформлення результатів.....	16
Висновок.....	18
Література.....	19

ВСТУП

Мета даних методичних рекомендацій - допомогти студентам у виконанні лабораторних робіт з фізики, підвищити ефективність і зміст цих робіт, сприяти кращому засвоєнню фізичних уявлень і законів фізики, а також сприяти вихованню у студентів навичок самостійної практичної роботи і перш за все розумного проведення фізичного експерименту та аналізу отриманих даних.

При виконанні лабораторних робіт, як і в будь-якому експерименті, необхідно проводити вимірювання тих або інших величин за допомогою різноманітних приладів, оцінювати ступінь достовірності отриманих даних (тобто визначати помилки вимірювань) і вірно уявляти результати у вигляді таблиці, графіка або отриманого значення вимірюваної фізичної величини.

1. Вимірювання фізичних величин

Виміряти будь-яку величину-це означає дізнатися у скільки разів в цій величині вміщується однорідна з нею величина, прийнята за одиницю вимірювання. Необхідно завжди враховувати, що неможливо здійснити ніяких вимірювань абсолютно точно. В результаті будь-якого вимірювання, яким-завгодно приладом, отримується лише наближене значення дійсної величини, яке має в собі помилки, обумовлені неточністю методики експерименту, недостатньою чутливістю приладів, а також недосконалістю наших органів чуттів.

Відхилення вимірювань величини X_i від її істинного значення X називається помилкою вимірювання $\Delta X = X_i - X$. Помилки вимірювань поділяються на систематичні та випадкові. Крім того, бувають і грубі помилки (промахи), викликані якимось неврахуванням при постановці та проведенні експерименту, наприклад, невірний відлік або помилковий запис показань приладу. Систематичною називається помилка, яка залишається постійною протягом всієї серії вимірювань. Систематична помилка, як правило, є наслідком:

1. Несправності приладів, неточної установки нуля приладу, неправильного вибору шкали приладу або відліку.
2. Помилки, допущених в процесі вимірювань.
3. Однобічного впливу зовнішніх умов на показання приладів (вплив тиску, температури або градієнта температур і т.д.).

Так як систематичні помилки повторюються протягом всієї серії вимірювань, то вони входять в середнє арифметичне значення вимірюваної величини. Для ліквідації систематичних помилок потрібно дотримуватися методики вимірювань та правил користування вимірювальними приладами.

В експерименті завжди присутні випадкові помилки. Ці помилки обумовлені, головним чином, недосконалістю наших органів чуттів та носять статистичний характер, так як ймовірність отримання при відліку як завищеного, так і заниженого результатів – однакова.

Вплив випадкових помилок на результати експерименту можна проаналізувати за допомогою теореми похибок. При відсутності систематичних помилок, випадкові помилки є причиною розбіжності повторних вимірювань відносно істинного значення. Однак, якщо крім випадкових помилок є і систематична, то результати вимірювань будуть розкидані відносно не дійсного, а зміщеного значення.

Розглянемо в якості прикладу №1, вимірювання секундоміром періоду коливання маятника. Похибки моменту запуску і зупинки секундоміра, помилка у величині відліку, невелика нерівномірність руху маятника – все це викликає розбіжності результатів повторних вимірювань і тому призводить до випадкових помилок.

Якщо помилки носять тільки випадковий характер, то одні результати вимірювань періоду коливання маятника будуть дещо завищеними, а другі – дещо заниженими. Але якщо секундомір ще й поспішає або відстає, то всі результати, відповідно, будуть занижені або завищені.

Дійсно, що деякі фактори можуть викликати одночасно і систематичні, і випадкові помилки. Так, вмикаючи і вимикаючи секундомір, можна створити

малу нерегулярну розбіжність моментів запуску і зупинки секундоміра відносно руху маятника, і внести тим самим випадкову помилку. Але якщо, до того, кожен раз поспішають, включаючи секундомір, або дещо запізнюються, вимикаючи його, або те і друге разом, то це призведе до систематичної помилки.

На другому прикладі, використання найпростішого прикладу – вимірювальної лінійки, можна викласти деякі загальні пункти, якими потрібно керуватися під час проведення вимірювань.

Приклад №2. Визначення лінійних розмірів тіл при допомозі вимірювальної лінійки. Вимірювальна лінійка є найпоширенішим вимірювальним приладом, внаслідок простоти виготовлення та користування. Лінійка дозволяє отримати результати з точністю до 0.2 мм, однак для цього при вимірюванні потрібно уникати певних помилок:

а). Помилка обумовлена паралаксом.

Якщо вимірюваний предмет знаходиться на деякій відстані від шкали і якщо ми дивимось не під прямим кутом до шкали, то відлік буде неправильним (рис.1а). Потрібно відмітити, що така помилка можлива під час користування приладом із стрілкою, яка

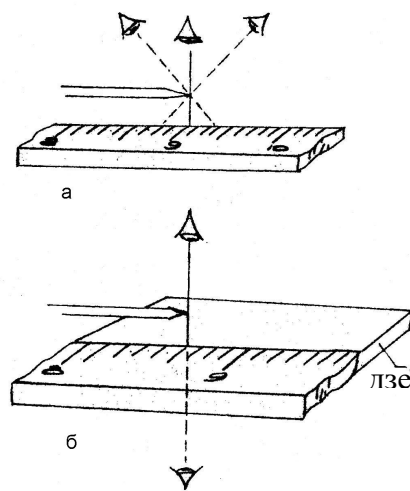


Рис. 1

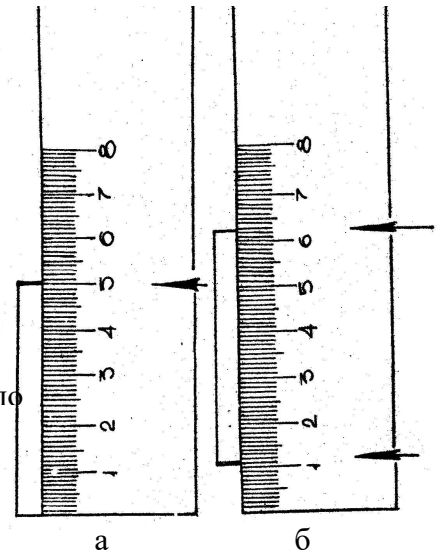


Рис. 2

рухається по шкалі і називається помилкою паралакса. Цю помилку можна зменшити, наближаючи до шкали вимірюваний предмет або стрілку, а також використовуючи дзеркало розміщене біля шкали (рис. 1б). Потрібно, щоб зображення предмета збіглося з його відображенням у дзеркалі, тоді забезпечується прямий кут між лінією зору та шкалою.

б). Помилка відліку нуля.

Зазвичай, при вимірюваннях розміщують лінійку так, щоб її край співпав з одним кінцем предмету, і відраховують показання з другого кінця (рис. 2а). Такий спосіб вимірювання годиться тільки для грубих вимірювань довжини, так як, край лінійки може бути зіпсованим або нульова відмітка поставлена невірно. Тому вимірюваний предмет потрібно розміщати таким чином (рис. 2б), щоб можна було знімати показання з обох кінців.

Взагалі-то, завжди у будь-якому приладі, потрібно з деякою підозрою ставитися до нульової поділки шкали. Подібної помилки можна уникнути, якщо брати різницю двох відрахунків.

в). Калібрування.

Шкала на лінійці може бути нанесена неправильно. Тому лінійку потрібно перевірити, або відкалібрувати. Зробити це можна, якщо суміщати дану лінійку з більш точною лінійкою та порівнюючи їх показання. Якщо в ході експерименту потрібна певна ділянка лінійки, то можна відкалібрувати тільки цю ділянку.

Принцип калібрування широко використовується при будь-яких вимірюваннях. Калібрувати можна будь-які вимірювальні прилади та особливо ретельно це потрібно робити в тому діапазоні, де цей прилад використовується.

2. Визначення помилки вимірювань

При вимірюванні фізичної величини можливі два випадки. У першому випадку, вимірювана фізична величина визначається прямим вимірюванням за допомогою певного приладу (наприклад: лінійні розміри, вага, температура і т.д.).

У другому випадку, і цей випадок характерний для більшості лабораторних робіт, при визначенні фізичної величини потрібно провести прямі вимірювання декількох інших величин, а потім по формулах вирахувати потрібну величину.

Кожна із величин, які входять до формули, виміряна з певною точністю і впливає на точність кінцевого результату. Такі вимірювання називаються непрямыми.

Відповідно і помилки вимірювань поділяються на помилки при прямих вимірюваннях та помилки при непрямих вимірюваннях.

2.1. Визначення помилки при прямих вимірюваннях

Якщо величина X виміряна n разів в однакових умовах, то при цьому ми отримаємо ряд близьких значень величини X_i . Різні значення величини X_i пояснюються тим, що при її вимірюваннях були допущені випадкові помилки. Так як випадкові помилки, як це вказувалось, носять статистичний характер (тобто відхилення в більшу і меншу сторону рівновірогідні), тобто найбільш близьким до істинного значення вимірюваної величини, буде середнє арифметичне результатів всіх вимірювань, виключаючи грубі помилки:

$$X_{cp} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}.$$

Очевидно, що чим більше буде виконано вимірювань, тим точніше буде співпадати середнє арифметичне значення з істинним значенням даної величини. Так як істинне значення X вимірюваної величини в багатьох випадках невідомо, то за цю величину приймається середнє арифметичне результатів окремих вимірювань. За абсолютну помилку окремих вимірювань приймається різниця між виміряним значенням величини та їх середнє арифметичним значенням.

$$X_{ист} = X_{cp} \quad \Delta X_i = X - X_{cp},$$

Вирахувана таким чином сума помилок, рівна нулю з точністю до округлення середнього арифметичного. Тому за середню абсолютну помилку вимірювання приймається величина, яка рівна середньому арифметичному значенню із абсолютних величин всіх помилок вимірювань, тобто:

$$\Delta X = \frac{|\Delta X_1| + |\Delta X_2| + \dots + |\Delta X_n|}{n} = \frac{1}{n} \sum_i^n |\Delta X_i|$$

Згідно теорії вірогідності, дійсне значення величини X буде лежати в межах $X_{\text{ср}} \pm \Delta X$ з вірогідністю 64%, при числі вимірювань менше 4. Якщо число вимірювань $n=4$, то вірогідність співпадання $X_{\text{ср}} \pm \Delta X$ з істинним значенням дорівнює 90%, а при $n=9$ ця вірогідність зростає до 98%.

Значення абсолютної помилки дозволяє вказати границі, в яких з визначеною вірогідністю лежить шукана величина.

Кінцевий результат прямого вимірювання фізичної величини записується у вигляді

$$X = X_{\text{ср.}} \pm \Delta X.$$

Відношення середньої абсолютної помилки вимірювань до значення дійсної величини називається відносною помилкою вимірювання E , яка виражається у відсотках

$$E = \frac{\Delta X}{X} \cdot 100\%$$

Відносна помилка дозволяє оцінити ступінь точності отриманого результату і показує величину помилки (у відсотках), допущеної при вимірюванні.

Очевидно, що середнє арифметичне значення шуканої величини $X_{\text{ср.}}$ потрібно округляти до того розряду, що і абсолютну помилку, а відносна помилка завжди вираховується не менше ніж з двома означаючими цифрами.

В деяких випадках неможливо повторити пряме вимірювання дійсної величини декілька раз. Тоді вимірювання проводять тільки один раз, а абсолютну помилку визначають або по класу точності приладу, або приймаючи за абсолютну помилку половину ціни найменшої поділки шкали приладу, так як при вимірюваннях не можна помилитися більш, ніж на половину поділки.

На кінець відмітимо, що якщо помилка, визначена по середньому значенню, менша, ніж помилка визначена по класу точності, або ціні

найменшої поділки, то за абсолютну помилку в цьому випадку приймається помилка, рівна найбільшій із цих трьох величин.

Класом точності приладу називається виражене у відсотках відношення максимальної абсолютної похибки приладу до верхньої границі його вимірювань:

$$K = \frac{\Delta X}{X_{max}} * 100 \frac{0}{0}; \quad \Delta X = \frac{K}{100} * X_{max}$$

2.2. Визначення помилки при непрямим вимірюваннях

Якщо відкинути грубі помилки, то при багаторазовому повторюванні експерименту в абсолютно однакових умовах, різні значення окремих вимірюваних величин, які входять у формулу, з якої розраховується потрібна фізична величина, отримуються виключно за рахунок похибок вимірювань. Тому в цих випадках в робочу формулу вводять середнє значення вимірюваних величин а помилку вираховують способом диференціювання.

Розглянемо випадок коли деяка величина A являється функцією тільки однієї величини X :

$$A = f(x).$$

Так як майже у всіх випадках помилка вимірювань набагато менша результату вимірювання, то її квадратом можна знехтувати і розглядати абсолютну похибку, як безкінечно малу величину (dA замість ΔA та $\frac{dA}{A}$

замість $\frac{\Delta A}{A}$)

З курсу математичного аналізу відомо, що диференціал функції рівний добуткові похідної функції на диференціал її аргументу.

$$dA = df(x) = \frac{df}{dx} dx$$
$$\Delta A = \frac{df(x)}{dx} \Delta x$$

А значить, для визначення абсолютної похибки шуканої величини, яка є функцією вимірюваної величини, потрібно взяти диференціал цієї функції, рахуючи вимірювану величину змінною, і в отриманий вираз, підставити числове значення вимірюваної величини, а замість диференціала аргументу підставити його абсолютну помилку.

Відносна похибка функції А буде:

$$E = \frac{dA}{A} * 100 \text{ ‰} = \frac{df(x)}{f(x)} * 100 \text{ ‰} = d \ln f(x) * 100 \text{ ‰}$$

Таким чином, для визначення відносної помилки потрібно взяти диференціал функції, по якій визначається шукана величина, і в отриманий вираз підставити числове значення вимірюваної величини та абсолютної похибки, допущеної при її вимірюванні.

Очевидно, що за формулами, які отримані диференціюванням, обчислюють тільки одну із помилок (відносну або абсолютну), а другу знаходять із відношень:

$$E = \frac{\Delta A}{A} * 100 \text{ ‰} \text{ або } \Delta A = EA$$

Якщо шукана величина є функцією декількох вимірюваних величин $X, Y, \dots, Z$, які визначені з абсолютними помилками або $\Delta X, \Delta Y, \dots, \Delta Z$, то для визначення абсолютної похибки шуканої величини потрібно, як і в попередньому випадку, тільки з однією вимірюваною величиною, знайти диференціал цієї функції, рахуючи всі вимірювані величини змінними.

Щоб знайти диференціал функції декількох змінних, потрібно продиференціювати цю функцію по кожній із змінних окремо, рахуючи в кожному випадку змінною ту величину по якій проводиться диференціювання, а інші рахувати сталими, а потім скласти всі окремі диференціали.

Так як окремі диференціали в залежності від виду функції можуть бути позитивними або негативними, то для отримання максимального значення

абсолютної похибки, потрібно скласти абсолютні значення окремих диференціалів:

$$\Delta A = \left| \frac{\partial A}{\partial X} \right| \Delta X + \left| \frac{\partial A}{\partial Y} \right| \Delta Y + \dots + \left| \frac{\partial A}{\partial Z} \right| \Delta Z$$

Тому, для визначення відносної похибки функції потрібно взяти диференціал натурального логарифма цієї функції по кожному із аргументів окремо, і додати абсолютні значення добутків окремих похідних на помилку аргументу:

$$\frac{\Delta A}{A} = \left| \frac{\partial \ln A}{\partial X} \right| \Delta X + \left| \frac{\partial \ln A}{\partial Y} \right| \Delta Y + \dots + \left| \frac{\partial \ln A}{\partial Z} \right| \Delta Z$$

Відмітимо два окремих випадки, які мають великий практичний інтерес:

1. Якщо шукана величина A рівна сумі або різниці вимірюваних величин $A = X \pm Y$, то у відповідності з правилами диференціювання функції декількох змінних, отримаємо, що помилка шуканої величини рівна сумі абсолютних помилок вимірюваних величин, тобто

$$\Delta A = \Delta X + \Delta Y$$

В цьому випадку вимірювання X та Y потрібно проводити з однаковою абсолютною похибкою $\Delta X = \Delta Y$, та всі три величини округлити до однакового розряду.

1. Якщо, шукана величина A рівна добутку або частці від вимірюваних величин, то відносна помилка A рівна сумі відносних вимірюваних величин:

$$\frac{\Delta A}{A} = \frac{\Delta X}{X} + \frac{\Delta Y}{Y} + \dots + \frac{\Delta Z}{Z}$$

В цьому випадку вимірювання всіх величин потрібно проводити з однаковою кількістю значущих цифр.

3. Обробка результатів експерименту

Обробка результатів експерименту (лабораторна робота) зводиться до обчислень фізичних величин за допомогою робочих формул, визначенню

похибок, оформленню отриманих результатів у вигляді графіків або таблиць та аналізу експериментальних даних.

3.1. Обчислення

Мета фізичного експерименту заключається в більшості випадків в тому, щоб отримати дану числову величину, і тому точність при обчисленнях також важлива, як і при вимірюваннях. Разом з тим провести обчислення з точністю більше тієї, з якою були проведені вимірювання нереально і це веде до втрати часу.

Точність обчислення кінцевого результату визначається точністю з якою виміряні величини, які входять до робочої формули і тому при обчисленні шуканої величини потрібно користуватися правилами наближених обчислень:

1. При додаванні і відніманні наближених чисел обидві складові округлюють до однакового порядку десяткових знаків. Кількість десяткових знаків, яку необхідно зберегти, визначається складовою, яка має найменше число знаків.

Щоб штучно не збільшувати величину похибки за рахунок округлень потрібно робити однакоvu кількість округлень в сторону збільшення, так і в бік зменшення складових чисел або зберігати один лишній десятковий знак.

Приклад: $A = 20152,34 + 0,542 - 6,7662 - 51,638$

Найменшу кількість десяткових знаків має число 20152,34(два)

Після округлення всіх чисел до першого десяткового знаку отримаємо:

$$A = 20152,34 + 0,54 - 6,67 - 51,64 = 20094,47$$

2. При множенні або діленні наближених чисел, всі співмножники (ділене або дільник) округлюють до однакового числа значущих цифр. Кількість значущих цифр, яку необхідно залишити визначається числом, яке в своєму складі має найменшу кількість знаків.

Знаками (або значущими цифрами) називають всі цифри даного числа, починаючи з першої зліва, відмінної від нуля до останньої, яка може бути нулем.

Приклад: число 0,00541 має три значущих цифри (5,4,1), а число 0,0080 дві цифри(8,0).

3. При послідовному множенні та діленні, а також додаванні або відніманні декількох наближених чисел, проміжні результати потрібно округлити, залишаючи одну зайву значащу цифру. Кінцевий результат округлюють, залишаючи в ньому стільки значущих цифр, скільки має наближене число з мінімальною кількістю знаків.

Приклад:

$$A = \frac{91,0}{2,37 * 1,10 * 3,452}$$

Найменшу кількість знаків має число 1,1.

Тому округлюємо всі числа до десятих цифр

$$A = \frac{91,0}{2,4 * 1,1 * 3,4}$$

Проміжне обчислення $2,4 * 3,4 = 8,16$

Скорочуємо число 8,16 до 8,2 і множимо на 1,1

$$8,2 * 1,1 = 9,02 \text{ звідси}$$

$$A = \frac{91,0}{9,02} \approx 10,088 \approx 10,09$$

Кінцевий результат після скорочення до десятих буде $A = 10,1$

Результати ділення взято з одним зайвим знаком, щоб знати в яку сторону скорочувати кінцевий результат.

4. При скороченні, остання цифра, яка відкидається менше 5. Якщо перша цифра, яка відкидається більша або дорівнює 5, то остання цифра, яка зберігається, збільшується на одиницю.

5. При піднесенні в степінь (не вище четвертої), в результаті потрібно зберігати стільки значущих цифр, скільки їх має основа.

6. При добуванні кореня (не вище четвертої степені), в результаті потрібно зберігати стільки значущих цифр, скільки їх має число із якого добувається корінь.

Потрібно відмітити, що границі в яких лежить шукана величина в основному визначаються першою значущою цифрою абсолютної похибки.

Тому похибку обчислюють до другої значущої цифри, яка потім скорочується до першої.

В багатьох випадках в робочу формулу, при вимірюваннях величин, вводять такі величини, значення яких беруться з довідника (питома теплоємність, прискорення вільного падіння, заряд та маса електрона і т.д.)

Абсолютна похибка таких величин не може перевищувати половини одиниці останньої значущої цифри цього числа.

В тих випадках коли в довідникових даних наведено більше значущих цифр, ніж потрібно для розрахунку і згідно правил наближених обчислень, потрібно довідникову величину скоротити, залишивши в ній потрібну кількість знаків, а абсолютну похибку в цих випадках приймають рівною похибці скорочення.

Часто у довідникових таблицях немає значення фізичної величини, яке точно відповідає даному значенню параметра.

В таких випадках потрібне значення знаходять методом ітерполірування .

Найпростішим методом ітерполірування є лінійне ітерполірування. Його можна використовувати в тих випадках, коли з достатньою точністю залежність функції від аргументу являється лінійною, тобто виду:

$$f(x) = f_1 + b(x - x_1)$$

В інших випадках використовується більш складне ітерполірування.

Приклад: В таблиці довідника має значення коефіцієнта поверхневого натягу при температурі 18° С, але є наступні дії:

$$t_1 = 15^{\circ}\text{C}$$

$$t_2 = 20^{\circ}\text{C}$$

$$\alpha_1 = 73,26 * 10^{-3} \text{ н / м}$$

$$\alpha_2 = 72,53 * 10^{-3} \text{ н / м}$$

Знайдемо значення α води при 18°С, методом лінійного ітерполірування, використовуючи данні, наведені у довідникові.

Приймаючи ,що в межах 5 градусів залежить від температури лінійно, можна записати, що $\alpha = \alpha_1 + \frac{\Delta\alpha}{\Delta t}(t - t_1)$

Знайдемо $\frac{\Delta\alpha}{\Delta t}$, що відповідає зміні α при зміні температури на 1°C .

$$\frac{\Delta\alpha}{\Delta t} = \frac{\alpha_2 - \alpha_1}{t_2 - t_1} = \frac{(7253 - 7326) * 10^{-3} \text{ н/м}}{(20 - 15)^\circ\text{C}} = -0,15 * 10^{-3} \text{ н/м}^\circ\text{C}$$

$$\alpha = 7326 * 10^{-3} \text{ н/м} + (-0,15 * 10^{-3} \text{ н/м}^\circ\text{C}) * (18 - 15)^\circ\text{C} = (7326 - 0,15 * 3) * 10^{-3} \text{ н/м} = 7281 \text{ н/м}$$

Якщо температура вимірювалася з помилкою $\Delta t = 0,5^\circ\text{C}$, то абсолютна похибка $\Delta\alpha$, що відповідає цій помилці дорівнює

$$\Delta\alpha = \left| \frac{\Delta\alpha}{\Delta t} \right| * \Delta t = 0,15 * 10^{-3} \text{ н/м}^\circ\text{C} * 0,5^\circ\text{C} = 0,075 * 10^{-3} \text{ н/м}$$

Кінцеве значення коефіцієнта поверхневого натягу води α при температурі 18°C запишеться:

$$\alpha + \Delta\alpha = (72,81 \pm 0,07) * 10^{-3} \text{ н/м}$$

3.2. Оформлення результатів

Результати експерименту (лабораторної роботи) показується у вигляді таблиці або графіка, або дається кінцевий результат значення шуканої фізичної величини із вказанням абсолютної та відносної похибки вимірювання.

Найбільш інформативним способом показу результатів є графічний спосіб.

У фізиці на графіках прийнято на горизонтальній осі вказувати незалежну змінну, тобто величину значення якої задає сам експериментатор, а по вертикальній осі-ту величину, яку він при цьому вимірює, тобто по горизонталі відкладається величина, а по вертикалі-наслідок.

Дуже важливо правильно вибирати масштаб. Масштаб графіка потрібно вибирати так, щоб в одному сантиметрі видалось $1 * 10^n$ або $1,5 * 10^n$, $2 * 10^n$ або $2,5 * 10^n$ одиниць, де n - будь-яке ціле число.

Число одиниць для кращого користування графіком представляють через 1-2 см., Необов'язково брати один і той же масштаб на обох осях, відтворення між масштабами по осях повинно бути таким, щоб експериментальна крива на графіку не була дуже похилою, або дуже крутою.

Якщо початкові значення величин які відкидаються на осях, значно відрізняється від нуля, то на початку координат можна відкладати початкові або близькі до початкових значень цих величин. Це дозволяє збільшити масштаб не збільшуючи результати самого графіка.

Наявність випадкової похибки призводить до деякої розбіжності точок. Тому, при побудові графіка потрібно нанести всі точки (розмір точок повинен бути не менше 1 мм.), які відповідають результатам вимірювання, а потім провести криву так, щоб точки рівномірно розміщувались по обидві сторони кривої.

Як правило, не можна з'єднувати експериментальні точки ламаною лінією, оскільки означало б, що при зміні однієї величини, інша змінюється різними способами, а це маловірогідно (див. рис. 3,а).

При тих та експериментальних даних більш вірогідною, що залежність плавна, подібно до кривої на рис. 3б.

Якщо кількість отриманих значень недостатня для побудови графіка, або в результаті експерименту отримані значення декількох фізичних величин, то такі результати правильніше показувати у вигляді таблиці. В таблиці обов'язково повинні бути вказані одиниці вимірювання, як правило в системі СІ, та абсолютні помилки вимірювань кожної із величин.

В тих випадках, коли метою лабораторної роботи є визначення деякої фізичної величини, наприклад, питомої ваги, або прискорення сили тяжіння, то у звіті приводиться кінцевий посередній результат вимірювань із середньою абсолютною похибкою і відносна помилка вимірювань.

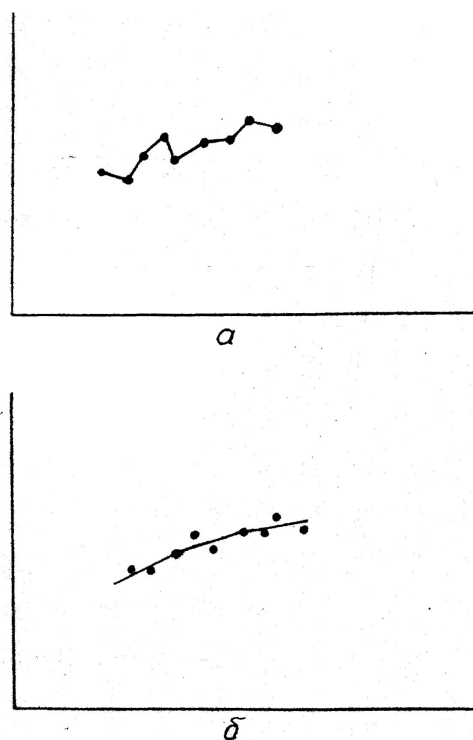


Рис. 3

Висновок

При виконанні лабораторної роботи або іншого фізичного експерименту необхідно дотримуватися наступних правил:

1. Правильно вибирати методику вимірювань так, щоб точність вимірювань відповідала, поставленій меті;
2. Враховувати можливість систематичних помилок і вживати заходи щодо їх усунення;
3. Оцінювати точність кінцевого результату, визначаючи абсолютну та відносну помилку вимірювань;
4. Показувати отримані результати, вибираючи найбільш цілеспрямовану форму уявлення та правильно оформляти графічні матеріали.

Дуже важливо проводити аналіз отриманих результатів, так як, з одного боку це підвищує інформативність вимірювань (наприклад, за результатами визначення питомої ваги або густини та за допомогою довідникових даних можна визначити матеріал тіла), а з іншого боку це дозволяє студентові співставити отримані ним дані із табличними, і тим самим оцінити якість своєї роботи, як експериментатора.

Навички, отримані при виконанні лабораторного практикуму, знання та розуміння основних принципів проведення лабораторних робіт, оцінка отриманих результатів та їх уявлення, будуть корисними, як в засвоєнні інших технічних дисциплін, так і в подальшій трудовій діяльності після закінчення ВНЗу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Загальна фізика. Оптика : оглядові лекції / уклад. В. М. Кадченко. Кривий Ріг : КДПУ, 2020. 70 с. URL: http://elibrary.kdpu.edu.ua/bitstream/123456789/4159/1/ДЕК_ОГЛЯДОВІ%20ЛЕКЦІЇ_2.pdf
2. Коваленко В. Ф. Загальна фізика в прикладах, запитаннях і відповідях. Механіка : навчальний посібник. Київ : Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2011. 223 с. URL: http://rex.knu.ua/wp/wp-content/uploads/2017/10/Kovalenko_Mechanics.pdf
3. Конспект з фізики для студентів скороченої форми навчання / уклад. О. Крамар. Тернопіль : Центр оперативної поліграфії, 2018. 128 с. URL: https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/27376/1/metod_AT_preprint.pdf
4. Коцюбинський В. О., Бойчук В. М. Фізика (вибрані питання) : курс лекцій. Івано-Франківськ :ДВНЗ "Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника", 2021. 309 с. URL: <http://lib.pnu.edu.ua:8080/bitstream/123456789/9429/1/Фізика%20вибрані%20питання%29.pdf>
5. Коцюбинський В. О., Бойчук В. М. Фізика : курс лекцій. Івано-Франківськ :ДВНЗ "Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника", 2020. 310 с. URL: http://lib.pnu.edu.ua:8080/bitstream/123456789/6649/1/Курс%20лекцій_фізика.pdf
6. Лекції з курсу загальної фізики . Розділ І. Механіка / уклад. М. І. Правда. Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2021. 55 с. URL: http://eir.zntu.edu.ua/bitstream/123456789/7495/1/MV_Pravda.pdf
7. Лекції з курсу загальної фізики. Розділ IV. Хвильова оптика / уклад. М. І. Правда. Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2021. 20 с. URL: http://eir.zntu.edu.ua/bitstream/123456789/7498/1/MV_Pravda.pdf
8. Лекції з курсу загальної фізики. Розділ II. Молекулярна фізика та термодинаміка / уклад. М. І. Правда. Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2021. 36 с. URL: http://eir.zntu.edu.ua/bitstream/123456789/7496/1/MV_Pravda.pdf
9. Лекції з курсу загальної фізики. Розділ III. Електрика та магнетизм / уклад. М. І. Правда. Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2021. 56 с. URL: http://eir.zntu.edu.ua/bitstream/123456789/7497/1/MV_Pravda.pdf
10. Огородніков В. А., Федотов В. О., Перлов В. Є. Теоретична механіка. Кінематика : конспект лекцій. Вінниця : ВНТУ, 2015. 69 с. URL: https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/18337/TM_kin_kl.PDF?sequence=1
11. Огородніков В. А., Федотов В. О., Кириця І. Ю. Теоретична механіка. Динаміка : конспект лекцій. Вінниця : ВНТУ, 2016. 84 с. URL: https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/18336/Конспект_лекцій_Динаміка_Кириця.PDF?sequence=1&isAllowed=y
12. Павло В. Фізика. Основи і механічний рух : підручник. Одеса : Book Chef, 2020. 384 с.
13. Прокопів В. В. Конспекти лекцій з молекулярної фізики. Івано-Франківськ : Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника, 2017. 76 с. URL: http://lib.pnu.edu.ua:8080/bitstream/123456789/3745/1/Konspekt-FF_Knyga.pdf
14. Русаков В. Ф. Фізичні основи механіки: навчальний посібник. Вінниця:

ДонНУ імені Василя Стуса, 2019. 144 с. URL: https://r.donnu.edu.ua/bitstream/123456789/113/1/84_%20Русаков%20В.Ф.%20Механіка.pdf

15. Янг Г., Фрідман Р., Сендін Т., Форд Л. Фізика для університетів з розділами сучасної фізики. Львів : Наутілус, 2009. 1600 с.

16. Calculation of Optimal Geometric Parameters Electrical Apparatus for Controlling the Irrigation System / O. Sadovoy et al. 2023 *IEEE 5th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES)*, Kremenichuk, Ukraine, 27–30 September 2023. 2023. URL: <https://doi.org/10.1109/mees61502.2023.10402456>

17. Comparison of Active Power Losses of Single-Phase Electromagnetic Static Devices by Radial Electromagnetic System / O. Sadovoy et al. 2022 *IEEE 4th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES)*, Kremenichuk, Ukraine, 20–23 October 2022. 2022. URL: <https://doi.org/10.1109/mees58014.2022.10005760>

18. Technological Parameters Of The Magnetic Circuit Of The Compact Transformer For Aggregate Electric Drive / E. Avdieieva et al. 2020 *IEEE Problems of Automated Electrodrive. Theory and Practice (PAEP)*, Kremenichuk, Ukraine, 2020, pp. 1-4, DOI: <https://doi.org/10.1109/PAEP49887.2020.9240779>.

19. Development of a Model of Cell Functioning to Measure the Interaction of Low-Energy EMF / M. Kundenko et al. 2022 *XXXII International Scientific Symposium Metrology and Metrology Assurance (MMA)*, Sozopol, Bulgaria, 7–11 September 2022. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1109/mma55579.2022.9993093>.

Навчальне видання

ФІЗИКА
«Вимірювання фізичних величин та обробка результатів»

Методичні рекомендації

Укладачі:
Вахоніна Лариса Володимирівна

Формат 60x84 1/16. Ум. друк. арк. 1.3 .
Тираж 20 прим. Зам. №_____

Надруковано у видавничому відділі
Миколаївського національного університету
54020, м. Миколаїв, вул. Георгія Гонгадзе, 9
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4490 від 20.10.2013р.