

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Львівський національний університет імені Івана Франка

Фізичний факультет  
Кафедра експериментальної фізики

**Затверджено**

на засіданні кафедри експериментальної фізики  
фізичного факультету  
Львівського національного університету  
імені Івана Франка  
(протокол № 7 від 07.06.2023 р.)  
Завідувач кафедри



проф. Анатолій ВОЛОШИНОВСЬКИЙ

**Силабус з навчальної дисципліни**

**“ЛЮМІНЕСЦЕНТНА СПЕКТРОСКОПІЯ”,  
що викладається в межах ОНП “Експериментальна фізика”  
другого (магістерського) рівня вищої освіти  
для здобувачів з спеціальності 104 “Фізика та астрономія”**

Львів 2023

<b>Назва дисципліни</b>	Люмінесцентна спектроскопія
<b>Адреса викладання дисципліни</b>	вул. Кирила і Мефодія, 8, м. Львів, 79005
<b>Факультет та кафедра, за якою закріплена дисципліна</b>	Фізичний факультет, кафедра експериментальної фізики
<b>Галузь знань, шифр та назва спеціальності</b>	Галузь знань – 10 Природничі науки Спеціальність – 104 Фізика та астрономія
<b>Викладачі дисципліни</b>	Волошиновський Анатолій Степанович, доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач кафедри експериментальної фізики.
<b>Контактна інформація викладачів</b>	<a href="mailto:anatoliy.voloshinovskii@lnu.edu.ua">anatoliy.voloshinovskii@lnu.edu.ua</a> , <a href="mailto:avolosh@ukr.net">avolosh@ukr.net</a> <a href="https://physics.lnu.edu.ua/employee/voloshynovskyj-anatolij-stepanovych">https://physics.lnu.edu.ua/employee/voloshynovskyj-anatolij-stepanovych</a>
<b>Консультації з питань навчання по дисципліні відбуваються</b>	Консультації в день проведення лекцій та лабораторних занять (за попередньою домовленістю). Також можливі он-лайн консультації через електронну пошту.
<b>Сторінка дисципліни</b>	<a href="https://physics.lnu.edu.ua/course/lyuminestsentsiya-spetsialnist-fizyka">https://physics.lnu.edu.ua/course/lyuminestsentsiya-spetsialnist-fizyka</a>
<b>Інформація про дисципліну</b>	Дисципліна «Люмінесцентна спектроскопія» є нормативною навчальною дисципліною для підготовки магістра за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія», яка викладається у II семестрі в обсязі 5 кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS).
<b>Коротка анотація дисципліни</b>	Дати студентам основи знань про люмінесценцію, як про один з потужних методів фізичного дослідження речовини. У курсі викладаються результати теоретичних і експериментальних досліджень різних люмінесціюючих систем. Розглянуто фізичні основи люмінесцентних процесів, підходи до розробки люмінесцентних пристроїв та продемонстровано можливість їх різноманітного використання в багатьох областях фундаментальних і прикладних досліджень – у фізиці високих енергій, ядерній фізиці, діагностичній медичній апаратурі, в багатьох промислових вимірювальних системах, при радіоізотопному моніторингу і т.д.
<b>Мета та цілі дисципліни</b>	Мета – ознайомити студентів з явищем люмінесценції, як одного з проявів взаємодії електромагнітного випромінювання та частинок з речовиною, застосуванням методів люмінесцентної спектроскопії до з'ясування механізмів міграції та трансформації електронних збуджень в конденсованих системах. Завданням курсу є формування в студентів знань та умінь, необхідних для з'ясування проявів люмінесцентних процесів у різних середовищах, механізмів перенесення енергії між люмінесцентними спектрами, визначення параметрів люмінесцентних процесів, для розробки люмінесцентних систем (сцинтиляторів, люмінофорів, дозиметрів і ін.) та при проведенні люмінесцентного аналізу.
<b>Література для вивчення дисципліни</b>	<b>Базова:</b> 1. Волошиновський А.С., Родний П.О. Випромінювальні осовно-валентні переходи в широкощілинних діелектричних кристалах. – Львів: Вид. центр ЛНУ імені Івана Франка, 2004. – 200 с. 2. Ребане К.-С.К. Люмінесценція. – Тарту: Тартуський дер. ун-т,

	<p>1966.</p> <p>3. Сердюк В.В., Ваксман Ю.Ф. Люмінесценція напівпровідників. – Одеса: Вища школа, 1988. – 200 с.</p> <p>4. G. Blasse, B. C. Grabmaier. Luminescent materials. – Springer-Verlag, 2001. – 121 p.</p> <p>5. А. С. Волошиновський. Основи люмінесценції / А. С. Волошиновський, С. Г. Неділько, М. С. Підзираило. – 2004. – 207 с.</p> <p><b>Допоміжна:</b></p> <p>1. Композити з неорганічними люмінесцентними оксидами для агробіологічних та біомедичних застосувань : монографія / В. В. Бойко, А.С. Волошиновський, Т.М. Демків, С.Г. Неділько, К.В. Тереміленко, В.П. Чорній, О.В. Чукова. – К. : Вид-во Ліра-К, 2021. – 358 с. - ISBN 978-617-520-200-5.</p> <p>2. Scintillation materials and detectors, Catalog of the Institute for single crystals: Kharkov. 1995.</p> <p>3. Релаксація високоенергетичних збуджень у нанорозмірних матеріалах / О.В. Гектін, А.С. Волошиновський, О.С. Заїченко, В.В. Вістовський, Т.С. Малий, А.В. Жишкович // Харків: “ІСМА”, 2018.– 217 ст.</p> <p>4. А.С.Крочук, М.С.Підзираило, З.А.Хапко, О.Т.Антоняк. – Методичні вказівки для виконання лабораторних робіт з молекулярної спектроскопії і люмінесценції. – Львів: Вид. ЛНУ, 2000. – 38 с.</p> <p><b>Інформаційні ресурси:</b> Wikipedia. <a href="http://www.wikipedia.org">http://www.wikipedia.org</a>.</p>
<b>Тривалість курсу</b>	Один семестр
<b>Обсяг курсу</b>	150 годин, з яких 48 год. аудиторних занять, з них 16 год. лекцій, 32 год. лабораторних занять та 102 год. самостійної роботи.
<b>Очікувані результати навчання</b>	<p>Курс формує такі загальні (ЗК) та спеціальні компетентності (СК):</p> <p><b>Загальні компетентності:</b></p> <p><b>ЗК01.</b> Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.</p> <p><b>ЗК02.</b> Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.</p> <p><b>ЗК03.</b> Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.</p> <p><b>ЗК04.</b> Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.</p> <p><b>ЗК05.</b> Здатність використовувати інформаційні та комунікаційні технології.</p> <p><b>ЗК06.</b> Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми.</p> <p><b>ЗК07.</b> Здатність проведення досліджень на відповідному рівні.</p> <p><b>Спеціальні (фахові) компетентності:</b></p> <p><b>СК01.</b> Здатність використовувати закони та принципи фізики та/або астрономії у поєднанні із потрібними математичними інструментами для опису природних явищ.</p> <p><b>СК02.</b> Здатність формулювати, аналізувати та синтезувати рішення наукових проблем у галузі фізики та/або астрономії.</p> <p><b>СК05.</b> Здатність сприймати новоздобуті знання у галузі фізики та астрономії та інтегрувати їх з уже наявними, а також самостійно</p>

опанувати знання та навички, необхідні для розв'язання складних задач і проблем у нових для себе деталізованих предметних галузях фізики та/або астрономії й дотичних до них міждисциплінарних областях.

**СК08.** Здатність формулювати нові гіпотези та наукові задачі у галузі фізики та астрономії, вибирати відповідні методи для їх розв'язання, беручи до уваги наявні ресурси.

**СК11.** Здатність використовувати фізичну апаратуру та обладнання.

**СК13.** Здатність виявляти й тлумачити основні закономірності поведінки фізичних величин і процесів, ґрунтуючись на одержаних експериментальних даних.

У результаті вивчення даного курсу студент повинен

**знати:**

- класифікацію явищ люмінесценції;
- механізми збудження люмінесценції речовин в різних агрегатних станах;
- квантову теорію люмінесценції;
- особливості внутрішньо центрної і рекомбінаційної люмінесценції центрів забарвлення;
- характеристику екситонної люмінесценції кристалів;
- методи визначення параметрів рівнів захоплення електронів і дірок в кристалах;
- механізми перенесення енергії до центрів випромінювання
- механізми міграції енергії збудження по кристалічній матриці;
- особливості прояву квантово-розмірних ефектів у люмінесценції наночастинок;
- механізми утворення радіаційних дефектів.

**вміти:**

- відрізнити явище люмінесценції від інших видів свічення;
- пояснити основні закономірності спектрів конденсованих систем (закони Стокса, дзеркальної симетрії між спектрами поглинання і випромінювання, антистоксову люмінесценцію і ін.);
- побудувати зонну схему кристалу, розмістити рівні активатора, діркові і електронні рівні захоплення;
- якісно характеризувати процеси міграції та трансформації енергії електронного збудження в кристалофосфорах
- обчислювати кількісні значення параметрів люмінесценції;
- змонтувати спектрофотометричну установку на базі монохроматорів для досліджень явищ люмінесценції;
- проводити експерименти по визначенню параметрів люмінесценції: дійсного розподілу енергії в спектрі люмінесценції, частоти чисто електронного переходу, положення піків термо- і фотостимульованої люмінесценції і ін.
- знаходити зв'язок між електричними властивостями конденсованих середовищ і особливостями їх зонної структури;
- планувати і здійснювати експерименти по дослідженню енергетичного структури випромінювальних центрів.

	<p><b>Програмні результати навчання:</b></p> <p><b>РН01.</b> Використовувати концептуальні та спеціалізовані знання і розуміння актуальних проблем і досягнень обраних напрямів сучасної теоретичної та експериментальної фізики та/або астрономії для розв'язання складних задач і практичних проблем.</p> <p><b>РН02.</b> Проводити експериментальні та/або теоретичні дослідження з фізики та астрономії, аналізувати отримані результати в контексті існуючих теорій, робити аргументовані висновки (включаючи оцінювання ступеня невизначеності) та пропозиції щодо подальших досліджень.</p> <p><b>РН04.</b> Обирати і використовувати відповідні методи обробки та аналізу даних фізичних та/або астрономічних досліджень і оцінювання їх достовірності.</p> <p><b>РН05.</b> Здійснювати феноменологічний та теоретичний опис досліджуваних фізичних та/або астрономічних явищ, об'єктів і процесів.</p> <p><b>РН06.</b> Обирати ефективні математичні методи та інформаційні технології та застосовувати їх для здійснення досліджень та/або інновацій у галузі фізики та/або астрономії.</p> <p><b>РН07.</b> Оцінювати новизну та достовірність наукових результатів з обраного напрямку фізики та/або астрономії, оприлюднених у формі публікації чи усної доповіді.</p> <p><b>РН10.</b> Відшукувати інформацію і дані, необхідні розв'язання складних задач фізики та/або астрономії, використовуючи різні джерела, зокрема, наукові видання, наукові бази даних тощо, оцінювати та критично аналізувати отриману інформацію та дані.</p> <p><b>РН11.</b> Застосовувати теорії, принципи і методи фізики та/або астрономії для розв'язання складних міждисциплінарних наукових і прикладних задач.</p> <p><b>РН17.</b> Застосовувати спеціальну фізичну апаратуру й обладнання для вимірювання фізичних величин.</p> <p><b>РН18.</b> Проводити стандартні експерименти з досліджень структури та властивостей кристалічних, аморфних, рідких і наносистем.</p> <p><b>РН19.</b> Вміння обробити, проаналізувати та пояснити фізичну інформацію, одержану за допомогою методів x-променевої дифракції, люмінесцентної й оптичної спектроскопії, моделювання, електронної мікроскопії, термічного аналізу.</p> <p><b>РН20.</b> Дотримуватися вимог безпеки життєдіяльності й охорони праці під час експлуатації лабораторного обладнання.</p>
<b>Ключові слова</b>	Люмінесценція, люмінофори, швидкодія, роздільна здатність, рівні активатора, міграція та трансформація енергії, наночастинки.
<b>Формат курсу</b>	Очний: лекції, лабораторні заняття, самостійна робота та консультації для поглибленого розуміння тем.
<b>Теми</b>	Наведено у табл.1.
<b>Підсумковий контроль, форма</b>	Підсумковий контроль: іспит в кінці семестру. Форма: усна.
<b>Пререквізити</b>	Для вивчення курсу студенти потребують базових знань з дисциплін: Оптика, Спектроскопія атомів, молекул та кристалів, Прикладна оптика, Електронна будова і оптика кристалів, Фундаментальні проблеми квантової механіки.

<b>Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу</b>	Презентація, лекції, дискусія, виконання лабораторних робіт, підготовка доповідей, рефератів.										
<b>Необхідне обладнання</b>	Лекційні заняття – мультимедійна установка та ноутбук. Лабораторні заняття – обладнання навчальної лабораторії фотоніки та спектроскопії наноматеріалів (лабораторії люмінесценції)(монохроматори МДР-12, ДФС-13, СФ-4; джерела випромінювання: воднева лампа, світлодіоди; фотопомножувачі; підсилювачі; мікроамперметри).										
<b>Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)</b>	<p>Оцінювання проводяться за 100- бальною шкалою. Бали нараховуються за наступним співвідношенням:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• робота на лекціях: 8 балів (враховується поточна успішність студента шляхом опитування);</li> <li>• лабораторні роботи: 32% семестрової оцінки; максимальна кількість балів <math>32 = 4 \text{ роботи} \times 8 \text{ балів}</math>;</li> <li>• контрольні заміри (модулі): 10% семестрової оцінки; максимальна кількість балів 10;</li> <li>• іспит: 50% семестрової оцінки. Максимальна кількість балів 50.</li> <li>• Підсумкова максимальна кількість балів: 100.</li> </ul> <p style="text-align: center;"><b>Шкала оцінювання лабораторної роботи</b></p> <table border="1" data-bbox="564 954 1477 2085"> <thead> <tr> <th data-bbox="564 954 683 992">Бали</th> <th data-bbox="683 954 1477 992">Критерії оцінювання</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="564 992 683 1361">8-7</td> <td data-bbox="683 992 1477 1361">Здобувач самостійно провів експеримент відповідно до ходу роботи в повному обсязі, грамотно обробив результати експерименту. Склавши письмовий звіт, зробив обґрунтований висновок. На захисті продемонстрував глибокий рівень знань з тематичної лабораторної роботи. Допускалися незначні неточності у формулюваннях відповідей або при оформленні звіту. Більш високим рівнем вважається виконання роботи (за можливості) за самостійно складеним оригінальним планом і обґрунтування його вибору.</td> </tr> <tr> <td data-bbox="564 1361 683 1585">6</td> <td data-bbox="683 1361 1477 1585">Студент самостійно провів експеримент відповідно до ходу роботи, обробив математично результати експерименту, склав письмовий звіт. При оформленні допущено незначні помилки, самостійно зробив висновки, на захисті продемонстрував достатній рівень знань.</td> </tr> <tr> <td data-bbox="564 1585 683 1809">5</td> <td data-bbox="683 1585 1477 1809">Студент самостійно провів експеримент відповідно до ходу роботи, обробив з деякими математичними помилками результати експерименту, склав письмовий звіт, де допущені помилки з оформлення, зробив неповний висновок, на захисті продемонстрував середній рівень знань.</td> </tr> <tr> <td data-bbox="564 1809 683 2085">4-3</td> <td data-bbox="683 1809 1477 2085">Студент виконав експеримент частково з допомогою лаборанта/викладача відповідно до ходу роботи. Одержані результати дають можливість сформулювати правильні висновки або їх частину. Під час математичної обробки та оформлення роботи допущено суттєві помилки. На захисті тематичної лабораторної роботи продемонстровано задовільний рівень знань.</td> </tr> </tbody> </table>	Бали	Критерії оцінювання	8-7	Здобувач самостійно провів експеримент відповідно до ходу роботи в повному обсязі, грамотно обробив результати експерименту. Склавши письмовий звіт, зробив обґрунтований висновок. На захисті продемонстрував глибокий рівень знань з тематичної лабораторної роботи. Допускалися незначні неточності у формулюваннях відповідей або при оформленні звіту. Більш високим рівнем вважається виконання роботи (за можливості) за самостійно складеним оригінальним планом і обґрунтування його вибору.	6	Студент самостійно провів експеримент відповідно до ходу роботи, обробив математично результати експерименту, склав письмовий звіт. При оформленні допущено незначні помилки, самостійно зробив висновки, на захисті продемонстрував достатній рівень знань.	5	Студент самостійно провів експеримент відповідно до ходу роботи, обробив з деякими математичними помилками результати експерименту, склав письмовий звіт, де допущені помилки з оформлення, зробив неповний висновок, на захисті продемонстрував середній рівень знань.	4-3	Студент виконав експеримент частково з допомогою лаборанта/викладача відповідно до ходу роботи. Одержані результати дають можливість сформулювати правильні висновки або їх частину. Під час математичної обробки та оформлення роботи допущено суттєві помилки. На захисті тематичної лабораторної роботи продемонстровано задовільний рівень знань.
Бали	Критерії оцінювання										
8-7	Здобувач самостійно провів експеримент відповідно до ходу роботи в повному обсязі, грамотно обробив результати експерименту. Склавши письмовий звіт, зробив обґрунтований висновок. На захисті продемонстрував глибокий рівень знань з тематичної лабораторної роботи. Допускалися незначні неточності у формулюваннях відповідей або при оформленні звіту. Більш високим рівнем вважається виконання роботи (за можливості) за самостійно складеним оригінальним планом і обґрунтування його вибору.										
6	Студент самостійно провів експеримент відповідно до ходу роботи, обробив математично результати експерименту, склав письмовий звіт. При оформленні допущено незначні помилки, самостійно зробив висновки, на захисті продемонстрував достатній рівень знань.										
5	Студент самостійно провів експеримент відповідно до ходу роботи, обробив з деякими математичними помилками результати експерименту, склав письмовий звіт, де допущені помилки з оформлення, зробив неповний висновок, на захисті продемонстрував середній рівень знань.										
4-3	Студент виконав експеримент частково з допомогою лаборанта/викладача відповідно до ходу роботи. Одержані результати дають можливість сформулювати правильні висновки або їх частину. Під час математичної обробки та оформлення роботи допущено суттєві помилки. На захисті тематичної лабораторної роботи продемонстровано задовільний рівень знань.										

1-2	Студент провів експеримент з допомогою лаборанта/викладача, частково обробив результати експерименту, склав письмовий звіт без належного оформлення, на захисті продемонстрував базовий рівень знань.
0	Здобувач не представив до захисту звіт з відповідної тематичної лабораторної роботи.

У разі відсутності студента під час проведення лабораторних занять з поважних причин йому надається право на відпрацювання. У всіх інших випадках відсутність здобувача на лабораторних заняттях автоматично зараховується йому як незадовільна оцінка (0 балів) за відповідну тематичну лабораторну роботу. Незадовільну оцінку студент має право перескласти. Додатковий термін перездачі призначає викладач.

Додаткові бали можна отримати за результатами неформального та/або інформального навчання по тематиці даного курсу. Визнання та зарахування результатів такого навчання відбувається у відповідності до наданих документів про неформальне та/або інформальне навчання. Також до 10 додаткових балів включно можна отримати через наукову роботу здобувача, куди входить написання тез, статей, участь у міжнародних, всеукраїнських та/або інших заходах або конкурсах за тематикою навчальної дисципліни.

- підсумковий контроль (іспит): 50% семестрової оцінки.

До підсумкового контролю допускаються студенти за умови захисту звітів всіх робіт. Підсумковий контроль здійснюється у формі іспиту з врахуванням накопичених балів протягом семестру в процесі поточного контролю.

На іспит виноситься 2 описові питання, з максимальною оцінкою в 10 балів кожне і тести з максимальною сумарною оцінкою 30 балів. Максимальна кількість балів за іспит – 50.

#### **Критерії оцінювання описових питань іспиту**

<b>Критерії</b>	<b>Бали</b>
Студент продемонстрував глибокий рівень розуміння матеріалу. Під час відповіді використовував формули, означення, приводив доведення, вільно володів концепціями. Розглянуто всі аспекти поставленого запитання. Відповіді були достатньо аргументовані, чіткі й логічні, містили всі необхідні елементи й деталі. Допускалися деякі неточності формулювань.	10-9
Здобувач продемонстрував достатній або середній рівень фізичних знань під час відповіді на запитання. Наведено формули й означення без їхнього повного кінцевого розуміння. Відповіді на певні аспекти питання були в основному правильні, але недостатньо фізично обґрунтовані, допускалися математичні помилки й неточності означень.	8-6
Здобувачем продемонстровано задовільний або базовий рівень знань з питання, яке у відповіді не розглянуто з усіх необхідних точок зору. Крім значних математичних помилок, траплялися випадки, пов'язані з помилковою фізичною інтерпретацією певного аспекту питання.	5-1

	<p><b>Академічна доброчесність</b> здобувачами вищої освіти передбачає самостійне виконання навчальних завдань, завдань поточного та підсумкового контролю результатів навчання. Списування, втручання в роботу інших студентів становлять, але не обмежують, приклади можливої академічної недоброчесності. Виявлення ознак академічної недоброчесності в письмовій чи усній роботі студента є підставою для її незарахування викладачем, незалежно від масштабів обману.</p> <p><b>Відвідування занять</b> є важливою складовою навчання. Очікується, що всі студенти відвідають і виконають усі лабораторні заняття курсу. Студенти мають інформувати викладача про неможливість відвідати заняття. У будь-якому випадку студенти зобов'язані дотримуватися усіх строків, визначених для виконання усіх видів робіт, передбачених курсом.</p> <p><b>Література.</b> Усю літературу, яку студенти не зможуть знайти самостійно, буде надано викладачами виключно в освітніх цілях без права її передавання третім особам. Студенти заохочуються до використання також й іншої літератури та джерел, яких немає серед рекомендованих.</p> <p><b>Політика виставлення балів.</b> Враховуються бали, набрані на лабораторних роботах в процесі поточного контролю. При цьому обов'язково враховуються присутність на заняттях та активність студента під час заняття; недопустимість пропусків та запізнь на заняття; користування мобільним телефоном, планшетом чи іншими мобільними пристроями під час заняття в цілях, не пов'язаних із навчанням; списування та плагіат; несвоєчасне виконання поставленого завдання і т. ін.</p> <p>Жодні форми академічної недоброчесності не толеруються.</p>
<p><b>Питання до екзамену</b></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Визначення люмінесценції.</li> <li>2. Класифікація видів люмінесценції за типом збудження, часовим характеристикам. Флуоресценція та фосфоресценція.</li> <li>3. Умови співіснування вільних та автолокалізованих екситонів. Люмінесценція автолокалізованих екситонів.</li> <li>4. Автолокалізований екситон в лужно-галоїдних кристалах. Просторова та енергетична структура автолокалізованих екситонів.</li> <li>5. Класифікація видів люмінесценції за механізмом елементарних збуджень. Резонансна люмінесценція, спонтанна, метастабільна та рекомбінаційна люмінесценція.</li> <li>6. Динаміка руху "гарячих" та автолокалізованих дірок.</li> <li>7. Основні люмінесцентні характеристики речовин.</li> <li>8. Просторова та енергетична структура автолокалізованої дірки в лужно-галоїдних кристалах.</li> <li>9. Кінетика рекомбінаційної люмінесценції.</li> <li>10. Типи екситонів в кристалах, спектри поглинання та люмінесценції вільних екситонів.</li> <li>11. Потенціальні криві молекул та принцип Франка-Кондона.</li> <li>12. Діаграми Танабе-Сугано для іонів <math>Ti^{3+}</math>, <math>Cr^{3+}</math>, <math>Mn^{3+}</math>. Безфононна і широкосмугова люмінесценція іонів перехідних металів.</li> <li>13. Люмінесценція багатоатомних молекул.</li> <li>14. Тривалентні (<math>Ce^{3+}</math>, <math>Pr^{3+}</math>, <math>Nd^{3+}</math>) та двовалентні (<math>Eu^{2+}</math>, <math>Sm^{2+}</math>, <math>Yb^{2+}</math>) іони РЗЕ з <math>4f \leftrightarrow 5d</math> переходами.</li> <li>15. Незалежність спектрів люмінесценції від довжини хвилі</li> </ol>



	<p>збуджуючого світла та закон Стокса-Ломеля.</p> <p>16. Особливості випромінювальних 4f-4f переходів в іонах <math>Gd^{3+}</math>, <math>Eu^{3+}</math> та <math>Tb^{3+}</math>.</p> <p>17. Антистоксова люмінесценція. Використання антистоксової люмінесценції для охолодження газів.</p> <p>18. Особливості люмінесценції ртутеподібних центрів</p> <p>19. Правило дзеркальної симетрії спектрів поглинання та випромінювання.</p> <p>20. Природа А-, В-, С- та D- смуг поглинання ртутеподібних центрів. Структура та температурна залежність розщеплення А- і С- смуг поглинання.</p> <p>21. Кінетичні рівняння балансу між процесами рекомбінації, іонізації, захоплення електронів пастками та їх звільнення з пасток.</p> <p>22. Форма поверхні адіабатичного потенціалу у випадку взаємодії Т-рівнів з <math>E_g</math>- та <math>T_{2g}</math> - коливаннями. Статичний та динамічний ефект Яна-Теллера.</p> <p>23. Види гасіння молекулярної люмінесценції. Температурне гасіння. Формула Мотта.</p> <p>24. Вібронна взаємодія та ефект Яна-Теллера. Псевдоефект Яна-Теллера.</p> <p>25. Концентраційне гасіння.</p> <p>26. Електрон-фононна взаємодія та форма спектрів люмінесценції. Параметри електрон-фононної взаємодії.</p> <p>27. Схеми рекомбінаційних процесів в кристалофосфорах.</p> <p>28. Криві термостимульованої люмінесценції для кінетики II-го роду. Глибина пасток.</p> <p>29. Кінетичні рівняння балансу та квазімолекулярна кінетика загасання. (Кінетика I-го роду). Залежність кінетики люмінесценції від температури.</p> <p>30. Криві термолюмінесценції у випадку кінетики I-го роду. Глибина пасток.</p> <p>31. Кінетичні рівняння балансу та загасання люмінесценції по гіперболі (Кінетика II-го роду).</p> <p>32. Термолюмінесценція і її спостереження.</p> <p>33. Визначення енергії термічної іонізації пасток на основі аналізу кінетики фосфоресценції.</p> <p>34. Форма поверхні адіабатичного потенціалу у випадку взаємодії Т-рівнів з <math>E_g</math>- та <math>T_{2g}</math> - коливаннями. Статичний та динамічний ефект Яна-Теллера.</p> <p>35. Концентраційне гасіння.</p> <p>36. Кінетика рекомбінаційної люмінесценції.</p>
<b>Опитування</b>	Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.

## Схема курсу «Люмінесцентна спектроскопія»

## Таблиця 1

Тиж-день	Тема занять	Форма діяльності та обсяг годин	Література	Завдання	Термін виконання
1	Визначення люмінесценції. Класифікація видів люмінесценції. Основні люмінесцентні характеристики речовин.	Лекції – 2 год. лабор. заняття – 2 год. самостійна робота – 6 год.	Б: 2(Ч1), 3, 5 Д: 4	Опрацювати матеріали лекції та рекомендовану літературу. Підготовка до лабораторної роботи.	1 тиждень
2		лабор. заняття – 2 год. самостійна робота – 5 год.	Б: 5 Д: 4	Підготовка до лабораторної роботи. Підготовка до захисту лабораторних робіт.	1 тиждень
3	Особливості молекулярної люмінесценції. Види гасіння молекулярної люмінесценції.	Лекції – 2 год. лабор. заняття – 2 год. самостійна робота – 8 год.	Б: 5 (Ч4) Д: 4	Опрацювати матеріали лекції та рекомендовану літературу. Підготовка до лабораторної роботи.	1 тиждень
4		лабор. заняття – 2 год. самостійна робота – 6 год.	Б: 5 Д: 4	Підготовка до лабораторної роботи. Підготовка до захисту лабораторних робіт.	1 тиждень
5	Обертова поляризація молекул. Енергетична зонна модель кристалофосфорів.	Лекції – 2 год. лабор. заняття – 2 год. самостійна робота – 7 год.	Б: 5(Ч5) Д: 4	Опрацювати матеріали лекції та рекомендовану літературу. Підготовка до лабораторної роботи. Підготовка до захисту лабораторних робіт.	1 тиждень
6		лабор. заняття – 2 год. самостійна робота – 5 год.	Б: 5 Д: 4	Підготовка до лабораторної роботи. Підготовка до захисту лабораторних робіт.	1 тиждень
7	Загасання люмінесценції. Термолюмінесценція та методи визначення параметрів центрів захоплення.	Лекції – 2 год. лабор. заняття – 2 год. самостійна робота – 8 год.	Б: 2, 5(Ч6) Д: 4	Опрацювати матеріали лекції та рекомендовану літературу. Підготовка до лабораторної роботи.	1 тиждень
8		лабор. заняття	Б: 5	Підготовка до	1

		– 2 год. самостійна робота – 5 год.	Д: 4	лабораторної роботи. Підготовка до захисту лабораторних робіт.	тиждень
9	Електрон-фононна взаємодія в твердих тілах. Люмінесцентна спектроскопія ртутеподібних центрів.	Лекції – 2 год. лабор. заняття – 2 год. самостійна робота – 8 год.	Б: 5(Ч7) Д: 4	Опрацювати матеріали лекції та рекомендовану літературу. Підготовка до лабораторної роботи	1 тиждень
10		лабор. заняття – 2 год, самостійна робота – 5 год.	Б: 5 Д: 4	Підготовка до лабораторної роботи. Підготовка до захисту лабораторних робіт.	1 тиждень
11	Енергетичні схеми кристалофосфорів з іонами рідкісноземельних елементів та перехідних металів групи заліза.	Лекції – 2 год. лабор. заняття – 2 год. самостійна робота – 8 год.	Б: 4, 5(Ч7. 4) Д: 3,4	Опрацювати матеріали лекції та рекомендовану літературу. Підготовка до лабораторної роботи.	1 тиждень
12		лабор. заняття – 2 год. самостійна робота – 5 год.	Б: 5 Д: 4	Підготовка до лабораторної роботи. Підготовка до захисту лабораторних робіт.	1 тиждень
13	Екситони. Люмінесценція вільних екситонів. Автолокалізація електронних збуджень. Релаксовані та нерелаксовані дірки. Автолокалізовані екситони. Люмінесценція низько розмірних систем.	Лекції – 2 год. лабор. заняття– 2 год. самостійна робота – 8 год.	Б: 1, 5(Ч8) Д: 1, 3, 4	Опрацювати матеріали лекції та рекомендовану літературу. Підготовка до лабораторної роботи	1 тиждень
14		лабор. заняття– 2 год. самостійна робота – 5 год.	Б: 5 Д: 4	Підготовка до лабораторної роботи. Підготовка до захисту лабораторних робіт.	1 тиждень
15	Перенесення, міграція та трансформація електронних збуджень в кристалах. Основні типи дефектів. Механізми утворення центрів забарвлення. Центри забарвлення. Діркові центри забарвлення.	Лекції – 2 год. лабор. заняття– 2 год. самостійна робота – 8 год.	Б: 5(Ч9) Д: 1, 2, 4	Опрацювати матеріали лекції та рекомендовану літературу. Підготовка до лабораторної роботи.	1 тиждень
16		лабор. заняття– 2 год. самостійна робота – 5 год.	Б: 5 Д: 4	Підготовка до лабораторної роботи. Підготовка до	1 тиждень

				захисту звітів.	
--	--	--	--	-----------------	--