

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

ДО ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ ТА САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТІВ

З ДИСЦИПЛІНИ

ФОТОМЕТРІЯ

*(для студентів 3 курсу денної та 4 курсу заочної форм навчання
за напрямом підготовки 6.050701 «Електротехніка та електротехнології»
спеціальності «Світлотехніка і джерела світла»)*

ХАРКІВ – ХНАМГ – 2011

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт та самостійної роботи студентів з дисципліни «Фотометрія» (для студентів 3 курсу денної та 4 курсу заочної форми навчання за напрямом підготовки 6.050701 «Електротехніка та електротехнології» спеціальності «Світлотехніка і джерела світла») / Харк. нац. акад. міськ. госп-ва; уклад.: В. М. Поліщук., С. С. Овчинников, Г. О. Петченко. – Х.: ХНАМГ, 2011. – 55 с.

Укладачі: к. т. н., доц. В. М. Поліщук,
д. т. н., проф. С. С. Овчинников,
к. ф.-м. н, доц. Г. О. Петченко

Рецензент: д. т. н., проф. М. І. Бойко

Рекомендовано кафедрою «Світлотехніка і джерела світла»,
протокол № 3 від 07.12.2010 р.

ЗМІСТ	стор
ВСТУП.....	4
1. ТЕМИ ДЛЯ САМОСТІЙНИХ ЗАНЯТЬ СТУДЕНТІВ.....	5
2. ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО ОПРАЦЮВАННЯ.....	6
3. ПИТАННЯ ДО МОДУЛЬНОГО КОНТРОЛЮ ЗНАНЬ	8
Змістовий модуль №1.....	8
Змістовий модуль №2.....	9
4. ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ	
Лабораторна робота № 1.....	10
Лабораторна робота № 2.....	13
Лабораторна робота № 3.....	15
Лабораторна робота № 4.....	18
Лабораторна робота № 5.....	21
Лабораторна робота № 6.....	24
Лабораторна робота № 7.....	27
Лабораторна робота № 8.....	30
Лабораторна робота № 9.....	34
Лабораторна робота № 10.....	41
Лабораторна робота № 11.....	44
Лабораторна робота № 12.....	48
ДОДАТКИ	
Додаток 1.....	51
Додаток 2.....	52
Додаток 3.....	53
Додаток 4.....	53
Додаток 5.....	54
Додаток 6.....	55

ВСТУП

Фотометрія - одна з базових дисциплін спеціальності "Світлотехніка та джерела світла". Практична фотометрія складається із широкого кола вимірювань: світлових, спектральних, пірометричних та ін. Інтенсивний розвиток електроніки та обчислювальної техніки підіймає практичну фотометрію на новий, більш якісний рівень. Основна мета цих лабораторних робіт - закріплення теоретичного матеріалу, розвиток у студентів навичок самостійної роботи, вироблення вміння аналізувати та обробляти експериментальний матеріал.

У даному курсі можна виділити окремі блоки, за допомогою яких складено цикл лабораторних робіт з курсу "Фотометрія":

1. Організація еталонної служби та виготовлення робочих еталонів.
2. Приймачі випромінювання та вимірювання їх основних параметрів.
3. Світлові вимірювання.
4. Спектральні вимірювання.
5. Пірометричні вимірювання.
6. Вимірювання оптичних характеристик тіл.
7. Вимірювання кольорів.
8. Вимірювання імпульсного випромінювання.

Перший блок практичної роботи - виготовлення етвлонів сили світла, світлового потоку, температури. Кожен студент повинен виготовити робочу світловимірювальну лампу, якою він буде користуватися в усіх наступних роботах (не тільки в курсі "Фотометрія"). Після виготовлення робочого еталону можна розпочати вивчення та проведення робіт другого блоку (приймачі випромінювання), в якому представлені дослідження всіх основних типів приймачів випромінювання, що використовуються у фотометрії (вакуумні фотоелементи, ФЕП, фотодіоди, фоторезистори, селенові фотоелементи, термостовпчики, болометри). Виконання цього блоку робіт займає значну частину загального обсягу лабораторних робіт. Послідовність виконання інших блоків циклу не має принципового значення і може бути будь-якою.

Усі вказівки щодо проведення робіт та математична обробка експериментального матеріалу викладені у відповідних Додатках цього видання.

1. ТЕМИ ДЛЯ САМОСТІЙНИХ ЗАНЯТЬ СТУДЕНТІВ

Тема 1. Фотометрія як одна з часток метрології. Задачі фотометрії. Принципова схема фотометричних вимірювань. Класифікація вимірів. Питання точності і відтворюваності фотометричних вимірів. Аналіз точності їх виконання

Тема 2. Державний еталон сили світла. Види еталонів. Світловимірювальні лампи. Методи створення вторинних еталонів сили світла.

Тема 3. Приймачі випромінювання. Види приймачів. Типи приймачів і області їх застосування. Неселективні приймачі випромінювання. Типи, конструкція, принцип дії, схеми включення.

Тема 4. Селективні приймачі випромінювання. Конструкція, принцип роботи схеми живлення. Застосування при фотометричних вимірах.

Тема 5. Методи регулювання світлового потоку. Особливості світлових вимірів. Вимоги до приймача випромінювання при виконанні світлових вимірів.

Тема 6. Прилади зорової фотометрії. Фотометрична голівка. Конструкція, призначення її елементів. Фотометрична лава. Точність зорових вимірів. Вимір сили світла на фотометричній лаві методами зорової фотометрії.

Тема 7. Основи фотоелектричної фотометрії. Принципи виміру ефективних та енергетичних величин. Методи вимірів. Види вимірів. Розрахунок фільтру, що коригує.

Тема 8. Методи вимірювання світлового потоку.

Тема 9. Методи вимірювання освітленості. Люксометри та їх градуировка. Зорові та фотоелектричні люксометри. Джерело похибок. Сучасні типи люксометрів. Вимір інтегральних характеристик поля.

Тема 10. Методи вимірювання яскравості. Середня, локальна та габаритна яскравості. Схема фотоелектричного яскравоміру. Габаритний та світло енергетичний розрахунок оптичної системи яскравоміра. Конструкція яскравоміра.

Тема 11. Методи вимірювання оптичних характеристик тіл. Вимір коефіцієнту яскравості.

Тема 12. Оптична пірометрія. Еквівалентні температури. Енергетична температура, її зв'язок з істиною температурою. Методики та прилади для вимірювання енергетичної температури. Яскравісна температура, її зв'язок з істиною температурою. Методики та прилади для вимірювання яскравісної температури. Колірна температура, її зв'язок з істиною температурою. Методики та прилади для вимірювання колірної температури.

Тема 13. Спектральні вимірювання. Призначення, особливості. Структурна схема спектральних приладів. Принцип дії спектральних приладів. Класифікація. Характеристики. Призмені диспергуючі системи. Монохроматори. Вхідна щільність, конструкція, призначення, її освітлення. Дифракційні диспергуючі системи та монохроматори. Методи спектрофотометрії. Фотографічні методи. Фотоелектричні, методи спектрометрії. Дослідження спектрів випромінювання та поглинання. Схеми спектрофотометрів.

Тема 14. Кольорові вимірювання. Принципи вимірювання кольору. Методи зорової фотометрії для кольорових вимірювань. Принципові схеми адитивних та субтрактивних колориметрів. Колориметри Дьомкіної, Дональдсона тощо. Градировка зорових колориметрів. Атласи кольорів. Методи фотоелектричної колориметрії. Колориметри почергової та одночасної дії. Компаратори кольору. Застосування колориметричних методів для контролю якості промислових виробів.

Тема 15. Імпульсна фотометрія. Особливості роботи приймачів випромінювання в імпульсному режимі. Фотоелектричні методи виміру миттєвих, пікових і інтегральних параметрів імпульсного випромінювання. Вимір параметрів лазерів.

2. ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО ОПРАЦЮВАННЯ

1. Запропонуйте методику вимірювання яскравості за допомогою люксметра.
2. Як за допомогою люксметра виміряти силу світла?
3. Як виміряти яскравісну температуру за допомогою яскравоміра?
4. Як виміряти коефіцієнт пропускання за допомогою люксметра?
5. Як можна визначити коефіцієнт яскравості зразка, якщо в наявності є люксметр і яскравомір? Яке додаткове обладнання ще може знадобитись?
6. Як виміряти освітленість, якщо в наявності є яскравомір і дифузно-розсіювальний зразок з відомим коефіцієнтом відбиття?
7. Як можна визначити світловий потік люмінесцентної лампи за допомогою люксметра?
8. Як можна визначити яскравість люмінесцентної лампи за допомогою люксметра?
9. Як можна визначити світловий потік лампи розжарювання за допомогою люксметра?

10. Як можна визначити колірну температуру лампи розжарювання за допомогою люксметра, якщо в наявності є проградуйована за колірною температурою лампа розжарювання? Яке додаткове обладнання ще може знадобитись?
11. Як можна визначити коефіцієнт спрямованого пропускання фільтра за допомогою телецентричного фотометра? Що ще може знадобитись?
12. Як можна визначити коефіцієнт спрямованого відбиття фільтра за допомогою яскравоміра? Що ще може знадобитись?
13. Як можна визначити коефіцієнт спрямованого відбиття фільтра за допомогою люксметра? Що ще може знадобитись?
14. Як можна визначити світловий потік лампи розжарювання за допомогою телецентричного фотометра?
15. Як можна визначити спектральний коефіцієнт пропускання за допомогою монохроматора та люксметра?
16. Як можна визначити яскравість лампи розжарювання зі смушковим тілом розжарювання (розміром $12 \times 4 \text{ мм}^2$) за допомогою люксметра?
17. Як можна визначити яскравість лампи розжарювання зі смушковим тілом розжарювання з відомими розмірами за допомогою люксметра?
18. Як виміряти силу світла люмінесцентної лампи довжиною 800 мм за допомогою телецентричного фотометра з діаметром об'єктиву 300 мм?
19. Як можна визначити яскравість лампи розжарювання зі смушковим тілом розжарювання з відомими розмірами за допомогою телецентричного фотометра?
20. Визначити реакцію фотоелемента з діаметром світлочутливої поверхні 20 мм з чутливістю $30 \times 10^{-6} \text{ А/лм}$. Сила світла джерела 100 кд, відстань до джерела 0,6 м (кут падіння випромінювання складає $\alpha = 0^0$).
21. Фотоелемент з діаметром приймальної площини розміром 20 мм розташований від лампи на відстані 0,6 м. Визначити силу світла джерела, при якій на фотоелемент надійде світловий потік величиною 0,1 лм. Кут падіння випромінювання складає $\alpha = 0^0$.
22. На якій відстані від паперу треба розмістити джерело світла з силою світла 200 кд, щоб при освітленні паперу ($\rho = 0,63$) отримати яскравість 400 кд/м^2 , необхідної для градуювання яскравоміра. Кут падіння променів складає $\alpha = 0^0$.
23. Для градуювання яскравоміра необхідно створити яскравість поверхні аркушу білого паперу 100 кд/м^2 ($\rho = 0,6$). Визначити відстань, на якій має бути розміщено джерело з силою світла 100 кд, щоб отримати задану яскравість. Кут падіння променів складає $\alpha = 30^0$.
24. Над фотоелементом з діаметром приймальної площини розміром 20 мм розташоване джерело, сила світла якого складає 100 кд. На якій відстані від фотоелемента має бути розміщене джерело, щоб реакція приймача складала 10^{-6} А . Чутливість приймача складає $30 \times 10^{-6} \text{ А/лм}$.

3. ПИТАННЯ ДО МОДУЛЬНОГО КОНТРОЛЮ ЗНАНЬ Змістовий модуль №1

1. Діапазон видимої області спектру.
2. Що таке еталон сили світла. Види еталонів.
3. Дайте визначення еталону сили світла.
4. Які ви знаєте стандартні джерела випромінювання
5. Що таке стандартне джерело типу А, В, С, Д65.
6. Для чого служить фотометрична лава.
7. Які особливості має конструкція вторинного еталону сили світла.
8. Як називається пристрій для створення полів порівняння.
9. З яких елементів складається фотометрична голівка.
10. Для чого служить фотометрична голівка.
11. Які особливості має конструкція вторинного еталону сили світла.
12. Що таке приймач випромінювання, визначення, призначення.
13. Види приймачів випромінювання.
14. Дайте визначення неселективним приймачам випромінювання.
15. Наведіть приклади неселективних приймачів випромінювання.
16. Конструкція, принцип дії та позначення в електричних схемах термостовпчика.
17. Конструкція, принцип дії та позначення в електричних схемах болометра.
18. Дайте визначення селективним приймачам випромінювання.
19. Наведіть приклади відомих вам селективних приймачів випромінювання, що працюють на зовнішньому фотоефекті.
20. Наведіть приклади відомих вам селективних приймачів випромінювання, що працюють на внутрішньому фотоефекті
21. Що таке фото діод, як він позначається у схемах.
22. Яка характеристика є найважливішою при виборі приймача випромінювання.
23. Наведіть визначення інтегральної чутливості, одиниці її вимірювання.
24. Наведіть визначення спектральної чутливості фотоелектричного приймача випромінювання.
25. Що таке спектральна чутливість приймача, як вона визначається.
26. Дайте визначення відносної спектральної чутливості приймача
27. Що таке темновий струм приймача.
28. Перелічити основні характеристики неселективних приймачів випромінювання.
29. Що таке інерційність приймача випромінювання.
30. Конструкція, принцип дії вакуумного фотоелемента, як він позначається у схемах.
31. Фотоелектричний помножувач, основні характеристики, принцип дії, як він позначається у схемах.
32. Фото діоди, основні характеристики, принцип дії, як він позначається у схемах.
33. Фоторезистори, основні характеристики, принцип дії, як він позначається у схемах.

Змістовий модуль №2

1. Наведіть принципову схему фотометричних вимірювань.
2. Наведіть відомі Вам методи регулювання світлового потоку.
3. Як називається прилад для вимірювання світлового потоку.
4. Як називається прилад для вимірювання сили світла.
5. Як називається прилад для вимірювання освітленості.
6. Що є приймачем випромінювання у візуальному люксметрі.
7. Як називається прилад для вимірювання кольору.
8. . Що таке гоніофотометр.
9. Як називається прилад для вимірювання яскравості.
10. Призначення апертурної діафрагми в фотометричному обладнанні.
11. Призначення об'єктиву оптичного приладу.
12. Для чого використовується коригуючий фільтр.
13. Як називається прилад для вимірювання освітленості.
14. Як називається оптичний прилад для вимірювання температури нагрітих тіл.
15. Дайте визначення еквівалентній температурі.
16. Дайте визначення яскравісній температурі.
17. Дайте визначення радіаційній температурі.
18. На якій довжині хвилі вимірюється яскравісна температура.
19. Які фільтри необхідні для вимірювання колірної температури.
20. Які Вам відомі прилади для вимірювання оптичних характеристик тіл.
21. Для якої мети призначено пірометр із зникаючою ниткою.
22. Для чого служить інтегруючий фотометр.
23. Наведіть принципову схему інтегруючого фотометра.
24. Що покладено в основу дії фотометра відбиття ФО-1.
25. Які висуваються вимоги для внутрішнього покриття інтегруючої сфери
26. Які вимірювання можна провести за допомогою розподільчого фотометра.
27. Який метод покладено в основу дії розподільчого фотометра.
28. Наведіть принципову схему розподільчого фотометра.
29. Що покладено в основу дії фотометра відбиття ФО-1.
30. Які Ви знаєте методи вимірювання світлового потоку.
31. Як визначається коефіцієнт яскравості.
32. Для чого служить польова лінза оптичного приладу.
33. Що таке апертурна діафрагма.
34. Що таке G , m^2 .
35. Що таке фокальна площа оптичного приладу.
36. Для чого служить спектральний пристрій.
37. Наведіть принципову схему спектрофотометра.
38. Дайте визначення кутовій дисперсії.
39. Для чого служить диспергуючий елемент спектрального приладу.
40. Дайте визначення лінійній дисперсії.
41. Призначення дифракційної решітки спектрального приладу.

42. Призначення спектрального приладу.
43. Призначення спектральної призми монохроматора.
44. Види диспергуючих елементів спектрального приладу.
45. Що таке спектрофотометр, чим він відрізняється від інших спектральних приладів.
46. Що таке монохроматор, наведіть його принципову схему та дайте визначення.
47. Що таке область дисперсії спектрального приладу.
48. З яких конструктивних елементів складається вхідний коліматор спектрального приладу.

4. ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1.

ВИГОТОВЛЕННЯ РОБОЧОГО ЕТАЛОНУ СИЛИ СВІТЛА

Будь-яке вимірювання у фотометрії - це порівняння невідомої величини з відомою і вираження першої через другу у кратному або частковому відношенні.

Відтворення одиниць здійснюється за допомогою спеціальних технічних засобів, що називаються еталонами. Еталон - технічний пристрій, що забезпечує відтворення та збереження одиниці з метою передачі інформації про її розмір через вимірювання, виконаний за особливою схемою та офіційно затверджений у встановленому порядку.

Еталони, що відтворюють одиницю з найвищою у країні точністю, називаються первинними. Офіційно затверджені, як початкові для країни первинні, або спеціальні еталони називаються державними. В системі "СГ" основною фотометричною одиницею є одиниця сили світла - кандела (кд). Державний первинний еталон кандели відтворюється у Національному науково-дослідному центрі - " Інститут "Метрологія" (м.Харків).

На основі державного первинного еталону кандели утворюють вторинні еталони, що являють собою групу ретельно виготовлених вольфрамових ламп розжарювання з тілом розжарювання у вигляді прямої нитки, яка розташована у колбі, форма якої виключає наявність відбитого випромінювання.

Вторинні еталони є основою для виготовлення робочих світловимірювальних ламп, які використовуються при проведенні поточних вимірювань у фотометричних лабораторіях.

Передача одиниці сили світла від державного первинного еталону вторинному і далі робочим світловимірювальним лампам здійснюється на фотометричній лаві візуальним або фотоелектричним методами.

1. Фотометрична лавя являє: собою пристрій тієї чи іншої довжини (з міліметровою градацією), на кінцях якого розташовані рухомі каретки з лампою, яка досліджується, та еталонною, а між ними - фотометрична голівка, схема якої подана на рис. 1.1.

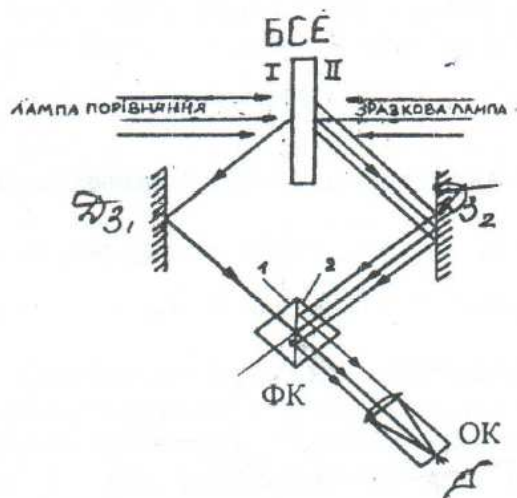


Рис. 1.1 - Схема фотометричної голівки: 1, 2 - призми фотометричного кубіка, БСЕ - білий світлорозсіючий екран.

Візуальний метод. Білий світлорозсіючий екран (БСЕ) освітлюється лампою, що досліджується з одного боку і зразковою - з другого. Світло, що розсіюється поверхнями білого екрана, падає на дзеркала ДЗ₁ та ДЗ₂, відбивається від них на призму, що називається фотометричним кубиком (ФК). Ця кубічна призма дозволяє спостерігачу, який дивиться на неї через окуляр (ОК), бачити на суміжних ділянках поля зору обидві поверхні білого світлорозсіючого екрана в безпосередньому контакті із зникаючою тонкою лінією розподілу, причому поле 1 (рис. 1,2) освітлюється тільки випромінюванням лампи, що досліджується, а поле II - тільки зразковою лампою (еталонною).

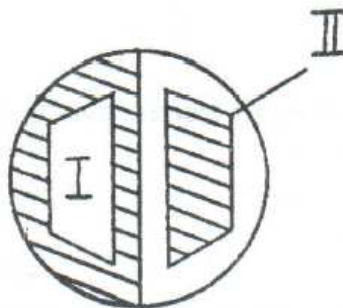


Рисунок.1.2 - Картина полів порівняння: I - поле порівняння лампи, що досліджується; II - поле порівняння еталонної лампи

Якщо, пересуваючи фотометричну голівку між двома нерухомими лампами, що порівнюються, досягти рівняння яскравостей обох полів порівняння I та II то:

$$L_1 = L_2 \quad (1.1)$$

$$L_1 = \frac{E_1 \rho_1}{\pi} \quad L_2 = \frac{E_2 \rho_2}{\pi} \quad (1.2)$$

$$\frac{E_1 \rho_1}{\pi} = \frac{E_2 \rho_2}{\pi}; \quad (1.3.)$$

$$E_1 = \frac{I_1}{\ell_1^2} \cos \alpha_1; \quad E_2 = \frac{I_2}{\ell_2^2} \cos \alpha_2 \quad (1.4)$$

Схема фотометричних вимірювань за допомогою фотометричної лави дозволяє отримати значення кутів α_1 та α_2 рівних 0, при цьому $\cos \alpha_1$ та $\cos \alpha_2$ дорівнюватимуться 1.

Оскільки сила світла зразкової лампи відома, а відстані ℓ_1 та ℓ_2 можна виміряти за шкалою фотометричної лави, то силу світла лампи, що досліджується, можна визначити за формулою:

$$I_1 = I_2 \frac{\ell_1^2}{\ell_2^2} \frac{\rho_2}{\rho_1} \quad (1.5)$$

Значення $\frac{\rho_2}{\rho_1}$ при вимірюванні можна виключити, якщо змінити розташування фотометричної голівки на 180° і знову провести вимірювання.

$$\text{Тоді :} \quad I_1 = I_2 \frac{\ell_1^2}{\ell_2^2} \quad (1.6)$$

Фотоелектричний метод.

Незважаючи на те, що візуальний метод дуже простий, він має суттєвий недолік - суб'єктивність вимірювань, який залежить від самопочуття та ступеня тренуваності дослідника. Тому більш поширеним є метод вимірювання сили світла з використанням фотоелектричних приймачів, що мають спектральну чутливість, скориговану відповідно до ока людини. У цьому випадку принципова схема вимірювань має такий вигляд: замість фотометричної голівки на лаві встановлюється селеновий фотоелемент (схема його підключення наведена в роботі № 6). Світловий потік, що потрапляє: на поверхню фотоелемента від еталонної лампи, призводить до появи фотоструму ($i_{\text{ет}}$). Після цього, встановлюють лампу, яка досліджується, замість еталонної. Оскільки сила світла лампи, що досліджується, відрізняється від сили світла еталона, в ланцюзі фотоелемента знову з'являється фотострум ($i_{\text{досл}}$), який відрізняється від $i_{\text{ет}}$. Однак, якщо пересувати фотоелемент відносно лампи, яка досліджується, то можна знайти таку відстань між фотоелементом і цією лампою, при якій фотострум у ланцюзі фотоелемента $i_{\text{досл}}$ стане рівним $i_{\text{ет}}$. Сила світла лампи, що досліджується, при цьому буде дорівнювати:

$$I_{\text{досл}} = I_{\text{ет}} \frac{\ell_1^2}{\ell_2^2} \frac{i_{\text{досл}}}{i_{\text{ет}}}, \quad (1.7)$$

де: $I_{\text{досл}}$ - сила світла лампи, що досліджується;
 $I_{\text{ет}}$ - сила світла еталона,

Завдання до роботи

1. Ознайомитись із улаштуванням фотометричної лави та електричною схемою підключення фотоелемента.
2. Виміряти силу світла лампи, що досліджується, візуальним методом прямим порівнянням з еталоном.
3. Виміряти силу світла лампи фотоелектричним методом.

Вказівки до проведення роботи

1. Положення лампи, що досліджується у всіх спробах повинно бути незмінним. Для подальшого користування цією лампою як робочим еталоном необхідно зробити на ній позначку, що буде вказівкою її положення відносно фотометричної голівки або фотоелемента при подальших вимірюваннях.
2. Вимірювання кожним із способів проводити не менше ніж 4-5 разів.
3. Провести математичну обробку результатів вимірювань відповідно до Додатку 1.

Контрольні запитання

1. Дайте визначення поняттям: світловий потік, сила світла, яскравість.
2. Поясніть, чому сила світла є пропорційною квадрату відстані, а не якому-небудь іншому ступеню.
3. Які види еталонів сили світла існують?
4. Що таке державний, первинний та робочий еталони?
5. Конструкція та призначення фотометричної лави.
6. Конструкція фотометричної голівки.
7. Що таке поля порівняння?
8. Поясніть конструктивне виконання світловимірювальних ламп розжарювання.
9. Наведіть методи створення вторинних еталонів.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕРМОЕЛЕМЕНТА

Неселективні (нейтральні) приймачі випромінювання можуть бути використаними для вимірів випромінювання будь-якого спектрального складу, тому-що їх реакція незалежить від довжини хвилі випромінювання, що на них падає. Цілком природно, що для таких приймачів втрачає сенс таке поняття, як спектральна чутливість, і основною характеристикою є інтегральна чутливість ($S_{\text{інт}}$), яка визначається як відношення реакції приймача (найчастіше - це електричний струм у вимірювальному ланцюзі – i) до потужності падаючого випромінювання (Φ):

$$S_{\text{інт}} = i / \Phi \left[\frac{A}{\text{лм}} \right] \quad (2.1)$$

Дія всіх неселективних приймачів випромінювання заснована на зміні їх температури при освітленні. Отже, при створенні таких приймачів необхідно, з одного боку, забезпечити максимальне поглинання випромінювання чутливою частиною приймача, а з другого забезпечити мінімальні втрати тепла.

Згідно з першою умовою чутливу частину приймача виконують у вигляді чорного тіла, власна теплоємність якого є мінімальною, а збільшення температури є якомога більшою.

Друга умова забезпечується за рахунок засобів, що зменшують втрати тепла шляхом конвекції, теплопровідності та випромінювання; втрати тепла за рахунок випромінювання обумовлюються законами Стефан-Больцмана. Їх зменшення досягається використанням теплоізоляційних матеріалів. Конвективні втрати можна усунути при вміщенні приймача до вакуумної ємкості. Однак при цьому виникають ускладнення, пов'язані з вибором прозорого матеріалу для вікна, через яке випромінювання потрапить на чутливу поверхню приймача.

Неселективні приймачі бувають двох типів: термоелементи та болометри. У першому випадку реєстрація випромінювання здійснюється на підставі термо-ЕРС, що виникає тоді, коли нагрівається один з двох спаїв різнорідних металевих провідників, які складають замкнуте коло (контур), у другому - на підставі зміни електричного опору провідника, що визначається його температурою.

У цій роботі проводяться дослідження неселективних приймачів. Виміри проводять на фотометричній лаві, в лівій частині якої встановлюється еталонна лампа розжарювання, а в правій - термостовпчик, що досліджується, та амперметр в якості реєструючого приладу (рис.2.1).

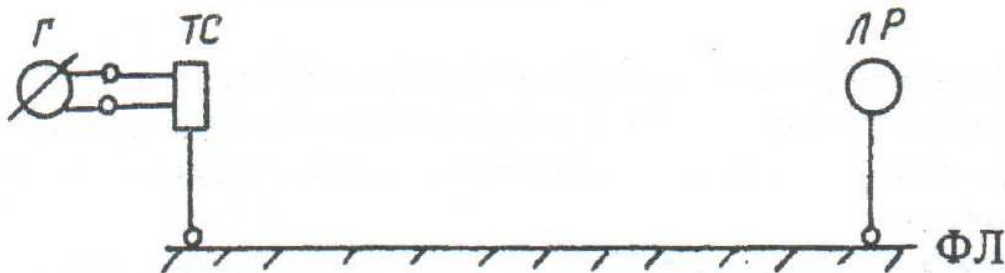


Рисунок 2.1 - Схема вимірювань характеристик термостовпчика:
Г - амперметр; ЛР - еталонна лампа розжарювання; ТС - термостовпчик;
ФЛ - фотометрична лава

Завдання до роботи:

1. Виміряти інерційність термостовпчика.
2. Визначити інтегральну чутливість термостовпчика.
3. Виміряти лінійність приймача випромінювання.

Вказівки до проведення роботи

1. Для вимірювання інерційності термостовпчика, необхідно одержати залежність $i = f(t)$. Для цього треба встановити термостовпчик на відстані l від ламп (задається викладачем). Ввімкнути лампу і через кожні 5 секунд фіксувати значення фотоструму в ланцюзі приймача випромінювання. Побудувати графік залежності $i = f(t)$ і по ньому визначити значення інерційності.
2. Для вимірювання інтегральної чутливості приймача необхідно розрахувати величину потоку, який падає на поверхню термостовпчика. Для розрахунків використовують відомі формули.. Визначити інтегральну чутливість, як : $S_{\text{інт}} = i/\Phi$, [А/лм].
3. Лінійність приймача визначити як залежність чутливості приймача від величини світлового потоку, що падає на приймач випромінювання. Для цього слід визначити інтегральну чутливість на різних відстанях від приймача (за вказівкою викладача) до еталонної лампи і побудувати цю залежність у вигляді графіка: $S_{\text{інт}} = f(\Phi)$.
Примітка: Всі виміри проводити не менше, ніж 4-5 разів, отримані результати піддати відповідній математичній обробці.

Контрольні запитання:

1. Дайте визначення приймачу випромінювання.
2. Дайте визначення нейтральному приймачу випромінювання.
3. Конструктивні особливості неселективних приймачів випромінювання.
4. Основні характеристики неселективних приймачів випромінювання, дайте їм визначення.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ФОТОЕЛЕКТРОННИХ ПОМНОЖУВАЧІВ

Одним з найбільш поширених приймачів оптичного випромінювання, що працюють на принципі зовнішнього фотоефекта, є фотоелектронний помножувач (ФЕП).

ФЕП - це пристрій, що складається, крім катода і анода, з одного або декількох електродів, які є емітерами вторинних електронів, тобто ФЕП не тільки забезпечує трансформацію оптичного випромінювання, що падає на фотокатод в електричний струм, а й водночас посилює останній. Принципова схема ФЕП наведена на рис. 3.1.

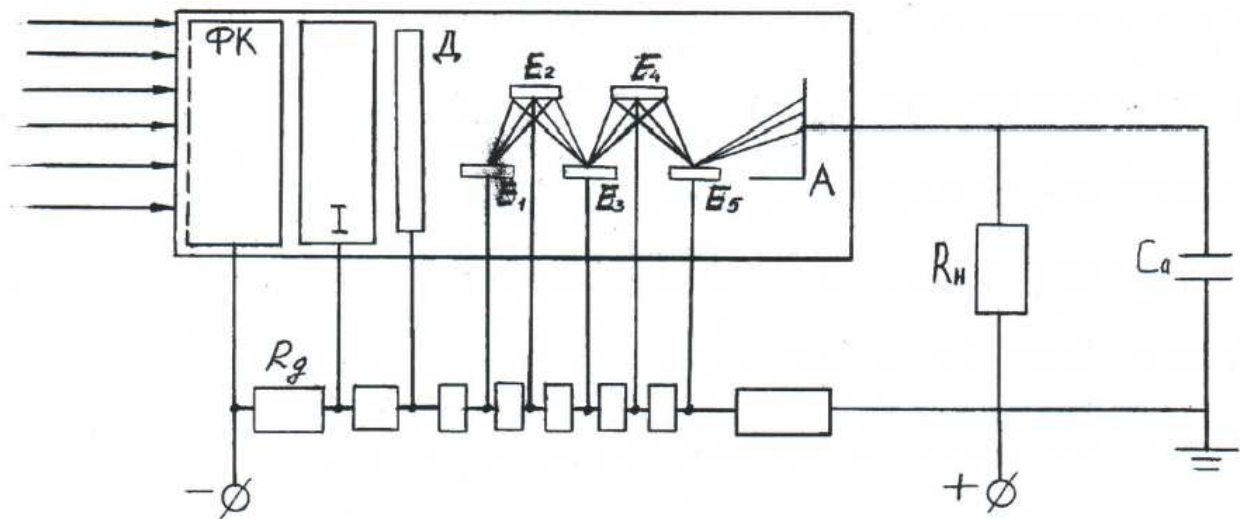


Рисунок 3.1 - Принципова схема ФЕП з розподільником:
 ФК - фотокатод; I - фокусуючий електрод; Д - діафрагма;
 Д₁ - Д₅ - диноди; А - анод; R_д - опір розподільника напруги;
 R_н - опір навантаження в ланцюзі анода; C_а - ємність анода

Випромінювання, що падає на фотокатод, породжує фотоелектронну емісію з катода. Утворені за рахунок емісії електрони фокусуються за допомогою електродів, що утворюють електростатичну лінзу. Якість фокусування характеризується коефіцієнтом збору електронів (γ_k). Сфокусовані електрони спрямовуються на перший динод, що виконаний з матеріалу, який забезпечує високий коефіцієнт вторинної емісії ($\sigma_i \approx 1,5 \div 3,0$).

Кількість вторинних електронів, що вилітають з першого динода визначається як добуток:

$$n_k \sigma_i \gamma_k$$

Вторинні електрони спрямовуються на другий динод, помножений потік електронів з другого динода - на третій і так далі. Для спрямованого прискорення електронів з одного динода на інші між ними за допомогою розподільника напруги створюється різниця потенціалів.

Якщо вважати, що коефіцієнт посилення всіх динодів однаковий, то коефіцієнт посилення фотоелектронного помножувача визначається як:

$$M = \sigma^m \quad (3.1)$$

де: m - кількість каскадів ФЕП.

До основних параметрів фото помножувача належать такі:

1. **Інтегральна анодна чутливість** ФЕП - S_а, яка дорівнює інтегральній чутливості фотокатода S_{інт}, помноженій на добуток коефіцієнта збору електронів γ_k та посилення динодної системи

$$S_a = S_{\text{інт}} \cdot \gamma_k M \quad (3.2)$$

Оскільки анодна чутливість ФЕП залежить від поданої напруги, то для промислових зразків звичайно вказують напруги, при яких значення S_a має фіксовані значення 1, 10, 100 (А/лм).

Спектральна анодна чутливість ФЕП - $S_{\lambda a}$, визначає діапазон довжин хвиль, що вимірюються даним ФЕП.

$$S_{\lambda a} = \frac{i}{\Phi_{e\lambda}}, \left[\frac{A}{Bm} \right]. \quad (3.3)$$

2. **Темновий струм** ФЕП являє собою струм в анодному ланцюзі ФЕП у випадку, коли на катод не потрапляє випромінювання з зовні. Він виникає в результаті наявності термоелектронів на катоді, струму витікання між виводом анода та іншими електродами ФЕП, струму автоелектронної емісії з динодів та ін. Наявність темнового струму визначає можливість використання того чи іншого типу ФЕП для вимірювання дуже малих світлових потоків (випадки, коли корисний сигнал і темновий струм можна зіставити).

3. **Лінійність сигналу** ФЕП визначає пропорційність сигналу на виході ФЕП до величини світлового потоку, що падає на фотокатод. Лінійність світлової характеристики звичайно порушується при вимірюваннях великих світлових сигналів.

Для реалізації поставленої в цій роботі мети використовується спеціальна установка, що включає в себе дифракційний монохроматор (МД), ФЕП з блоком живлення і лампу розжарювання з відомою кольоровою температурою.

Монохроматор (МД) дозволяє виділити вузькі діапазони довжин хвиль у межах спектру від 400 до 700 нм.

На вхідну щілину монохроматора одягнутий кожух, в якому знаходиться досліджуваний ФЕП. Останній є дуже чутливим, тому абсолютно неприпустиме попадання на нього стороннього світла.

Блоком живлення ФЕП є високовольтний стабілізатор з напругою 600 ± 1600 В, який дозволяє регулювати в широких межах напругу, що подається на ФЕП.

Перед монохроматором встановлюється лампа з відомою кольоровою температурою. За допомогою оптичної системи випромінювання від лампи спрямовується на вхідну щілину монохроматора.

Завдання до роботи:

1. Виміряти темновий струм фото помножувача при різних напругах живлення (600,800,1000,1200 В) і побудувати графік залежності $i_T = f(U)$.
2. Виміряти значення фотоструму в діапазоні довжин хвиль 400-700 нм для заданої температури лампи.
3. На підставі формули Планка розрахувати розподіл щільності випромінювання для заданої кольорової температури джерела світла.
4. На підставі пп. 2 та 3 розрахувати та побудувати криву відносної спектральної чутливості ФЕП у вигляді графіка $S_{\lambda \text{ відн}} = f(\lambda)$.

Вказівки до виконання роботи:

1. Уважно ознайомитися з експериментальною установкою, розібратися з призначенням всіх пристроїв.
2. Ввімкніть блок живлення до мережі живлення.
3. Ввімкніть лівий тумблер на панелі блока живлення (повинна світитися лампа над лівим тумблером).
4. Через 1-2 хвилини ввімкніть тумблер з правого боку (повинна засвітитися лампа над правим тумблером).
5. За допомогою набору рукояток на лицевій панелі встановіть потрібне значення вихідної напруги.
6. Ввімкніть лампу і зпроектуйте її випромінювання на вхідну щілину монохроматора.
7. Виміряйте фотострум для спектрального діапазону, що досліджується (діапазон змани 10 нм).

Контрольні запитання:

1. Яка різниця між ФЕП і вакуумним фотоелементом?
2. Поясніть фізичні принципи роботи ФЕП.
3. Чим визначається необхідність використання високовольтного блоку живлення ФЕП?
4. Дайте визначення інтегральній та спектральній чутливості ФЕП і способів їх вимірювання.
5. Що таке темновий струм? Фізична природа його виникнення.
6. Сформулюйте основні закони зовнішнього фотоефекту.
7. Сформулюйте основні принципи вибору приймача випромінювання для проведення фотометричних вимірювань.
8. Наведіть основні параметри та характеристики ФЕП. Дайте їх визначення.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4 ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ФОТОРЕЗИСТОРНОГО ПРИЙМАЧА ВИПРОМІНЮВАННЯ

Фоторезисторні приймачі випромінювання є досить поширеними пристроями для реєстрації або виявлення малих світлових потоків. Їх дія побудована на внутрішньому фотоефекті в однорідних напівпровідниках.

Відомо, що при переході електронів з домісних рівнів напівпровідників до зони провідності або з валентної зони до домісних рівнів у напівпровіднику з'являються нові вільні носії зарядів, що призводить до зміни їх концентрації і, відповідно до зміни електронних властивостей напівпровідника при попаданні на нього зовнішнього випромінювання. Це явище називається фотопровідністю, а напівпровідникові пристрої, дія яких побудована на цьому явищі - фоторезисторами.

Схема включення фоторезистора зображена на рис. 4.1

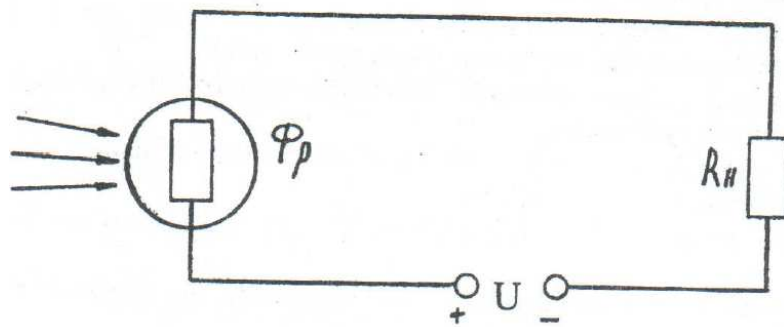


Рисунок 4.1 - Схема включення фоторезистора.

При поданні зовнішньої напруги при відсутності освітлення в ланцюзі тече струм, що називається темновим. При освітленні (внаслідок зміни електропровідності матеріалу) струм у ланцюзі змінюється. Приріст струму в ланцюзі за рахунок зміни умов освітлення називається фотострумом.

Фотострум у ланцюзі залежить не тільки від інтенсивності освітлення фоторезистора, а й від прикладеної напруги живлення, розмірів контактів, температури та ін.

Вольт-амперні характеристики фоторезисторів, як правило, є лінійними. Світлові ж характеристики (люкс-амперні), що будуються залежно від освітленості поверхні фоторезисторів (E) - нелінійні, і пропорційна залежність між фотострумом та освітленістю може спостерігатися тільки у вузькому інтервалі зміни освітленості та при малих її значеннях.

Для фоторезисторів, чутливих у видимій області спектра, прийнята така система параметрів:

1. Величина темнового опору або темнового струму.
2. Величина робочої та максимально допустимої напруги живлення.
3. Спектральна чутливість, що вимірюється при освітленні фоторезистору монохроматичним випромінюванням, та інтегральна чутливість, що вимарюється при освітленні не розкладеним світлом від джерела типу А.
4. Поріг чутливості.

Завдання до роботи:

1. Виміряйте темновий струм фоторезистора для різних значень напруги живлення.
2. Виміряйте а побудуйте графічно вольт-амперну характеристику фоторезистора за умови постійної освітленості, E .
3. Виміряйте і побудуйте графічно люкс-амперну характеристику фоторезистора (напруга постійна).
4. Розрахуйте інтегральну чутливість фоторезистора при двох рівнях освітленості (1 та 200 лк) для заданої напруги живлення.
5. Виміряйте і побудуйте графічно криву спектральної та відносної спектральної чутливості фоторезистора для заданої освітленості та заданої напруги живлення.

Вказівки до виконання роботи:

Установка для проведення досліджень являє собою фотометричну рейку, на якій встановлено фоторезистор з джерелом живлення та гальванометром, що реєструє фотострум, а також робочий еталон сили світла (лампа), яка може пересуватися відносно фоторезистора. Крім того, на рейці може бути встановлена рамка для світлофільтрів, необхідних при вимірах спектральної чутливості або монохроматор.

1. Темновий струм для заданих значень напруги живлення вимірюється із закритою фотоприймальною поверхнею фоторезистора.
2. ВАХ являє собою зв'язок між фотострумом і напругою, що подається на фоторезистор. При вимірах освітленість залишається незмінною, яку заздалегідь необхідно розрахувати, виходячи з відомих показників сили світла лампи, відстані до фоторезистора та площі приймальної поверхні.
3. Люкс-амперну характеристику вимірюють, як залежність фотоструму від освітленості, яку можна змінювати за рахунок зміни відстані між еталонною лампою та фоторезистором. Виміри проводять для двох рівнів освітленості (за вказівкою викладача).
4. Інтегральну чутливість фоторезистора можна розрахувати як

$$S_{\text{інт}} = \frac{i_{\text{ф}} - i_{\text{т}}}{E}, \text{ [мкА/лк]}. \quad (4.1)$$

5. Відносну спектральну чутливість фоторезистора слід вимірювати з використанням монохроматора або світлофільтрів, що виділяють достатньо вузьку область спектру. Необхідні фільтри та їх характеристики обирають з каталогу кольорового скла. Порядок розрахунку характеристик пропускання обраних фільтрів наведений у вищезгаданому каталозі. Відносна спектральна чутливість визначається:

$$S_{\text{відн}}(\lambda) = S(\lambda)/S_{\text{max}}, \quad (4.2)$$

Де: $S(\lambda)$ - спектральне значення чутливості для кожної області спектру в межах від 400-700 нм, яке розраховується за формулою: $S(\lambda) = I_{\lambda} / \Phi_{\text{e}\lambda}$

S_{max} - максимальне з отриманих значень спектральної чутливості фоторезистора.

Контрольні запитання:

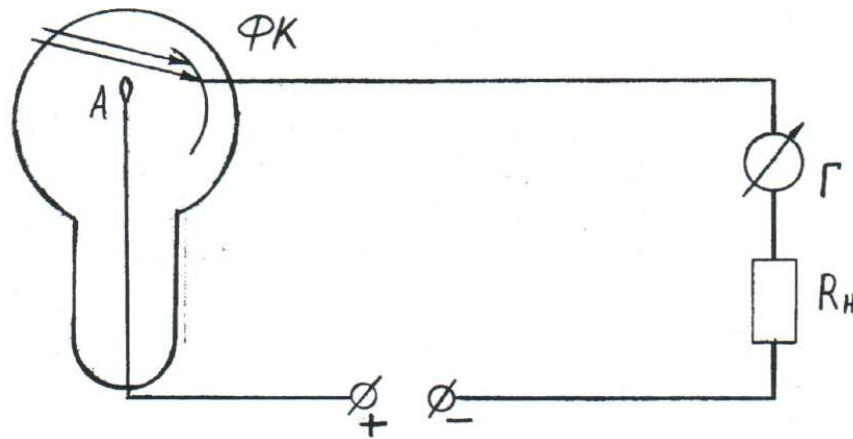
1. Принцип роботи фоторезисторного приймача випромінювання?
2. Що таке лінійність характеристики фотоприймача?
3. Дайте визначення темного струму фоторезистора.
4. Поясніть ВАХ фото резистора.
5. Які фактори впливають на величину фотоструму фоторезистора?
6. Що таке спектральна чутливість фоторезистора? Як вона визначається?
7. Дайте визначення відносної спектральної чутливості фоторезистора. Як вона розраховується?
8. Як розрахувати освітленість фотоприймальної поверхні фоторезистора за відомої сили світла?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5 ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ВАКУУМНОГО ФОТОЕЛЕМЕНТА

Для багатьох фотометричних вимірювань, пов'язаних з вимірюванням світлових потоків в якості приймачів випромінювання використовують вакуумні фотоелементи (ВФЕ).

Дія вакуумних фотоелементів заснована на зовнішньому фотоелекті, тобто випусканні електронів речовиною під дією випромінювання, що вимірюється. Конструктивно вакуумний фотоелемент являє собою скляний балон, в середині якого знаходиться анод, а на внутрішній поверхні балону нанесена світлочутлива речовина, яка є фотокатодом.

Принципова схема підключення вакуумного фотоелемента у вимірвальний ланцюг подана на рис. 5.1.



*Рисунок 5.1 - Схема підключення вакуумного фотоелемента
: ФК - фотокатод; А - анод; Г – гальванометр*

Випромінювання крізь прозору поверхню балону потрапляє на фотокатод, виконаний з матеріалу з високим коефіцієнтом вторинної емісії (сурм'яноцезієвий, срібно-кисневий та ін.). У результаті поглинання кванту випромінювання відбувається збудження (перехід на більш високі енергетичні рівні) валентних електронів. Частина їх отримує енергію, що перебільшує потенційний бар'єр на межі твердого тіла з вакуумом, і переходять вказану межу, тобто стають вільними електронами, здатними утворити електричний струм у ВФЕ.

Кількісний зв'язок між характеристиками випромінювання, що потрапляє на фотокатод і фотострумом визначається співвідношеннями, що називаються законами зовнішнього фотоелектричного ефекту:

1. Величина фотоструму в режимі насичення прямо пропорційна інтенсивності випромінювання, що падає, якщо спектральний склад останнього є незмінним (Закон Столетова).
2. Для кожної речовини існує довгохвильова (червона) межа спектру випромінювання $\lambda_{\text{чер}}$, за якою фотоemisія не відбувається (довгохвильовий поріг фотоелектричного ефекту).
3. Максимальна початкова кінетична енергія фотоелектронів зростає з частотою випромінювання, що падає і не залежить від його інтенсивності (Закон Ейнштейна).

Для виникнення спрямованого руху фотоелектронів, що залишили катод, між ним і анодом необхідно створити електричне поле. Залежність між величиною прикладеної напруги електричного поля і виникаючим фотострумом (ВАХ або основна характеристика) у більшості випадків має чітко виражене насичення (рис.5.2).

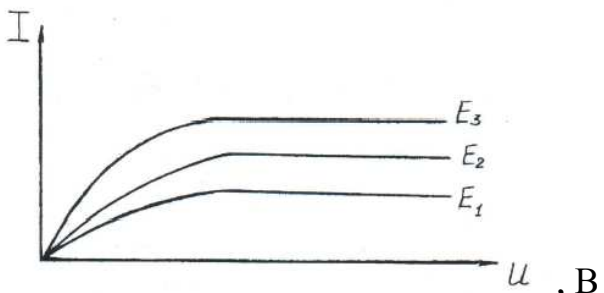


Рисунок 5.2 - Вольт-амперні характеристики вакуумного фотоелемента для різних значень освітленостей E

До найбільш важливих характеристик вакуумних фотоелементів відносять його інтегральну й спектральну чутливість. Принципова схема вимірювань вказаних характеристик надана на рис. 5.3.

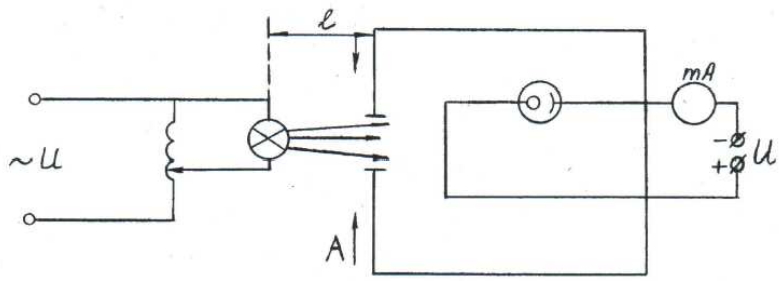


Рисунок 5.3- Принципова схема вимірювання інтегральної чутливості фотоелемента

Інтегральна чутливість фотокатода визначається як:

$$S_{\text{інт}} = \frac{i_{\phi}}{\Phi} \text{ [мкА/лм]} \quad (5.1)$$

Світловий потік визначається через силу світла еталонної лампи:

$$\Phi = E \cdot A = \frac{I}{l^2} \cdot A \quad \text{[лм]} \quad (5.2)$$

Де: I - сила світла у заданому напрямку, кд

A - площа діафрагми; м^2

l - відстань між джерелом випромінювання і діафрагмою, м.

Спектральна чутливість визначається для монохроматичних потоків

випромінювання за формулою
$$S_{\lambda} = \frac{i_{\lambda}}{\Phi_{e\lambda}} = \frac{i_{\lambda}}{\varphi_{e\lambda} \Delta\lambda}, \text{ [мкА/Вт]}, \quad (5.3)$$

де: $\varphi_{e\lambda} A$ – спектральна щільність потоку випромінювання джерела типу A

Принципове значення при проведенні вимірювань мають також характеристики вакуумних фотоелементів (лінійність, чутливості, темновий струм, стомлюваність, поріг чутливості).

Завдання до роботи

1. Зняти вольт-амперну характеристику вакуумного фотоелемента для двох рівнів освітленості (за вказівкою викладача) та визначити значення робочої напруги живлення. Побудувати ВАХ вакуумного фотоелемента (ВФЕ).
2. Виміряти інтегральну чутливість вакуумного фотоелемента.
3. Визначити та побудувати графічно відносну спектральну чутливість вакуумного фотоелемента,

Вказівки до проведення роботи

1. Для вимірювання ВАХ вакуумного фотоелемента на лабораторному столі збирають схему, що дозволяє вимірити фотострум для різних значень напруги живлення фотоелемента. Зміну напруги живлення проводять від 0 до 100 В з фіксуванням фотоструму через кожні 10 В. Потім будують графік залежності $i_{\phi} = f(U)$ для двох рівнів освітленості.
2. Для вимірювання інтегральної чутливості розраховують світловий потік лампи, який потрапляє на приймальне вікно вакуумного фотоелемента. Напруга живлення фотоелемента встановлюється за результатами, отриманими у п. 1.
3. Відносну спектральну чутливість вимірюють з використанням монохроматора УМ-2. Виділяючи (за Додатком 3) відповідні спектральні діапазони (від 400 до 700 нм через кожні 20 нм), фіксують для кожного значення спектрального діапазону фотострум. Використовуючи розподіл щільності випромінювання лампи за

спектром для заданої температури, розраховують спектральну та відносну спектральну чутливість ВФЕ:

$$S_{\text{відн}}(\lambda) = \frac{S(\lambda)}{S_{\text{max}}}, \quad (5.4)$$

яку зображують у вигляді графіка

$$S_{\text{відн}}(\lambda) = f(\lambda).$$

Контрольні запитання

1. Принцип роботи вакуумного фотоелемента?
2. Сформулюйте основні закони фотоэффекту.
3. Дайте визначення інтегральній і спектральній чутливостям приймача випромінювання?
4. Які вимоги висуваються до матеріалу для фотокатодів
5. Що таке темновий струм вакуумного фотоелемента, як його зменшити або виключити.
6. Дайте визначення інерційності, стомлюваності, старінню вакуумного фотоелемента.
7. Як обирається робоча напруга, що подається на вакуумний фотоелемент?
8. Як розрахувати освітленість приймального вікна фотоелемента?
9. Конструкція та принцип дії монохроматора, що використовується в данній роботі.
10. Яка різниця і в чому подібність між вакуумним фотоелементом та фотопомножувачем?
11. Назвіть основні сфери використання вакуумних фотоелементів.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6 ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК СЕЛЕНОВОГО ФОТОЕЛЕМЕНТА

Якщо оптично генеровані нерівноважні носії заряду - електрони й дірки розподіляються у просторі об'єму освітленого напівпровідника - відбувається не тільки зміна його провідності, але й утворення різниці потенціалів між ділянками освітленого напівпровідника. Це явище називається фотогальванічним ефектом, а різниця потенціалів, що при ньому утворюється - фотоЕРС.

Одним з типових приймачів випромінювання, дія якого заснована на зміні фотоЕРС залежно від освітленості є селеновий фотоелемент. У приймачах із запираючим шаром (вентильних) виникнення фотоЕРС пов'язане зі зміною внутрішнього електростатичного поля, що виникає в об'ємі напівпровідника поблизу контакта з іншим напівпровідником або металом і цей контакт має чітко виражену не лінійну провідність, тобто випрямляючі (вентильні) властивості. На рис. 6.1. показано типову конструкцію селенового фотоелемента.

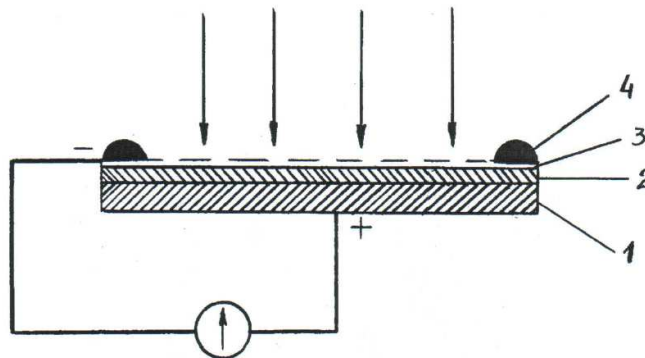


Рисунок 6.1 - Конструкція селенового фотоелемента

На контактну пластину 1, що називається підкладкою, методом термічного випаровування наносять міліметровий шар напівпровідника (селену) 2. Нанесена таким чином плівка, знаходиться в аморфному стані і не має фотоелектричних властивостей. Шар селену стає фотоактивним при температурі 200-210°C. Після такої обробки на цей шар методом катодного розпилення наносять верхній шар - електрод (Си або Ag або Al) 3. Запираючий шар виникає на межі "селен-метал". Притискна шайба 4 забезпечує необхідний електричний контакт верхнього електроду із зовнішньою клемою. Для зменшення атмосферної дії фотоелемент вкривають плівкою прозорого лаку і монтують у корпус, на якому укріплені клеми виводів.

Наявність запираючого шару і залежність його опору від освітлюваності потребує вжиття заходів, що забезпечують правильність експерименту. Загальний фотострум i що виникає в ланцюзі фотоелемента при його освітленні, являє собою суму струмів, що перебігають у двох протилежних гілках: у зовнішній, що складається з контактних пристроїв, з'єднувальних проводів та гальванометра i_r , і внутрішній, що складається з опору селену і запираючого шару, i_o (рис. 6.2.а).

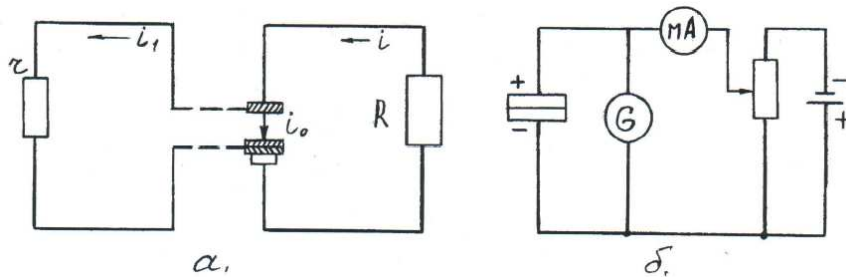


Рисунок 6.2 - Схема включення селенового фотоелемента

Якщо опір зовнішнього ланцюга є незмінним під час проведення вимірів, то опір внутрішнього ланцюга залежить від освітленості. У зв'язку з цим, вимірювання освітленості проводять при внутрішньому опорі фотоелемента, що дорівнює нулю (режим КЗ). Для цього у вимірювальну схему підключають додаткове джерело компенсуючої напруги (рис. 6.2.б). При заданій освітленості

за допомогою потенціометра досягають такого стану, щоб стрілка гальванометра встановлювалася на нульовій позначці, тоді фотострум, що його показує мікроамперметр або гальванометр, відповідатиме реакції приймача на випромінювання і в цьому випадку його інтегральна чутливість) може бути визначеною, як

$$S_{\text{інт}} = i_{\Phi} / \Phi, \text{ [мкА/лм]}. \quad (6.1)$$

Спектральну чутливість визначають за допомогою монохроматора або світлофільтрів, які виділяють вузькі спектральні лінії.

Розрахунок проводиться за формулою

$$S_{\lambda} = \frac{i_{\lambda}}{\Phi_{e\lambda}} = \frac{i_{\lambda}}{\varphi_{e\lambda}} \text{ [мкА/Вт]} \quad (6.2)$$

Відносна спектральна чутливість визначається за формулою

$$S_{\text{відн}}(\lambda) = \frac{S(\lambda)}{S_{\text{max}}}, \quad (6.3)$$

яку зображують у вигляді графіка $S_{\text{відн}}(\lambda) = f(\lambda)$

Завдання до роботи

1. Визначити стомлюваність селенового фотоелемента.
2. Визначити інтегральну чутливість фотоелемента в режимі короткого замикання при двох значеннях освітленості (за вказівкою викладача).
3. Визначити відносну спектральну чутливість селенового фотоелемента у видимій області спектра.
4. Визначити люкс-амперні характеристики селенового фотоелемента при різних опорах навантаження та побудувати сімейство кривих цих залежностей.

Вказівки до проведення роботи

1. Стомлюваність фотоелемента визначити як

$$K = \frac{i_2 - i_1}{i_1} \cdot 100, \% \quad (6.4)$$

де i_1 - величина фотоструму через 5-10 секунд після падіння на фотоелемент випромінювання, що вимірюється

i_2 - те ж, після 10-15 хвилин.

2. Після освітлення фотоелемента при положенні нижнього тумблера "Вкл", а верхнього - "Коротке замикання" за допомогою потенціометра досягти нульового показання гальванометра і записати величину фотоструму. Розрахувати освітленість поверхні фотоелемента за законами зворотних квадратів, знайти світловий потік, що падає на поверхню фотоелемента і визначити інтегральну чутливість

3. Провести відповідні вимірювання та розрахувати спектральну та відносну спектральні чутливостей з використанням монохроматора, побудувати криву залежності $S_{\text{відн}}(\lambda) = f(\lambda)$.

4. При положенні нижнього тумблера "Викл", а верхнього - "Опір навантаження", виміряти фотострум за умови постійної освітленості, але при зміні опору за допомогою магазину електричних опорів, що знаходяться на лабораторному столі. Виміри повторити для 4-5 значень освітленості (за вказівкою викладача) і побудувати залежність $i_{\phi} = f(E)$ при різних значеннях опору R.

Контрольні запитання

1. Принцип роботи селенового фотоелемента.
2. Конструкція селенового фотоелемента та його еквівалентна електронна схема.
3. За яких умов вимірюється інтегральна чутливість селенового фотоелемента.
4. Що таке старіння та стомлюваність селенового фотоелемента.
5. Який вигляд має вольт-амперна характеристика селенового фотоелемента.
6. Для чого використовують коригуючі світлофільтри в селенових фотоелементах.
7. Дайте визначення спектральній чутливості. Назвіть способи її вимірювання.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7

ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ФОТОДІОДА ТИПУ ФД-24К

Одним з поширених приймачів оптичного випромінювання, в основі роботи якого лежить внутрішній фотоефект є фотодіод. Як відомо, внутрішній фотоефект у напівпровідниках може з'явитися при зміні їх провідності (як в фоторезисторах) або об'ємному розподілі носіїв зарядів (електрони й дірки), що призводить до виникнення фотоЕРС. На відміну від селенових фотоелементів, що працюють за принципом фотогальванічного ефекту без використання зовнішнього джерела живлення, фотодіоди можуть також працювати за умови, що на **p-n** перехід подано зворотне **зміщення** (тобто в цьому разі фотоелемент являє собою напівпровідниковий діод, зворотна гілка ВАХ якого змінюється під дією освітленості). На рис. 7.1 подані схеми підключення фотоелементів як у фотогальванічному, так і у фотодіодному режимах.

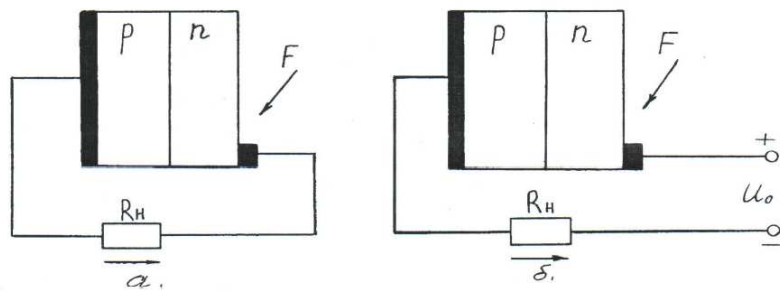


Рисунок. 7.1 - Схеми включення фотоелементів:
 а - фотогальванічний режим; б - фотодіодний режим.

Слід пам'ятати, що фотодіод може працювати у будь-якому з відомих режимів, тоді як селенові фотоелементи у фотодіодному режимі працювати не можуть.

Інтегральна чутливість фотодіода визначається як відношення фотоструму при невеликому зворотному зміщенні до світлового потоку, що його викликав. У свою чергу, фотострум у фотодіодному режимі визначається як різниця струмів, що течуть у ланцюзі освітленого діода i та темнового i_T , що дорівнює зворотному струму неосвітленого фотодіода при тій самій напрузі.

$$S_{\text{інт}} = \frac{i_{\phi} - i_T}{\Phi}.$$

Якщо зіставити інтегральні чутливості приймачів, що увікнуті в фотогальванічному та фотодіодному режимах, то вони будуть практично однаковими. Перевагою фотодіодного режиму підключення над фотогальванічним є зменшення інерційності, що є дуже важливим при вимірюванні світлових потоків, які швидко змінюються.

Недоліком фотодіодного режиму є необхідність використання додаткового джерела живлення. Тому вибір режиму підключення приймача випромінювання визначають у кожному конкретному випадку з урахуванням характеру завдань, що вирішуються.

Завдання до роботи

1. Виміряти інтегральну чутливість фотодіода при його підключенні у фотогальванічному та фотодіодному режимах.
2. Виміряти темновий струм при підключенні ФД-24К у фотодіодному режимі.
3. Перевірити лінійність чутливості ФД-24К.
4. Виміряти спектральну та відносну спектральну чутливість ФД-24К у видимій області спектру, побудувати залежність

$$S_{\text{відн}}(\lambda) = f(\lambda).$$

Вказівки до проведення роботи

1. Для вимірювання інтегральної чутливості приймач ФД-24К, приймальна площа якого становить $0,7 \text{ см}^2$, вміщують у тубус, на протилежному боці якого розташована лампа з відомим у напрямку приймача значенням сили світла (25 кд).. На лабораторному столі є також блок живлення з повільним

поданням напруги у межах 0-30 Вольт. Зібравши схему (дивись рис. 7.1 а, б), по черзі отримують значення фотоструму і розраховують інтегральну чутливість для двох режимів підключення фотодіода.

2. У фотодіодному режимі вимірюють фотострум при заданій напрузі живлення й ввімкненій лампі.
3. У фотогальванічному режимі вимірюють фотострум при різних відстанях між приймачем ФД-24К і лампою (за вказівкою викладача). Будують залежність $i_{\phi} = f(E)$.
4. Відносну спектральну чутливість фотодіода ФД-24К вимірюють на установці, блок-схема якої зображена на рис. 7.2. Відносна спектральна щільність випромінювання $\Phi_e(\lambda)$ стандартного джерела (типу А, В, С) подана у Додатку 3.



Рисунок 7.2 — Блок - схема установки для вимірювання спектральної чутливості:
 1 - джерело світла з відомою температурою тіла розжарювання (джерело типу А);
 2 - спектральний прилад (монохроматор УМ-2);
 3 - приймач випромінювання, що досліджується;
 4 - прилад, що вимірює фототок (мікроамперметр)

Випромінювання джерела проектується на вхідну щілину монохроматора. Повертаючи барабан з поділками, виділяють ту чи іншу довжину хвилі випромінювання. Зв'язок між довжиною хвилі, відліком на барабані та шириною вхідної щілини монохроматора УМ-2 надано у Додатку 2. Для контролю правильності цього зв'язку необхідно періодично здійснювати перевірку та градуїровку монохроматора. В монохроматорі замість насадки з вхідною щілиною встановлюють насадку з окуляром для візуального спостереження спектра. Як еталон обирають ртутну лампу, що має чітко виражений лінійчатий спектр з відомими лініями (404 нм фіолетовий, 436 нм - синій, 546 нм - зелений, 577 нм - жовтий). Зіставляючи положення вказаних ліній з відліком по барабану, перевіряють правильність проведеного градуювання.

Порядок вимірювання відносної спектральної чутливості фотоприймача такий:

1. Увімкнути джерело випромінювання (лампу) в мережу живлення і спроектувати її випромінювання на вхідну щілину монохроматора.
2. Встановити необхідний відлік на барабані та ширину вхідної щілини монохроматора для конкретного значення довжини хвилі.
3. Зафіксувати за допомогою мікроамперметра значення фотоструму (i_{ϕ}) в ланцюзі приймача випромінювання.
4. Аналогічним чином послідовно пройти увесь спектр, що досліджується (через 20 нм).
5. Розрахувати спектральну та відносну спектральну чутливості фотодіоду та побудувати криву залежності $S_{\text{відн}}(\lambda) = f(\lambda)$.

Контрольні запитання

1. Дайте визначення фотодіодного і фотогальванічного режимів роботи приймачів випромінювання.
2. Сформулюйте поняття інтегральної і спектральної чутливості приймачів.
3. Поясніть будову і принцип дії монохроматора УМ-2.
4. Що таке лінійність приймача, як вона визначається?
5. Що таке темновий струм приймача? Яка природа його виникнення?
6. Поясніть принцип роботи фотодіода ФД-24К.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 8 ВИМІРЮВАННЯ СВІТЛОВОГО ПОТОКУ

Мета роботи : практичне вивчення методів виміру світлового потоку.

Готуючись до виконання роботи, варто повторити такі теми: методи вимірювання світлового потоку, подовжня крива сили світла та її побудова, світлова система величин, поняття зонального тілесного кута, улаштування та принцип дії інтегруючого (рис.8.1) та розподільчого (рис 8.2.) фотометрів, фотометричні схема для виміру сили світла за допомогою селенового фотоелемента.

Інтегруючий фотометр.

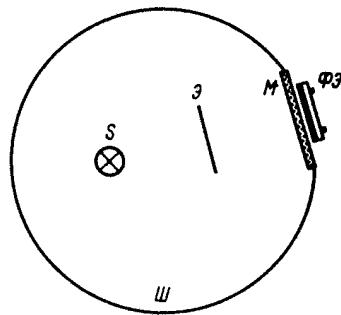


Рисунок.8.1 – Інтегруючий фотометр

Інтегруючий фотометр (рис.8.1) являє собою порожній замкнутий кульовий чи циліндричний обсяг, внутрішня поверхня якого покрита білою дифузною відбиваючою світло фарбою. У стінці кулі зроблено отвір, перекритий молочним склом (МС), за яким розміщений фотоелемент (ФЕ).

При розміщенні у фотометрі джерела світла S , у кожній точці внутрішньої поверхні фотометра буде створюватися освітленість $E_{\text{повн}}$, створювана безпосередньо прямим світловим потоком, що йде від джерела світла $\Phi_{\text{пр}}$ і світловим потоком, що утворився за рахунок багаторазових відображень світлового потоку джерела від стінок фотометра – $\Phi_{\text{мко}}$, тобто

$$E_{\text{повн}} = E_{\text{пр}} + E_{\text{мко}}, \quad (8.1)$$

де $E_{\text{пр}}$ – нормальна освітленість, яка створюється джерелом світла при безпосередньому падінні світла на поверхню кулі;

$E_{\text{мко}}$ – освітленість, створювана за рахунок багаторазових відображень світлового потоку від стінок фотометра.

Очевидно, що освітленість $E_{пр} = I \cos\alpha / l^2$ не буде однакою у всіх точках поверхні фотометра, тому що вона залежить від розташування джерела S у середині кулі і від його кривої світлорозподілу.

Освітленість

$$E_{мко} = \Phi\rho / (1-\rho) 4\pi r^2, \quad (8.2)$$

де r – радіус кулі, ρ – коефіцієнт відбиття матеріалу поверхні кулі.

Як бачимо, освітленість пропорційна світловому потоку джерела. Тому, якщо за допомогою малого непрозорого екрана захистити поверхню ФЕ від падіння прямого випромінювання, то освітленість на його поверхні

$$E = E_{повн} = E_{мко} = a\Phi \quad (8.3),$$

де a - залежить тільки від властивостей кулі, тобто E буде пропорційна лише вимірюваному світловому потоку.

Якщо досліджуване джерело S з невідомим світловим потоком Φ_x замінити у середині кулі на еталонне джерело зі світловим потоком $\Phi_{ет}$, то освітленість на поверхні кулі складатиме

$$E_{ет} = a\Phi_{ет} \quad (8.4),$$

чи розділивши співвідношення 1 на 2, одержимо

$$\Phi_x = \Phi_{ет} E / E_{ет} \quad (8.5)$$

Для виміру досліджуваного потоку джерела – Φ , фотоеlement замикають на гальванометр із досить малим опором і визначають струми i_x та $i_{ет}$, що виникають у ланцюзі ФЕ при освітленостях E_x и $E_{ет}$ на молочному склі. Відношення $i_x / i_{ет}$ та $E / E_{ет}$ можна вважати рівними і тому обчислюємо світловий потік Φ відповідно

$$\Phi_x = \Phi_{ет} i_x / i_{ет}. \quad (8.6)$$

Розподільчий фотометр.

Розподільчий фотометр являє собою пристрій, що дає змогу виміряти світловий потік джерела світла за методом зональних тілесних кутів (рис.8.2.). Суть цього фотометра полягає у можливості спрямувати пучок світла від джерела до приймача випромінювання за різними кутами, на основі чого будується подовжня крива сили світла, тобто крива розподілення сили світла в просторі. На рис.8.2 наведено фотометричну схему улаштування розподільчого фотометра.

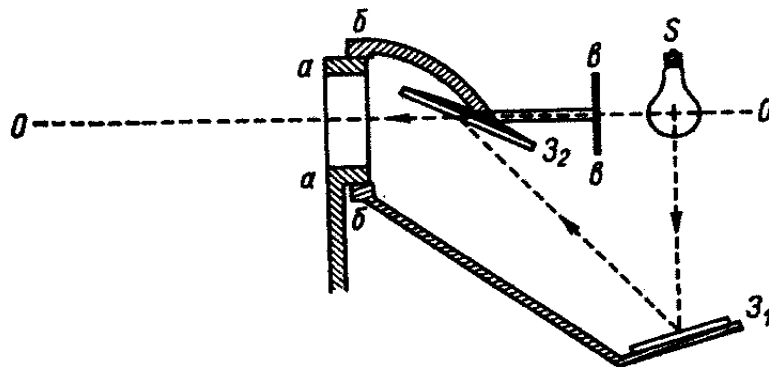


Рисунок 8.2 – Розподільчий фотометр

Завдання для роботи

1. Виміряти світловий потік люмінесцентної лампи (ЛЛ) і лампи розжарювання (ЛР) в інтегруючому фотометрі при номінальній напрузі живлення лампи.
2. Виміряти подовжню криву сили світла (КСС) ЛЛ та ЛР за допомогою розподільчого фотометра.
3. Розрахувати світловий потік досліджуваних ламп по побудованій КСС за допомогою методу зональних тілесних кутів.
4. Порівняти значення світлових потоків, отриманих за результатами п.1 - 3.
5. Оцінити похибку вимірів.

Порядок виконання роботи

1. Виміряти світловий потік досліджуваних ЛЛ і ЛР за допомогою інтегруючого фотометра

Для цього необхідно спочатку у фотометр помістити еталонне джерело світлового потоку і при номінальній напрузі його живлення, записати значення фотоструму гальванометра – $i_{\text{ет}}$, яке пропорційне світловому потоку цієї лампи – $\Phi_{\text{ет}}$.

Потім розташувати в інтегруючому фотометрі досліджувані лампи (по черзі) і, встановивши номінальну напругу його живлення, виміряти значення струму гальванометра - i_{x1} , i_{x2} .

Вимірюваний світловий потік визначається за співвідношенням:

$$\Phi_x = A \Phi_{\text{ет}} i_x / i_{\text{ет}}$$

де A – відносна актинічність, що враховує розходження спектрального складу випромінювання еталонної ЛР і досліджуваного джерела. Для ЛР $A=1$, для ЛЛ $A=0,98$.

2. Для виміру подовжньої кривої сили світла (КСС) джерел використовується розподільчий фотометр з селеновим фотоелементом (СФЕ).

Виміри виконуються в наступній послідовності: на деякій відстані l від фотоелемента, яка протягом усіх вимірів повинна залишатися постійною,

встановлюється еталонне джерело із силою світла $I_{\text{ет}}$. Фотострум, що виникає при освітленні приймача випромінювання, вимірюється за допомогою гальванометра – $i_{\text{ет}}$ та записується у лабораторний журнал. Потім замість еталонного джерела встановлюємо досліджуване джерело світла I_x . Зберігаючи відстань постійною, знову вимірюємо значення струму в ланцюзі гальванометра і записуємо його значення - i_x .

Сила світла досліджуваного джерела визначається за формулою

$$I_x = I_{\text{ет}} i_x / i_{\text{ет}}$$

Подібні виміри слід провести для різних напрямків α .

Для цього потрібно повертати досліджуване джерело за допомогою поворотного пристрою через 10° . А для дзеркальної лампи через 5° . Вимір повторити два рази в різних меридіональних площинах для кутів \square , які відрізняються на 90 градусів. Знайти середню криву сили світла, яку і взяти за основу подальших розрахунків.

Звернути увагу на усунення впливу темного струму на проведені виміри.

3. За отриманими експериментальними даними побудувати КСС у полярній системі координат для двох джерел світла.
4. За допомогою методу зональних тілесних кутів по отриманій КСС визначити світловий потік досліджуваних джерел світла. Значення зональних тілесних кутів наведені у Додатку 4.

Дані обчислень і вимірів занести у табл. 8.1.

Таблиця 8.1 - Обчислення світлового потоку методом зональних тілесних кутів

$\alpha_i, ^\circ$	$I_{\alpha i}$ (кд)	$\Delta\omega_i$ (ср)	$I_{\alpha i}\Delta\omega_i$ (лм)

$$\Phi = \sum \Phi_{\text{зон}} = \sum I_{\alpha i} * \Delta\omega_i$$

5. Обчислити абсолютну і відносну похибки вимірювання світлового потоку досліджуваних джерел світла на підставі двох методів.

Оформлення звіту

У звіті наводяться завдання для роботи, схеми вимірів, дані вимірів і обчислень, зведені у таблиці, обробка результатів вимірів, використовувані для розрахунків співвідношення.

Контрольні запитання

- 1.Що називається енергетичним потоком випромінювання, одиниці його виміру?
- 2.Що називається світловим потоком, одиниці його виміру?
- 3.Що таке 1 люмен?
- 4.Що називається тілесним кутом, одиниці його виміру.
5. Зональний тілесний кут, одиниці його виміру.

6. Що називається силою світла , одиниці її виміру?
7. У чому полягає метод зональних тілесних кутів?
8. Що таке подовжня крива сили світла і її графічне зображення?
9. Фотоелектричний метод виміру сили світла.
10. Улаштування та принцип дії розподільчого фотометра.
11. Принцип роботи інтегруючого фотометра.
12. Вимір світлового потоку за допомогою інтегруючого фотометра.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 9 ВИМІР СИЛИ СВІТЛА І ЯСКРАВСТІ ДЖЕРЕЛ ЗА ДОПОМОГОЮ ФОТОМЕТРА АФМ

Метою цієї роботи є ознайомлення з улаштуванням і застосуванням фотометра АФМ та вимір таких світлових величин як:

1. Яскравість світної поверхні люмінесцентної лампи (ЛЛ) і лампи розжарювання (ЛР).
2. Сила світла ЛЛ та ЛР.

Призначення та область застосування фотометра АФМ

Фотоелектричний фотометр АФМ, який наведено на рис. 9.1, призначено для виміру сили світла, направлено світлового потоку джерел світла, яскравості світних та освітлених об'єктів і освітленості.

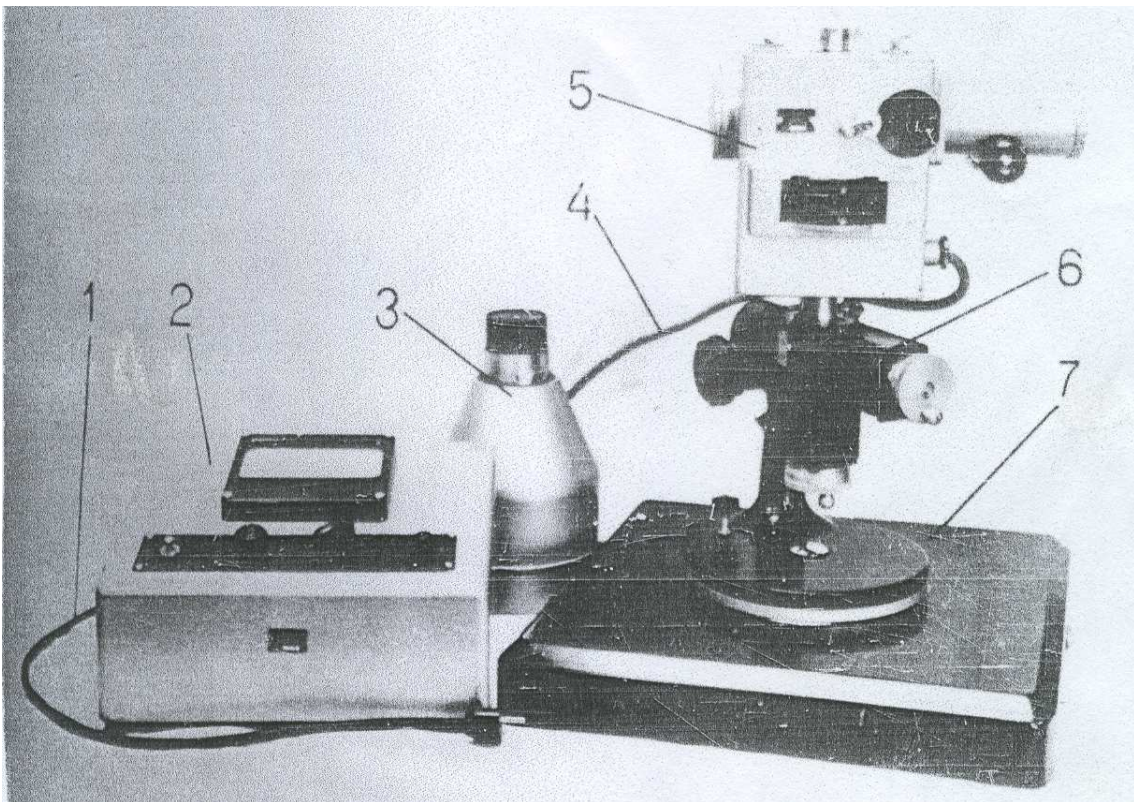


Рисунок 9.1 – Загальний вигляд фотометра АФМ

Основні дані приладу

- | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| 1. Межа виміру сили світла | $1 \cdot 10^3$ кд. |
| 2. Гранична величина яскравості | $25 \cdot 10^6$ кд/м ² |
| 3. Гранична величина освітленості | $1 \cdot 10^3$ лк. |
| 4. Найбільший розмір світного джерела | 110 мм. |
| 5. Для розширення меж виміру застосовуються нейтральні світлофільтри, коефіцієнти пропускання яких приблизно дорівнюють 0,1; 0,01; 0,001. | |
| Переключенням рукоятки чутливості на пульті керування АФМ межі виміру розширюються в 2 і 10 разів. | |
| 6. Похибка вимірювання не перевищує 8%. | |

Оптична схема приладу

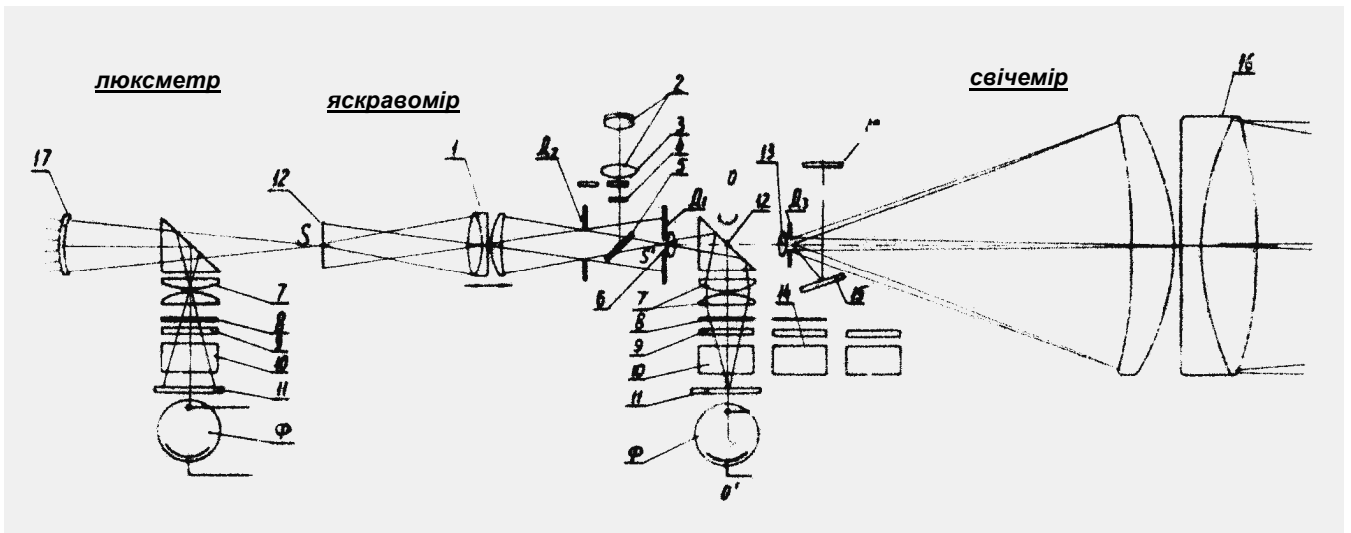


Рисунок. 9.2 – Оптична схема фотометра АФМ

Фотометр складається з трьох основних частин: приладу для виміру сили світла – свічоміру (об'єктив 16); яскравоміра (об'єктив 1) і люксметра (молочне скло 17). Усі три прилади мають один спільний приймач світла – багатолужний фотоелемент, а також спільну призму 12, конденсор 7, нейтральні світлофільтри 9, молочне скло 11 та шторку 14. Призма 12 повного внутрішнього відбиття направляє світло від світних об'єктів або молочного скла до фотоелемента. Конденсор утворює зображення діафрагми Д1 об'єктива яскравоміра 1. Діафрагма Д3 об'єктива свічоміру створить зображення світної поверхні на молочному склі 11.

У свічомірі випромінювання джерела світла, розташованого перед об'єктивом, проходить об'єктив 16 з діафрагмою Д3, колектор 13, призму 12, конденсор 7, нейтральні та кольорові світлофільтри 8,9,10, молочне скло 11 і попадає на фотоелемент Ф. Дзеркало 15 із захисним склом 18 служить для наведення приладу на джерело світла.

В яскравомірі за об'єктивом 1 розташовані діафрагми Д1 з діаметрами отвору: 5,1,0.2 мм, що визначають розмір ділянки, яка вимірюється.

У люксометрі випромінювання джерела проходить через молочне скло 17 і попадає на призму 12, а далі зазначеним вище шляхом на фотоелемент Ф.

Підготовка приладу до роботи

1. Прилад через пульт керування (рис.9.3) підключити до мережі живлення і прогріти його протягом 30 хв.

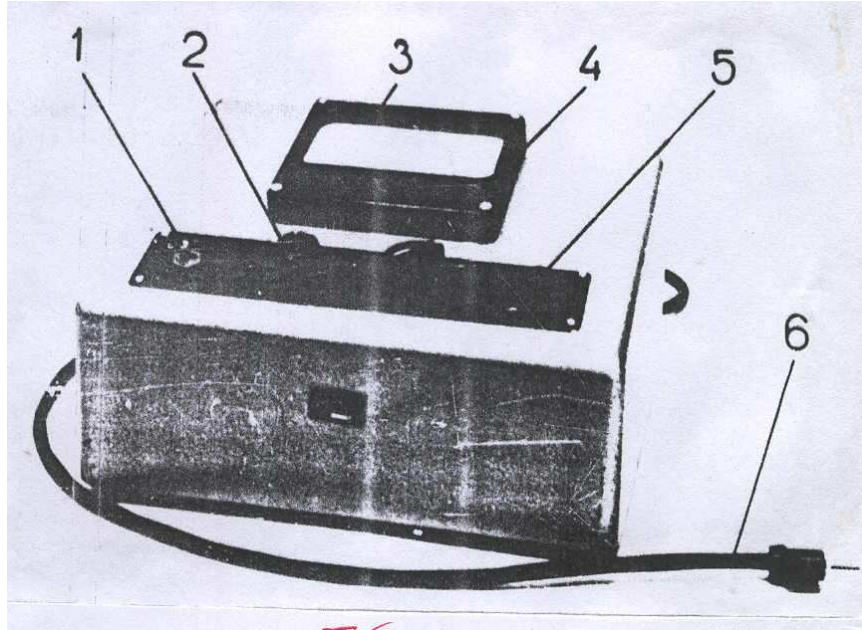


Рисунок 9.3 – Пульт керування АФМ

2. Встановити на „0” по шкалі приладу чутливість вимірювального приладу потенціометром 2.
3. Переключити рукоятку 4 на пульті керування у положення „К”.
4. Тумблер 3 встановити в положення „НЛ”.
5. Потенціометром 2 встановити на вимірювальному приладі число розподілу, яке відповідає напрузі на лампі контрольного освітлювача, що вказано в паспорті приладу (Додаток 5).
6. Переключити тумблер 3 в положення „С” та зняти показання по шкалі вимірювального приладу. Середнє з п'яти відліків порівняти з величиною, яка вказана у паспорті (34). Перед кожним вимірюванням стрілку вимірювального приладу встановлювати потенціометром на „0”. Якщо виміряна величина відрізняється від указаної в паспорті, слід увести поправку на чутливість приладу, яка визначається:
$$P = K1 / K2$$
де K1 – відлік по вимірювальному приладу, що вказаний у паспорті, K2 – відлік при перевірці.
7. При всіх наступних вимірах тумблер 3 повинен знаходитися у положенні „С”.
8. Установити чутливість приладу переключенням рукоятки 4 в положення „1”.

9. Перед кожним вимірюванням перевірити установку на “0” вимірювального приладу.

Вимірювання яскравості

Оптична система яскравоміра приладу АФМ (рис.9.4), складається з об’єктива 3, змінної діафрагми 1 та нерухокої апертурної діафрагми 2.

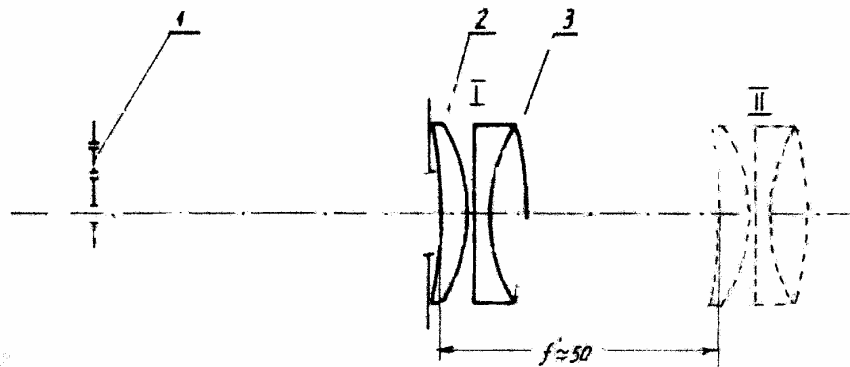


Рисунок 9.4 – Оптична схема об’єктиву яскравоміра

Апертурна діафрагма забезпечує незалежність показу приладу від відстані до вимірювального об’єкта при постійній по поверхні джерела яскравості.

Порядок виміру яскравості наступний:

1. При вимірюванні яскравості рукоятку 11 (рис.9.5.) встановити у положення ЯСКРАВОМІР.
2. Рукояткою 10 включити діафрагму 1мм.
3. Увести коригуючий фільтр. Для цього диск 6 із кольоровими світлофільтрами переключити у положення „ЗЕЛЕНИЙ”.
4. Під час вимірів слідкувати, щоб стрілка вимірювального приладу не зникала з поля зору. Для цього вимірювання слід розпочинати встановивши нейтральний світлофільтр, який має найбільшу щільність (3) за допомогою дисків 7 і 8, а чутливість приладу – якомога меншу („положення 1” рукоятки 4).
5. Переключенням диску 7 із нейтральними світлофільтрами встановити бажаний фільтр. Значення світлофільтрів указані в атестаті приладу (Додаток 5).
6. Включити вимірюване джерело світла.
7. Навести яскравомір на ділянку, що вимірюється. Для цього необхідно, дивлячись в окуляр, добитися за допомогою маховичка 15 чіткого зображення об’єкта.

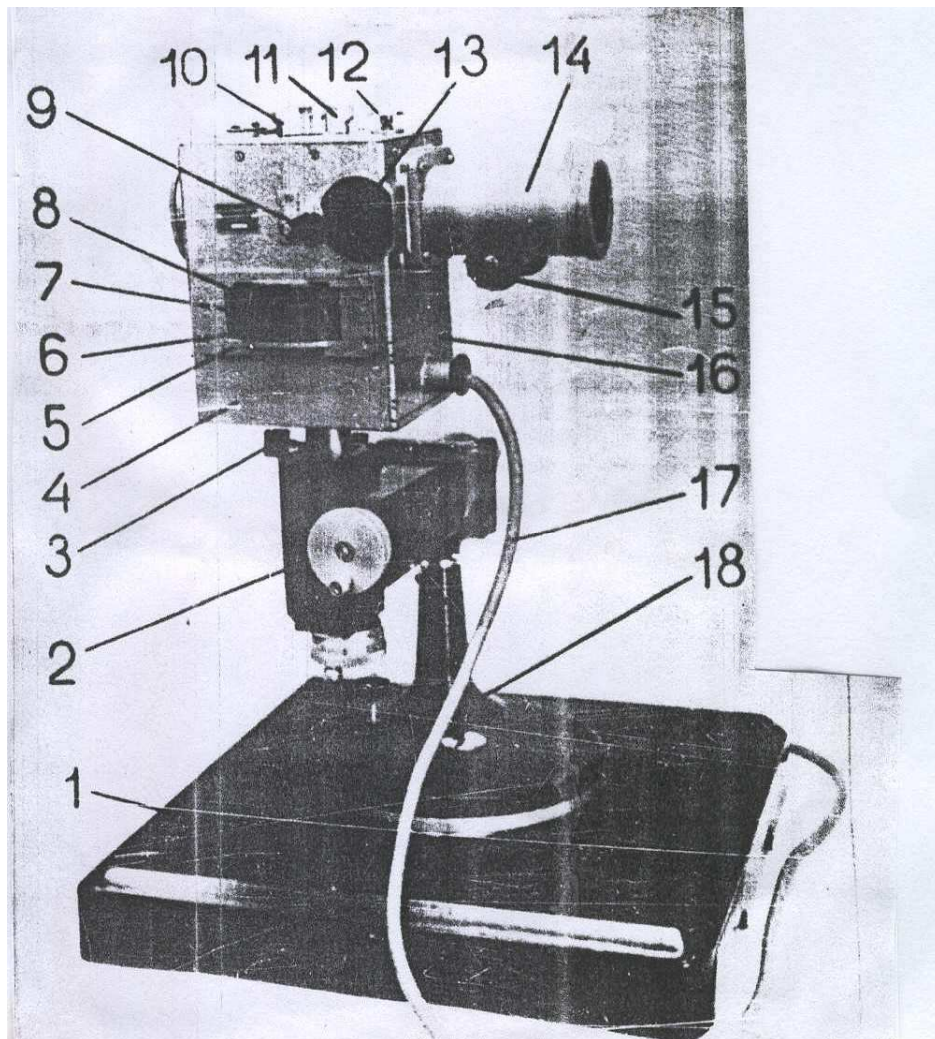


Рисунок 9.5– Фотометр АФТ (вимірювання яскравості)

8. Після отримання чіткого зображення вимірювального об'єкта в окулярі по шкалі вимірювального приладу робиться відлік A_2 .

Вимірювальна яскравість джерела світла розраховується за формулою:

$$L = A_2 \cdot C_2 \cdot \frac{1}{\tau} \cdot \Pi, \quad (9.1)$$

де C_2 - ціна розподілу приладу, кд/м^2 розпод.(по атестату приладу),

Π_2 - поправка на чутливість приладу,

A_2 - відлік розподілів по шкалі приладу,

$\square_{\text{заг}}$ - загальний коефіцієнт пропускання обраних світлофільтрів.

Вимірювання сили світла та світлового потоку

Для вимірювання сили світла в фотометрах, які називаються – свічелірами, використовується телецентрична оптична система. Вона складається з об'єктива 1 та діафрагми 2, що розташовані в його фокальній площині (рис.9.6.)

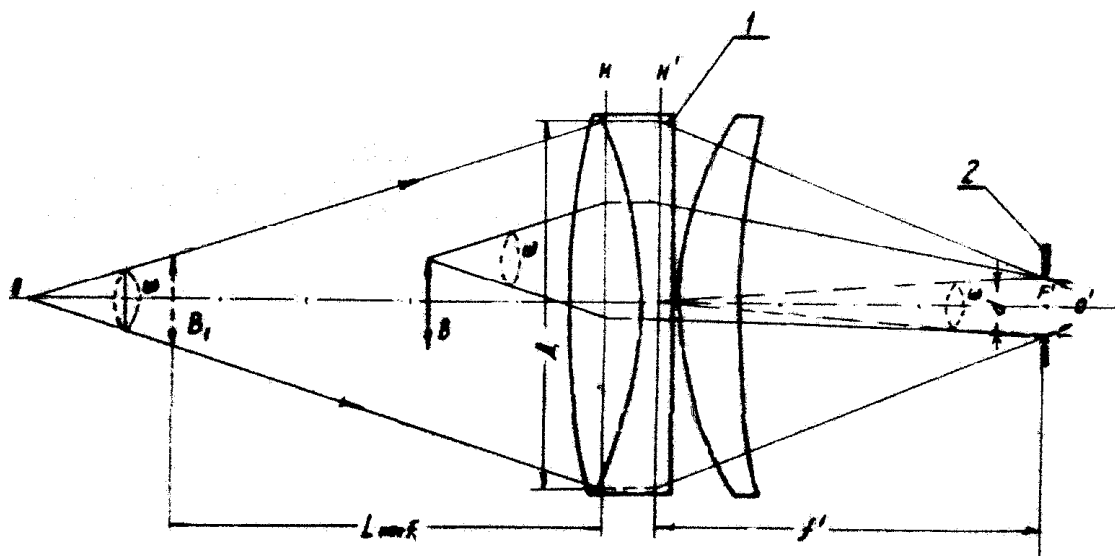


Рисунок 9.6 – Оптична схема свічечміра

Така система обирає з усієї множини променів від джерела світла тільки ті, які обмежені тілесним кутом,

$$\omega = \frac{\pi d^2}{4f^2}, \quad (9.2)$$

де: d – діаметр діафрагми, який дорівнює 5 мм.;
 f – фокусна відстань об’єктива, яка складає 200 мм.

Для виміру сили світла користуються об’єктивом, що може зніматися, він встановлюється у фотометрі. Вимірюване джерело світла встановлюють перед об’єктивом приладу так, щоб воно не виходило за межі тілесного кута. Необхідно стежити і за тим, щоб на об’єктив приладу не попадало пряме світло від сторонніх об’єктів та джерел.

Установивши джерело світла перед об’єктивом, слід пам’ятати, що вимірювання світлового потоку відбувається в напрямі оптичної осі приладу.

Після вмикання джерела світла в мережу береться відлік по шкалі вимірювального приладу.

Розрахунок сили світла виконують за формулою:

$$I = A \cdot C \cdot \frac{1}{\tau} \Pi; \quad (9.3)$$

де C – ціна розподілу приладу, кд/м^2 розпод.(по атестату приладу),

Π – поправка на чутливість приладу,

A – відлік розподілів по шкалі приладу,

$\square_{\text{заг}}$ – загальний коефіцієнт пропущення обраних світлофільтрів.

Ціна розподілення приладу та коефіцієнт пропущення нейтральних світлофільтрів наведено в Додатку 5.

Завдання до роботи

1. Провести перевірку фотометра та підготувати його до роботи. (П. Підготовка приладу до роботи).
2. Виміряти яскравість ЛЛ та ЛР.

Для цього встановити перед фотометром спочатку ЛЛ потужністю $P=8$ Вт, напруга живлення якої – 127 В і включити її, а потім ЛР при номінальній напрузі живлення 220 В.

УВАГА: Для запобігання виходу вимірювального приладу з ладу необхідно перед початком роботи встановити рукоятку “К” на пульті керування у положення найменшої чутливості “1” і ввести нейтральний світлофільтр з великою щільністю №3.

У подальшому необхідно змінювати чутливість фотоелемента за допомогою світлофільтрів, щоб відхилення стрілки вимірювального приладу було б у середині шкали. Це збільшить точність вимірювання. Порядок вимірювання яскравості наведено вище.

3. Виміряти силу світла ЛЛ та ЛР.

Для цього переключити фотометр у положення свічечіра.

4. Розрахувати силу світла досліджених джерел світла по вимірній яскравості та порівняти результати, що отримані експериментально і розрахунковим методом.

Для розрахунків використовувати відомі формули

$$L = \frac{I}{A_{np}} \quad (9.4)$$

5. За вимірними значеннями сили світла та яскравості розрахувати значення світлового потоку Φ досліджених ламп за формулами та обчислити значення світлової віддачі досліджуваних ламп.

$$\Phi = \square LA \quad (9.5)$$

$$\Phi = I\pi^2 \text{ – для ЛЛ} \quad (9.6)$$

$$\Phi = 4 \pi I \text{ – для ЛР} \quad (9.7)$$

$$H = \frac{\Phi}{P} \quad (9.8)$$

Контрольні запитання

1. Що називається яскравістю, світловим потоком, силою світла?
2. Основні співвідношення між яскравістю, світловим потоком та силою світла.
3. Будова та призначення фотометра АФМ, його оптична схема.
4. Принцип виміру яскравості, оптична схема виміру яскравості.
5. Принцип та оптична схема виміру сили світла.
6. Які ще Вам відомі способи визначення сили світла?
7. Методики визначення світлового потоку в цій роботі. Які ще Вам відомі способи визначення світлового потоку.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 10 ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ НАГРІТИХ ТІЛ МЕТОДОМ ОПТИЧНОЇ ПІРОМЕТРІЇ

Метою даної лабораторної роботи є вивчення способів і одержання практичних навичок виміру температури нагрітих тіл методом оптичної пірометрії.

Теоретичною базою оптичної пірометрії є закони теплового випромінювання:

а) Закон Кірхгофа:

$$le(\lambda T) = les(\lambda T)\alpha(\lambda T); \quad (10.1)$$

б) Закон Стефана – Больцмана:

$$M_{es} = \sigma T^4; \quad (10.2)$$

в) Закон Планка:

$$mes(\lambda T) = C_1 \lambda^{-5} \left[e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1 \right]^{-1}; \quad (10.3)$$

де $les(\lambda T)$, $le(\lambda T)$ – спектральна енергетична яскравість чорного та реального тіла, яка залежить від довжини хвилі та температури;

- $\alpha(\lambda T)$ – коефіцієнт поглинання випромінювання;
- M_{es} – енергетична світність чорного тіла;
- σ – постійна Стефана – Больцмана;
- $m_{es}(\lambda T)$ – спектральна енергетична світність чорного тіла;
- C_1, C_2 – постійні у формулі Планка.

Випромінювання реальних тіл відрізняється від випромінювання чорного тіла і ця різниця враховується при розрахунках введенням інтегрального та спектрального коефіцієнтів випромінювання реального тіла ϵ та $\epsilon(\lambda, T)$.

Крім цього, для зіставлення реальної температури із температурою чорного тіла вводять, так звані, “еквівалентні температури: енергетичну $T_{ен}$, яскравісну $T_{я}$ та колірну $T_{кол}$.”

Зв’язок між істинною температурою тіла і “еквівалентними температурами” визначається співвідношеннями, що виходять з вищенаведених законів теплового випромінювання:

$$T_{icm} = \frac{T_{ен}}{\sqrt[4]{\epsilon_T}}; \quad (10.4)$$

$$T_{icm} = \frac{C_2}{\lambda} \cdot \frac{I}{\frac{C_2}{\lambda T_{я}} + \ln \epsilon(\lambda, T)}; \quad (10.5)$$

$$\frac{1}{T_{icm}} = \frac{1}{T_{кол}} - \frac{\ln \frac{\epsilon(\lambda_1 T)}{\epsilon(\lambda_2 T)}}{C_2 \left(\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2} \right)}. \quad (10.6)$$

У фотометрії найбільш часто доводиться вимірювати істинну температуру тіла ($T_{\text{ист}}$) через яскравісну чи колірну.

Яскравісна температура визначається як температура чорного тіла, при якій його яскравість у вузькій області спектра на довжині хвилі 665 нм дорівнює яскравості реального тіла тієї ж області спектра при його істинній температурі.

Яскравісна температура може бути визначена шляхом вимірювання оптичним яскравісним пірометром із зникаючою ниткою.

На рис. 10.1 наведена схема такого пірометра.

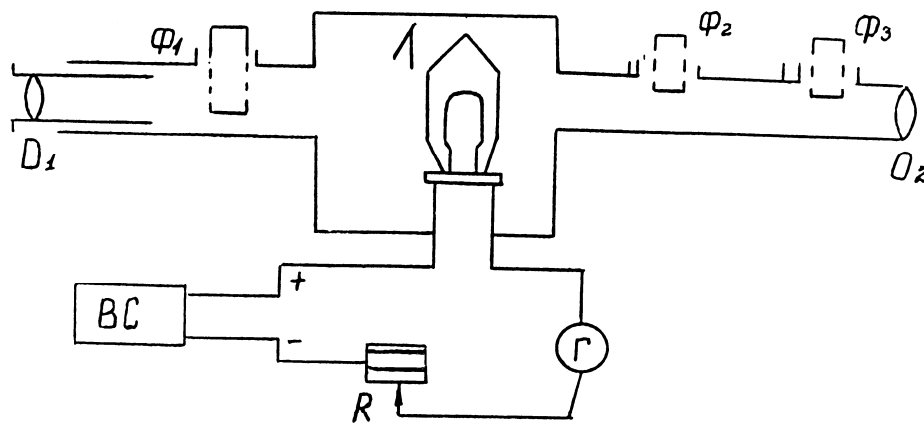


Рисунок 10.1 – Оптична схема яскравісного пірометра

Основною часткою такого приладу є зорова труба з об'єктивами O_1 та O_2 . Причому об'єктив O_2 служить окуляром для спостереження за об'єктом. Між об'єктивами, трохи ближче до окуляра всередині приладу розташована лампа розжарювання із вольфрамовою ниткою розжарювання, яка має U-образну форму. Шляхом пересування вздовж осі окуляра об'єктива треба досягти сполучення нитки розжарювання внутрішньої лампи пірометра із зображенням нагрітого досліджуваного тіла. Це дає змогу одночасно спостерігати зображення досліджуваного нагрітого тіла та нитки розжарювання лампи пірометра.

Для захисту ока спостерігача від великої яскравості служить нейтральний світлофільтр Φ_3 . Для виділення вузької області спектра на довжині хвилі 665 нм передбачено світлофільтр Φ_2 . Світлофільтр Φ_1 є нейтральним і служить для розширення меж виміру температур.

Нитка лампи пірометра живиться від стабілізованого випрямляча (ВС). Змінюючи за допомогою реостата величину струму, можна регулювати температуру нитки розжарювання. При деякому значенні струму яскравість нитки та зображення об'єкта порівнюються. У момент рівності яскравостей кожному значенню температури об'єкта відповідає визначена величина струму лампи розжарювання пірометра. Якщо заздалегідь зробити градировку нитки пірометра, тобто встановити зв'язок між струмом, що протікає через нитку

розжарювання лампи пірометра, та її температурою, то це дозволяє визначити температуру вимірюваного об'єкта.

Якщо випромінююче тіло, температура якого вимірюється за допомогою оптичного пірометра, має властивості чорного тіла, то виміряна температура буде істинною.

Якщо ж досліджуване тіло є реальним випромінювачем із вибірковими властивостями, то таким пірометром можна визначити тільки яскравісну температуру, а реальне її значення розраховується за співвідношенням (10.5).

Колірну температуру випромінювання джерела світла із суцільним спектром можна визначити методом синьо - червоного відношення, тобто дворазовим виміром сили випромінювання через два світлофільтри з вузькими смугами пропущення в областях спектру λ_1, λ_2 і наявністю графіка залежності

$$T_{\text{кол}} = f\left(\frac{ic}{ik}\right).$$

Завдання до роботи

1. Побудувати градірований графік $T_{\text{я}} = f(i_{\text{н}})$.
2. Визначити яскравісну температуру тіла розжарювання досліджуваної лампи.
3. Визначити залежність синьо – червоного співвідношення для джерела світла з відомою колірною температурою.
4. Визначити колірну температуру досліджуваного джерела світла.
5. По пунктах 2 та 4 розрахувати істинну температуру досліджуваної лампи і порівняти отримані результати.

Вказівки до виконання роботи

1. Для побудови градірваного графіка залежності яскравісної температури від струму розжарювання пірометричної лампи використовується лампа типу ТРШ з відомою яскравісною та колірною температурами.

Таблиця 10.1

$V_{\text{л}}(\text{В})$	12	11	10
$T_{\text{я}}(\text{К})$	2610	2420	2220
$T_{\text{к}}(\text{К})$	2980	2750	2480

Встановлюється за чергою зазначена у таблиці 10.1 робоча напруга на лампі ТРШ. На тіло розжарювання лампи ТРШ наводиться оптична система пірометра. Домагаються сполучення зображення тіла розжарювання лампи ТРШ та нитки розжарювання лампи пірометра. За допомогою ЛАТРу встановлюється значення струму нитки лампи пірометра, при якому яскравість обох ниток буде рівною. Значення струму розжарення записується в таблицю і будується $T_{\text{я}} = f(i_{\text{н}})$.

Потім на місце лампи ТРШ встановлюється досліджувана лампа і вимірюється температура її тіла розжарювання (3-4 рази).

За побудованим графіком залежності $T_{\text{я}} = f(i_{\text{н}})$ визначається яскравісна температура досліджуваної лампи.

2. Для виміру колірної температури методом синьо-червоного відношення знову використовується лампа ТРШ, колірна температура тіла розжарення якої для різних напруг відома і наведена у таблиці 10.1.

Випромінювання лампи ТРШ наводиться на селеновий фотоелемент по черзі через синій ($\lambda=457$ нм) та червоний ($\lambda = 665$ нм) світлофільтри і записується значення фотоструму для різних значень напруги живлення лампи.

Будується графік $T_k = f\left(\frac{ic}{ik}\right)$.

Потім на місце лампи ТРШ встановлюється досліджувана лампа і виміряється значення струму в ланцюгу селенового фотоелемента для випромінювання досліджуваної лампи, що пройшло через синій та червоний світлофільтри. По побудованому графіку залежності

$T_k = f\left(\frac{ic}{ik}\right)$, знаходиться колірна температура.

Контрольні запитання

1. Сформулювати основні закони теплового випромінювання.
2. Що таке еквівалентна температура?
3. Як влаштований пірометр із зникаючою ниткою?
4. Чи може бути проградировано пірометр із зникаючою ниткою на істинну температуру?
5. Як можна виміряти колірну температуру?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 11 ВИМІР ОПТИЧНИХ КОЕФІЦІЄНТІВ ТВЕРДИХ ЗРАЗКІВ НА ФОТОМЕТРІ ФО-1

Знання величини оптичних коефіцієнтів: відбиття (ρ), пропущення (τ) та поглинання (α) різних матеріалів відіграють виключно важливу роль у багатьох областях науки та техніки, а також у світлотехніці при проектуванні освітлювальних установок, світлових приладів тощо. Тому практичні виміри цих коефіцієнтів досить поширені. Для їхнього проведення використовуються серійні прилади: фотометри. Найбільш поширеного застосування для виміру оптичних коефіцієнтів твердих зразків набув фотометр відбиття ФО-1, загальний вигляд якого наведено на рис. 11.1.

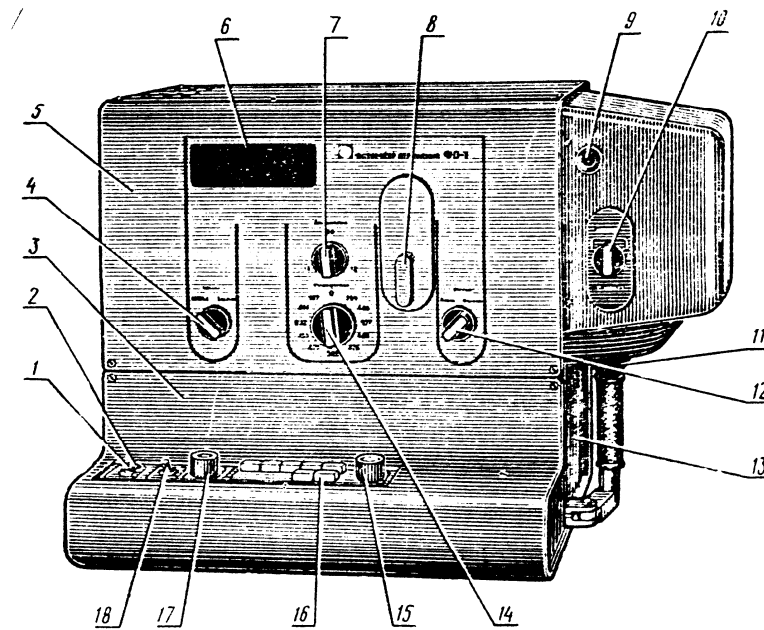


Рисунок 11.1 – Загальний вигляд фотометра ФО-1

Метою даної лабораторної роботи є вивчення принципу дії фотометра відбиття, його конструкції, також надбання навичок роботи на ньому.

Принцип дії фотометра відбиття ФО-1

В основу виміру коефіцієнта відбиття на фотометрі ФО-1 абсолютним методом покладений метод Тейлора. Він полягає у наступному: пучок світла визначеної довжини хвилі направляється через отвір на стінку інтегруючої сфери, де після багатократних відбиттів створюється визначена освітленість E_0 . Потім цей же пучок світла спрямовується на поверхню вимірювального зразка, який щільно притиснутий до робочого отвору в сфері. Відбитий від зразка світловий потік падає на внутрішню поверхню сфери і створює освітленість E_1 .

Відношення освітленості E_1 до E_0 і дасть нам абсолютний коефіцієнт відбиття поверхні вимірювального зразка: $\rho = E_1 / E_0$.

Абсолютний коефіцієнт пропускання зразка визначається відношенням освітленості, що створюється усередині сфери світловим потоком, що пройшов через вимірюваний зразок, встановлений перед сферою до освітленості, яка створюється усередині кулі світловим потоком без наявності зразка $\tau = E_1 / E_0$.

Оптична схема, що пояснює принцип вимірювання вищезазначеним способом наведена на рис. 11.2.

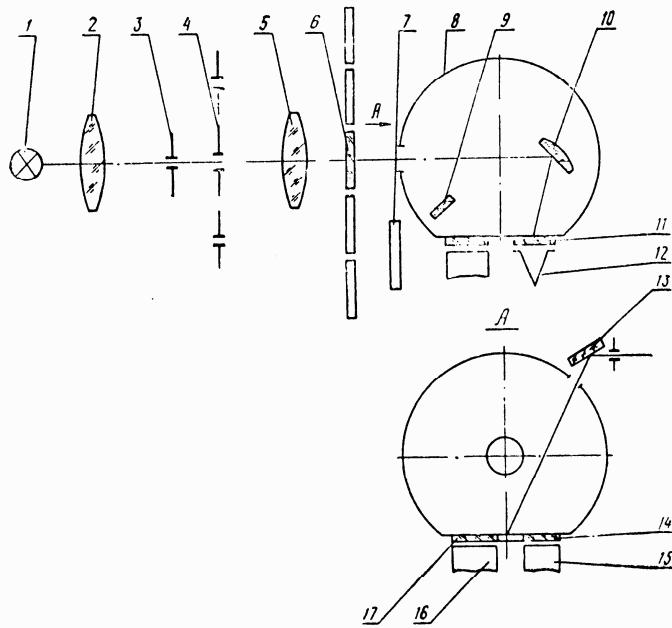


Рисунок. 11.2 – Оптична схема фотометра ФО-1

Випромінювання від джерела світла 1 попадає на конденсор 2, який переносить зображення джерела випромінювання у площину польової діафрагми 3. Польова діафрагма усуває вплив відблисків колби джерела світла. Потім світловий потік проходить змінну діафрагму 4, зображення якої за допомогою об'єктива 5 та дзеркала 10 переноситься у площину вимірювального зразка 11. Залежно від розміру зразка діаметр світлової плями в площині вимірювального зразка може змінюватись і мати значення 30, 18, 12 мм.

Випромінювання, яке розсіялося у сфері, надходить на приймачі випромінювання 15,16 через віконця закриті молочними стеклами 14, 17.

У випадку виміру коефіцієнта пропущення зразків, які дифузно розсіюють світло 7, вводять екран 9, що запобігає можливості надходження на приймач випромінювання прямої складової потоку розсіяного безпосередньо зразками.

Для виділення вузької ділянки спектру при вимірюванні спектральних оптичних коефіцієнтів вводяться по черзі світлофільтри 6.

Дзеркало 13 встановлене для спостереження за положенням зразка.

Дзеркало 10 розташоване всередині сфери і може обертатися навколо своєї осі та займати три фіксованих положення: “калібрування 1”, “калібрування 2”, “вимірювання”.

Підготовка фотометра ФО-1 до роботи

1. Включити клавіші 1:10 нижнього ряду та 1:20 верхнього ряду “Калібрування – грубо” для ступеневого регулювання вимірювальної системи (рис 11.1).
2. Включити тумблер “Мережа”, при цьому повинна загорітися сигнальна лампа.
3. Включити тумблер “Модулятор”. Витримати прилад у такому стані не менше 20 хв.

Завдання для роботи

1. Ознайомитися із улаштуванням та принципом роботи фотометра ФО-1.
2. Виміряти послідовно інтегральні і спектральні коефіцієнти пропусчення світлофільтрів.
3. Виміряти інтегральні і спектральні коефіцієнти відбиття дзеркальних та дифузних зразків за вказівкою викладача.

Порядок виконання роботи

1. Вимір коефіцієнта пропусчення прозорих зразків абсолютним методом (рис. 11.1). Зняти з предметного столика кришку, що закриває світлопастку.

Установити:

Ручку “Шторка” в положення “Відкрито”.

Ручку “Екран” в положення “Введений”.

Ручку “Дзеркало” в положення “Вимір”.

Ручкою “Установка 0” встановити значення (00.0 ± 0.1) за цифровим вольтметром.

Ручку “Дзеркало” переключити в положення “Калібрування 1”.

Ручками “Калібрування” встановити число 100 за цифровим вольтметром.

Розмістити вимірювальний зразок у віконце 8.

Ручку “Дзеркала” в положення “Вимір”.

Ручкою “Установка 0” знов установити (00.0 ± 0.1) за цифровим вольтметром.

Ручкою переключення “дзеркала” встановити положення “Калібрування-1” і зняти відлік.

Одержаний відлік відповідає значенню інтегрального коефіцієнта пропусчення вимірювального зразка у відсотках. Вимір проводити не менше трьох разів, провести аналіз отриманих результатів.

2. Вимір коефіцієнта відбиття абсолютним методом.

Установити:

Ручку “Шторка” в положення “Відкрито”.

Ручку “Екран” в положення “Виведений”.

Зняти з предметного столика кришку, що закриває світлопастку.

Ручку “Дзеркало” в положення “Вимір”.

Ручкою “Установка 0” встановити значення (00.0 ± 0.1) за цифровим вольтметром.

Ручку “Дзеркало” переключити в положення “Калібрування 1”.

Ручками “Калібрування” встановити число 100 за цифровим вольтметром.

Розмістити вимірювальний зразок на предметному столику 11.

Ручку “Дзеркало” в положення “Вимір”.

Ручкою “Установка 0” знов установити (00.0 ± 0.1) за цифровим вольтметром.

Ручкою переключення “Дзеркала” встановити положення “Калібрування-1” і зняти відлік.

Одержаний відлік відповідає значенню інтегрального коефіцієнта відбиття вимірювального зразка у відсотках. Вимір проводити не менше трьох разів, провести аналіз отриманих результатів.

3. Вимір спектральних коефіцієнтів пропускання та відбиття проводиться аналогічно п.п.4.2 та 4.3, але за допомогою набору спеціальних світлофільтрів 14, які є складовою частиною приладу, виділяють вузьку область спектра випромінювання і знімають показання цифрового вольтметра для цих значень довжини хвилі.

Підготовка приладу до виміру спектральних оптичних коефіцієнтів для різних значень довжини хвилі кожен раз повторюється.

Контрольні запитання

1. Розкрийте: оптичні властивості тіл, параметри, що їх характеризують.
2. Розкрийте: інтегральні, спектральні та ефективні значення оптичних коефіцієнтів тіл.
3. Розкрийте принцип виміру коефіцієнта відбиття.
4. Розкрийте принцип виміру коефіцієнта пропускання.
5. Розкрийте принцип дії фотометра ФО-1.
6. Розкрийте оптичну схему фотометра ФО-1.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 12 ВИЗНАЧЕННЯ СПЕКТРАЛЬНИХ ТА КОЛІРНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛОВИХ ТА РОЗРЯДНИХ ДЖЕРЕЛ ВИПРОМІНЮВАННЯ

Метою даної лабораторної роботи є одержання практичних навичок вимірювання та розрахунку координат кольоровості самосвітних об'єктів – джерел випромінювання.

Розрахунок координат кольоровості джерел випромінювання може бути проведено на основі отриманих даних шляхом спектральних вимірювань.

Принципова блок-схема спектральних вимірювань наведена на рис. 12.1.

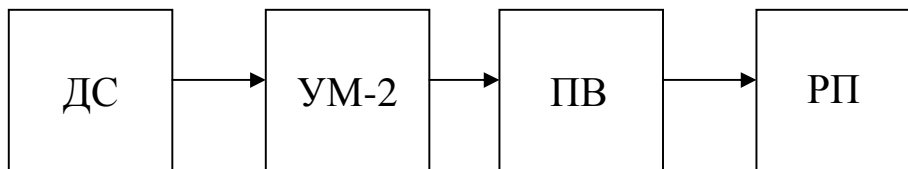


Рисунок 12.1.

Випромінювання, що виходить від дослідженого джерела випромінювання ДС проектується на вхідну щілину монохроматора УМ-2. Виділене монохроматором випромінювання вузького спектрального діапазону надходить на приймач випромінювання ПВ, де перетворюється на електричний сигнал, який реєструється приладом РП.

За допомогою вищенаведеної схеми можна дослідити та побудувати криву відносної спектральної інтенсивності випромінювання даного джерела залежно від довжини хвилі.

Координати кольоровості розраховуються за допомогою наступних співвідношень:

$$X = \int_{380}^{770} \varphi_{(\lambda)} \bar{x}_{(\lambda)} d\lambda; \quad y = \int_{380}^{770} \varphi_{(\lambda)} \bar{y}_{(\lambda)} d\lambda; \quad Z = \int_{380}^{770} \varphi_{(\lambda)} \bar{z}_{(\lambda)} d\lambda,$$

де: x, y, z – ординати кривих додавання МКО, чисельні значення яких наведено у Додатку 6.

Розрахунок інтегралів може бути проведено складанням добутків цих інтегральних функцій.

$$X = \sum_{380}^{770} \varphi_{(\lambda)} \bar{x}_{(\lambda)} \Delta\lambda; \quad y = \sum_{380}^{770} \varphi_{(\lambda)} \bar{y}_{(\lambda)} \Delta\lambda; \quad Z = \sum_{380}^{770} \varphi_{(\lambda)} \bar{z}_{(\lambda)} \Delta\lambda.$$

Інтервал $\Delta\lambda$, для забезпечення точності кольорових розрахунків складає 10 нм для джерел із суцільним спектром, але повинен бути зменшений до 5 (або 1) нм для джерел з лінійчатим спектром.

За отриманими значеннями координат кольору X, Y, Z можуть бути розраховані координати кольоровості

$$X = \frac{X}{X + Y + Z}; \quad Y = \frac{Y}{X + Y + Z}.$$

Завдання до роботи.

1. Провести градировку призменного монохроматора УМ-2.
2. Визначити дисперсію монохроматора УМ-2 та необхідне значення ширини вхідної щілини.
3. Виміряти відносну спектральну чутливість приймача випромінювання.
4. Виміряти відносне спектральне розподілення випромінювання досліджуваного джерела (за вказівкою викладача: люмінесцентної або натрієвої лампи).
5. За даними п.п.3 та 4 розрахувати координати кольоровості досліджених ламп.

Вказівки до виконання роботи.

1. Для градировки монохроматора УМ-2 використовується джерело з відомим спектром випромінювання – ртутна лампа ДРШ.

Суть градировки зводиться до побудови залежності

$$n=f(\square),$$

де n - відлік по барабану обертання призми монохроматора.

Для градировки монохроматора необхідно:

1. Замінити вихідний патрубок щілини монохроматора на зорову насадку .
2. Увімкнути ртутну лампу в мережу та надати їй час (3-4 хв.) для виходу в нормальний режим горіння.
3. Рухаючи коліматор та окуляр зорового патрубку, добиватися чіткої видимості спектральних ліній.
4. Пересуваючи барабан, слід поєднувати положення вказівної стрілки її тією чи іншою спектральною лінією, при цьому записувати довжину хвилі та відлік по шкалі барабану.
5. Вимірювання провести за всіма лініями ртутного спектра.
6. Замінити зорову насадку на патрубок із вихідною щілиною.
7. Встановити на виході монохроматора приймач випромінювання і уточнити градировку з урахуванням того, що максимальне відхилення гальванометра буде точно відповідати центру спектральної лінії.
8. Для визначення дисперсії монохроматора УМ-2 слід розрахувати кількість кутових градусів, які необхідні для переходу від однієї спектральної лінії ртутного розряду до іншої.
9. Ширину щілини для подальших вимірювань встановити відповідно до значення дисперсії приладу.
10. Відносну спектральну чутливість приймача вимірюють із використанням джерела з відомим спектральним розподілом (джерело типу А). Додаток 3. Розрахунок вести із занесенням визначених даних у таблицю 12.1:

Таблиця 12.1

λ , нм	n^0 , підп.	$A_{щ\text{іл.}}$	$\varphi_{e\lambda}$, відн.од	i_{φ} , А	$S_{\text{відн.}}(\lambda)$
380					
...					
780					

Спектральну характеристику досліджуваних джерел світла розраховують у відносних одиницях. Розрахунки проводять відповідно до табл. 12.2.

Таблиця 12.2

$\lambda_{(нм)}$	$S_{\lambda \text{ отн}}$	i_{φ}	$\frac{i_{\varphi}}{S_{\lambda \text{ отн}}}$	\bar{x}	\bar{y}	\bar{z}	$\frac{i_{\varphi} \bar{x}}{S_{\lambda \text{ отн}}}$	$\frac{i_{\varphi} \bar{y}}{S_{\lambda \text{ отн}}}$	$\frac{i_{\varphi} \bar{z}}{S_{\lambda \text{ отн}}}$
380									
410									
...									
780									

$$\Sigma = \quad \Sigma = \quad \Sigma =$$

Після розрахунку координат кольоровості досліджуваних ламп порівнюють отримані дані з наявними в довіднику по світлотехніці й оцінюють точність вимірів.

Основні лінії ртутного спектру становлять
404,7 нм; 407 нм; 407 нм; 436 нм; 436 нм; 491 нм; 491 нм; 546 нм;
546 нм; 577 нм .

Контрольні запитання

1. Пояснити улаштування та принцип роботи спектральних приладів.
2. Якими величинами може бути охарактеризовано спектральний склад джерела випромінювання ?
3. З чим пов'язана необхідність зміни щілини спектрального приладу в процесі вимірів?
4. Як розраховують координати кольоровості однорідних та складних випромінювань?
5. Як проводиться градировка монохроматора по довжинах хвиль?

ДОДАТКИ

Додаток 1

ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАНЬ

Виходячи з основного постулату метрології про те, що відлік пристрою завжди є випадковим числом, слід визнати, що абсолютно точне вимірювання фізичних величин є неможливим, тому що будь-яке вимірювання завжди пов'язане з похибкою. Поділяючи ці похибки на систематичні й випадкові, зазначимо, що уникнути систематичних похибок можна шляхом розробки заходів, що виключають їх появу в нормальних умовах. Складніше виключити випадкові похибки, що виникають при повторних вимірюваннях однієї і тієї ж величини, і не підкоряються жодному з визначених законів. Однак, для урахування та оцінки випадкових похибок розроблені математичні методи, що дозволяють з достатньою імовірністю оцінювати їх величину.

Не розкриваючи докладно цих методів, наведемо необхідний порядок обробки результатів прямих вимірювань:

1. Результат кожного вимірювання занести до таблиці.
2. Обчислити середнє значення з n – вимірів за формулою: $\bar{a} = \frac{1}{n} \sum a_i$
3. Визначити похибку окремих вимірювань $\Delta a = \bar{a} - a$
4. Обчислити квадрати похибок окремих вимірювань $(\Delta a)^2$.
5. Якщо одне (або два) вимірювання дуже відрізняються за величиною від інших, то треба перевірити, чи не є воно невірним.

6. Визначити середню квадратичну похибку результатів серії вимірювань:

$$\Delta S_{\bar{a}} = \frac{\sum \Delta a_i}{n(n-1)}.$$

7. . Задати значення надійності α та визначити коефіцієнт Ст'юдента t_a за таблицею:

n \ α	0,9	0,95	0,99
5	2,13	2,78	4,6
6	2,02	2,57	4,03
7	1,94	2,45	3,71
8	1,9	2,36	3,5
9	1,86	2,31	3,36

8. Знайти межі довірчого інтервалу: $\Delta a = t_{a(n)} \Delta S_{\bar{a}}$.

9. Якщо величина похибки результату вимірювання та величина похибки приладу приблизно однакові, то як межу довірчого інтервалу слід взяти величину:

$$\Delta a = \sqrt{t^2 a(n) \Delta S_a^2 + \left(\frac{K_\alpha}{3}\right)^2 \delta^2},$$

де: $K_\alpha = t_{\alpha \infty}$ δ - величина похибки пристрою

10. Кінцевий результат записати у вигляді: $a = \bar{a} \pm \Delta a$

11. Відносну похибку результату серії вимірювань оцінити як:

$$\varepsilon = \frac{\Delta a}{a} 100 \%$$

Додаток 2

Крива градування монохроматора

λ , нм	d , мм	$n,^\circ$
400	3,2	400
420	2,9	850
440	2,5	1200
460	2,2	1500
480	1,9	1730
500	1,7	1850
520	1,5	1940
540	1,3	2170
560	1,1	2300
580	0,9	2380
600	0,7	2400
620	0,7	2430
640	0,7	2480
660	0,7	2550
680	0,7	2600
700	0,7	2630

Додаток 3

Відносна спектральна густина випромінювання джерел типу А, В, С

λ , нм	$\Phi_e(\lambda)_A$	$\Phi_e(\lambda)_B$	$\Phi_e(\lambda)_C$	λ , нм	$\Phi_e(\lambda)_A$	$\Phi_e(\lambda)_B$	$\Phi_e(\lambda)_C$
380	9,79	22,40	33,00	590	121,73	99,20	93,20
390	12,09	31,30	47,40	600	129,04	98,00	89,70
400	14,71	41,30	63,30	610	136,34	99,50	88,40
410	17,68	52,10	80,60	620	143,62	99,70	88,10
420	21,00	63,20	98,10	630	150,83	101,00	88,00
430	24,67	73,10	112,40	640	157,98	102,20	87,80
440	28,70	80,80	121,50	650	165,03	103,90	88,20
450	33,09	85,40	124,00	660	171,96	105,00	87,90
460	37,82	88,30	123,10	670	178,77	104,90	86,30
470	42,87	92,00	123,80	680	185,43	103,90	84,00
480	48,25	95,20	123,90	690	191,93	101,60	80,20
490	53,91	96,50	10,70	700	198,26	99,10	76,30
500	59,86	94,20	112,10	710	204,41	96,20	72,40
510	66,06	90,70	102,30	720	210,36	92,90	68,30
520	72,50	89,50	96,90	730	216,12	89,40	64,40
530	79,13	92,20	98,00	740	221,66	86,90	61,50
540	85,95	96,90	102,10	750	227,00	85,20	59,20
550	92,91	101,00	105,20	760	232,11	84,70	58,10
560	100,00	102,80	105,30	770	237,01	85,40	59,20
570	107,18	102,60	102,30	780	241,67	87,00	59,10
580	114,44	101,00	97,80				

Додаток 4

Зональні тілесні кути.

Інтервал вимірів кута, град.		Зональний тілесний кут, (ср)
Нижній півпростір	Верхній півпростір	
1	2	3
0-10	170-180	0,096
10-20	160-170	0,284
20-30	150-160	0,463
30-40	140-150	0,628
40-50	130-140	0,774
50-60	120-130	0,897
60-70	110-120	0,992
70-80	100-110	1,057
80-90	90-100	1,092

Атестат приладу

1. Чутливість приладу при включеному коригуючому світлофільтрі „Зел”.

Положення рукоятки чутливості на пульті керування	Яскравість, кд./м ² поділ.			Сила світла, кд/поділ. 10 ⁻⁴
	Діафрагма			
	5 мм	1 мм	0,2 мм	
1		1,8		8,4
2		0,4		
3		0,2		

2. Покази контрольного освітлювача у поділ. – 34.
 3. Напруга на лампі контрольного освітлювача у поділ. – 36.
 4. Найбільший діаметр тіла свічення поблизу об'єктива світломіра 110 мм.
 5. Номінальні діаметри діафрагм 5 мм; 1 мм; 0,2 мм.
 6. Коефіцієнти пропускання нейтральних світлофільтрів:

Світлофільтр	№ 1 τ	–	9 %
-//-	№ 2 τ	–	0,95 %
-//-	№ 3 τ	–	0,083 %
-//-	„св” τ	–	10,2 %

Додаток 6

**Координати кольоровості і питомі координати кольору однорідних
випромінювань в системі XYZ**

X_λ	Y_λ	Z_λ	$\lambda, \text{нм}$	\bar{X}_λ	\bar{Y}_λ	\bar{Z}_λ
0,1741	0,0050	0,8209	380	0,0014	0,0000	0,0065
0,1738	0,0049	0,8213	390	0,0042	0,0001	0,0201
0,1733	0,0048	0,8219	400	0,0143	0,0004	0,0679
0,1726	0,0048	0,8226	410	0,0435	0,0012	0,2074
0,1714	0,0051	0,8235	420	0,1344	0,0040	0,6456
0,1689	0,0069	0,8242	430	0,2839	0,0116	1,3856
0,1644	0,0109	0,8247	440	0,3483	0,0230	1,7471
0,1556	0,0177	0,8257	450	0,3483	0,0230	1,7471
0,1566	0,0177	0,8257	450	0,3362	0,0380	1,7721
0,1440	0,0297	0,8263	460	0,2908	0,0600	1,6692
0,1241	0,0578	0,8181	470	0,1954	0,0910	1,2876
0,0913	0,1327	0,7760	480	0,0956	0,1390	0,8130
0,0454	0,2950	0,6596	490	0,0320	0,2080	0,4652
0,0082	0,5384	0,4534	500	0,0049	0,3230	0,2720
0,0139	0,7502	0,2359	510	0,0093	0,5030	0,1582
0,0743	0,8338	0,0919	520	0,0633	0,7100	0,0782
0,1547	0,8059	0,0394	530	0,1655	0,8620	0,0422
0,2296	0,7543	0,0161	540	0,2904	0,9540	0,0203
0,3016	0,6923	0,0061	550	0,4334	0,9950	0,0087
0,3731	0,6245	0,0024	560	0,5945	0,9950	0,0039
0,4441	0,5547	0,0012	570	0,7621	0,9520	0,0021
0,5125	0,4866	0,0009	580	0,9163	0,8700	0,0017
0,5752	0,4242	0,0006	590	1,0263	0,7570	0,0011
0,6279	0,3725	0,0005	600	1,0622	0,6310	0,0008
0,6658	0,3340	0,0002	610	1,0026	0,5030	0,0003
0,6915	0,3083	0,0002	620	0,8544	0,3810	0,0002
0,7079	0,2920	0,0001	630	0,6424	0,2650	0,0000
0,7190	0,2809	0,0001	640	0,4479	0,1750	0,0000
0,7260	0,2740	0,0000	650	0,2836	0,1070	0,0000
0,7300	0,2700	0,0000	660	0,1649	0,0610	0,0000
0,7320	0,2680	0,0000	670	0,0874	0,0320	0,0000
0,7334	0,2666	0,0000	680	0,0468	0,0170	0,0000
0,7344	0,2656	0,0000	690	0,0227	0,0082	0,0000
0,7347	0,2653	0,0000	700	0,0114	0,0041	0,0000
0,7347	0,2653	0,0000	710	0,0058	0,0021	0,0000
0,7347	0,2653	0,0000	720	0,0029	0,0010	0,0000
0,7347	0,2653	0,0000	730	0,0014	0,0005	0,0000
0,7347	0,2653	0,0000	740	0,0007	0,0003	0,0000
0,7347	0,2653	0,0000	750	0,0003	0,0001	0,0000
0,7347	0,2653	0,0000	760	0,0002	0,0001	0,0000
0,7347	0,2653	0,0000	770	0,0001	0,0000	0,0000
0,7347	0,2653	0,0000	780	0,0000	0,0000	0,0000

НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

Методичні вказівки до лабораторних робіт та самостійної роботи студентів з дисципліни «**Фотометрія**» (для студентів 3 курсу денної та 4 курсу заочної форм навчання за напрямом підготовки 6.050701 «Електротехніка та електротехнології» спеціальності «Світлотехніка і джерела світла»).

Укладачі: **Поліщук** Валентина Миколаївна,
Овчинников Станіслав Степанович,
Петченко Гліб Олександрович

Відповідальний за випуск: *О. М. Ляшенко*

Редактор: *З. І. Зайцева*

Комп'ютерне верстання: *К. А. Алексанян*

План 2011, поз. 257 М

Підп. до друку 30.03.2011 р.	Формат 60×84/16
Друк на ризографі.	Ум.-друк.арк. 2,3
Зам. № _____	Тираж 50 пр.

Видавець і виготовлювач:
Харківська національна академія міського господарства,
вул. Революції, 12, Харків, 61002
Електронна адреса: rektorat@ksame.kharkov.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 4064 від 12.05.2011 р.