

Міністерство освіти і науки України

Національний університет водного господарства
та природокористування

Кафедра хімії та фізики

05-06-101М

Методичні вказівки

до виконання лабораторних робіт
із навчальної дисципліни «Фізика»

**на тему «ОСНОВИ СТАТИСТИЧНИХ МЕТОДІВ ОБРОБКИ ТА
АНАЛІЗУ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ»**

**«Альбом звітів лабораторних робіт, виконаних методом Стьюдента,
з розділів «Електромагнетизм», «Коливання і хвилі», «Оптика»**

для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-
професійною програмою «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології» спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології» денної, заочної та дистанційної форми навчання

Рекомендовано
науково-методичною
радою з якості ННІАКОТ
протокол № 4 від 11.02.2021 р.

Рівне – 2021

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт із навчальної дисципліни «Фізика». Основи статистичних методів обробки та аналізу експериментальних даних. «Альбом звітів лабораторних робіт, виконаних методом Стюдента, з розділів «Електромагнетизм», «Коливання і хвилі», «Оптика» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» денної, заочної та дистанційної форми навчання [Електронне видання] / Соляк Л. В., Гаєвський В. Р., Мороз М. В., Гаращенко О. В., Рудик Б. П., Лебедь О. О., Рибалко А. В. – Рівне : НУВГП, 2021. – 60 с.

Укладачі:

Соляк Л. В., ст. викладач кафедри хімії та фізики;
Гаєвський В. Р., канд. техн. наук, доцент кафедри хімії та фізики;
Мороз М. В., канд. фіз-мат. наук, доцент кафедри хімії та фізики;
Гаращенко О. В., канд. техн. наук, доцент кафедри хімії та фізики;
Рудик Б. П., зав. навчальними лабораторіями кафедри хімії та фізики;
Лебедь О. О., канд. техн. наук, доцент кафедри хімії та фізики;
Рибалко А. В., канд. пед. наук, доцент кафедри хімії та фізики.

Відповідальний за випуск:

Гаращенко О. В., канд. техн. наук, в.о. завідувача кафедри хімії та фізики.

Керівник групи забезпечення спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Древецький В. В.

ID перевірки: 1008293531

© Соляк Л. В., Гаєвський В. Р.,
МороМ. В., Гаращенко О. В.,
Рудик Б. П., Лебедь О. О.,
Рибалко А. В., 2021
© НУВГП, 2021

ЗМІСТ

| | |
|---|----|
| Вступ | 4 |
| Теорія похибок | 5 |
| Приклад «нульової» лабораторної роботи..... | 10 |
| Лабораторна робота № 4.1 | |
| <i>Вивчення гальванометра магнітоелектричної системи</i> | 19 |
| Лабораторна робота № 4.3 | |
| <i>Визначення питомого заряду електрона методом магнетрона</i> | 23 |
| Лабораторна робота № 4.5 | |
| <i>Визначення горизонтальної складової напруженості магнітного поля Землі</i> | 28 |
| Лабораторна робота № 4.6 | |
| <i>Визначення прискорення вільного падіння за допомогою оборотного маятника</i> | 32 |
| Лабораторна робота № 4.9 | |
| <i>Визначення швидкості звуку в повітрі</i> | 36 |
| Лабораторна робота № 4.10 | |
| <i>Вимірювання довжини хвилі і частоти електромагнітних коливань</i> | 40 |
| Лабораторна робота № 5.1 | |
| <i>Визначення довжини світлової хвилі за допомогою біпризми Френеля</i> | 45 |
| Лабораторна робота № 5.4 | |
| <i>Визначення довжини світлової хвилі за допомогою дифракційної решітки</i> | 50 |
| Лабораторна робота № 5.6 | |
| <i>Визначення концентрації розчину цукру поляриметром</i> | 54 |
| Додаток | 59 |
| Література | 60 |

Вступ

В методичних вказівках наведено алгоритм виконання лабораторних робіт з фізики методом Стюдента для поглибленого вивчення одного з найпоширеніших методів статистичної обробки даних.

Наведені основні положення теорії похибок та розглянуто на прикладі «нульової» лабораторної роботи застосування цих положень на практиці.

В даних методичних вказівках представлено заготовки звітів до лабораторних робіт, які виконуються методом Стюдента, з дисципліни «Фізика» розділи: «Електромагнетизм», «Коливання і хвилі», «Оптика».

Кафедрою розроблено оптимальний режим виконання лабораторних робіт. Це дає можливість студенту, при необхідній підготовці, виконати, оформити звіт і захистити лабораторну роботу за одне заняття. Дані методичні вказівки, зокрема, і виконують цю підготовку.

Метою методичних вказівок є підвищення ефективності роботи студента в процесі виконання лабораторних робіт, краще засвоєння теоретичного та практичного курсу фізики, набуття навичок експериментальних досліджень та обробки результатів вимірювань методом Стюдента.

Кожна заготовка звіту має чотири сторінки формату А5: 1 ст. - титульна, 2 ст. - мета роботи, робоча формула, результати вимірювань, обробка результатів вимірювання за робочою формулою, 3 ст. та 4 ст. - знаходження похибок вимірювань, кінцевий результат, контрольні питання. В деяких роботах контрольні питання винесені на окрему сторінку.

При роздрукуванні звіту треба ввести номери останньої сторінки з фразою «Кінцевий результат» і номер титульної сторінки та друкувати ці дві сторінки на аркуші форматом А4 (вибрати: число страниц на листе – 2 страницы).

Потім треба ввести номери сторінки з метою роботи і номер сторінки з обчисленням похибок і друкувати ці дві сторінки на другій стороні аркушу форматом А4.

Автори висловлюють подяку ст. викладачу кафедри хімії та фізики Кочергіній Ользі Дмитрівні за можливість використати її доробок з оформлення лабораторних робіт, що сприяв якіснішому викладанню дисципліни.

Теорія похибок

Роль вимірювань у фізиці

Фізика є наукою точною, тобто оперує кількісними співвідношеннями між різними фізичними величинами. За допомогою вимірів відкрито або перевірено усі закони, що лежать в основі фізичних теорій. Таким чином вимірювання – це єдиний спосіб отримати кількісну інформацію про величини, що характеризують ті чи інші явища і процеси (навіть не обов'язково фізичні, а також біологічні, технічні, економічні і т.д.). Тому здійснення будь-яких технологічних процесів (у машинобудуванні, нафтодобуванні, фармакології та ін.), виконання наукових досліджень у будь-якій галузі знань супроводжується плануванням, постановкою і здійсненням вимірів. Завданням курсу лабораторних робіт з фізики є:

- 1) вивчення фізичних законів, які лежать в основі кожної лабораторної роботи;
- 2) ознайомлення студентів з методами проведення вимірювань;
- 3) ознайомлення з методами обробки результатів вимірювання і оцінки їх точності.

Вимірювання фізичних величин, похибки вимірювань

Визначити (виміряти) будь-яку фізичну величину – це значить порівняти її з іншою однорідною фізичною величиною, що прийнята за одиницю вимірювання (метром, секундою, кілограмом, ампером і т.д.). Абсолютно точно виміряти будь-яку фізичну величину неможливо. Неточність вимірювання пов'язана з:

- 1) недосконалістю вимірювальних приладів;
- 2) недосконалістю методів вимірювань;
- 3) існуванням випадкових факторів, які впливають на проведення і результати вимірювань.

Усі вимірювання умовно поділяють на *прямі* (безпосередні) та *непрямі* (опосередковані). Приклад прямих вимірювань: довжину столу вимірюють лінійкою, масу тіла – на терезах. Приклад непрямих вимірювань: віддаль до Місяця, масу електрона тощо розраховують за формулою.

Похибки результатів вимірювань в залежності від причини їх виникнення поділяють на:

- *систематичні похибки* – це похибки, які не змінюються з часом і цілком закономірно залежать від певних параметрів (температури, тиску, вологості, напруги та ін.).

Характерною особливістю систематичних похибок є те, що їх неможливо визначити в процесі вимірювань. Єдиний спосіб їх визначення полягає в повірці приладу шляхом його атестації по зразковим мірам. Атестації приладів проводять в спеціальних метрологічних лабораторіях. Систематичні похибки можуть бути повністю виключені введенням відповідних поправок;

випадкові похибки – це похибки які неможливо передбачити ні за знаком ні за величиною. Випадкові похибки визначаються сукупністю причин, які важко піддаються аналізу. Присутність випадкових похибок (на відміну від систематичних) легко визначити при повторних вимірах у вигляді деякого розкиду отриманого результату вимірювань. Таким чином, головною відмінною рисою

випадкових похибок є їх непередбачуваність від одного виміру до наступного. Тому опис і аналіз випадкових похибок може бути здійснений тільки на основі теорії ймовірностей і математичної статистики.

Із теорії ймовірностей відомо, що найбільш ймовірним значенням шуканої величини (якщо вона змінюється від виміру до виміру випадково) є середнє арифметичне усіх результатів вимірювань. Тобто, якщо проведено n вимірів x_1, x_2, \dots, x_n величини x , то середнє арифметичне x_c визначається за формулою

$$x_c = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (1)$$

• *паспортні похибки* – це такі похибки, що властиві даному засобу вимірювань, які можуть бути визначені під час його метрологічних досліджень і занесені в його паспорт у вигляді числа чи формули. Таким чином приладова похибка – це певна характеристика приладу, для опису якої необхідно використовувати наступні правила:

- паспортна похибка вказується у паспорті приладу, а для таких засобів вимірювання як лінійка, штангенциркуль, мікромметр тощо рівна половині ціни поділки найточнішої шкали приладу. *Ціна поділки* – це різниця між сусідніми показами приладу, виражена в одиницях вимірювальної величини;
- паспортна похибка цифрових приладів (приладів, вимірювальна інформація в яких відображається в цифровій формі), а також приладів покази яких змінюються стрибкоподібно (стрілка механічного годинника) рівна одиниці найточнішого розряду;

Наведемо для зручності ці два правила в табличному вигляді:

| Назва приладу | Ціна поділки | Паспортна похибка |
|-------------------------|--------------|--------------------|
| | c | $\Delta x_0 = c/2$ |
| Міліметрова лінійка | 1мм | 0,5мм |
| Штангенциркуль | 0,1мм | 0,05мм |
| | 0,05мм | 0,025мм |
| Мікромметр | 0,01мм | 0,005мм |
| Часовий індикатор | 0,01мм | 0,005мм |
| Назва приладу | c | $\Delta x_0 = c$ |
| Механічний секундомір | 0,2с | 0,2с |
| Цифровий мілісекундомір | 0,001с | 0,001с |

- похибка табличних величин рівна половині їх найточнішого десяткового розряду. Наприклад: $\pi=3.14$, $\Delta\pi_0=0.005$; $g=9.8 \text{ м/с}^2$, $\Delta g_0=0.05 \text{ м/с}^2$; $k=1.38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$, $\Delta k_0=0.005 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$.

➤ для електровимірювальних приладів паспортна похибка

$$\Delta x_0 = \frac{\text{кл.точн.} \cdot x_{\text{гран}}}{100\%},$$

де кл. точн – клас точності; $x_{\text{гран}}$ граничне значення шкали приладу: для односторонніх дивимося в кінці вимірювальної шкали; для багаторічних дивимося, в якому положенні знаходиться перемикач діапазонів вимірювань, тобто $x_{\text{гран}}$ - це діапазон вимірювань.

Абсолютна та відносна похибки вимірювань

За способом вираження похибки діляться на абсолютні та відносні. Абсолютною похибкою окремого виміру Δx називається абсолютне значення різниці найбільш імовірного (середнього) значення вимірюваної величини (x_c) та результату окремого виміру (x_i), тобто

$$\Delta x_i = |x_c - x_i| \quad (2)$$

Зрозуміло, що абсолютна похибка виражається в тих же одиницях, що і вимірювальна величина.

Для підвищення точності отриманих результатів вимірювання, зазвичай, проводять декілька разів. У такому випадку абсолютна похибка вимірюваної величини рівна середньому арифметичному абсолютних похибок усіх окремих вимірів

$$\Delta x = \frac{\Delta x_1 + \Delta x_2 + \dots + \Delta x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta x_i}{n} \quad (2)$$

Абсолютна похибка сама по собі не може служити мірою точності вимірювань, оскільки одне і теж її значення може відповідати різним x . Наприклад: похибка $\Delta x=0.5$ м при $x=2$ м є великою, а $\Delta x=0.5$ м при $x=200$ м – незначною. Тому для характеристики міри точності результатів вимірювань вводять поняття відносної похибки.

Відносна похибка ε вимірюваної величини рівна відношенню абсолютної похибки Δx вимірюваної величини до її середнього значення x_c . Її виражають, зазвичай, у відсотках

$$\varepsilon = \frac{\Delta x}{x_c} 100\%$$

Визначення похибок прямих вимірювань за методом Стьюдента

При виконанні лабораторних робіт, обробку результатів вимірювань здійснюватимемо на основі висновків з математичних робіт англійського математика ХІХ ст. Уільяма Гібсета (псевдонім Стьюдент). А саме:

1. Проводимо декілька разів вимірювання шуканої величини x та за формулою (1) знаходимо x_c .

2. Знаходимо абсолютні похибки кожного вимірювання Δx_i за формулою (2).

3. За формулою

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta x_i)^2}{(n-1)}}$$

знаходимо середньоквадратичне відхилення S_x (дисперсія)

4. Визначаємо випадкову похибку

$$\Delta x_B = \frac{S_x \cdot t_c(n, p)}{\sqrt{n}},$$

де $t_c(n, p)$ – коефіцієнт Стьюдента, який залежить від кількості вимірювань n та від надійності (довірчої ймовірності) вимірювань p . Наприклад, для $n=5$ та $p=0.95$ $t_c=2.8$.

5. Обчислюємо приладову похибку

$$\Delta x_{np} = \frac{2}{3} \Delta x_0 \text{ – для вимірних величин;}$$

$$\Delta x_{np} = \Delta x_0 \text{ – для табличних і сталих величин,}$$

де Δx_0 – паспортна похибка прилада або похибка табличної величини (правило їх визначення описано вище).

В звітах для уніфікації та спрощення будемо використовувати формулу $\Delta x_{np} = \frac{2}{3} \Delta x_0$

6. Визначаємо загальну похибку Δx

$$\Delta x = \sqrt{\Delta x_{en}^2 + \Delta x_{np}^2}$$

7. Результат вимірювань подаємо у вигляді

$$x = x_c \pm \Delta x. \quad (3)$$

Запис (3) означає, що істинне значення величини x потрапляє до довірчого інтервалу $(x_c - \Delta x, \dots, x_c + \Delta x)$ із заданою надійністю p .

Визначення похибок непрямих вимірювань за методом Стьюдента

Нехай $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$.

1. Обчислюємо середнє значення

$$y_c = f(x_{c1}, x_{c2}, \dots, x_{cn}),$$

де $x_{c1}, x_{c2}, \dots, x_{cn}$ – середні значення величин, визначені за (1).

2. Обчислюємо частинні похідні

$$\frac{\partial y}{\partial x_1} = \dots, \frac{\partial y}{\partial x_2} = \dots, \dots, \frac{\partial y}{\partial x_n} = \dots$$

3. Обчислюємо похибку непрямих вимірювань

$$\Delta y = \sqrt{\left(\frac{\partial y}{\partial x_1} \Delta x_1\right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial x_2} \Delta x_2\right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial y}{\partial x_n} \Delta x_n\right)^2}.$$

4. Знаходимо відносну похибку

$$\varepsilon = \frac{\Delta y}{y_c} 100\%$$

Після розрахунків y_c та Δy містять ряд значущих цифр, не всі з яких несуть достовірну інформацію. Ці величини необхідно заокруглити.

Математична вставка: під значущими цифрами числа розуміють всі цифри крім нулів та нулі, зліва від яких містяться відмінні від 0 цифри. Наприклад: в числі 0,00123 значущими цифрами є 1, 2, 3 (підкреслені).

Заокруглення проводять в такій послідовності:

- Спочатку заокруглюють загальну похибку Δy , залишивши в ній для запису результату лише одну, першу значущу цифру, збільшену на одиницю. Якщо перша значуща цифра похибки одиниця, то заокруглення здійснюють до двох значущих цифр.
- На основі заокругленого Δy заокруглюють y_c так, щоб в записі кінцевого результату їх десяткові розряди співпадали.

Наприклад:

$$\Delta y = 0.2017453, \quad y_c = 21.831456$$

Після заокруглення: $\Delta y = 0.3, \quad y_c = 21.8$.

5. Кінцевий результат записуємо у вигляді

$$\begin{cases} y = y_c \pm \Delta y \\ \varepsilon = \pm \% \\ p = 0.95 \end{cases} \quad (\text{розмірність в СИ}).$$

Приклад «нульової» лабораторної роботи.

НУВГП
Кафедра хімії та фізики

Звіт
про виконання лабораторної роботи № "0"
"Визначення моменту інерції маятника Максвелла"

Виконав
ст. I-го курсу

гр.

ППП

Рівне 20.....

1) Робоча формула

$$I = \frac{md^2}{4} \cdot \left(\frac{gt^2}{2h} - 1 \right)$$

I - момент інерції маятника,

m - маса маятника,

d - діаметр вала (осі),

g - прискорення вільного падіння,

t - час падіння,

h - висота падіння.

2) Таблиця вимірювань

$$m = 415,5 \text{ г} = 415,5 \cdot 10^{-3} \text{ кг},$$

$$\Delta m_0 = 0,05 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$$

$$g = 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}, \quad \Delta g_0 = 0,05 \frac{\text{м}}{\text{с}^2},$$

$$\Delta h_0 = 0,5 \text{ мм} = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ м},$$

$$\Delta d_0 = 0,05 \text{ мм} = 0,05 \cdot 10^{-3} \text{ м},$$

$$\Delta t_0 = 0,001 \text{ с}.$$

| № з/п | $d, \text{ мм}$ | $t, \text{ с}$ | $h, \text{ мм}$ |
|-------|---------------------|--------------------|---------------------|
| СІ | 10^{-3} м | с | 10^{-3} м |
| 1 | 12,0 | 2,044 | X |
| 2 | 11,9 | 2,091 | |
| 3 | 12,1 | 2,121 | |
| 4 | 11,9 | 2,032 | |
| 5 | 12,0 | 2,050 | |
| Сер. | 11,98 (або 12,0) | 2,0676 (або 2,068) | 380 |

3) Обробка результатів вимірювань

$$I = \frac{415,5 \cdot 10^{-3} \cdot (11,98 \cdot 10^{-3})^2}{4} \cdot \left(\frac{9,8 \cdot 2,0676^2}{2 \cdot 380 \cdot 10^{-3}} - 1 \right) = 8,069 \cdot 10^{-4} \text{ (кг} \cdot \text{м}^2)$$

4) Обчислення похибок

$$\Delta I = \sqrt{\left(\frac{\partial I}{\partial m} \Delta m\right)^2 + \left(\frac{\partial I}{\partial d} \Delta d\right)^2 + \left(\frac{\partial I}{\partial g} \Delta g\right)^2 + \left(\frac{\partial I}{\partial t} \Delta t\right)^2 + \left(\frac{\partial I}{\partial h} \Delta h\right)^2}$$

- повна абсолютна похибка непрямого вимірювання.

Знайдемо її складові: повні абсолютні похибки прямих вимірювань

$$\Delta \dots \text{ та часткові похідні } \frac{\partial \dots}{\partial \dots}.$$

Повні абсолютні похибки прямих вимірювань:

$$\Delta m = \sqrt{\Delta m_{en}^2 + \Delta m_{np}^2} = \Delta m_{np} = \frac{2}{3} \Delta m_0 = \frac{2}{3} \cdot 0,05 \cdot 10^{-3} \text{ кг} = 0,03 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$$

$$\Delta g = \frac{2}{3} \Delta g_0 = \frac{2}{3} \cdot 0,05 = 0,03 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$\Delta h = \frac{2}{3} \Delta h_0 = \frac{2}{3} \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} \approx 0,3 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

$$\Delta d = \sqrt{\Delta d_{np}^2 + \Delta d_{en}^2} = \sqrt{(0,03 \cdot 10^{-3})^2 + (1,048 \cdot 10^{-4})^2} = 1,099 \cdot 10^{-4} \text{ м}$$

$$\Delta d_{np} = \frac{2}{3} \Delta d_0 = \frac{2}{3} \cdot 0,05 \cdot 10^{-3} \approx 0,03 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

$$\Delta d_{en} = \frac{2,8}{\sqrt{5}} \cdot \underbrace{8,366 \cdot 10^{-5}}_{\Delta S_d} = 1,048 \cdot 10^{-4} \text{ м}$$

ΔS_d

$$\Delta S_d = \sqrt{\frac{2 \cdot (12,0 - 11,98)^2 + 2 \cdot (11,9 - 11,98)^2 + (12,1 - 11,98)^2}{5 - 1}} =$$

$$= 8,366 \cdot 10^{-2} \text{ мм} = 8,366 \cdot 10^{-5} \text{ м}$$

$$\Delta t = \sqrt{\Delta t_{np}^2 + \Delta t_{en}^2} = \sqrt{(6,667 \cdot 10^{-4})^2 + (4,657 \cdot 10^{-2})^2} = 4,658 \cdot 10^{-2} \text{ с}$$

$$\Delta t_{np} = \frac{2}{3} \Delta t_0 = \frac{2}{3} \cdot 0,001 = 6,667 \cdot 10^{-4} \text{ с}$$

$$\Delta t_{en} = \frac{2,8 \cdot \Delta S_t}{\sqrt{5}} = \frac{2,8}{\sqrt{5}} \cdot \underbrace{3,719 \cdot 10^{-2}}_{\Delta S_t} = 4,657 \cdot 10^{-2} \text{ с}$$

$$\Delta S_i = \sqrt{\frac{(2,044 - 2,0676)^2 + (2,091 - 2,0676)^2 + (2,121 - 2,0676)^2 + (2,032 - 2,0676)^2 + (2,050 - 2,0676)^2}{5 - 1}} =$$

$$= 3,719 \cdot 10^{-2} c$$

Знаходження часткових похідних і виділення в них робочої формули

$$\frac{\partial I}{\partial m} = \frac{d^2}{4} \left(\frac{gt^2}{2h} - 1 \right) = \frac{I}{m}, \text{ де } I - \text{ див. робочу формулу.}$$

$$\frac{\partial I}{\partial d} = \frac{md}{2} \left(\frac{gt^2}{2h} - 1 \right) = \frac{2I}{d}$$

$$\frac{\partial I}{\partial g} = \frac{md^2 t^2}{8h} = \frac{t^2 I}{gt^2 - 2h}$$

$$\frac{\partial I}{\partial t} = \frac{md^2 gt}{4h} = \frac{2gtI}{gt^2 - 2h}$$

$$\frac{\partial I}{\partial h} = -\frac{md^2 gt^2}{8h^2} = -\frac{\frac{gt^2}{h} \cdot I}{gt^2 - 2h}$$

Підставимо ці вирази у формулу повної абсолютної похибки непрямого вимірювання і винесемо з під кореня I :

$$\Delta I = I \sqrt{\left(\frac{\Delta m}{m} \right)^2 + \left(\frac{2\Delta d}{d} \right)^2 + \left(\frac{t^2 \Delta g}{gt^2 - 2h} \right)^2 + \left(\frac{2t \cdot g \Delta t}{gt^2 - 2h} \right)^2 + \left(\frac{\frac{gt^2}{h} \Delta h}{gt^2 - 2h} \right)^2} = \dots =$$

$$= 3,999 \cdot 10^{-5} \approx 4 \cdot 10^{-5} = 0,4 \cdot 10^{-4} (\kappa\text{г} \cdot \text{м}^2),$$

де I - див. п.3) Обробка результатів вимірювань.

Відносна похибка

$$\varepsilon = \frac{\Delta I}{I} \cdot 100 \% = \frac{3,999 \cdot 10^{-5}}{8,069 \cdot 10^{-4}} \cdot 100 \% \approx 5 \%$$

Кінцевий результат

$$I = (8,1 \pm 0,4) \cdot 10^{-4} (\kappa\text{г} \cdot \text{м}^2)$$

$$\varepsilon = \pm 5 \% \quad (\text{при } P=0,95)$$

Розглянемо обчислення роботи методом Стюдента на прикладі «нульової» лабораторної роботи.

1) Роздруковуємо на аркуші формату А4 спочатку 2 сторінки 13 і 10, а потім на тому ж аркуші з другої сторони дві сторінки 11 та 12.

2) Таблиця вимірювань.

Перш за все, необхідно записати паспортні похибки приладів та похибки табличних величин над таблицею. Скільки в робочій формулі є фізичних величин, стільки паспортних похибок приладів та похибок табличних величин повинно бути записано над таблицею. Якщо фізична величина вимірюється деяким вимірювальним приладом, записуємо його паспортну похибку (в СІ). В цій роботі: Δh_0 - паспортна похибка міліметрової лінійки, якою вимірюють висоту падіння маятника; Δd_0 - паспортна похибка штангенциркуля, яким вимірюють діаметр осі маятника (там, де накручується нитка); Δt_0 - паспортна похибка цифрового мілісекундоміра, яким вимірюється час падіння маятника. Якщо фізична величина є константою або була виміряна раніше, вона називається – табличною. Необхідно записати ці величини та похибки табличних величин: m та Δm_0 , g та Δg_0 .

Знімаємо покази та записуємо їх в таблицю в тих одиницях, в яких міряли. Друга строка таблиці: СІ, - для того, щоб не забути перевести в Систему Інтернаціональну всі одиниці фізичних величин. Обчислюємо середнє значення фізичних величин. Заокруглюємо до розряду, з точністю до якого міряли. Зауважимо, що в таблицю заносяться результати прямих вимірювань.

3) **Обробка результатів вимірювань** – це обчислення фізичної величини за робочою формулою – непряме вимірювання. При цьому в робочу формулу підставляються середні значення фізичних величин в СІ:

$$I = \frac{415,5 \cdot 10^{-3} \cdot (11,98 \cdot 10^{-3})^2}{4} \cdot \left(\frac{9,8 \cdot 2,0676^2}{2 \cdot 380 \cdot 10^{-3}} - 1 \right) = 8,069 \cdot 10^{-4} (\text{кг} \cdot \text{м}^2)$$

Зверніть увагу, що в таблицю дані заносяться в тих одиницях, в яких ми їх вимірюємо. Наприклад, висоту h міряємо міліметровою лінійкою, отже, в таблицю записуємо в мм. В робочу формулу фізичні величини підставляються в СІ (g переводимо в кг , мм переводимо в м , s – це в СІ)!!!

4) Обчислення похибок.

Записуємо в загальному вигляді повну абсолютну похибку непрямого вимірювання моменту інерції маятника Максвелла ΔI . Під знаком кореня

повинно бути стільки частинних похідних від функції I , скільки фізичних величин є в робочій формулі, тобто 5 в нашому випадку: $\frac{\partial I}{\partial m}$, $\frac{\partial I}{\partial d}$, $\frac{\partial I}{\partial g}$, $\frac{\partial I}{\partial t}$

$\frac{\partial I}{\partial h}$. Кожну частинну похідну необхідно помножити на повну абсолютну похибку прямого вимірювання Δ ...тої фізичної величини, по якій брали частинну похідну. Наприклад, $\frac{\partial I}{\partial m} \Delta m$. Кожен з добутків треба піднести до

квадрату: $\left(\frac{\partial I}{\partial m} \Delta m\right)^2$ та додати їх. В результаті отримаємо загальну формулу повної абсолютної похибки непрямого вимірювання:

$$\Delta I = \sqrt{\left(\frac{\partial I}{\partial m} \Delta m\right)^2 + \left(\frac{\partial I}{\partial d} \Delta d\right)^2 + \left(\frac{\partial I}{\partial g} \Delta g\right)^2 + \left(\frac{\partial I}{\partial t} \Delta t\right)^2 + \left(\frac{\partial I}{\partial h} \Delta h\right)^2}.$$

Отже, скільки фізичних величин входить в робочу формулу, стільки доданків повинно бути під знаком кореня. Обчислювати цей вираз ми не будемо. Цю формулу необхідно дещо перетворити.

Знайдемо її складові: повні абсолютні похибки прямих вимірювань

$$\Delta \dots \text{ та часткові похідні } \frac{\partial \dots}{\partial \dots}.$$

Повні абсолютні похибки прямих вимірювань: дивимосся на робочу формулу та починаємо опрацьовувати кожен з фізичних величин m , g , h , d , t .

Похибка прямого вимірювання маси:

$$\Delta m = \sqrt{\Delta m_{\text{ен}}^2 + \Delta m_{\text{нр}}^2} = \Delta m_{\text{нр}} = \frac{2}{3} \Delta m_0 = \frac{2}{3} \cdot 0,05 \cdot 10^{-3} \text{ кг} = 0,03 \cdot 10^{-3} \text{ кг}.$$

В формулу для повної абсолютної похибки прямого вимірювання входить випадкова $\Delta m_{\text{ен}}$ та приладова $\Delta m_{\text{нр}}$ похибки. Оскільки масу ми не міряли, тобто – це таблична величина, то випадкова похибка $\Delta m_{\text{ен}} = 0$. Приладова похибка шукається за формулою:

$$\Delta m_{\text{нр}} = \frac{2}{3} \Delta m_0 = \frac{2}{3} \cdot 0,05 \cdot 10^{-3} \text{ кг} = 0,03 \cdot 10^{-3} \text{ кг}, \text{ де } \Delta m_0 - \text{ це похибка}$$

табличної величини, яку ми записали над таблицею вимірювань.

Похибка прямого вимірювання прискорення вільного падіння:

$\Delta g = \frac{2}{3} \Delta g_0 = \frac{2}{3} \cdot 0,05 = 0,03 \frac{м}{с^2}$ - оскільки g - константа, яка може бути записана з різною точністю, то вона теж має похибку. g ми не міряли, отже, повна абсолютна похибка прямого вимірювання = тільки приладовій похибці.

Похибка прямого вимірювання висоти падіння маятника:

$\Delta h = \frac{2}{3} \Delta h_0 = \frac{2}{3} \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} \approx 0,3 \cdot 10^{-3} м$ - оскільки висоту падіння ми

виміряли лише один раз, то випадкова похибка дорівнює нулю. Тому повна абсолютна похибка прямого вимірювання Δh = тільки приладовій похибці.

Фізичні величини d, t вимірювались по п'ять раз. Отже, треба враховувати як приладову похибку, так і випадкову похибку.

Повна абсолютна похибка вимірювання діаметра осі:

$$\Delta d = \sqrt{\Delta d_{np}^2 + \Delta d_{en}^2} = \dots\dots\dots$$

Записуємо цю формулу та залишаємо місце для підстановки.

Записуємо та зразу обчислюємо приладову похибку вимірювання діаметра:

$$\Delta d_{np} = \frac{2}{3} \Delta d_0 = \frac{2}{3} \cdot 0,05 \cdot 10^{-3} \approx 0,03 \cdot 10^{-3} м$$

Записуємо формулу для випадкової похибки та залишаємо місце для підстановки:

$$\Delta d_{en} = \frac{2,8}{\sqrt{5}} \cdot \Delta S_d = \dots\dots\dots$$

Тут число 2,8 – коефіцієнт Стюдента t_c , який залежить від кількості вимірювань n та від надійності (довірчої ймовірності) вимірювань p .

В нашому випадку для п'яти вимірювань $n=5$ та $p=0,95$ $t_c = 2,8$.

Значення коефіцієнта Стюдента для різної кількості вимірів та різних ймовірностей можна визначити за таблицею в довідкових матеріалах.

Записуємо формулу для середнього квадратичного відхилення і обчислюємо його:

$$\Delta S_d = \sqrt{\frac{\sum (d_i - \bar{d})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{2 \cdot (12,0 - 11,98)^2 + 2 \cdot (11,9 - 11,98)^2 + (12,1 - 11,98)^2}{5-1}} =$$

$$= 8,366 \cdot 10^{-2} мм = 8,366 \cdot 10^{-5} м$$

З таблиці вимірювань беремо значення d_i діаметра та від кожного віднімаємо середнє значення $\bar{d} = 11,98 мм$; підносимо до квадрата, додаємо,

ділимо на кількість вимірів мінус 1 та беремо корінь квадратний з отриманого значення. Пам'ятаємо, що дані були в мм. Отже, переводимо в метри.

Середнє квадратичне відхилення, яке ще називається стандартним відхиленням (*Standart deviation, SD*), можна і бажано обчислити статистичним калькулятором.

Скільки цифр брати з таблю калькулятора? Як мінімум - три зачущі, тобто без нулів зліва (напр., $\boxed{0,000011123}$ – записуємо в нормованому вигляді, використовуючи показник степені – $\boxed{1,11 \cdot 10^{-5}}$). На дисплеї інженерного калькулятора здебільшого виводиться така форма $\boxed{1,11E-5}$

Обчислене значення середнього квадратичного відхилення ΔS_d підставляємо в формулу для випадкової похибки - «вертаємось назад»:

$$\Delta d_{en} = \frac{2,8}{\sqrt{5}} \cdot 8,366 \cdot 10^{-5} = 1,048 \cdot 10^{-4} \text{ м}$$

«Вертаємось назад» ще на один крок та знаходимо повну абсолютну похибку вимірювання діаметра осі:

$$\Delta d = \sqrt{\Delta d_{np}^2 + \Delta d_{en}^2} = \sqrt{(0,03 \cdot 10^{-3})^2 + (1,048 \cdot 10^{-4})^2} = 1,099 \cdot 10^{-4} \text{ м}$$

Алгоритм знаходження повної абсолютної похибки вимірювання часу Δt такий самий.

Таким чином, ми знайшли Δm , Δg , Δh , Δd , Δt - всі повні абсолютні похибки прямих вимірювань.

Загальна формула повної абсолютної похибки непрямого вимірювання потребує перетворень. Щоб не обчислювати частинні похідні, знайдемо їх в буквенному вигляді, в кожній виділимо робочу формулу та спростимо вираз:

$$\frac{\partial I}{\partial m} = \frac{d^2}{4} \left(\frac{gt^2}{2h} - 1 \right) = \frac{I}{m}, \text{ де } I - \text{ див. робочу формулу.}$$

$$\frac{\partial I}{\partial d} = \frac{md}{2} \left(\frac{gt^2}{2h} - 1 \right) = \frac{2I}{d}$$

$$\frac{\partial I}{\partial g} = \frac{md^2 t^2}{8h} = \frac{t^2 I}{gt^2 - 2h}$$

$$\frac{\partial I}{\partial t} = \frac{md^2 gt}{4h} = \frac{2gtI}{gt^2 - 2h}$$

$$\frac{\partial I}{\partial h} = -\frac{md^2gt^2}{8h^2} = -\frac{gt^2 \cdot I}{gt^2 - 2h}$$

Підставимо ці вирази у формулу повної абсолютної похибки непрямого вимірювання і винесемо з під кореня I :

$$\Delta I = I \sqrt{\left(\frac{\Delta m}{m}\right)^2 + \left(\frac{2\Delta d}{d}\right)^2 + \left(\frac{t^2 \Delta g}{gt^2 - 2h}\right)^2 + \left(\frac{2t \cdot g \Delta t}{gt^2 - 2h}\right)^2 + \left(\frac{\frac{gt^2}{h} \Delta h}{gt^2 - 2h}\right)^2}$$

В цю формулу підставимо пораховані раніше похибки прямих вимірювань Δm , Δg , Δh , Δd , Δt , середні значення величин, які вимірювались (h , d , t), а також константи і табличні величини (m , g).

$$\begin{aligned} \Delta I &= 8,069 \cdot 10^{-4} \sqrt{\left(\frac{0,03 \cdot 10^{-3}}{415,5 \cdot 10^{-3}}\right)^2 + \left(\frac{2 \cdot 0,1099 \cdot 10^{-3}}{11,98 \cdot 10^{-3}}\right)^2 + \left(\frac{2,0676^2 \cdot 0,03}{9,8 \cdot 2,0676^2 - 2 \cdot 0,38}\right)^2} \\ &+ \left(\frac{2 \cdot 2,0676 \cdot 9,8 \cdot 4,658 \cdot 10^{-2}}{9,8 \cdot 2,0676^2 - 2 \cdot 0,38}\right)^2 + \left(\frac{9,8 \cdot 2,0676^2 \cdot 0,3 \cdot 10^{-3}}{0,38 \cdot (9,8 \cdot 2,0676^2 - 2 \cdot 0,38)}\right)^2 = \\ &= 0,3999 \cdot 10^{-4} = 0,4 \cdot 10^{-4} (\text{кг} \cdot \text{м}^2) \end{aligned}$$

Відносна похибка:

$$\varepsilon = \frac{\Delta I}{I} \cdot 100\% = \frac{3,999 \cdot 10^{-5}}{8,069 \cdot 10^{-4}} \cdot 100\% \approx 5\%$$

Іноді спочатку шукають відносну похибку

$$\varepsilon = \sqrt{\left(\frac{\Delta m}{m}\right)^2 + \left(\frac{2\Delta d}{d}\right)^2 + \frac{\left(t^2 \Delta g\right)^2 + \left(2t \cdot g \Delta t\right)^2 + \left(\frac{gt^2}{h} \Delta h\right)^2}{(gt^2 - 2h)^2}} = \dots$$

Тоді абсолютна похибка $\Delta I = \varepsilon I$. Запишемо кінцевий результат:

$$I = (8,1 \pm 0,4) \cdot 10^{-4} (\text{кг} \cdot \text{м}^2), \text{ де знак } \pm \text{ вказує на межі довірчого інтервала.}$$

$$\varepsilon = 5\% (\text{при } P=0,95)$$

Міністерство освіти і науки України

Національний університет водного господарства
та природокористування

Кафедра хімії та фізики

Звіт

з лабораторної роботи № 4.1

Вивчення гальванометра магнітоелектричної системи

Виконав:

студент групи _____

(Прізвище І.П.)

Перевірів:

(Прізвище І.П.)

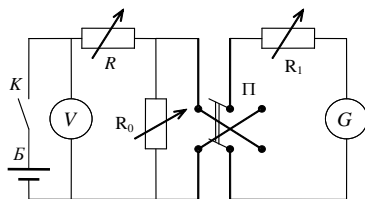
Рівне 20 р

МЕТА РОБОТИ: визначити внутрішній опір гальванометра, ціну поділки по струму і по напрузі.

РОБОЧА ФОРМУЛА:

$$R_g = \frac{n_1 R_1}{n_2 - n_1} - \frac{R R_0}{R + R_0} \quad k_i = \frac{U R_0}{n_2 (R_g (R + R_0) + R R_0)} \quad k_v = k_i \cdot R_g$$

R_g – внутрішній опір гальванометра,
 k_i – ціною поділки приладу по струму,
 k_v – ціна поділки гальванометра по напрузі,
 n_1, n_2 – кількість поділок, на яку відхилилась стрілка гальванометра, n_1', n_2' – кількість поділок, на яку відхилилась стрілка гальванометра при зміні напрямку струму,
 R, R_1, R_0 – опори.



РЕЗУЛЬТАТИ ВИМІРЮВАНЬ:

$$\begin{aligned} R &= & \Delta(R)_0 &= \\ R_0 &= & \Delta(R_0)_0 &= \\ R_1 &= & \Delta(R_1)_0 &= \\ U &= & \Delta U_0 &= \\ & & \Delta(n_1)_0 = \Delta(n_2)_0 &= \end{aligned}$$

| | n_1 | n_1' | n_2 | n_2' |
|-----|---------|--------|---------|--------|
| 1. | | | | |
| 2. | | | | |
| 3. | | | | |
| 4. | | | | |
| 5. | | | | |
| Ср. | $n_1 =$ | | $n_2 =$ | |

ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАНЬ:

$$R_{g\text{ cp}} =$$

$$k_i =$$

$$k_v =$$

ОБЧИСЛЕННЯ ПОХИБОК (ДЛЯ визначення R_g)

$$\Delta R_g = \sqrt{\left(\frac{\partial R_g}{\partial n_1} \Delta n_1\right)^2 + \left(\frac{\partial R_g}{\partial n_2} \Delta n_2\right)^2 + \left(\frac{\partial R_g}{\partial R_1} \Delta R_1\right)^2 + \left(\frac{\partial R_g}{\partial R} \Delta R\right)^2 + \left(\frac{\partial R_g}{\partial R_0} \Delta R_0\right)^2}$$

- це повна абсолютна похибка непрямого вимірювання, обчислюється після перетворень в кінці роботи.

Повні абсолютні похибки прямих вимірювань:

$$\Delta n_1 = \sqrt{\Delta n_{1np}^2 + \Delta n_{1en}^2} =$$

$$\Delta n_{1np} = \frac{2}{3} \Delta n_{10} = \frac{2}{3} \cdot 0,5 = 0,33 \text{ нод}$$

$$\Delta n_{1en} = \frac{2,8 \cdot \Delta S_{n1}}{\sqrt{10}} =$$

$$\Delta S_{n1} = \sqrt{\frac{(n_{11} - n_{1cp})^2 + \dots + (n_{110} - n_{1cp})^2}{10 - 1}} =$$

$$\Delta n_2 = \sqrt{\Delta n_{2np}^2 + \Delta n_{2en}^2} =$$

$$\Delta n_{2np} = \frac{2}{3} \Delta n_{20} = \frac{2}{3} \cdot 0,5 = 0,33 \text{ нод}$$

$$\Delta S_{n2} = \sqrt{\frac{(n_{21} - n_{2cp})^2 + \dots + (n_{210} - n_{2cp})^2}{10 - 1}} =$$

$$\Delta R_1 = \Delta R_{1np} = \frac{2}{3} \Delta R_{10} = \frac{2}{3} \cdot \frac{\text{кл.т.} \cdot R_1}{100\%} =$$

$$\Delta R = \Delta R_{np} = \frac{2}{3} \Delta R_0 = \qquad \Delta R_0 = \Delta R_{0np} = \frac{2}{3} \Delta R_{00} =$$

Частинні похідні (обчислюємо):

$$\frac{\partial R_g}{\partial n_1} = \frac{R_1}{n_2 - n_1} - \frac{n_1 R_1}{(n_2 - n_1)^2} = \frac{R_1 n_2}{(n_2 - n_1)^2} =$$

$$\frac{\partial R_g}{\partial n_2} = -\frac{n_1 R_1}{(n_2 - n_1)^2} =$$

$$\frac{\partial R_g}{\partial R_1} = -\frac{n_1}{n_2 - n_1} =$$

$$\frac{\partial R_g}{\partial R} = -\frac{R_0^2}{(R + R_0)^2} =$$

$$\frac{\partial R_g}{\partial R_0} = -\frac{R^2}{(R + R_0)^2} =$$

$$\Delta R_g = \sqrt{\left(\frac{\partial R_g}{\partial n_1} \Delta n_1\right)^2 + \left(\frac{\partial R_g}{\partial n_2} \Delta n_2\right)^2 + \left(\frac{\partial R_g}{\partial R_1} \Delta R_1\right)^2 + \left(\frac{\partial R_g}{\partial R} \Delta R\right)^2 + \left(\frac{\partial R_g}{\partial R_0} \Delta R_0\right)^2}$$

=

$$\varepsilon = \frac{\Delta R_g}{R_{g\text{cp}}} 100\% =$$

КІНЦЕВИЙ РЕЗУЛЬТАТ:

$$R_g = R_{g\text{cp}} \pm \Delta R_g =$$

$$k_i = \qquad k_v =$$

Контрольні питання до роботи 4.1

1. Що називається магнітним моментом контуру зі струмом? Які його величина, напрямок, одиниця вимірювання?
2. Записати вираз для моменту сили, що діє на контур зі струмом, вміщений в магнітне поле.
3. При якій орієнтації контуру зі струмом в магнітному полі обертаючий момент максимальний? В якому випадку він дорівнює нулю?
4. Яка будова і принцип дії гальванометра магнітоелектричної системи?
5. Дайте визначення ціни поділки гальванометра по струму і по напрузі. Встановіть зв'язок між k_i та k_v .
6. Покажіть, що кут повороту рухомої частини гальванометра прямо пропорційний силі струму.
7. Чи можна гальванометром магнітоелектричної системи вимірювати змінні струми? Відповідь обґрунтуйте.

Міністерство освіти і науки України

Національний університет водного господарства
та природокористування

Кафедра хімії та фізики

Звіт

з лабораторної роботи № 4.3

Визначення питомого заряду електрона методом магнетрона

Виконав:

студент групи _____

(Прізвище І.П.)

Перевірів:

(Прізвище І.П.)

Рівне 20 р

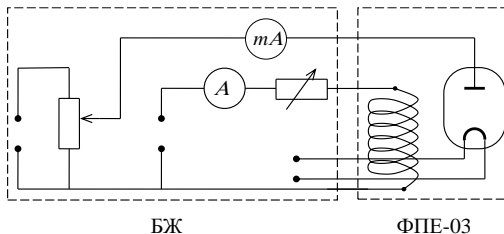
23

МЕТА РОБОТИ: визначити питомий заряд електрона методом магнетрона.

РОБОЧА ФОРМУЛА:

$$\frac{e}{m} = \frac{8U(\ell^2 + d^2)}{(RN I_{ck} \mu_0)^2}$$

ℓ – довжина соленоїда,
 d – діаметр соленоїда,
 μ_0 – магнітна стала,
 N – число витків соленоїда,
 I_{ck} – критичний струм соленоїда,
 U – напруга,
 R – радіус діода.



РЕЗУЛЬТАТИ ВИМІРЮВАНЬ:

$U =$ $\Delta U_0 =$

$l =$ $\Delta l_0 =$

$d =$ $\Delta d_0 =$

$R =$ $\Delta R_0 =$

$N =$ $\Delta N_0 =$

$\mu_0 =$ $\Delta(\mu_0)_0 =$

$I_{ck} =$ $\Delta(I_{ck})_0 =$

| | | | | | | | | |
|-----------|--|--|--|--|--|--|--|--|
| I_a, mA | | | | | | | | |
| I_c, A | | | | | | | | |

ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАНЬ:

$$\frac{e}{m} =$$

ОБЧИСЛЕННЯ ПОХИБОК:

$$\Delta\left(\frac{e}{m}\right) = \sqrt{\left(\frac{\partial\left(\frac{e}{m}\right)}{\partial U} \Delta U\right)^2 + \left(\frac{\partial\left(\frac{e}{m}\right)}{\partial \ell} \Delta \ell\right)^2 + \left(\frac{\partial\left(\frac{e}{m}\right)}{\partial d} \Delta d\right)^2 + \left(\frac{\partial\left(\frac{e}{m}\right)}{\partial R} \Delta R\right)^2 + \left(\frac{\partial\left(\frac{e}{m}\right)}{\partial N} \Delta N\right)^2 + \left(\frac{\partial\left(\frac{e}{m}\right)}{\partial I_{ск}} \Delta I_{ск}\right)^2 + \left(\frac{\partial\left(\frac{e}{m}\right)}{\partial \mu_0} \Delta \mu_0\right)^2}$$

- це повна абсолютна похибка непрямого

вимірювання, обчислюється після перетворень в кінці роботи.

Повні абсолютні похибки прямих вимірювань:

$$\Delta U = \sqrt{\Delta U_{np}^2 + \Delta U_{en}^2} = \Delta U_{np} = \frac{2}{3} \Delta U_0 =$$

$$\Delta \ell = \Delta \ell_{np} = \frac{2}{3} \Delta \ell_0 = \quad \Delta d = \Delta d_{np} = \frac{2}{3} \Delta d_0 =$$

$$\Delta R = \Delta R_{np} = \frac{2}{3} \Delta R_0 =$$

$$\Delta N = \Delta N_{np} = \frac{2}{3} \Delta N_0 =$$

$$\Delta I_{ск} = \Delta I_{ск np} = \frac{2}{3} \Delta I_{ск 0} =$$

$$\Delta \mu_0 = \Delta \mu_{0 np} = \frac{2}{3} \Delta \mu_{0 0} = \frac{2}{3} \cdot 5 \cdot 10^{-10} \text{ Гн/м}$$

Частинні похідні з виділеною в них робочою формулою (не обчислюємо):

$$\left(\frac{\partial\left(\frac{e}{m}\right)}{\partial U}\right) = \frac{8(\ell^2 + d^2)}{R^2(NI_{ск}\mu_0)^2} = \frac{\left(\frac{e}{m}\right)}{U}; \quad \left(\frac{\partial\left(\frac{e}{m}\right)}{\partial \ell}\right) = \frac{8U \cdot 2\ell}{R^2(NI_{ск}\mu_0)^2} = \frac{2\ell\left(\frac{e}{m}\right)}{(\ell^2 + d^2)};$$

$$\left(\frac{\partial \left(\frac{e}{m} \right)}{\partial d} \right) = \frac{8U \cdot 2d}{R^2 (NI_{\text{ск}} \mu_0)^2} = \frac{2d \left(\frac{e}{m} \right)}{(\ell^2 + d^2)}; \quad \left(\frac{\partial \left(\frac{e}{m} \right)}{\partial R} \right) = -\frac{2 \cdot 8U (\ell^2 + d^2)}{R^3 (NI_{\text{ск}} \mu_0)^2} = -\frac{2 \left(\frac{e}{m} \right)}{R};$$

$$\left(\frac{\partial \left(\frac{e}{m} \right)}{\partial N} \right) = -\frac{2 \cdot 8U (\ell^2 + d^2)}{R^2 N (NI_{\text{ск}} \mu_0)^2} = -\frac{2 \left(\frac{e}{m} \right)}{N}; \quad \left(\frac{\partial \left(\frac{e}{m} \right)}{\partial I_{\text{ск}}} \right) = -\frac{2 \cdot 8U (\ell^2 + d^2)}{R^2 I_{\text{ск}} (NI_{\text{ск}} \mu_0)^2} = -\frac{2 \left(\frac{e}{m} \right)}{I_{\text{ск}}}$$

$$\left(\frac{\partial \left(\frac{e}{m} \right)}{\partial \mu_0} \right) = -\frac{2 \cdot 8U (\ell^2 + d^2)}{R^2 \mu_0 (NI_{\text{ск}} \mu_0)^2} = -\frac{2 \left(\frac{e}{m} \right)}{\mu_0} - \text{Підставимо в формулу для } \Delta \left(\frac{e}{m} \right) \text{ та}$$

обрахуємо відносну похибку:

$$\varepsilon = \sqrt{\left(\frac{\Delta U}{U} \right)^2 + \left(\frac{2\ell \Delta \ell}{(\ell^2 + d^2)} \right)^2 + \left(\frac{2d \Delta d}{(\ell^2 + d^2)} \right)^2 + \left(\frac{2\Delta R}{R} \right)^2 + \left(\frac{2\Delta N}{N} \right)^2 + \left(\frac{2\Delta I_{\text{ск}}}{I_{\text{ск}}} \right)^2 + \left(\frac{2\Delta \mu_0}{\mu_0} \right)^2} =$$

=

$$\Delta \left(\frac{e}{m} \right) = \varepsilon \cdot \frac{e}{m}$$

КІНЦЕВИЙ РЕЗУЛЬТАТ:

$$\frac{e}{m} = \left(\frac{e}{m} \right) \pm \Delta \frac{e}{m} =$$

$$\varepsilon = \quad \%$$

Контрольні питання до роботи 4.3

1. Яка будова магнетрона? Практичне використання магнетрона.
2. Описати електромагнітне поле в магнетроні.
3. Довести, що сила Лоренца не виконує роботи.
4. При яких умовах виникає сила Лоренца? Яка величина і напрям сили Лоренца?
5. Чому в залежності $I_a = f(I_c)$ відсутній різкий спад?
6. Вивести робочу формулу.

Міністерство освіти і науки України

Національний університет водного господарства
та природокористування

Кафедра хімії та фізики

Звіт

з лабораторної роботи № 4.5

Визначення горизонтальної складової напруженості магнітного поля Землі

Виконав:

студент групи _____

(Прізвище І.П.)

Перевірів:

(Прізвище І.П.)

Рівне 20 р

28

МЕТА РОБОТИ: визначити горизонтальну складову напруженості магнітного поля Землі.

РОБОЧА ФОРМУЛА:

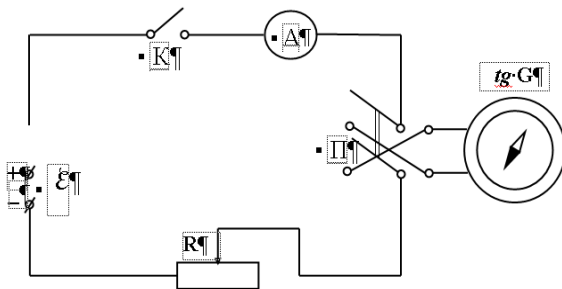
$$H_0 = \frac{I N}{2 r \operatorname{tg} \alpha}$$

I – сила струму у витках котушки,

N – число витків,

r – радіус котушки,

α – кут відхилення магнітної стрілки від площини магнітного меридіана Землі.



РЕЗУЛЬТАТИ ВИМІРЮВАНЬ:

$I =$

$\Delta I_0 =$

$r =$

$\Delta r_0 =$

$N =$

$\Delta \alpha_0 =$

$\Delta N_0 =$

| | α_1 | α_2 | α_3 | α_4 |
|----|------------|------------|------------|------------|
| 1 | | | | |
| 2 | | | | |
| 3 | | | | |
| Ср | $\alpha =$ | | | |

ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАНЬ:

$$H_0 =$$

ОБЧИСЛЕННЯ ПОХИБОК:

$$\Delta H_0 = \sqrt{\left(\frac{\partial H_0}{\partial I} \Delta I\right)^2 + \left(\frac{\partial H_0}{\partial r} \Delta r\right)^2 + \left(\frac{\partial H_0}{\partial \alpha} \Delta \alpha\right)^2 + \left(\frac{\partial H_0}{\partial N} \Delta N\right)^2} \quad \text{- це повна}$$

абсолютна похибка непрямого вимірювання, обчислюється після перетворень в кінці роботи.

Повні абсолютні похибки прямих вимірювань:

$$\Delta I = \sqrt{\Delta I_{np}^2 + \Delta I_{en}^2} = \Delta I_{np} = \frac{2}{3} \Delta I_0 =$$

$$\Delta r = \sqrt{\Delta r_{np}^2 + \Delta r_{en}^2} = \Delta r_{np} = \frac{2}{3} \Delta r_0 = \frac{2}{3} \cdot 0,005 = 3,333 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

$$\Delta N = \sqrt{\Delta N_{np}^2 + \Delta N_{en}^2} = \Delta N_{np} = \frac{2}{3} \Delta N_0 = \frac{2}{3} \cdot 0,5 = 0,333$$

$\Delta \alpha$ перевести в радіани !!!

$$\Delta \alpha = \sqrt{\Delta \alpha_{np}^2 + \Delta \alpha_{en}^2} =$$

$$\Delta \alpha_{np} = \frac{2}{3} \Delta \alpha_0 = \frac{2}{3} \cdot 0,5^\circ \approx 0,333^\circ$$

При $n = 12$ вимірів коефіцієнт Стьюдента $t_c = 2,3$:

$$\Delta \alpha_{en} = \frac{2,3 \cdot \Delta S_\alpha}{\sqrt{12}} =$$

$$\Delta S_\alpha = \sqrt{\frac{(\alpha_1 - \alpha_{cp})^2 + \dots + (\alpha_{12} - \alpha_{cp})^2}{12 - 1}} =$$

Частинні похідні з виділеною в них робочою формулою (не обчислюємо):

$$\frac{\partial H_0}{\partial I} = \frac{N}{2 \cdot r \operatorname{tg} \alpha} = \frac{H_0}{I}; \quad \frac{\partial H_0}{\partial r} = -\frac{I N}{2 \cdot r^2 \operatorname{tg} \alpha} = -\frac{H_0}{r};$$

$$\frac{\partial H_0}{\partial \alpha} = -\frac{I N}{2 \cdot r \sin^2 \alpha} = -\frac{H_0}{\sin \alpha \cos \alpha} = -\frac{2H_0}{\sin 2\alpha}; \quad \frac{\partial H_0}{\partial N} = \frac{I}{2 \cdot r \operatorname{tg} \alpha} = \frac{H_0}{N}$$

Підставимо частинні похідні в формулу для ΔH_0 та обрахуємо відносну похибку:

$$\varepsilon = \sqrt{\left(\frac{\Delta I}{I}\right)^2 + \left(\frac{\Delta r}{r}\right)^2 + \left(\frac{2\Delta \alpha}{\sin(2\alpha)}\right)^2 + \left(\frac{\Delta N}{N}\right)^2} =$$

$$\Delta H_0 = \varepsilon \cdot H_0$$

КІНЦЕВИЙ РЕЗУЛЬТАТ:

$$H = H_{cp} \pm \Delta H =$$

$$\varepsilon = \quad \%$$

Контрольні питання до роботи 4.5

1. Сформулювати і записати закон Біо-Савара-Лапласа та принципи суперпозиції магнітних полів.
2. Який зв'язок між магнітною індукцією та напруженістю магнітного поля? В яких одиницях вимірюються В та Н?
3. Вивести формулу для напруженості магнітного поля в центрі колового струму.
4. Пояснити будову і принцип дії тангенс-гальванометра. Вивести робочу формулу.
5. Чому магнітна стрілка тангенс-гальванометра повинна бути невеликого розміру?
6. Від чого залежить кут відхилення стрілки в даній роботі?
7. Чому похибка вимірювань найменша, коли кут відхилення α близький до 45° ?

Міністерство освіти і науки України

Національний університет водного господарства
та природокористування

Кафедра хімії та фізики

Звіт

з лабораторної роботи № 4.6

Визначення прискорення вільного падіння за допомогою оборотного маятника

Виконав:

студент групи _____

(Прізвище І.П.)

Перевірив:

(Прізвище І.П.)

Рівне 20 р

32

МЕТА РОБОТИ: визначення прискорення вільного падіння за допомогою оборотного маятника.

РОБОЧА ФОРМУЛА:

$$g = \frac{4\pi^2 L}{T^2}$$

T – періоди коливань маятника,

L – віддаль між робочими ребрами призми A і B (зведена довжина маятника)

РЕЗУЛЬТАТИ ВИМІРЮВАНЬ:

$\pi =$

$\Delta\pi_0 =$

$n =$

$\Delta T_0 = \Delta t_0 =$

$L =$

$\Delta L_0 =$

$l_1 =$

$l_2 =$

| | t_1 | t_2 | T_1 | T_2 |
|-----|-------|-------|-------|-------|
| СІ | | | | |
| 1. | | | | |
| 2. | | | | |
| 3. | | | | |
| 4. | | | | |
| 5. | | | | |
| Ср. | | | | |

ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАНЬ:

$g =$

ОБЧИСЛЕННЯ ПОХИБОК:

$$\Delta g = \sqrt{\left(\frac{\partial g}{\partial \pi} \Delta \pi\right)^2 + \left(\frac{\partial g}{\partial L} \Delta L\right)^2 + \left(\frac{\partial g}{\partial T} \Delta T\right)^2} \quad \text{- це повна абсолютна похибка}$$

непрямого вимірювання, обчислюється після перетворень в кінці роботи.

Повні абсолютні похибки прямих вимірювань:

$$\Delta \pi = \Delta \pi_{np} = \frac{2}{3} \Delta \pi_0 = \frac{2}{3} \cdot 0,005 \approx 0,003$$

$$\Delta L = \Delta L_{np} = \frac{2}{3} \Delta L_0 = \frac{2}{3} \cdot 0,5 \cdot 10^{-2} \approx 0,003 м$$

$$\Delta T = \sqrt{\Delta T_{np}^2 + \Delta T_{en}^2} =$$

$$\Delta T_{np} = \frac{2}{3} \Delta T_0 = \frac{2}{3} \cdot 0,001 \approx 0,0007 с$$

$$\Delta T_{en} = \frac{2,8 \cdot \Delta S_T}{\sqrt{5}} =$$

$$\Delta S_T = \sqrt{\frac{(T_{11} - T_{cp})^2 + \dots + (T_{15} - T_{cp})^2}{15 - 1}} =$$

$$\Delta T' = - \frac{l_2 (T_1 - T_2)}{l_1 - l_2} =$$

Отримане значення ΔT порівняти зі значенням $\Delta T'$. Більш грубу похибку треба підставити в формулу для повної абсолютної похибки непрямого вимірювання в кінці роботи

Частинні похідні з виділеною в них робочою формулою (не обчислюємо):

$$\frac{\partial g}{\partial \pi} = \frac{8\pi L}{T^2} = \frac{2g}{\pi}; \quad \frac{\partial g}{\partial L} = \frac{4\pi^2}{T^2} = \frac{g}{L}; \quad \frac{\partial g}{\partial T} = -\frac{8\pi^2 L}{T^3} = -\frac{2g}{T}$$

Підставимо частинні похідні в формулу для Δg та обрахуємо відносну похибку:

$$\varepsilon = \sqrt{\left(\frac{2\Delta\pi}{\pi}\right)^2 + \left(\frac{\Delta L}{L}\right)^2 + \left(\frac{2\Delta T}{T}\right)^2} =$$

$$\Delta g = \varepsilon g$$

КІНЦЕВИЙ РЕЗУЛЬТАТ:

$$g = g_{cp} \pm \Delta g =$$

$$\varepsilon = \quad \%$$

Контрольні питання до роботи 4.6

1. Які коливання називають гармонічними? Записати рівняння гармонічного коливання. Що таке амплітуда, фаза, частота коливання?
2. Який зв'язок існує між циклічною частотою і періодом коливання?
3. Який маятник називають фізичним? Записати і пояснити диференціальне рівняння гармонічних коливань фізичного маятника (вивести).
4. Записати і пояснити вираз для періоду коливань фізичного маятника.
5. Що таке зведена довжина фізичного маятника? Як вона залежить від величин, що характеризують маятник?
6. Які точки називають центром обертання і центром коливань? Який маятник називають оборотним?
7. Чому при виконанні досліду амплітуди коливань маятника повинні бути невеликими?

Міністерство освіти і науки України

Національний університет водного господарства
та природокористування

Кафедра хімії та фізики

Звіт

з лабораторної роботи № 4.9

Визначення швидкості звуку в повітрі

Виконав:

студент групи _____

(Прізвище І.П.)

Перевірів:

(Прізвище І.П.)

Рівне 20 р

МЕТА РОБОТИ: вивчити особливості поширення звукових хвиль в різних середовищах і визначити швидкість звуку в повітрі.

РОБОЧА ФОРМУЛА:

$$v = \frac{2(x_2 - x_1)v}{k} = 2z\nu$$

v – швидкість звуку в повітрі,

k – ціле число,

x_1 і x_2 – віддаль між випромінювачем і приймачем,

ν – частоти.

РЕЗУЛЬТАТИ ВИМІРЮВАНЬ:

$$\Delta x_0 =$$

$$\Delta \nu_0 =$$

$$\Delta z_0 =$$

| | x_1 | x_2 | k | $z = \frac{x_2 - x_1}{k}$ | $\Delta z = z_i - z_{cp} $ | ν | $\Delta \nu$ |
|----|-------|-------|-----|---------------------------|-----------------------------|-------|--------------|
| СІ | | | | | | | |
| 1. | | | | | | | |
| 2. | | | | | | | |
| 3. | | | | | | | |
| 4. | | | | | | | |
| 5. | | | | | | | |
| 6. | | | | | | | |
| 7. | | | | | | | |
| Ср | --- | --- | -- | | | | |

ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАНЬ:

$$U = 2 z v =$$

ОБЧИСЛЕННЯ ПОХИБОК:

$$\Delta v = \sqrt{\left(\frac{\partial v}{\partial z} \Delta z\right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial v} \Delta v\right)^2} \quad \text{- це повна абсолютна похибка непрямого}$$

вимірювання, обчислюється після перетворень в кінці роботи.

Повні абсолютні похибки прямих вимірювань:

$$\Delta z = \sqrt{\Delta z_{np}^2 + \Delta z_{en}^2} =$$

$$\Delta z_{np} = \frac{2}{3} \Delta z_0 = \frac{2}{3} \cdot 5 \cdot 10^{-4} \approx 3,33 \cdot 10^{-4} \text{ м}$$

$$\Delta z_{en} = \frac{t_c \cdot \Delta S_z}{\sqrt{n}} =$$

(t_c - коефіцієнт Стьюдента: $t_c = 2,8$ при $n = 5$ вимірів, $t_c = 2,6$ при $n = 6$ вимірів, $t_c = 2,4$ при $n = 7$ вимірів)

$$\Delta S_z = \sqrt{\frac{(z_1 - z_{cp})^2 + \dots + (z_n - z_{cp})^2}{n-1}} =$$

$$\Delta v = \sqrt{\Delta v_{np}^2 + \Delta v_{en}^2} =$$

$$\Delta v_{np} = \frac{2}{3} \Delta v_0 = \frac{2}{3} \cdot 1 \approx 0,667 \text{ Гц}$$

$$\Delta v_{en} = \frac{t_c \cdot \Delta S_v}{\sqrt{n}} =$$

$$\Delta S_v = \sqrt{\frac{(v_1 - v_{cp})^2 + \dots + (v_n - v_{cp})^2}{n-1}} =$$

Частинні похідні з виділеною в них робочою формулою (не обчислюємо):

$$\frac{\partial v}{\partial z} = 2v; \quad \frac{\partial v}{\partial v} = 2z.$$

Підставимо частинні похідні в формулу для Δv та обрахуємо відносну похибку:

$$\varepsilon = \sqrt{\left(\frac{\Delta z}{z}\right)^2 + \left(\frac{\Delta v}{v}\right)^2} =$$

$$\Delta v = \varepsilon v$$

КІНЦЕВИЙ РЕЗУЛЬТАТ:

$$v = v_{cp} \pm \Delta v =$$

$$\varepsilon = \quad \%$$

Контрольні питання до роботи 4.9

1. Що таке хвиля? Довжина хвилі?
2. Записати і пояснити рівняння плоскої хвилі.
3. Які коливання називають звуковими?
4. Що таке фаза хвилі і від чого вона залежить?
5. Коли виникають фігури Лісажу? В якому випадку спостерігається пряма лінія?
6. Коли виникають стоячі хвилі? Записати і пояснити рівняння стоячої хвилі.
7. Що таке вузли та пучності? Знайти координати вузлів і пучностей.
8. Яка віддаль між сусідніми вузлами (пучностями); між сусідніми вузлом та пучністю?

Міністерство освіти і науки України

Національний університет водного господарства
та природокористування

Кафедра хімії та фізики

Звіт

з лабораторної роботи № 4.10

Вимірювання довжини хвилі і частоти електромагнітних коливань

Виконав:

студент групи _____

(Прізвище І.П.)

Перевірів:

(Прізвище І.П.)

Рівне 20 р

40

МЕТА РОБОТИ: виміряти довжину хвилі і частоту електромагнітних коливань.

РОБОЧА ФОРМУЛА:

$$\lambda = 2 \ell \qquad \nu = \frac{c}{\lambda}$$

l – довжина хвилі,

c – швидкість світла,

ν – частота,

l – відстань між двома сусідніми максимумами.

РЕЗУЛЬТАТИ ВИМІРЮВАНЬ:

$C =$

$\Delta C_0 =$

| k | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | Ср. |
|---------------|---|---|---|---|---|---|---|-------|-------|
| $x_k,$ | | | | | | | | | ----- |
| $l_k,$ | | | | | | | | ----- | |
| $\Delta l_k,$ | | | | | | | | ----- | |

$$l_k = l_{k+1} - l_k$$

$$\Delta l_k = |(l_k)_{cp} - l_k|$$

ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАНЬ:

$$\lambda_{cp} = 2 (l_k)_{cp} =$$

$$\nu =$$

ОБЧИСЛЕННЯ ПОХИБОК:

Похибки обчислення довжини електромагнітної хвилі

$\Delta\lambda = \sqrt{\left(\frac{\partial\lambda}{\partial\ell} \Delta\ell\right)^2}$ - це повна абсолютна похибка, її обчислимо після

обчислення $\Delta\ell$ та знаходження частинної похідної.

$$\Delta\ell = \sqrt{\Delta\ell_{np}^2 + \Delta\ell_{en}^2} =$$

$$\Delta\ell_{np} = \frac{2}{3} \Delta\ell_0 = \frac{2}{3} \cdot 5 \cdot 10^{-3} \approx 3,33 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

$$\Delta\ell_{en} = \frac{t_c \cdot \Delta S_\ell}{\sqrt{n}} =$$

(в кінці МВ в таблиці коефіцієнтів Стюдента подивіться значення t_c для 7 – ми вимірів при надійності 0,95)

$$\Delta S_\ell = \sqrt{\frac{(\ell_1 - \ell_{cp})^2 + \dots + (\ell_7 - \ell_{cp})^2}{7 - 1}} =$$

Частинна похідна: $\frac{\partial\lambda}{\partial\ell} = 2$. Підставимо її в повну абсолютну похибку:

$$\Delta\lambda = \sqrt{\left(\frac{\partial\lambda}{\partial\ell} \Delta\ell\right)^2} = 2\Delta\ell =$$

$$\varepsilon_\lambda = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_{cp}} =$$

Порівняти отримане значення з відносною похибкою, обчисленою за даними:

$$\varepsilon_\lambda = 2 \frac{\Delta(l_k)_{cp}}{(l_k)_{cp}} =$$

Більш грубе значення використати для знаходження:

$$\Delta\lambda = \varepsilon_\lambda \lambda_{cp} =$$

Похибки обчислення частоти електромагнітної хвилі

$$\Delta v = \sqrt{\left(\frac{\partial v}{\partial c} \Delta c\right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial \lambda} \Delta \lambda\right)^2} \quad \text{це повна абсолютна похибка}$$

непрямого вимірювання, обчислюється після перетворень в кінці роботи.
Повні абсолютні похибки прямих вимірювань:

$$\Delta c = \Delta c_{np} = \frac{2}{3} \Delta c_0 = \frac{2}{3} \cdot 50 \approx 33,33 \text{ м/с}$$

$$\Delta \lambda =$$

(це значення ми вже обчислили)

Частинні похідні з виділеною в них робочою формулою (не обчислюємо):

$$\frac{\partial v}{\partial c} = \frac{1}{\lambda} = \frac{v}{c}; \quad \frac{\partial v}{\partial \lambda} = -\frac{c}{\lambda^2} = -\frac{v}{\lambda}.$$

Підставимо частинні похідні в формулу для Δv та обрахуємо відносну похибку:

$$\varepsilon_v = \sqrt{\left(\frac{\Delta c}{c}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \lambda}{\lambda}\right)^2} =$$

$$\Delta v = \varepsilon_v v$$

КІНЦЕВИЙ РЕЗУЛЬТАТ:

$$\lambda = \lambda_{cp} \pm \Delta \lambda =$$

$$\varepsilon = \quad \%$$

$$v = v_{cp} \pm \Delta v =$$

$$\varepsilon = \quad \%$$

Контрольні питання до роботи 4.10

1. Дати визначення та записати рівняння електромагнітної хвилі. Що таке довжина хвилі?
2. Який напрямок мають вектори напруженості електричного і магнітного полів при поширенні електромагнітної хвилі вздовж двопровідної лінії?
3. Коли утворюються стоячі хвилі? Записати і пояснити рівняння стоячої хвилі.
4. Який характер має коливальний рух у стоячій хвилі? Що таке вузли і пучності?
5. Знайти координати вузлів і пучностей.
6. Яка віддаль між двома сусідніми вузлами, пучностями, сусідніми вузлом і пучністю?
7. Який зв'язок існує між частотою коливань і довжиною хвилі?
8. Які крайові умови виконуються на кінці двохпровідної лінії в залежності від того, замкнута лінія чи розімкнута?

Міністерство освіти і науки України

Національний університет водного господарства
та природокористування

Кафедра хімії та фізики

Звіт

з лабораторної роботи № 5.1

Визначення довжини світлової хвилі за допомогою біпризми Френеля

Виконав:

студент групи _____

(Прізвище І.П.)

Перевірів:

(Прізвище І.П.)

Рівне 20 р

45

МЕТА РОБОТИ: за допомогою біпрізми Френеля визначити довжину світлової хвилі.

РОБОЧА ФОРМУЛА:

$$\lambda = \frac{a |S| c}{k L S'}$$

$|S|$ – віддаль від лінзи до предмета (щілини),

S' – віддаль від лінзи до зображення (площини окулярного мікроскопа),

a – ширина певної інтерференційної смуги,

k – кількості інтерференційних смуг,

c – різниця показів окулярного мікроскопа,

L – віддаль між щілиною і площиною окулярного мікроскопа.

РЕЗУЛЬТАТИ ВИМІРЮВАНЬ:

$k =$

$L =$

$\Delta L_0 =$

$\Delta c_0 =$

$\Delta a_0 =$

$\Delta |S|_0 =$

$\Delta (S')_0 =$

$\Delta a_0 =$

| | a_1 | a_2 | a | S | S' | c_1 | c_2 | c |
|----|-------|-------|-----|-----|------|-------|-------|-----|
| СІ | | | | | | | | |
| 1. | | | | | | | | |
| 2. | | | | | | | | |
| 3. | | | | | | | | |
| 4. | | | | | | | | |
| 5. | | | | | | | | |
| Ср | ---- | ---- | | | | ---- | ---- | |

$$a = a_2 - a_1,$$

$$c = c_2 - c_1$$

ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАНЬ:

$$\lambda =$$

ОБЧИСЛЕННЯ ПОХИБОК:

$$\Delta\lambda = \sqrt{\left(\frac{\partial\lambda}{\partial a} \Delta a\right)^2 + \left(\frac{\partial\lambda}{\partial |S|} \Delta |S|\right)^2 + \left(\frac{\partial\lambda}{\partial c} \Delta c\right)^2 + \left(\frac{\partial\lambda}{\partial k} \Delta k\right)^2 + \left(\frac{\partial\lambda}{\partial L} \Delta L\right)^2 + \left(\frac{\partial\lambda}{\partial S'} \Delta S'\right)^2}$$

- це повна абсолютна похибка непрямого вимірювання, обчислюється після перетворень в кінці роботи.

Повні абсолютні похибки прямих вимірювань:

$$\Delta a = \sqrt{\Delta a_{np}^2 + \Delta a_{en}^2} =$$

$$\Delta a_{np} = \frac{2}{3} \Delta a_0 = \frac{2}{3} \cdot 0,005 \cdot 10^{-3} \approx 3,3333 \cdot 10^{-6} \text{ м}$$

$$\Delta a_{en} = \frac{2,8 \cdot \Delta S_a}{\sqrt{5}} =$$

$$\Delta S_a = \sqrt{\frac{\sum_i (a_i - a_{cp})^2}{5-1}} = \sqrt{\frac{(a_1 - a_{cp})^2 + \dots + (a_5 - a_{cp})^2}{5-1}} =$$

$$\Delta |S| = \Delta |S|_{np} = \frac{2}{3} \Delta |S|_0 = \frac{2}{3} \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} \approx 3,3333 \cdot 10^{-4} \text{ м}$$

$$\Delta k = \Delta k_{np} = \frac{2}{3} \Delta k_0 = 0$$

$$\Delta L = \Delta L_{np} = \frac{2}{3} \Delta L_0 = \frac{2}{3} \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} \approx 3,3333 \cdot 10^{-4} \text{ м}$$

$$\Delta S' = \Delta S'_{np} = \frac{2}{3} \Delta S'_0 = \frac{2}{3} \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} \approx 3,3333 \cdot 10^{-4} \text{ м}$$

$$\Delta c = \sqrt{\Delta c_{np}^2 + \Delta a_{en}^2} =$$

$$\Delta c_{np} = \frac{2}{3} \Delta c_0 = \frac{2}{3} \cdot 0,005 \cdot 10^{-3} \approx 3,3333 \cdot 10^{-6} \text{ м}$$

$$\Delta c_{en} = \frac{2,8 \cdot \Delta S_c}{\sqrt{5}} =$$

$$\Delta S_c = \sqrt{\frac{\sum_i (c_i - c_{cp})^2}{5-1}} = \sqrt{\frac{(c_1 - c_{cp})^2 + \dots + (c_5 - c_{cp})^2}{5-1}} =$$

Частинні похідні з виділеною в них робочою формулою (не обчислюємо):

$$\frac{\partial \lambda}{\partial a} = \frac{|S| \cdot c}{k L S'} = \frac{\lambda}{a}; \quad \frac{\partial \lambda}{\partial S} = \frac{a \cdot c}{k L S'} = \frac{\lambda}{|S|}; \quad \frac{\partial \lambda}{\partial c} = \frac{a |S|}{k L S'} = \frac{\lambda}{c}; \quad \frac{\partial \lambda}{\partial L} = -\frac{a |S| c}{k L^2 S'} = -\frac{\lambda}{L}$$

$$\frac{\partial \lambda}{\partial S'} = -\frac{a |S| c}{k L (S')^2} = -\frac{\lambda}{S'}$$

- Підставимо частинні похідні в формулу для $\Delta \lambda$ та

обрахуємо відносну похибку:

$$\varepsilon = \sqrt{\left(\frac{\Delta a}{a}\right)^2 + \left(\frac{\Delta |S|}{|S|}\right)^2 + \left(\frac{\Delta c}{c}\right)^2 + \left(\frac{\Delta L}{L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta S'}{S'}\right)^2} =$$

$$\Delta \lambda = \varepsilon \lambda =$$

КІНЦЕВИЙ РЕЗУЛЬТАТ:

$$\lambda = \lambda_{cp} \pm \Delta \lambda =$$

$$\varepsilon = \quad \%$$

Контрольні питання до роботи 5.1

1. Які хвилі називаються когерентними?
2. Які способи отримання когерентних світлових хвиль?
3. Що таке інтерференція?
4. Записати і пояснити умови максимумів та мінімумів інтерференції світла.
5. Який вигляд має інтерференційна картина від двох точкових когерентних джерел? Записати і пояснити умови максимумів та мінімумів для цього випадку.
6. Нарисувати хід променів у біпризмі Френеля. Пояснити роботу біпризми Френеля.
7. Вивести робочу формулу.

Міністерство освіти і науки України

Національний університет водного господарства
та природокористування

Кафедра хімії та фізики

Звіт

з лабораторної роботи № 5.4

***Визначення довжини світлової хвилі
за допомогою дифракційної решітки***

Виконав:

студент групи _____

(Прізвище І.П.)

Перевірів:

(Прізвище І.П.)

Рівне 20 р

50

МЕТА РОБОТИ: визначити довжину світлової хвилі за допомогою дифракційної решітки.

РОБОЧА ФОРМУЛА:

$$\lambda = \frac{x d}{k \sqrt{F^2 + x^2}}$$

F – фокусна відстань другої лінзи,

x – координата k -того максимуму освітленості для певної довжини хвилі (кольору світла) дифракційного спектру,

d – період дифракційної решітки.

РЕЗУЛЬТАТИ ВИМІРЮВАНЬ:

$F =$

$d =$

$\Delta x_0 =$

$\Delta L_0 =$

| k | 1 | 2 | 3 | 4 | Ср |
|------------------|---|---|---|---|-------|
| $x,$ | | | | | ----- |
| $\lambda,$ | | | | | |
| $\Delta\lambda,$ | | | | | |

ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАНЬ:

$\lambda =$

ОБЧИСЛЕННЯ ПОХИБОК:

$$\Delta\lambda = \sqrt{\left(\frac{\partial\lambda}{\partial x} \Delta x\right)^2 + \left(\frac{\partial\lambda}{\partial d} \Delta d\right)^2 + \left(\frac{\partial\lambda}{\partial k} \Delta k\right)^2 + \left(\frac{\partial\lambda}{\partial L} \Delta L\right)^2} - \text{це повна}$$

абсолютна похибка непрямого вимірювання, обчислюється після перетворень в кінці роботи.

Повні абсолютні похибки прямих вимірювань:

$$\Delta x = \sqrt{\Delta x_{np}^2 + \Delta x_{en}^2} =$$

$$\Delta x_{np} = \frac{2}{3} \Delta x_0 =$$

$$\Delta x_{en} = \frac{3,2 \cdot \Delta S_x}{\sqrt{4}} =$$

$$\Delta S_x = \sqrt{\frac{\sum_i (x_i - x_{cp})^2}{4-1}} = \sqrt{\frac{(x_1 - a_{cp})^2 + \dots + (x_4 - a_{cp})^2}{4-1}} =$$

$$\Delta d_{np} = \frac{2}{3} \Delta d_0 = \frac{2}{3} \frac{d^2}{\ell} = \frac{2}{3} \cdot \frac{(1 \cdot 10^{-5})^2}{20 \cdot 10^{-3}} \approx 3,3333 \cdot 10^{-9} \text{ м}$$

($\ell = 20 \cdot 10^{-3} = 0,020 \text{ м}$ - ширина дифракційної ґратки; з формули

$$\frac{\Delta d}{d} = \frac{d}{\ell} \Rightarrow \Delta d_0 = \frac{d^2}{\ell})$$

$$\Delta k = \Delta k_{np} = \frac{2}{3} \Delta k_0 = 0$$

$$\Delta L = \Delta L_{np} = \frac{2}{3} \Delta L_0 = \frac{2}{3} \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} \approx 3,3333 \cdot 10^{-4} \text{ м}$$

Частинні похідні з виділеною в них робочою формулою (не обчислюємо):

$$\frac{\partial\lambda}{\partial x} = \frac{d L^2}{k(L^2 + x^2)^{3/2}} = \frac{\lambda L^2}{x(L^2 + x^2)}; \quad \frac{\partial\lambda}{\partial d} = \frac{x}{k\sqrt{(L^2 + x^2)}} = \frac{\lambda}{d}$$

$$\frac{\partial \lambda}{\partial k} = -\frac{x d}{k^2 \sqrt{(L^2 + x^2)}} = -\frac{\lambda}{k}; \quad \frac{\partial \lambda}{\partial L} = -\frac{x d L}{k(L^2 + x^2)^{3/2}} = -\frac{\lambda L}{L^2 + x^2}$$

Підставимо частинні похідні в формулу для $\Delta \lambda$ та обрахуємо відносну похибку:

$$\varepsilon = \sqrt{\left(\frac{L^2 \Delta x}{x(L^2 + x^2)}\right)^2 + \left(\frac{\Delta d}{d}\right)^2 + \left(\frac{\Delta k}{k}\right)^2 + \left(\frac{L \Delta L}{L^2 + x^2}\right)^2} =$$

$$\Delta \lambda = \lambda_{cp} \cdot \varepsilon =$$

Порівняти з $\Delta \lambda_{cp}$, обчисленим в таблиці. Для кінцевого результату взяти більш грубе значення.

$$\Delta \lambda_i = \left| \lambda_{cp} - \lambda_i \right|$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta \lambda_{cp}}{\lambda_{cp}} \cdot 100\%$$

КІНЦЕВИЙ РЕЗУЛЬТАТ:

$$\lambda = \lambda_{cp} \pm \Delta \lambda =$$

$$\varepsilon = \quad \%$$

Контрольні питання до роботи 5.4

1. Яке явище називається дифракцією світла?
2. Що називається фронтом хвилі і хвильовою поверхнею?
3. Сформулювати принцип Гюйгенса-Френеля.
4. Який вид дифракції називається дифракцією Френеля, а який – дифракцією Фраунгофера?
5. Що таке дифракційна решітка?
6. Записати умову головних дифракційних максимумів.
7. Як визначається роздільна здатність дифракційної решітки?

Міністерство освіти і науки України

Національний університет водного господарства
та природокористування

Кафедра хімії та фізики

Звіт

з лабораторної роботи № 5.6

Визначення концентрації цукру в розчині поляриметром

Виконав:

студент групи _____

(Прізвище І.П.)

Перевірів:

(Прізвище І.П.)

Рівне 20 р

МЕТА РОБОТИ: визначити концентрацію цукру в розчині на основі виваща обертання площини поляризації.

РОБОЧА ФОРМУЛА:

$$c = c_0 \frac{\varphi_2 - \varphi_{01}}{\varphi_{02} - \varphi_{01}}$$

c - концентрація досліджуваного невідомого розчину цукру,

c_0 - відома концентрація,

φ_2 - кут обертання площини поляризації розчину з невідомою концентрацією цукру,

φ_{01} - нульове положення аналізатора, φ_{02} - положення аналізатора для кювети з відомим розчином.

РЕЗУЛЬТАТИ ВИМІРЮВАНЬ:

$$c_0 = 10,0\% , \quad \Delta(c_0)_0 = 0,05\% ,$$

$$\Delta(\varphi_{01})_0 = \Delta(\varphi_{02})_0 = \Delta(\varphi_2)_0 = 0,1^\circ$$

| №з/п | $\varphi_{01}, \text{ }^\circ$ | $\varphi_{02}, \text{ }^\circ$ | $\varphi_2, \text{ }^\circ$ |
|------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| 1 | | | |
| 2 | | | |
| 3 | | | |
| 4 | | | |
| 5 | | | |
| ср. | | | |

ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАНЬ:

$$C =$$

ОБЧИСЛЕННЯ ПОХИБОК:

$$\Delta c = \sqrt{\left(\frac{\partial c}{\partial c_0} \Delta c_0\right)^2 + \left(\frac{\partial c}{\partial \varphi_2} \Delta \varphi_2\right)^2 + \left(\frac{\partial c}{\partial \varphi_{01}} \Delta \varphi_{01}\right)^2 + \left(\frac{\partial c}{\partial \varphi_{02}} \Delta \varphi_{02}\right)^2} - \text{це}$$

повна абсолютна похибка непрямого вимірювання, обчислюється після перетворень в кінці роботи.

Повні абсолютні похибки прямих вимірювань:

$$\Delta c_0 = \sqrt{\Delta c_{0np}^2 + \Delta c_{0\varphi n}^2} = \Delta c_{0np} = \frac{2}{3} \Delta(c_0)_0 = \frac{2}{3} \cdot 0,05 = 0,0333\%$$

$$\Delta \varphi_2 = \sqrt{\Delta \varphi_{2np}^2 + \Delta \varphi_{2\varphi n}^2} =$$

$$\Delta \varphi_{2np} = \frac{2}{3} \Delta(\varphi_2)_0 = \frac{2}{3} \cdot 0,1 \approx 0,0667^\circ$$

$$\Delta \varphi_{2\varphi n} = \frac{2,8 \cdot \Delta S_{\varphi_2}}{\sqrt{5}} =$$

$$\Delta S_{\varphi_2} = \sqrt{\frac{\sum_i (\varphi_{2i} - \varphi_{2cp})^2}{5-1}} = \sqrt{\frac{(\varphi_{21} - \varphi_{2cp})^2 + \dots + (\varphi_{25} - \varphi_{2cp})^2}{5-1}} =$$

$$\Delta \varphi_{01} = \sqrt{\Delta \varphi_{01np}^2 + \Delta \varphi_{01\varphi n}^2} =$$

$$\Delta \varphi_{01np} = \frac{2}{3} \Delta(\varphi_{01})_0 = \frac{2}{3} \cdot 0,1 \approx 0,0667^\circ$$

$$\Delta \varphi_{01\varphi n} = \frac{2,8 \cdot \Delta S_{\varphi_{01}}}{\sqrt{5}} =$$

$$\Delta S_{\varphi_{01}} = \sqrt{\frac{\sum_i (\varphi_{01i} - \varphi_{01cp})^2}{5-1}} = \sqrt{\frac{(\varphi_{011} - \varphi_{01cp})^2 + \dots + (\varphi_{015} - \varphi_{01cp})^2}{5-1}} =$$

$$\Delta\varphi_{02} = \sqrt{\Delta\varphi_{02np}^2 + \Delta\varphi_{02en}^2} =$$

$$\Delta\varphi_{02np} = \frac{2}{3}\Delta(\varphi_{02})_0 = \frac{2}{3} \cdot 0,1 \approx 0,0667^\circ$$

$$\Delta\varphi_{02en} = \frac{2,8 \cdot \Delta S_{\varphi_{02}}}{\sqrt{5}} =$$

$$\Delta S_{\varphi_{02}} = \sqrt{\frac{\sum_i (\varphi_{02i} - \varphi_{02cp})^2}{5-1}} = \sqrt{\frac{(\varphi_{021} - \varphi_{02cp})^2 + \dots + (\varphi_{025} - \varphi_{02cp})^2}{5-1}} =$$

Частинні похідні з виділеною в них робочою формулою:

$$\frac{\partial c}{\partial c_0} = \frac{\varphi_2 - \varphi_{01}}{\varphi_{02} - \varphi_{01}} = \frac{c}{c_0}; \quad \frac{\partial c}{\partial \varphi_2} = \frac{c_0}{\varphi_{02} - \varphi_{01}} = \frac{c}{\varphi_2 - \varphi_{01}};$$

$$\frac{\partial c}{\partial \varphi_{01}} = \frac{c_0(\varphi_2 - \varphi_{02})}{(\varphi_{02} - \varphi_{01})^2} = \frac{c(\varphi_2 - \varphi_{02})}{(\varphi_{02} - \varphi_{01})(\varphi_2 - \varphi_{01})};$$

$$\frac{\partial c}{\partial \varphi_{02}} = -\frac{c_0(\varphi_2 - \varphi_{01})}{(\varphi_{02} - \varphi_{01})^2} = -\frac{c}{(\varphi_{02} - \varphi_{01})}. \text{ Підставимо частинні похідні в}$$

формулу для Δc та обрахуємо відносну похибку:

$$\varepsilon = \sqrt{\left(\frac{\Delta c_0}{c_0}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \varphi_2}{\varphi_2 - \varphi_{01}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \varphi_{01}(\varphi_2 - \varphi_{02})}{(\varphi_{02} - \varphi_{01})(\varphi_2 - \varphi_{01})}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \varphi_{02}}{\varphi_{02} - \varphi_{01}}\right)^2} =$$

$$\Delta c = c_{cp} \cdot \varepsilon =$$

КІНЦЕВИЙ РЕЗУЛЬТАТ:

$$c = c_{cp} \pm \Delta c =$$

$$\varepsilon = \quad \%$$

Контрольні питання до роботи 5.6

1. Яке світло називається поляризованим?
2. Що таке площина коливань та площина поляризації?
3. Чому природне світло неполяризоване?
4. Яким способом можна дістати поляризоване світло?
5. В чому полягає явище подвійного променезаломлення? Чим відрізняється звичайний промінь від незвичайного?
6. Пояснити явище подвійного променезаломлення.
7. Які речовини називаються оптично активними? Від чого залежить кут повороту площини поляризації в кристалах, чистих рідинах, розчинах?
8. Як пояснити обертання площини поляризації оптично-активними речовинами?

Додаток

Таблиця коефіцієнтів Стьюдента t_c
(Параметр інтеграла ймовірності при заданому числі вимірювань)

| Число вимірів | Надійність | | | | | | | |
|---------------|------------|------|-----|-----|-----|------|------|-------|
| | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 0,95 | 0,98 | 0,999 |
| 2 | 1,0 | 1,38 | 2,0 | 3,1 | 6,3 | 12,7 | 31,8 | 636,6 |
| 3 | 0,82 | 1,06 | 1,3 | 1,9 | 2,9 | 4,3 | 7,0 | 31,6 |
| 4 | 0,77 | 0,98 | 1,3 | 1,6 | 2,4 | 3,2 | 4,5 | 12,9 |
| 5 | 0,74 | 0,94 | 1,2 | 1,5 | 2,1 | 2,8 | 3,7 | 8,6 |
| 6 | 0,73 | 0,92 | 1,2 | 1,5 | 2,0 | 2,6 | 3,4 | 6,9 |
| 7 | 0,72 | 0,90 | 1,1 | 1,4 | 1,9 | 2,4 | 3,1 | 6,0 |
| 8 | 0,71 | 0,90 | 1,1 | 1,4 | 1,9 | 2,4 | 3,0 | 5,4 |
| 9 | 0,71 | 0,90 | 1,1 | 1,4 | 1,9 | 2,3 | 2,9 | 5,0 |
| 10 | 0,70 | 0,88 | 1,1 | 1,4 | 1,8 | 2,3 | 2,8 | 4,8 |
| 15 | 0,69 | 0,87 | 1,1 | 1,3 | 1,8 | 2,1 | 2,6 | 4,1 |
| 20 | 0,69 | 0,86 | 1,1 | 1,3 | 1,7 | 2,1 | 2,5 | 3,9 |
| 40 | 0,68 | 0,85 | 1,1 | 1,2 | 1,7 | 2,0 | 2,4 | 3,6 |
| 60 | 0,68 | 0,85 | 1,0 | 1,2 | 1,7 | 2,0 | 2,4 | 3,5 |
| 120 | 0,68 | 0,85 | 1,0 | 1,2 | 1,7 | 2,0 | 2,4 | 3,4 |
| | 0,67 | 0,84 | 1,0 | 1,2 | 1,6 | 2,0 | 2,3 | 3,3 |

Література

1. **05-06-71** Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни «Фізика», «Альбом лабораторних робіт з розділів "Електромагнетизм", "Коливання і хвилі", "Оптика", "Квантова фізика для студентів галузей знань «Автоматизація приладобудування», «Інформаційні технології», «Комп'ютерна інженерія», «Архітектура і будівництво», «Аграрні науки», «Природничі науки», «Транспорт», «Механічна інженерія», «Електрична інженерія» денної, заочної форм навчання / О. Д. Кочергіна, Л. В. Соляк, О. В. Гарашенко. Рівне : НУВГП, 2016, 61с.
2. **073-41МВ** Методичні вказівки до лабораторних робіт з курсу загальної фізики для студентів всіх спеціальностей УПВГ. Розділ «Фізичні вимірювання і математична обробка їх результатів» / Вадець Д. І., Орленко В. Ф., Троцюк М. Й., Тучак С. С. Рівне :УПВГ. 1992р. 26 с.
3. **05-06-34** Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни «Фізика», розділ «Електромагнетизм» для студентів інженерно-технічних напрямів підготовки денної, заочної та дистанційної форм навчання / Є. С. Никонюк, О. Д. Кочергіна, В. Р. Гаєвський, М. В. Мороз, Б. П. Рудик. Рівне : НУВГП. 2013. 32 с.
4. **05-06-38** Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт із навчальної дисципліни «Фізика», розділ «Коливання і хвилі» для студентів інженерно-технічних напрямів підготовки денної, заочної та дистанційної форм навчання / О. Д. Кочергіна, В. Ф. Орленко, А. В. Рибалко, О. О. Лебедь. Рівне : НУВГП, 2015. 38 с.
5. **05-06-39** Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт із навчальної дисципліни «Фізика», розділ «Оптика» для студентів інженерно-технічних напрямів підготовки денної, заочної та дистанційної форм навчання / В. Ф. Орленко, Б. П. Рудик, О. Д. Кочергіна, Є. С. Никонюк, Л. В. Соляк. Рівне : НУВГП, 2015. 39 с.
6. **05-06-49** Методичні вказівки до обробки експериментальних даних лабораторних робіт з дисципліни Фізика з використанням розрахункової програми Mathcad (частина 2: магнетизм, коливання і хвилі, оптика, атомна фізика, ядерна фізика) студентами інженерно-технічних спеціальностей освітньо-кваліфікаційного рівня бакалавр / В. Р. Гаєвський, М. В. Мороз, В. Ф. Орленко. Рівне: НУВГП, 2016. 41 с.