

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ САДІВНИЦТВА**

Кафедра математики і фізики

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

ЛАБОРАТОРНІ ЗАНЯТТЯ

ФІЗИКА

Галузь знань: 19 Архітектура та будівництво

Спеціальність: 193 Геодезія та землеустрій

Факультет: лісового і садово-паркового господарства

Умань-2021 р.

Лабораторні заняття з навчальної дисципліни «Фізика» для студентів, які навчаються за спеціальністю

193 Геодезія та землеустрій

Укладач: Л.Є. Ковальов – доцент, к. ф.-м. н., доцент

Конспект лекцій затверджений на засіданні кафедри математики і фізики

Протокол від 31 серпня 2021 року № 1

Завідувач кафедри математики і фізики _____ (В.Є. Березовський)
(підпис)

“ 31 ” серпня 2021 року

ЗМІСТ

ЛАБОРАТОРНЕ ЗАНЯТТЯ № 1. ВИМІРЮВАННЯ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН	4
ЛАБОРАТОРНЕ ЗАНЯТТЯ № 2. ВИЗНАЧЕННЯ МОДУЛЯ ЮНГА МЕТОДОМ РОЗТЯГУ ДРОТУ	5
ЛАБОРАТОРНЕ ЗАНЯТТЯ № 3. ВИЗНАЧЕННЯ МОМЕНТУ ІНЕРЦІЇ МАХОВОГО КОЛЕСА ДИНАМІЧНИМ МЕТОДОМ.....	10
ЛАБОРАТОРНЕ ЗАНЯТТЯ № 4. ВИЗНАЧЕННЯ ШВИДКОСТІ ТІЛА БАЛІСТИЧНИМ МЕТОДОМ	16
ЛАБОРАТОРНЕ ЗАНЯТТЯ № 5. ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ДИНАМІЧНОЇ В'ЯЗКОСТІ РІДИНИ МЕТОДОМ СТОКСА.....	21
ЛАБОРАТОРНЕ ЗАНЯТТЯ № 6. ВИЗНАЧЕННЯ ВІДНОШЕННЯ ТЕПЛОЄМНОСТЕЙ ГАЗУ МЕТОДОМ КЛЕМАНА-ДЕЗОРМА	28
ЛАБОРАТОРНЕ ЗАНЯТТЯ № 7. ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ТЕПЛОПРІВІДНОСТІ ПОВІТРЯ	34
ЛАБОРАТОРНЕ ЗАНЯТТЯ № 8. ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ПОВЕРХНЕВОГО НАТЯГУ РІДИНИ МЕТОДОМ ВІДРИВУ КІЛЬЦЯ	38
ЛАБОРАТОРНЕ ЗАНЯТТЯ № 9. ВИЗНАЧЕННЯ ВОЛОГОСТІ ПОВІТРЯ.....	43
ЛАБОРАТОРНЕ ЗАНЯТТЯ № 10. ВИЗНАЧЕННЯ ВЕЛИЧИНИ ОПОРУ ЗА ДОПОМОГОЮ МІСТКОВОЇ СХЕМИ	49
ЛАБОРАТОРНЕ ЗАНЯТТЯ № 11. ВИЗНАЧЕННЯ ІНДУКТИВНОСТІ КОТУШКИ ЗА ЗАКОНОМ ОМА ДЛЯ ЗМІННОГО СТРУМУ.....	54
ЛАБОРАТОРНЕ ЗАНЯТТЯ №12. ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ТРАНСФОРМАЦІЇ І КОЕФІЦІЄНТА КОРИСНОЇ ДІЇ ТРАНСФОРМАТОРА.....	57
ЛАБОРАТОРНЕ ЗАНЯТТЯ № 13. ВИЗНАЧЕННЯ ВЕЛИЧИНИ ПРИСКОРЕННЯ ВІЛЬНОГО ПАДІННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ОБОРОТНОГО МАЯТНИКА.....	60
ЛАБОРАТОРНЕ ЗАНЯТТЯ № 14. ВИЗНАЧЕННЯ ЕЛЕКТРОЄМНОСТІ КОНДЕНСАТОРА РЕЗОНАНСНИМ МЕТОДОМ.....	65
ЛАБОРАТОРНЕ ЗАНЯТТЯ № 15. ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИЧНОЇ СИЛИ ЗБИРАЛЬНИХ І РОЗСИЮВАЛЬНИХ ЛІНЗ	71
ЛАБОРАТОРНЕ ЗАНЯТТЯ № 16. ДОСЛІДЖЕННЯ ІНТЕРФЕРЕНЦІЇ СВІТЛА ЗА ДОПОМОГОЮ БІПРИЗМ ФРЕНЕЛЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ЛАЗЕРА.....	77
ЛАБОРАТОРНЕ ЗАНЯТТЯ № 17. ВИВЧАННЯ ДИФРАКЦІЇ СВІТЛА І ВИЗНАЧЕННЯ ПЕРІОДУ ДИФРАКЦІЙНОЇ РЕШІТКИ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ЛАЗЕРА	82
ЛАБОРАТОРНЕ ЗАНЯТТЯ № 18. ВИВЧЕННЯ ЗАКОНІВ ЗОВНІШНЬОГО ФОТОЕФЕКТУ З ВИКОРИСТАННЯМ КОМП'ЮТЕРНОЇ ПРОГРАМИ	84

ЛАБОРАТОРНЕ ЗАНЯТТЯ № 1. ВИМІРЮВАННЯ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН

Мета. Систематизувати знання про фізичні явища, предмет вивчення фізики, біофізики, агрофізики, про фізичні величини і вимірювальні прилади, сформулювати теоретичні знання про вимірювання фізичних величин та математичну обробку прямих і непрямих вимірювань, визначення похибок та записування результатів вимірювань.

Завдання самостійної роботи з підготовки до заняття. Опрацювати:

1. Миколайчук, М.Н. Підготовка, проведення досліджень та оформлення звіту про виконану лабораторну роботу з фізики / М.Н. Миколайчук, Л.Є. Ковальов, І.І. Побережець. – Умань: Видавничо-поліграфічний центр «Візаві», 2013.

2. Миколайчук М.Н. Лабораторний практикум з фізики та основ біофізики. - Умань:УВПП, 2008. – 338 с. Розділ 1. Вимірювання фізичних величин і обробка результатів вимірювань. – С.5-17; Розділ 2. Основні вимірювальні прилади та пристрої. – С.18-34.

Самостійна робота з викладачем на занятті

1. Пройти вступний інструктаж з охорони праці і техніки безпеки у лабораторії та електробезпеки у побуті.

2. У бесіді з викладачем уявити і запам'ятати поняття і процеси:

- фізичні, біофізичні, агрофізичні явища;
- предмет фізики, біофізики, агрофізики;
- фізична величина;
- що означає вираз «провести вимірювання величини» і як записати результат вимірювання;
- прями і непрямі вимірювання;
- система одиниць вимірювання фізичних величин;
- чи можна одним вимірюванням встановити істинне значення величини;
- які помилки вимірювання називаються: систематичними; випадковими; промахами і причини цих помилок вимірювання;
- як необхідно діяти, щоб встановити дійсне, близьке до істинного значення величини;
- що називається абсолютною похибкою вимірювання і як її знайти;
- що називається відносною похибкою вимірювання і як її визначити;
- яка з цих похибок більш зручна для оцінки якості виконаного вимірювання ;

- як записують результати математичної обробки виконаного вимірювання, якщо величину вимірювали декілька раз і провели обчислення середніх абсолютної та відносної похибок:

- як поступають з визначенням похибок, якщо на практиці можна зробити лише один вимір величини;

- як можна визначити похибки вимірювання, коли в непрямому вимірюванні значення величини обчислюється за аналітичними формулами.

- прилади для вимірювання довжини в лабораторних дослідженнях та геодезії;

- прилади для вимірювання кутів;

- прилади для вимірювання маси і сили

Дайте відповіді на контрольні питання

Контрольні питання

1. Що вивчає фізика? Геофізика? Біофізика? Агрофізика?
2. Якими приладами вимірюють довжини в лабораторних дослідженнях та геодезії?
3. Якими приладами проводять вимірювання кутів?
4. Якими приладами проводять вимірювання маси і сили?
5. Як записати результат виконаного вимірювання фізичної величини?
6. Як знайти середнє (дійсне) значення фізичної величини за результатами декількох її вимірювань?
7. Як знайти абсолютну похибку виконаного виміру величини? Як знайти середнє значення абсолютної похибки за результатами декількох вимірювань?
8. Як знайти відносну похибку виконаного вимірювання? Значення середньої відносної похибки за результатом декількох вимірів?
9. Як потрібно записувати результат вимірювання фізичної величини після математичної обробки його результатів (з вказівкою середніх абсолютної та відносної похибок) ?
10. Чому дорівнюють абсолютні похибки, коли: а) проведено лише одне вимірювання; б) для величини, взятої із таблиць?

ЛАБОРАТОРНЕ ЗАНЯТТЯ № 2.

ВИЗНАЧЕННЯ МОДУЛЯ ЮНГА МЕТОДОМ РОЗТЯГУ ДРОТУ

Мета роботи. Систематизувати знання законів динаміки, природи сил пружності у тілах живої і неживої природи; навчитись дослідно визначати модуль Юнга, користуватися мікрометром та індикатором видовження.

Прилади та матеріали: досліджувана струна із жили, індикатор видовження, шалька для накладання гир, набір важків по 0,5 кг, мікрометр, мірна стрічка.

Завдання самостійної роботи з підготовки до заняття. Опрацювати:

1. Миколайчук, М.Н. Підготовка, проведення досліджень та оформлення звіту про виконану лабораторну роботу з фізики / М.Н. Миколайчук, Л.Є. Ковальов, І.І. Побережець. – С.10-14.

2. Миколайчук М.Н. Лабораторний практикум з фізики та основ біофізики. Визначення модуля Юнга. – С.56-62 .

Теоретичні відомості

Всяка зміна форми або об'єму тіла живої чи неживої природи під впливом дії зовнішніх сил, називається *деформацією*. За характером сили, що виникає при цьому в речовині деформації поділяються на пружні і пластичні (непружні), а за характером зміни форми і розмірів – на деформації поздовжнього розтягу, стискання, всебічного розтягу, всебічного стискання, поперечного згину, поздовжнього згину, кручення, зсуву.

Абсолютною деформацією називається числова зміна будь-якого розміру тіла Δx під дією деформуючої сили F .

Відносною деформацією називається число, що показує, яку частину від початкового розміру тіла становить абсолютна деформація Δx :

$$\varepsilon = \frac{\Delta x}{x} . \quad (1)$$

При деформації тіла змінюється величина електромагнітних сил притягання чи відштовхування між його молекулами. Ці сили називаються внутрішніми *силами пружності*. Сили пружності діють як всередині деформованого тіла між його частинами, так і на інші тіла, що спричинили його деформацію. Сили пружності прагнуть відновити попередню форму і об'єм деформованого тіла.

Деформація, яка зникає після зняття зовнішніх навантажень, називається *пружною*. Властивість тіла зберігати нову форму після зняття зовнішнього навантаження називається *пластичністю*. Залишкова деформація тіла, яка зберігається після зняття зовнішніх навантажень на тіло, називається *пластичною деформацією*.

Величина, яка характеризує дію внутрішніх сил у деформованому тілі, називається *механічною напругою*. Механічна напруга σ вимірюється внутрішньою силою, яка діє на одиницю площі поперечного перерізу деформованого тіла:

$$\sigma = \frac{F}{S} . \quad (2)$$

Найбільша напруга у матеріалі, після зникнення якої форма і об'єм тіла відновлюються, називається границею пружності. Навантаження, при якому в матеріалі виникає найбільш можлива механічна напруга, називається *руйнівним*. *Запасом міцності* називається величина, яка показує, у скільки разів фактичне максимальне навантаження у найбільш напруженому місці конструкції менше, ніж руйнівне навантаження.

При невеликих деформаціях виконується *закон Гука: сила пружності, яка виникає при деформаціях пропорційна величині деформації*:

$$F = -k\Delta x, \quad (3)$$

де k – коефіцієнт пропорційності, який характеризує пружні властивості речовин, Δx – абсолютна величина деформації; знак “–” вказує на протилежність напрямів сили пружності і зміщення.

Для пружної деформації розтягу величина абсолютного видовження Δl залежатиме від розмірів тіла і прикладеної деформуючої сил:

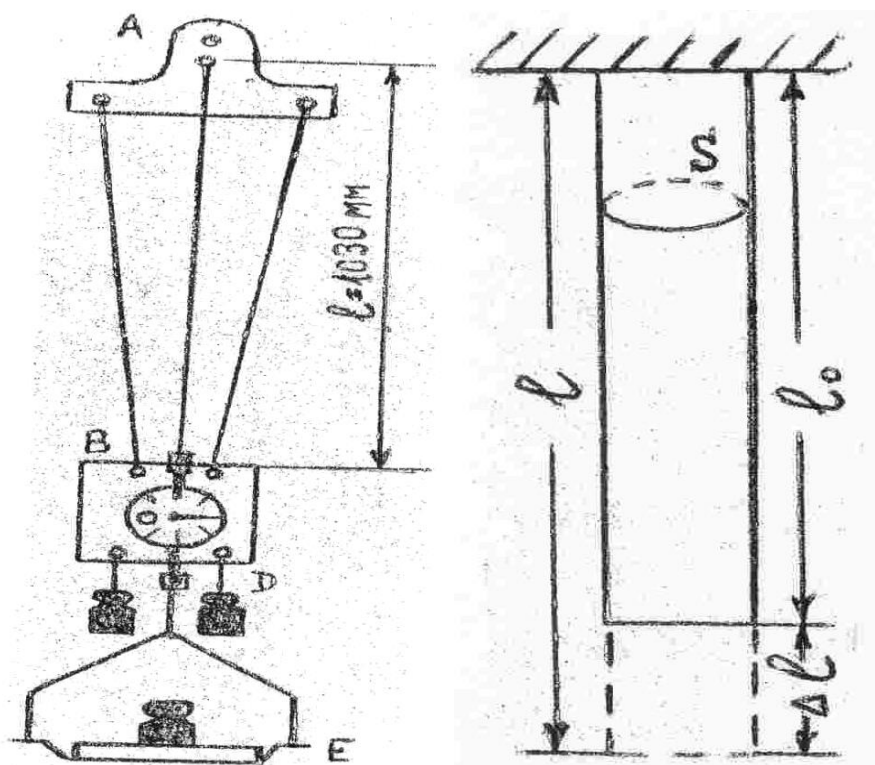
$$\Delta l = -\frac{Fl_0}{ES}, \quad (4)$$

де Δl – абсолютне видовження, l_0 – початкова довжина, S – площа поперечного перерізу тала, F – прикладена деформуюча сила, E – коефіцієнт, що характеризує пружні властивості речовини і називається *модулем пружності або модулем Юнга*. Знаючи розміри тіла і величину деформуючої сили з формули (4) знаходимо робочу формулу для визначення модулю Юнга:

$$E = \frac{Fl_0}{S \cdot \Delta l}. \quad (5)$$

Опис приладу

У роботі визначається модуль Юнга каліброваного (однакового перерізу) дроту (мал.1). Він одним кінцем прикріплений до кронштейна у точці А. До другого його кінця В прикріплений індикатор видовження С. До кінця індикатора D підвішена шалька Е для накладання важків. Щоб виключити випадкові сторонні дії на індикатор видовження, він закріплений до металевої пластинки-основи, яка фіксується до верхнього кронштейна двома боковими дротами-розтяжками.



Мал. 1

Виконуючи дослідження, на шальку по чергово кладемо важки рівних мас – по $0,5 \text{ кг}$. Коли на шальку помістити важок масою $0,5 \text{ кг}$, то на дрiт буде діяти сила тяжіння $4,9 \text{ Н}$ і під дією цієї сили струна зазнає деформації видовження. Величину деформації визначаємо за допомогою індикатора видовження.

Площу поперечного перерізу струни знаходимо за формулою

$$S = \frac{\pi d^2}{4} \quad (6),$$

де d – діаметр струни. З врахуванням того, що переріз дроту може в різних місцях може бути різним, за дійсне значення діаметра d приймаємо середнє значення не менше п'яти вимірів діаметра у різних місцях.

Виконання роботи.

1. За допомогою зовнішньої шайби встановити індикатор видовження на нуль.
2. Виміряти за допомогою рулетки початкову довжину струни l_0 з точністю до 1 мм .
3. Мікрометром виміряти діаметр дротини у кількох місцях з точністю до $0,01 \text{ мм}$. Визначити і записати дійсне значення діаметра d як середнє проведених вимірів.
4. На шальку покласти гирю в $4,9 \text{ Н}$ і з допомогою індикатора видовження зняти відлік видовження Δl .

5. Дослід проробити ще 2 рази шляхом послідовного додавання важків масами по 0,500 кг (деформуючи дріт силами 9,8 та 14,7 Н) .
6. Результати вимірювань записати в таблицю.

$\frac{№№}{n/n}$	l_0 (мм)	d (мм)	F (Н)	Δl (мм)	E (Н/мм ²)	ΔE (Н/мм ²)
1						
2						
3						

Обробка результатів дослідження

1. За формулою (6) визначаємо площу поперечного перерізу дроту.

$$S = \text{-----} =$$

2. За формулою (5) знаходимо величину модуля Юнга струни для кожного з трьох значень навантаження.

$$E_1 = \text{-----} =$$

$$E_2 = \text{-----} =$$

$$E_3 = \text{-----} =$$

3. Обчислюємо середнє значення модуля Юнга.

$$E_{\text{сер}} = \text{-----} =$$

4. Знаходимо для кожного дослідження абсолютні похибки і обчислюємо середнє значення абсолютної похибки.

$$\Delta E_1 = \text{-----}; \quad \Delta E_2 = \text{-----}; \quad \Delta E_3 = \text{-----};$$

$$\Delta E_{\text{сер}} = \text{-----} =$$

5. Визначаємо середню відносну похибку вимірювання.

$$\varepsilon_{\text{сер}} = \text{-----} 100\% =$$

Результат вимірювання. Виконавши дослідження, встановили, що модуль Юнга досліджуваного дроту:

$$E =$$

при середній відносній похибці $\varepsilon_{\text{сер}} =$ _____ %.

Висновок. Виконавши роботу, ми _____

Відповіді на контрольні питання

1. Формули для визначення швидкості і шляху рівномірного руху.
2. Задача. Сформулюйте умову і обчисліть в системі СІ середню швидкість, з якою ви ранком рухаєтесь до університету.
3. Формули для обчислення прискорення, миттєвої швидкості, шляху рівноприскореного руху.
4. Як рухається автомобіль (трактор), коли сила тяги двигуна: 1) рівна силі опору рухові; 2) більша сили опору рухові; 3) менша сили опору ?
5. Види деформацій. Закон Гука.
6. Фізичний зміст модуля Юнга.
7. Що таке запас міцності виробу?
6. Якими особливостями конструкції (форми) у світі рослинних і тваринних організмів забезпечується їх міцність?
8. Запишіть формули законів і понять: 1) другий закон Ньютона; 2) третій закон Ньютона; 3) імпульс (кількість руху) тіла; 4) закон всесвітнього тяжіння; 5) вага тіла (за відомою масою).
9. Задача. До тіла масою 200 кг прикладені сила тяги 1500 Н і сила опору (тертя) 500 Н. З яким прискоренням рухається тіло і якої швидкості воно набуде за 10 с після початку руху?

ЛАБОРАТОРНЕ ЗАНЯТТЯ № 3.

ВИЗНАЧЕННЯ МОМЕНТУ ІНЕРЦІЇ МАХОВОГО КОЛЕСА ДИНАМІЧНИМ МЕТОДОМ

Мета роботи. Систематизувати знання про основні кінематичні та динамічні величини і закони обертального руху, навчитися дослідно визначити момент інерції махового колеса динамічним методом, користуватися штангенциркулем, секундоміром, використовувати закон збереження і перетворення енергії для механічних процесів.

Прилади та матеріали: установка для визначення моменту інерції махового колеса, секундомір, тягар, штангенциркуль, масштабна лінійка.

Завдання самостійної роботи з підготовки до заняття. Опрацювати:

1. Миколайчук, М.Н. Підготовка, проведення досліджень та оформлення звіту про виконану лабораторну роботу з фізики / М.Н. Миколайчук, Л.Є. Ковальов, І.І. Побережець. – С.19-23
2. Миколайчук М.Н. Лабораторний практикум з фізики та основ біофізики. Визначення моменту інерції махового колеса динамічним методом. – С.63-69 .

Теоретичні відомості

Обертальний рух є одним із типових механічних рухів у живій і неживій природі. *Обертальним рухом тіла* навколо деякої осі називається такий рух,

при якому всі точки тіла здійснюють колові рухи навколо центрів, що лежать на цій осі, а площини цих кіл залишаються паралельними між собою і перпендикулярними до осі обертання. У загальному вісь обертання може проходити: 1) через центр мас тіла; 2) через любі дві точки тіла і при цьому не проходить через центр мас; 3) проходити поза тілом. В обертальному русі різні частини тіла переміщуються з різними лінійними швидкостями, але всі вони мають однакові кутові швидкості і кутові прискорення. Тому кутова швидкість і кутове прискорення є найважливішими характеристиками обертального руху твердого тіла.

Рівномірним обертанням називається такий рух, при якому радіус обертання любих точок тіла за будь-які рівні проміжки часу повертається на один і той же кут.

Кінематичними величинами обертального руху є кутовий шлях, кутова швидкість, кутове прискорення, період і частота. *Кутовим шляхом* обертального руху *матеріальної точки* називається кут γ , що його описує її радіус обертання за час руху t . У системі *СІ* кутовий шлях *вимірюється у радіанах* (1 рад).

Кутова швидкість обертального руху ω визначається відношенням кутового шляху тіла γ до часу t , за який цей кутовий шлях описаний. Кутова швидкість чисельно дорівнює кутові, який опише радіус рухомої точки за одиницю часу в рівномірному обертальному русі.

Кутове прискорення обертального руху ε визначається відношенням зміни кутової швидкості тіла $\Delta \omega$ до часу Δt , за який ця зміна швидкості відбулася. Кутове прискорення чисельно дорівнює зміні кутової швидкості у рівнозмінному обертальному русі за одиницю часу.

Період обертання T дорівнює проміжку часу, за який тіло здійснює один повний оберт. Період T визначається діленням часу, за який тіло виконало певне число обертів, на число цих обертів.

Частота обертання ν дорівнює числу обертів, які тіло виконує за одиницю часу. Знаходиться як частка від ділення певного числа обертів на час їх здійснення або діленням одиниці часу на період T .

Динаміку обертального руху задають фізичні величини: *момент обертаючої сили, момент інерції, імпульс моменту сили, момент імпульсу тіла*.

Момент обертаючої сили M - це добуток обертаючої сили F на відстань точки прикладання сили від осі обертання r (плече сили, радіус обертання точки):

$$M = F r. \quad (1)$$

Під дією декількох обертаючих сил тіло, яке має вісь обертання, буде зберігати стан спокою, якщо сума моментів сил, що діють за годинниковою стрілкою $\sum M_{ze}$, буде рівна сумі моментів сил, що діють проти годинникової стрілки $\sum M_{nz}$ (*умова рівноваги тіла, що має вісь обертання*):

$$\sum M_{3z} = \sum M_{nz} . \quad (2)$$

Момент інерції тіла J визначає інерційність тіла, що обертається.

Момент інерції матеріальної точки J_m дорівнює добутку її маси m на квадрат величини радіуса обертання r^2 :

$$J_m = mr^2 . \quad (3)$$

Момент інерції тіла визначається як сума моментів інерції всіх матеріальних точок, на які розділяють тіло:

$$J = \sum_{i=1}^n m_i r_i^2 .$$

У довідниках з механіки поміщені таблиці з виведеними методами інтегрального числення формулами для обчислення моментів інерції тіл, що мають правильну форму.

Із формули (4) бачимо, що момент інерції тіла залежить від розподілу його маси відносно осі обертання: – чим більша частина маси знаходиться далі від осі обертання, тим момент інерції тіла більший. Для збільшення моменту інерції тіл, які обертаються у машинах і механізмах, їх масивніші частини розміщуються на більшій відстані від осі.

Сказане підтверджує також значення вибору осі обертання.

Вісь, відносно якої всі доцентрові сили, що діють на окремі частини тіла, взаємно зрівноважуються, називається вільною віссю обертання.

Момент інерції тіла, яке обертається навколо осі, що не проходить через це тіло і яка віддалена від паралельної їй осі, що проходить через центр маси тіла, на відстань d , визначається теоремою Штейнера:

$$J' = J + md^2 \quad (5)$$

Добуток моменту обертаючої сили M на час її дії Δt на тіло називається імпульсом моменту сили.

Добуток моменту інерції тіла J на його кутову швидкість ω називається моментом імпульсу тіла:

$$L = J\omega . \quad (6)$$

Для тіла, що обертається під дією прикладеної обертаючої сили, справедливі закони:

1. Величина кутового прискорення пропорційна моментові обертаючої сили і обернено пропорційна моменту інерції тіла (основне рівняння динаміки обертального руху):

$$\varepsilon = \frac{M}{J} .$$

(7)

2. Зміна моменту імпульсу тіла $\Delta(J\omega)$ за деякий проміжок часу Δt дорівнює імпульсу моменту сили $M\Delta t$ за той же проміжок часу (закон зміни моменту імпульсу тіла).

$$M\Delta t = J\Delta\omega \quad (8)$$

3. В ізольованій системі сума моментів імпульсу всіх тіл $\sum J_i\omega_i$ є величина стала (закон збереження моменту імпульсу).

$$\sum J_i \omega_i = \text{const} \quad (9)$$

Опис установки

У лабораторній роботі необхідно визначити момент інерції махового колеса. На вал махового колеса, закріпленого у підшипниках A і B , намотується нитка з тягарем P , маса якого m (мал.1). Під дією тягарця шківів разом з валом і маховим колесом дуже рівноприскорено обертається. При падінні тягарця P його потенціальна енергія mgh , де h – висота падіння тягарця, перетворюється: у кінетичну енергію поступального руху тягарця, у кінетичну енергію обертального руху махового колеса і витрачається на виконання роботи подолання сил тертя.

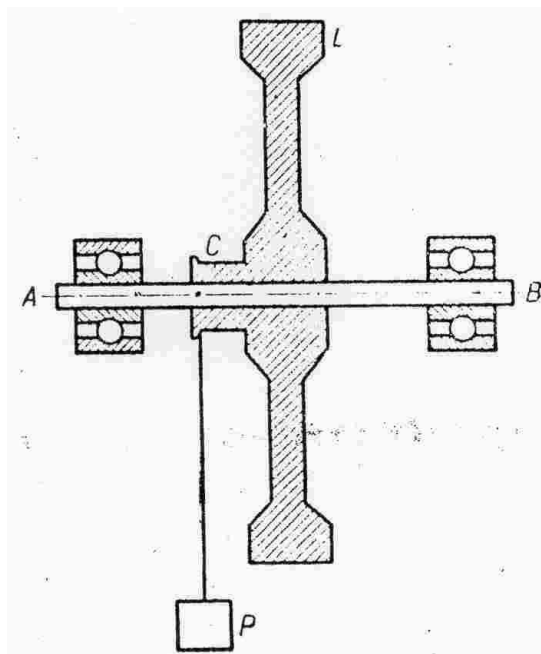
У момент, коли тягарець при падінні з висоти h опуститься у найнижчу точку, виходячи із закону збереження енергії, можна записати:

$$mgh = \frac{mv^2}{2} + \frac{J\omega^2}{2} + A, \quad (10)$$

де : mgh – потенціальна енергія тягарця у момент приведення системи в рух; $\frac{mv^2}{2}$ – кінетична енергія поступального руху тягарця; $\frac{J\omega^2}{2}$ – кінетична енергія обертального руху маховика; A – робота по перемагання сил тертя.

Вимірявши висоту і час падіння, діаметр валу, та висоту, на яку за інерцією підніметься з нижньої точки тягарець, долаючи силу опору (тертя), легко знайти через виміряні величини вирази для обчислення лінійної і кутової швидкостей у момент проходження тягарцем нижньої точки, та середньої величини сили опору рухові:

$$g = \frac{2h}{t} ; \quad w = \frac{2h}{rt} ; \quad F = \frac{mg(h-h_1)}{h+h_1} \quad (11, 12, 13)$$



Мал.1

Підставимо вирази (11), (12), (13) у рівність (10) і, розв'язавши одержане рівняння відносно невідомого моменту інерції J , замінивши радіус вала на діаметр, матимемо робочу формулу для визначення моменту інерції махового колеса для цього випадку

$$J = \frac{1}{4} mD^2 \left[gt^2 \frac{h_1}{h(h+h_1)} - 1 \right], \quad (14)$$

Виконання роботи.

1. Визначаємо на технічних терезах масу тягарця.
2. Вимірюємо штангенциркулем діаметр валу махового колеса .
3. Закріплюємо один кінець нитки на валу і намотуємо її на нього. До другого кінця нитки прикріплюємо тягарець.
4. Вимірюємо відстань тягарця h від вибраного положення до найнижчої точки опускання.
5. Одночасно пускаємо секундомір і тягарець і визначаємо час опускання тягарця t до найнижчої точки.
6. Вимірюємо висоту h_1 піднімання тягарця вгору при обертанні колеса за інерцію.
7. Дослід виконуємо тричі для різних значень h . Результати вимірювань записуємо у таблицю.

№ n/n	m (кг)	D (м)	H (м)	h_1 (м)	T (с)	J (кг.м ²)	ΔJ (кг.м ²)
1							
2							
3							

Обробка результатів дослідження

1. По формулі (18) обчислюємо момент інерції махового колеса для кожного з трьох дослідів.

$$J_1 = \text{-----} =$$

$$J_2 = \text{-----} =$$

$$J_3 = \text{-----} =$$

2. Визначаємо середнє значення моменту інерції:

$$J_{\text{сер}} = \text{-----}$$

3. Обраховуємо абсолютні похибки для кожного досліду:

$$\Delta J_1 =$$

$$\Delta J_2 =$$

$$\Delta J_3 =$$

4. Обрахуємо середню абсолютну похибку:

$$\Delta J_2 = \text{-----} =$$

5 Обрахуємо середню відносну похибку:

$$\varepsilon_{\text{сер}} = \text{-----} 100\% =$$

Результат вимірювання. Виконавши дослідження, встановили, що момент інерції досліджуваного маховика:

$$J =$$

при середній відносній похибці $\varepsilon_{\text{сер}} =$ %.

Висновок. Виконавши роботу, ми _____

Контрольні питання

1. У яких одиницях у системі СІ вимірюється: 1) кутовий шлях; 2) кутова швидкість; 3) кутове прискорення ; 4) момент обертаючої сили; 5) момент інерції; 6) період обертання ; 7) частота обертання.
2. Записати формули, за якими обчислюється: 1) кутова швидкість; 2) кутове прискорення; 3) момент обертаючої сили; 4) момент інерції матеріальної точки ; 6) момент інерції тіла, що обертається;; 7) основне рівняння динаміки обертального руху; 8) формулу взаємозв'язку лінійної і кутової швидкості; 9) формулу взаємозв'язку лінійного і кутового прискорення; 10) формулу взаємозв'язку періоду і частоти обертання; 11 формулу кінетичної енергії тіла, що обертається.
3. Умова рівноваги тіла, що має вісь обертання.
4. Як зміниться момент обертаючої сили, якщо точку її прикладання перенести по радіусу у два рази даліше?
5. Як зміниться момент інерції матеріальної точки, якщо її перенести по радіусу у два рази даліше?
6. Задача.. Яке кутове прискорення має тіло з моментом інерції $0,2 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, що обертається під дією моменту сили $2 \text{ Н}\cdot\text{м}$?
7. Задача. Колесо велосипеда робить 15 обертів за 3 секунди. Визначити: частоту його обертання, період обертання, кутову швидкість.

ЛАБОРАТОРНЕ ЗАНЯТТЯ № 4.

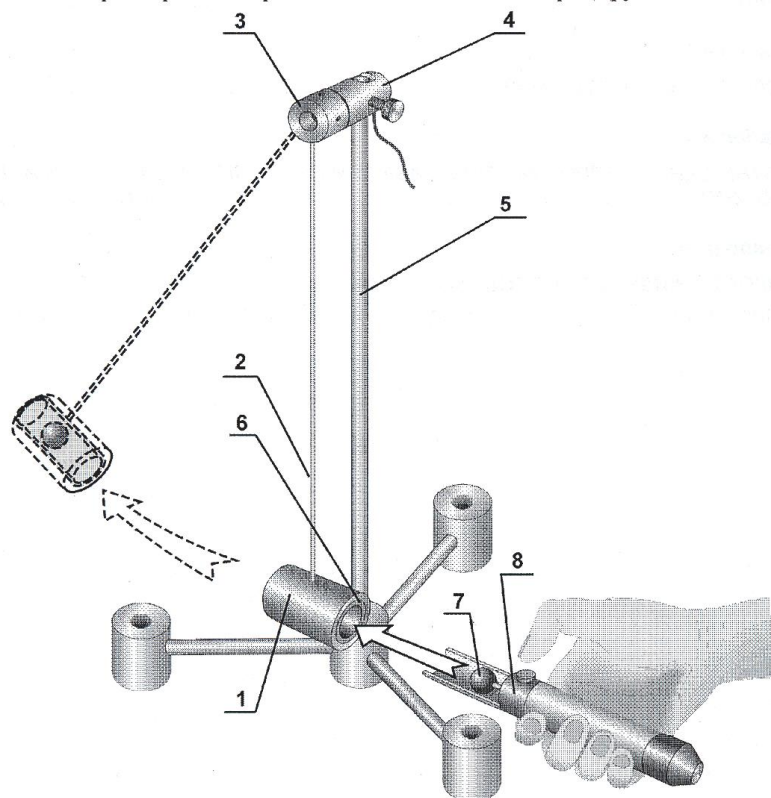
ВИЗНАЧЕННЯ ШВИДКОСТІ ТІЛА БАЛІСТИЧНИМ МЕТОДОМ

Мета роботи: ознайомитися з практикою використання комп'ютерних програм для виконання вимірювань при проведенні фізичних досліджень з використанням фізичного обладнання; систематизувати знання про залежності між кінематичними та динамічними величинами поступального, обертального та коливального рухів, енергію, роботу та імпульс, пружний і непружний удари, закони збереження імпульсу та механічної енергії; навчитися визначати швидкості тіл, що переміщуються у просторі методом балістичного маятника.

Прилади і матеріали: балістичний маятник; металевий пристрій; металева кулька; штатив універсальний; лінійка; терези; комп'ютер; вимірювальний блок L-мікро; датчик кута повороту; комп'ютерна програма проведення лабораторного практикуму з механіки.

Завдання самостійної роботи з підготовки до заняття. Опрацювати:

1. Миколайчук, М.Н. Підготовка, проведення досліджень та оформлення звіту про виконану лабораторну роботу з фізики / М.Н. Миколайчук, Л.Є. Ковальов, І.І. Побережець. – Умань: Видавничо-поліграфічний центр «Візаві», 2013.



3. Підготуватися до модульного контролю з розділу «Механіка».

Теоретичні відомості

Мал. 1

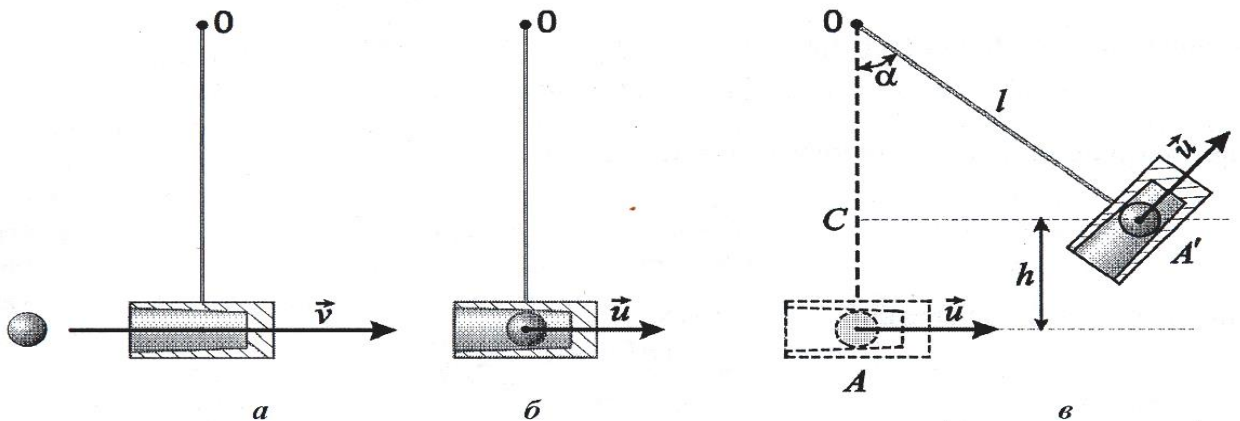
Балістичний маятник являє собою масивне тіло, яке має ось обертання. Коли в маятник, що висить вертикально, влучає, застряючи в ньому, куля, то він під дією удару відхиляється від вертикалі на деякий кут α і починає коливатися.

Застосований у даній роботі балістичний маятник показано на мал. 1. У бічну поверхню циліндра 1 вгвинчена тонка спиця 2. Інший кінець спиці закріплений у муфті 3 датчика кута повороту 4. Датчик кута повороту закріплений на вертикальній стійці штатива 5. Циліндр 1 має пластмасову вставку 6 для вловлювання кулі, що налітає уздовж осі циліндра. Вставка 6 виконана у вигляді конуса з малим кутом так, щоб куля 7 застрявала у циліндрі приблизно в його центрі мас. Куля вистрілюється пружинним металевим пристроєм 8.

Розглянемо взаємодію кулі з маятником. У момент часу t_1 (мал. 2а) куля підлітає до нерухомого циліндра 1 з швидкістю \vec{v} . У момент часу t_2 (мал. 2б) куля зупиняється усередині балістичного маятника. Нехтуючи втратами енергії на перемагання сил тертя під час взаємодії кулі з маятником, можна вважати, що її кінетична енергія передається маятникові, в результаті чого він набуває швидкості \vec{u} . В момент часу t_3 (мал. 2в) маятник максимально відхиляється на кут α , при цьому центр ваги його піднявся на висоту h і його кінетична енергія перетворилась в потенціальну.

Позначимо масу кулі через m , масу маятника – M , швидкість кулі до удару – v і швидкість маятника разом з кулею після удару u .

Зіткнення кулі з маятником відбувається не миттєво, а протягом



інтервалу часу $\Delta t_1 = t_2 - t_1$. Інтервал часу зіткнення Δt_1 набагато менший часу $\Delta t_2 = t_3 - t_2$ відхилення маятника на максимальний кут α ($\Delta t_1 \ll \Delta t_2$). Удар можна вважати абсолютно непружним. Тому має місце закон збереження імпульсу:

$$m v = (M + m) \cdot u. \quad (1)$$

Маятник, набираючи після удару кулі швидкості u і відповідної кінетичної енергії

$$K = \frac{(M + m)u^2}{2},$$

відхиляється від положення рівноваги і піднімається на висоту h . Потенціальна енергія U піднятого на висоту h маятника з кулькою дорівнює:

$$U = (M+m)gh.$$

Користуючись законом збереження енергії можна написати:

Мал.2

Мал. 2

$$\frac{(M + m)u^2}{2} = (M + m)gh, \quad (2)$$

де g – прискорення вільного падіння, звідки

$$u = \sqrt{2gh} \quad . \quad (3)$$

З мал. 2в із прямокутного трикутника $OA'C$ знаходимо, що

$$|OC| = l \cdot \cos \alpha, \quad h = |AO| - |OC| = l - l \cdot \cos \alpha, \quad \text{або:}$$

$$h = l(1 - \cos \alpha) = 2l \sin^2 \frac{\alpha}{2} \quad (4)$$

Підставляючи значення h у формулу (3), маємо:

$$u = 2 \sin \frac{\alpha}{2} \sqrt{gl} \quad (5)$$

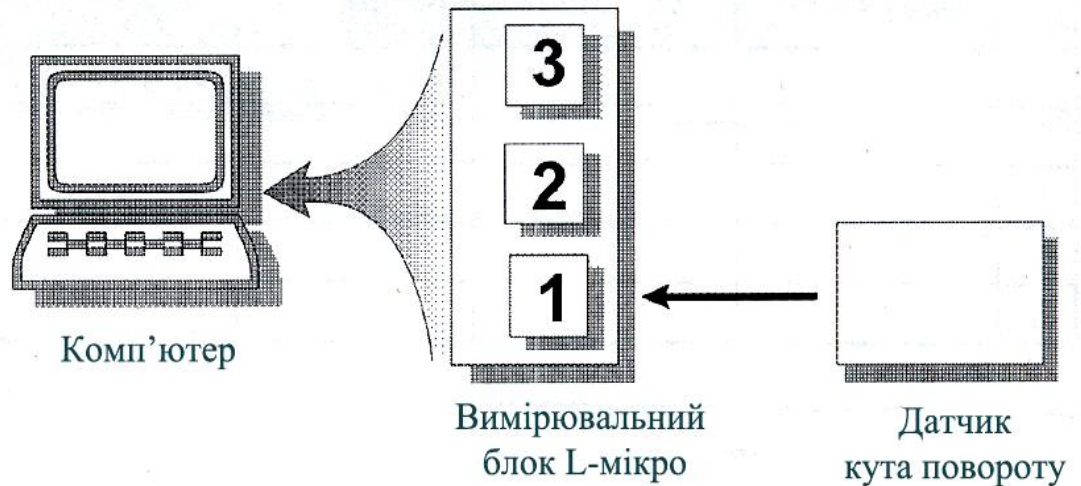
Щоб визначити швидкість кулі v , підставляємо (5) у рівняння (1) і тоді одержуємо розрахункову робочу формулу:

$$v = \frac{2(M + m)}{m} \cdot \sqrt{gl} \sin \frac{\alpha}{2} \quad (6)$$

Вказівки з техніки безпеки

1. Включати в мережу вимірювальний блок L-мікро можна тільки після його підключення до комп'ютера.
2. Стежте за тим, щоб кути відхилення маятника не виходили за рамки робочого діапазону датчика кута повороту.

Виконання роботи



Мал. 3

Виконання роботи

1. Збираємо пристрій як показано на мал.1. У верхній частині вертикальної стійки штатива 5 закріплюється датчик кута повороту 4 з муфтою 3. Вісь обертання датчика повинна бути горизонтальною. Підключаємо вимірювальний блок L-мікро до комп'ютера і після цього приєднуємо його до мережі (220 В, 50 Гц) і здійснюємо вмикання. Датчик кута повороту приєднуємо до першого каналу вимірювального блоку (мал.3).

3. Запускаємо програму *L-phys.exe*, вибираємо пункт меню «СПИСОК РОБИТ» і в списку, що з'явився на екрані, вибираємо лабораторну роботу «Вимірювання швидкості тіла методом балістичного маятника».

4. Датчик кута повороту реєструє кути в інтервалі $0 - 360^\circ$, тобто робить 10 оборотів навколо своєї осі, однак найбільша точність вимірів досягається в діапазоні $0-360^\circ$. Для того, щоб кут відхилення маятника при вимірах не виходив за рамки зазначеного інтервалу, його положення рівноваги повинне бути в діапазоні кутів $90-270^\circ$.

5. Вибираємо пункт меню «НАСТРОЮВАННЯ». Цифра на екрані буде відповідати поточному значенню кута, який реєструється датчиком. Встановлюємо необхідне значення кута положення рівноваги, акуратно обертаючи маятник навколо осі датчика (при необхідності, знявши датчик зі штатива), повертаємо його корпус на 180° .

5. Заряджаємо металевий пристрій. Утоплюємо шток, що штовхає кульку у середину циліндричної частини корпусу, стискаючи пружину У жолоб пристрою вкладаємо кульку.

Вибираємо в меню на екрані комп'ютера пункт «ЗАПУСК». Заряджений металевий пристрій розташовуємо впритул до циліндра балістичного маятника так, щоб при вистрілі удар був прямим і центральним.

Робимо постріл і відводимо металевий пристрій, щоб маятник міг безперешкодно рухатися після відхилення в положення рівноваги.

6. Після припинення запису даних на екрані комп'ютера виникає

графік залежності кута відхилення від часу. Визначаємо кут максимального відхилення. Для цього підведемо курсор (вертикальну риску на екрані) до відповідної точки графіка і запишемо чисельне значення кута з квадрату, що з'являється у верхній частині екрана монітора.

7. Поправку на тертя φ' обчислили так. Величина затухання коливань за n повних коливань (наприклад десяти) дорівнюватиме $\varphi_1 - \varphi_n$, а за одне коливання

$$\frac{\varphi_1 - \varphi_n}{n} = \varphi'. \quad (7)$$

Тоді кут відхилення маятника із врахуванням поправки на тертя α записується так:

$$\alpha = \varphi_1 + \varphi'.$$

Дані вимірів заносимо у таблицю

φ_1 , град	φ_{10} , град	φ' , град	α , град	v , м/с	Δv , м/с

Обробка результатів вимірювання

1. Визначаємо поправку на тертя за одне коливання. Для цього у формулу (7) підставляємо виміряні максимальні кути відхилення в першому та десятому коливанні і одержуємо:

$$\varphi' = \text{-----} =$$

2. Визначаємо, який кут відхилення мав бути у першому коливанні за умови відсутності тертя:

$$\alpha = \varphi_1 + \varphi'. \quad \alpha = \text{-----} =$$

3. За робочою формулою (6) визначаємо швидкість вильоту кулі з металюного пристрою. Невідомі нам величини: масу циліндра маятника, довжину його спиці та масу кульки знаходимо у паспорті установки. Маємо:

$$M = (0,145 \pm 0,005) \text{ кг}; \quad m = (0,02500 \pm 0,0010) \text{ кг}; \quad l = (0,3060 \pm 0,0010) \text{ м}.$$

У формулу (6) підставляємо значення цих величин (без врахування вказаних абсолютних похибок) і кута відхилення у першому коливанні. Маємо:

$$V = \text{-----} =$$

4. При вимірюванні ми зробили лише один дослід. Тому оцінку похибок проведемо із використанням формул визначення похибок непрямих вимірювань (с.12 посібника «Лабораторний практикум з фізики та основ біофізики»). Абсолютні похибки величин M , m , l ми записали вище з паспорта установки.

Абсолютну похибку визначення кута відхилення маятника можна прийняти рівною $\Delta\alpha = 0,5^{\circ} = \frac{0,5}{180} \cdot \pi \approx 0,009 \text{ рад}$.

. Відносну похибку визначаємо за формулою:

$$\delta = \frac{\Delta v}{v} = \text{ctg} \frac{\alpha}{2} \cdot \Delta\alpha + \frac{\Delta M}{M} + \frac{\Delta m}{m} + \frac{\Delta l}{l}.$$

$\varepsilon =$

Тепер абсолютну похибку визначаємо за формулою: $\Delta v = v \cdot \delta$.

Маємо: $\Delta v =$

Результат вимірювання. Виконавши дослідження, встановили, що швидкість кульки, яка вилетіла з метального пристрою, була:

$v =$

при середній відносній похибці $\varepsilon_{\text{ср}} =$ %.

Висновок. Виконавши роботу, ми _____

Контрольні питання

Контрольні запитання

1. Сформулюйте закон збереження механічної енергії.
2. Запишіть формули для обчислення: 1) кінетичної енергії тіла; потенціальної енергії піднятого тіла; енергії пружно деформованого тіла.
3. Сформулюйте і запишіть формулу закону збереження імпульсу.
4. Який удар називають центральним? Пружним ударом?

ЛАБОРАТОРНЕ ЗАНЯТТЯ № 5.

ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ДИНАМІЧНОЇ В'ЯЗКОСТІ РІДИНИ МЕТОДОМ СТОКСА

Мета роботи: систематизувати знання основ гідроаеростатики та гідроаеродинаміки, про рух тіл у в'язкому середовищі; навчитися дослідно визначати коефіцієнт внутрішнього тертя рідин методом Стокса.

Прилади: трубка з досліджуваною рідиною (гліцерин); основа з оптодат-чиками; сталева кулька; комп'ютер з програмою виконання лабораторних робіт із загальної фізики; електромагніт; вимірювальний блок L-мікро; блок живлення.

Завдання самостійної роботи з підготовки до заняття. Опрацювати:

1. Миколайчук, М.Н. Підготовка, проведення досліджень та оформлення звіту про виконану лабораторну роботу з фізики / М.Н. Миколайчук, Л.Є. Ковальов, І.І. Побережець. – С.32-37

2. Миколайчук М.Н. Лабораторний практикум з фізики та основ біофізики. Визначення коефіцієнта динамічної в'язкості рідини методом Стокса. – С. 85-90.

Теоретичні відомості

В'язкістю називається властивість рідин і газів чинити опір при відносному переміщенні їхніх шарів.

Сила в'язкості (внутрішнього тертя) виникає, коли шари рідини рухаються з різними швидкостями. В'язкість зумовлена силою взаємодії молекул сусідніх шарів, які труться між собою і передають імпульс від більш швидких менш швидким молекулам. При ламінарних течіях рідин ця сила визначається законом Ньютона

$$F = \eta \frac{\Delta v}{\Delta z} \Delta S, \quad (1)$$

де ΔS – площа поверхні внутрішнього шару, на яку розраховується сила внутрішнього тертя; $\frac{\Delta v}{\Delta z}$ – градієнт швидкості; η – коефіцієнт динамічної в'язкості. Одиницею коефіцієнта динамічної в'язкості є $[\eta] = 1 \text{ Н} \cdot \text{с} / \text{м}^2 = 1 \text{ Па} \cdot \text{с}$.

Одним з широко використовуваних методів визначення η рідин є метод Стокса, який ґрунтується на вимірюванні швидкості рівномірного руху тіла сферичної форми (кульки) в досліджуваній рідині.

На тверду кульку, що падає у в'язкій рідині (мал.1), діють три сили: сила тяжіння P вниз, а в верх виштовхуюча сила F_A , що визначається за законом Архімеда, і сила опору рухові з боку рідини F_c , зумовлена внутрішнім тертям. Зауважимо, що тут відіграє роль не тертя кульки об рідину, а тертя окремих шарів рідини один об один. Найближчий до поверхні кульки шар рідини рухається із швидкістю кульки (ніби прилипає до неї), а далші – із дедалі меншими швидкостями.

За законом Стокса сила в'язкості рідини, що діє на сферичну кульку при русі у протилежному рухові напрямі, пропорційна коефіцієнту динамічної в'язкості η , радіусу кульки r і швидкості її руху v :

$$F_c = 6\pi\eta r v. \quad (2)$$

Бачимо, що при падінні кульки в рідині ця сила зростає із зростанням швидкості.

Коли сума діючих вверх сили Архімеда та сили в'язкості Стокса стає рівною діючій вниз силі тяжіння, рух кульки переходить у рівномірний (шлях h і далше вниз):

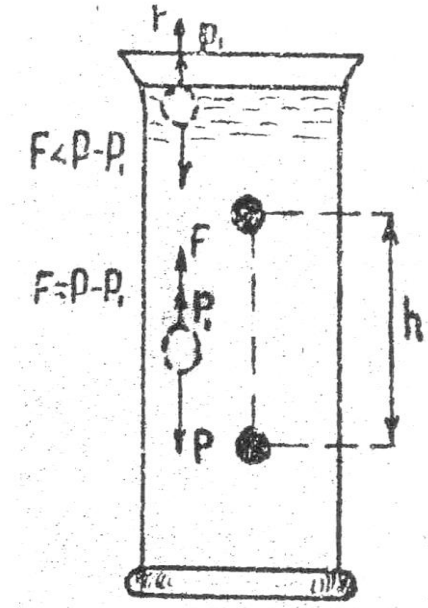
$$F_A + F_C = P \quad (3)$$

Коли силу вагу кульки запишемо через масу і величину прискорення вільного падіння, силу Архімеда через масу витісненої кулькою рідини та величину прискорення вільного падіння, а маси кульки і рідини через їх густини та об'єм кульки, то рівність (3) набуде вигляду:

$$\frac{4}{3} \pi r^3 \rho g + 6\pi\eta r v = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho_m g \quad (4)$$

З цієї рівності знаходимо коефіцієнт в'язкості рідини через радіус і швидкість рівномірного руху кульки, густини металу кульки ρ_m та рідини ρ :

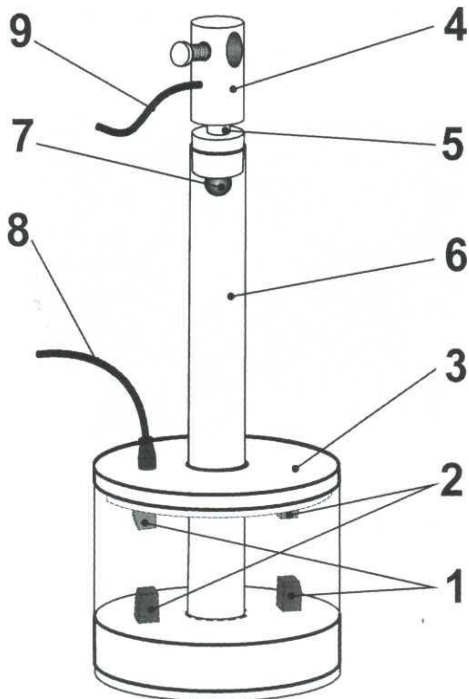
$$\eta = \frac{2r^2 g(\rho_m - \rho)}{9v} \quad (5)$$



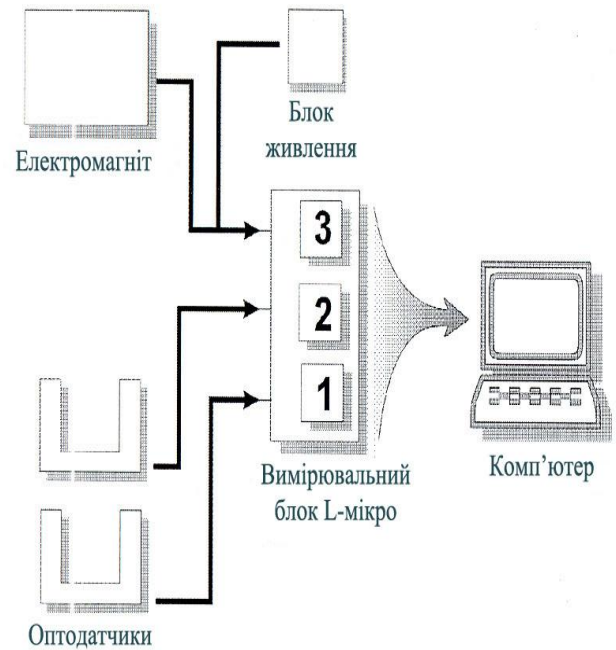
Мал. 1

З поправкою на вплив стінок тонкого циліндра радіуса R з рідиною ця формула набуває вигляду:

$$\eta = \frac{2r^2 g(\rho_m - \rho)}{9v \left(1 + 2,4 \frac{r}{R}\right)}$$



Мал.2



Мал.3

Виразивши швидкість падіння кульки у рідині через вимірювані шлях і час рівномірного на шляху h , одержуємо робочу формулу :

$$\eta = \frac{2r^2 g (\rho_m - \rho) t}{9l \left(1 + 2,4 \frac{r}{R} \right)} \quad (6)$$

де l – шлях, що вимірюється в установці, пройдений кулькою при рівномірному падінні, а t – відповідний час.

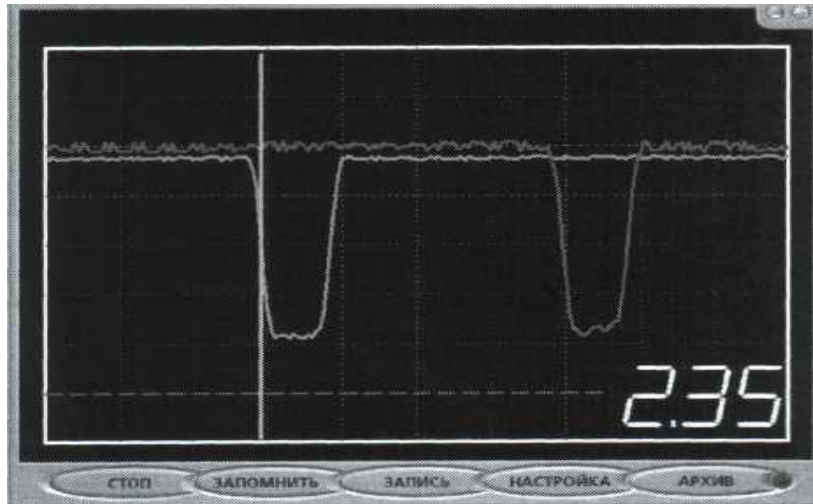
Хід роботи

1. Збираємо установку для вимірювання в'язкості як показано на Мал. 3.
2. Підключіть вимірювальний блок L-мікро до комп'ютера і включіть його в мережу (220В, 50Гц). Електромагніт приєднайте до третього каналу вимірювального блоку та до постійної напруги 6В блоку живлення.

В перший канал вимірювального блоку включіть кабель оптичних датчиків (Мал. 3). Включіть вимірювальний блок L-мікро.

Запускаємо програму *L-phys.ex*. Вибераємо пункт меню «СПИСОК ДОСЛІДІВ» і в списку, що з'явився на екрані, лабораторну роботу «Вимірювання в'язкості рідини методом Стокса».

циліндричну основу установки з оптичними датчиками і здійснюємо запуск. Кулька починає прискорено рухатись в рідині і за час падіння у частині трубки, яка



перебуває над основою, її рух переходить у рівномірний.

Мал.4

3. Вибираємо пункт меню «*ВИМІРЮВАННЯ*». При цьому буде подана напруга на електромагніт. Перевертаємо обережно трубку з рідиною для того, щоб кулька "прилипла" до електромагніту. Вставляємо трубку в прозору циліндричну основу з оптичними датчиками і здійснюємо *Запуск*.

Кулька починає прискорено рухатися в рідині і за час падіння у частині трубки, яка перебуває на основі, її рух переходить у рівномірний.

4 . Користуючись курсором, визначаємо час руху кульки між датчиками. За переднім фронтом першого сигналу визначається час t_1 , другого сигналу – час t_2 (Мал. 4).

5. Проводимо три досліди, записуючи час у таблицю

	t_1, c	t_2, c	$t=t_2 - t_1, c$	$\Delta t, c$
1				-
2				-
3				-
середнє	-	-	-	

Обробка результатів

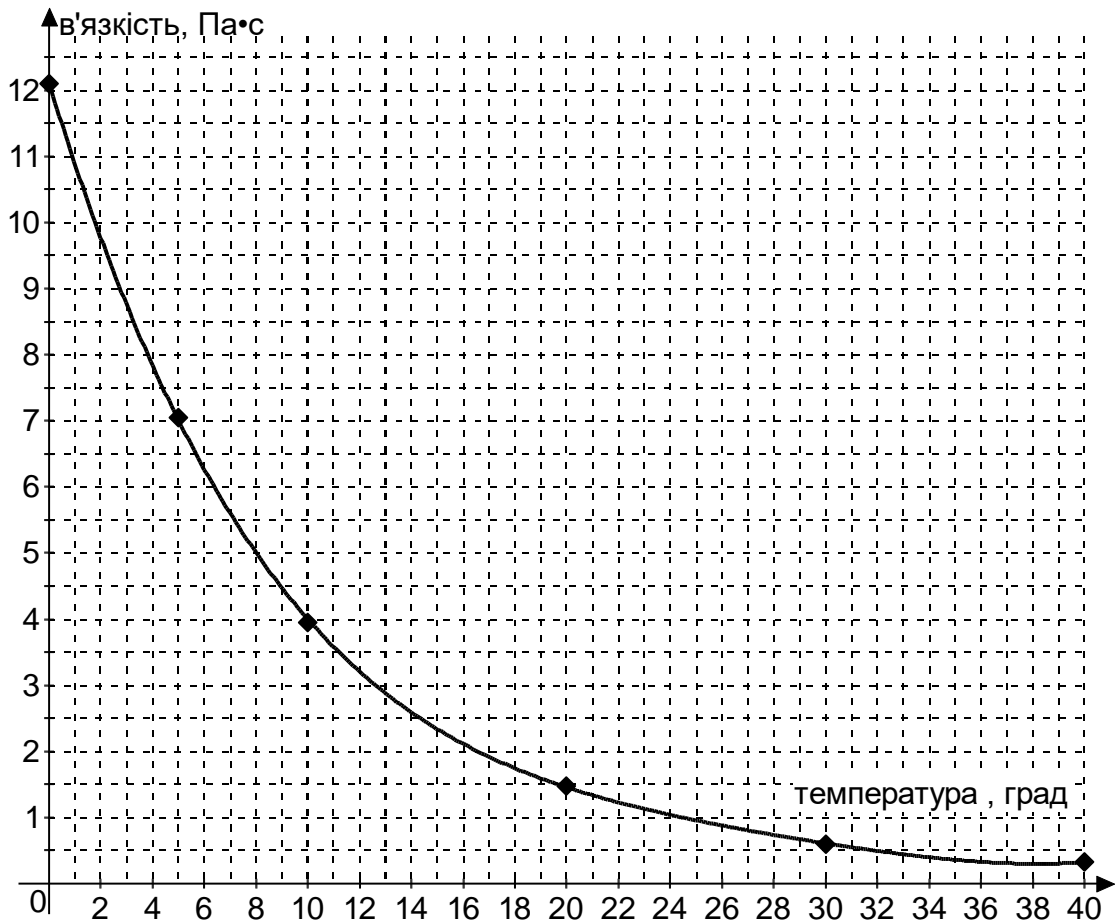
1. Обчислюємо середнє значення часу руху кульки між оптичними датчиками t . $t = (t_2 - t_1) \text{ мс} = \dots \text{ с}$.

2. Знаходимо у паспорті приладу: радіус кульки, радіус циліндра для рідини, віддаль, яку кулька проходить рівномірно між променями оптодатчиків, густину сталі і гліцерину і заносимо їх у наступну таблицю.

$r, \text{ м}$	$\rho, \text{ кг/м}^3$	$\rho_m, \text{ кг/м}^3$	$R, \text{ м}$	$l, \text{ м}$	$\eta, \text{ Па}\cdot\text{с}$	$\Delta\eta, \text{ Па}\cdot\text{с}$
0.005	$1.26 \cdot 10^3$	$7.8 \cdot 10^3$	0,012	0.045		

3. Визначені табличні значення величин підставляємо у робочу формулу (6) і визначаємо в'язкість рідини у трубці.

$$\eta = \text{-----} =$$



Мал.. 4

4. Визначаємо настінним термометром температуру повітря в приміщенні, де проводиться дослід.

Розглядаємо наведений на мал. 5 графік залежності в'язкості гліцерину від температури. Знаходимо на графіковій, що при температурі у кімнаті $t^0 =$ в'язкість гліцерину $\eta =$

Порівнюємо це значення коефіцієнту динамічної в'язкості гліцерину з одержаним у досліді.

Результат порівняння: бачимо, що _____

Висновок. Виконавши роботу, ми _____

Контрольні питання

1. Як знайти величину тиску на глибині у рідині?
2. Сформулюйте і запишіть формулу закону Архімеда.
3. Запишіть формулювання і формулу закону Стокса.
4. Закон Ньютона про силу тертя між шарами рухомої рідини.

5. Запишіть фізичний зміст коефіцієнта внутрішнього тертя.
6. Сформулюйте і запишіть умову рівномірного падіння тіл в атмосфері та воді.
7. Запишіть рівняння Бернуллі про тиск у рухомій рідині і газі.
8. Задача. Яка виштовхуюча сила діє на людину у воді, якщо об'єм її тіла $0,30 \text{ м}^3$? Густина води візьміть з таблиці.
9. Задача. Вантаж масою 100 кг рівномірно падає на парашуті у повітрі. На нього діє виштовхувальна сила Архімеда 25 Н . Якої величини сила опору руху (сила Стокса), що діє на систему вантаж-парашут?

ЛАБОРАТОРНЕ ЗАНЯТТЯ № 6.

ВИЗНАЧЕННЯ ВІДНОШЕННЯ ТЕПЛОЄМНОСТЕЙ ГАЗУ МЕТОДОМ

КЛЕМАНА-ДЕЗОРМА

Мета роботи. Систематизувати знання про МКТ газів, газові закони, умови протікання адіабатичних процесів та їх прояви і використання, термодинамічні системи і процеси, фазові переходи; навчитися дослідно визначати відношення молярних теплоємностей для повітря.

Прилади та матеріали: прилад для визначення відношення C_p/C_v для повітря методом адіабатичного розширення; ручний нагнітальний насос; рідинний манометр.

Завдання самостійної роботи з підготовки до заняття. Опрацювати:

1. Миколайчук, М.Н. Підготовка, проведення досліджень та оформлення звіту про виконану лабораторну роботу з фізики / М.Н. Миколайчук, Л.Є. Ковальов, І.І. Побережець. – с.41-45
2. Миколайчук М.Н. Лабораторний практикум з фізики та основ біофізики. Визначення відношення теплоємностей газу методом Клемена-Дезорма. – С. 91-99.

Теоретичні відомості

Будь-яка кількість об'єктів живої чи неживої природи, матеріальних полів називається системою. Властивості системи та її стан визначається *термодинамічними параметрами*. Термодинамічні системи, які не взаємодіють із довкіллям, називаються *ізольованими або замкнутими*. Якщо така умова не дотримується, *система називається відкритою*. Системи, обмежені так званою адіабатичною оболонкою, яка виключає теплообмін із навколишнім середовищем, називаються *теплоізольованими, або адіабатичними*. *Термодинамічний процес* – це процес зміни параметрів, які характеризують стан системи. *Оборотними* називаються процеси, які можуть відбуватися у прямому і зворотньому напрямі так, що після повернення системи у той же стан, у якому вона була до початку переходу, в навколишньому середовищі не залишається ніяких слідів (змін). *Необоротними* називаються процеси, якщо після

повернення термодинамічної системи у вихідний стан, у навколишньому середовищі залишаються зміни.

У *термодинамічних* процесах має місце зміна енергії системи. Зміна внутрішньої енергії системи відбувається *шляхом виконання роботи* (самою системою чи по відношенню системи зовнішніми силами) або *передаванням* системою чи системі *теплоти*. Робота має місце тоді, коли тіло чи його частини переміщуються під дією сили. Робота, яка здійснюється системою над *зовнішніми тілами*, приймається за *додатню роботу*, а виконана *зовнішніми силами* над системою – *від'ємною*. *Теплотою* називають передачу внутрішньої енергії, яка відбувається шляхом обміну енергією між частинками речовини (молекулами, атомами, іонами та ін.). Обмін внутрішньою енергією без виконання механічної роботи називається *теплообміном*. *Теплообмін у природі здійснюється через теплопровідність, конвекцію і випромінювання*.

Поняття роботи і теплоти є характеристиками процесів зміни енергії: робота – на макрорівні, теплота – на мікрорівні (молекулярному рівні) У реальних умовах процеси роботи і теплоти взаємопов'язані, тому вони вимірюються одними й тими ж одиницями (в СІ – джоулями).

Теплоємністю речовини називається кількість теплоти ΔQ , яка необхідна, щоб підняти температуру тіла на 1 градус. *Питома теплоємність c* називається кількістю теплоти, потрібна на нагрівання одиниці маси речовини на один градус. *Молярною теплоємністю C* називається кількість теплоти, яка необхідна для нагрівання на 1 градус моля речовини. Зрозуміло, що молярна і питома теплоємності між собою пов'язані співвідношенням:

$$C = cm. \quad (1)$$

Фізичними величинами, які характеризують термодинамічну систему газу, є його об'єм V , тиск P і температура T .

Ізопроцесами називаються процеси зміни двох параметрів газу, коли третій параметр залишається сталим. Ізопроцеси можна здійснити, коли газ обмінюється теплотою із зовнішнім середовищем.

Процес, який відбувається у газі при сталій масі і температурі, називається *ізотермічним*. В ізотермічних процесах добуток об'єму V на тиск P є величина стала (*закон Бойля-Маріотта*):

$$PV = \text{const}; P_1V_1 = P_2V_2. \quad (2)$$

Процес у газі, який відбувається при сталій масі і незмінному тиску, називається *ізобарним*. В ізобарному процесі об'єм V прямо пропорційний абсолютній температурі T газу (*закон Гей-Люссака*):

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}. \quad (3)$$

Процес, який відбувається у газі при сталій масі і незмінному об'єму, називається *ізохоричним*. В ізохоричному процесі тиск газу P прямо пропорційний його абсолютній температурі T (*закон Шарля*):

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2}. \quad (4)$$

Об'єднаний газовий закон виражає залежність між трьома параметрами, які задають стан маси газу за реальних умов, коли одночасно всі вони змінюються: *при сталій масі газу добуток об'єму V на тиск P , поділений на абсолютну температуру T , є величина, однакова для всіх станів цієї маси газу (закон Клапейрона):*

$$\frac{PV}{T} = \text{const} . \quad (5)$$

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2} . \quad (6)$$

Перетворення математичного запису об'єданого газового закону для відомої маси газу m з врахуванням його молярної маси μ дає рівняння *Клапейрона-Менделєєва*.

$$PV = \frac{m}{\mu} RT . \quad (7)$$

У рівнянні (7) константа R називається молярною газовою сталою. Математичний запис рівняння *Клапейрона-Менделєєва* має назву *рівняння стану для довільної маси ідеального газу*.

Із об'єданого закону для газу, як наслідок, слідує встановлені експериментально вище розкриті закони для ізопроеесів, а також:

- *закон Авогадро*: при однакових температурах і тисках молі любых газів займають однакові об'єми;

- *закон Дальтона*: тиск суміші газів дорівнює сумі парціальних тисків газів, які утворюють цю суміш:

$$P_{\text{сум}} = P_1 + P_2 + \dots + P_n . \quad (8)$$

Для газу теплоємність залежить від того, при яких умовах він нагрівається: при постійному об'ємі чи при постійному тиску. У першому випадку вся надана газові кількість теплоти іде лише на збільшення внутрішньої енергії газу (так як об'єм газу не змінюється). У другому випадку необхідна додаткова теплота для здійснення роботи на розширення газу. Тому для газів розрізняють *дві* молярні теплоємності: теплоємність при сталому об'ємі C_v і теплоємність при сталому тиску C_p . Очевидно, що $C_p > C_v$. Залежність між молярними теплоємностями газу описується *рівнянням Майєра*

$$C_p = C_v + R, \quad (9)$$

де R – універсальна газова стала.

Відношення молярних теплоємностей газів $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$ характеризує *адіабатичні процеси*. *Адіабатичним процесом* називається термодинамічний процес, що відбувається без теплообміну газу із зовнішнім середовищем. Із закону збереження енергії витікає, що *при адіабатичному розширенні газу його температура знижується, а при стисканні – підвищується (закон Пуасона)*. Закон Пуасона описується рівняннями:

$$T_1V_1^{\gamma-1} = T_2V_2^{\gamma-1} . \quad (10)$$

$$P_1 V_1^\gamma = P_2 V_2^\gamma$$

(11)

Скориставшись законами Пуасона і Бойля-Маріотта, можна вивести, що *робота, яка виконується при адіабатичному процесі, пропорційна зміні температури газу:*

$$A = C_V (T_1 - T_2). \quad (12)$$

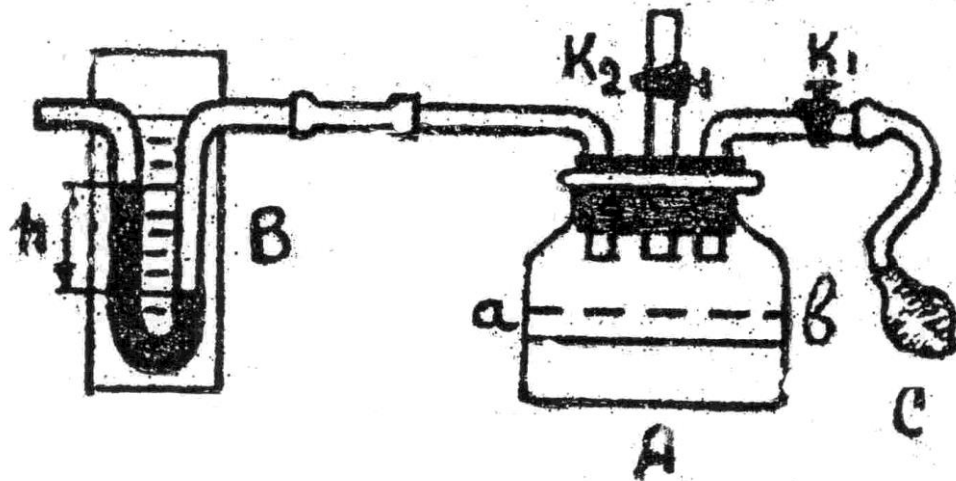
З врахуванням наявності різного числа ступенів вільності молекул i : одноатомних (3 ступені), двоатомних (5), триатомних і більше (6 ступенів), молярні теплоємності можуть бути визначені теоретично з рівнянь:

$$C_V = iR/2, \quad (13)$$

$$C_P = (i + 2)R/2 \quad (14)$$

$$\gamma = C_P/C_V = (i + 2)/i. \quad (15)$$

Опис приладу і виведення робочої формули



Мал. 1

Відношення теплоємностей газу дослідно визначається методом Клемана-Дезорма. Цей метод ґрунтується на здійсненні з газом адіабатичних процесів стискання і розширення з послідовними за ними процесами приведення стиснутого (розширеного) адіабатично газу у динамічну рівновагу із оточуючим середовищем.

Основою приладу (мал. 1) є великий скляний товстостінний балон A , сполучений гумовими трубками з манометром B і насосом C . Кран K_2 у трубці, встановлений у корок, що закриває балон, сполучає балон з навколишнім повітрям. У балон A , наповненому повітрям при атмосферному тиску H , швидко нагнітаємо ручним насосом повітря до деякого нового тиску. Тоді маса повітря у балоні, що раніше займала певний об'єм, стиснеться до тиску P_1 і займе об'єм V_1 .

Одночасно при цьому стиснута маса повітря нагріється. Припинивши накачування, залишимо балон на 2-3 хв, поки температура повітря у ньому

зрівняється з кімнатною T_1 (1-й стан повітря). Кінцеву різницю рівнів, що встановиться у манометрі, позначимо h_1 . Тоді $P_1 = H + h_1$.

Потім відкриваємо на короткий час кран K_2 , щоб тиск у посудині зрівнявся з атмосферним $P_2 = H$ (за таких умов рівні рідини у трубках манометру однакові); після цього закриваємо кран K_2 . У цьому процесі повітря у балоні швидко розширюється до об'єму V_2 (при цьому, зважаючи на малий час розширення, помітного теплообміну між стінками балона і навколишнім повітрям не буде) і температура повітря у балоні зменшилась до T_2 (2-й стан повітря).

Чекаємо, поки внаслідок теплообміну температура повітря у балоні зрівняється з кімнатною T_1 . Об'єм газу залишається незмінним V_2 , тиск при нагріванні повітря збільшиться до P_3 . Різниця рівнів рідини у манометрі нехай стане h_2 , тоді $P_3 = H + h_2$ (3-й стан повітря).

Виразивши рівняння Пуасона через тиски для кожного стану і провівши математичні перетворення одержуємо робочу формулу для дослідного визначення відношення теплоємностей досліджуваного газу (повітря):

$$\gamma = \frac{h_1}{h_1 - h_2} \quad (16)$$

Виконання роботи

1. Відкривши кран K_1 (кран трубкою з'єднаний з насосом), швидко накачуємо у балон повітря, щоб у манометрі була значна різниця рівнів рідини. Закриваємо кран. Через 2-3 хв (після вирівнювання температури у балоні з довкіллям) фіксуємо і записуємо у таблицю різницю рівнів h_1 (надлишковий тиск у порівнянні з атмосферним тиск в одиницях водяного стовпа).

2. Відкриваємо кран K_2 . Газ швидко (адіабатично) розширюється. Після встановлення у манометрі рідини на одному рівні, кран K_2 закриваємо. Коли температури повітря у балоні і у кімнаті вирівнюються, записуємо різницю рівнів h_2 , що остаточно встановилася у манометрі.

3. Дослід повторюємо 3 рази при різних початкових стисканням газу. Результати вимірювань записати в таблицю.

№№ n/n	h_1 (см)	h_2 (см)	γ	$\Delta\gamma$
1				
2				
3				

Обробка результатів дослід

1. За формулою (5) знаходимо відношення теплоємностей для кожного з дослідів: $\gamma_1 = \dots = \dots$; $\gamma_2 = \dots = \dots$

$$\gamma_3 = \text{-----} =$$

2. Обчислюємо середнє значення відношення теплоємностей:

$$\gamma_{\text{сер}} = \text{-----} =$$

3. Знаходимо для кожного дослїду абсолютнї похибки і обчислюємо середнє значення абсолютної похибки.

$$\Delta\gamma_1 = \quad ; \quad \Delta\gamma_2 = \quad ; \quad \Delta\gamma_3 = \quad ;$$

$$\Delta\gamma_{\text{сер}} = \text{-----} =$$

4. Визначаємо середню відносну похибку вимїрювання.

$$\varepsilon_{\text{сер}} = \text{-----} 100\% =$$

Результат вимїрювання. Виконавши дослїдження, встановили, що відношення молярних теплоємностей повітря:

$$\gamma =$$

при середній відносній похибці $\varepsilon_{\text{сер}} = \quad \%$.

Висновок. Виконавши роботу, ми _____

Контрольні питання

1. Що таке термодинамічна система?
2. Які гази називають ідеальними?
3. Які процеси з газами називаються ізопроцесами? Назвати їх.
4. Які процеси називаються адіабатичними?
5. Що таке питома і що таке молярна теплоємність? Чому для газів розрізняють теплоємності при сталому об'ємі і сталому тиску? Рівняння Майєра.
6. Написати формули: 1) закону Клапейрона; 2) рівняння газового стану; 3) рівняння Менделєєва-Клапейрона; 4) рівняння Ван-дер-Ваальса для реальних газів; 5) закону Бойля-Маріотта для ізотермічного процесу; 6) закону Гей-Люссака для рівняння ізобаричного процесу; 7) закон Шарля для ізохоричного процесу; 8) рівняння Пуассона для адіабатичного процесу; 9) рівняння роботи при адіабатичному процесі.
7. Написати формули для обчислення: 1) кількості теплоти, необхідної для нагрівання речовини; 2) кількості теплоти, необхідної для плавлення речовини; 3) кількості теплоти, необхідної для випаровування; 4) кількості теплоти, що виділяється при згоранні палива.
8. Внутрішня енергія речовини (тіла). Якими процесами її можна змінити?
11. Задача. Обчисліть кількість теплоти, потрібної для нагрівання 2 л води у чайнику, якщо коефіцієнт корисної дії плитки 20%.
12. Задача. За результатами знайденого дослїдження відношення молярних теплоємностей повітря і рівнянням Майєра визначити теплоємності C_V і C_P

ЛАБОРАТОРНЕ ЗАНЯТТЯ № 7.

ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ТЕПЛОПРІВІДНОСТІ ПОВІТРЯ

Мета роботи. Систематизувати знання про температуру і способи її вимірювання, явища переносу в газах, теплопередачу; навчитись дослідно визначати коефіцієнт теплопровідності повітря з використанням комп'ютерної програми.

Прилади: прилад для вимірювання теплопровідності повітря; комп'ютерна програма виконання лабораторних робіт із загальної фізики; вимірювальний блок L-мікро; блок живлення.

Завдання самостійної роботи з підготовки до заняття. Опрацювати:

1. Миколайчук, М.Н. Підготовка, проведення досліджень та оформлення звіту про виконану лабораторну роботу з фізики / М.Н. Миколайчук, Л.Є. Ковальов, І.І. Побережець. – Умань: Видавничо-поліграфічний центр «Візаві», 2013.

2. Миколайчик М.Н. Лабораторний практикум з фізики та основ біофізики. Визначення коефіцієнта теплопровідності ґрунту стаціонарним методом – С. 100-104.

3. Інструкція виконання лабораторної роботи «Визначення коефіцієнта теплопровідності повітря»

Теоретичні відомості

Однією з важливих теплофізичних характеристик речовин є їх теплопровідність, яка характеризує перенесення енергії в речовинах у результаті теплового руху молекул. При цьому енергія передається від одного шару молекул до іншого без зміни послідовності в їх розташуванні (тобто при відсутності конвекційних рухів).

Хай у деякому об'ємі речовини конвекція відсутня, а температура зменшується у горизонтальному напрямі OX . Зрозуміло, що кількість теплоти, перенесеної через площу ΔS у напрямі *зниження температури*, буде пропорційна величині цієї площі, проміжку часу переносу Δt , градієнту температури $\Delta T/\Delta x$ і залежатиме від речовини, у якій теплопередача відбувається. Теплопровідність описується законом Фур'є

$$\Delta Q = -\lambda \frac{\Delta T}{\Delta x} \cdot \Delta S \cdot \Delta t \quad (1)$$

де ΔQ – кількість теплоти, перенесеної через ΔS m^2 за Δt сек, при градієнті температури $\frac{\Delta T}{\Delta x}$, λ – коефіцієнт теплопровідності.

Фізичний зміст коефіцієнта теплопровідності речовини легко зрозуміти, якщо перетворити формулу (1) до вигляду:

$$\lambda = -\frac{\Delta G}{\frac{\Delta T}{\Delta x} \Delta S \Delta t}. \quad (2)$$

Бачимо, що коефіцієнт теплопровідності речовини чисельно дорівнює кількості теплоти, яка у процесі теплопередачі переноситься за одиницю часу через одиницю площі, яка перпендикулярна до напрямку переносу, якщо у напрямі переносу на одиниці віддалі температура змушується на один градус.

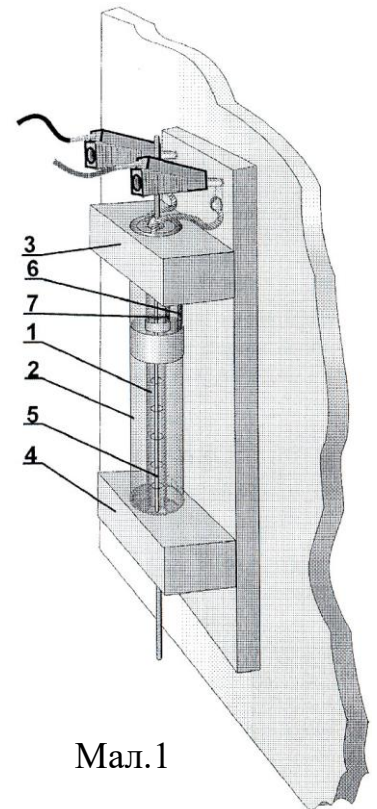
Теплопровідність газів не залежить від тиску, але для низьких тисків теплопровідність пропорційна тиску, коли середня довжина вільного пробігу молекул газу більша розмірів посудини. Цей висновок знайшов широку застосування у термосах, посудинах Дюара для збереження зріджених газів.

З формули (2) випливає, що для визначення коефіцієнта теплопровідності, крім градієнта температури, треба вимірювати кількість теплоти, яка переноситься через відомий поперечний переріз за певний час.

Якщо температура газу в посудині залежить від координат, то в газі виникають процеси, які приводять до вирівнювання температури. В звичайних умовах серед цих процесів найбільшу роль відіграє конвекція. Конвекція не виникає у випадках, коли об'єм газу малий або він розділений на невеликі канали чи комірки. При відсутності конвекції процес переносу тепла сповільнюється але не припиняється. Він відбувається завдяки теплопровідності згідно з законом Фур'є. Отже для тепла, перенесеного за одиницю часу можна записати:

$$q = -\lambda \frac{dT}{dx} dS. \quad (3)$$

У лабораторній роботі визначення коефіцієнта теплопровідності повітря виконується методом нагрівання нитки. Вимірювання проводяться за допомогою спеціального приладу, схема якого показана на мал.1. Прилад являє собою два коаксіальних скляних циліндри 1 і 2, що закриті з торців теплоізоляційними та електроізоляційними корками 3 і 4. Через ці корки у внутрішній циліндр проведений тонкий дріт 5, який нагрівається електричним струмом. У результаті передачі тепла від розжареного дроту в зовнішній простір температури циліндрів T_1 і T_2 - різні. При цьому мається на увазі зовнішня поверхня внутрішнього і внутрішня поверхня зовнішнього циліндрів. Щоб виключити передачу тепла за рахунок конвекції, циліндри розташовують вертикально, для цієї ж мети призначені корки 3 і 4. Вимірювання різниці температур здійснюється диференціальною термопарою 7.



Мал.1

Застосуємо рівняння (3) до приладу, який описаний вище, та отримуємо розрахункову формулу для коефіцієнта теплопровідності повітря λ . Оточимо уявно внутрішній циліндр циліндричною оболонкою, радіуса x . Тоді потік тепла проходить через бічну поверхню циліндра площею $S = 2\pi xh$, де h – висота циліндра. Підставляємо це значення в формулу (3) замість dS і одержуємо:

$$q = -2\pi hx\lambda \frac{dT}{dx}. \quad (4)$$

Знехтуємо втратами тепла через торці циліндра. Тоді потік тепла q не залежить від x і рівняння (4) неважко проінтегрувати. Для цього помножимо обидві частини рівняння (4) на $(1/q)(dx/x)$ і проінтегруємо вираз. Одержуємо:

$$\ln \frac{r_2}{r_1} = \frac{2\pi h\lambda}{q} (T_1 - T_2). \quad (5)$$

Тепловий потік q має дорівнювати тепловій потужності, що виділяється у внутрішньому циліндрі за рахунок нагрівання тонкого дроту електричним струмом

$$q = IU.$$

Підставивши q у рівняння (5) одержуємо робочу формулу:

$$\lambda = \frac{I \cdot U \cdot \ln \frac{r_2}{r_1}}{2\pi h \cdot (T_1 - T_2)}. \quad (6)$$

У даній роботі використовується диференціальна термопара, що вимірює різницю температур $\Delta T = T_1 - T_2$. Тоді розрахункова формула записується у вигляді:

$$\lambda = \frac{I \cdot U \cdot \ln \frac{r_2}{r_1}}{2\pi h \cdot \Delta T}. \quad (7)$$

Значення I , U та ΔT вимірюються комп'ютерною вимірювальною системою, а величини r_1 , r_2 і h беремо з паспорта приладу і записуємо у таблицю

Хід роботи

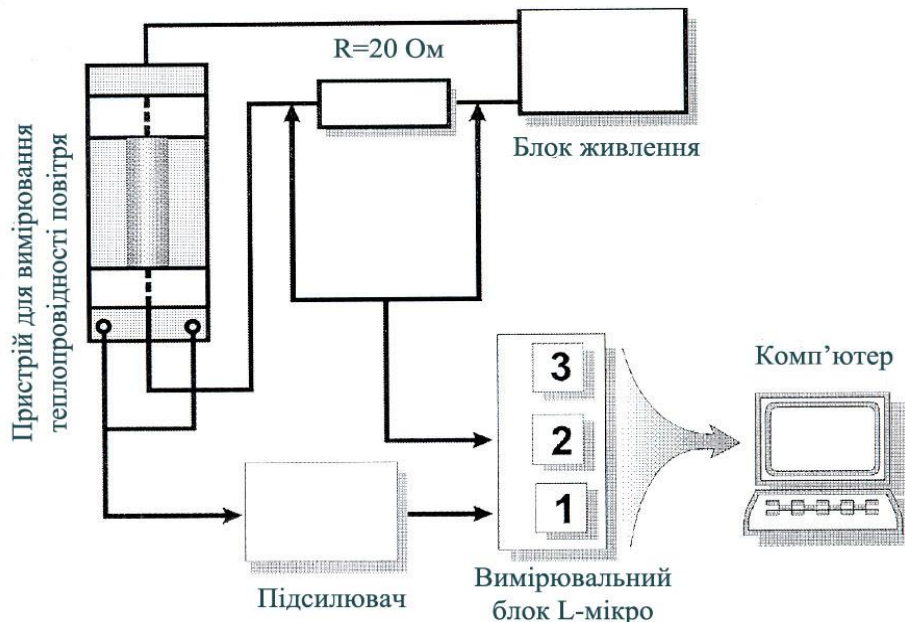
Розміщаємо прилад для вимірювання коефіцієнта теплопровідності повітря (дотримуючись обережності, щоб не розбити трубки і не пошкодити інші деталі) на столі так, щоб скляні циліндри розташовувалися вертикально (мал.1).

Підключаємо вимірювальний блок L-мікро до комп'ютера і до мережі (220 В, 50 Гц) (мал. 2). У перший канал вимірювального блоку через підсилювач включаємо кабель, що приєднаний до виводів термопари (крайні клеми).

Збираємо коло нагрівача (мал. 2), підключивши його до блоку живлення через резистор опором 22 Ом. Блок живлення переключаємо на напругу 12 В.

Запускаємо програму L-phys.exe, вибираємо пункт меню «СПИСОК РОБІТ» і на екрані вибираємо роботу «Вимірювання теплопровідності повітря». Вибираємо в меню на екрані комп'ютера пункт «ЗАПУСК».

Включаємо блок живлення в мережу і спостерігаємо на екрані комп'ютера



Мал.2

зростання різниці температур поверхонь циліндрів. Як тільки значення ΔT перестане змінюватись (досягнення стаціонарного режиму теплопередачі), записуємо значення різниці температур у таблицю 1. Вимірюємо напругу на нагрівачі і на резисторі.

Обробка результатів вимірювання

І. Із паспорту установки заносимо розміри величин, які потрібні для обрахунків за робочою формулою (7). . Позначення, прийняті в таблиці 1: r_1 – радіус внутрішнього циліндра; r_2 – радіус зовнішнього циліндра; h – висота циліндрів; R – опір резистора, включеного в коло нагрівача для виміру струму; ΔT – стаціонарне значення різниці температур; U_R – падіння напруги на резисторі R ; U – напруга на нагрівачі; I – сила струму в колі нагрівача; λ – коефіцієнт теплопровідності.

$r_1, м$	$r_2, м$	$h, м$	$R, Ом$	$\Delta T, град$	$U_R, В$	$U, В$	$I, А$	$\lambda, Вт/(м \cdot T)$
0.002	0.006	0.126	22					

2. Розраховуємо на основі закону Ома для ділянки кола силу струму в колі нагрівача $I = U_R / R$. Маємо :

$$I = \text{-----} =$$

3. За робочою формулою (7) обчислюємо значення коефіцієнта теплопровідності повітря, використовуючи з таблиці параметри установки та виміряні величини:

$$\lambda = \text{-----} =$$

Виконавши дослідження, встановили, що коефіцієнт теплопровідності повітря $\lambda =$. Таке значення величини відповідає табличному значенню коефіцієнта теплопровідності повітря.

Висновок. Виконавши роботу, ми _____

Контрольні питання

1. Який термодинамічний параметр стану речовини відповідає середній кінетичній енергії молекул речовини?
2. Чи різняться при одній і тій же температурі середні швидкості поступального руху молекул різних газів і чому?
3. Яка властивість речовин використовуються для створення термометрів?
4. Запишіть формули: 1) основного рівняння кінетичної теорії газів; 2) рівняння Больцмана для визначення тиску газу; 3) формулу переходу від шкали Цельсія до абсолютної шкали температур;
5. Запишіть назви і формули законів переносу для явищ: дифузії; перенесення теплоти; сили внутрішнього тертя.
6. Запишіть фізичний зміст коефіцієнта теплопровідності речовини
7. Задача. Визначити товщину шару ґрунту, якщо за 5 годин через площу 1 м² поверхні проходить теплота 250 кДж. Температура на поверхні ґрунту 25°C, а в нижньому шарі 15°C. Коефіцієнт теплопровідності ґрунту візьміть з таблиці.

ЛАБОРАТОРНЕ ЗАНЯТТЯ № 8.

ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ПОВЕРХНЕВОГО НАТЯГУ РІДИНИ МЕТОДОМ ВІДРИВУ КІЛЬЦЯ

Мета роботи. Систематизувати знання про рідкий стан речовини, природу поверхневого шару рідин, змочування, капілярні явища та осмос, їх значення для живої і неживої природи, практичне використання; навчитися визначити коефіцієнт поверхневого натягу методами відриву кільця.

Обладнання: металеве кільце, торзійні терези, посудина з рідиною, штангенциркуль, піпетка.

Завдання самостійної роботи з підготовки до заняття.

Опрацювати:

1. Миколайчук, М.Н. Підготовка, проведення досліджень та оформлення звіту про виконану лабораторну роботу з фізики / М.Н. Миколайчук, Л.Є. Ковальов, І.І. Побережець. – С. 50-54
2. Миколайчик М.Н. Лабораторний практикум з фізики та основ біофізики. Визначення коефіцієнта поверхневого натягу рідини – С. 105-116

Теоретичні відомості

Вільна поверхня кожної рідини перебуває в особливому напруженому стані. Утворення поверхневої плівки є результат прояву молекулярних сил. Якщо молекула перебуває на глибині рідини, то на неї з усіх боків в однаковій мірі діють сусідні молекули. Якщо молекула перебуває біля поверхні рідини, на віддалі меншій за радіус дії молекулярних сил, то притягання молекул, що лежать нижче, перевищує притягання молекул, що лежать вище, і рівнодійна всіх молекулярних сил буде направлена вниз – всередину рідини. Чим ближче молекула до поверхні рідини, тим ця сила буде більшою. Коли ж молекула перебуває на самій поверхні рідини, то сили молекулярного притягання направлені тільки *по поверхні та всередину* рідини.

Складові молекулярних сил, направлені по поверхні рідини, утворюють так званий *поверхневий натяг*.

Уявно розділимо поверхню рідини довільною лінією завдовжки l ; тоді сила, що виникає внаслідок притягання молекул, які знаходяться по обидві сторони від лінії, буде тим більше, чим більша довжина лінії. Тобто сила поверхневого натягу буде пропорційна довжині і залежатиме від природи речовини.

$$F = \alpha l \quad (1)$$

Звідки

$$\alpha = \frac{F}{l} \quad (2)$$

Коефіцієнт пропорційності α характеризує стан поверхні речовини і має назву *коефіцієнта поверхневого натягу*. Він дорівнює силі поверхневого натягу, прикладеній до одиниці довжини контуру поверхні рідини. З формули (2) бачимо, що коефіцієнт поверхневого натягу вимірюється в Н/м .

При підвищенні температури величина поверхневого натягу зменшується.

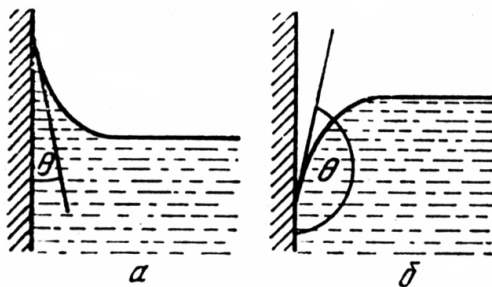
Якщо молекули рідини притягуються одна до одної слабше, ніж до молекул твердого речовини, що контактує з рідиною, то таке явище

називається *змочуванням*, а рідину *змочуючою*. Якщо молекули рідини притягуються одна до одної сильніше, ніж до молекул твердої речовини, то рідину називають *незмочуючою*. Внаслідок змочування/незмочування має місце викривлення вільної поверхні рідини біля твердої поверхні стінки посудини – це викривлення *називається меніском*.

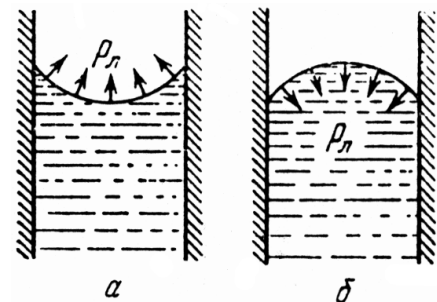
Явище змочування характеризується *крайовим кутом*. *Крайовий кут* – це кут Θ утворений плоскою поверхнею твердого тіла і площиною, дотичною до вільної поверхні рідини, що проходить через точку, де межує тверда речовина, рідинка і газ над рідиною (мал.1).

Якщо посудина, у якій перебуває рідинка, має малий поперечний переріз, то меніск набуває сферичної форми (мал.2). Під викривленою поверхнею рідини на цю рідинку, крім внутрішнього тиску, ще діє додатковий тиск Δp , причиною якого є випукла форма поверхні (меніск). Цей додатковий тиск називають *лапласовським тиском*. Змочуванням пояснюються так звані *сорбційні явища* – поглинання молекул рідини чи газу поверхнею (*адсорбція*) чи всім об'ємом твердого тіла чи рідини (*абсорбція*).

Інтенсивна адсорбція вже має місце при нормальних атмосферних умовах і відіграє важливу роль у рослинному світі. Дякуючи абсорбції, ґрунт утримує потрібні для рослин гази: аміак, сірководень тощо. Знищення запаху гною на фермах теж базується на явищі абсорбції.



Мал. 1



Мал 2

Явище дифузії розчинника через напівпроникливу стінку, яка розділяє розчин від чистого розчинника, називається *осмосом*, а надлишковий тиск, що при цьому виникає у розчині і який рівний парціальному тиску розчиненої речовини, називається *осматичним*. *Осматичний тиск пропорційний концентрації і температурі розчину, обернено пропорційний молярній масі розчиненої речовини (закон Вант-Гоффа)*.

Внаслідок таких процесів як харчування, виділення, дихання та ін., підтримується постійний осматичний тиск у клітинах живих організмів. Явищем осмосу пояснюється пружність живих клітин, рослинних і тваринних тканин у цілому (*явище тургору*).

Вузькі циліндричні трубки діаметром у межах 1 мм і менше називаються капілярами. Якщо капіляр опустити у рідинку, то ця рідинка, у залежності від того, змочує вона його речовину чи не змочує, підніметься по трубці вгору чи опуститься вниз. Зміна висоти рідини у трубках малого

діаметра називається *капілярне явище*. Це явище пов'язано з тим, що для рівноваги рідини у капілярі потрібно, щоб додатковий лапласовський тиск, який створюється у трубці, був зрівноважений гідростатичним тиском – вагою піднятої рідини.

Капілярними явищами пояснюються властивості тіл (вата, тканини, ґрунти, бетон та ін.) вбирати у себе вологу (*гігроскопічність речовин*). Для збереження вологи капіляри у ґрунті руйнують при оранці та боронуванні. Для підняття ґрунтової вологи після висівання зернових посівні площі каткують. Для того, щоб волога не піднімалася по стінах, між фундаментом і стіною будівлі прокладають шар рубероїду, чим запобігають прояву капілярності. Переміщення розчину, збагаченого необхідними для клітин речовинами, по капілярах у тканинах рослин і тварин внаслідок явищ дифузії та осмосу забезпечує життя і розвиток живих організмів.

На практиці для визначення коефіцієнта поверхневого натягу рідин найчастіше **використовують: метод капілярної трубки, метод відриву крапель** (вага краплини при відриванні від піпетки буде рівна силі поверхневого натягу, що діє по колу радіуса піпетки), **метод відриву кільця**.

Метод відриву кільця полягає у визначенні величини сили, потрібної для відриву кільця, що змочується даною рідиною, від поверхні рідини. Коли металеве кільце опустити на поверхню рідини, що змочує це кільце, то для відриву кільця потрібно прикласти силу

$$F = P + F_1, \quad (3)$$

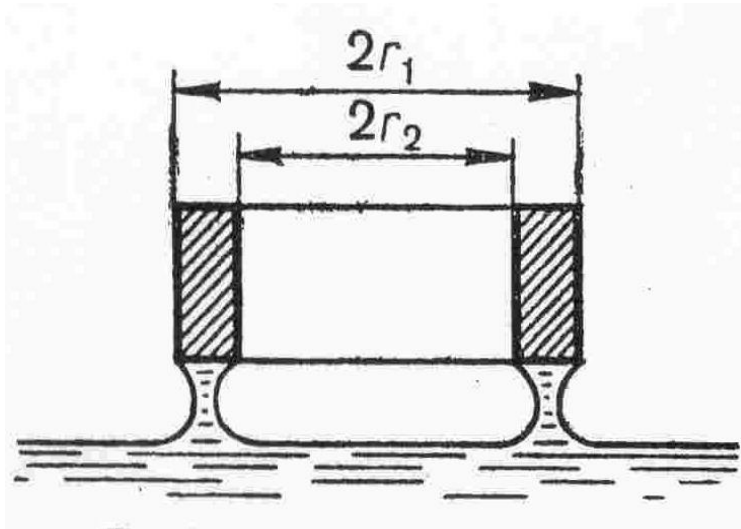
де P – вага кільця, F_1 – сила поверхневого натягу (сила зчеплення кільця з рідиною). Поверхня рідини відривається від кільця по зовнішньому і внутрішньому колах кільця. Тоді

$$F = P + \pi(D_1 + D_2) \cdot \alpha, \quad (4)$$

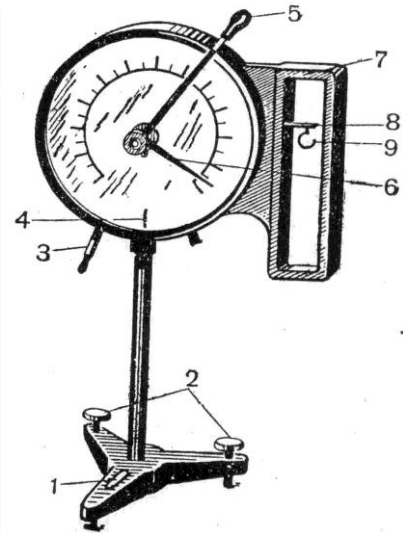
$$\text{Звідки} \quad \alpha = \frac{F - P}{\pi(D_1 + D_2)}. \quad (5)$$

Величина сил F і P визначаються у роботі за допомогою торзійних терезів (мал.б). Основною частиною торзійних терезів є плоска спіральна пружина, яка при зважуванні деформується. Величина деформації пропорційна діючому навантаженню. Тому шкала терезів, яка показує кут закручування пружини, проградуєвана в одиницях сили. Для зручності, *щоб компенсувати вагу кільця, терези регулюють так, що коли кільце не перебуває у рідині, то стрілку терезів виставляють на нуль шкали:*

$$\text{Тоді робоча формула (5) набуває вигляду:} \quad \alpha = \frac{F}{\pi(D_1 + D_2)} \quad (6)$$



Мал. 5



Мал. 6

Виконання роботи

1. Встановлюємо торзійні терези горизонтально за допомогою гвинтів 2.
2. Відкриваємо кришку терезів 7 і підвішуємо на гачок 9 кільце. Вставляємо під кільцем стаканчик з рідиною так, щоб металеве кільце поверхні води не досягало.
3. Разом із керівником заняття встановлюємо нульове положення терезів.
4. Піпеткою невеличкими порціями доливаємо воду у посудину доти, поки кільце не торкнеться поверхні води.
5. При наявності зчеплення кільця з поверхнею плівки води повільно пересуваємо важіль 5 терезів до моменту відриву кільця від поверхні рідини
6. У момент відриву кільця записуємо по шкалі терезів величину сили F , що рівна силі поверхневого натягу.
7. Повторюємо дослід 3 рази. Результати вимірювання сили поверхневого натягу записуємо у таблицю
8. Аретируємо терези (виключаємо).
9. Визначаємо штангенциркулем внутрішній і зовнішній діаметри D_1 і D_2 кільця і записуємо у таблицю. (діаметри вимірювали у кільця, яке має ті ж розміри, що і підвішене).

№№ n/n	F (Н)	D_1 (м)	D_2 (м)	α (н/м)	$\Delta\alpha$ (н/м)
1					
2					
3					

Обробка результатів дослідів

1. За формулою (6) обчислюємо коефіцієнт поверхневого натягу для кожного дослідів: $\alpha_1 = \dots =$

$$\alpha_2 = \text{-----} =$$

$$\alpha_3 = \text{-----} =$$

2. Обчислюємо середнє значення коефіцієнта поверхневого натягу:

$$\alpha_{\text{сер}} = \text{-----} =$$

3. Знаходимо для кожного досліду абсолютні похибки і обчислюємо середнє значення абсолютної похибки.

$$\Delta\alpha_1 = \quad ; \quad \Delta\alpha_2 = \quad ; \quad \Delta\alpha_3 = \quad ;$$

$$\Delta\alpha_{\text{сер}} = \text{-----} =$$

4. Визначаємо середню відносну похибку вимірювання.

$$\varepsilon_{\text{сер}} = \text{-----} 100\% =$$

Результат вимірювання. Виконавши дослідження, встановили, що коефіцієнт поверхневого натягу досліджуваної рідини:

$$\alpha =$$

при середній відносній похибці $\varepsilon_{\text{сер}} = \quad \%$.

Висновок. Виконавши роботу, ми _____

Контрольні питання

1. Характеристика рідкого стану МКТ будови речовини
2. Фізичний зміст коефіцієнта поверхневого натягу рідини і одиниця для його вимірювання.
3. Умови змочування і незмочування.
4. Чому при відсутності зовнішніх сил крапля рідини набуває форми сфери?
5. Що таке меніск?
6. Що таке осмос? Приклади осмосу у живій природі?
8. Які явища називаються капілярними явищами? Прояви капілярних явищ живій природі, враховування в агротехніці, побуті і на виробництві?
10. Задача. Визначити середній діаметр капіляра ґрунту, якщо вода піднімається в ґрунті на висоту 49 мм. Змочування вважати повним.

ЛАБОРАТОРНЕ ЗАНЯТТЯ № 9.

ВИЗНАЧЕННЯ ВОЛОГОСТІ ПОВІТРЯ

Мета роботи. Систематизувати знання про пароподібний стан речовини, вологість повітря і її значення для живих організмів і виробничої практики; навчитися визначати абсолютну та відносну вологість повітря психрометром.

Прилади і матеріали: психрометр Августа; піпетка; дистильована вода; психрометричні таблиці.

Завдання самостійної роботи з підготовки до заняття. Опрацювати:

1. Миколайчук, М.Н. Підготовка, проведення досліджень та оформлення звіту про виконану лабораторну роботу з фізики / М.Н. Миколайчук, Л.Є. Ковальов, І.І. Побережець. – С. 54-57.

2. Миколайчук М.Н. Лабораторний практикум з фізики та основ біофізики. Визначення вологості повітря гігрометром і психрометром. – С. 117-122.

Теоретичні відомості

Критичною для даної речовини називається температура, вище якої газ не можна перетворити у рідину ніяким тиском, і, починаючи з якої, при нижчій температурі газ при стисканні перетворюється у рідину. Кожна речовина має свою критичну температуру. Газ, що знаходиться при температурі нижче критичної, називається паром.

Перехід речовини із рідкого стану у газоподібний називається *паротворенням*, а перехід речовини із газоподібного стану у рідкий – *конденсацією*. Паротворення, що відбувається тільки з вільної поверхні рідини, що межує з газоподібним середовищем, називається *випаровуванням*.

Швидкість випаровування залежить: від роду речовини; від площі вільної поверхні рідини; випаровування підвищується з підвищенням температури; швидкість випаровування з поверхні зменшується із збільшенням густини її пари над рідиною; швидкість випаровування підвищується, коли над вільною поверхнею рідини відбувається рух пари із віддаленням її нижніх шарів від рідини.

У процесі випаровування молекули з поверхневого шару рідини, які здобули велику швидкість у напрямі від поверхні, втрачають зв'язок із молекулами рідини і переходять у пар. Разом з цим, молекули пари, які рухаються до поверхні, переходять у рідину. Таким чином, на межі рідини і пари весь час має місце динамічний процес переходу молекул з рідини у пар і навпаки.

Пара, яка перебуває над поверхнею рідини, коли випаровування переважає над конденсацією, *називаються ненасиченою паром*. У такому процесі густина пари з часом збільшується.

Пара, яка перебуває у стані рухомої рівноваги зі своєю рідиною, називається паром, що насичує простір, або *насиченою паром*. З часом густина насиченої пари при сталій температурі не змінюється: за будь-які рівні проміжки часу кількість молекул, що переходять з рідини у пар, рівна кількості молекул, що переходять з пари у рідину. Густина насиченої пари тим більша, чим вища температура. При стисканні такої пари її густина і температура не змінюються, а частина пари переходить у рідкий стан. З цього випливає, що *до насиченої пари закони ідеального газу не застосовуються*.

Оскільки з поверхонь океанів, морів, озер і річок відбувається неперервне

випаровування води, то в атмосфері Землі завжди є водяна пара. Оцінки показують, що протягом року в атмосферу випаровується близько $4,25 \cdot 10^{14}$ т води, біля чверті з неї випадає на сушу у вигляді опадів (дощ, сніг, туман, ожеледь тощо). Поблизу морів і океанів повітря вологіше, ніж у глибині материків.

Величина, яка характеризує вміст водяної пари в атмосфері Землі, називається вологістю повітря.

Рівень вологості повітря впливає на багато процесів, які відбуваються в атмосфері, і найважливішими з них є розвиток рослинного і тваринного світу. Вологість значною мірою визначає здоров'я людей, врожайність сільськогосподарських культур, продуктивність тваринництва, розвиток флори і фауни взагалі. Значну роль відіграє вологість у забезпеченні збереження вирощеного врожаю, експлуатації виробів з дерева і металів, впливає на електробезпеку тощо. Значну роль відіграє вологість повітря у багатьох галузях сучасної техніки, наприклад, у процесах сушіння виробів. Вологість повітря визначає багато явищ, що характеризують погоду і клімат. Отже, для практики має велике значення вимірювання і регулювання вологості повітря.

Вологість повітря зумовлюється кількістю у ньому водяної пари. Маса водяної пари у повітрі може змінюватися як за абсолютною величиною, так і за ступенем насичення, що відповідно характеризується абсолютною і відносною вологістю.

Абсолютна вологість повітря кількісно дорівнює масі m водяної пари, що міститься у 1 м^3 повітря, тобто її густині. У системі СІ абсолютна вологість вимірюється в $\text{кг}/\text{м}^3$:

$$m = \rho_{\text{пар}} = \rho_{\text{абс.}} \quad (1)$$

Коли температури високі і пара далека від насичення (у цьому разі до водяної пари можна застосувати рівняння Клапейрона-Менделєєва), значення абсолютної вологості мало відрізняється від парціального тиску водяної пари у повітрі. Тому прийнято визначати абсолютну вологість також через величину парціального тиску водяної пари і виражати її в одиницях тиску P .

Під *відносною вологістю* розуміють відношення абсолютної вологості до маси водяної пари, яка б насичила простір в одиницю об'єму при тій самій температурі. Це відношення виражають у відсотках.

$$\alpha = \frac{\rho_{\text{абс.}}}{\rho_{\text{нас.}}} 100\% = \frac{P_{\text{п}}}{P_{\text{нас}}} 100\% . \quad (2)$$

Точкою роси називається температура t_p , при якій наявна у повітрі водяна пара стає насиченою, тобто починає конденсуватися на охолодженій поверхні.

Основні способи визначення вологості повітря ґрунтуються на методах точки роси і психрометра.

1. Метод точки роси. Вологість повітря методом точки роси визначають гігрометром Ламбрехта (мал.1). Він складається з тонкого металевого полірованого диска 1, на зворотному боці якого є резервуар 5. У резервуар наливають ефір і вставляють термометр 3

через отвір 4. Через другий отвір за допомогою гумової трубки з грушею б продувають повітря.

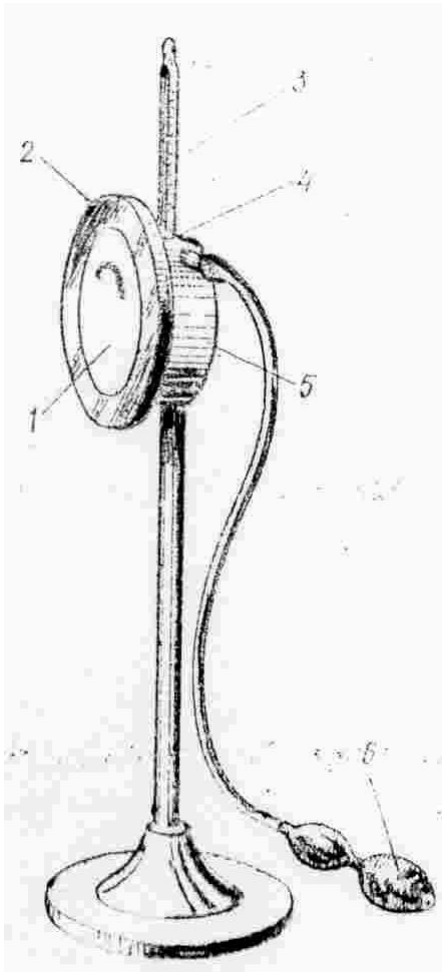
Ефір швидко випаровується і диск 1 при цьому охолоджується. Одночасно охолоджується і повітря, що прилягає до диска, а на поверхні диска внаслідок конденсації водяної пари виступає роса (поверхня диска стає ніби матовою, що добре помітно, коли порівнювати її з блискучою поверхнею кільця 2.

Фіксують температуру, що відповідає моменту помутніння поверхні диска t_{p1} . Припинивши продування повітря, визначають температуру t_{p2} зникнення роси. Для обчислення вологості повітря беруть за точку роси температуру t_p як середнє арифметичне величин температур появи і зникнення роси на полірованому диску гігрометра.

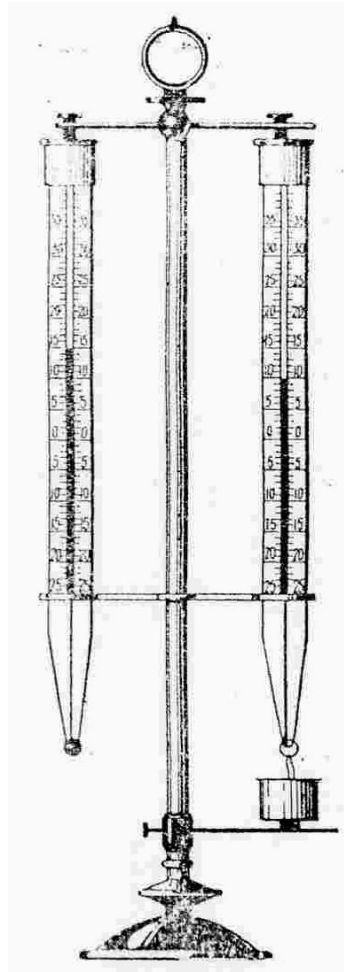
З таблиці визначають густину насичуючої водяної пари $\rho_{нас}$ при температурі точки роси t_p . Ця густина насиченої водяної пари і є абсолютною вологістю $m = \rho_{абс}$. Знаючи кімнатну температуру t_k , з таблиць знаходять густину насичуючої водяної пари $\rho_{нас}$ при цій температурі. Відношення цих двох величин, що визначається за формулою (2), і дає значення відносної вологості повітря.

2. Метод психромет. Якщо взяти два однакових рідинних термометри, кулька одного з яких постійно змочується водою через батист, що занурений у склянку з водою, то покази обох термометрів («сухого» і «мокрого») відрізнятимуться. Внаслідок випаровування води з батисту, мокрий термометр показуватиме нижчу температуру, ніж сухий, і ця температура для умов вимірювання і буде точкою роси.

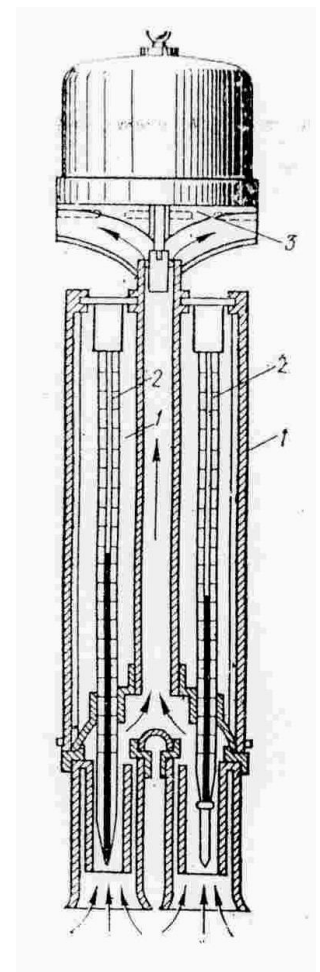
Чим менша відносна вологість навколишнього повітря, тим інтенсивніше випаровування і тим менші покази мокрого термометра. Значення показів сухого t_c і мокрого t_m термометрів дають можливість визначити вологість повітря. З таблиці густини водяної пари знаходять її значення при температурі вологого термометра – це і буде значення абсолютної вологості повітря під час досліду. Тоді знаходять густину насиченої пари при температурі сухого термометра (температура повітря). Знаючи $\rho_{абс}$ і $\rho_{насич}$, за формулою (2), знаходять відносну вологість.



Мал. 1



Мал. 2



Мал. 3

Найпростіший тип психрометра - *психрометр Августа* – показано на мал.2 .

Теорія і практика встановлення рівня вологості психрометром засвідчують, що результати залежать від швидкості руху повітря: в області малих швидкості ця залежність значна, а при великих швидкостях змінюється мало. Тому запропоновано конструкцію психрометра з примусовим рухом повітря. Це так званий *аспіраційний психрометр* (мал. 3).

У аспіраційному психрометрі кулька правого термометра обгорнута вологим батистом. Лівий термометр сухий. По двох трубках 1, в які вміщено термометри 2, повітря з швидкістю 3-5 м/с продувається вентилятором 3. За показами термометрів визначають температури t_c і t_M . Знаючи t_c і t_M і користуючись психрометричними таблицями, визначають m та α .

Виконання роботи

1. Готуємо до роботи психрометр, контролюючи, щоб кулька вологого термометра була зволожена, а на сухий не попали краплі води..

2. Визначаємо покази сухого і вологого термометрів психрометра t_C і t_M . За таблицями густини насичуючої пари при нормальному атмосферному тиску знаходимо відповідні густини насичуючої пари при кімнатній температурі (показ сухого термометра) $\rho_{нас}$ та абсолютну вологість повітря у кімнаті (для точки роси, яку показує вологий термометр) $\rho_{абс}$. Дані записуємо у таблицю.

№ дослід-ду	Температура мокрого термометра $t_P(^{\circ}C)$	Температура сухого термометра $t_{кімн} (^{\circ}C)$	Абсолютна вологість $\rho_{абс}$ ($кг/м^3$)	Густина насич. пари при кімнат. температурі $\rho_{нас}$ ($кг/м^3$)	Відносна вологість α (%)

Обробка результатів вимірювання

1. Встановили, що абсолютна вологість повітря у кімнаті проведення дослід-ду:

$$m = \rho_{абс} =$$

2. Відносна вологість повітря у кімнаті

$$\alpha = \text{-----} 100\% =$$

Висновок. Виконавши роботу, ми _____

Контрольні питання

1. Якими методами на практиці визначають вологість повітря?
2. Яка пара називається насиченою? Ненасиченої парою?
3. Що називають точкою роси?
4. Коли абсолютна вологість більша: взимку чи влітку?
5. Чому покази мокрого термометра у психрометрі нижчі, ніж сухого? Коли їх покази будуть однакові?
6. Задача. Визначте, яка кількість водяної пари знаходиться у лабораторії на час проведення дослід-ду з визначення вологості повітря. Розміри кімнати $6 \times 10 \times 3$ ($м^3$).
7. Задача. Чи відбудеться у кімнаті, де проводиться дослід, конденсація водяної пари повітря, якщо температура знизиться на $10^{\circ} C$? Якщо це станеться, то яка маса водяної пари конденсується? Розміри кімнати $6 \times 10 \times 3$ ($м^3$).

ЛАБОРАТОРНЕ ЗАНЯТТЯ № 10.

ВИЗНАЧЕННЯ ВЕЛИЧИНИ ОПОРУ ЗА ДОПОМОГОЮ МІСТКОВОЇ СХЕМИ

Мета роботи. Систематизувати знання про електростатичне поле, закони постійного струму, розрахунки і складання електричних кіл; навчитися визначати невідомі опори за допомогою містка постійного струму (містка Уїтстона).

Прилади та матеріали: реохорд; гальванометр; магазин опорів; вимикач натискний; джерело струму (гальванічний елемент); з'єднувальні провідники; невідомий опір.

Завдання самостійної роботи з підготовки до заняття. Опрацювати:

1. Миколайчук, М.Н. Підготовка, проведення досліджень та оформлення звіту про виконану лабораторну роботу з фізики / М.Н. Миколайчук, Л.Є. Ковальов, І.І. Побережець. – 62-66.

2. Миколайчук М.Н. Лабораторний практикум з фізики та основ біофізики. Вимірювання електричних величин. – С.34-39. Визначення величини опорів за допомогою місткових схем (місток постійного струму Уїтстона). – С.135-142.

Теоретичні відомості

Електричним струмом називається впорядкований (направлений) рух електричних зарядів.

Необхідною умовою появи електричного струму є наявність електричного поля та вільних зарядів, які під дією поля набувають впорядкованого руху. Електричне поле є складовою частиною *електромагнітного поля*. Електричне поле створюється електричними зарядами, діє на інші заряди, незалежно, чи вони рухаються чи не рухомі. Електростатичне поле не змінюється з часом, тому називається *стаціонарним електричним полем*, на відміну від змінного, нестаціонарного, що змінюється з часом. *Електростатичне поле* заповнює прилеглий до заряду простір, є неперервним, поширюється від місця появи заряду із швидкістю світла, проявляється лише по дії на електричні заряди, характеризується силою дії на заряди, має енергію (здатне виконувати роботу по переміщенню зарядів). Силу характеристику полю дає напруженість, енергетичну – потенціал поля у кожній його точці.

Силою струму називають скалярну величину I , що визначається відношенням кількості електрики q , перенесеної через поперечний переріз провідника S за малий проміжок часу t , до цього проміжку часу:

$$I = q/t. \quad (1)$$

Струм, сила якого з часом не змінюється за величиною і напрямом, називається постійним. Якщо з часом величина чи напрям струму змінюється, то такий струм є змінним.

Для виникнення і підтримування постійного струму у провіднику

необхідно, щоб у ньому постійно підтримувалося електричне поле, були вільні електричні заряди, провідник був замкнений і на певній ділянці на заряди діяли некулонівські сторонні сили джерела струму, які за рахунок неелектричної (механічної, хімічної чи ін.) енергії цього джерела у самому джерелі переносилися проти електричного поля.

Протидія провідника переміщенню по ньому електричних зарядів характеризується його електричним опором. Опір провідника R пропорційний його довжині l , обернено пропорційний площі поперечного перерізу S і залежить від речовини:

$$R = \rho \frac{l}{S} . \quad (2)$$

За одиницю опору прийнято 1 Ом . Один *ом* має провідник, по якому тече постійний струм 1 А , коли до кінців провідника прикладена напруга 1 В . Опір провідників залежить від температури. Для питомого опору ця залежність виражається формулою:

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha t). \quad (3)$$

Тут ρ_0 – питомий опір при 0°C ; t - температура за шкалою Цельсія;
 $\alpha = \frac{\rho - \rho_0}{\rho_0 t}$ - температурний коефіцієнт опору – відносна зміна питомого опору при нагріванні на один градус.

Г. Ом встановив, що сила електричного струму у провіднику прямо пропорційна напрузі на його кінцях і залежить від матеріалу та розмірів провідника. Ввівши поняття опору провідника R , закон Ома для ділянки кола можна сформулювати: сила струму на ділянці кола пропорційна напрузі на кінцях цієї ділянки і обернено пропорційна її опору: $I = U/R$
 (4)

Із формули закону Ома для ділянки кола маємо:

$$U = IR: \quad (5)$$

Тобто, напруга на кінцях провідника дорівнює добутку сили струму у цьому провіднику на величину його опору.

Джерело електричного струму – це машина, яка за рахунок механічної (хімічної, теплової, світлової чи іншої) енергії у місці її включення у коло переносить електричні заряди проти сил електричного поля, прикладаючи до зарядів сторонню силу, яка за природою не є електричною. Джерелами електричної енергії є різні генератори струму, гальванічні елементи, акумулятори, термоелементи, фотобатареї та ін. Здатність джерела виконувати таку роботу характеризується його електрорушійною силою .

Електрорушійну силу джерела струму ξ вимірюють роботою сторонніх сил, виконаною ними при перенесенні електричного заряду, рівного одиниці, по замкнутому колу:

$$\xi = A_K / q. \quad (6)$$

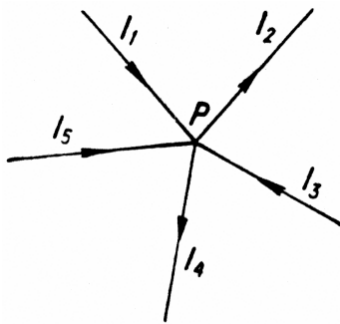
Для повного замкнутого кола: сила струму у колі пропорційна електрорушійній силі джерела струму і обернено пропорційна повному опорів кола – сумі опорів зовнішньої і внутрішньої його ділянок:

$$I = \xi / (R + r).$$

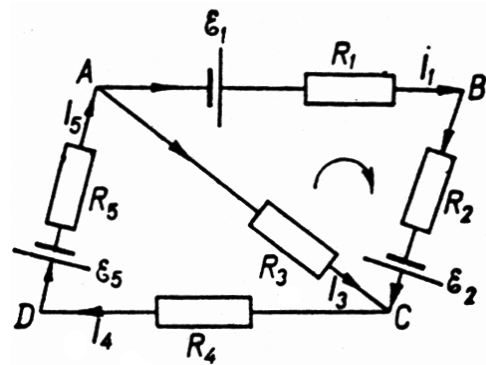
(7)

Ця залежність є законом Ома для замкнутого кола.

Якщо в електричному колі є одне джерело струму, то таке коло можна вважати простим і розрахунки у ньому проводити за правилами послідовного та паралельного з'єднання. Інша справа, коли розрахунки потрібно проводити для кіл з великою кількістю споживачів і джерел струму, наприклад, у системах електромереж міста, області, країни.



Мал. 1



Мал. 2

Складними електричними колами називаються кола, що містять змішані з'єднання багатьох споживачів і різних джерел струму. Вузлом електричного кола називається точка, в якій сходиться не менше трьох провідників. Для розрахунків складних розгалужених кіл застосовують *правила Кірхгофа* для вузлів (мал. 1) і контурів (мал. 2).

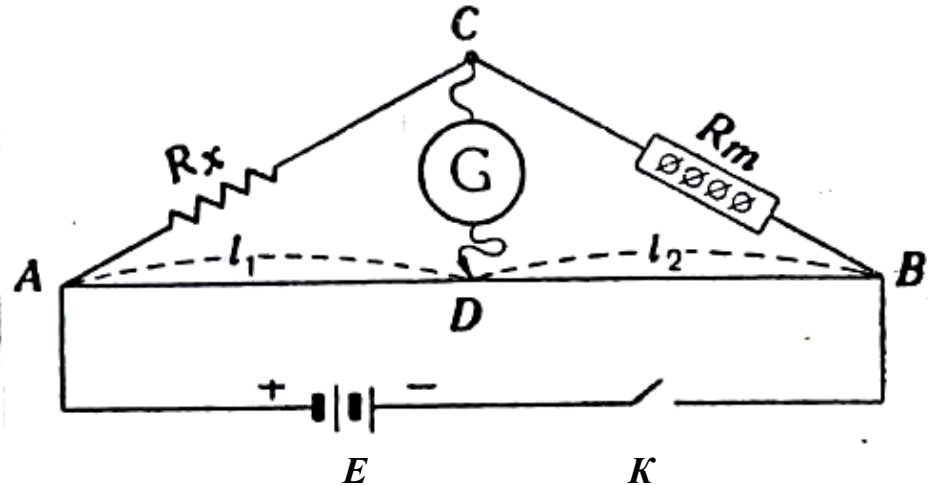
Перше правило Кірхгофа (правило вузлів): алгебраїчна сума сил струмів, які сходяться у вузлі, рівна нулю. Струми, які втікають у вузол, вважаються додатними, а які виходять з вузла – від'ємними.

Друге правило Кірхгофа (правило контурів): у будь-якому замкненому контурі, довільно взятому у розгалуженому електричному колі, алгебраїчна сума добутків сил струмів на опори відповідних ділянок цього контуру рівна алгебраїчній сумі наявних у контурі е.р.с.

Опис установки

Одним з найбільш поширених і достатньо точних методів визначення величини невідомого опору є метод містка постійного струму (містка Уїтстона).

Теорія містка Уїтстона ґрунтується на законах розгалуження струму. Принципіальна схема містка подана на мал.3.



Мал. 3

У цій схемі: E – джерело струму, K – ключ, AB – калібрована (одного перерізу) дротина на метровій лінійці із міліметровою шкалою (її називають реохордом), R_x – невідомий опір, який потрібно виміряти, R_m – опір магазина опорів (відомий опір), G – чутливий гальванометр, нуль шкали якого знаходиться на її середині.

Струм, що йде від джерела E , розгалужується між точками A і B на дві вітки: ACB і ADB . Оскільки потенціали початків і кінців розгалуження відповідно рівні між собою, а у міру віддалення від точки A у кожній з цих віток завжди є дві такі точки, наприклад C і D , потенціали яких будуть однакові і гальванометр, ввімкнутий між цими точками, не буде показувати струму. Коли на реохорді AB переміщенням повзунка знайдено таку точку D , що струм через гальванометр зникає (стає рівним нулю), то кажуть, що місток знаходиться у рівновазі. Записавши рівність напруг на ділянках AD і AC і, відповідно, ділянках DB і CB , виразивши їх через сили струмів та опори ділянок і, розв'язавши систему рівнянь, знаходимо:

$$\frac{R_x}{R_m} = \frac{R_1}{R_2}, \text{ звідки } R_x = \frac{R_1}{R_2} \cdot R_m \quad (8)$$

Коли вітка ADB є однорідна прокалібрована дротина, то відношення опорів $\frac{R_1}{R_2}$ можна замінити відношенням довжин відповідно відрізків дроту AD і DB . Справді:

$$\frac{R_x}{R_m} = \frac{R_1}{R_2} = \frac{\rho \frac{l_1}{S}}{\rho \frac{l_2}{S}} = \frac{l_1}{l_2} \quad (9)$$

Тоді робоча формула для проведення вимірювання невідомого опору набуває вигляду

$$R_x = \frac{l_1}{l_2} \cdot R_m \quad (10)$$

Виконання роботи

Складаємо електричне коло згідно схеми мал.3.

По міліметровій лінійці основи реохорда ставимо контакт реохорда у положення, щоб відношення його довжин (плеч) було рівним $\frac{l_1}{l_2} = \frac{4}{6}$.

За допомогою магазину опорів підбираємо такий опір R_m , при якому струм через гальванометр відсутній. R_m та довжини плеч реохорда l_1 і l_2 записуємо у таблицю.

4.Проводимо і записуємо результати аналогічних вимірювань при співвідношенні плеч реохорда

$$\frac{l_1}{l_2} = \frac{5}{5} \quad \text{та} \quad \frac{l_1}{l_2} = \frac{6}{4}$$

№№ п/п	$l_1(\text{см})$	$l_2(\text{см})$	$R_m(\text{Ом})$	$R_x(\text{Ом})$	$\Delta R_x(\text{Ом})$
1.	4	6			
2.	5	5			
3.	6	4			

Обробка результатів вимірювань

1. За робочою формулою (10) обраховуємо опір невідомого провідника для кожного досліджу:

$$R_{x1} = \dots = \dots ; \quad R_{x2} = \dots = \dots ; \quad R_{x3} = \dots = \dots$$

2, Знаходимо середнє арифметичне значення трьох вимірів невідомого опору:

$$R_{\text{середнє}} = \dots = \dots$$

3. Знаходимо абсолютні похибки кожного виміру:

$$\Delta R_{x1} = \dots ; \quad \Delta R_{x2} = \dots ; \quad \Delta R_{x3} = \dots$$

4. Знаходимо середню абсолютну похибку трьох вимірів:

$$\Delta R_{\text{середнє}} = \dots = \dots$$

5. Знаходимо середню відносну похибку трьох вимірів:

$$\varepsilon = \dots \cdot 100\% = \dots$$

Результат вимірювання. Виконавши дослідження, встановили, що опір невідомого провідника дорівнює:

$$R = \dots$$

при середній відносній похибці $\varepsilon = \dots \%$

Висновок. Виконавши роботу, ми _____

Контрольні питання

1. Що називається напруженістю електричного поля? Запишіть формулу.
2. Що називається потенціалом у точці електричного поля? Запишіть формулу.
3. Запишіть формулювання і формулу закону Кулона.
4. Що таке напруга, її фізичний зміст і формула.
5. Умова існування електричного струму у речовині? Формула сили струму.
6. Електричний опір, залежність опору від роду і розмірів провідника (формула).
7. Що є носіями електричного струму в: 1) металах; 2) електролітах; 3) іонізованих газах; 4) вакуумних електродних лампах; 5) напівпровідниках.
8. Робота поля по переміщенню заряду. Запишіть формулу.
9. Що називається електричним колом?
10. Сформулюйте і запишіть формулу закону Ома для ділянки кола.
11. Сформулюйте і запишіть формулу закону Ома для замкнутого (повного) кола.
12. Фізичний зміст $\epsilon \cdot r \cdot c$ джерела, формула її вираження через напруги.
13. Яке з'єднання опорів називається послідовним? Формули визначення опору і напруги на такому з'єднанні.
14. Яке з'єднання опорів називається паралельним? Записати формули для знаходження струмів та опору паралельного з'єднання провідників.
17. Задача. Електрорушійна сила батареї 60 В , а внутрішній опір 3 Ом . Визначити напругу на зовнішній ділянці, якщо її опір 17 Ом .

ЛАБОРАТОРНЕ ЗАНЯТТЯ № 11.

ВИЗНАЧЕННЯ ІНДУКТИВНОСТІ КОТУШКИ ЗА ЗАКОНОМ ОМА ДЛЯ ЗМІННОГО СТРУМУ

Мета роботи. Систематизувати знання про фізичні основи одержання і передачу змінного електричного струму, поглибити розуміння природи активного омичного, реактивних індуктивного та ємнісного опорів, зсуву фаз між струмом і напругою у колах змінного струму, розуміння закону Ома для змінного струму; навчитися на досліді визначати індуктивний опір за законом Ома для змінного струму.

Прилади: досліджувана котушка; феромагнітне осердя прямокутної форми; амперметр; міліамперметр; вольтметр; з'єднувальні провідники.

Завдання самостійної роботи з підготовки до заняття.

Опрацювати:

1. Миколайчук, М.Н. Підготовка, проведення досліджень та оформлення звіту про виконану лабораторну роботу з фізики / М.Н. Миколайчук, Л.Є. Ковальов, І.І. Побережець. – С.74-76

3. Миколайчук М.Н. Лабораторний практикум з фізики та основ біофізики.– С.157-160.

Теоретичні відомості

Розглянемо електричне коло змінного струму, яке містить у собі, крім омичного опору R , індуктивність L і ємність C (мал.). Для такого кола має місце закон Ома:

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}} \quad (1)$$

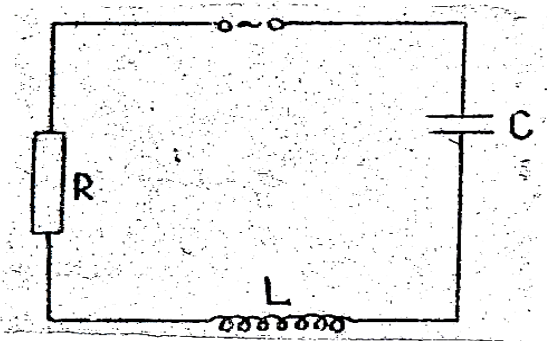
де I – величина струму в колі, U – напруга у зовнішній ділянці кола, ω – колова частота. Знаємо, що $\omega = 2\pi\nu$, де для загальної мережі $\nu = 50$ Гц

Якщо у колі змінного струму відсутній конденсатор (мал.4), то формула закону Ома матиме вигляд:

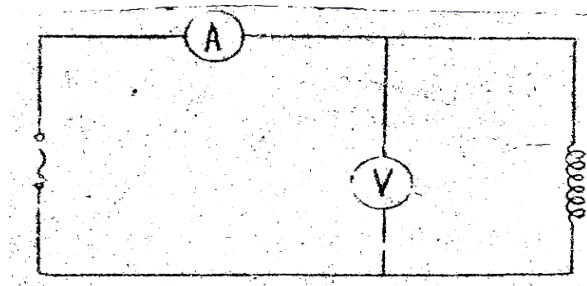
$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}} \quad (2)$$

Цю формулу можна використати для визначення індуктивності котушки L , якщо відомі величини I , U , R та ω . Розв'язавши рівняння (2), маємо:

$$L = \frac{1}{\omega} \sqrt{\frac{U^2}{I^2} - R^2} \quad (3)$$



Мал. 1



Мал. 2

Якщо омичний опір R дуже малий порівняно з індуктивним опором, то $R < \frac{U}{I}$, а тим більше

$$R^2 < \frac{U^2}{I^2} \quad (4)$$

Отже, у цьому випадку обчислення індуктивності L можна проводити за формулою:

$$L \approx \frac{1}{w} \cdot \frac{U}{J} . \quad (5)$$

Виконання роботи

1. Скласти електричну схему згідно мал. 2. За котушку взяти первинну обмотку трансформатора з 3600 витків (2400+1200) (нижня і верхня клема) без сердечника. Встановити амперметр на вимірювання струму в $1A$.

2. **Провести виміри для визначення індуктивності котушки без осердя.** Для цього:

ввімкнути схему в сітку $220 V$.

записати покази амперметра I_1 , вольтметра U_1 .

від'єднати електричне коло від електричної мережі.

3. **Провести виміри для визначення індуктивності котушки із феромагнітним осердям.** Для цього:

1) надіти котушку на залізне осердя, яке потім зібрати у замкнений чотирикутник;

2) замінити амперметр на міліамперметр у $50 mA$;

3) ввімкнути схему в сітку $220 V$;

4) записати значення струму I_2 та напруги U_2 ;

5) виключити електричну напругу.

4. **Обчислити індуктивність котушки без осердя та із осердям.** Для цього:

1) за формулою (3) обчислити значення індуктивності котушки без сердечника L_1 . При цьому омичний опір котушки взяти рівним

$$R = 45 \text{ Ом} , \text{ а частоту } \omega = 2\pi\nu = 2\pi \cdot 50 \text{ гц} = 314 \text{ гц};$$

2) так як $R < \frac{U_2}{J_2}$, то за формулою (5) обчислити значення

індуктивності котушки з феромагнітним сердечником L_2 ;

3) зробити висновок про вплив осердя на індуктивність котушки.

5. **Провести обчислення величини магнітної проникності осердя.** Для цього, вважаючи, що магнітне поле котушки повністю знаходиться у замикаючому середину витків котушки залізному осерді, розрахувати

магнітну проникність осердя за формулою $\mu = \frac{L_2}{L_1}$. (6)

Сформулювати і записати результати і висновки виконання роботи.

Контрольні запитання

1. Що таке самоіндукція. Формула е.р.с. самоіндукції.

2. Індуктивність, одиниця її вимірювання.

3. Який струм називають змінним струмом?

4. Трифазний струм.
5. Активний опір у колі змінного струму.
6. Індуктивний і ємнісний опори і від чого вони залежать.
7. Опір кола змінного струму і його залежність від величини омичного опору, величин індуктивності та ємності.
8. Закон Ома для кола змінного струму.

ЛАБОРАТОРНЕ ЗАНЯТТЯ №12.

ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ТРАНСФОРМАЦІЇ І КОЕФІЦІЄНТА КОРИСНОЇ ДІЇ ТРАНСФОРМАТОРА

Мета роботи. Систематизувати знання про виробництво, передачу та використання змінного струму; призначення, принцип роботи, будову та використання трансформаторів; навчитися визначати коефіцієнт трансформації і коефіцієнт корисної дії трансформатора.

Прилади: трансформатор 220 – 12 – 6 В, амперметр 2 А, амперметр 5 А, вольтметр 600 В, вольтметр 50 В, реостат низькоомний, з'єднувальні провідники, штепсельна вилка.

Завдання самостійної роботи з підготовки до заняття. Опрацювати:

1. Миколайчук, М.Н. Підготовка, проведення досліджень та оформлення звіту про виконану лабораторну роботу з фізики / М.Н. Миколайчук, Л.Є. Ковальов, І.І. Побережець. – С. 77-80.

2. Миколайчук М.Н. Лабораторний практикум з фізики та основ біофізики.– С. 160-163.

Теоретичні відомості

Для зміни напруги і сили змінного струму при його передаванні на далекі віддалі чи для включених у кола споживачів, розрахованих на різні напруги, використовуються *трансформатори*. Трансформатор – це пристрій, який на замкнутому феромагнітному осерді має дві обмотки з різним числом витків. Обмотка, яка підключається до джерела змінного струму, називається *первинною*, друга, до якої підключаються споживачі струму, – *вторинною*. При проходженні струму у первинній обмотці в осерді виникає змінне магнітне поле, яке в *кожному витку обмоток породжує однакові за величиною е.р.с. індукції*. Тому на кінцях вторинної обмотки внаслідок взаємоіндукції з первинною буде наведена е.р.с (напруга), що є сумою е.р.с у всіх її витках.

Коефіцієнтом трансформації K називається *відношення* електрорушійної сили E_2 вторинної обмотки до електрорушійної сили E_1 первинної обмотки, або відповідне відношення кількості витків вторинної і первинної обмоток чи відношення виміряних на кінцях цих обмоток напруг:

$$K = \frac{E_2}{E_1} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{U_2}{U_1}. \quad (1).$$

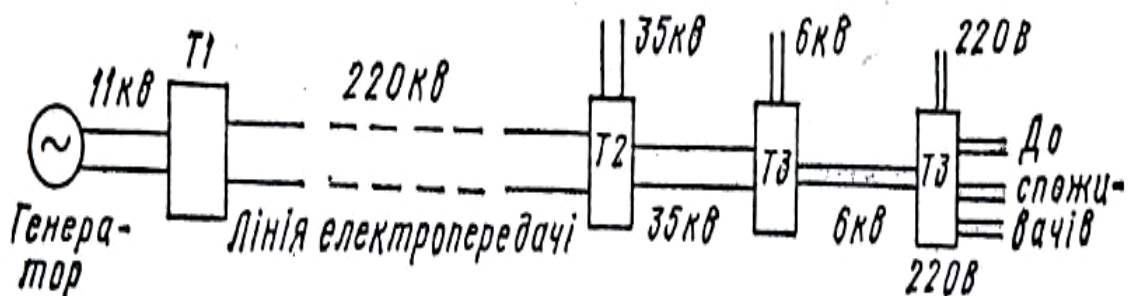
Для дослідного визначення коефіцієнта трансформації на кінцях його обмоток заміряють електричні напруги. Якщо з трансформатора виходить струм з підвищеною напругою ($K > 1$), то такий трансформатор називається *підвищувальним*, якщо із зниженою напругою ($K < 1$) – *понижуючим*. Формула (1) є робочою формулою для визначення на досліді коефіцієнта трансформації.

Коефіцієнтом корисної дії трансформатора називають відношення кількості енергії A_2 , що споживається у колі другої обмотки, до кількості енергії A_1 , що споживається у колі первинної обмотки. Виразимо роботи електричного струму через потужність, а потужність – через сили струму і напруги на кінцях обмоток і одержуємо робочу формулу для обчислення к.к.д. трансформатора.

$$\eta = \frac{\dot{A}_2}{\dot{A}_1} = \frac{I_2 U_2}{I_1 U_1} \quad (2)$$

Коефіцієнт трансформації визначається при розімкненому контурі вторинної обмотки, а коефіцієнт корисної дії трансформатора обчислюється тільки при навантаженому трансформаторі, тобто, коли у коло його вторинної обмотки включено споживачі, наприклад, реостат.

Так як при передачі електроенергії по проводах нагрівання останніх пропорційне квадрату сили струму, то для зменшення безповоротних втрат електроенергії на їх нагрівання йдуть шляхом збільшення напруги струму, який передають від електростанцій. Більшість електромереж для передачі електроенергії мають будову, яка схематично показана на мал. 1. Із малюнка бачимо, що вироблений генераторами електростанцій змінний струм підвищується за допомогою трансформаторів T_1 і цей струм високої напруги (на схемі 220 000 В) передається до його місця споживання. У місцях споживання системою понижуючих трансформаторів T_2, T_3, T_4 напруга понижається до споживаної у мережах змінної напруги 220 В.



Мал. 1

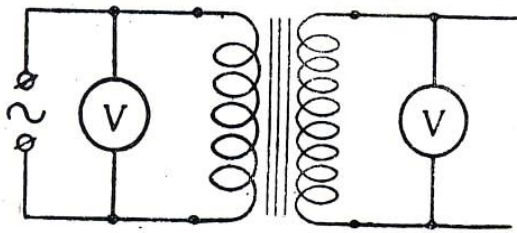
Чим більша довжина ліній між генератором струму та його споживачами, тим вищу напругу використовують: 220, 500, 800 і 1150 кВ. Більші напруги використовувати не приходиться через можливі пробіи повітря біля поверхні дротів у погану погоду, коронні розряди і через

збільшення ризику пробією на землю. Зараз фізики розробляють принципово нові види ліній електропередач: надпровідні з високочастотними струмами у трубчатих хвильоводах, потужним потоком електронів по кількатисячокілометровій вакуумній трубі тощо.

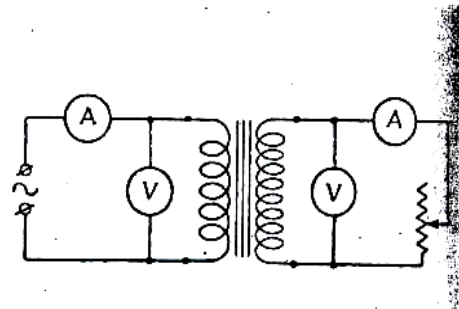
Виконання роботи

I. Визначення коефіцієнта трансформації.

1. Збираємо установку за схемою мал.2. Вибираємо вольтметри з межами вимірювання напруг, які відповідають напрузі у мережу (220 В) для кола



Мал. 2



Мал. 3

первинної обмотки, і напрузі, на яку розрахована вторинна обмотка. За величинами межі вимірювання напруг та числом поділок на шкалах приладів визначаємо ціни поділок.

2. Вмикаємо первинну обмотку у мережу змінного струм. За показами вольтметрів визначаємо напругу U_1 на кінцях первинної і U_2 на кінцях вторинної обмоток.

Записуємо напруги: $U_1 =$; $U_2 =$

За формулою (1) визначаємо коефіцієнт трансформації трансформатора.

II. Визначення коефіцієнта корисної дії трансформатора.

1. Збираємо установку за схемою мал 3. Так як досліджується понижуючий трансформатор, то у вторинну обмотку вмикаємо вольтметром з межею вимірювання 50 В, амперметр на 5 А. За величинами межі вимірювання електричних величин та числом поділок на шкалах приладів визначаємо ціни поділок.

2. Виконуємо три досліди, виставляючи за допомогою реостата силу струму у вторинній обмотці в межах від 0,5А до 2,5 А. Виміри напруг і струмів заносимо у таблицю:

№ n/n	I_1 (A)	U_1 (B)	I_2 (A)	U_2 (A)	η (%)
1.					

2.					
3.					

Знаходимо коефіцієнт корисної дії трансформатора у відсотках для кожного досліду.

Контрольні питання

1. Що таке електромагнітна індукція? Її види.
2. Правило правої руки для визначення напрямку індукційного струму.
3. Приклади використання явища електромагнітної індукції.
4. Запишіть формули законів і залежностей: 1) закон Ампера; 2) взаємодії паралельних струмів ; 3) сили Лоренца ; 4) е.р.с. електромагнітної індукції; 5) е.р.с. самоіндукції; 6) енергії магнітного поля електричного контура; 7) ємнісного опору; 8) індуктивного опору.
5. Який змінний струм називається трифазним, які його переваги?
6. Задача. Індуктивність котушки 5 Гн . Визначити електрорушійну силу самоіндукції, якщо за $0,1 \text{ с}$ сила струму в котушці зменшилася від 25 до 20 А .

ЛАБОРАТОРНЕ ЗАНЯТТЯ № 13.

ВИЗНАЧЕННЯ ВЕЛИЧИНИ ПРИСКОРЕННЯ ВІЛЬНОГО ПАДІННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ОБОРОТНОГО МАЯТНИКА

Мета роботи. Систематизувати знання про коливальні рухи, взаємозалежність між величинами, що характеризують коливальні процеси; навчитися вимірювати величину прискорення вільного падіння за допомогою оборотного маятника.

Прилади і матеріали: : комп'ютер; комп'ютерна програма виконання лабораторних робіт із загальної фізики; вимірювальний блок L-мікро; оборотний маятник; кронштейн із скобою; оптодатчик; штатив універсальний; лінійка.

Завдання самостійної роботи з підготовки до заняття. Опрацювати:

1. Миколайчук, М.Н. Підготовка, проведення досліджень та оформлення звіту про виконану лабораторну роботу з фізики / М.Н. Миколайчук, Л.Є. Ковальов, І.І. Побережець. – С. 28-32

Теоретичні відомості. Опис приладу

Найбільш точні вимірювання прискорення вільного падіння g проводяться за допомогою фізичного маятника. Під *фізичним маятником* розуміють всяке тіло довільної форми, що коливається навколо нерухомої горизонтальної осі. Період коливань фізичного маятника визначається формулою:

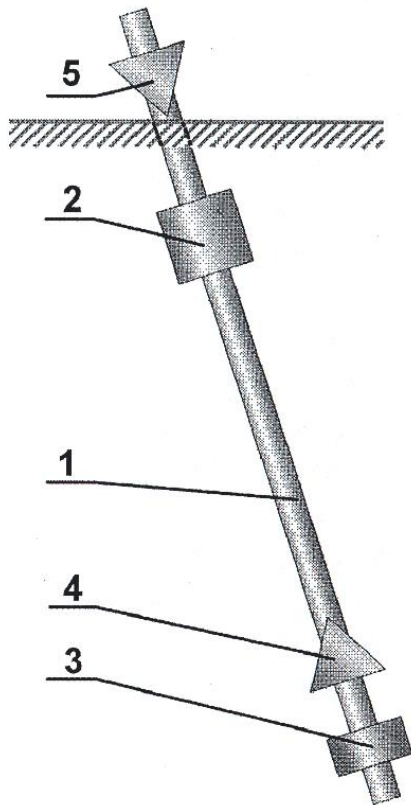
$$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{J}{mga}}, \quad (1)$$

де m – маса фізичного маятника, a – відстань від осі обертання до його центра мас, J – момент інерції фізичного маятника відносно осі обертання.

Фізичний маятник коливається так як математичний з довжиною $l = J/ma$, яка називається зведеною довжиною фізичного маятника.

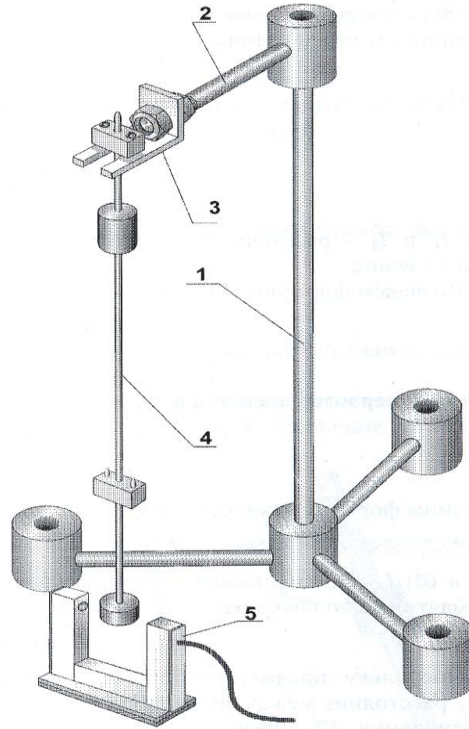
Точка, що лежить від точки підвісу на віддалі зведеної довжини маятника, називається центром коливання. Точка підвісу і центр коливання спряжені.

Мал. 1



Проводити вимірювання g за допомогою довільного фізичного маятника, використовуючи формулу (1), досить важко, тому що при цьому необхідно знати точне значення його моменту інерції, положення центра мас і масу.

Однак існує прилад, який називається оборотним маятником, при



використанні якого задача визначення прискорення вільного падіння значно спрощується. Коли ми знайшли дві спряжені точки (точку підвісу і центр коливання), навколо яких маятник коливатиметься з однаковим періодом, то віддаль між ними l і являтиме зведену довжину фізичного маятника. Знаючи зведену довжину, можна, користуючись формулою математичного маятника

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \quad (2)$$

знайти прискорення вільного падіння g

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

Оборотний маятник (мал. 1) складається з металевого стержня (1), вздовж якого можуть переміщуватись тягарці (2,3) і дві обернені одна до одної опорні призми (4,5). Оборотний маятник регулюється таким чином, щоб період його коливань при установці на одній призмі дорівнював періодові коливань його на іншій призмі. Регулювання досягається шляхом зміни взаємного розташування тягарців на стержні і призми.

Виведемо формулу періоду коливань оборотного маятника. Згідно з теоремою Штейнера момент інерції J маятника відносно довільної осі обертання дорівнює:

$$J = J_c + ma^2, \quad (4)$$

де J_c – момент інерції відносно осі обертання, що проходить через центр мас, m – маса маятника, a – відстань від осі обертання до центра мас. Після підстановки (4) в (1) формула для періоду коливань фізичного маятника матиме такий вигляд:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{J_c + ma^2}{mga}}. \quad (5)$$

Оскільки оборотний маятник має рівні періоди коливань на обох призмах, на підставі (5) можна записати:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{J_c + ma_1^2}{mga_1}}, \quad T = 2\pi \sqrt{\frac{J_c + ma_2^2}{mga_2}}.$$

(6)

Тут a_1 і a_2 – відстані від центра мас маятника до ребра першої і другої призми відповідно. Після піднесення формул (6) до квадрату і множення на знаменники правих частин, дістанемо:

$$T^2 mga_1 = 4\pi^2 (J_c + ma_1^2)$$

$$T^2 mga_2 = 4\pi^2 (J_c + ma_2^2).$$

Віднімемо з першої рівності другу і скоротимо на m :

$$T^2 \cdot mga_1 - T^2 \cdot mga_2 = 4\pi^2 \cdot ma_1^2 - 4\pi^2 \cdot ma_2^2$$

$$T^2 g(a_1 - a_2) = 4\pi^2 (a_1^2 - a_2^2).$$

Застосуємо формулу різниці квадратів у правій частині:

$$T^2 g(a_1 - a_2) = 4\pi^2 (a_1 - a_2)(a_1 + a_2)$$

(7)

Якщо в (7) $a_1 \neq a_2$, що означає несиметричність розташування призм відносно центра мас маятника, то скорочуючи на $a_1 - a_2$, одержуємо:

$$T^2 g = 4\pi^2 (a_1 + a_2)$$

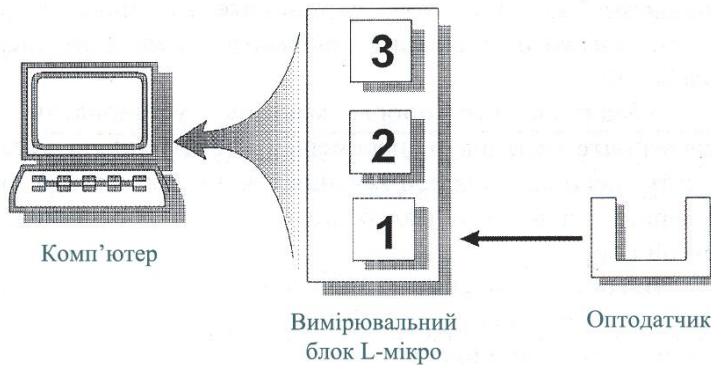
Але $a_1 + a_2 = l$. Звідси ми отримуємо робочу формулу для визначення g :

$$g = \frac{2\pi^2 l}{T^2} \quad (8)$$

В даній лабораторній роботі за допомогою оптодатчика вимірюється інтервал часу між двома найближчими проходженнями маятника через положення рівноваги, тобто безпосередньо вимірюється половина періоду коливань.

Виконання роботи

- Збираємо установку як показано на мал. 2.
- Підключаємо вимірювальний блок L-мікро до комп'ютера, і лише після цього приєднуємо його до мережі 220 В і включаємо. Оптодатчик підключаємо до першого каналу вимірювального блоку (мал. 3).
- Запускаємо програму *L-phys.exe*, вибираємо пункт «СПИСОК ДОСЛІДІВ» і в списку, що з'явився на екрані, вибираємо лабораторну роботу «Визначення прискорення вільного падіння».
- Приводимо маятник у коливання, вибираємо пункт меню «ВИМІРЮВАННЯ». Після здійснення маятником п'яти повних коливань запис даних припиняється, а на екрані залишається таблиця напівперіодів коливань. Різниця між $(T/2)_1$ і $(T/2)_2$ пояснюється тим, що оптична ось оптодатчика не точно збігається з положенням рівноваги маятника. Виміряні значення напівперіодів коливань заносимо у таблицю.



Мал. 3.

№ n/n	$l, м$	$(T/2)_1, с$	$(T/2)_2, с$	$T, с$	$g, м/с^2$	$\Delta g, м/с^2$
1а						
2а						
1б						
2б						
сер						

Позначення, прийняті в таблиці: l – зведена довжина фізичного маятника; $(T/2)_1$ і $(T/2)_2$ – напівперіоди коливань; $T = (T/2)_1 + (T/2)_2$ – період коливань маятника.

Номери 1а, 2а і 1б, 2б відповідають вимірюванням на різних опорних призмах.

5. Вимірюємо відстань між вістрями опорних призм маятника (l).

6. Кладемо маятник горизонтально на який-небудь гострий предмет (наприклад, ребро лінійки) і знаходимо приблизно положення центра мас. Перевіряємо, чи виконується умова $a_1 \neq a_2$.

Вказівки з техніки безпеки

Включати в мережу вимірювальний блок L-мікро можна лише після його підключення до комп'ютера.

Обережно поведіться з оборотним маятником. Не допускайте падіння і ударів маятника, це може порушити його регулювання.

Обробка результатів вимірювання

1. За робочою формулою (8) визначаємо прискорення вільного падіння.
2. Для оцінки одержаного результату порівняйте його із обчисленою величиною прискорення вільного падіння за теоретично виведеною формулою, що пов'язує географічну ширину і висоту місця над рівнем моря

$$g = (9,7805 + 0,0517 \sin^2 \varphi - 3,1 \cdot 10^{-6} \cdot h) \text{ м/с}^2$$

У цю формулу підставте відомі для м. Умані широту $\varphi = 48^{\circ}46'$ та висоту (в метрах) над рівнем моря $h = 200 \text{ м}$.

Запишіть висновок.

Контрольні питання

1. Які коливання називаються гармонічними?
2. Що таке математичний, фізичний, оборотний маятники?
4. Що таке хвильовий процес (хвиля)?
5. Які хвилі називаються поперечними? Поздовжніми?
6. Що таке швидкість хвилі?
7. Що таке довжина хвилі? Формула для визначення довжини хвилі.
8. Яке явище називається резонансом?
9. Які хвилі називаються звуковими? На які діапазони вони поділяються?
10. Чи становлять небезпеку для людини інфразвуки?
11. Де застосовуються нечутні вухом ультразвуки?
12. Задача. Визначити довжину хвилі, яка створюється ультразвуковим генератором в алюмінії при частоті 10 МГц . Швидкість звуку в алюмінії 5100 м/с .

ЛАБОРАТОРНЕ ЗАНЯТТЯ № 14.

ВИЗНАЧЕННЯ ЕЛЕКТРОЄМНОСТІ КОНДЕНСАТОРА РЕЗОНАНСНИМ МЕТОДОМ

Мета роботи. Систематизувати знання про електроємність, призначення і будову конденсаторів, електромагнітні коливання і хвилі, явище електромагнітного резонансу та його використання у електрорадіотехніці; навчитися визначати електроємність конденсаторів резонансним методом за допомогою куметра.

Прилади: куметр КВ-1, набір конденсаторів, з'єднувальні провідники.

Завдання самостійної роботи з підготовки до заняття. Опрацювати:

1. Миколайчук, М.Н. Підготовка, проведення досліджень та оформлення звіту про виконану лабораторну роботу з фізики / М.Н. Миколайчук, Л.Є. Ковальов, І.І. Побережець. – С. 80-85

3. Миколайчук М.Н. Лабораторний практикум з фізики та основ біофізики.– С. 164-171.

Теоретичні відомості та опис приладів

Так як поверхня зарядженого провідника є екіпотенціальною, то його можна характеризувати потенціалом. Збільшення чи зменшення заряду провідника веде до зміни його потенціалу, але при цьому:

$$C = \frac{q}{\varphi} = const \quad (1)$$

Величина C одержала назву електричної ємності, так як вона показує, який заряд потрібно надати тілу, щоб змінити його потенціал на одиницю ($1В$).

Щоб накопичувати електричні заряди, у електрорадіотехніці широко використовують спеціальні прилади – конденсатори. Конденсатори мають дві пластини, що розділені діелектриком. Якщо у електроколах одна з них з'єднана з землею, то при накопиченні на одній будь-якого заряду, на другій наводиться рівній йому заряд протилежного знаку. За родом діелектрика конденсатори поділяються на повітряні, слюдяні, паперові, керамічні, електролітичні (діелектрик – окис металу між власне металом та електролітом), за величиною електроємності – постійної та змінної ємності.

Ємність плоского конденсатора обчислюється за формулою:

$$C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S}{d} \quad (2)$$

де ε_0 – діелектрична стала вакууму, ε – діелектрична проникність середовища між обкладинками, S – площа обкладинки (пластини), d – відстань між обкладинками.

Конденсатори можна з'єднувати послідовно і паралельно. При паралельному сполученні конденсаторів ємність батареї дорівнюватиме сумі ємностей кожного із конденсаторів

$$C = C_1 + C_2 + \dots + C_n = \sum_{i=1}^n C_i \quad (3)$$

У послідовному сполученні конденсаторів величина, обернена ємності батареї, дорівнюватиме сумі обернених величин ємностей кожного конденсатора :

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i} \quad (4)$$

Особливе місце серед радіопристроїв займає *коливальний контур* – послідовно з'єднані між собою конденсатор з ємністю C та котушка з

індуктивністю L . Коливальний контур – базовий пристрій для одержання електромагнітних коливань та електромагнітних хвиль. У коливальному контурі можуть відбуватися періодичні зміни (коливання) електричного заряду q , різниці потенціалів на обкладинках конденсатора $\Delta\phi$ (напруги U_k) та електричного струму I і, відповідно, коливання енергії електричного поля конденсатора та магнітного поля котушки індуктивності. Якщо зміна цих величин відбувається тому, що конденсатор C був спочатку одноразово заряджений від джерела постійної напруги U і після від'єднання від джерела і замикання на котушку індуктивності L став вільно розряджатися, то гармонічні взаємозв'язані коливання електричних величин називають вільними електромагнітними коливаннями.

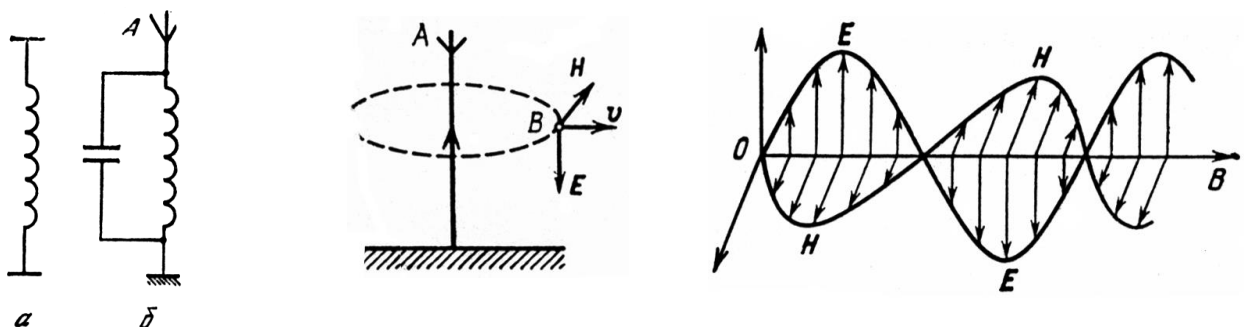
Характер вказаних коливань заряду, напруги і сили струму, величин, які характеризують змінні магнітне та електричне поля обумовлений законом збереження і перетворення енергії: Впродовж першої чверті періоду вся енергія електричного поля конденсатора переходить в енергію магнітного поля котушки індуктивності, впродовж другої чверті періоду енергія магнітного поля зменшується до нуля, витратившись на роботу з переміщення зарядів для перезарядки конденсатора, чим забезпечився перехід енергії магнітного поля в енергію електричного поля конденсатора. На протязі третьої і четвертої чвертей періоду знову відбудеться обмін енергією електричного поля конденсатора і магнітного поля котушки. Період вільних електромагнітних коливань у коливальному контурі визначають формулою Томсона:

$$T = 2\pi\sqrt{LC}. \quad (5)$$

Внаслідок безповоротних втрат енергії електричного та магнітного полів на нагрівання провідників, діелектриків та випромінювання вільні коливання в контурі завжди затухаючі.

Вимушеними електромагнітними коливаннями називають незатухаючі коливання заряду q , різниці потенціалів на обкладинках конденсатора U_k , сили струму I та інших фізичних величин у коливальному контурі, які створюються в ньому джерелом змінною е.р.с.

Якщо у коливальному контурі частота вимушених коливань ω наближається чи співпадає з частотою власних коливань контуру ω_0 , то амплітуда коливань фізичних електричних величин різко збільшується. Це явище називається резонансом у колі змінного струму. Частота $\omega = \omega_0$ називається резонансною циклічною частотою. Збільшення амплітуди коливань при резонансі залежить від активного опору контуру, а резонансна циклічна частота від активного опору не залежить.



Мал. 1

Мал.2

Мал.3

Вивчаючи зв'язок між електричним і магнітним полями, Д. Максвел створив теорію електромагнітного поля. В її основі лежать два постулати (твердження): 1) змінне магнітне поле створює у просторі, який його оточує, вихрове електричне поле; 2) змінне електричне поле створює у просторі, який його оточує, змінне магнітне поле.

Взаємозв'язані між собою змінні електричне та магнітне поля називаються електромагнітним полем.

Якщо до коливального контура під'єднати антену (мал.1), то в антені будуть йти такі ж високочастотні струми, як і в контурі. Навколо антени утвориться змінне електромагнітне поле, яке буде поширюватися у просторі як електромагнітна хвиля. У кожній точці простору навколо антени будуть за синусоїдальним законом змінюватися взаємоперпендикулярні вектори напруженостей полів E та $H(B)$ (мал.2). Розміщення і величини векторів E та H у різних точках хвилі для одного ж того моменту часу зображено на мал.3.

Електромагнітною хвилею називається процес поширення у просторі змінного електромагнітного поля, що характеризується періодичною зміною векторів напруженості електричного поля E та магнітного поля у кожній точці прстору. В. Д. Максвел довів, а дослідження підтвердили, що швидкість поширення електромагнітних хвиль у вакуумі дорівнює швидкості світла $c=300\ 000$ км/с.

Довжиною електромагнітної хвилі λ є віддаль між двома найближчими точками на промені її поширення, у яких коливання векторів напруженостей полів відбувається в одній фазі. Іншими словами, довжина хвилі λ є віддаль, яку у напрямі променя її поширення хвиля проходить за один період T . Зв'язок між довжиною хвилі, її швидкістю і періодом (частотою) виражається рівнянням:

$$\lambda = cT = \frac{c}{\nu} . \quad (6)$$

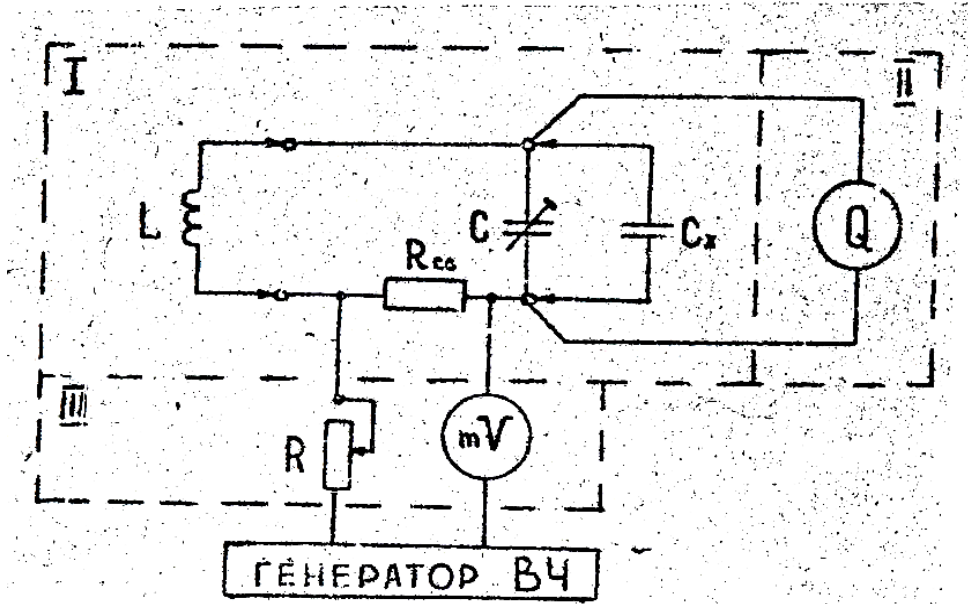
Властивості електромагнітних хвиль залежать від їх довжини. З врахуванням властивостей вони поділяються на: низькочастотні, радіохвилі, інфрачервоні, світлові промені, ультрафіолетові промені, рентгенівські промені, гамма-промені.

Опис установки

Електроємність конденсаторів найчастіше визначають методом місткової схеми чи резонансним методом. Для визначення електроємності резонансним методом використовується прилад, який має назву **куметр**.

Метод куметра найбільш зручно використовувати для визначення електроємності конденсаторів у діапазоні частот $10^4 - 10^8$ Гц. Структурна схема куметра подана на мал. 4.

На схемі: I – резонансний вимірювальний контур, II – ламповий вольтметр, III – регулятор вхідної напруги, L – змінна котушка індуктивності, C – вимірювальний конденсатор настройки, C_x – конденсатор, ємність якого потрібно визначити, $R_{св}$ – опір зв'язку, R – опір установки множника добротності.



Мал. 4

Для вимірювання ємності конденсатор підключають паралельно до конденсатора настройки C приладу. Вимірявши значення ємності контуру при резонансі без досліджуваного конденсатора і з ним, за закономірностями паралельного з'єднання конденсаторів обраховують ємність підключеного.

Виконання роботи

1. Вмикаємо куметр у мережу 220 В .
2. До клем на передній панелі куметра підключаємо котушку індуктивності (обмотка мідного проводу із вилкою включення у гнізда приладу).
3. На передній панелі приладу ручку перемикача “Шкала Q ” встановлюємо на поділку “10”, а ручкою “Установка вхідного напруги” на вольтметрі “Індикатор вхідного напруги” виставляємо 50 мВ .
4. Всі три ручки декад магазину ємності виставляємо у нульове положення.
5. По шкалі генератора високої частоти встановлюємо частоту 50 кГц .
6. Змінюючи ручками магазину конденсаторів включені у контур ємності, настроюємо утворений котушкою індуктивності та магазином конденсаторів контур у резонанс, тобто, добиваємося максимального

відхилення стрілки приладу “Q” у межах шкали. Записуємо величину ємності у контурі C'_1 .

7. До затискачів на передній панелі приладу куметра приєднуємо конденсатор невідомої ємності і виконуємо повторну настройку приладу на максимум напруги. Для цього ручками змінюємо ємність магазину конденсаторів із попередньої на нову. За положенням ручок декад магазину ємностей куметра записуємо ємність C''_1 , яка у сумі із ємністю невідомого конденсатора забезпечила настройку нового контура у резонанс.

8. Так як невідомий за величиною конденсатор C_1 своєю ємністю разом із ємністю C''_1 забезпечили той резонанс, що і C'_1 , то

$$C'_1 = C_1 + C''_1. \quad (8)$$

Із цієї формули маємо, що ємність приєднаного конденсатора:

$$C_1 = C'_1 - C''_1. \quad (9)$$

За формулою (9) знаходимо C_1 .

Порівнюємо результат вимірювання ємності конденсаторів із величиною його ємності, яка вказана заводом-виробником.

Записуємо результати вимірювання.

Записуємо загальний висновок.

Контрольні питання

1. Електроємність і одиниця її вимірювання в системі СІ?
2. Коливальний контур і для чого він використовується?
3. Формула Томсона .
4. Чому у контурі електромагнітні коливання затухають і як досягається створення незатухаючих коливання в контурі?
5. Що називається електромагнітним полем?
7. Чому електромагнітне поле називається вихровим?
8. Що таке електромагнітна хвиля і які величини її характеризують?
9. За якою ознакою і на які діапазони за цими ознаками поділяються електромагнітні хвилі?
10. Що таке електромагнітний резонанс і для яких цілей він використовується у радіотехніці?
11. Що називається довжиною хвилі?
12. Які найхарактерніші властивості мають: інфрачервоні? світлові? ультрафіолетові? рентгенівські? гама-промені?
13. Записати формули законів і залежностей: 1) електроємність провідника; 2) період власних коливань електричного контуру ; 3) взаємозв'язку частоти і періоду коливань у контурі ; 4) довжини електромагнітної хвилі .
14. Задача. На яку довжину хвилі настроєний коливальний контур, якщо індуктивність обмотки 2 мГн , а ємність конденсатора 2 мкФ ?

ЛАБОРАТОРНЕ ЗАНЯТТЯ № 15.

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИЧНОЇ СИЛИ ЗБИРАЛЬНИХ І РОЗСІЮВАЛЬНИХ ЛІНЗ

Мета роботи. Систематизувати знання законів геометричної оптики, про лінзи і їх використання в оптичних приладах; навчитися дослідно визначити фокусну віддаль і оптичну силу збиральних та розсіювальних лінз і їх систем, визначати збільшення лінзи для випадків, які досліджуються.

Прилади і матеріали: оптична лава; двоопукла (збірна) лінза; двовгнута (розсівна) лінза; електролампочка з ковпачком, що має прорізану щілину; білий екран з шкалою.

Завдання самостійної роботи з підготовки до заняття. Опрацювати за підручниками теоретичний матеріал:

1. Миколайчук М.Н. Фізика з основами біофізики. Тема 22. Оптика. Основи фотометрії. –С.199-209.

2. Миколайчук М.Н. Лабораторний практикум з фізики та основ біофізики. Вивчення геометричної теорії оптичних зображень. – С. 174-186.

Теоретичні відомості та опис приладів

Лінза являє собою оптично прозоре тіло, обмежене з двох боків кривими заломлюючими поверхнями. Якщо відстань між обмежуючими поверхнями у центрі лінзи набагато менша за радіуси їх кривизни, лінза називається *тонкою*. Лінзи бувають (*мал.4*): двоопуклі (збиральні), двовгнуті (розсіювальні), плосковгнуті (розсіювальні), опукловгнуті (збиральні і розсіювальні). Пряма, проведена через центри кривизни обох поверхонь, називається *головною оптичною віссю* лінзи. Середина відрізка перетину головної оптичної осі з поверхнями лінзи називається *оптичним центром* лінзи. Для *тонкої лінзи* вказаний відрізок прямує до нуля. Лінії, які проходять через оптичний центр лінзи і не співпадають з головною віссю, називаються *побічними оптичними осями* лінзи.

Паралельні до головної оптичної осі промені після проходження лінзи перетинаються у точці, яка лежить на цій осі і цю точку називають *фокусом лінзи* (головним фокусом). Площина, проведена через головний фокус лінзи перпендикулярно до головної оптичної осі, називається *фокальною площиною*.

Будь-який пучок променів, паралельних до побічних оптичних осей, перетинається у точці перетину цієї осі з фокальною площиною. Точки перетину побічних осей з фокальною площиною називаються *побічними фокусами лінзи*.

У лінзи є два фокуси і дві фокальні площини, які однаково віддалені від її центра. Відстань від оптичного центру лінзи до її фокуса називають *фокусною віддаллю* F . Величину, обернену до фокусної віддалі, називають *оптичною силою лінзи*:

$$D = 1/F. \quad (1)$$

Оптична сила лінзи вимірюється в *діоптріях*. Діоптрія – це оптична сила лінзи з фокусною віддалю, рівною одному метрові.

Величина фокусної віддалі і оптична сила лінзи залежать від радіусів кривизни поверхонь та показника заломлення речовини:

$$D = (n - 1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right). \quad (2)$$

$$F = \frac{1}{(n - 1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)}. \quad (3)$$

У залежності від розміщення предмета по відношенню до фокуса лінзи та виду лінзи його зображення може бути *дійсним* або *уявним*, *збільшеним* чи *зменшеним*. Для побудови зображення світної точки (предмета) у лінзі раціонально користуватися променями, хід яких після проходження через лінзу відомий наперед (зручні промені).

Зручними променями є:

1) промінь, паралельний до головної оптичної осі, який після проходження лінзи завжди пройде через фокус;

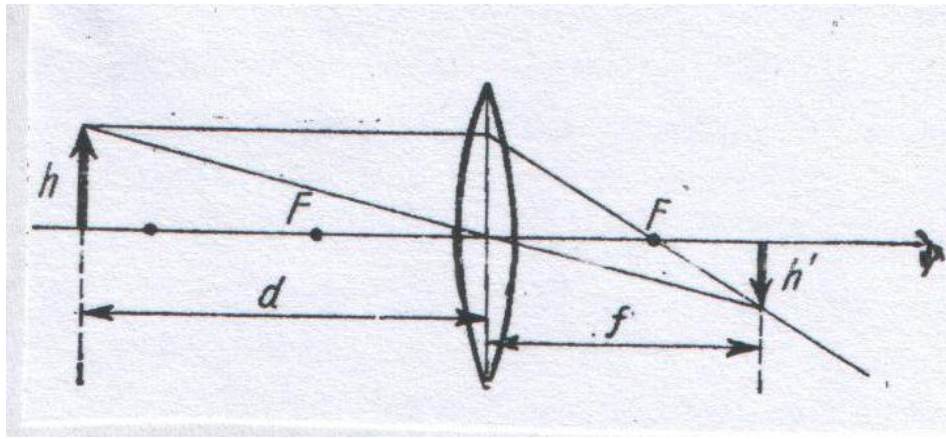
2) промінь, що проходить через оптичний центр лінзи, – він свого напрямку не змінює;

3) промінь, що проходить через фокус перед лінзою, - після заломлення у лінзі йде паралельно до її головної оптичної осі.

Перетин цих променів після лінзи дає зображення світної точки. У розсіювальній лінзі і у збірній для випадку, коли світна точка знаходиться між фокусом і лінзою, зображення є *уявним* – воно знаходиться на перетині продовжень заломлених лінзою променів, які розходяться у протилежному до їх ходу напрямі. У таких випадках віддаль зображення до лінзи вважають *від'ємною*, одержане зображення *уявним*.

Формула тонкої лінзи. Розглянемо випадок, коли предмет знаходиться за подвійною фокусною віддаллю (*мал.1*). Якщо предмет висотою h віддалений від лінзи на d , а віддаль його зображення h' від лінзи на f , то, розглянувши подібність відповідних трикутників, бачимо, що зв'язок цих величин із фокусною віддаллю лінзи F виразиться формулою:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}. \quad (4)$$



Мал.1

Для розсівної лінзи, із врахуванням напрямку відрізків F та f , матимемо:

$$-\frac{1}{F} = \frac{1}{d} - \frac{1}{f}. \quad (5)$$

Лінійним збільшенням β , утвореним за допомогою лінзи, називають відношення висоти зображення h_1 до дійсної висоти предмета h . Розглянувши подібні трикутники з цими величинами (мал. 5), бачимо, що збільшення у лінзі може бути знайдене за формулою:

$$\beta = \frac{f}{d}. \quad (6)$$

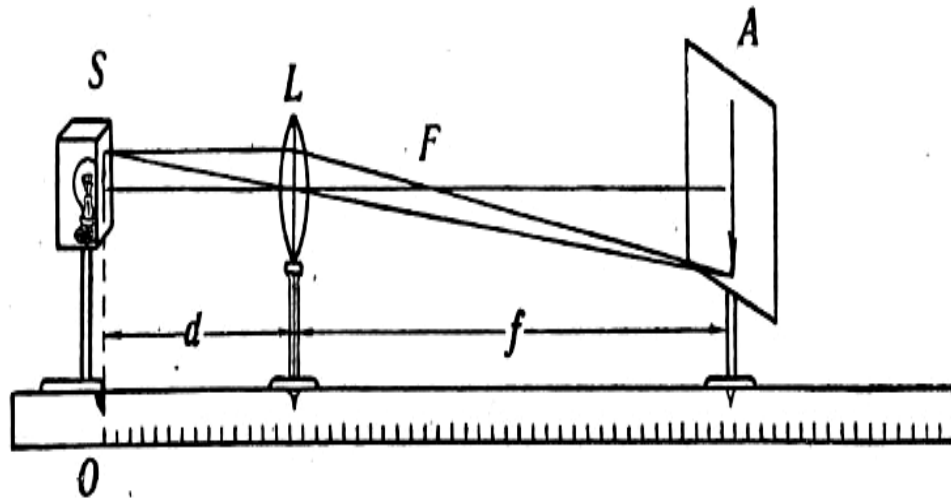
На практиці різного роду об'єктиви виготовляються як сукупність декількох лінз. Для такої системи оптична сила дорівнює алгебраїчній сумі оптичних сил лінз, які утворюють систему:

$$D_c = D_1 + D_2 + \dots + D_n$$

Закони відбивання і заломлення світла лежать в основі побудови різноманітних оптичних приладів, які широко використовуються у наукових дослідженнях, промисловому і сільськогосподарському виробництві, на транспорті і у військовій справі, побуті тощо. Серед них: окуляри, лупи, телескопи (рефрактори і рефлектори, меніскові), мікроскопи, фотоапарати, біноклі, проекційна техніка, перескопи, теодоліти, спектроскопи, рефрактометри, поляриметри, лупи, окуляри тощо. Основними деталями цих приладів є: скляні опуклі і вгнуті лінзи; опуклі, вгнуті і плоскі дзеркала; тригранні призми, пластини з паралельними гранями тощо.

Побудова оптичних приладів передбачає розрахунок і дослідне вимірювання фокусних віддалей (оптичних сил) лінз.

Для дослідного визначення головних фокусних відстаней тонких збірних лінз (або їх систем) використовують *оптичну лаву* (мал. 2).



Мал.2

На лаві закріплюється повзунок з освітлювачем і світним предметом S (освітлена електричною лампою діафрагма з отвором); повзунок L з досліджуваною лінзою та повзунок з екраном A . На повзунках є візирні покажчики, за допомогою яких визначається положення повзунків відносно шкали оптичної лави. Лінзи і предмет установлюють так, щоб центри їх були розташовані вздовж однієї осьової лінії. Правильність установки перевіряють переміщенням лінзи вздовж оптичної лави. При такому переміщенні центр зображення на екрані не повинен зміщуватися.

Для характеристики зображення, утвореного лінзою, крім його положення, потрібно знати і розмір зображення. Розміри світного предмета (щілини) та зображення заміряються за міліметровими стрічками, які наклеєні на ковпачку освітлювача S та екрані A .

Виконання роботи

I. Визначення головної фокусної відстані та оптичної сили збиральної лінзи:

1). Розмістити на оптичній лаві лампу з світною щілиною, збірну лінзу та екран так, як показано на мал.2. Екран повинен бути на достатній відстані від освітлюваного предмета (до 1 м). Повільно переміщуйте підставку з лінзою до одержання на екрані різкого зображення. Записати, використавши шкалу довжини оптичної лави, віддаль предмета d до лінзи і віддаль його зображення f від лінзи.

2). Змінити положення екрана і повторити дослід. Вимірювання провести не менш як три рази при різних положеннях предмета, екрана і лінзи. Результати вимірювань занести у таблицю:

№ п/п	d (м)	f (м)	F (м)	D (дптр)	ΔD (дптр)

3). Користуючись формулою для збиральної лінзи (4) для кожного досліду обчислити головну фокусну відстань F і за визначеними F знайти оптичну силу D для кожного вимірювання.

4). Визначити середнє значення оптичної сили лінзи, абсолютні похибки дослідів, середнє значення абсолютної похибки, відносну похибку і записати результат визначення оптичної сили лінзи.

II. Визначення збільшення збиральної лінзи:

1). Збільшити на оптичній лаві відстань між освітлювальною лампою (предметом) та екраном. Переміщаючи лінзу, знайти чітке збільшене зображення предмета.

2). Виміряти віддаль предмета d до лінзи і віддаль його зображення f від лінзи та висоту світної щілини H і висоту її зображення на екрані H_1 .

3). Перевірити формулу збільшення предмета збиральною лінзою:

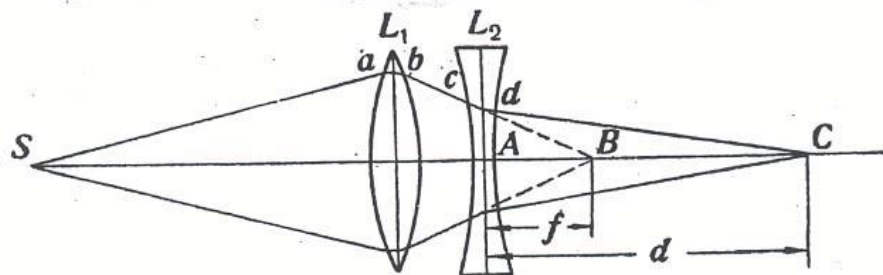
$$\beta = \frac{H_1}{H}; \quad \beta = \frac{f}{d}.$$

4). Записати висновок.

III. Визначення оптичної сили розсівної лінзи:

Виконати це завдання не так просто, як перше, через те, що розсівна лінза дає завжди тільки уявне зображення, дістати яке на екрані неможливо. Щоб одержати зображення на екрані, треба як допоміжну взяти ще збірну лінзу, оптична сила якої була б чисельно більша, ніж оптична сила даної розсівної лінзи.

Як це робиться на практиці, стає зрозумілим з мал. 3 та 4. З малюнків бачимо, що збірна лінза L_1 більше зводять промені, ніж розсівна L_2 розводить їх, через те така система дає вже дійсне зображення, яке можна одержати на екрані.



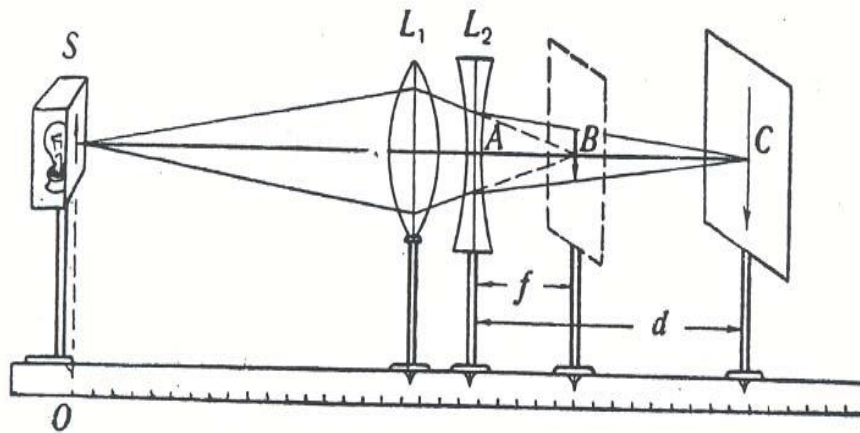
Мал. 3

Нехай промені, що виходять з точки S (мал.3) після заломлення у збірній лінзі L_1 , зійдуться у точці B , тобто точка B буде зображенням точки S у цій збірній лінзі. Коли ж перед цим зображенням B поміщено розсівну лінзу L_2 , то остання перенесе це зображення далі, припустимо, у точку C . Користуючись явищем "оборотності" світлових променів, ми можемо розглядати точку C як джерело світла; тоді промені, проходячи назад через розсівну лінзу після заломлення у ній і розсіювання, дадуть уявне зображення в точці B .

Справді (мал. 4), верхній промінь, що вийшов із світної точки S , пройде шлях $SacdC$ і попаде в точку C . Промінь, що вийшов з точки C , пройшовши шлях $CdcbaS$, попаде в точку S . Коли ж на шляху променя, що вийшов з точки C , не буде збірної лінзи L_1 , то промінь піде в напрямі $Cdcb$, і оку, що знаходиться з лівого боку розсівної лінзи, буде здаватися, ніби він виходить з точки B . Тому точку B можна розглядати як уявне зображення C .

Робочою формулою при виконанні дослідження з визначення фокусної віддалі розсівної лінзи буде формула (5), яку краще переписати так:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{f} - \frac{1}{d}, \quad \text{або} \quad \frac{1}{F} = \frac{1}{AB} - \frac{1}{AC}. \quad (9)$$



Мал. 4

Роботу виконуємо у такій послідовності:

- 1). Ввімкнути лампочку.
- 2). Помістити (мал.4) збірну лінзу L_1 між екраном і світним предметом. Перемістити екран до одержання сильно збільшеного різкого зображення.
- 3). Відмітити на шкалі оптичної лави положення B покажчика екрана, а лінзу L_1 закріпити нерухомо.
- 4). Помістити з правого боку збірної лінзи L_1 дану розсівну лінзу L_2 і, переміщаючи екран праворуч, знову досягти чіткого зображення предмета S (щілини).
- 5). Відмітити нове положення C покажчика екрана і A покажчика розсівної лінзи L_2 (при цьому перевірте, чи не зрушилася з місця збірна лінза L_1).
- 6). Виконати дослід тричі, змінюючи для кожного відстань між предметом і збірною лінзою. Результати вимірювань записати у таблицю:

№ п/п	Покажчик точки B	Покажчик точки C	Покажчик точки A	$AB=f$ (м)	$AC=d$ (м)	F (м)	D (дптр)	ΔD (дптр)

- 7). Користуючись формулою (9) для кожного дослідження обчислити

головну фокусну відстань розсівної лінзи F і за визначеними F знайти оптичну силу лінзи D для кожного вимірювання.

8). Визначити середнє значення оптичної сили лінзи, абсолютні похибки дослідів, середнє значення абсолютної похибки, відносну похибку і записати результат визначення оптичної сили розсівної лінзи.

Дати відповіді на контрольні питання

1. Закони відбивання і заломлення світла.
2. Фізичний зміст показника заломлення.
3. Дзеркала і оптичні призми, їх застосування в оптичних приладах.
4. Лінзи, їх види. Точки, лінії, площини лінз.
5. Оптична сила лінзи, одиниця її вимірювання. Залежність оптичної сили лінзи від радіуса кривизни і показника заломлення речовини лінзи.
6. Формула лінзи.
7. Збільшення лінзи і його визначення/
8. Складні лінзи. Фокусна віддаль та оптична сила складних лінз.
9. Волоконна оптика, світловоди: застосування і перспективи.

ЛАБОРАТОРНЕ ЗАНЯТТЯ № 16.

ДОСЛІДЖЕННЯ ІНТЕРФЕРЕНЦІЇ СВІТЛА ЗА ДОПОМОГОЮ БІПРИЗМ

ФРЕНЕЛЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ЛАЗЕРА

Мета роботи. Систематизувати знання про хвильові властивості світла інтерференцію світла та прояви і застосуванням цього явищ; виконати із використанням газового лазера дослідження з визначенням віддалі між уявними когерентними джерелами і показника заломлення речовини біпризм Френзеля.

Прилади і матеріали: лазер ЛГ-78 (ЛГН-109); оптична лава; блок лінз; біпризма Френеля; екран з малим отвором; масштабна лінійка; мірна стрічка; штангенциркуль.

Завдання самостійної роботи з підготовки до заняття. Опрацювати за підручниками теоретичний матеріал:

1. Миколайчук М.Н. Фізика з основами біофізики. Тема 23. Хвильова оптика. – С. 209-218.

2. Миколайчик М.Н. Лабораторний практикум з фізики та основ біофізики. Вивчення хвильових властивостей світла. – С. 191-220.

Теоретичні відомості

Хвильову природу світла підтверджують явища інтерференції, дифракції та поляризації.

Інтерференцію світлових хвиль (тобто спостереження підсилення освітленості в одних місцях і послаблення в сусідніх з ними), якщо джерела

світла когерентні, можна спостерігати на екрані, фотографувати, бачити на будь-якій рівній поверхні як *інтерференційну картину*. При накладанні *не когерентних світлових хвиль* відбувається лише підсилення освітленості, а *інтерференції не спостерігається*. Для *інтерференції потрібно, щоб джерела були когерентними* – випромінювані ними хвилі повинні мати рівні частоти (періоди) і з часом не змінювати різницю фаз між собою.

Чому світлові хвилі від різних, однакової природи, джерел не когерентні? Світлові хвилі випускаються атомами. Час випромінювання хвилі атомом має порядок 10^{-8} с. Тому *випромінені різними атомами світних тіл хвилі не когерентні*, так як не зберігається постійність у часі різниці фаз. Для одержання *когерентних світлових хвиль* – хвиль, які пов'язані між собою одним явищем випускання, - випромінені одним джерелом світла хвилі розділяють на дві завідомо когерентні частини. Це роблять за допомогою: паралельних вузьких щілин (малих отворів); з'єднаних при основі двох тонких призм (біпризм) чи з'єднаних при основі під кутом двох дзеркал (бідзеркало); накладанні на плоску скляну пластину лінзи із великим радіусом кривизни (дослід з кільцями Ньютона) та ін.

Освітлені від одного джерела, ці пристрої від своїх поверхонь дають когерентні хвилі, які до зустрічі на екрані проходять постійно різні шляхи і тому на екрані дають чітку інтерференційну картину.

На мал. 1 показано, як досягається одержання когерентності джерела світла за допомогою біпризми Френеля і картина інтерференції від такого джерела. Якщо джерело світла *монохроматичне*, то інтерференційна картина має вигляд яскравих смуг освітленості цього кольору, розділених темними смугами мінімумів освітленості. Так як світло різних кольорів має різну довжину хвилі і, відповідно, різні показники заломлення, то інтерференційна картина від джерела *білого світла* має в області максимумів райдужну смугу неперервного спектра.

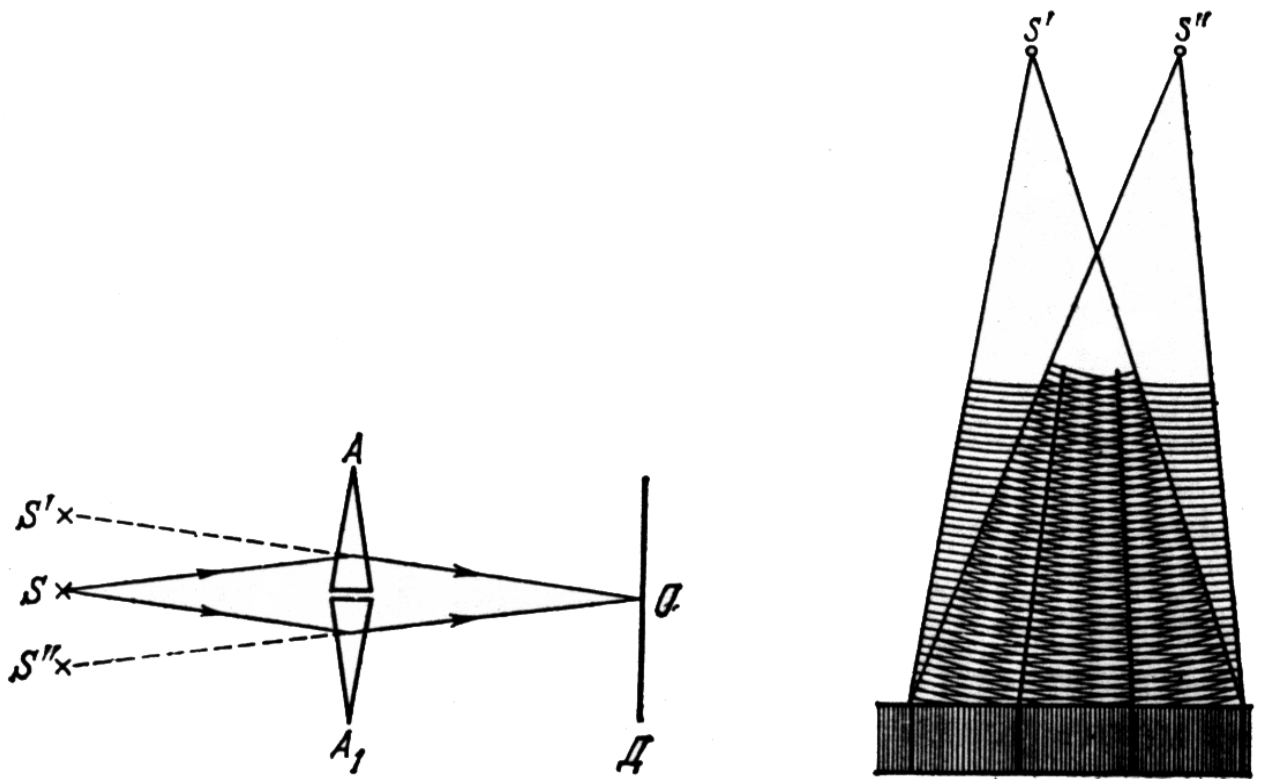
Області підсилення (максимуми) освітленості будуть спостерігатися у тих місцях, у *різниці ходу променів* від джерела до яких вкладається парне число півхвиль (ціле число хвиль):

$$\Delta s = 2n\lambda/2. \quad (1)$$

Ослаблення освітленості буде у місцях, для яких *різниця ходу променів* дорівнює непарному числу півхвиль:

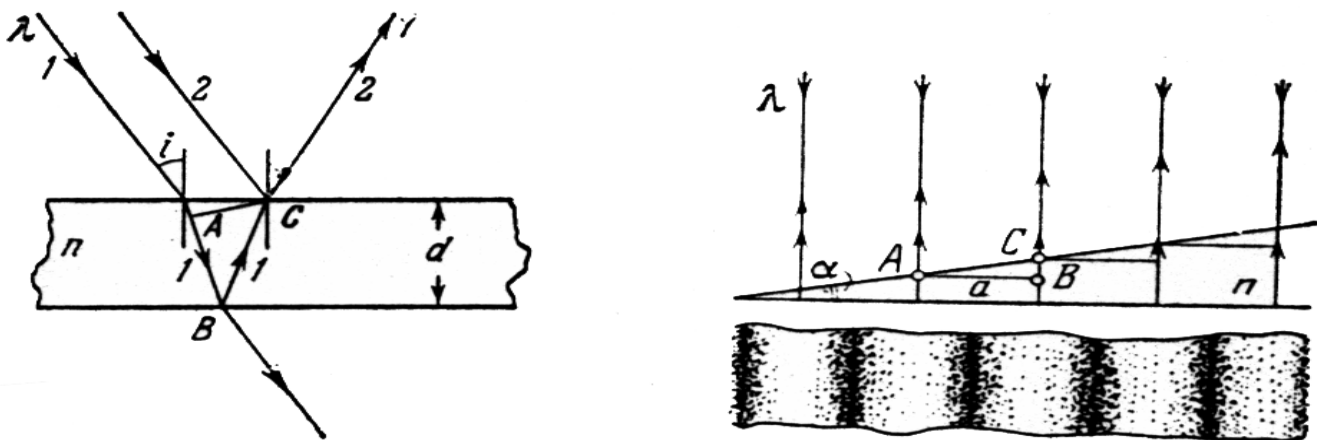
$$\Delta s = (2n+1)\lambda/2. \quad (2)$$

Явищем інтерференції *пояснюється багато природних явищ* (кольори тонких плівок, повітряних проміжків між прозорими тілами тощо), воно використовується в інтерферометрах для оцінки якості обробки особливо точних деталей.



Мал.1

На мал.2 бачимо, як у наслідок відбивання від верхньої і нижньої поверхонь тонкої плівки виникає різниця ходу променів та спостерігається картина інтерференції (мильні бульбашки, масляні плями на поверхні ґрунту, повітряні проміжки між листами скла тощо).



Мал. 2

Голографія – це метод одержання зображення об’єкту, що ґрунтується на інтерференції хвиль. Коли об’єкт фотографують на плівку звичайним фотоапаратом, то на фотографії його об’ємність не знаходить відображення. Для одержання фотографічного видимого просторового зображення при фотографуванні об’єкта його освітлюють від джерела світла звичайною «сигнальною» хвилею і когерентною їй хвилею від того ж джерела. Відбивання цих хвиль на пластині дає інтерференційну картину, яка містить повну інформацію про об’єкт. Одержане зображення на світлочутливій пластині називається голограмою. При освітленні голограми опорною хвилею можна побачити об’ємне зображення об’єкта.

Виконання дослідження

1. На довгому столі послідовно на одній лінії розміщуємо (мал. 3): лазер із щілиною і шайбою лінз на виході променя; біпризму Френеля; екран.

2. Вмикаємо лазер. Вводимо у лазерний пучок збиральну лінзу. Вносимо у розбіжний пучок біпризму Френеля та одержуємо інтерференційну картину на відбиваючому екрані, встановленому у кінці столу перпендикулярно до осі падаючого пучка. З допомогою лінійки та мірної стрічки вимірюємо віддаль між щілиною та гранню тупого кута біпризми l , а також віддаль між щілиною та екраном L .

3. За допомогою штангенциркуля виміряти відстань x між декількома інтерференційними смугами m у центрі інтерференційної картини.

Результати вимірювань заносимо у таблицю:

№ n/n	x (мм)	m	Δx (мм)	l (мм)	L (мм)	d (мм)	n
1							

4. Знаходимо середнє значення періоду (віддалі між двома максимумами чи мінімумами) інтерференційної картини

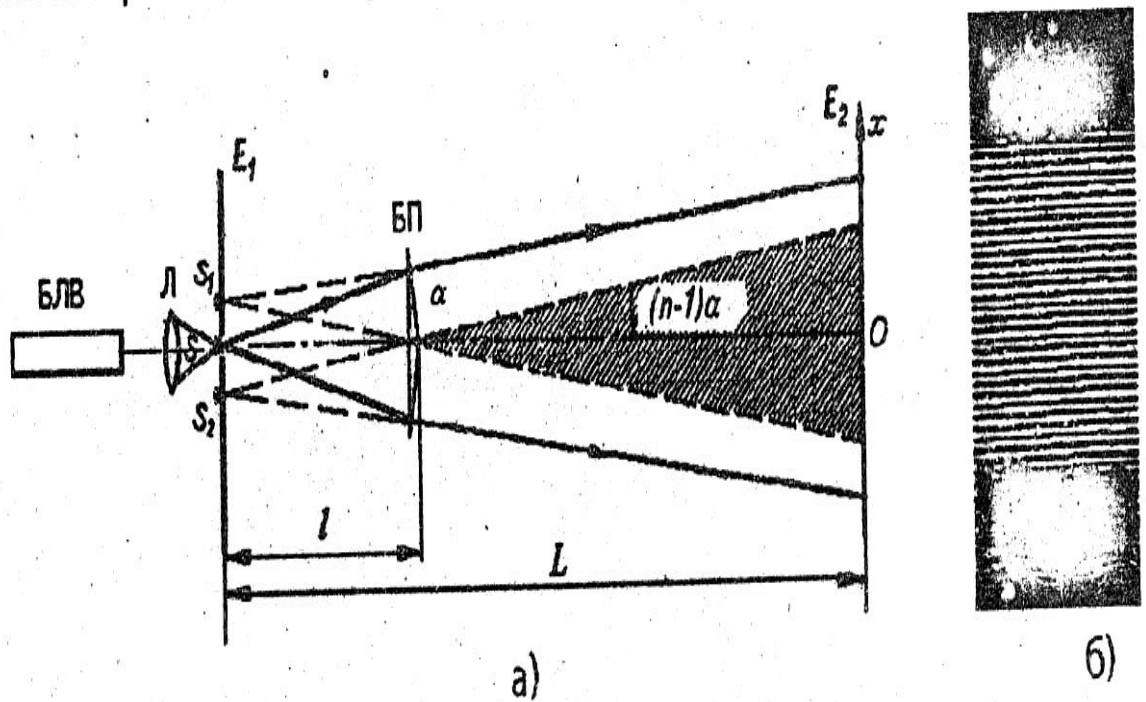
$$\Delta \bar{x} = x/n. \quad \Delta x = \text{-----} =$$

5. Використавши знайдену величину Δx , за формулою, яка виводиться з аналізу ходу когерентних променів через біпризму, знаходимо відстань між уявними джерелами світла S_1 і S_2 :

$$d = L\lambda / \Delta \bar{x}, \quad (8)$$

де $\lambda = 633 \text{ нм}$ – довжина хвилі від гелій-неонового лазера.

$$d = \text{-----} =$$



Мал.3

6. Використавши виведену у процесі аналізу ходу променів через біпризму формулу, знаходимо показник заломлення речовини біпризм Френеля:

$$n = 1 + L\lambda / 2l\Delta\bar{x}\alpha. \quad (9)$$

$$n = \text{-----} =$$

Висновок: _____

Дати відповіді на контрольні запитання

1. Що таке інтерференція світла? Це оптичне явище _____
 2. Які промені світла називаються когерентними? _____
 3. За допомогою яких приладів одержують когерентні промені від одного джерела світла? _____
- _____
3. Наведіть приклади спостереження інтерференції у природі і використання явища. _____

ЛАБОРАТОРНЕ ЗАНЯТТЯ № 17.

ВИВЧАННЯ ДИФРАКЦІЇ СВІТЛА І ВИЗНАЧЕННЯ ПЕРІОДУ ДИФРАКЦІЙНОЇ РЕШІТКИ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ЛАЗЕРА

Мета роботи. Систематизувати знання про дифракцію світла та прояви і застосування цього явища; навчитися з використанням газового лазера визначати період дифракційної решітки.

Прилади і матеріали: лазер ЛГ-78 (ЛГН-109); оптична лава; блок лінз; шайба з набором дифракційних решіток; екран з малим отвором; масштабна лінійка; міра стрічка; штангенциркуль.

Завдання самостійної роботи з підготовки до заняття. Опрацювати за підручниками теоретичний матеріал:

1. Миколайчук М.Н. Фізика з основами біофізики. Тема 23. Хвильова оптика. – С. 209-218.

2. Миколайчик М.Н. Лабораторний практикум з фізики та основ біофізики. Вивчення хвильових властивостей світла. – С. 191-220.

Теоретичні відомості

Дифракцією світла називається обгинання світловими хвилями зустрічних перепон і попадання світла в область тіні. *Дифракція* – це сукупність явищ, обумовлених хвильовими властивостями світла, які спостерігаються при його поширенні у середовищах з різко вираженими неоднорідностями (отвори у непрозорих тілах, межі непрозорих предметів тощо). Явище дифракції вказує на порушення законів геометричної оптики.

Умовою спостереження дифракції світла є співрозмірність лінійних розмірів перешкод (тіл, отворів і щілин) з довжиною світлової хвилі. Попадання світла в область тіні від малих тіл та вузьких отворів пояснюється проявом принципів Гюйгенса-Френеля для світлових хвиль: кожна точка хвильового фронту є джерелом нових, *вторинних хвиль*, що поширюються від цього місця в усіх напрямках; *вторинні хвилі* є когерентними між собою – вони мають однакові частоти, амплітуди і фази. Тому, зустрічаючись улюбій точці простору, вторинні хвилі дають чітку інтерференційну картину.

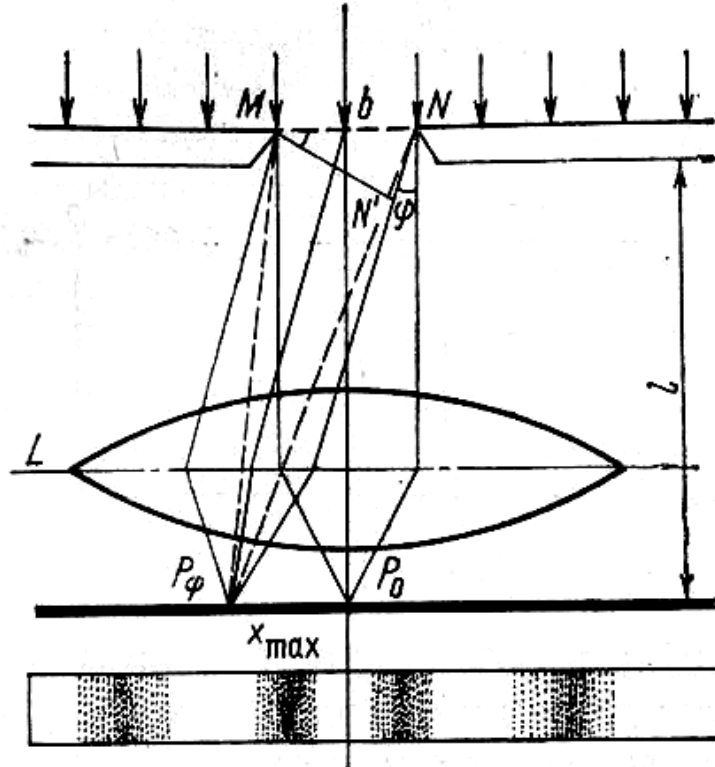
Дифракційною решіткою називається сукупність великої кількості однакових паралельних, дуже вузьких щілин шириною b кожна у плоскому непрозорому тілі, розділених між собою рівними непрозорими проміжками шириною a . Величина

$$D = b + a \quad (3)$$

називається *постійною (періодом) дифракційної решітки*.

Якщо через решітку (мал. 1) пропустити світло від монохроматичного джерела, наприклад промінь лазера, то у центрі екрану одержимо яскраву полосу підсилення освітленості цього кольору (нолевий максимум). Від левого максимуму симетрично з боків будуть видимі бокові максимуми

(1,2,...,n), які розділені між собою темними смугами мінімумів освітленості. Якщо решітку освітити білим світлом, то нулевий максимум буде білим, а бокові будуть у вигляді спектрів райдуги, кожний з яких розпочинається фіолетовою і закінчується червоною смугою.



Мал. 1

Розглянувши мал. 1, скориставшись залежностями між сторонами подібних трикутників, легко вивести формулу дифракційної решітки:

$$D \sin \gamma = n\lambda \quad (4)$$

Розглянувши трикутники, утворені періодом ґратки D і різницею ходу променів Δs та відрізками віддалі решітки до екрану l , ходу променя l від щілини і віддалі h максимуму n від нулевого, формулі решітки можна надати вигляду

$$N\lambda = Dh/l \quad (5)$$

За допомогою цієї формули на досліді визначається довжина світлової хвилі λ , а також, коли відома довжина хвилі, період дифракційної решітки.

Виконання роботи

1. Розміщаємо на одній лінії по довжині стола лазер L з шайбою дифракційних решіток та екран E .
2. Вмикаємо лазер.
3. Вводимо по чергову на шляху променя лазера дифракційні решітки із зростаючим числом щілин на 1 мм . На екрані спостерігаємо, що за такого порядку у дифракційному спектрі на екрані віддалі одного порядку бокових

максимумів освітленості від центрального нольового збільшується

4. Скориставшись приведеною формулою дифракційної решітки, у якій потрібні для обчислення величини визначаються прямими вимірюваннями у досліді,

$$N\lambda = dh/l,$$

визначимо період однієї з використаних у n . 3 решіток.

З цієї формули маємо: $d = \frac{n\lambda}{h}$

Використавши мірну стрічку, лінійку, штангельциркуль, знаходимо:

- віддаль між решіткою та екраном $l =$

- віддаль від центра нольового до центру n бокового

максимуму $h =$

- порядковий номер бокового максимуму $n =$

- вказану у паспорті лазера довжину його хвилі $\lambda = 633 \text{ нм} =$

Підставляємо і знаходимо період використаної у досліді решітки:

$$d = \text{-----} =$$

Знаходимо, скільки на 1 мм решітки міститься щілин:

$$N = \text{-----}$$

Відповіді на контрольні питання

1. Явищем дифракції світла називається явище _____
2. Явище дифракції можна спостерігати за умови, коли _____
3. Принцип Гюйгенса-Френеля: _____
4. Періодом дифракційної решітки називається _____
5. Дифракційна решітка використовується; _____

ЛАБОРАТОРНЕ ЗАНЯТТЯ № 18.

ВИВЧЕННЯ ЗАКОНІВ ЗОВНІШНЬОГО ФОТОЕФЕКТУ З ВИКОРИСТАННЯМ

КОМП'ЮТЕРНОЇ ПРОГРАМИ

Мета роботи. Систематизувати знання про квантову теорію світла і пояснення нею оптичних явищ; вивчити закони зовнішнього фотоелектричного ефекту; дослідно визначити роботу виходу електрона і червону межу фотоелектричного ефекту для речовини катода.

Прилади: комп'ютерна програма "Открытая физика".

Завдання самостійної роботи з підготовки до заняття. Опрацювати за підручниками теоретичний матеріал:

1. Миколайчук М.Н. Фізика з основами біофізики. Тема 24. Теплове випромінювання.– С.218-221. Тема 26. Квантова оптика.– С.225-230 Тема 28. Фізика атома – С. 233-242.

2. Інструкція виконання лабораторної роботи «Вивчення законів зовнішнього фотоелектричного ефекту».

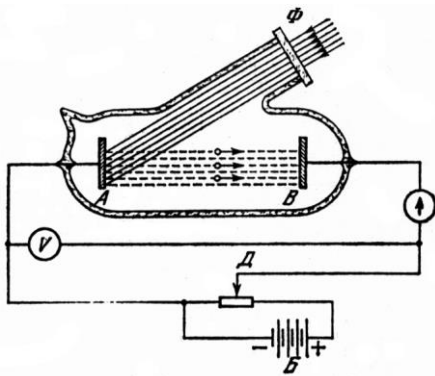
Теоретичні відомості

Виникнення квантової оптики, яка сьогодні лежить в основі сучасної фізики та науково-технічного забезпечення інформаційних технологій, було пов'язане із відкриттями взаємодії світла з речовиною. Лише квантова теорія змогла пояснити такі явища як фотоелектричний ефект, тиск і фотохімічну дію світла, створити теоретичну базу випромінювання і поглинання світла, винайдення лазерів, фотобатерей, фотоелементів тощо.

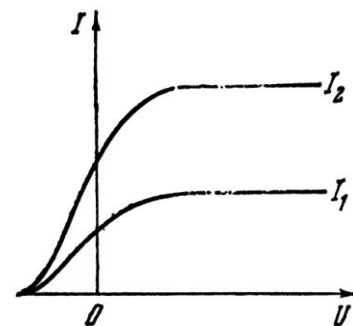
Фотоелектричним ефектом (фотоелектричним ефектом) називається явище взаємодії світла з речовиною, результатом якої енергія фотонів передається електронам речовини. Для твердих і рідких тіл розрізняють *зовнішній і внутрішній фотоелектричний ефект*. При зовнішньому фотоелектричному ефекті поглинання фотонів супроводжується вибиттям електронів із речовини. При внутрішньому фотоелектричному ефекті електрони, відщеплені від атомів, залишаються всередині речовини, але енергія електронів при цьому змінюється. У газах фотоелектричний ефект проявляється у *фотоіонізації* – відриві світлом електронів від молекул.

Електрони, вирвані із поверхні тіла при зовнішньому фотоелектричному ефекті, називаються *фотоелектронами*. Якщо тіло (метал), на яке спрямований світловий потік, зробити катодом, а рядом розмістити інший, позитивно заряджений провідник – анод, то між ними буде йти струм, носіями якого будуть фотоелектрони. Цей струм називається *фотоелектричним струмом*.

Схему установки для вивчення особливостей фотоелектричного ефекту показано на мал.1. Графіки сили фотоструму I від напруги U між катодом і анодом при відмінних освітленостях катоду показана на мал.2.



Мал. 1



Мал.2

Закони зовнішнього фотоелектричного ефекту:

1. Існує гранична частота світла ν_0 (червона межа), нижче якої для даної речовини катоду фотоелектричний ефект відсутній незалежно від густини світлового потоку енергії та тривалості опромінювання катоду.

2. Швидкість фотоелектронів збільшується із збільшенням частоти падаючого світла і не залежить від його інтенсивності.

Тобто, електрони покидають поверхню катода з енергіями від нуля до максимальної $\frac{mv_{\max}^2}{2}$, і ця енергія не залежить від густини світлового потоку падаючої на катод енергії, а залежить лінійно лише від частоти світлової хвилі.

3. При фіксованій частоті опромінювання кількість електронів, які вибиваються з катода за одиницю часу, прямо пропорційна густині світлового потоку енергії.

Зако́ни фотоефекту не можуть бути пояснені хвильовою теорією світла.

При виході з металу електрон повинен виконати роботу з перемагання електричних сил, які його утримують у речовині – тобто виконати роботу виходу A . В результаті поглинання фотона металом енергія фотона $h\nu$ може бути повністю передана електрону. Якщо валентний електрон атома одержав від фотона енергію більшу, ніж робота виходу, то, виконавши роботу виходу A , за рахунок надлишкової енергії він набуває швидкості v , відповідно, кінетичної енергії. Ця залежність задається *рівнянням Ейнштейна* для зовнішнього фотоефекту :

$$h\nu = A + \frac{mv^2}{2}, \quad (1)$$

де ν - частота падаючих променів, A - робота виходу для матеріалу катода, m – маса електрона, v – швидкість фотоелектронів при вильоті із металу.

Зрозуміло, що *червона границя фотоефекту буде мати місце*, коли

$$\nu_{\min} = A/h \text{ чи } \lambda_{\max} = \frac{ch}{A}, \quad (2)$$

тобто вона залежить лише від величини роботи виходу, що визначається хімічною природою металу і станом його поверхні.

Важливо, що *кожний фотон може взаємодіяти лише з одним електроном*. Загальне число фотоелектронів, що вилітають із катода за одиницю часу, пропорційне числу фотонів, падаючих за цей час на поверхню катода, а число фотонів пропорційне освітленості E .

Експериментальні закономірності зовнішнього фотоефекту вивчаються з використанням приладу, схематично зображеного на *мал.4*. У вакуумній колбі з непрозорого ізоляційного матеріалу розміщені металевий катод у вигляді пластини та анод. Катод через отвір у колбі можна від джерела світла освітлювати хвилями різної довжини. Змінюючи потужність джерела світла, можна регулювати освітленість катода від нульової до максимальної. Так само потенціометром плавно можна регулювати величину напруги між катодом і анодом. Якщо катод неосвітлений, то міліамперметр не фіксує струму через колбу, якщо катод освітлений, то через колбу йде струм.

Залежність цього фотоструму від прикладеної між катодом і анодом напруги при незмінній освітленості графічно відображається на правій частині *мал.4*. З графіку бачимо, що спочатку струм наростає пропорційно прикладеній напрузі, а при досягненні певної межі напруги

досягає насичення – це означає, що всі електрони, вибиті з катода, беруть участь у створенні струму.

Так як здобута в фотоефекті кінетична енергія електрона йде на виконання роботи в електричному полі, то

$$K_{\max} = \frac{mv_{\max}^2}{2} = eU_0 \quad (3)$$

З цієї формули, знаючи частоту чи роботу виходу, дослідно можемо визначити затримувальний потенціал U_0 :

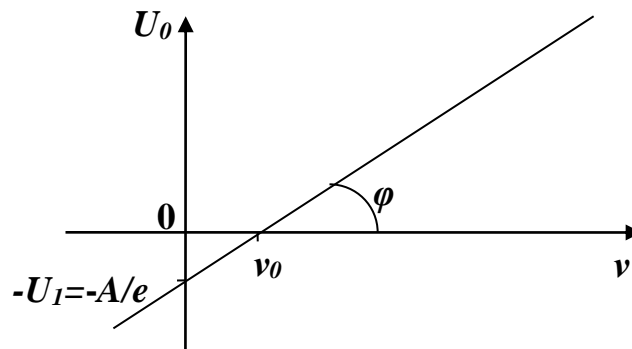
$$U_0 = \frac{h}{e}\nu - \frac{A}{e} \quad (4)$$

Вираз (4) є рівнянням прямої $U_0 = b\nu + a$ (мал. 3), де коефіцієнт b дорівнює тангенсу кута нахилу прямої до осі абсцис (вісь частот)

$$b = \operatorname{tg}\varphi = h/e \quad (5),$$

а вільний коефіцієнт a , що рівний відрізку осі ординат, який вказана пряма відсікає на осі, буде:

$$a = -A/e \quad (6).$$



Мал. 3

Точка перетину прямої з віссю абсцис (величина частот світла) визначає граничну частоту фотоефекту ν_0 .

Стала Планка h можна визначити з формули (5):

$$h = e \cdot \operatorname{tg}\varphi. \quad (7)$$

Точка перетину прямої з віссю ординат U_0 визначає напругу U_1 , знаючи яку, можна обчислити за формулою (4) роботу виходу електрона з речовини фотокатода:

$$A = eU_1 \quad (8)$$

Явище фотоефекту використовується для побудови фотоелементів (зовнішній фотоефект) та фотоопорів (внутрішній фотоефект). Ці прилади використовуються у фотореле для миттєвої реакції на світлову дію чи її зміну: у сигналізації, автоматичній і телемеханіці, у звуковому кіно, телебаченні тощо. Винтельні фотоелементи (фотоелементи із пластинки металу, його окису (напівпровідника) та нанесеного на нього напівпрозорого тонкого шару металу) є джерелами струму (сонячні батареї на космічних кораблях та ін.), та сонячних

батареях, як альтернативних джерелх струму у сучасному господарюванні.

Тиск світла. Квантова оптика пояснює тиск світла тим, що фотон має імпульс p . При зіткненні з поверхнею тіла, цей імпульс передається атомам чи молекулам речовини, створюючи тиск:

$$p = \frac{F_T}{S} = \frac{mc}{S\Delta t} = \frac{E}{cS\Delta t} = \frac{J}{c}, \quad (17)$$

де mc – імпульс фотона, E – повна енергія фотона, J – інтенсивність світлової хвилі. Тиском світла пояснюються: утворення хвостів комет, переміщення речовини у космічному просторі.

Хімічною називається дія світла, у результаті якої у речовинах, які поглинають світло, відбуваються хімічні перетворення – *фотохімічні реакції*. Атом речовини, поглинувши енергію фотона, переходить у збуджений стан. Для розуміння природи явища вкажемо, що таку енергію за рахунок теплового руху атом здобув би лише за умови нагрівання речовини на десять тисяч кельвінів.

Основний закон *фотохімічної реакції* стверджує: *кожний поглинутий речовиною фотон викликає реакцію однієї молекули; або: кількість речовини, яка взяла участь у фотореакції, пропорційна кількості поглиненої нею світлової енергії*. Найважливішим фотохімічним процесом у природі є **фотосинтез** – під впливом світла засвоєння рослинами вуглекислоти із повітря із виділенням кисню і утворенням у рослині на основі атомів вуглецю та інших елементів макробіомолекул білків, жирів і вуглеводів. Фотохімічна реакція розпаду під впливом світла молекул *бромистого срібла* $AgBr$ є основою фотографування, зйомки кінофільмів. Фотохімічні реакції *відбуваються в оці*, породжуючи світосприймання. Фотохімічні реакції лежать в основі **антибактеріологічної дії синіх, фіолетових, ультрафіолетових** променів; вони пояснюють засмагу шкіри, вигорання фарб під дією сонячного світла та ін.

На відміну від типових процесів довільного випускання атомами світлового випромінювання, можуть мати місце процеси, коли збуджені атоми здійснюють випромінювання *під дією зовнішнього чинника*, наприклад, зовнішнього електромагнітного поля. Випромінювання атомами світла під впливом зовнішнього електромагнітного поля *називається індукованим або вимушеним випромінюванням*. **Індуковане випромінювання** має прекрасну *властивість* – воно не відрізняється від вимушеного (падаючого на речовину первинного) випромінювання, тобто *співпадає з ним по частоті, фазі, поляризації і напрямку*. Індуковане випромінювання *додає у первинне електромагнітне випромінювання такі ж кванти, які поглинає з нього*. Вказане теоретичне положення стало основою для створення потужних джерел індукованого когерентного направленого випромінювання у видимій ділянці оптичного спектра – *квантових генераторів – лазерів*.

Застосування лазерів значно підвищило точність виміральної техніки. Використання лазерів дає змогу розвивати нові методи очистки речовини від домішок та розділення іонів. Лазери миттєво у локальному об'ємі нагрівають речовину до величезних температур, вони застосовуються для радіолокації, зварювання мікродеталей, сверління надтвердих речовин, у хірургії ока, генній хірургії, біодослідженнях, геодезії і багатьох інших галузях

господарської діяльності та у науці.

Використання оптичних квантових генераторів лежить в основі цілого ряду нових методів спектрального аналізу. Все ширше впроваджується лазерна техніка у різних технологічних процесах, у діагностиці і лікуванні різних хвороб. На сьогодні потужний лазерний промінь використовується для розтину, перфорування, зварювання і коагуляції біологічних тканин. Лазерне випромінювання розкриває нові підходи до дослідження об'ємної структури живих тканин і для створення лазерної томографії і інтроскопії. Ці галузі обіцяють новий прорив у медичній діагностиці. *У цих випадках передбачається пасивна поведінка тканини під променем, коли відсутня біофізична дія випромінювання на об'єкт.* Лазер дає змогу перейти від руйнівної дії ультрафіолетового випромінювання до зручного і звичного для організму видимого світла.

Для низькоінтенсивного випромінювання широко застосовуються гелій-неонові лазери з довжиною хвилі 0,6328 мкм, потужністю 25 – 40 мВт. – лазери, які ми використовували у виконанні лабораторних робіт. Такі прилади не зумовлюють деструкції біоматеріалу. Дія лазерів таких типів ґрунтується на фізіологічних виявах клітинного рівня: зміна структури нуклеїнових кислот; збільшення швидкості синтезу білка та швидкості поділу клітин; підвищення активності іонів кальцію у клітинах; трансформація відгуку лімфоцитів на імунноіндукуючі чинники; розширення судин; бактероцидний і бактеріостатичний ефекти. Ці процеси забезпечують такі системні реакції організму як: активізація біосинтезу; підвищення життєдіяльності клітин; підсилення імунопотенції; покращення кровообігу; прискорення загоєння ран і виразок тощо. Застосування лазерів привело до появи нових наукових галузей – фотобіології та фотомедицини. Лазерна терапія інтенсивно розвивається як у плані медико-біологічного обґрунтування, так і у плані інженерно-технічного забезпечення.

Виконання роботи

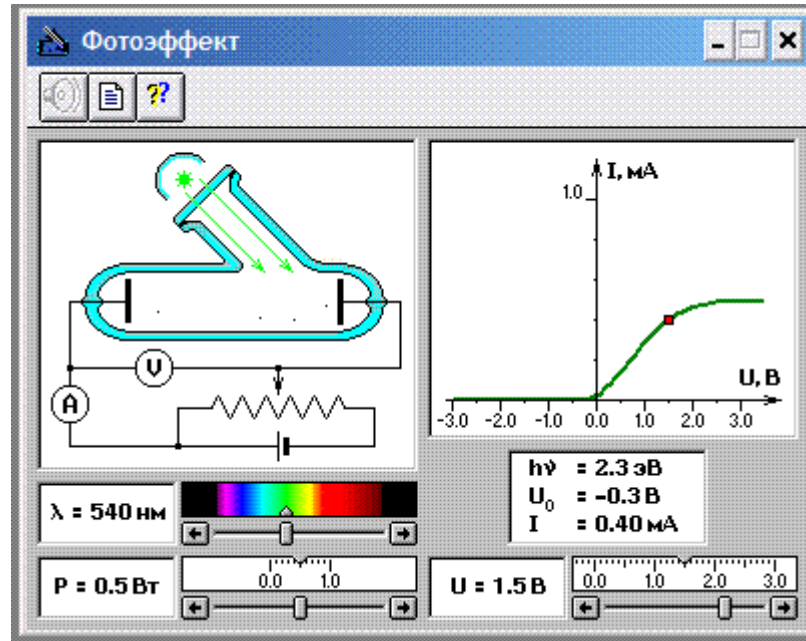
1. Включаємо комп'ютер. Завантажуємо програму "Открытая физика". Вибираємо з розділу «Квантова фізика» тему «Фотоэффект» і на екрані монітора появляється вікно мал. 4. На мал. 4 бачимо:

- зліва уверху схему приладу для дослідження фотоструму, який виникає при освітленості катода, якщо між катодом і анодом прикладена напруга, величина якої встановлюється показаним у цьому квадраті потенціометром;

- справа внизу показано шкалу та горизонтальний стержень з повзунком, переміщаючи який курсором можемо змінювати напругу між електродами в межах від 0,0 до 2,0 В. Величина встановленої напруги висвітлюється рядом зліва.;

. - зліва під схемою приладу розміщені: 1) вікно із спектром кольорів білого світла та повзунок під ним, переміщаючи який курсором встановлюємо довжину монохвилі для освітлення катода (від червоних до

фіолетових); вибрана довжина хвилі висвітлюється зліва; 2) вікно потужності світлового потоку, спрямованого на катод та повзунок для зміни потужності, що переміщується курсором (від $0,0$ до $1,0$ Вт); інформація про потужність світлового потоку P висвітлюється поряд;



Мал. 4

- справа вверху вікно, де комп'ютерна програма видає графік фотоструму в залежності від встановлених для досліду довжини хвилі λ , напруги U та потужності світлового потоку P . Тут же під графіком комп'ютерна програма, обробивши введені дані, видає числові значення: енергія фотонів у світловому потоці $h\nu$; затримуюча напруги U_0 , сила струму насичення I .

2. Проводимо дослід з **визначення залежності фотоструму насичення від значення потужності світлового потоку P** . Для цього:

- 1) встановлюємо курсором максимальне значення напруги U (3 В).
- 2) виставляємо значення λ в межах фіолетових променів (~ 400 нм) і, змінюючи через $0,1$ Вт значення потужності світлового потоку P від 0 до $1,0$ Вт, визначаємо величину фотоструму насичення $I_{нас}$. Результати замірів записуємо у *таблицю 1*.

Таблиця 1

P , Вт		0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$I_{нас}$, мА	$\lambda =$ нм											
	$\lambda =$ нм											

Повторюємо дослід для довжини хвилі у червоному діапазоні (~ 600 нм). Результати вимірів знову заносимо у *таблицю 1* (друга стрічка таблиці).

Запишемо енергію квантів світла у першому (освітлення катода фіолетовим світлом) і другому дослідженні (червоне світло).

$$h\nu_{\text{філ}} = \quad ; \quad h\nu_{\text{чер}} =$$

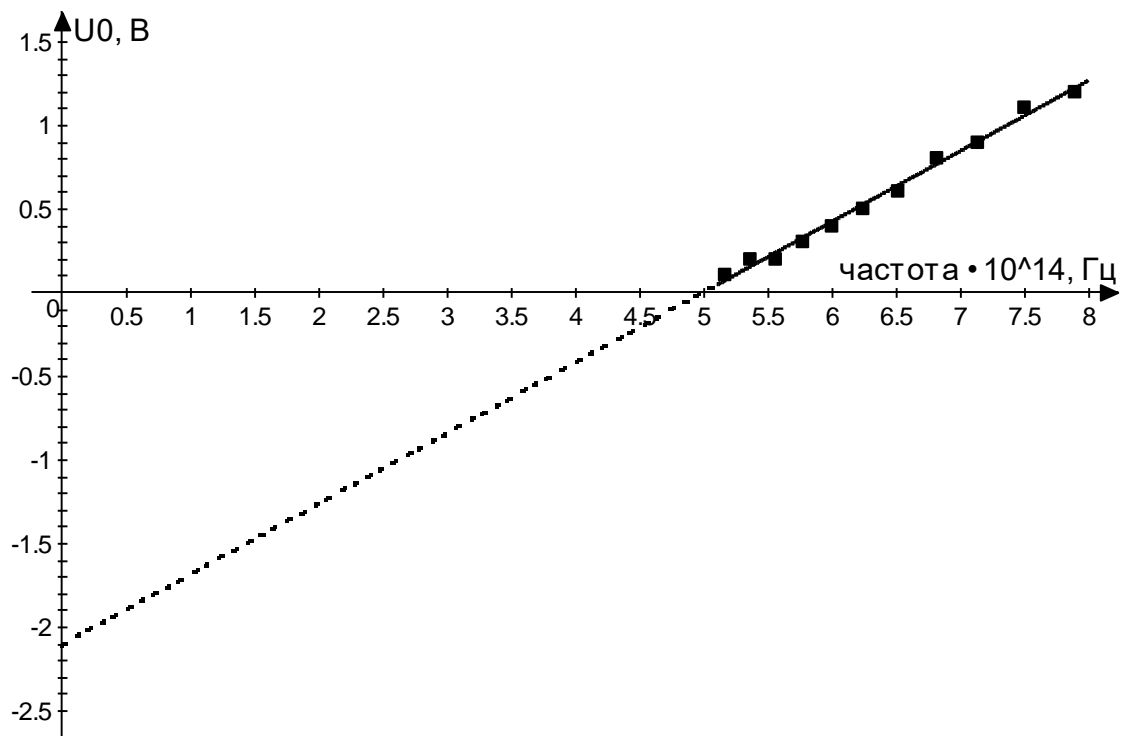
Аналізуємо результати вимірів. **Робимо висновок:** 1) коли має місце фотоефект, то, незалежно від довжини світлової хвилі, сила фотоструму насичення тим більша, чим більша освітленість катода; 2) чим коротша хвиля (чим більша частота), тим більша енергія її квантів (фотонів).

3. **Визначення залежності затримувального потенціалу U_0 від частоти світла ν .** Для цього:

- 1) встановлюємо курсором потужність світлового потоку $P = 1,0 \text{ Вт}$;
- 2) встановлюємо значення довжини хвилі $\lambda = 380 \text{ нм}$. У вікні справа внизу знімаємо і записуємо у *таблицю 2* (третя стрічка) значення затримувального потенціалу U_0 для цієї хвилі.
- 3) повторюємо дослід при інших, вказаних у таблиці, значеннях λ і записуємо відповідні значення потенціалу U_0 у *таблицю 2*.

Таблиця 2

λ , нм	380	420	460	480	520	560	580
$\nu \cdot 10^{14}$, Гц	7,89	7,14,	6,52	6,25	5,77	5,36	5,17
U_0 , В	1,2	0,9	0,6	0,5	0,3	0,2	0,1



Мал. 5

За формулою довжини світлової хвилі $\lambda = \frac{c}{\nu}$ визначаємо частоти хвиль, при яких ми проводили вимірювання, і заносимо їх у *таблицю 2*.

$$\nu_1 = \frac{3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}}{380 \cdot 10^{-9} \text{ м}} = 7,89 \cdot 10^{14} \text{ Гц}; \quad \nu_2 = 7,14 \cdot 10^{14} \text{ Гц}; \quad \nu_3 = 6,52 \cdot 10^{14} \text{ Гц};$$

$$\nu_4 = 6,25 \cdot 10^{14} \text{ Гц}; \quad \nu_5 = 5,77 \cdot 10^{14} \text{ Гц}; \quad \nu_6 = 5,36 \cdot 10^{14} \text{ Гц}; \quad \nu_7 = 5,17 \cdot 10^{14} \text{ Гц}.$$

Скориставшись відомими частотами і затримувального потенціалу за зразком *мал. 3* будуємо графік залежності U_0 від λ (*Мал. 5*).

4. За цим графіком за допомогою формул (7) і (8) **визначаємо значення сталої Планка та роботи виходу фотокатода**.

Для використання (порівняння результату) з таблиці фізичних констант записуємо величини: заряд електрона $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$ та стала Планка $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$.

1). **Визначення сталої Планка**

Скористаємося формулою (7): $h = e \cdot \text{tg} \varphi$.

З графіку, знявши виміри катетів, маємо $\text{tg} \varphi = 3,4 : 8 \cdot 10^{14} = 4,25 \cdot 10^{-15}$

Тоді $h = 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 4,25 \cdot 10^{-15} = 6,8 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$.

З врахування прийнятих вище заокруглень при обчисленнях та похибок у побудові графіку, одержане значення можна вважати наближеним до табличного.

2). **Визначення роботи виходу електронів із катода трубки**

Роботу виходу визначаємо за формулою (8): $A = eU_1$.

Для визначення U_1 на графіку знаходимо значення ординати точки перетину побудованої прямої $f(U, \lambda)$ з віссю ординат. Маємо $U_1 = 2,1 \text{ В}$

Обчислюємо і знаходимо, робота виходу електронів з катода:

$$A = 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 2,1 = 3,36 \cdot 10^{-19} \text{ елВ}$$

5. **Визначаємо червону межу фотоефекту**

Скористаємося формулами. $\nu_0 = A/h$ та $\lambda_{\text{max}} = c/\nu_0$.

Одержуємо:

$$\text{Частота } \nu_0 = \text{-----} =$$

$$\text{Довжина хвилі } \lambda_0 = \text{-----} =$$

Виконавши дослідження, ми перевірили справедливість законів зовнішнього фотоефекту, дізналися і навчилися як у такому дослідженні визначаються _____

Відповіді на контрольні питання

1. Що таке абсолютно чорне тіло?

2. Записати формулювання і формулу закону Стефана-Больцмана:

- 3.. Записати формулювання і формулу закону Віна _____
4. Квантова фізика розглядає світло як _____ Енергія кванта визначається за формулою: _____
5. Лише квантовою фізикою можна пояснити такі оптичні явища як:

6. Що називається зовнішнім та внутрішнім фотоефектом і де застосовуються ці явища? _____
7. Що таке робота виходу електрона з речовини? _____
8. Що таке червона межа зовнішнього фотоефекту і від чого вона залежить?

9. Запишіть рівняння Ейнштейна і поясніть його словами _____.
10. Що відбувається в атомі, коли він поглинає і коли випромінює квант (фотон)? __. 11. Що таке фотосинтез? _____
12. Що таке індуковане випромінювання і де воно використовується?

13. Скільки квантів з довжиною хвилі $0,5 \text{ мкм}$ має світловий потік з енергією один джоуль?.
- 14.. Визначити роботу виходу електрона з поверхні рубідію, червона межа якого дорівнює 810 нм .