

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА  
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ВИСОКИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Завідувач кафедри нанофізики конденсованих середовищ

проф. Валерій Антонович Скришевський

Протокол № \_\_\_\_\_ засідання кафедри

від “ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2023 р.

**ДОСЛІДЖЕННЯ СПЕКТРУ ПЕРЕВИПРОМІНЮВАННЯ UCNs**

Випускна кваліфікаційна робота бакалавра  
студента спеціальності  
105 Прикладна фізика та наноматеріали  
ОП «Нанофізика та комп'ютерні технології»  
**Коломійця Лева Юрійовича**

Науковий керівник  
доцент кафедри нанофізики  
конденсованих середовищ  
к. ф. –м. н. **Шкавро Анатолій Григорович**

Оцінка захисту роботи  
\_\_\_\_\_

Київ – 2023 р.

## Анотація

Коломієць Л.Ю. Дослідження спектру перевипромінювання UCNs. – Випускна кваліфікаційна робота бакалавра за спеціальністю 105 Прикладна фізика та наноматеріали ОП «Нанофізика та комп'ютерні технології».

У роботі проведено виміри спектрів люмінесценції зразків UCNs. Отримані результати можуть бути використані для покращення сумісності пари UCN – ФС.

Ключові слова: ап-конверсія, UCN, ФС, фотосенсибілізатор, ФДТ, фотодинамічна терапія, ІЧ, інфрачервоне випромінювання, спектр, монохроматор, ФЕП, автоматизація.

## Зміст

Перелік умовних позначень

Вступ

1	Огляд літератури.....	6
2	Структура автоматизованої системи з дослідження спектрів випромінювання .....	9
2.1	Загальна структура автоматизованої системи.....	9
2.2	Установка ,загальна структура.....	10
2.3	Блок керування монохроматорами (БКМ) .....	11
2.4	ФЕП.....	13
2.5	Блок інвертора, термостабілізатора (Інв,Тс).....	15
2.5.1	Інвертор.....	17
2.5.2	Термостабілізатор.....	19
2.5.3	АЦП.....	21
2.5.4	Монохроматори .....	21
2.5.5	Джерело інфрачервоного випромінювання.....	22
2.6	Зразки.....	24
3	Експеримент.....	25
3.1	Короткий опис процесу проведення експерименту.....	25
3.2	Результати експерименту .....	26
3.3	Аналіз отриманих результатів .....	32
4	Висновки.....	35
5	Джерела .....	36

## Перелік умовних позначень

ФДТ - фотодинамічна терапія.

ФС - фотосенсибілізатор

ДНК - дезоксирибонуклеїнова кислота

UCN - наночастинки з підвищенням частоти

ЕОМ - електронно-обчислювальна машина

ПК – персональний комп'ютер

БКМ – блок керування монохроматорами

Інв – інвертор електричного сигналу.

ТС – температурний стабілізатор, або Тс – термостабілізатор.

АЦП - аналого-цифровий перетворювач,

ЦАП - цифро-аналоговий перетворювач

DC-DC - Direct Current – Direct Current (перетворення постійного струму у постійний струм)

ФЕП - Фотоелектронний помножувач

## Вступ

Проблемам зі здоров'ям людини присвячено незліченну кількість досліджень, методів лікування, розроблено велику кількість спеціалізованих речовин з унікальними властивостями. Велику частину в цьому займає онкологія і методи боротьби з нею. Однією з методик лікування деяких онкологічних захворювань є фотодинамічна терапія-(ФДТ).

З наведеного в наступному розділі (Короткі відомості про ФДТ) можна зробити висновок, що спектр люмінісценції UCN є важливим, для створення ефективної пари UCN – ФС, що робить необхідним вимірювання спектрів випромінювання, для новостворених, або модифікованих перетворювачів. Відповідно, мета роботи: дослідити спектри перевипромінювання з підвищенням частоти світла, наявних зразків.

## 1 Огляд літератури

ФДТ — це метод клінічного лікування, за допомогою якого хворі клітини та тканини руйнуються комбінацією світла та спеціальних препаратів, які називаються фотосенсибілізаторами (ФС). Крім того, необхідна наявність достатнього молекулярного кисню в тканині. Механічно він має 3 фази: збудження молекул ліків, утворення токсичного кисню та загибель клітини.[1]

Наночастинки з підвищенням частоти (UCN) — це модифіковані композити нанометрового розміру, які генерують світло вищої енергії з випромінювання меншої енергії, як правило, інфрачервоного (ІЧ) діапазону, завдяки використанню іонів перехідних металів, лантанодів або актиноідів, легованих у тверду речовину.[1]

У першій фазі ФДТ випромінюване світло відповідної довжини хвилі збуджує молекули ФС, світло зазвичай вибирають так, щоб воно збігалось з максимальною довжиною хвилі поглинання молекул препарату. Молекули поглинають цю енергію і переходять у збуджений синглетний стан[1]. Тепер вони мають здатність зазнавати спінового перетворення електронів у свій триплетний стан. Після цього відбувається передача цієї енергії молекулам кисню, або іншим молекулам субстрату в оточенні, які потім реагують з киснем. Остання реакція призводить до утворення реакційноздатних вільних радикалів, або іон-радикалів, які потім реагують з основним молекулярним киснем з утворенням супероксидних аніон-радикалів, пероксиду водню та гідроксильних радикалів. Синглетні форми кисню мають час життя менше 3,5 мкс і можуть дифундувати лише від 0,01 до 0,02 мкм. Таким чином, початковий ступінь пошкодження обмежений місцем концентрації молекули ФС препарату. Зазвичай це мітохондрії, плазматична мембрана, апарат Гольджі, лізосоми. Ядро та ядерна мембрана зазвичай збережені, а пошкодження ДНК трапляється рідко. Пошкодження субклітинних органел і плазматичної мембрани супроводжується загибеллю клітин апоптичним, некротичним і аутофагічним шляхами, якщо шлях апоптозу заблокований, пошкоджена клітина все одно загине за допомогою аутофагічного, або некротичного шляху. [1]

Проте наявна серйозна проблема, яка полягає в тому, що більшість фотосенсибілізаторів поглинають у видимих областях спектру, (нижче 700 нм) де світло проникає в шкіру лише на кілька міліметрів. [1] Відповідно, виникає проблема з застосування цього класу речовин в середині організму людини.

Натомість, світло довжиною хвилі 700- 1100нм, мало поглинається тканинами організму людини і, відповідно, здатне проникати набагато глибше всередину. Водночас інфрачервоне випромінювання менш шкідливе для клітин, знижує ризик випадкового руйнування тканин. [2]

Тож є необхідність, або в створенні ФС, з поглинанням світла такої довжини хвилі, або якимось чином перетворити ІЧ випромінювання в світло видимого діапазону. Для досягнення останнього, використовують наночастинки з підвищенням частоти (UCN). [2] Такі матеріали існують, відомі і застосовуються. Цього можна досягти за допомогою двофотонного збудження, або ап-конверсії (upconversion). Обидві ці системи включають нелінійне перетворення низькоенергетичного ближнього інфрачервоного світла у фотони вищої енергії. Головна відмінність між ними є те, що при двофотонному збудженні бере участь одночасне поглинання двох фотонів ближнього інфрачервоного випромінювання, тоді як при ап-конверсії, два, або більше фотонів ближнього інфрачервоного випромінювання можуть бути поглинені в послідовно, що стало можливим завдяки наявності проміжних метастабільних станів. Оскільки ймовірність одночасного поглинання фотонів нижча, ніж імовірність послідовного поглинання, ефективність двофотонного збудження значно нижча, ніж ап-конверсії. NaYF<sub>4</sub> є одним з найбільш ефективних матеріалів для перетворення з підвищенням частоти, і лише в декількох дослідженнях повідомляється про використання інших матеріалів, таких як NaGdF<sub>4</sub>. NaLuF<sub>4</sub> та NaYbF<sub>4</sub>. [2]

Однак виникає інша проблема, кожний ФС має власний спектр поглинання і потребує відповідного UCN, спектр випромінювання якого максимально збігається із спектром поглинання і крім того кожен з них повинен мати достатньо високу ефективність. [2] Оскільки відомі UCN можуть мати не один

пік випромінювання, то можливе застосування одразу декількох ФС.[2] Проте є потреба в підборі речовин, що перевипромінюють в діапазоні, що точно відповідає спектру поглинання ФС-ра, бо побічний спектр випромінювання одночасно і знижує квантовий вихід на необхідних довжинах хвиль, і може бути небажаним сам по собі. Збільшення ефективності такої пари речовин дозволяє зменшити інтенсивність і час опромінення, а також зменшити дозування препарату. Тож для створення максимально відповідної пари UCN – ФС, або створюють нові речовини, або, що простіше, модифікують вже наявні.[2] Метод має також інші недоліки. До прикладу: квантовий вихід низький (<1%), тому для активації потрібна відносно висока інтенсивність NIR. Однак використання більшої потужності лазера призводить до швидкого нагрівання тканин організму, оскільки довжина хвилі збудження UCN при 980 нм перекривається з піком поглинання води при 970 нм. [2]

З наведеного вище можна зробити висновок, що спектр люмінісценції UCN має велике значення, що робить необхідним його вимірювання, для новостворених, або модифікованих перетворювачів.

## 2 Структура автоматизованої системи з дослідження спектрів випромінювання

### 2.1 Загальна структура автоматизованої системи

На рис. 2.1 наведено принципи взаємодії частин автоматизованої експериментальної установки під керуванням ЕОМ.

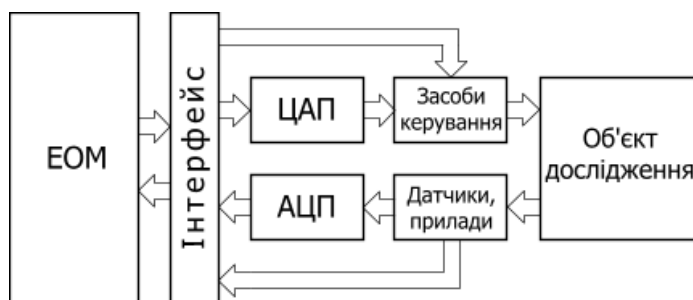


Рис. 2.1 Загальна структура автоматизованої системи

Незалежно від того, що саме і в який спосіб ми вимірюємо на автоматизованому обладнанні під керівництвом ЕОМ, є загальні принципи для будь-якої системи. Так наприклад, мають бути наявні засоби керування, через які з боку машини здійснюється вплив на зразок, обов'язковими також є датчики, що сприймають реакцію зразку на вплив.

Так, до прикладу, засобом керування в нашому випадку є монохроматори, що керуючись ПК та програмним забезпеченням визначають довжину хвилі світла, що може потрапити на зразок та від зразку на детектор (ФЕП).

Як монохроматор не може бути безпосередньо керований ПК так і сигнал з ФЕП неможливо просто подати на вхід ПК, для цього використовуються ЦАП та АЦП, що вже з'єднані з ПК через спеціалізовані інтерфейси обміну даними. Так ЦАП, в нашому випадку, це електрична схема під керівництвом Arduino, що отримує інструкції від ПК через шину USB і керуючись ними обертає крокові двигни, що в свою чергу з'єднані з монохроматорами. АЦП- PCI 9112 сприймає інвертований сигнал з ФЕП і через шину PCI передає сигнал в цифровому вигляді на ПК.

## 2.2 Установка ,загальна структура

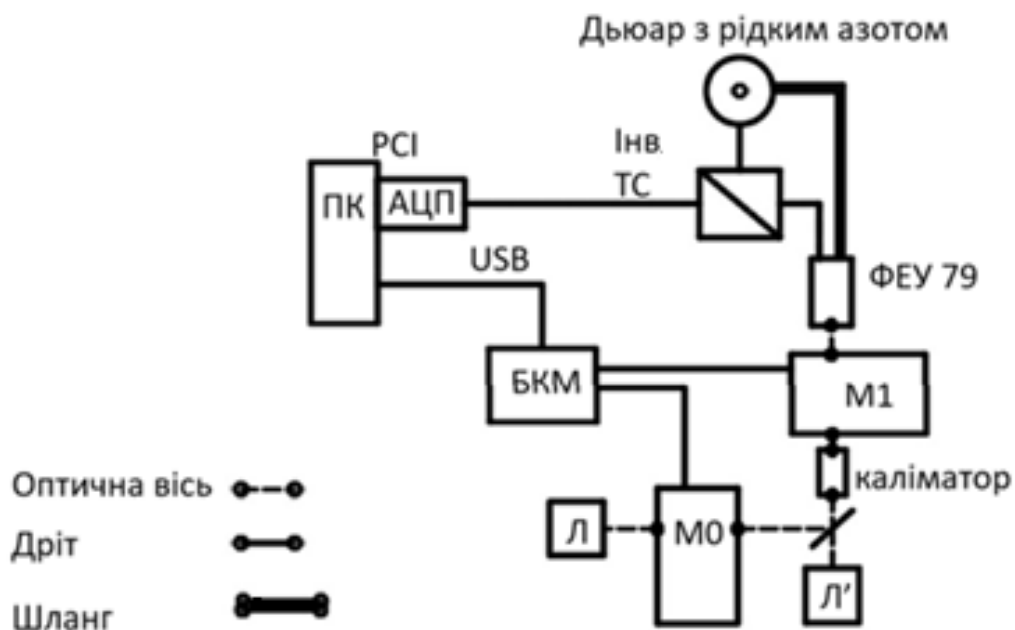


Рис. 2.2.1 Блокова структура установки. М1, М0-монохроматори МДР-2. ФЕУ-79 – фотоелектронний помножувач(приймач світла). БКМ-блок керування монохроматорами. Інв,ТС – блокщо обенує інвертор сигналу з ФЕП і пату термостабілізатора. АЦП – аналого-цифровий перетворювач РСІ9112. Л, Л'- місце для встановлення джерела випромінювання (встановлюється за потреби), / зразок, що досліджується.

Наведено блок-схему установки. Блоки скомпоновані та з'єднані так, як це є в реальному житті з місця експериментатора.

## 2.3 Блок керування монохроматорами (БКМ)

БКМ приймає команди комп'ютера та на їх основі керує кроковими двигунами, що в свою чергу відхиляють дифракційну решітку монохроматора. За прийом та обробку команд, а також керуванням польовими транзисторами, займається 8-бітний мікроконтролер Atmega 328, що є головою частиною платформи Arduino Uno . Платформа не здатна керувати кроковими двигунами напряму, через малі струми виходу, тож керування ними відбувається через польові транзистори. Як відомо, крокові електродвигуни перетворюють електричний струм на обертання ротора завдяки магнітному полю, що створюють відповідні котушки, за певних умов на цих обмотках може бути наведена ЄРС. Для запобігання пошкодження транзисторів та керуючого контролера паралельно кожній обмотці встановлено захисний діод, а транзистори керуються через оптрони, що забезпечують гальванічну розв'язку електричного кола з двигунами та контролеру .

Кожна з обмоток двигуна початком під'єднання до + живлення, а іншим до власного MOSFET транзистору, а саме до стоку транзистора. Див рис 2.3.1 схема БКМ.

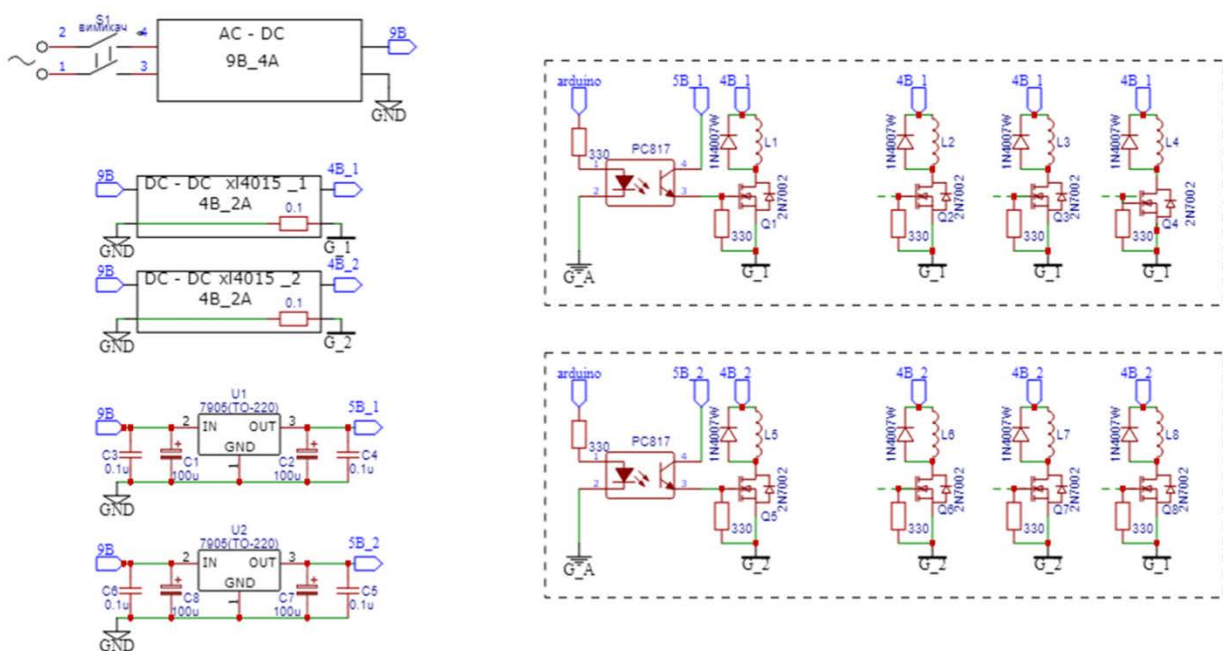


Рис.2.3.2 Принципова схема будови БКМ

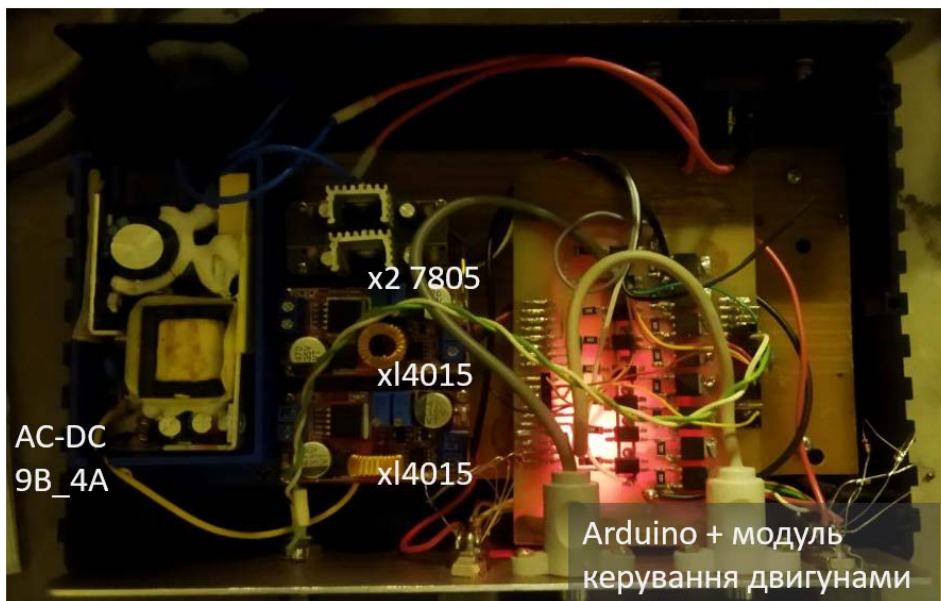


Рис. 2.3.2 БКМ

Живлення двигуна реалізовано через DC-DC знижуючий модуль XL4015. Модуль дозволяє встановити на своєму виході певну напругу, що нижче вхідної, та обмеження по струму, що і було зроблено. На обох XL4015 встановлено напругу 4 вольти та обмеження по струму в 2 ампера. Необхідність використання знижуючих перетворювачів полягає в тому, що джерело живлення видає 9 вольт, при подачі 9 вольт на обмотку крокового електродвигуна, з опором 1.5 Ом, призведе до його перегріву та виходу з ладу. Обмеження по струму також необхідне для запобігання перегріву, Оскільки, електродвигун може працювати у режимі дріблення кроку, тобто одночасно можуть бути задіяні кілька обмоток, а отже і результуючий опір менший за 1.5 Ом. Кожний двигун живиться від власного джерела, аби виключити вплив одного двигуна на інший.

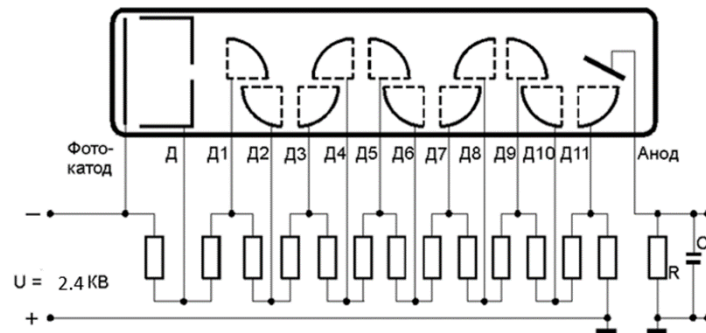
Слід звернути увагу, GND, G\_1, G\_2, G\_A, це не одне і те саме. Оскільки, обмеження по струму XL4015 відбувається шляхом зменшення напруги, Тож, неможна подавати цю напругу на колектор оптрона, адже для надійного відкриття транзистора необхідно щонайменше 5 вольт. Тож встановлено лінійний стабілізатор напруги Lm7805, що стабілізує і підтримує стабільну напругу 5В. Використано 2 стабілізатори Lm7805, для повного виключення впливу одного двигуна на інший.

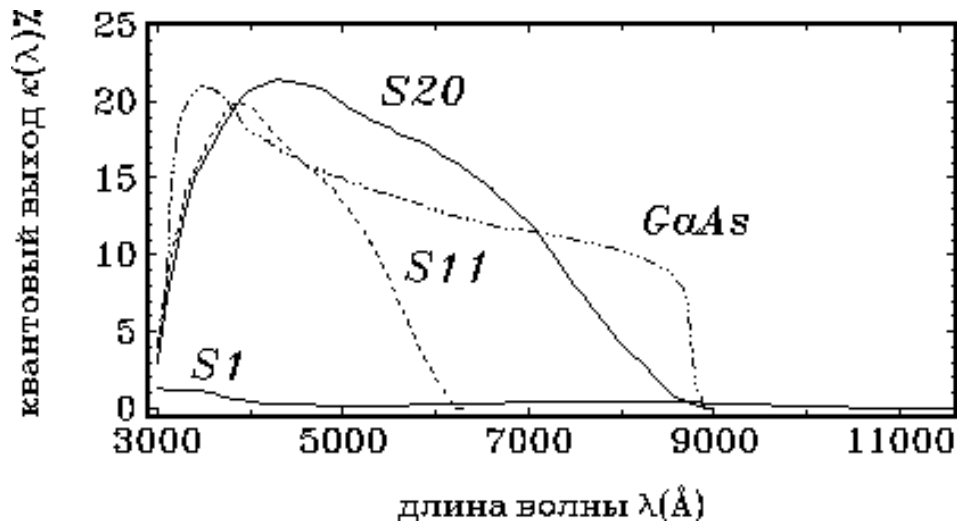


## 2.4 ФЕП

Рис.2.4.1 ФЕУ-79

Рис.2.4.2 Схема підключення ФЕП





### 2.4.3 Спектральна чутливість ФЕП-79(s20)

Важливими характеристиками ФЕП є

- 1 область спектральної чутливості 300 – 800 нм.
- 2 область максимальної спектральної чутливості 400-440нм
- 3 напруга живлення 2.4 кВ (обрана експериментальним шляхом)

Більше про ФЕУ-79 в додатку «паспорт ФЕУ-79»

Частиною установки, що перетворює світло в електричний сигнал є ФЕУ-79.

ФЕП – фотоелектронний помножувач – електровакуумна лампа, що дозволяє перетворювати слабкий світловий потік в електричний сигнал. Через особливості використання ФЕП сигнал, що ми отримуємо є інвертованим і ненормованим, тобто пік сигналу має від'ємну напругу і може бути більшим за максимально допустиму напругу на вході АЦП, тому доцільно використати інвертор сигналу.

Кожен фотон, що потрапляє в ФЕП спричиняє пік струму, що дозволяє детектувати дуже слабку інтенсивність опромінення. Шляхом підрахунку кількості імпульсів в одиницю часу можна оцінити інтенсивність слабого випромінювання. У режимі підрахунку фотонів ФЕП вразлива до спонтанних

виходів електронів з катоду і динодів, що також спричиняє пік сигналу. Для зменшення впливу цього ефекту зазвичай використовують охолодження, що знижує імовірність випадкового виходу електрона з катода, і зменшує власні шуми ФЕП приблизно на два порядки, що в свою чергу дозволяє детектувати ще більш слабе випромінювання. Для охолодження використовуються пари азоту. Пари азоту отримуються шляхом нагрівання резистора електричним струмом в посудині Дьюара з рідким азотом, що випаровується і по шлангу потрапляє до ФЕП. Стабілізація температури ФЕП відбувається на рівні 0 градуси Цельсія і контролюється блоком термостабілізації (2.5.2), у разі детектування світла, що має високу інтенсивність доцільніше вимірювати середню напругу на виході ФЕП, оскільки стає неможливо розділити між собою окремі піки. В цій роботі охолодження не використовувалось, за відсутністю необхідності, оскільки світло, що детектувалось від зразку, було достатньої інтенсивності.

### 2.5 Блок інвертора, термостабілізатора (Інв,Тс)

Блок містить в собі декілька окремих частин, що об'єднані одним корпусом та одним джерелом живлення 24В, 2.5А.

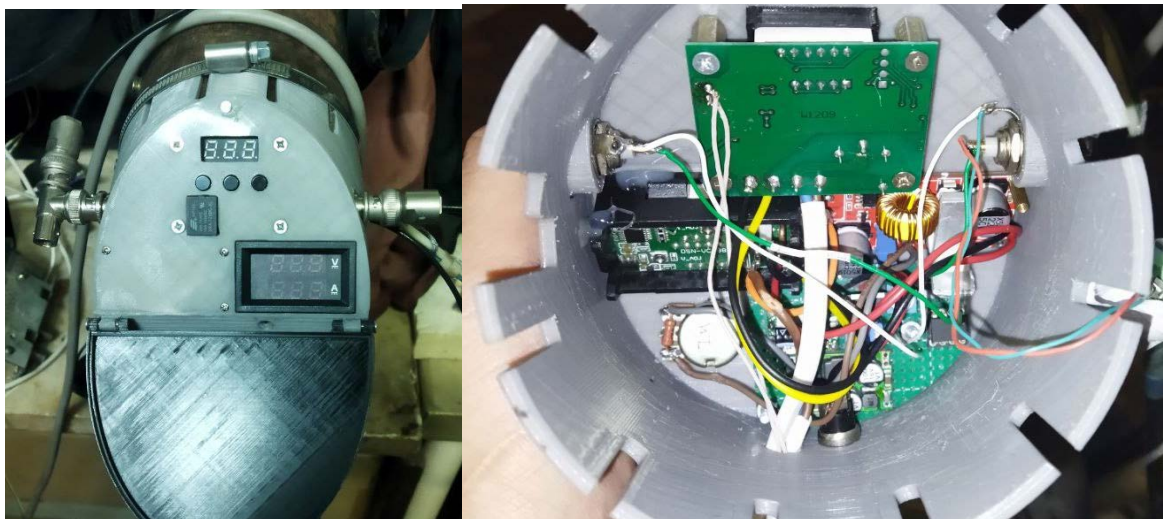


Рис 2.5.0.1 Блок Інв,Тс

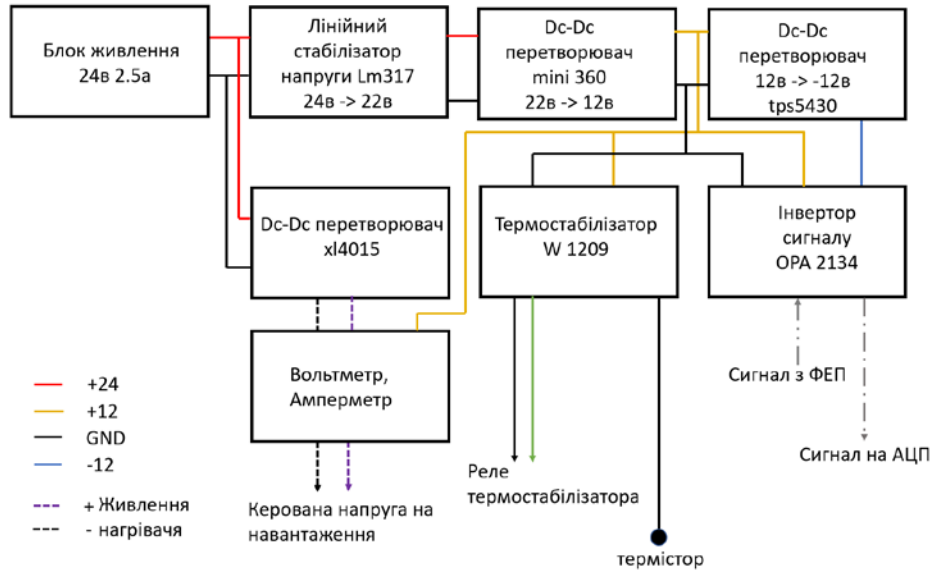


Рис. 2.5.0.2 структурна схема Інв,Тс

### 2.5.1 інвертор.

Інвертор використовується, як для інвертування сигналу з ФЕП, так і для його обмеження, аби не пошкодити, і не перевищити максимальну вимірювану наругу АЦП. Для того, щоб інвертор міг працювати, йому потрібне двополярне живлення, і воно має бути більшим за наругою ніж максимальна амплітуда сигналу. АЦП налаштовано на прийом наруги до 10 вольт, імпульс з ФЕП приблизно -10В тож живлення становить +12, -12В. Після модернізації використовується здвоєний операційний підсилювач OPA2134, один операційний підсилювач використовується як інвертор сигналу. Див рис 2.5.1

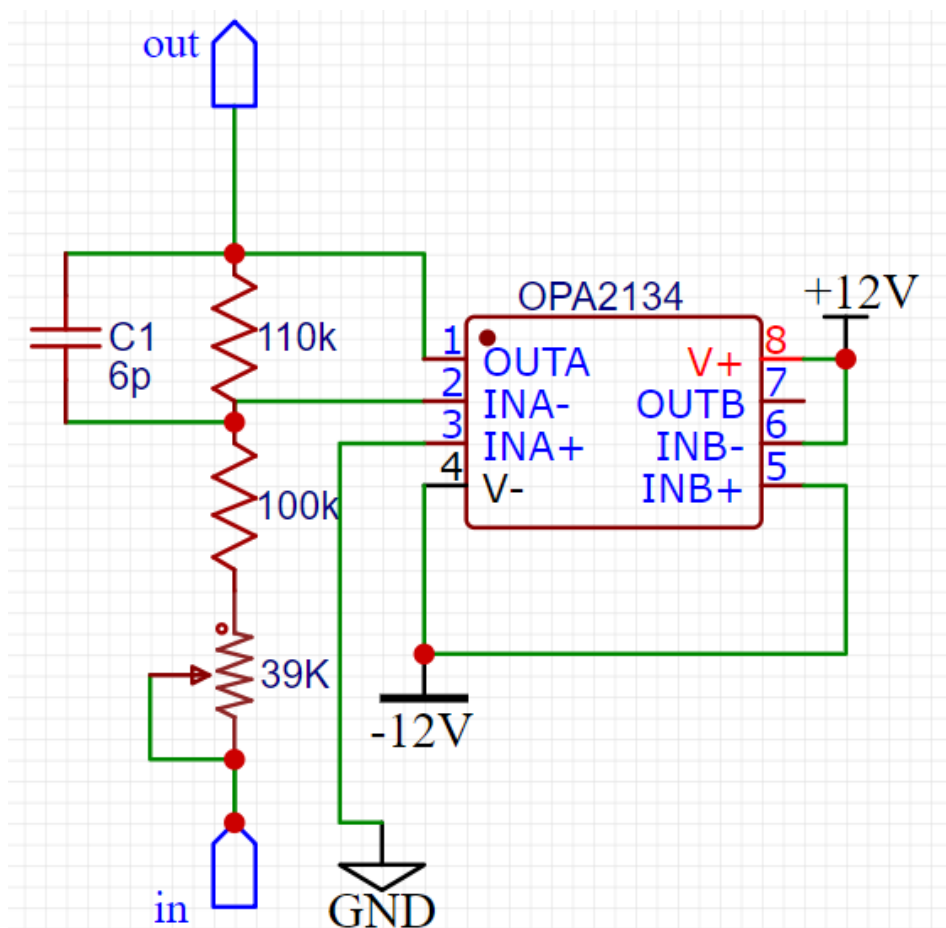


Рис. 2.5.1 Схема інвертора.

Перемінний резистор опором 39 кОм додано для можливості регулювання величини вихідного сигналу в невеликому діапазоні.

При перевірці інвертора було помічено шуми з частотою більше 1МГц і амплітудою 50мВ, для їх придушення було встановлено додатковий конденсатор в зворотній зв'язок, це вирішило проблему і не вплинуло на ефективність пристрою.

Двополярне живлення реалізовано шляхом використання декількох модулів перетворювачів наруги, (див рис. 2.5.0.2)

## 2.5.2 Термостабілізатор.

Для роботи при малих інтенсивностях світла необхідно охолоджувати ФЕП для зменшення рівню темнових шумів. Охолодження відбувається парами азоту і температура підтримується на рівні 0 градусів Цельсія. Для випаровування азоту в посудину Дьюара поміщено резистор на який подається струм, відповідно виділяється теплота і азот випаровується. Пари азоту потрапляють до тримача ФЕП, де обдувають його і виходять назовні. Азот не є небезпечним, проте в великій кількості здатен зменшити концентрацію кисню і нашкодити людині, що є причиною необхідності в провітрюванні приміщення.

За підтримання температури на заданому рівні відповідає W1209, це програмований модуль термостабілізації. Він має терморезистор, що підведено близько до ФЕП і реле, яким і керує, в залежності від налаштувань встановлених оператором.

Особливістю W1209 є те, що для його нормальної роботи потрібна напруга 12В, оскільки він знаходиться в одному корпусі з інвертором і має спільний з ним блок живлення то напругу потрібно знизити, тому використано малий DC-DC конвертор Mini360 і лінійний стабілізатор Lm317.

(Lm317 необхідний, бо максимальна напруга на mini 360 23В, а залишивши лише Lm317 на ньому буде виділятися близько 1Ват тепла, що забагато).

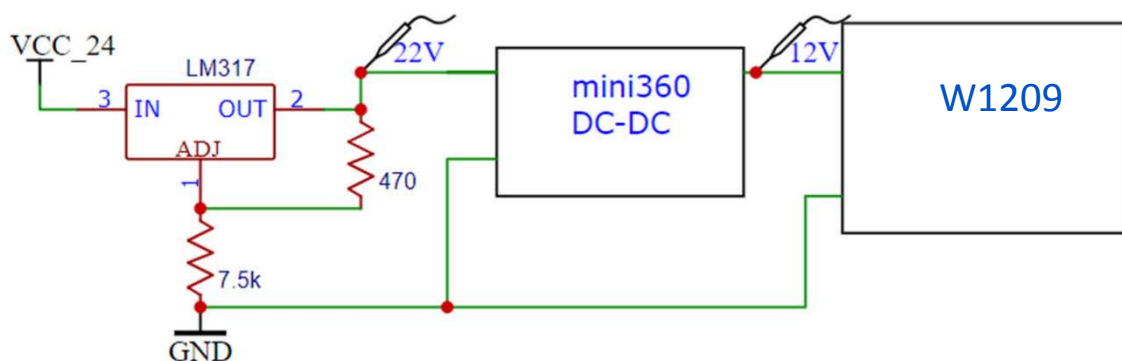


Рис2.5.2 живлення W1209

Також було додано, ще один модуль XL4015 до схеми термоконтролю, це дозволяє не перевантажити джерело живлення ввімкнувши замість штатного резистора на 16 Ом інший нагрівач, захищає від короткого замикання, шляхом обмеження максимального струму.

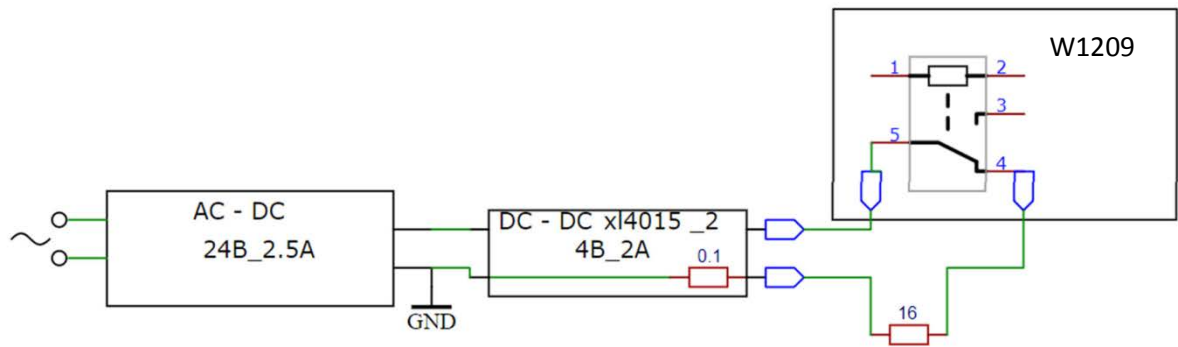


Рис. 2.5.2.2 керування нагрівом азоту

 Позначає виходи до яких є доступ

Контакти реле виведені назовні, аби при необхідності можна було використати стороннє джерело живлення.

### 2.5.3 АЦП

РСІ 9112 – плата розширення для ПК, з інтерфейсом РСІ, являє собою 16 каналний АЦП з частотою вибірки 110кГц, розрядністю 12Біт, діапазон вхідного сигналу: +/-1.25 В, +/-2.5 В, +/-5 В, +/-10 В, 0...2.5 В, 0...5В, 0...10 В, налаштована на діапазон 0-10В.

### 2.5.4 Монохроматори

Використовується пара монохроматорів МДР-2. Це монохроматор, що використовує дифракційну ґратку для розкладання світла досліджуваного зразка в спектр, а також систему дзеркал для напрямлення світла з вхідної, та на вихідну щілину. МДР-2 штатно укомплектований трьома решітками, на 1200, 600, 300 штрихів на міліметр, може бути встановлена одна з них, залежно від потреб експерименту. Використовується решітка 1200 ш/мм. Довжина хвилі, що потрапить на вихідну щілину, визначається кутом повороту дифракційної решітки.

В неавтоматизованій установці встановлення певної довжини хвилі відбувається шляхом обертання спеціальної ручки, орієнтуючись на барабан з поділками. Автоматизована установка для повороту решітки використовує кроковий двигун, що дозволяє робити однакові і дрібні кроки, виключає похибки пов'язані з люфтом механізму передачі обертання з двигуна на решітку.

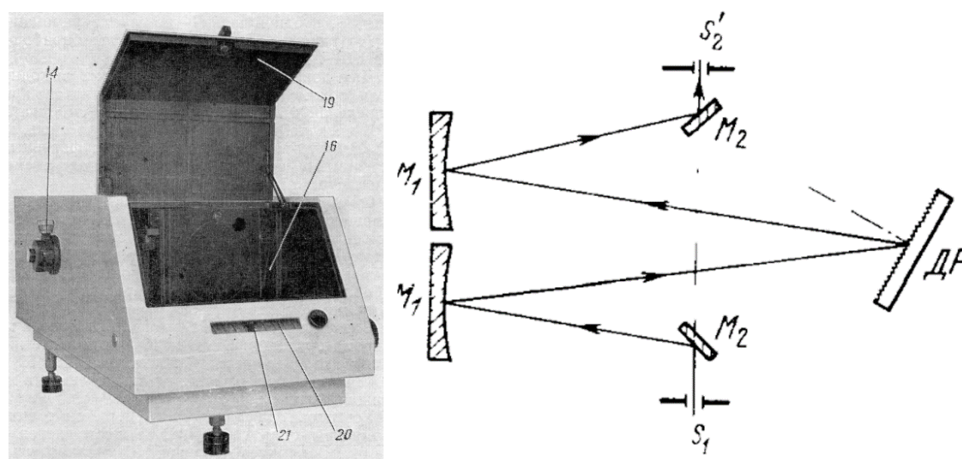


Рис.2.5.4 МДР-2,оптична схемаМДР-2.

### 2.5.5 Джерело інфрачервоного випромінювання

Було випробувано декілька джерел ІЧ випромінювання для збудження UCN зразків, а саме: лампа розжарювання, світлодіоди 3Ват 720, 860, 960 нм, медичний лазер з довжиною хвилі 980нм Lika-Surgeon+. Світло від лампи розжарювання проходило через монохроматор М0 і потрапляло на зразок, тим самим на зразок потрапляло світло з вузьким спектром. При такому способі збудження люмінісценції не зафіксовано. При опроміненні зразку світлом від світлодіодів, світіння теж не зафіксовано. При опроміненні кожного з зразків лазером 980нм на мінімальній потужності випромінювання 0,2 Ват можна чітко спостерігати світіння неозброєним оком. Тому в якості опромінювача обрано лазер Lika-Surgeon+.



Рис 2.5.5 Lika-Surgeon+ лазер 980нм.

В процесі експерименту було виявлено деяку нестабільність цього джерела. Мала місце часова нестабільність інтенсивності опромінення, або довжини хвилі, з періодом близько 20-ти секунд. Як наслідок було отримано деяку кількість спектрів з періодичним сигналом, що в цій роботі не розглядаються, як інформативні.

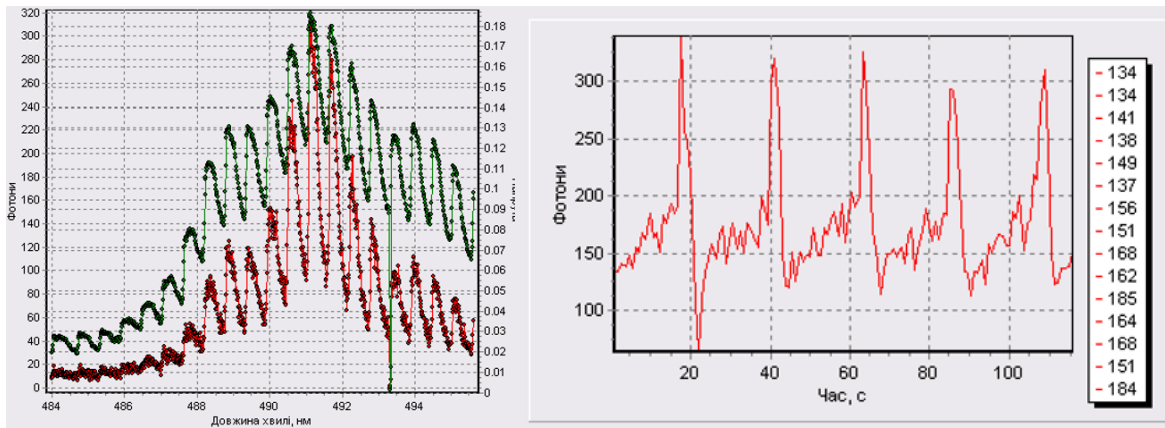


Рис 2.5.5 Приклад спектру перевипромінювання при періодичній зміні збуджуючого випромінювання.

Імовірно цей ефект спричинений температурною нестабільністю ширини забороненої зони діода лазера і системою пристрою, що підтримує температуру кристалу лазера в заданих межах. Це явище не проявлялося в вимірах що будуть наведені далі. Також слід відзначити зміну інтенсивності опромінення в момент ввімкнення лазера, Оскільки час одного виміру значно перевищує час спаду і стабілізації інтенсивності випромінювання, то цим явищем нехтуємо.

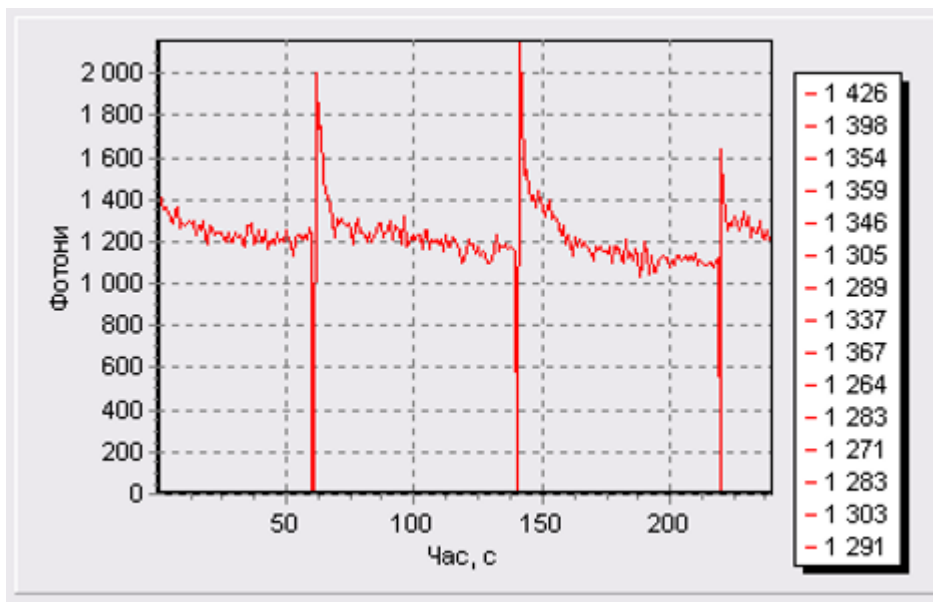


Рис. 2.5.5.2 інтенсивність первипромінювання в часі, різкі спади – моменти вимкнення лазера, різкі піки- момент вмикання лазера.

Через кількадесят секунд після вмикання інтенсивність є сталою.

## 2.6 Зразки

Зразки UCN, що здатні перетворювати інфрачервоне випромінювання в світло видимого діапазону, наявні 5 екземплярів. Вони є крихкі, а окремі мають малі розміри, що зумовило необхідність виготовити тримач. Тримач надруковано на 3д принтері з PLA чорного кольору. Пластик не перевипромінює у видимому діапазоні при освітленні його ближнім УФ (350 нм) та ІЧ випромінюванням лазера. Що означає - не вносить спотворень в



спектр вимірювання.

Рис. 2.6 Тримач з PLA та зразок 3.

## 3 Експеримент

### 3.1 Короткий опис процесу проведення експерименту.

Перше, що було зроблено, це пошук джерела ІЧ опромінення. Як зазначалося в розділі 2.5.5, помітна оком люмінісценція була зафіксована лише при опроміненні зразків лазером Lika-Sugreon+ з довжиною хвилі 980нм, яке в подальшому використовувалося, як основне джерело збуджуючого випромінення.

Зразок встановлюється в тримач на осі монохроматора М1, оптоволокну лазера підводиться до зразку, в ПО на комп'ютері задається діапазон та довжина кроку, запускається програма і вмикається лазер. Зразок поглинає опромінююче ІЧ випромінювання і люмінісцує, це світло потрапляє на вхідну щілину монохроматора М1 через фокусувальну систему з лінз (встановлюється за потреби), світло розкладається в спектр і потрапляє на ФЕУ-79. Залежно від кута повороту дифракційної решітки залежить довжина хвилі що потрапляє на ФЕП. Сигнал з ФЕП через інвертор та АЦП фіксується комп'ютером та записується в відповідний файл.

## 3.2 Результати експерименту

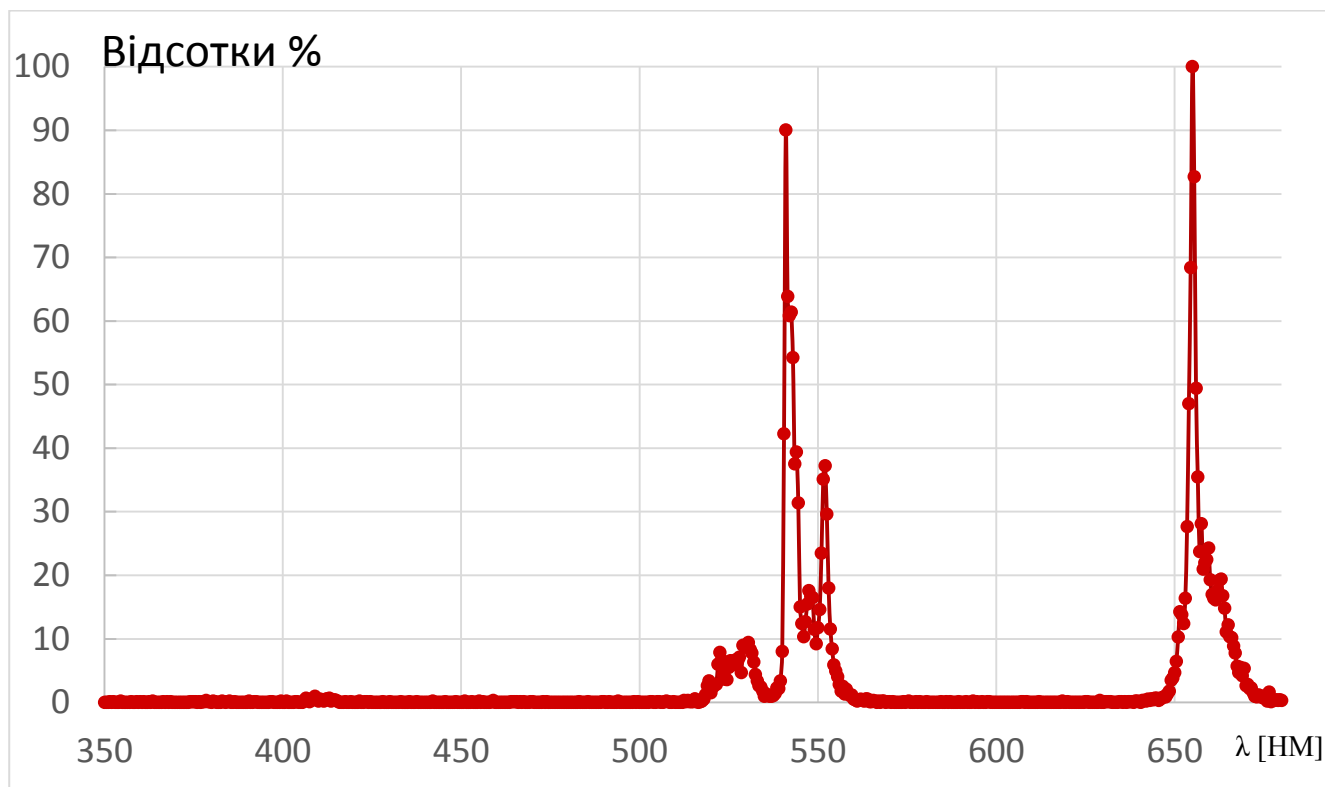


Рис 3.1 Спектр люмінесценції зразка 1, інтенсивність нормована по максимальній інтенсивності в діапазоні

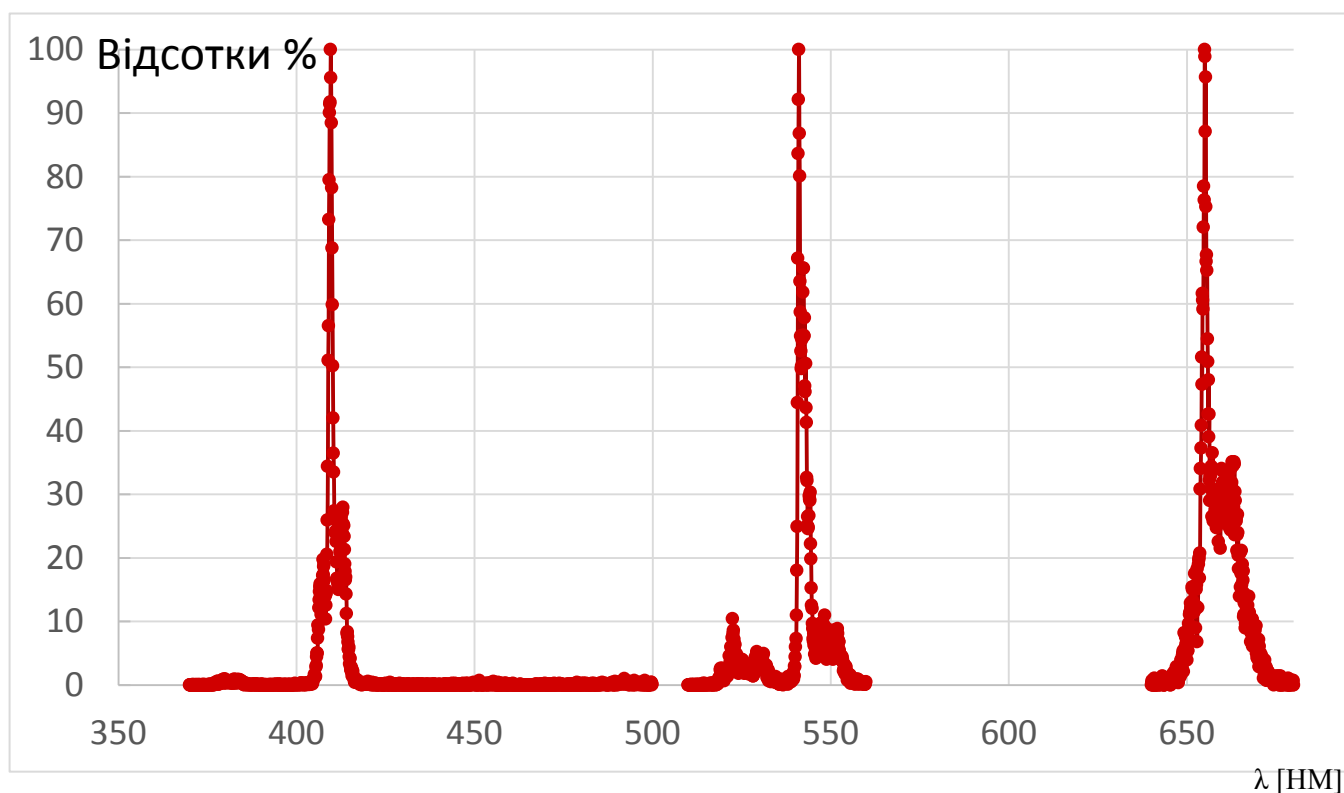


Рис 3.2 Спектр люмінесценції зразка 1, інтенсивність нормована для кожного піку по його максимуму

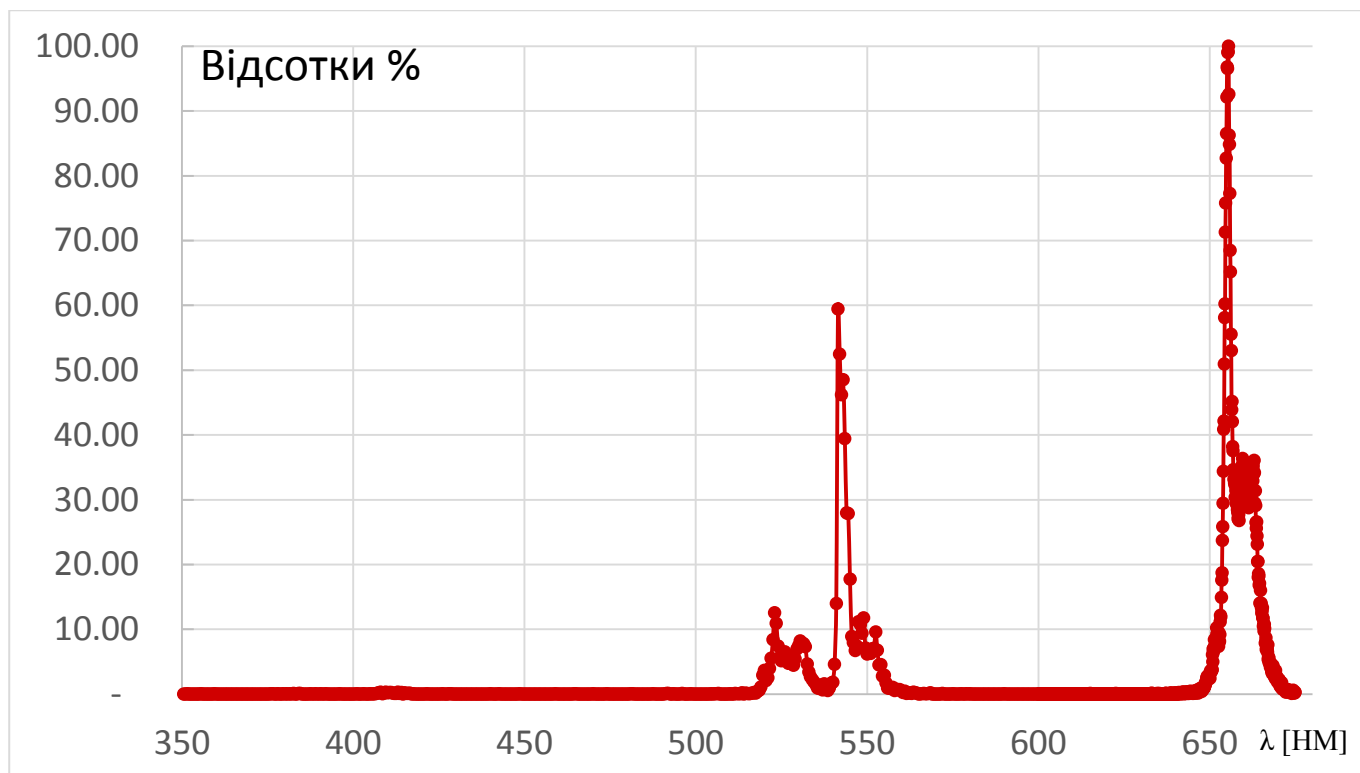


Рис 3.3 Сепктр люмінісценції зразка 2, інтенсивність нормована по максимальній інтенсивності в діапазоні

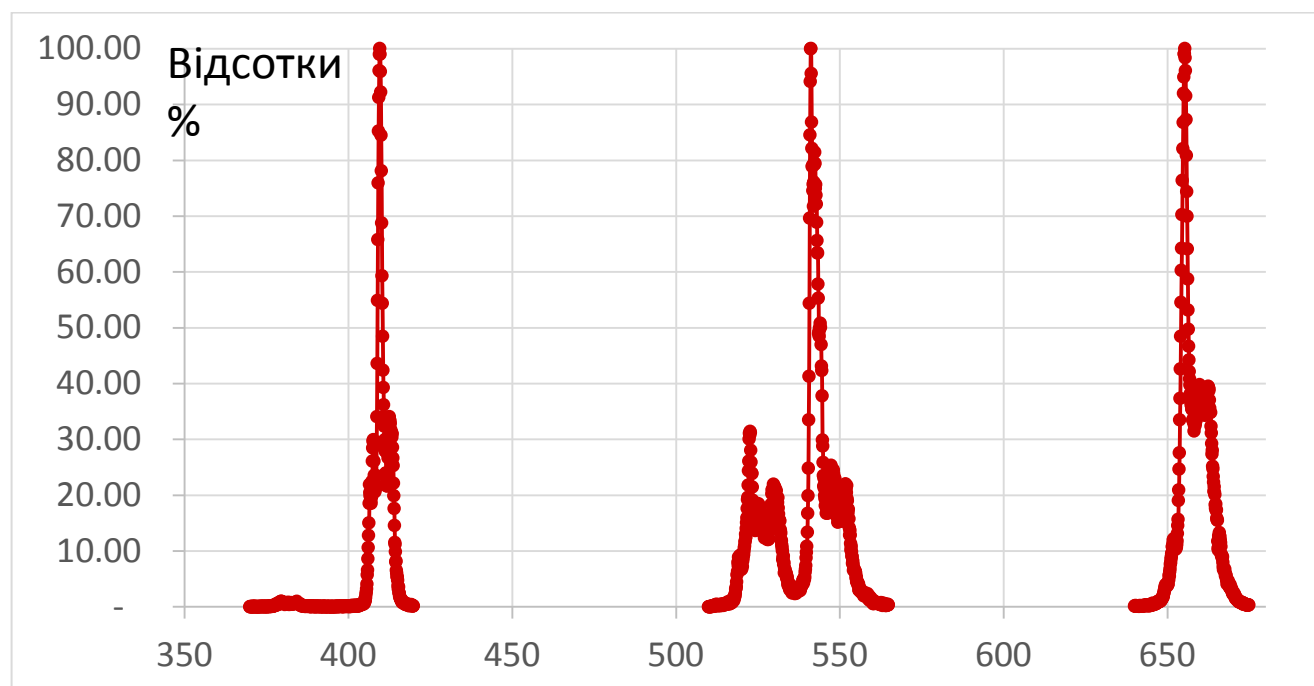


Рис 3.4 Спектр люмінісценції зразка 2, інтенсивність нормована для кожного піку до його максимуму

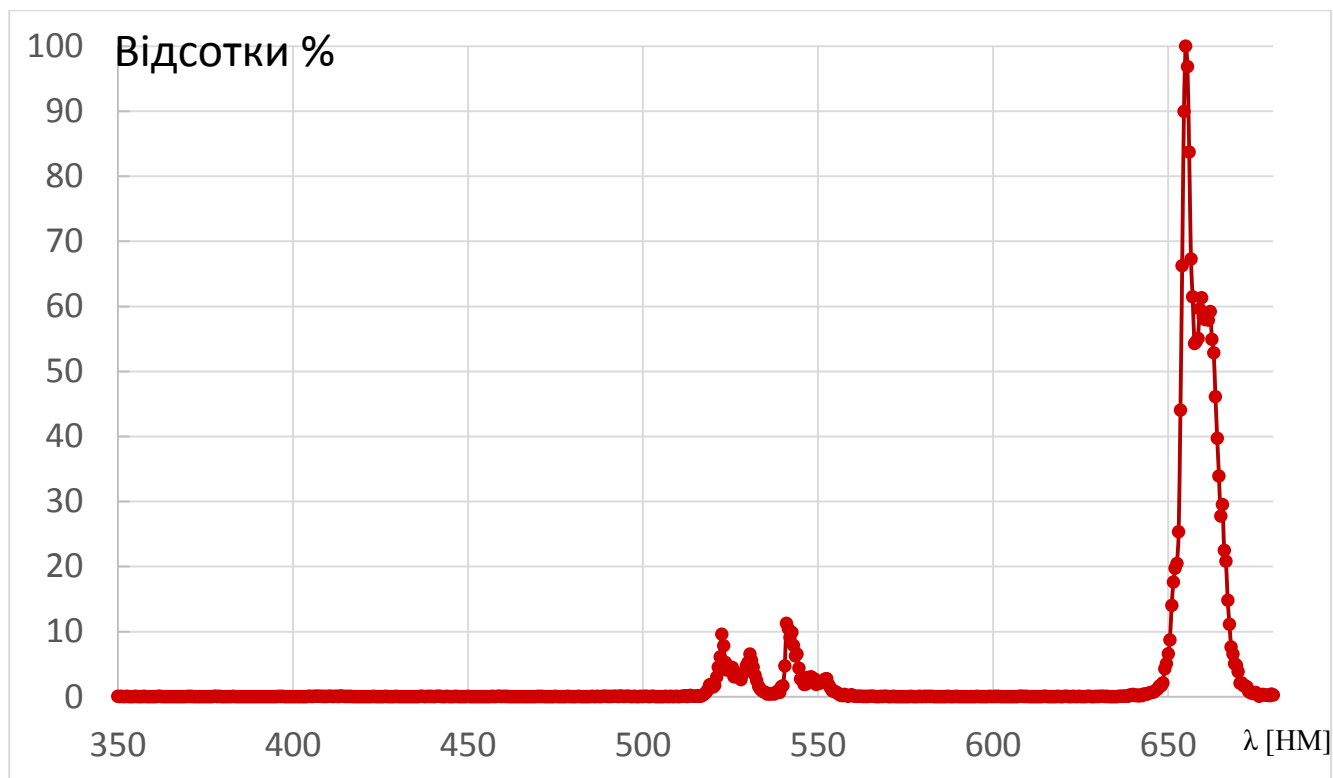


Рис 3.5 Спектр люмінесценції зразка 3, інтенсивність нормована по максимальній інтенсивності в діапазоні

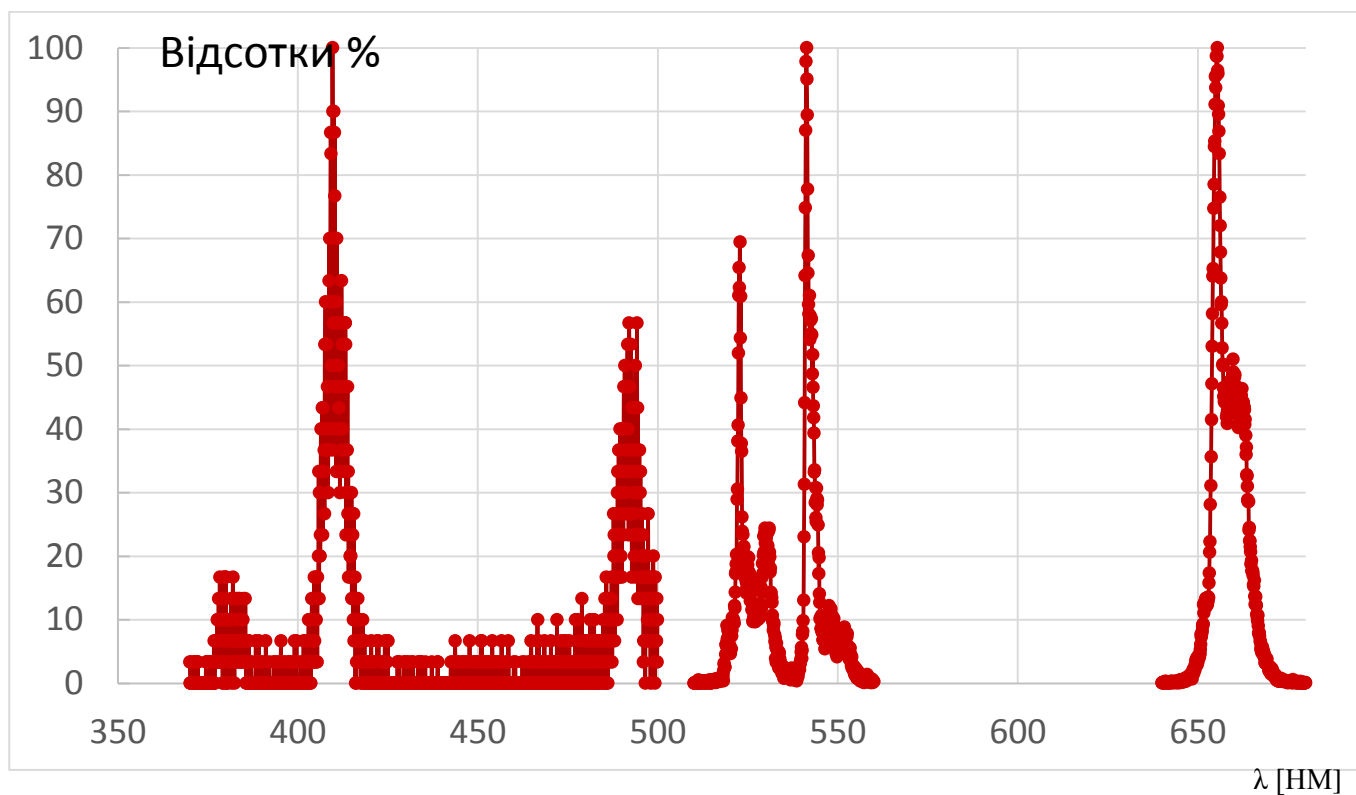


Рис 3.6 Спектр люмінесценції зразка 3, інтенсивність нормована для кожного піку по його максимуму

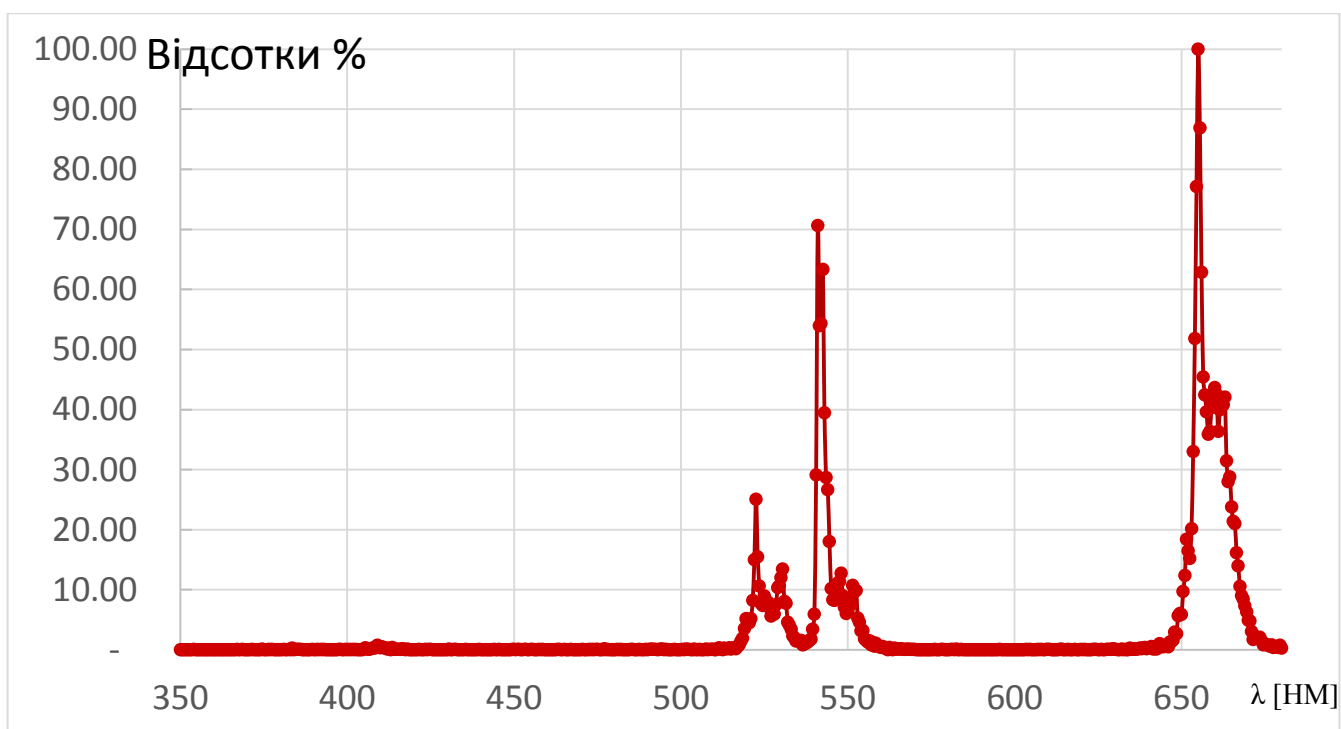


Рис 3.7 Спектр люмінесценції зразка 4, інтенсивність нормована по максимальній інтенсивності в діапазоні

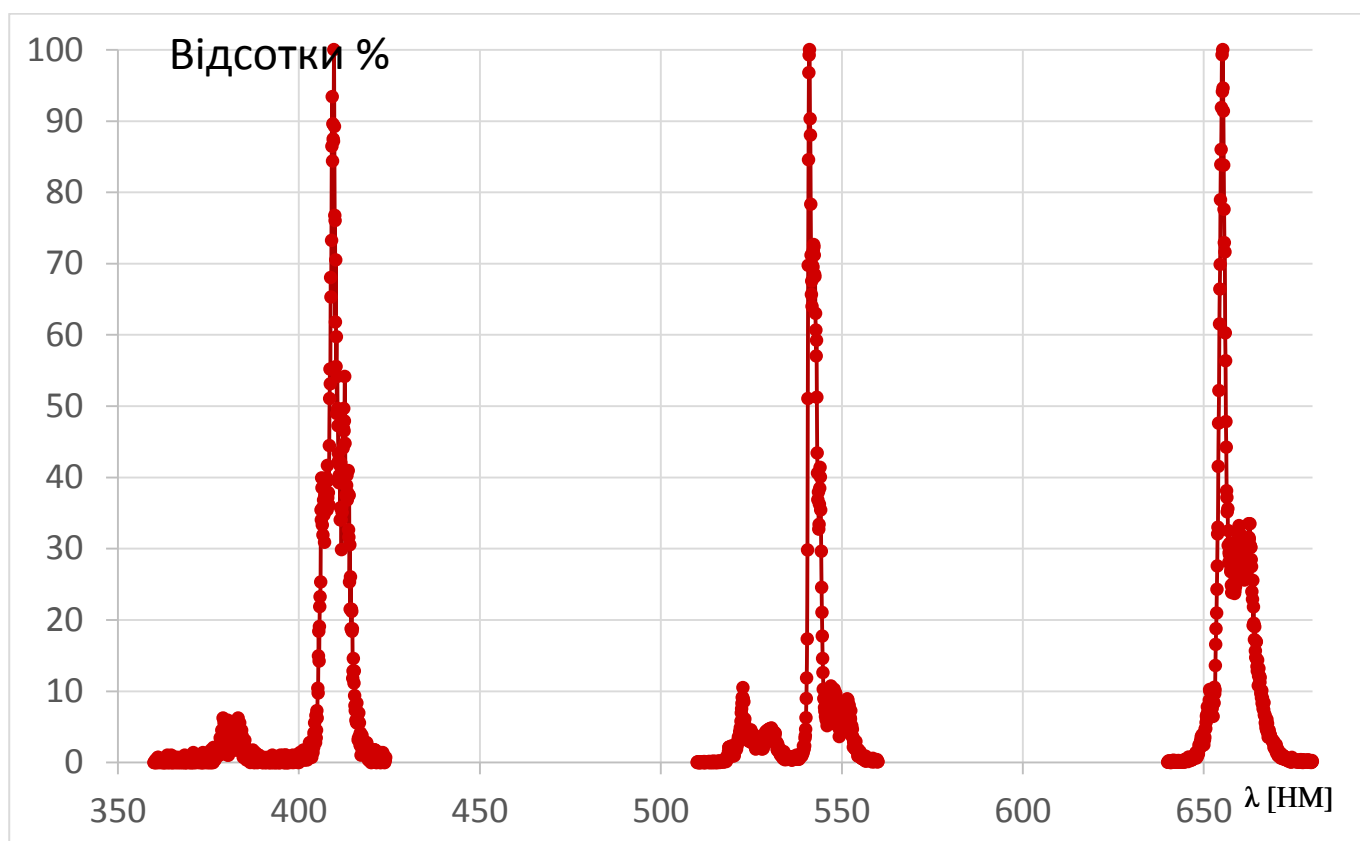


Рис 3.8 Спектр люмінесценції зразка 4, інтенсивність нормована для кожного піку по його максимуму

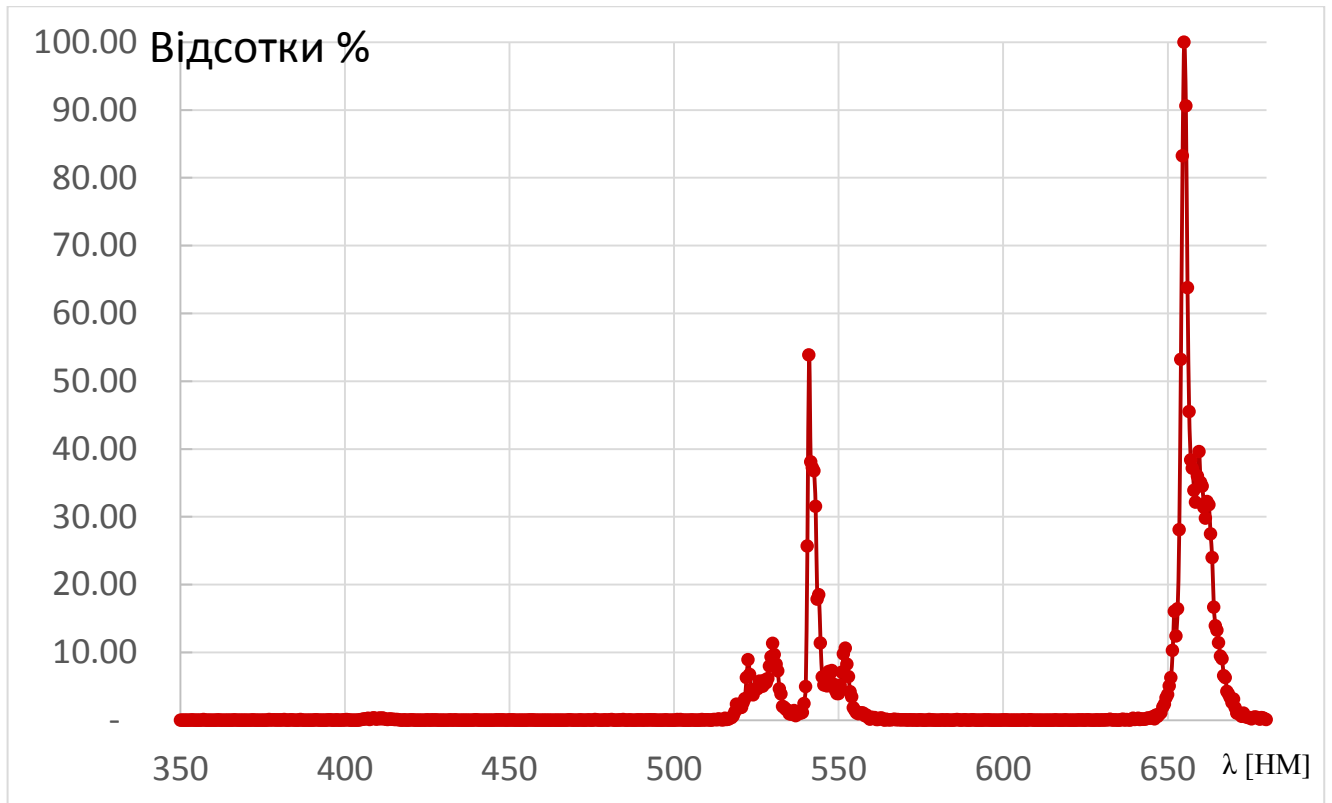


Рис 3.9 Спектр люмінесценції зразка 5, інтенсивність нормована по максимальній інтенсивності в діапазоні

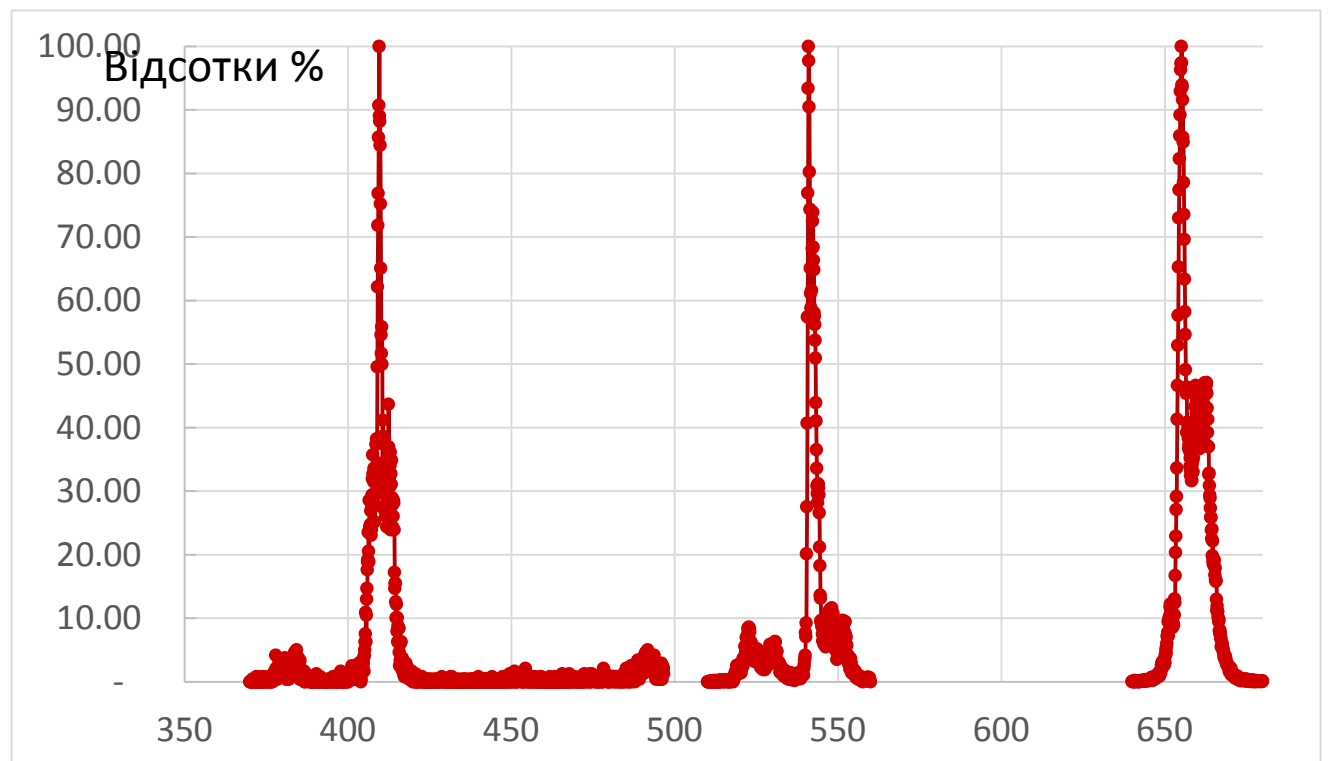


Рис 3.10 Спектр люмінесценції зразка 5, інтенсивність нормована для кожного піку по його максимуму

Основні властивості спектрів.

ЗРАЗОК 1			
Максимуми	Пік 409,6 нм	Пік 541.1 нм	Пік 655 нм
Інтенсивність віднесена до максимуму	0,93%	90%	100%
Відсоток від загальної енергії випромінювання	0,9%	57,4%	41.6%
Напівширина вузької частин	1.4 нм	3 нм	1.7 нм

ЗРАЗОК 2			
Максимуми	Пік 409,6 нм	Пік 541,2 нм	Пік 655,3 нм
Інтенсивність віднесена до максимуму	0,29%	60%	100%
Відсоток від загальної енергії випромінювання	0,12%	13,9%	85,9%
Напівширина вузької частин	1.6 нм	2.9 нм	2.2 нм

ЗРАЗОК 3			
Максимуми	Пік 409,6 нм	Пік 541,4 нм	Пік 655,4 нм
Інтенсивність віднесена до максимуму	0,04%	10%	100%
Відсоток від загальної енергії випромінювання	0,11%	12,8%	87%
Напівширина вузької частин	3,5 нм	2 нм	2.9 нм

ЗРАЗОК 4			
Максимуми	Пік 409,6 нм	Пік 541,1 нм	Пік 655,3 нм
Інтенсивність віднесена до максимуму	0,75%	70%	100%
Відсоток від загальної енергії випромінювання	0,4%	37,9%	61,6%
Напівширина вузької частин	2,2 нм	2,5 нм	1,9 нм

ЗРАЗОК 5			
Максимуми	Пік 409,6 нм	Пік 541 нм	Пік 655,1 нм
Інтенсивність віднесена до максимуму	0,32%	55%	100%
Відсоток від загальної енергії випромінювання	0,39%	33,9%	65,6%
Напівширина вузької частин	1,5нм	2,4 нм	2,4нм

### 3.3 Аналіз отриманих результатів

Перед проведенням експерименту за відомими спектрами випромінювання водневої гелієвої та неонові лампи було встановлено, що похибка визначення довжини хвилі для використаної установки не перевищує 0.4 нм.

Слід зазначити що не було введено поправку на спектральну чутливість оскільки це не є доцільним, адже порівнюються між собою дуже подібні спектри, які є нормованими.

Для кожного з зразків наведено два спектри. Перший є нормованим для всього діапазону вимірювання за найвищим піком і має крок вимірювання 0.5 нм.

Другий має крок 0.1 нм. І нормований для кожного піку окремо за його власним максимумом, це дозволяє аналізувати дрібніші деталі кожного з піків.

З наведених графіків видно, що спектри перевипромінювання кожного з зразків подібні, імовірно це одна й та сама речовина. Для спектрів характерні два інтенсивні піки випромінювання на довжині хвиль 541, 655.1, а також менший пік з довжиною хвилі 409.6 нм. Зразки 4, 5 дуже схожі між собою. Зразок 1 вирізняється тим, що він єдиним з зразків який має більше половини енергії випромінювання в області випромінювання зеленого кольору, в той час як для інших зразків є характерним переважаюча складова червоного випромінювання. Також виокремлюється зразок 3 що має найслабше перевипромінювання на довжині хвилі 409.6 нм.

З літератури відомо, що подібний спектр перевипромінювання має  $\text{NaYF}_4$ . (Рис.3.3)

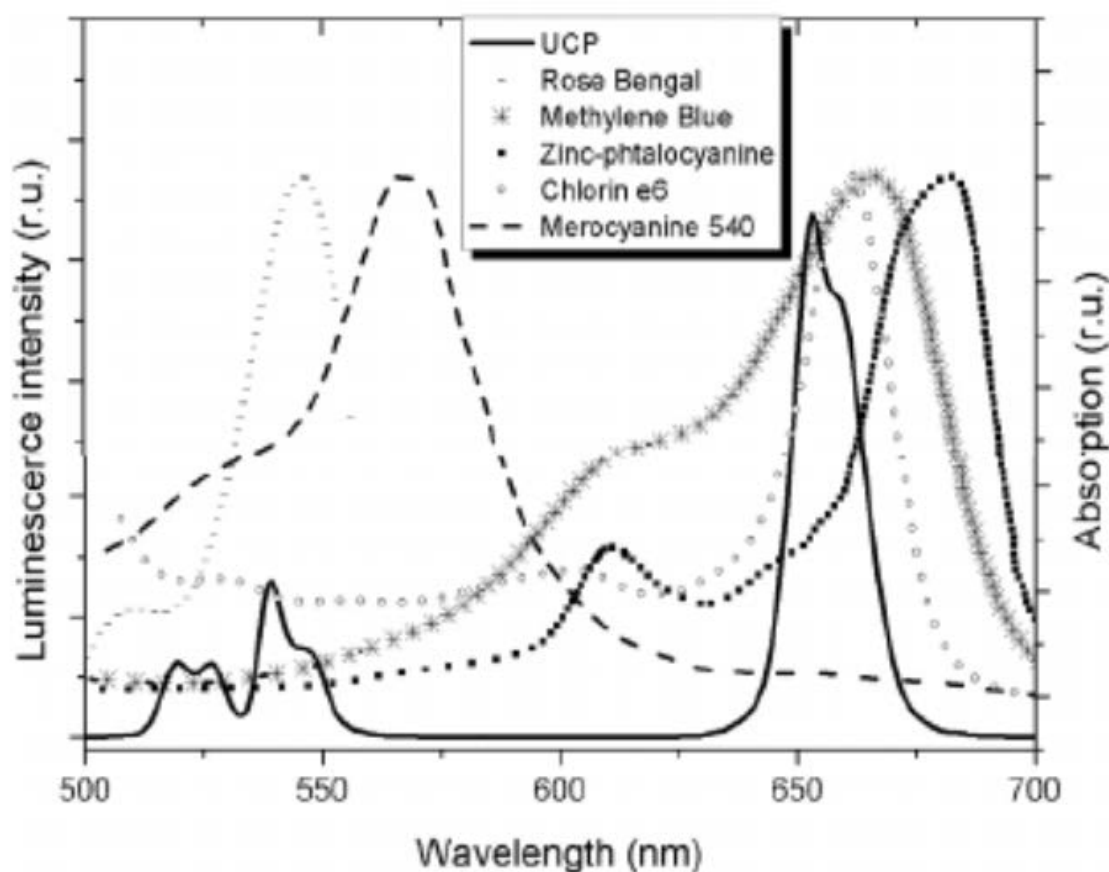


Рис. 4. Спектри апконверсионной люминесценции частиц  $\text{NaYF}_4:\text{Er},\text{Yb}$  и поглощения фотосенсибилизаторов

Fig. 4. Upconversion luminescence spectra of particles  $\text{NaYF}_4:\text{Er},\text{Yb}$  and absorption spectra of photosensitizers

Рис.3.3 Спектр перевипромінювання NaYF<sub>4</sub>

## Висновки

Проведено модернізацію установки, створено оснастку для проведення дослідів. За результатами проведеної роботи отримано спектри перевипромінювання для кожного з зразків. Висувається припущення, що всі зразки в основі мають одну і ту саму речовину, імовірно  $\text{NaYF}_4$  проте враховуючи відмінності в спектрах також можна припустити, що кожен з зразків був, або виготовлений різними способами, або має відміну, від інших, будові. Імовірно зразки мають різне легування, якоюсь, або якимись, речовинами, саме з метою змінення спектрів люмінісценції.

## Джерела

- [1] Nanoparticles in photodynamic therapy: An emerging paradigm  
Dev Kumar Chatterjee, Li Shan Fong, Yong Zhang 2008
- [2] Introduction Upconversion nanoparticles as versatile light  
nanotransducers for photoactivation applications  
Niagara Muhammad Idris, Muthu Kumara Gnanasammandhan Jayakumar, Akshaya  
Bansal and Yong Zhang 2015
- [3] Перспективы применения апконверсионных частиц  $\text{NaYF}_4:\text{Er}, \text{Yb}$  для  
фототерапии. Сагайдачная Елена Александровна. Янина Ирина Юрьевна. Кочубей  
Вячеслав Иванович.
- [4] Умножитель фотоэлектрический ФЕУ-79 ОКП 63 6722 1216 паспорт
- [5] МДР-2 Техническое описание и инструкция по эксплуатации