

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій  
(повна назва)

Кафедра Проектування та експлуатації електронних апаратів  
(повна назва)

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
**Пояснювальна записка**

другий (магістерський)

(рівень вищої освіти)

ГЮІК 462371.001 ПЗ

(позначення документа)

"Дослідження можливостей застосування засобів спектроскопії для  
вимірювання кольорів об'єктів"

(тема)

Виконав:

здобувач 2 курсу, групи РЕАЗм-21-1

Тітов К.Г.

(прізвище, ініціали)

спеціальність 172 "Телекомунікації та радіотехніка"

Тип програми освітньо-професійна

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Радіоелектронні апарати та засоби

(повна назва спеціалізації)

Керівник

проф. Хорошайло Ю.Є.

(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри ПЕЕА

(підпис)

Хорошайло Ю.Є.

(прізвище, ініціали)

2022 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій

Кафедра Проектування та експлуатації електронних апаратів

Освітньо-кваліфікаційний рівень Другий (магістерський)

Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка

(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма Радіоелектронні апарати та засоби

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ПЕЕА

Хорошайло Ю.Є.

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2022 року

## ЗАВДАННЯ

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Здобувачу

Тітову Кирилу Георгійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження можливостей застосування засобів спектроскопії для вимірювання кольорів об'єктів

затверджені наказом по університету від 14.11.2022 р. № 1475 Ст.

2. Термін подання здобувачем роботи 02.12.2022

3. Вихідні дані до роботи Цифрові колориметри

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

4.1 Вступ; 4.2 Теорія спектроскопії; 4.3 Спектроскопія в колориметрії;

4.3.1 Спектральні методи вимірювання кольору; 4.3.2 Метод, заснований на вимірі монохроматичної щільності; 4.3.3 Абсорбційна спектроскопія;

4.3.4 Хроматографія; 4.4 Пристрої, що реалізують спектроскопічний метод;

4.4.1 Методи електронної спектроскопії; 4.4.2 Спектрофотометр СФ-46. Опис приладу; 4.5 Індекси кольоропередачі джерел випромінювання; 4.6 Охорона праці;

4.6.1 Аналіз умов праці; 4.6.2 Забезпечення виробничої санітарії за умов виробництва; 4.6.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях у приміщенні наукової лабораторії; 4.7 Висновки; 4.8 Перелік посилань; 4.9 Додаток А. Презентація

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів) Демонстраційний матеріал  
представлений у форматі презентації PowerPoint (\*.ppt)

6. Консультанти розділів роботи

Найменування Розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання завдання		
2	Аналіз завдання		
3	Огляд літератури з теми дослідження		
4	Проведення експериментів		
5	Розрахунки		
6	Оформлення пояснювальної записки		
7	Подання атестаційної роботи в ЕК		

Дата видачі завдання

01.09.2022

Здобувач

\_\_\_\_\_ (підпис)

Тітов К.Г.

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи (проекту)

\_\_\_\_\_ (підпис)

проф. Хорошайло Ю.Є.

\_\_\_\_\_ (посада, прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка має 61 сторінку друкованого тексту, 6 рисунків, 1 додатків, 35 використаних джерел інформації.

Спектроскопія вивчає взаємодію між речовиною та електромагнітним випромінюванням. Історично спектроскопія як наука виникла щодо залежності розсіювання призмою видимого світла від довжини його хвилі. Надалі цей науковий напрямок істотно розширився, включивши дослідження будь-яких взаємодій з енергією випромінювання залежно від його довжини хвилі або частоти.

Спектроскопічні дані часто подаються у вигляді спектра, графіка залежності типу відгуку, що розглядається, від довжини хвилі або частоти.

Вимірювання взаємодії проби зі світлом із різною довжиною хвилі з різних галузей електромагнітного спектру.

Вимірювання таких сигналів в залежності від довжини хвилі дає спектр, з чим пов'язана назва «спектроскопія».

Метою дипломної роботи є дослідження застосування засобів спектроскопії для вимірювання та контролю кольору різних об'єктів.

Тема актуальна оскільки дозволяє призводить експрес-контроль якості матеріалів та виробів з високою швидкістю та достовірністю, дистанційно.

## ABSTRACT

The explanatory note has 61 pages of printed text, 6 figures, 1 appendices, 35 used sources of information.

Spectroscopy studies the interaction between matter and electromagnetic radiation. Historically, spectroscopy as a science arose in connection with the dependence of the scattering of visible light by a prism on its wavelength. Later, this scientific direction expanded significantly, including the study of any interactions with radiation energy depending on its wavelength or frequency.

Spectroscopic data are often presented as a spectrum, a plot of the type of response under consideration versus wavelength or frequency.

Measurement of the interaction of the sample with light of different wavelengths from different branches of the electromagnetic spectrum.

Measuring such signals depending on the wavelength gives a spectrum, which is what the name "spectroscopy" is related to. The aim of the thesis is to study the use of spectroscopy tools to measure and control the color of various objects.

The topic is relevant because it allows express control of the quality of materials and products with high speed and reliability, remotely.

## ЗМІСТ

Визначення, позначення .....	7
Вступ.....	10
1 Теорія спектроскопії .....	13
2 Спектроскопія в колориметрії.....	25
2.1 Спектральні методи вимірювання кольору .....	25
2.2 Метод, заснований на вимірі монохроматичної щільності .....	26
2.3 Абсорбційна спектроскопія .....	27
2.4 Хроматографія.....	30
3 Пристрої, що реалізують спектроскопічний метод .....	32
3.1 Методи електронної спектроскопії .....	32
3.2 Спектрофотометр СФ-46. Опис приладу.....	33
4 Індекси кольоропередачі джерел випромінювання .....	37
3 Охорона праці .....	39
3.1 Аналіз умов праці.....	39
3.2 Забезпечення виробничої санітарії за умов виробництва.....	40
3.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях у приміщенні наукової лабораторії .....	43
Висновки .....	45
Перелік використаних джерел інформації.....	46
Додаток А. Презентація.....	49

## ВИЗНАЧЕННЯ, ПОЗНАЧЕННЯ

Джерело типу А – джерело, відносний спектральний розподіл енергії якого у видимій області спектра відповідає випромінюванню абсолютно чорного тіла за температури 2856 К (ГОСТ 7721–89).

А – колір.

Джерело типу В – джерело, відносне спектральне розподілення енергії якого у видимій області спектра відповідає випромінюванню абсолютно чорного тіла при температурі 4874 К. Відтворює умови прямого сонячного освітлення (ГОСТ 7721-89).

с – швидкість світла ( $3 \cdot 10^8$  м / с).

Джерело типу С – джерело, відносний спектральний розподіл енергії якого у видимій області спектра відповідає випромінюванню абсолютно чорного тіла за температури 6774 К. Відтворює умови освітлення розсіяним денним світлом (ГОСТ 7721–89).

CRI – повний індекс кольору.

CRI<sub>i</sub> – визначений індекс кольору.

d – відстань від точки, що характеризує досліджуване джерело випромінювання, до найближчої ізотермічної лінії на колірній діаграмі стандарту МКО 1976 р.

Джерело типу D65 – джерело, відносний спектральний розподіл енергії якого у видимій області спектра відповідає випромінюванню абсолютно чорного тіла при температурі 6504 К. Відтворює умови освітлення усередненим денним світлом (ГОСТ 7721-89).

E – освітленість.

E – колір білої поверхні, що освітлена джерелом типу E.

Джерело типу E – джерело, спектральна щільність випромінювання якого у видимій області спектра стала.

$f_B(Q)$  – розподіл носіїв у дозволених зонах невиродженого напівпровідника.

$h$  – стала Планка ( $h = 6,6262 \cdot 10^{-34}$  Дж · с).

$h_\nu$  – енергія кванта випромінювання.

$I$  – сила випромінювання (сила світла).

$K$  – ваговий коефіцієнт.

$K_m$  – максимальна спектральна світлова ефективність випромінювання за умови, що  $\lambda = 0,555$  мкм ( $K_m = 683$  лм / Вт).

$k$  – стала Больцмана ( $k = 1,38067 \cdot 10^{-23}$  Дж / К).

$k_c$  – множник.

$k_v$  – квазіхвильовий вектор.

$L$  – яскравість.

$M$  – святість (світлість).

$M(\lambda)$  – спектральний розподіл світності джерела випромінювання.

$m_e^*$  – ефективна маса електрона.

$m_h^*$  – ефективна маса дірки.

$m_r^*$  – наведена маса.

$\bar{n}_{air}$  – показник заломлення повітря.

$\bar{n}_s$  – показник заломлення напівпровідника.

$R_\lambda(\lambda)$  – розподіл спектральної густини випромінювання джерела за довжиною хвилі.

$R_{\lambda \max}$  – максимум розподілу спектральної густини випромінювання джерела.

$Q$  – енергія.

$Q_C$  – енергія екстремуму зони провідності.

$Q_E$  – енергія електрона у зоні провідності.

$Q_g$  – ширина забороненої зони.

$Q_H$  – енергія дірок у валентній зоні.

$Q_V$  – енергія екстремуму валентної зони.

RGB – триколірна система вимірювання кольору через три основні кольори  $\vec{R}$ ,  $\vec{G}$  та  $\vec{B}$ .

$R_i(\lambda)$  – спектральний розподіл відбивної здатності  $i$ -тої поверхні.



$r$  – радіус.

$\bar{r}_0(\lambda)$ ,  $\bar{g}_0(\lambda)$ ,  $\bar{b}_0(\lambda)$  – фізіологічні криві додавання кольорів.

$(r, f)$  – координати кольорів у колірному просторі  $Lu^{\prime}v^{\prime}$ , що характеризують адаптивний колірний зсув координат  $(u^{\prime}, v^{\prime})$  при використанні досліджуваного джерела освітлення.

$T$  – температура у градусах Кельвіна.

$t$  – тангенс нахилу ізотермічної лінії.

$T_c$  – колірна температура джерела випромінювання.

$T_c^{\prime}$  – корельована колірна температура джерела випромінювання.

$t_s$  – час.

$u^{\prime}, v^{\prime}$  – координати кольоровостей на колірній діаграмі МКО 1976 р.

$V(\lambda)$  – відносна крива видимості ока (відносна спектральна світлова ефективність монохроматичного випромінювання).

$x, y$  – координати кольоровостей на колірній діаграмі МКО 1931 р.

$\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$  – координати кольору колірного простору XYZ.

$\bar{x}(\lambda), \bar{y}(\lambda), \bar{z}(\lambda)$  – криві складання кольорів у XYZ системі вимірювання кольору.

$\bar{x}_w(\lambda), \bar{y}_w(\lambda), \bar{z}_w(\lambda)$  – координати кольору джерела білого світла у колірному просторі XYZ.

XYZ – триколірна система вимірювання кольору через три основні кольори  $\bar{X}, \bar{Y}$  та  $\bar{Z}$ .

$\varphi_c$  – критичний кут повного внутрішнього відбиття.

$\lambda$  – довжина хвилі.

$\lambda_{\text{begin}}$  – довжина хвилі «початку» спектрального розподілу.

$\lambda_{\text{dom}}$  – домінуюча довжина хвилі.

$\lambda_{\text{end}}$  – довжина хвилі «закінчення» спектрального розподілу.

$\lambda_{\text{max}}$  – довжина хвилі максимуму спектрального розподілу.

$\rho(Q)$  – комбінована густина енергетичних станів залежно від енергії.

## ВСТУП

Спектроскопія – це галузь науки, що вивчає спектри електромагнітного випромінювання залежно від довжини хвилі або частоти, що вимірюються спектрографічним обладнанням та іншими методами для отримання інформації про структуру та властивості речовини. Пристрої спектральних вимірювань називають спектрометрами, спектрофотометрами, спектрографами або спектральними аналізаторами. Більшість спектральних аналізів у лабораторії починається зі зразка, що підлягає аналізу, потім вибирається джерело світла з будь-якого бажаного діапазону світлового спектру, потім світло проходить через зразок на дисперсійні ґрати (прилад із дифракційними ґратами) та уловлюється фотодіодом. Для астрономічних цілей телескоп має бути оснащений пристроєм для дисперсії світла. Існують різні варіанти цієї базової установки, які можна використовувати.

Спектроскопія як наука почалася з того, що Ісаак Ньютон розщепив світло за допомогою призми і було названо оптикою. Таким чином, спочатку вона була вивченням видимого світла, яке ми називаємо кольором, але пізніше під впливом досліджень Джеймса Клерка Максвелла стала включати весь електромагнітний спектр. Хоча в спектроскопії задіяний колір, він не прирівнюється до кольору елементів або об'єктів, які включають поглинання і відображення певних електромагнітних хвиль, щоб надати об'єктам відчуття кольору для наших очей. Швидше, спектроскопія має на увазі розщеплення світла призмою, дифракційними ґратами або аналогічним інструментом, щоб отримати певний дискретний малюнок ліній, званий "спектром", унікальний для кожного типу елемента. Більшість елементів спочатку поміщають у газоподібну фазу, щоб можна було досліджувати спектри, хоча сьогодні можна використовувати інші методи на різних фазах. Кожен елемент, дифрагований приладом, що нагадує призму, показує спектр поглинання, або спектр випромінювання в залежності від того, охолоджується або нагрівається елемент.

Донедавна вся спектроскопія включала вивчення спектрів ліній, і більшість спектроскопії до цих пір вивчає їх. Коливальна спектроскопія - це та гілка спектроскопії, яка вивчає спектри. Однак останні досягнення спектроскопії дозволяють іноді обійтися без методу дисперсії. У біохімічній спектроскопії інформація про біологічну тканину може бути зібрана за допомогою методів поглинання та розсіювання світла. Спектроскопія розсіювання світла – це різновид спектроскопії відбиття, що визначає структуру тканин шляхом вивчення пружного розсіювання. У цьому випадку саме тканина виступає як дифракційний або дисперсійний механізм.

Спектроскопічні дослідження були центральними для розвитку квантової механіки, тому що перші корисні атомні моделі описували спектри водню, які включають модель Бора, рівняння Шредінгера і матричну механіку, які можуть виробляти спектральні лінії водню, таким чином, забезпечуючи основу для дискретних квантових переходів, щоб відповідати дискретний спектр водню. Крім того, Макс Планк пояснив випромінювання чорного тіла за допомогою спектроскопії, оскільки він порівнював довжину хвилі світла за допомогою фотометра із температурою чорного тіла. Спектроскопія використовується у фізичній та аналітичній хімії, оскільки атоми та молекули мають унікальні спектри. В результаті ці спектри можуть бути використані для виявлення, ідентифікації та кількісної оцінки інформації про атоми та молекули. Спектроскопія також використовується в астрономії та дистанційному зондуванні Землі. Більшість дослідних телескопів оснащені спектрографами. Виміряні спектри використовуються для визначення хімічного складу та фізичних властивостей астрономічних об'єктів (таких як їх температура, щільність елементів у зірці, швидкість, чорні дірки та багато іншого). Важливе застосування спектроскопії знаходить у біохімії. Молекулярні зразки можуть бути проаналізовані для ідентифікації видів та утримання енергії.

Центральна теорія спектроскопії полягає в тому, що світло складається з різних довжин хвиль і кожна довжина хвилі відповідає різній частоті. Важливість спектроскопії полягає в тому, що кожен елемент у періодичній таблиці має унікальний світловий спектр, що описується частотами світла, який

він випромінює або поглинає, послідовно з'являючись в одній частині електромагнітного спектра при дифракції світла. Це відкрило цілу область вивчення всього, що містить атоми, тобто всієї матерії. Спектроскопія - це ключ до розуміння атомних властивостей всієї матерії. Спектроскопія як така відкрила безліч нових, ще відкритих областей науки. Ідея про те, що кожен атомний елемент має свій унікальний спектральний підпис, дозволила використовувати спектроскопію в широкому спектрі областей, кожна з яких має конкретну мету, що досягається за допомогою різних спектроскопічних процедур. Ці унікальні спектральні лінії для кожного елемента є настільки важливими для багатьох галузей науки, що уряд веде загальнодоступну базу даних атомних спектрів, яка постійно поповнюється більш точними вимірами на сайті NIST.

Розширення області спектроскопії пов'язане з тим, що для аналізу зразка може бути використана будь-яка частина електромагнітного спектра - від інфрачервоного до ультрафіолетового, що повідомляє вченим різні властивості одного зразка. Наприклад, у хімічному аналізі найбільш поширеними видами спектроскопії є атомна спектроскопія, інфрачервона спектроскопія, ультрафіолетова та видима спектроскопія, спектроскопія Рамана та ядерний магнітний резонанс. У ядерному магнітному резонансі теорія полягає в тому, що частота аналогічна резонансу та відповідної йому резонансної частоти. Резонанси за частотою були вперше охарактеризовані в механічних системах, таких як маятники, що мають частоту руху, відзначену відомим Галілеєм.

На відміну від спектроскопії, спектрометрія – це розділ фізики та техніки, який займається не спостереженням, а виміром спектрів. У вузькому сенсі її можна розуміти, як вимір довжин хвиль та інтенсивності спектральних ліній за допомогою приладів (наприклад, спектрометрів).

## 1 ТЕОРІЯ СПЕКТРОСКОПІЇ

Спектроскопія є досить широкою областю, де існує безліч піддисциплін, кожна з яких має численні реалізації конкретних спектроскопічних методів. Різні реалізації та техніки можуть бути класифіковані декількома способами.

Тип енергії, що випромінюється.

Види спектроскопії різняться на кшталт випромінюваної енергії, що у взаємодії. У багатьох додатках спектр визначається шляхом вимірювання змін інтенсивності чи частоті цієї енергії. До досліджуваних типів випромінюваної енергії відносяться:

Електромагнітне випромінювання було першим джерелом енергії, що використовується для спектроскопічних досліджень. Методи, що використовують електромагнітне випромінювання, зазвичай класифікуються по області довжин хвиль спектру і включають мікрохвильову, терагерцову, інфрачервону, ближню інфрачервону, ультрафіолетово-видиму, рентгенівську та гамма-спектроскопію.

Частинки, завдяки своїм хвиль де Бройля, також можуть бути джерелом променистої енергії. Зазвичай використовується електронна та нейтронна спектроскопія. Для частки її кінетична енергія визначає довжину хвилі.

В акустичній спектроскопії використовуються хвилі тиску, що випромінюються.

Динамічний механічний аналіз може бути використаний для надання твердим матеріалам енергії випромінювання, подібної до акустичних хвиль.

Характер взаємодії.

Типи спектроскопії можна розрізнити за характером взаємодії між енергією і матеріалом. До таких взаємодій належать:

Абсорбційна спектроскопія: Поглинання відбувається, коли енергія джерела випромінювання поглинається матеріалом. Поглинання часто визначається шляхом вимірювання частки енергії, що проходить через матеріал, при цьому поглинання зменшує частину, що проходить.

Емісійна спектроскопія. Емісія вказує на те, що випромінювана енергія вивільняється матеріалом. Спектр чорного тіла матеріалу - це спектр спонтанного випромінювання, який визначається його температурою. Ця характеристика може бути виміряна в інфрачервоному діапазоні приладами, як атмосферний інтерферометр випромінювання. Емісія також може бути викликана іншими джерелами енергії, такими як полум'я, іскри, електрична дуга або електромагнітне випромінювання у разі флуоресценції.

Пружне розсіювання та спектроскопія відображення визначають, як падаюче випромінювання відбивається або розсіюється матеріалом. Кристалографія використовує розсіювання високоенергетичного випромінювання, такого як рентгенівські промені та електрони, для вивчення розташування атомів у білках та твердих кристалах.

Імпедансна спектроскопія: Імпеданс – це здатність середовища перешкоджати чи уповільнювати передачу енергії. Для оптичних програм це характеризується показником заломлення.

Явлення непружного розсіювання мають на увазі обмін енергією між випромінюванням і речовиною, яка зміщує довжину хвилі розсіяного випромінювання. До них відносяться раманівське та комптонівське розсіювання.

Когерентна або резонансна спектроскопія - це методи, в яких енергія випромінювання пов'язує два квантові стани матеріалу в когерентній взаємодії, яка підтримується випромінюючим полем. Когерентність може бути порушена іншими взаємодіями, такими як зіткнення частинок та перенесення енергії, тому для її підтримки часто потрібне випромінювання високої інтенсивності. Спектроскопія ядерного магнітного резонансу (ЯМР) є резонансним методом, що широко використовується, також можлива надшвидка лазерна спектроскопія в інфрачервоній і видимій областях спектру.

Ядерна спектроскопія – це методи, що використовують властивості конкретних ядер для дослідження локальної структури в речовині, головним чином у конденсованій речовині, молекулах у рідинах або заморожених рідинах та біомолекулах.

Тип матеріалу.

Спектроскопічні дослідження побудовані в такий спосіб, що промениста енергія взаємодіє з певними типами матерії.

Атоми. Атомна спектроскопія була першим розробленим застосуванням спектроскопії. Атомна абсорбційна спектроскопія та атомна емісійна спектроскопія використовують видиме та ультрафіолетове світло. Ці поглинання та випромінювання, часто звані атомними спектральними лініями, обумовлені електронними переходами електронів зовнішньої оболонки, коли вони піднімаються та опускаються з однієї електронної орбіти на іншу. Атоми також мають різні рентгенівські спектри, які обумовлені збудженням електронів внутрішньої оболонки у збуджені стани.

Атоми різних елементів мають різні спектри, тому атомна спектроскопія дозволяє ідентифікувати та кількісно визначати елементний склад зразка. Після винаходу спектроскоп Роберт Бунзен і Густав Кірхгоф відкрили нові елементи, спостерігаючи їх емісійні спектри. Атомні лінії поглинання спостерігаються у сонячному спектрі та називаються лініями Фраунгофера на честь їхнього першовідкривача. Всебічне пояснення спектру водню стало раннім успіхом квантової механіки і пояснило зсув Лемба, що спостерігається в спектрі водню, що в подальшому призвело до розвитку квантової електродинаміки.

Сучасні реалізації атомної спектроскопії для вивчення видимих і ультрафіолетових переходів включають емісійну спектроскопію полум'я, атомну емісійну спектроскопію індуктивно зв'язаної плазми, спектроскопію розряду, що тліє, спектроскопію плазми, індукованої мікрохвилями, і емісійну спектр. Методи вивчення рентгенівських спектрів включають рентгенівську спектроскопію та рентгенівську флуоресценцію.

Молекули. Об'єднання атомів у молекули призводить до створення унікальних типів енергетичних станів і, отже, унікальних спектрів переходів між цими станами. Молекулярні спектри можуть бути отримані завдяки електронним спіновим станам (електронний парамагнітний резонанс), молекулярним обертанням, молекулярним вібраціям та електронним станам. Обертання є колективними рухами атомних ядер і зазвичай призводять до

спектрів у мікрохвильовій та міліметрових хвильових областях спектру. Обертальна спектроскопія та мікрохвильова спектроскопія є синонімами. Коливання - це відносні рухи атомних ядер, які вивчаються за допомогою інфрачервоної та раманівської спектроскопії. Електронні збудження вивчаються за допомогою видимої та ультрафіолетової спектроскопії, а також флуоресцентної спектроскопії.

Дослідження в галузі молекулярної спектроскопії призвели до створення першого мазера та сприяли подальшому розвитку лазера.

Кристали та протяжні матеріали. Об'єднання атомів чи молекул у кристали чи інші протяжні форми призводить до створення додаткових енергетичних станів. Ці стани численні і тому мають високу густину станів. Ця висока щільність часто робить спектри слабкішими і менш виразними, тобто ширшими. Наприклад, випромінювання чорного тіла обумовлено тепловими рухами атомів та молекул усередині матеріалу. Акустичні та механічні відгуки також обумовлені колективними рухами. Чисті кристали, однак, можуть мати чіткі спектральні переходи, і розташування кристалів також впливає на молекулярні спектри, що спостерігаються. Регулярна гратчаста структура кристалів також розсіює рентгенівські промені, електрони та нейтрони, що дозволяє проводити кристалографічні дослідження.

Ядра. Ядра також мають різні енергетичні стани, які широко розділені та призводять до спектрів гамма-випромінювання. Різні стани ядерного спину можуть розділятися за енергією магнітним полем, що дозволяє проводити спектроскопію ядерного магнітного резонансу.

Абсорбційна спектроскопія ґрунтується на здатності речовини до вибіркового поглинання. Щоб визначити, які саме кванти поглинаються речовиною і яка величина поглинання, через речовину пропускають електромагнітне випромінювання джерела з безперервним спектром випромінювання, а потім потік, що пройшов, розкладають у спектральному приладі по довжинах хвиль і досліджують його спектральний склад. Подібним чином вивчають розсіяне речовиною випромінювання.



Метод резонансної флуоресценції. Строго монохроматичне та інтенсивне випромінювання лазера дозволяє перевести у збуджений стан на певний енергетичний рівень досить велику кількість молекул, які потім, повертаючись на нижчі рівні, випускають спектр резонансної флуоресценції.

До завдань оптичної спектроскопії відносяться вимірювання інтенсивності спектральних ліній, аналіз та опис процесів, що беруть участь у формуванні спектрів, а також інтерпретація спектрів у термінах, що описують фізичні об'єкти. Вивчення спектру випромінювання абсолютно чорного тіла призвело до запровадження поняття кванта випромінювання та сприяло створенню квантової механіки. Дані вимірювань спектрів (насамперед дані про рівні енергії атомів) сприяють уточненню квантовомеханічних методів розрахунку випромінюючих систем і підтверджують моделі, що пропонуються квантовою механікою.

Традиційним завданням оптичної спектроскопії є отримання даних про склад і структуру речовини на атомно-молекулярному рівні.

Деякі дослідження припускають реєстрацію не тільки спектрів, а й спектральних зображень об'єктів.

Пряме завдання спектроскопії - передбачення виду спектра речовини, виходячи зі знань про його будову, склад та інше.

Зворотне завдання спектроскопії – визначення характеристик речовини (які є безпосередньо наблюдаємими величинами) за властивостями його спектрів (які спостерігаються безпосередньо безпосередньо залежать як від визначених характеристик, і від зовнішніх чинників)

Електронна спектроскопія є дуже чутливим та зручним методом для визначення спектрів поглинання, пропускання, вивчення кінетики реакції, що супроводжується спектральними змінами, заснований на принципі фотоіонізації атомів досліджуваної речовини під дією електромагнітного випромінювання.

Методи спектроскопії використовуються в більшості областей фізики, в хімії та матеріалознавстві, при розробці технології оптоелектронного свята та нових джерел світла, в екології.

Приладова база спектроскопії включає дифракційні та призмові спектрометри, інтерферометри, фур'є-спектрометри, схеми для побудови спектральних зображень лабораторних та природних джерел випромінювання.

Застосування спектроскопії.

Існує кілька сфер застосування спектроскопії в медицині, фізиці, хімії та астрономії. Використовуючи властивості поглинання, а астрономії – випромінювання, спектроскопія може бути використана визначення певних станів природи. Використання спектроскопії в різних областях і для різних застосувань призвело до появи спеціальних наукових підполів.

Одне з перших застосувань було для визначення атомної структури зразка.

Наступне величезне застосування було в астрономії: Вивчення спектральних емісійних ліній Сонця та далеких галактик.

Вивчення космосу.

Моніторинг затвердіння композитів за допомогою оптичних волокон.

Оцінка часу вивітрювання деревини за допомогою спектроскопії у ближній інфрачервоній області.

Вимірювання різних сполук у зразках їжі за допомогою спектроскопії поглинання у видимому та інфрачервоному спектрі.

Вимірювання токсичних сполук у зразках крові.

Неруйнівний елементний аналіз за допомогою рентгенівської флуоресценції.

Дослідження електронної структури за допомогою різноманітних спектроскопів.

Червоне зміщення визначення швидкості і переміщення віддаленого об'єкта.

Визначення метаболічної структури м'яза

Моніторинг вмісту розчиненого кисню в прісноводних та морських екосистемах.

Зміна структури ліків підвищення ефективності.

Визначення показників білків.

Аналіз дихальних газів у лікарнях.

Пошук фізичних властивостей далекої зірки або прилеглої екзопланети за допомогою релятивістського ефекту Доплера.

Спектрохімія – розділ сучасної науки, у якому спектральні виміри проводять із вирішення різних хімічних і фізико-хімічних завдань.

1. Визначення молекулярних постійних, що дозволяють описати систему енергетичних станів молекули, розрахунок ТД-функцій речовин та КРАВН хімічних реакцій у газовій фазі (статистичні ТД).

2. Визначення будови молекули або її складових частин:

- визначення в молекулі функціональних груп;
- встановлення геометричної конфігурації молекул, їх симетрії; визначення внутрішньомолік. відстаней та кутів між зв'язками;
- кількісна оцінка пружних сил між атомами в молекулі, визначення частот внутрішньомолік. коливань, енергії дисоціації;
- встановлення структури координаційних з'єднань - визначення числа та способів зв'язування лігандів;
- доказ наявності ізомерії, ідентифікація геометричних ізомерів.

3. Дослідження міжмолекулярних взаємодій:

- вивчення водневого та донорно-акцепторного зв'язку, явищ гідратації та сольватації, взаємодії між іонами в розчинах;
- дослідження поверхневих плівок, будови адсорбційних комплексів та природи взаємодії адсорбованої речовини з поверхнею.

4. Дослідження хімічних рівноваг та кінетики хімічних реакцій:

- дослідження різних рівноваг (у тому числі – дисоціації та асоціації, комплексоутворення, таутомерних перетворень, фазових та адсорбційних рівноваг);
- вивчення кінетики різних хімічних перетворень (у тому числі – кінетики адсорбції, кінетики полімеризації тощо)

5. Аналітичний додаток:

- якісний та кількісний аналіз молекулярного складу природних та синтетичних речовин, багатокомпонентних сумішей;

– ідентифікація індивідуального з'єднання, визначення його молекулярної маси

– контроль ступеня очищення.

Метод спектроскопії полягає у вимірі спектрального розподілу енергії випромінювання та подальшому розрахунку колірних координат при перемноженні знайденої функції спектрального розподілу на три функції додавання та інтегрування утворень.

Якщо відомо, що  $E(\lambda)$  – функція спектрального розподілу джерела,  $\rho(\lambda)$  – функція спектрального відображення чи пропускання предмета,  $x(\lambda)$ ,  $y(\lambda)$ ,  $z(\lambda)$  – функції додавання, то колірні координати –  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ . Практично інтегрування замінюють підсумовуванням через інтервал  $\Delta\lambda$  (в діапазоні значень від 5 нм до 10 нм), оскільки підінтегральні спектральні функції зазвичай є незручними для інтегрування.

Спектральний розподіл випромінювання і спектральну характеристику відображення (пропускання) вимірюють, розкладаючи світло спектр, наприклад в спектрофотометрі або монохроматорі. Криві додавання задаються як таблиць значень питомих координат через кожні 5 нм чи 10 нм.

Є також таблиці величин  $E(\lambda)$ ,  $\bar{x}(\lambda)$  тощо для стандартних джерел світла МКО А, В, С, D, що представляють найбільш типові умови природного (В, С та D) та штучного (А) освітлення.

Метод виміру кольору на основі кривих складання. Другий шлях колірного виміру з урахуванням кривих складання – це аналіз випромінювання з допомогою трьох приймачів світла, характеристики спектральної чутливості яких збігаються з кривими складання. Кожен такий світлоелектричний перетворювач виконує дії перемноження двох спектральних функцій та інтегрування творів, в результаті чого на його виході електричний сигнал дорівнює (при відповідному калібруванні приладу) одній з колірних координат.

Подібні кольорові прилади називаються фотоелектричними (або об'єктивними) колориметрами. Вони оцінюють результуюче випромінювання, враховуючи як вибіркоче відображення (або пропускання) предметів, що не

мають властивості виділяти світло, так і освітлення, тобто. прилад «бачить» те, що бачить око.

Основною складністю при виготовленні фотоелектричних колориметрів є досить точне формування кривих додавання, для чого зазвичай підбирають відповідні світлофільтри.

Якщо прилад призначений для роботи з кривими додавання, то найбільш важко сформувати двогорбу криву. Зазвичай кожна її гілок формується окремо; тоді прилад містить 4 канали (світлофільтри). Іноді в колориметрах використовують інші ЦКС, всі криві додавання якої однорбі. Один із каналів колориметра одночасно може бути вимірювачем яскравості. Часто у таких приладах передбачається розрахунок координат кольоровості. Максимальна точність колірної вимірювання фотоелектричними колориметрами за кольоровістю в координатах  $x$ , становить від 0,002 до 0,005.

Колірні виміри у телебаченні. Іншою важливою можливістю колірної виміру є пряме визначення колірних координат. Природно, що це можливо не завжди, тому що в загальному випадку відчуття кольору збуджує світлове випромінювання довільного спектрального складу, а ЦК фізично не існує. Прямий вимір колірних координат можливий у трьох кольорових адитивних пристроях створення кольору, які використовуються, наприклад, для відтворення кольорових зображень. Основні кольори такого пристрою визначають ЦКС, та їх кількості в суміші, що дає деякий колір, і є колірні координати цього кольору ЦКС пристрою. Приклад такого пристрою – триколірний кінескоп, в якому роздільне керування свіченнями трьох люмінофорів забезпечує отримання всієї множини кольорів, кольоровості яких укладені в межах колірної трикутника, що визначається основними кольорами кінескопа (кольорами свічень люмінофорів).[15]

Для безпосереднього вимірювання кількостей основних кольорів у кольорі суміші, відтворюваному на екрані кінескопа, тобто. Колірні координати в ЦКС кінескопа, можна використовувати фотоелектричний приймач випромінювання з довільною спектральною чутливістю, аби вона не виходила за межі видимого спектра. Вимірювальним приладом, підключеним до такого

приймача, досить почергово виміряти інтенсивність світіння окремих люмінофорів кінескопа.

При вимірі інтенсивності світіння червоного люмінофора «відключаються» промені, що збуджують зелений та синій кольори. Калібрування подібного приладу полягає у знятті його показань при почерговому вимірі інтенсивностей світіння трьох люмінофорів після встановлення на екрані опорного білого кольору, тобто кольору з опорною кольоровістю ЦКС кінескопа та максимальною яскравістю.

Надалі при вимірюваннях різних кольорів показання приладу поділяються на показання відповідних основних кольорів при опорному білому кольорі. Результати такого поділу і кольорові координати в ЦКС кінескопа. Опорний, білий колір при калібруванні встановлюється якомога точніше за допомогою інших приладів (спектрофотометра, фотоелектричного колориметра) або візуально за еталоном білого кольору.

Точність установки опорного білого кольору при калібруванні визначає точність наступних вимірів кольору. Отримати значення колірних координат інших ЦКС (наприклад, міжнародних) можна, перерахувавши показання приладу за формулами перетворення колірних координат. Для виведення перелічених формул потрібно знати координати кольоровості опорного білого кольору та основних кольорів даного кінескопа, які вимірюють будь-яким іншим способом.

Велика перевага такого безпосереднього вимірювання колірних координат у порівнянні з колірним вимірюванням за допомогою фотоелектричного колориметра полягає у відсутності необхідності формувати певні спектральні криві чутливості фотоприймача. Колірний вимір за описаним способом можна виконувати і повним кольором світіння екрану, без відключення променів, що збуджують окремі люмінофори. У цьому випадку в приладі повинно бути три світлофільтри з довільними, але спектральними характеристиками, що розрізняються. У такому приладі кожен відлік є сумою трьох відрахунків однофільтрового приладу для всіх трьох окремих кольорових свічень. Щоб отримати значення колірних координат за трьома відрахунками

трифільтрового приладу, використовують перерахункову матрицю, елементи якої визначаються при калібруванні приладу. Калібрування полягає в почергових вимірах кожним з каналів приладу кожного кольорового світіння люмінофорів окремо після установки на екрані опорного білого кольору.

Зазначений перерахунок, а також перехід від колірних координат у ЦКС кінескопа до міжнародної ЦКС у приладі описуваного типу може здійснюватися автоматично, за допомогою спеціально вбудованої електричної схеми. Таким чином, можна отримувати відліки прямо в ЦКР кінескопа або в міжнародній ЦКР.

Методи електронної спектроскопії дозволяють спостерігати взаємодію електромагнітного випромінювання з атомами чи молекулами досліджуваної речовини. Це взаємодія можна як процес виникнення сигналів, які містять інформацію про властивості досліджуваних речовин. Частота сигналу відбиває специфічні властивості речовини, а інтенсивність сигналу пов'язані з кількістю аналізованого речовини. Для спостереження та дослідження таких сигналів у різних областях спектру використовують різноманітні фізичні закономірності, що дозволяє отримати детальну інформацію про склад та будову досліджуваних речовин за допомогою різноманітних фізичних та фізико-хімічних методів прикладної спектроскопії. Так випромінювання в «оптичній» (інфрачервоній, видимій, ультрафіолетовій) та рентгенівській областях викликається зміною енергетичного стану мікросистем в атомній галузі. При повідомленні атома енергії змінюється принаймні одне квантове число. У рентгенівській області спектра використовуються сигнали, пов'язані із зміною головного квантового числа  $n$ . Оптичні спектри пов'язані переважно зі зміною побічного квантового числа  $L$  (поряд із зміною  $n$  і  $m_s$ ). Якщо виродження спинового моменту електрона  $m_s$  знімається зовнішнім магнітним полем, то можливі енергетичні переходи зі зміною  $m_s$  сигнали, що дають в мікрохвильовій області, які утворюють спектр електронного парамагнітного резонансу (ЕПР). Це ж поле знімає виродження, пов'язане з власним обертальним моментом ядра та ядерним спином, що уможливорює енергетичні

переходи в галузі радіочастот та появу спектра ядерного магнітного резонансу (ЯМР).

Особливе місце серед сучасних фізичних методів дослідження займає спектроскопія, яка заснована на різних формах взаємодії електромагнітного випромінювання з речовиною і служить для визначення структури сполук, властивостей атомів і молекул, для якісного та кількісного аналізу речовин.



## 2 СПЕКТРОМЕТРІЯ В КОЛОРИМЕТРІЇ

### 2.1 Спектральні методи вимірювання кольору

Спектрофотометри вимірюють величини відбиття по всій видимій області спектра. Для цього спектр ділиться на ділянки зі смугою пропускання діапазону значень від 10 нм до 20 нм.

Кожна ділянка становить одну величину відображення. У сучасних вимірювальних пристроях модулі матричного діода (grid або grating-diode) або модулі фільтра-діода (filter-diode) викликають спектральний підрозділ світла, що відображається зразком на секції [8]. Дифракційна сітка модуля матричної сітки-діода розсікає світло та проектується на діодну матрицю з переважною кількістю 256 розташованих поруч діодів. Спочатку електронні елементи збільшуються, переводяться в цифрову форму і далі оцінюють сигнали високої роздільної здатності, що виробляються кількома діодами. Першим результатом спектрального виміру є серія величин відбиття, які графічно представлені як криві відбиття [9].

Модуль фільтра-діода складається з кількох діодів, що відповідають ширині вузьких світлофільтрів. Кожен діод вимірює певну смугу пропускання спектра. Інший спосіб отримання величин відображення полягає у освітленні зразка разом з випромінюванням спектрально вузького світла хвиль різної довжини як випромінюваннями кольоровими світловипромінюючими діодами [9]. Потім спектрально широкий сенсор реєструє окремі величини відбиття.

Величини відображення та графіки відображення надають повну інформацію про виміряний колір. Стандартні колірні величини XYZ відтворюються за допомогою спеціальних обчислень так званої валентно-метричної оцінки. Цей процес має відношення до кривих відображення та стандартних функцій спектральних величин.

## 2.2 Метод, заснований на вимірі монохроматичної щільності

Криві відображення надають не тільки колориметричні, але також і денситометричні величини. Цей факт призвів до створення спектрофотометрів, які забезпечують вибір колірних характеристик, а також вимірювання величин щільності. Існують також так звані спектроденситометри, які на відміну від відоміших звичайних денситометрів, забезпечені модулями спектрального вимірювання [20]. Принцип виміру цих спектроденситометрів полягає в отриманні кривої щільності  $D(\lambda)$  з кривої відображення  $R(\lambda)$ . Крива щільності є пропорційним дзеркальним відображенням кривої відбиття: високі значення відбиття відповідають низьким значенням щільності, і навпаки. Для будь-якої однієї довжини хвилі крива щільності надає величини щільності і величини показника, отримані з нього, як наприклад площа растрового елемента, розтискування растрової точки і контраст, що реалізується при друкуванні. Стандартизовані основні кольори чотирьох барвистих процесів – блакитний, пурпуровий та жовтий у Європейській шкалі мають максимуми щільностей в областях 620 нм, 540 нм та 430 нм.

Їх щільність вимірюється у цих довжинах хвиль за однаково стандартизованими фільтрами. Особливі кольори зазвичай характерні для максимальної щільності у хвилях різної довжини і з цієї причини не можуть бути вимірювані задовільно звичайними денситометрами, з фільтрами. Але спектроденситометри здатні визначати щільності у будь-якій точці спектра з використанням фільтрів, визначених математичним шляхом, обраних за бажанням. Це робить їх відповідними для застосування з будь-яким кольором.

Молекули, що мають однаковий зв'язок і утворюють одну групу, в області ІЧ видають смуги поглинання відповідної характеристичної частоти. Дані характеристичні частоти допомагають визначити по одержуваному спектру наявності в суспензії наявності шуканих груп атомів або молекул.

Ділять спектрофотометрію: на молекулярну, коли речовина, що шукає, молекулярна структура, і атомну. Залежно від довжин хвиль, які здатний розрізнити прилад, та речовин, які треба буде визначати, вибираються спектрофотометри.

Для внесення поправок на закони заломлення та розсіювання в деяких пристроях проводять вимірювання суспензії (розчин з досліджуваною речовиною) та розчину. Коли промінь світла проходить через завис, то залежно від властивостей речовини, що поглинають, відбувається його ослаблення. Інтенсивність ослаблення променя залежить від вмісту речовини у суспензії. Точніша залежність визначається у Бугера-Ламберта-Бера (БЛБ), закон «речовина його товщина – від ослаблення лінії енергії».

Спектрофотометричне визначення фігурує в багатьох галузях для різних завдань:

- підтверджує справжність заявленого елемента/продукту,
- визначає доброякісність виготовленого препарату,
- з його допомогою знаходять радіоактивні елементи у водоймах,
- кількісно оцінює, скільки різних речовин знаходиться у суспензії,
- розрізняти хімічні елементи у суспензії.

Застосовується в біологічних та геологічних лабораторіях, з метою радіаційної безпеки (на АЕС, інститутах тощо), промисловостях, де потрібно знати хімічний склад продуктів та матеріалів.

### 2.3 Абсорбційна спектроскопія

Серед різноманітних фізичних методів, які застосовуються при дослідженні будови молекул, найбільший інтерес представляє взаємодія речовини з електромагнітним випромінюванням у широкому інтервалі частот, починаючи з радіохвиль і закінчуючи  $\gamma$ -променями, тобто по всьому електромагнітному спектрі.

При цьому відбувається зміна енергії молекул:

$$\Delta E = E_f - E_b, \quad (2.1)$$

де  $\Delta E$  – зміна енергії системи;

$E_f$  – енергія системи в кінцевому стані;

$E_b$  – енергія системи у початковому стані.

Якщо енергія кінцевого стану вища за енергію початкового стану, тобто. виконується умова  $E_f > E_b$ , як наслідок  $\Delta E$  – позитивно, це відповідає поглинанню випромінювання і, навпаки, при негативному значенні  $\Delta E$ , тобто. виконується умова  $E_f < E_b$ , відбувається випромінювання енергії.

У першому випадку це свідчить про спектри поглинання, у другому – про емісійні спектри.

Спектри поглинання в ультрафіолетовій (УФ-спектри) та видимій областях обумовлені енергетичними переходами між електронними станами молекули, у зв'язку з чим їх також називають електронними спектрами.

Внутрішня енергія молекул складається в основному з енергії обертання молекули як цілого, енергії коливання ядер один щодо одного та енергії руху електронів, що знаходяться в електростатичному полі атомних ядер.

Тому загальна енергія молекули може бути представлена, як сума цих енергій:

$$E_{\text{заг}} = E_{\text{ел}} + E_{\text{кол}} + E_{\text{обер}}, \quad (2.2)$$

де  $E_{\text{ел}}$  – енергія електронних переходів;

$E_{\text{кол}}$  – енергія коливання ядер;

$E_{\text{обер}}$  – енергія обертання молекул.

При цьому найменшою виявляється енергія обертання молекул  $E_{\text{обер}}$ , дещо більшою – енергія коливання ядер  $E_{\text{кол}}$  та найбільшою – енергія електронних переходів  $E_{\text{ел}}$ .

Співвідношення між цими видами енергії наступне

$$E_{\text{ел}} : E_{\text{кол}} : E_{\text{обер}} = 1000 : 100 : 1.$$

Для здійснення процесу поглинання необхідно, щоб енергія випромінювання дорівнювала різниці енергій станів молекули

$$\Delta E = E_1 - E_0, \quad (2.3)$$

Зростання енергії при цьому дорівнює енергії поглиненого кванта світла

$$\Delta E = h \cdot \nu = \frac{h \cdot c}{\lambda}, \quad (2.4)$$

де  $h = 4 \cdot 10^{-15} \text{ еВ} \cdot \text{с} = 6 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$  – стала Планка – ще одна фундаментальна фізична величина, що визначає властивості нашого світу.

При переході системи з одного стаціонарного стану до іншого виникають спектри.

Спектр – це послідовність квантів енергії електромагнітних коливань, поглинених, виділених чи розсіяних при численних переходах атомів чи молекул з одних енергетичних станів на інші.

Обертальний спектр складається з окремих ліній. Обертальним переходам у молекулах відповідають випромінювання в дальній інфрачервоній області спектра.

Коливальний стан атомів молекули.

Коливальним переходам відповідає випромінювання в середній та ближній інфрачервоній області спектра.

Електронно – коливально – обертальний або електронний спектр, в якому енергія квантів коливається в діапазоні 60 кДж / моль – 600 кДж / моль складається із усіх видів енергетичних змін у молекулах.

Для збудження електронних рівнів необхідні випромінювання ультрафіолетової та видимої ділянок електромагнітного спектру.

В електронних спектрах поглинання газоподібних речовин спостерігаються окремі лінії, або широкі смуги з тонкою структурою (наявність окремих піків на тлі загальної смуги), яка відповідає окремим переходам.

Електронні спектри поглинання речовин у розчинах практично повністю втрачають тонку структуру, що відповідає окремим переходам, та мають вигляд широких смуг.

Це пов'язано з впливом оточення (молекулярна взаємодія, взаємодія з молекулами розчинника тощо) на зовнішні електрони атомів, що позначається на енергетичному стані системи поглинання.

Область поглинання називається смугою; сукупність смуг поглинання цієї молекули – спектр її поглинання.

## 2.4 Хроматографія

Хроматографія (від грец. χρῶμα – колір) – динамічний сорбційний метод поділу та аналізу сумішей речовин, а також вивчення фізико-хімічних властивостей речовин. Заснований на розподілі речовин між двома фазами – нерухомою (тверда фаза або рідина, пов'язана на інертному носії) та рухомою (газова або рідка фаза, елюенти). Назва методу пов'язана з першими експериментами з хроматографії, у ході яких розробник методу Михайло Цвіт розділяв яскраво забарвлені рослинні пігменти.

Спектрометр (лат. spectrum від лат. spectare – дивитися і метр від др.-грец. μέτρον – міра, вимірювач) – оптичний прилад, який використовується в спектроскопічних дослідженнях для накопичення спектра, його кількісної обробки та подальшого аналізу за допомогою різних аналітичних методів. Аналізований спектр виходить шляхом реєстрації флуоресценції після впливу на досліджувану речовину будь-яким випромінюванням (рентгенівським або лазерним випромінюванням, іскровим впливом та ін.).

Зазвичай вимірюваними величинами є інтенсивність та енергія (довжина хвилі, частота) випромінювання, але можуть реєструватися інші характеристики, наприклад, поляризаційний стан.

Термін "спектрометр" застосовується до приладів, що працюють у широкому діапазоні довжин хвиль: від гамма до інфрачервоного діапазону.

Для реєстрації спектра можуть використовуватися напівпровідникові детектори, сцинтиляційні лічильники або детектори на базі ПЗС лінійки або ПЗС матриці.

Спектрометри можуть відрізнятися за спектральним діапазоном, спектральною чутливістю, оптичною схемою. При інтерпретації спектрів здебільшого проводиться порівняння отриманого спектру зі спектром речовини відомого складу.

Ранні спектроскопи були простими призми з градуванням, що позначає довжини хвиль світла, в сучасних приладах вони витіснені дифракційними ґратами.

Типи спектрометрів:

Розрізняють такі типи спектрометрів:

- іскровий оптико-емісійний спектрометр;
- лазерний спектрометр;
- ІЧ-спектрометр;
- спектрометр індуктивно зв'язаної плазми;
- атомно-абсорбційний спектрометр;
- спектрометр [en], що зображає (відображає, візуалізує) — апарат, що дозволяє одночасно отримувати спектр для всіх точок двовимірного зображення;
- спектрогоніометр
- гамма-спектрометр – пристрій на сцинтиляційному механізмі роботи, що визначає енергії гамма-фотонів, що випускаються, і таким чином дозволяє якісно вивчити склад радіоактивного джерела.

## 3 ПРИСТРОЇ, ЩО РЕАЛІЗУЮТЬ СПЕКТРОСКОПІЧНИЙ МЕТОД

### 3.1 Методи електронної спектроскопії

Методи електронної спектроскопії дозволяють спостерігати взаємодію електромагнітного випромінювання з атомами чи молекулами досліджуваної речовини.

Ця взаємодія можлива, як процес виникнення сигналів, які містять інформацію про властивості досліджуваних речовин. Частота сигналу відбиває специфічні властивості речовини, а інтенсивність сигналу пов'язані з кількістю аналізованого речовини. Для спостереження та дослідження таких сигналів у різних областях спектру використовують різноманітні фізичні закономірності, що дозволяє отримати детальну інформацію про склад та будову досліджуваних речовин за допомогою різноманітних фізичних та фізико-хімічних методів прикладної спектроскопії.

Так, випромінювання в «оптичній» (інфрачервоній, видимій, ультрафіолетовій) та рентгенівській областях викликається зміною енергетичного стану мікросистем в атомній галузі. При повідомленні атома енергії змінюється принаймні одне квантове число. У рентгенівській області спектра використовуються сигнали, пов'язані із зміною головного квантового числа  $n$ . Оптичні спектри пов'язані переважно зі зміною побічного квантового числа  $L$  (поряд із зміною  $n$  і  $m_s$ ).

Якщо виродження спінового моменту електрона  $m_s$  знімається зовнішнім магнітним полем, то можливі енергетичні переходи зі зміною  $m_s$  сигнали, що дають в мікрохвильовій області, які утворюють спектр електронного парамагнітного резонансу (ЕПР). Це ж поле знімає виродження, пов'язане з власним обертальним моментом ядра та ядерним спином, що уможливорює енергетичні переходи в галузі радіочастот та появу спектра ядерного магнітного резонансу (ЯМР).



### 3.2 Спектрофотометр СФ-46. Опис приладу

Зовнішній вигляд приладу наведено на рисунку 3.1.

В основу роботи спектрофотометра СФ-46 покладено принцип вимірювання відношення двох світлових потоків: потоку, що пройшов через досліджуваний зразок, і потоку, що падає на досліджуваний зразок (або через контрольний зразок).

Структурну схему спектрофотометра наведено на рисунку 3.2.



Рисунок 3.1 – Зовнішній вигляд спектрофотометра СФ-46

Оптичні та механічні деталі, що входять у монохроматор і закриті захисним кожухом, блок живлення МПС, а також відліковий пристрій установки довжин хвиль і перемикач щілини розташовані на основі.

До цієї основи жорстко кріпиться додаткова основа, яка несе на собі знімні частини спектрофотометра – кюветне відділення та камеру з фотоприймачами та підсилювачем.

Дифракційні решітки встановлені на столику, який може повертатися навколо вертикальної осі при обертанні рукоятки. Рух від рукоятки передається шківу, що сидить на одній осі з відліковим пристроєм установки довжин хвиль.

На тій же осі знаходиться циліндрична шестерня, що передає рух відлікового пристрою установки довжин гвинтових хвиль з гайкою; у площину гайки упирається регулювальний гвинт важеля, жорстко з'єданого зі столиком

грат; рух гайки передається важелю, який повертає столик з ґратами, здійснюючи таким чином сканування спектра.

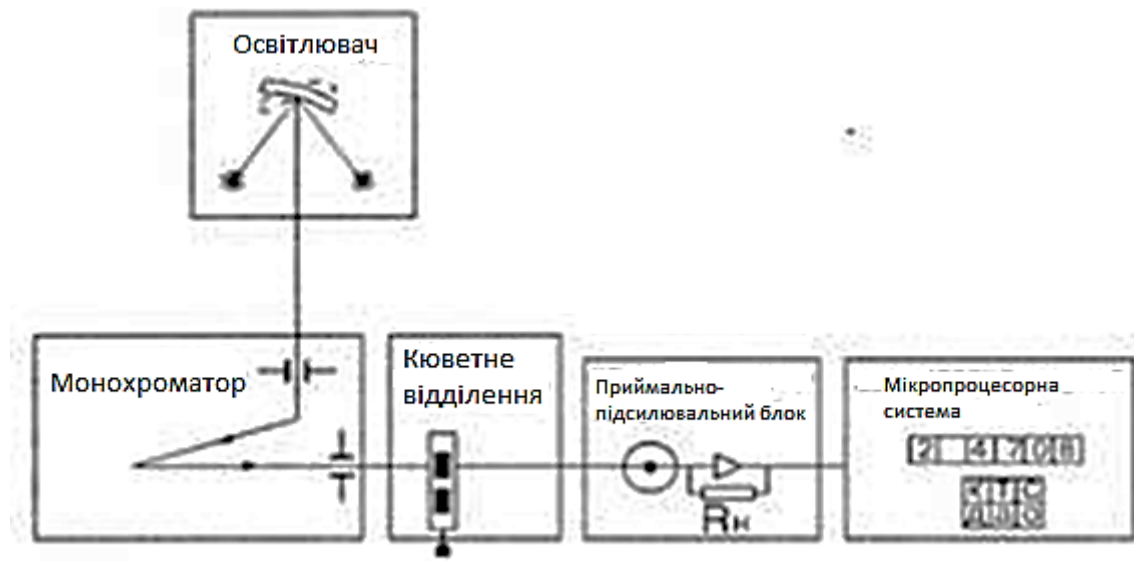


Рисунок 3.2 – Структурна схема спектрофотометра СФ-46

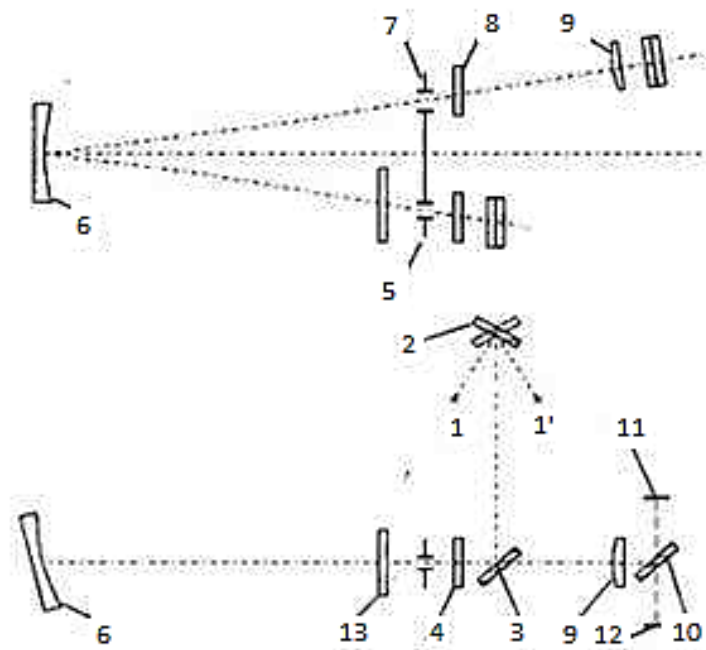
Світловий пучок з освітлювача потрапляє в монохроматор через вхідну щілину та розкладається дифракційними ґратами у спектр. У монохроматичний потік випромінювання, що надходить з вихідної щілини в кюветне відділення, вводяться по чергову контрольний і досліджуваний зразки. Випромінювання через зразок потрапляє на катод фотоелемента в приймально-підсилювальному блоці. Електричні сигнали на резисторі, включеному в анодний ланцюг фотоелемента, пропорційні потокам випромінювання, що падає на фотокатод.

Підсилювач постійного струму з коефіцієнтом посилення, близьким до одиниці, забезпечує передачу сигналів на вхід мікропроцесорної системи (надалі МПС). МПС за командою оператора по черзі вимірює і запам'ятовує напруги  $U_T$ ,  $U_0$ ,  $U$ , пропорційні тіньовому струму фотоелемента, потоку, що пройшов через контрольний зразок, і потоку, що пройшов через досліджуваний зразок. Після вимірювання МПС розраховує коефіцієнт пропускання досліджуваного зразка за формулою

$$T = \frac{U - U_T}{U_0 - U_T} \cdot 100. \quad (3.1)$$

Значення вимірної величини висвічується на цифровому фотометричному (надалі фотометричному) табло. Монохроматор побудований за вертикальною автоколімаційною оптичною схемою.

Оптичну систему спектрофотометра СФ-46 наведено на рисунку 3.3.



- 1, 1' – джерела світла; 2 – дзеркальний конденсор; 3 – поворотне дзеркало;  
 4 – лінза; 5 – вхідна щілина монохроматора; 6 – дифракційні ґрати;  
 7 – вихідна щілина монохроматора; 8 та 9 – лінзи; 10 – поворотне дзеркало;  
 11 та 12 – фотоелементи; 13 – світлофільтр

Рисунок 3.3 – Оптична система спектрофотометра СФ-46

Випромінювання джерела 1 або 1' падає на дзеркальний конденсор 2, який направляє його на плоске поворотне дзеркало 3 і дає зображення джерела випромінювання в площині лінзи 4, розташованої поблизу вхідної щілини 5 монохроматора.

Пройшло через вхідну щілину випромінювання падає на увігнуту дифракційну решітку 6 зі змінним кроком і криволінійним штрихом. Решітка виготовляється на сферичній поверхні, тому, крім дисперсійних властивостей, вона має властивість фокусувати спектр. Застосування змінного кроку та

криволінійного штриха значно зменшує абераційні спотворення увігнутих дифракційних ґрат і дозволяє отримати високу якість спектра у всьому робочому спектральному діапазоні.

Дифрагований пучок фокусується в площині вихідної щілини 7 монохроматора, розташованої над вхідною щілиною 5. Сканування здійснюється поворотом дифракційної решітки, при цьому монохроматичне випромінювання різних довжин хвиль проходить через вихідну щілину 7, лінзу 8, зразок контрольний або вимірюваний, лінзу 9 і за допомогою поворотного дзеркала 10 потрапляє на світлочутливий шар одного з фотоелементів 11 або 12.

Для зменшення розсіяного світла та зрізання вищих порядків дифракції в спектрофотометрі використовуються два світлофільтри: зі скла ПС11 для роботи в області 230 нм – 450 нм та зі скла ОС14 для роботи в області 600 нм – 1100 нм. Зміна світлофільтрів здійснюється автоматично.

Лінзи виготовлені з кварцового скла з високим коефіцієнтом пропускання в ультрафіолетовій області спектру. Для забезпечення роботи спектрофотометра в широкому діапазоні спектра використовуються два фотоелементи та два джерела випромінювання суцільного спектра. Сурм'яно-цезієвий фотоелемент з вікном з кварцового скла застосовується для вимірювань в області спектру від 186 нм до 700 нм, киснево-цезієвий фотоелемент – для вимірювань в області спектру від 600 нм до 1100 нм. Довжина хвилі, при якій слід переходити від вимірювання з одним фотоелементом до вимірювання з іншим фотоелементом, вказується в паспорті спектрофотометра.

Дейтерієва лампа призначається для роботи в ділянці діапазону від 190 нм до 350 нм, лампа розжарювання – для роботи в області діапазону від 340 нм до 1100 нм.

## 4 ІНДЕКСИ КОЛЬОРОПЕРЕДАЧІ ДЖЕРЕЛ ВИПРОМІНЮВАННЯ

Індекс кольоропередачі, коефіцієнт кольору (англ. colour rendering index, CRI або Ra) – кількісна міра можливості джерела світла правильно відобразити кольори освітлюваних об'єктів у порівнянні з ідеальним або природним джерелом світла. Ra приймає значення від 1 до 100 (1 – найгірша передача кольору, 100 – найкраща).

Оцінка можливості тестованого джерела випромінювання передачі кольорів виробляється його порівнянням з еталонним джерелом світла.

При експериментальному визначенні індексу кольоропередачі джерела, що тестується, крім досліджуваного і еталонного випромінювачів використовують еталонні відбивають поверхні.

Однак з метою забезпечення міжнародної стандартизації при визначенні коефіцієнтів передачі кольору реальних випромінювачів застосовується спеціальний набір з 14 кольорових поверхонь. Цей набір був вибраний із набору кольорів, спочатку запропонованого Манселом.

Обмеження щодо розрахунку.

За рекомендацією МКО щодо розрахунків еталонний джерело вибирається за умов:

– якщо координати кольоровості досліджуваного джерела лежать на кривій Планка, то в якості еталонного джерела повинен бути обраний абсолютно чорне тіло, що має ту ж колірну температуру, що і випромінювач, що тестується.

– як еталонний, можна використовувати один із стандартних джерел МКО (наприклад D<sub>65</sub>).

Ідеальний випадок – тестований та еталонний джерела світла мають однакові координати кольоровості та рівні світлові потоки.

Експериментально було доведено, що якість джерел білого світла різко знижується при видаленні їх координат кольорів на колірній діаграмі,  $x$  і  $y$  від кривої Планка більш ніж на 0,01. Ця величина відповідає розмірам приблизно

чотирьох еліпсів МакАдама – стандарту, прийнятому для освітлювальних приладів. Проте слід зазначити, що критерій відхилення на 0,01 є необхідним, але недостатнім для отримання високоякісних джерел освітлення.

Умовилися вважати, що еталонний джерело світла має ідеальні параметри передачі кольору, тобто. його індекс кольоропередачі  $CRI = 100$ .

При цьому виходили з того, що природне денне світло близьке за параметрами до випромінювання абсолютно чорного тіла і тому праву можна віднести до стандартним еталонним джерел світла.

Еталонні поверхні, що відбивають, про які згадувалося вище, визначаються через їх спектральну відбивну здатність (ставлення спектрального розподілу відображення поверхні до спектрального розподілу відображення еталона білої поверхні). Сумарний індекс кольору обчислюється на основі вимірювань при використанні всіх восьми еталонних поверхонь.

## 5 ОХОРОНА ПРАЦІ

### 5.1 Аналіз умов праці

Науково-дослідна лабораторія (НДЛ) має розміри: довжина 14 м, ширина 8,5 м, висота 4 м. Кількість робочих місць 12. У приміщенні встановлені 6 апаратів для паяння, оскільки при проведенні досліджень проводиться монтаж та паяння різних елементів [31]. Також на інших робочих місцях встановлено ПК: монітори LCD; споживана потужність 400 Вт; ЦПУ – Intel Core i7 (4790); оперативна пам'ять типу DDR3 (1833 МГц) – 16 Гб. На кожну людину припадає площа 9,91 м<sup>2</sup> та об'єм 39,6 м<sup>3</sup>, що відповідає вимогам ДСанПІН 3.3.2–007–98 «Державні санітарні правила і норми» .

Гігієнічні вимоги до організації роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин»: на одного працівника у приміщенні, оснащеному ЕОМ, площа не менше 6 м<sup>2</sup> та об'єм не менше 20 м<sup>3</sup> та 4,5 м<sup>2</sup> та 15 м<sup>3</sup> відповідно для робочих місць без ПК.

На рисунку 5.1 наведено функціональну схему обладнання на робочому місці працівника лабораторії.



Рисунок 5.1 – Функціональна схема обладнання на робочому місці інженера

Технічні характеристики обладнання: паяльник – вхідна напруга – 220 В, потужність – 25 Вт; Осцилограф "Rigol" – вхідна напруга – 220 В, споживана потужність – 50 Вт.

Все це обладнання, при досягненні своїх функціональних характеристик здатне виділяти зайве тепло, що, своєю чергою, впливає негативно на стан працівника наукової лабораторії.

Внаслідок гігієнічної оцінки умов праці визначили, що робоче місце працівника НДЛ належить до третього класу першого ступеня шкідливості. Одним із шкідливих факторів є напруженість аналізаторських функцій – зору. Для усунення необхідно дотримуватись раціонального режиму праці та відпочинку працівників з наданням їм регламентованих перерв для проведення спеціальної зорової та загальної гімнастики з урахуванням зорово-напружених робіт за комп'ютером.

Переважаючий небезпечний фактор – підвищене значення напруги в електричному ланцюзі, замикання якого може статися через тіло людини.

## 5.2 Забезпечення виробничої санітарії за умов виробництва

Технічний та організаційний рівень робочих місць відповідає умовам, що описані в ГОСТ 12.2.032–78 ССБП. «Робоче місце під час виконання робіт сидячи. Загальні ергономічні вимоги (2.2.032–78)». Робочі місця відносно світлових отворів розташовуються так, що природне світло падає з лівого боку, розташовані на відстані 1 м від стін зі світловими отворами.

Конструкція робочого місця повинна забезпечувати підтримку оптимальної робочої пози з такими ергономічними характеристиками:

- стопи ніг – на підлозі або на підставці для ніг;
- стегна – у горизонтальній площині;
- передпліччя – вертикально;
- лікті – під кутом  $70^{\circ}\text{C} - 90^{\circ}\text{C}$  до вертикальної площини;
- зап'ястя – зігнуті під кутом трохи більше  $20^{\circ}\text{C}$  відносно горизонтальної площини;
- нахил голови –  $15^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C}$  відносно вертикальної площини.

Робочі місця розташовані у два ряди. Апарати для паяння знаходяться на дерев'яних столах. Висота робочої поверхні столу становить 725 мм, ширина –



800 мм, глибина – 1000 мм. Робочий стіл має простір для ніг заввишки щонайменше 600 мм, шириною 500 мм, глибиною на рівні колін 450 мм, глибиною на рівні витягнутої ноги 650 мм. Робочий стіл обладнаний підставкою для ніг шириною 300 мм, глибиною 400 мм з можливістю регулювання по висоті в межах 150 мм та кута нахилу опорної поверхні – в межах 20 °С, що має рифлену поверхню та борт на передньому краї, висота якого становить 10 мм [32].

Робоче сидіння – підйомно-поворотне та регулюється: по висоті, куту нахилу сидіння та спинки, по відстані спинки до переднього краю сидіння, висоті підлокітників [33].

На рисунку 5.2 наведено план розміщення робочих місць.

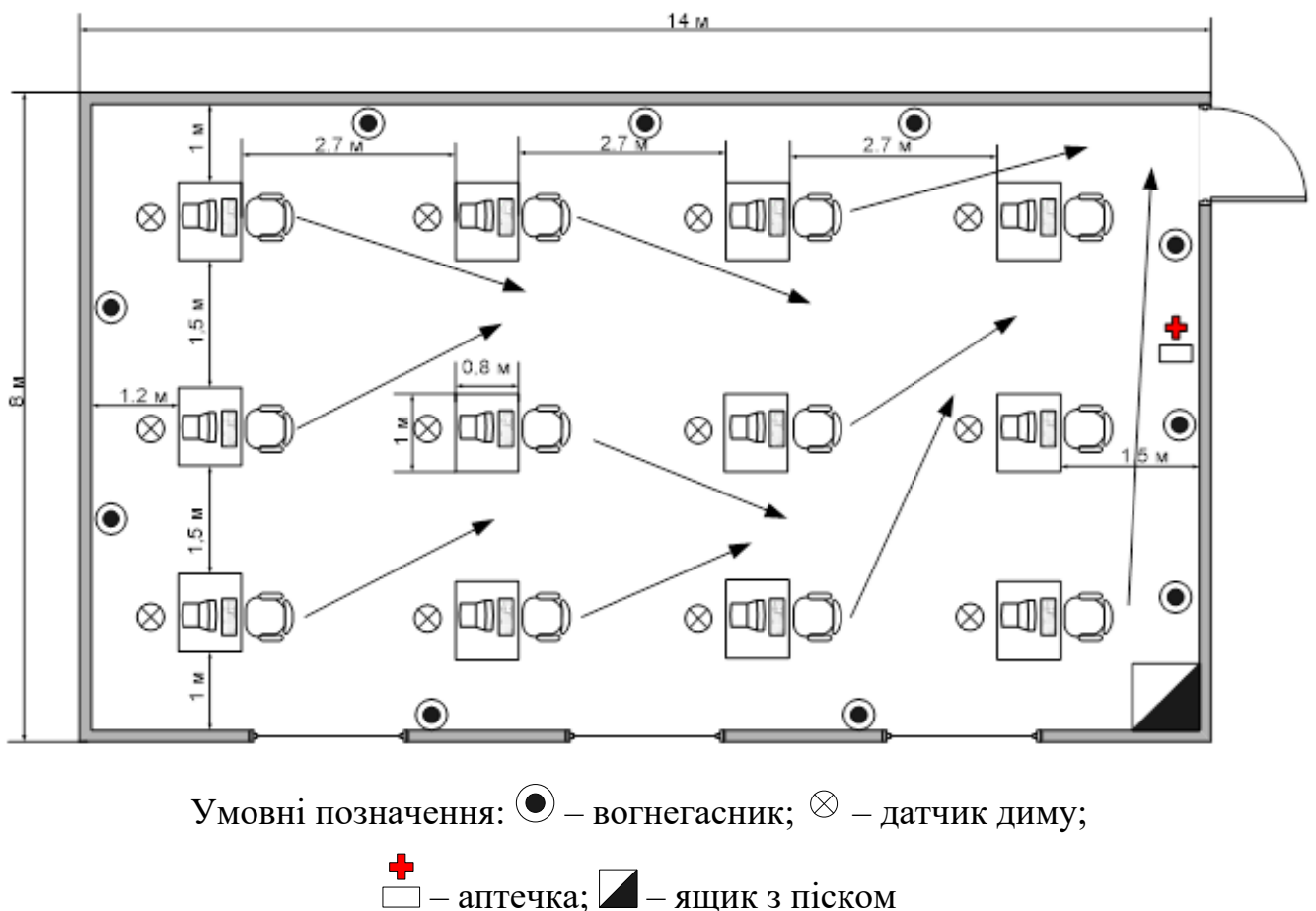


Рисунок 5.2 – План розміщення робочих місць

У лабораторії метеорологічні параметри підтримуються відповідно до ДСН 3.3.6.042–99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» та становлять:

- у холодний період: температура повітря в межах 22 °С – 24 °С, відносна вологість 40 % – 60 % та швидкість руху повітря близько 0,1 м / с;
- у теплий період: температура повітря в межах 23 °С – 25 °С, відносна вологість 40 % – 60 % і швидкість руху повітря близько 0,1 м / с.

Підтримка значень метеорологічних параметрів на оптимальних значеннях забезпечується за рахунок радіаторів центрального опалення в холодний період та припливно-витяжної вентиляції у теплий період [34].

Рівень шуму в приміщенні лабораторії становить близько 50 дБ, що не виходить за межі допустимого значення згідно ДСН 3.3.6.037–99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку».

Приміщення мають природне та штучне освітлення, рівень якого відповідає ДБН В.2.5–28:2018 «Природне і штучне освітлення».

Природне висвітлення забезпечує коефіцієнт природного висвітлення не нижче 1,5 %, штучне висвітлення має бути оснащено системою загального рівномірного висвітлення та давати освітленість на робочому місці 300 лк. Природне освітлення до лабораторії проникає через віконний отвір. Штучне освітлення реалізується за допомогою світильників із люмінесцентними лампами типу ЛБ.

Відповідно до ДСанПІН 3.3.2–007–98 «Державні санітарні правила і норми. Гігієнічні вимоги до організації роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» встановлюються такі внутрішньозмінні режими праці та відпочинку при роботі з ЕОМ: при 8 – годинній денній робочій зміні, залежно від характеру, слід призначати регламентовані перерви для відпочинку тривалістю 15 хвилин через кожен годину роботи.

### 5.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях у приміщенні наукової лабораторії

В університеті за безпеку при НС відповідає штаб цивільної оборони, йому підпорядковуються територіальні штаби цивільної оборони, спеціальні підрозділи міністерств та інших центральних органів державної виконавчої влади, залучені до виконання завдань захисту населення та надання допомоги у НС, та на штатних працівників організації.

На рисунку 5.3 наведено структурну схему штабу цивільної оборони Харківського національного університету радіоелектроніки.

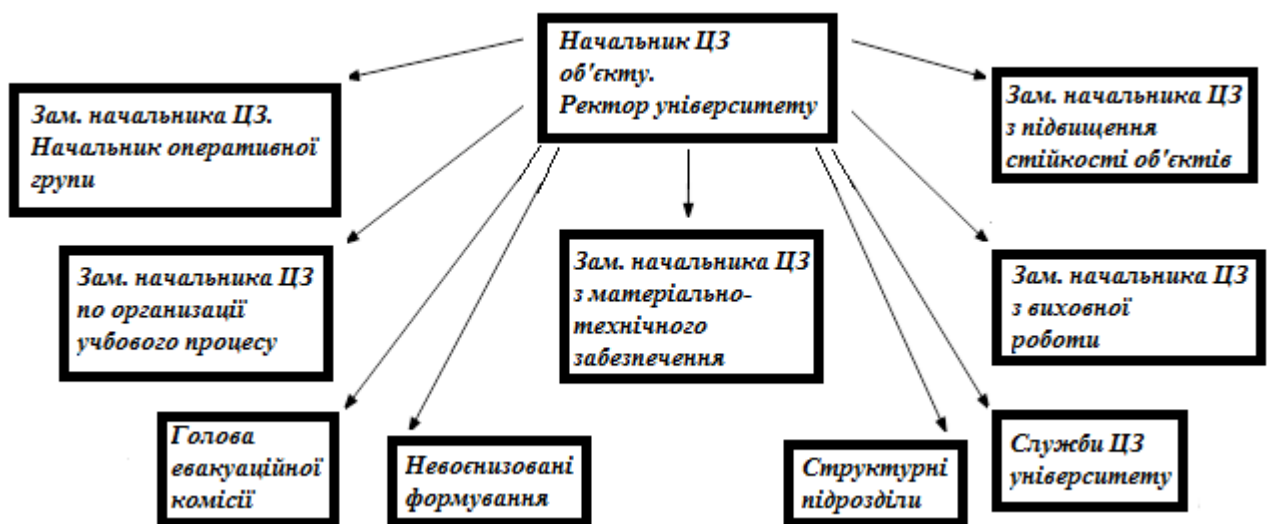


Рисунок 5.3 – Структурна схема штабу цивільного захисту ХНУРЕ

Як правило, в більшості випадків, основною надзвичайною ситуацією в приміщенні наукової лабораторії є загроза виникнення пожежної ситуації.

Науково-дослідна лабораторія розташована в будівлі, виконаній із залізобетонних конструкцій, при роботі тут застосовуються тверді вогнетривкі матеріали. Тому згідно з ДБН В.1.1–7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва» будівля має I ступінь вогнестійкості, виробництво в НДЛ з пожежо-вибухобезпеки відноситься до категорії В, а за НПАОП 40.1–1.21–98 (ДНАОП 0.00–1.21–98) «Правила безпечної експлуатації електроустановок

споживачів» приміщення відноситься до класу П–Па. Вимоги щодо пожежо-вибухобезпеки виконані.

Причиною пожежі в НДЛ може бути коротке замикання електропроводки; несправність ПЕОМ та іншого електрообладнання; нагрівання провідників; куріння в недозволеному місці.

Відповідно до вимог ГОСТ 12.1.004–91 «Система стандартів безпеки праці. Пожежна безпека. Загальні вимоги» та ДБН В.2.5–56:2010 «Інженерне обладнання будинків і споруд. Пожежна автоматика будинків і споруд. Зі зміною № 1», приміщення НДЛ має бути оснащено [35]:

- димовими пожежними сповіщувача у кількості 12 одиниць (з розрахунку 2 сповіщувача на кожні 20 м<sup>2</sup> площі приміщення);

- вуглекислотними переносними вогнегасниками ємністю не менше 2 л у кількості 5 одиниць (з розрахунку 1 вогнегасник на 20 м<sup>2</sup> площі, але не менше 2 на приміщення). Тип обраного вогнегасника ВЛК–3,5;

- кошмою.

Необхідно проводити наступні організаційні заходи:

- призначити відповідального за НДЛ за пожежну безпеку;
- включати питання щодо пожежної профілактики у всі інструктажі з техніки безпеки;

- заборонити куріння в недозволеному місці, а також використання в НДЛ нестандартних (саморобних) електроприладів, насамперед нагрівальних, призначити заходи адміністративної відповідальності за порушення цих заборон;

- контролювати ізоляцію та стан електропроводки та електрообладнання.

У приміщенні 12 осіб, тож, згідно з ДБН В.1.1–7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва» та ГОСТ 12.1.004–91 «Система стандартів безпеки праці. Пожежна безпека. Загальні вимоги», евакуацію під час пожежі можна проводити через робочий вихід.

Схему евакуації розмістити на чільному місці біля виходу з приміщення.

Схему евакуації наведено на рисунку 5.2.

## ВИСНОВКИ

У дипломній роботі досліджено можливості застосування засобів спектроскопії для вимірювання кольору об'єктів.

Визначено основне завдання спектроскопії – прямі та зворотні.

Розглянуто та проаналізовано основні методи спектроскопічного аналізу, його застосування та можливості.

Обґрунтовано способи реалізації спектроскопічного методу контролю та запропоновано конкретні способи та прилади його реалізації.

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАННИХ ДЖЕРЕЛ

1. ГОСТ 13088-67 Колориметрія. Терміни, літерні позначення.
2. Ж. Годен «Колориметрія під час відео-обробки», М.: Техносфера, 2008г.
3. Ніколс Джон, Мартін Роберт, Валлас Брюс, Фукс Підлога, Від нейрона до мозку: Пер. з англ. Вид. 2-ге - М.: Видавництво ЛКІ, 2008. - 672 с., Кв. вкл. ISBN 978-5-382-00808-0.
4. Юков Є. А. Спектроскопія // Фізична енциклопедія / Гол. ред. А. М. Прохоров. - М.: Велика Російська енциклопедія, 1994. - Т. 4. - С. 625. - 704 с.
5. Єльяшевич, М.А. Атомна та молекулярна спектроскопія. - М.: Наука, 1962. - 892 с.
6. Каммінгс Г., Пайк Е. Спектроскопія оптичного змішування та кореляція фотонів. - М.: Світ, 1978. - 583 с.
7. James, T. Fulton, (2002) Processes In Biological Vision.
8. Baylor DA, Lamb T.D., і Yau K.W. 1979. The membrane current of single rod outer segments. J. Physiol. 288: 589-611.
9. Юстова О.М. Колірні виміри (Колориметрія). - СПб.: Видавництво С.-Петербурзького університету, 2000. - 397 с. ISBN 5-288-02648-3.
10. Susana Martinez-Conde, Stephen L. Macknik (2007) Windows on the mind. J. Scientific American. August 2007: 56-63.
11. E. Schrödinger, Gesichtsempfindungen 1 Hand. der Physik Müller Pacillet, 1929
12. Шуберт Ф. Світлодіоди / Пер. з англ. за ред. А.Е. Юновича. - 2-ге вид. - М.: ФІЗМАТЛІТ, 2008. - 496 с. - ISBN 978-5-9221-0851-5.
13. Кривошесєв М.І., Кустарєв А.К. Колірні виміри. - М.: Вища школа, 1990. -240 с.: іл. ISBN 5-283-00545-3.
14. М.Д. Фершильд Моделі кольорового сприйняття, друге видання: пров. з англ. - СПб., 2006.
15. Кравков С.В. Колірний зір - вид-во академії наук, 1951, 175 с.

16. Н.Д. Ньюберг «Вимірювання кольору та колірні стандарти» - Державне видавництво СТАНДАРТИЗАЦІЯ ТА РАЦІОНАЛІЗАЦІЯ, 104 с.
17. Ізмайлов Ч.А., Соколов Є.М., Черіоріз А.М. Психофізіологія колірною зору. М.: Вид-во МДУ, 1989. - 206 с. ISBN 5-211-00228-8.
18. Агостон Ж. Теорія кольору та її застосування в мистецтві та дизайні: Пер. з англ. - М.: Світ, 1982. - 184 с., Іл.
19. Гуревич М.М. Колір та його вимір. Вид-во Академії наук М-Л, 1950
20. Міннарт М. «Світло та колір у природі» М., 1969 р., 360 стор з іл. G с / Lished John Willey & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, Canada, 2007. ISBN 978-0-470-04904-4.
21. Пешкова В.М., Громова М.І. Практичний посібник з спектрофотометрії та колориметрії. Вид-е друге, пров. та доповнене.: 1965 р., 132 стор., іл.
- 22 Джадд Д., Вишецький Р., Колір у науці та техніці: Пер. з англ. - За ред. д.т.н., проф. Л.Ф. Артюшин. - М.: Світ, 1978 р. - 592 с., Іл.
- 23 Сайт [www.brucelindbloom.com](http://www.brucelindbloom.com).
- 24 Форсайт Д.А., Понс Ж., Комп'ютерний зір. Сучасний підхід : Пров. з англ. - М.: Видавничий дім "Вільямс", 2004. - 928 с.: іл.– Парал. тит. англ. ISBN 5-8459-0542-7.
- 25 Р.В.Г. Хант Відтворення кольорів, шосте видання: пров. з англ., 2009р.
- 26 А. Берг, П. Дін «Світлодіоди»: пров. з англ. - М.: Світ - 1979 р.
27. Юков Є. А. Спектроскопія // Фізична енциклопедія / Гол. ред. А. М. Прохоров. - М.: Велика Російська енциклопедія, 1994. - Т. 4. - С. 625. - 704 с.
28. Єльяшевич, М.А. Атомна та молекулярна спектроскопія. - М.: Наука, 1962. - 892 с.
29. ред. Каммінгс Г., Пайк Е. Спектроскопія оптичного змішування та кореляція фотонів. - М.: Світ, 1978. - 583 с.
30. Малишев, В. І. Введення в експериментальну спектроскопію. - М.: Наука, 1979. - 479 с.
31. Методичні вказівки до виконання розділу «Охорона праці» у випускних роботах ОКР «бакалавр» усіх форм навчання [Текст] / Упоряд.

Б.В.Дзюндзюк, В.А.Айвазов, Т.Є.Стиценко. – Харків: ХНУРЕ, 2012. – 28 с.

32. ДСанПІН 3.3.2–007–98 «Державні санітарні правила і норми. Гігієнічні вимоги до організації роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин».

33. ГОСТ 12.2.032–78 ССБТ. «Робоче місце під час виконання робіт сидячи. Загальні ергономічні вимоги (2.2.032–78)».

34. ДСН 3.3.6.042–99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень».

35. ГОСТ 12.1.004–91 «Система стандартів безпеки праці. Пожежна безпека. Загальні вимоги».