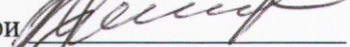


**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Львівський національний університет імені Івана Франка**  
**Фізичний факультет**  
**Кафедра експериментальної фізики**

**Затверджено**

На засіданні кафедри експериментальної  
фізики  
фізичного факультету  
Львівського національного університету  
імені Івана Франка  
(протокол № 10 від 27.01.2020р.)

Завідувач кафедри   
проф. Волошиновський А.С.

**Силабус з навчальної дисципліни**  
**«Люмінесцентна спектроскопія іонів лантанідів»,**  
**що викладається в межах третього (освітньо-наукового) рівня**  
**вищої освіти для здобувачів**  
**з спеціальності 104 «Фізика та астрономія»**

Львів 2019 р.

**Силабус курсу "Люмінесцентна спектроскопія іонів лантанідів"  
2019 – 2020 навчального року**

<b>Назва курсу</b>	Люмінесцентна спектроскопія іонів лантанідів
<b>Адреса викладання курсу</b>	Львів, вул.Кирила і Мефодія,8
<b>Факультет та кафедра, за якою закріплена дисципліна</b>	Фізичний факультет, кафедра експериментальної фізики
<b>Галузь знань, шифр та назва спеціальності</b>	галузь знань: <b>10 Природничі науки</b> спеціальність: <b>104 Фізика та астрономія</b>
<b>Викладачі курсу</b>	Волошиновський А.С., доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач кафедри експериментальної фізики,
<b>Контактна інформація викладачів</b>	<a href="mailto:avolosh@ukr.net">avolosh@ukr.net</a>
<b>Консультації по курсу відбуваються</b>	Консультації в день проведення лекцій/лабораторних занять (за попередньою домовленістю). Також можливі консультації через електронну пошту.
<b>Сторінка курсу</b>	<a href="https://physics.lnu.edu.ua/employee/voloshynovskiyj-anatolij-stepanovych">https://physics.lnu.edu.ua/employee/voloshynovskiyj-anatolij-stepanovych</a>
<b>Інформація про курс</b>	Курс розроблено таким чином, щоб надати учасникам необхідні знання, обов'язкові для того, щоб здобути загальні та фахові компетентності в галузі люмінесцентного матеріалознавства. Тому в лекційному курсі представлено як огляд закономірностей люмінесцентних процесів за участю іонів лантанідів, ґрунтуючись на теоретичних засадах квантової фізики, так і заплановано низку лабораторних занять, які дозволять визначити основні параметри люмінесцентних процесів, ідентифікувати енергетичну структуру центрів випромінювання.
<b>Коротка анотація курсу</b>	Дисципліна «Люмінесцентна спектроскопія іонів лантанідів» є вибірковою дисципліною з спеціальності <b>104 Фізика та астрономія</b> для освітньої програми доктора філософії, яка викладається в 4 семестрі в обсязі 3 кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS). Програма навчальної дисципліни передбачає ознайомлення із загальними закономірностями люмінесцентних процесів – визначеннями, класифікацією, основними параметрами, характеристикацією люмінесценції домішок, вільних та автолокалізованих екситонів, моделями люмінесцентних процесів. Увага буде акцентована на енергетичній структурі іонів лантанідів, особливостях люмінесценції зумовлених 4f-4f та 5d-4f переходах в іонах лантанідів, перспективах використання лантанідів для створення нових люмінесцентних та сцинтиляційних матеріалів. Виконання лабораторних робіт дозволить отримати навички вимірювання люмінесцентних параметрів та їх інтерпретації.
<b>Мета та цілі курсу</b>	<b>Метою навчальної дисципліни</b> «Люмінесцентна спектроскопія іонів лантанідів» є формування необхідних теоретичних знань і практичних навичок, які дозволять інтерпретувати якісні і кількісні характеристики люмінесцентних матеріалів, виводити закономірності між кристалічною та електронною структурою і

	фізичними властивостями таких класів сполук, що стане основою для конструювання нових люмінесцентних сполук з наперед заданими властивостями.
<b>Література для вивчення дисципліни</b>	<p><b>Основна література</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Волошиновський А.С. Основи люмінесценції / Волошиновський А.С., Неділько Г., Підзирайло М.С. – Львів, 2008. – 246с.</li> <li>2. Гектін О.В. Релаксація високоенергетичних збуджень у нанорозмірних матеріалах/ Гектін О.В., Волошиновський А.С., Заіченко О.С., Вітовський В.В., Малий Т.С., Жишкович А.В. – Харків: “ІСМА”, 2018.– 216 с.</li> <li>3. Blasse, G., Grabmaier, B.C. Luminescent Materisls. - Springer-Verlag, Berlin. 1994. – 232 p.</li> <li>4. Пустоваров В.А. Спектроскопия редкоземельных ионов. Учебное пособие - Екатеринбург: Изд-во УрФУ, 2016. —70 с</li> <li>5. Петрик В.И., Антистоксовые соединения и материалы на их основе. Иркутск: 2012.- 400 с.,</li> </ol> <p><b>Додаткова</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>6. Агранович В.М. Перенос энергии в конденсированных средах / В.М.Агранович, М.Д. Галанин. – М.: Наука, 1978.</li> <li>7. Лакович Д. Основы флуоресцентной спектроскопии / Д.Лакович. – М, 1986. – 496 с.</li> <li>8. Левшин Л.В. Люминесценция и ее измерение / Л.В. Левшин. – М, 1989.</li> <li>9. Сердюк В.В. Люминесценция полупроводников / В.В. Сердюк, Ю.Ф. Ваксман. – 1988. – 200 с.</li> <li>10. М.Д. Галанин. Люминесценция молекул и кристаллов. – М, 1999. – 200 с.</li> <li>11. Phosphor handbook/Shigeo Shionoya et al. CRC Press. 1999.</li> </ol> <p><b>Періодичні видання</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Journal of Luminescence.</li> <li>2. Вісник Львівського університету. Серія фізична.</li> <li>3. Function materials.</li> </ol> <p><b>Інформаційні ресурси:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <a href="http://www.sciencedirect.com">www.sciencedirect.com</a>.</li> <li>2. <a href="http://onlinelibrary.wiley.com">http://onlinelibrary.wiley.com</a>.</li> <li>3/ <a href="http://sciapse.io">http://sciapse.io</a>.</li> </ol>
<b>Тривалість курсу</b>	90 год.
<b>Обсяг курсу</b>	48 годин аудиторних занять. З них 32 години лекцій, 16 годин лабораторних робіт та 42 години самостійної роботи
<b>Очікувані результати навчання</b>	<p>Після завершення цього курсу студент буде :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- знати моделі люмінесцентних процесів, механізми випромінювальної релаксації високоенергетичних збуджень за участю іонів лантанідів, механізми безвипромінювального перенесення енергії збудження, особливості люмінесцентних параметрів люмінесценції іонів лантанідів, вплив розмірних обмежень на їх люмінесцентні властивості.</li> <li>- вміти інтерпретувати енергетичні переходи відповідальні за люмінесценцію іонів лантанідів, оцінювати розташування енергетичних рівнів лантанідів в зонній схемі кристалофосфорів, передбачати вплив</li> </ul>

	температури, концентрації, розмірних ефектів на люмінесцентні параметри люмінофорів з іонами лантанідів, оптимізувати підходи до дослідження люмінесцентних властивостей речовин, вимірювати основні люмінесцентні параметри (спектри люмінесценції, спектри збудження люмінесценції, часи загасання) люмінофорів з іонами лантанідів
<b>Ключові слова</b>	Люмінесценція, іони лантанідів, енергетична структура, люмінесцентні параметри, міграція та релаксація енергії, наночастинки
<b>Формат курсу</b>	Очний
	Проведення лекцій, лабораторних робіт та консультації для поглибленого розуміння тем
<b>Теми</b>	Наведено у таблиці
<b>Підсумковий контроль, форма</b>	іспит в кінці семестру усний
<b>Пререквізити</b>	Для вивчення курсу студенти потребують базових знань з дисциплін атомна фізика, квантова механіка, спектроскопія атомів, молекул та кристалів для сприйняття категоріального апарату
<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>	Персональний комп'ютер, загальноживані комп'ютерні програми і операційні системи, проектор, наукове обладнання для проведення лабораторних робіт
<b>Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)</b>	Оцінювання проводиться за 100-бальною шкалою. Бали нараховуються за наступним співвідношенням: <ul style="list-style-type: none"> <li>• лабораторні: 30% семестрової оцінки; максимальна кількість балів 20</li> <li>• контрольні заміри (модулі): 20% семестрової оцінки; максимальна кількість балів 20</li> <li>• іспит: 50% семестрової оцінки. Максимальна кількість балів 50</li> </ul> Підсумкова максимальна кількість балів 100
<b>Питання до заліку чи екзамену.</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Пояснення люмінесценції в моделі конфігураційних координат. Фактор Хуанга-Ріса.</li> <li>2. Схеми люмінесцентних переходів у випадку рекомбінаційної люмінесценції.</li> <li>3. Мономолекулярна та бімолекулярна кінетика загасання люмінесценції.</li> <li>4. Домішкова люмінесценція іонів з <math>ns^2</math> електронною конфігурацією.</li> <li>5. Люмінесценція іонів групи перехідних елементів.</li> <li>6. Власна люмінесценція кристалів.</li> <li>7. Люмінесценція вільних та автолокалізованих екситонів.</li> <li>8. Електронна конфігурація іонів лантанідів. Енергетичне та просторове розташування 4f та 5d оболонок.</li> <li>9. Загальні особливості люмінесценції іонів лантанідів. Інтенсивності та часові параметри 4f-4f переходів</li> <li>10. Особливості енергетичних схем та спектрів у випадку 4f-4f люмінесценція іонів <math>Yb^{3+}</math>, <math>Er^{3+}</math>.</li> <li>11. 4f-4f люмінесценція іонів <math>Eu^{3+}</math>, <math>Gd^{3+}</math>, <math>Tb^{3+}</math>.</li> <li>12. 4f-4f люмінесценція іонів <math>Pr^{3+}</math>, <math>Nd^{3+}</math>.</li> <li>13. . 5d-4f люмінесценція двовалентних іонів лантанідів <math>Eu^{2+}</math>, <math>Yb^{2+}</math>.</li> </ol>

	<p>14. Люмінесценція зумовлена 5d-4f переходами. Особливості люмінесценції іонів <math>Ce^{3+}</math>.</p> <p>15. 5d-4f люмінесценція іонів <math>Pr^{3+}</math>. Співіснування спектрів люмінесценції 4f-4f та 5d-4f переходів</p> <p>16. Люмінесценція з квантовим виходом більше 1. Безртутні лампові люмінофори.</p> <p>17. ВУФ люмінесценція іонів лантанідів <math>Nd^{3+}</math>, <math>Tm^{3+}</math>, <math>Ho^{3+}</math>, <math>Er^{3+}</math>. Спін дозволені та спін заборонені 5d-4f переходи.</p> <p>18. Енергетичне розташування 4f та 5d рівнів іонів лантанідів у кристалофосфорах. Емпіричні формули для визначення положення рівнів.</p> <p>19. Обмінна та мультипольна взаємодія між іонами лантанідів.</p> <p>20. Сенсиплізована люмінесценція. Лампові люмінофори.</p> <p>21. Кооперативна люмінесценція.</p> <p>22. Люмінесценція з перенесенням заряду Люмінофори для реєстрації сонячних нейтрино.</p> <p>23. Антистоксові люмінофори.</p> <p>24. Механізми та матеріали для ап-конверсії.</p> <p>25. Сцинтиляційні матеріали на основі сполук з іонами лантанідів.</p> <p>26. Механізм сцинтиляційного процесу.</p> <p>27. Лазерні матеріали на основі іонів лантанідів.</p> <p>28. Особливості люмінесценції нанорозмірних люмінофорів з іонами лантанідів.</p> <p>29. Методи вимірювання часових параметрів люмінесценції.</p> <p>30. Врахування спектральної чутливості детектора для корекції спектрів випромінювання.</p> <p>31. Нормування спектрів збудження люмінесценції до однакової кількості квантів.</p> <p>32. Особливості синхотронного випромінювання для люмінесцентних досліджень</p>
<b>Опитування</b>	Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.

Таблиця 1

## Схема курсу "Люмінесцентна спектроскопія іонів лантанідів"

Тиждень	Тема занять (перелік питань)	(перелік основні)	Форма діяльності та обсяг годин	Додаткова література / ресурс для виконання завдань (за потреби)	Термін виконання
1	Загальні люмінесценції. Класифікація, параметри.	основи основні	Лекції – 2 год, лабораторні – 2 год, самостійна робота – 2 год		1 тиждень
2	Домішкова люмінесценція. Люмінесценція екситонів.	та власна	Лекції – 2 год, самостійна робота – 4 год		1 тиждень
3,	Рекомбінаційна люмінес-	люмінес-	Лекції – 4 год,		2 тижні

4	ценція. Закони загасання, термолюмінесценція.	лабораторні – 2 год, самостійна робота – 4 год		
5	Електронна забудова іонів лантанідів $\text{Ln}^{3+}$ .	Лекції – 2 год, самостійна робота – 4 год		1 тиждень
6, 7	4f - 4f люмінесценція іонів лантанідів.	Лекції – 4 год, лабораторні – 2 год, самостійна робота – 4 год		2 тижні
8, 9	5d - 4f люмінесценція іонів лантанідів $\text{Ln}^{3+}$ . Спін дозволені та спін заборонені переходи.	Лекції – 4 год, лабораторні – 2 год, самостійна робота – 2 год		2 тижні
10	5d - 4f люмінесценція іонів $\text{Ln}^{2+}$ .	Лекції – 2 год, лабораторні – 2 год, самостійна робота – 2 год		1 тиждень
11	Розгашування енергетичних рівнів іонів лантанідів.	Лекції – 2 год, самостійна робота – 4 год		1 тиждень
12	Багатоступінчата люмінесценція іонів лантанідів.	Лекції – 2 год, лабораторні – 2 год, самостійна робота – 4 год		1 тиждень
13	Люмінесценція зі станів з перенесенням заряду.	Лекції – 2 год, самостійна робота – 4 год		1 тиждень
14	Міграція та передача енергії за участю іонів лантанідів. . Мультипольна, обмінна взаємодія.	Лекції – 2 год, лабораторні – 2 год, самостійна робота – 4 год		1 тиждень
15	Антистоксова люмінесценція	Лекції – 2 год, самостійна робота – 2 год		1 тиждень
16	Люмінесцентні матеріали з іонами лантанідів. Сцинтилятори, люмінофори різного призначення, лазерні матеріали.	Лекції – 2 год, лабораторні – 2 год, самостійна робота – 2 год		1 тиждень