

ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ імені ІВАНА ФРАНКА

Кафедра експериментальної фізики

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Декан фізичного факультету

_____ проф. Якібчук П.М.

“ 27 ” _____ 2018 року



РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

ВИПРОМІНЮВАЛЬНА РЕЛАКСАЦІЯ ЕЛЕКТРОННИХ ЗБУДЖЕНЬ

галузь знань:	10 Природничі науки
спеціальність:	105 Прикладна фізика та наноматеріали
спеціалізація:	фізика напівпровідників та діелектриків
факультет:	фізичний


Львів – 2018 рік

Розробник програми:
доктор фізико-математичних наук, професор кафедри експериментальної
фізики Волошиновський А.С.

Робоча програма затверджена на засіданні кафедри експериментальної фізики

Протокол від “26” червня 2018 року № 18

Завідувач кафедри експериментальної фізики

 (підпис) (Волошиновський А.С.)
(прізвище та ініціали)

“26” червня 2018 року.

Схвалено Вченою радою фізичного факультету

Протокол від “27” червня 2018 року № 6

Голова  (підпис) (Якібчук П.М.)
(прізвище та ініціали)

“27” червня 2018 року

1. Опис навчальної дисципліни

(Витяг з робочої програми навчальної дисципліни “Випромінювальна релаксація електронних збуджень”)

Найменування показників	Галузь знань, спеціальність, освітньо- кваліфікаційний рівень	Характеристика навчальної дисципліни
Кількість кредитів – 3	Галузь знань: <i>10 Природничі науки</i>	<i>Денна форма навчання</i>
Модулів – 1	Спеціальність:	<i>Вибіркова</i>
Блоків змістових модулів – 1	105 Прикладна фізика та наноматеріали	Рік підготовки – <i>другий</i>
Загальна кількість годин – 90	Спеціалізація: фізика	Семестр – 3
Тижневих годин: аудиторних – 3 самостійної роботи – 2,625	напівпровідників та діелектриків	Лекції – 32 год.
		Лабораторні – 16 год.
	Освітньо- кваліфікаційний рівень: <i>доктор філософії</i>	Самостійна робота – 42 год.
		Вид контролю – <i>іспит</i>

Примітка.

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної і індивідуальної роботи становить – 1,143.

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Метою і завданням навчальної дисципліни “Випромінювальна релаксація електронних збуджень” є формування необхідних теоретичних знань і практичних навиків, 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

У результаті вивчення цього курсу аспірант повинен

знати:

моделі люмінесцентних процесів, механізми випромінювальної релаксації високоенергетичних збуджень, механізми безвипромінювального перенесення енергії збудження, особливості люмінесцентних параметрів власної та домішкової люмінесценції, вплив розмірних обмежень на люмінесцентні властивості.

вміти:

інтерпретувати енергетичні переходи відповідальні за люмінесценцію, передбачати вплив температури, концентрації, розмірних ефектів на люмінесцентні параметри, оптимізувати підходи до дослідження люмінесцентних властивостей речовин.

Навчальний курс охоплює **3 кредити (90 год.)**. Курс складається з 32 год. лекційних занять, 16 год. практичних занять та 42 год. самостійної роботи. Тижневе навантаження студента складає 3 год. аудиторних занять та 2,625 год. самостійної роботи.

3. Програма навчальної дисципліни

1. МОДЕЛЬНІ ПІДХОДИ ДО ПОЯСНЕННЯ ЛЮМІНЕСЦЕНЦІЇ.

Схеми енергетичних рівнів та переходів для люмінесценції атомів та молекул. Залежність енергії від координат. Потенціальні криві енергетичних станів. Принцип Франка-Кондона. Модель конфігураційних кривих. Основні люмінесцентні характеристики речовин. Взаємозв'язок між спектрами люмінесценції та збудження. Механізми гасіння люмінесценції. Формула Мотта.

2. РЕКОМБІНАЦІЙНА ЛЮМІНЕСЦЕНЦІЯ В КРИСТАЛАХ.

2.1. Енергетична зонна модель кристалофосфорів. Власна енергетична схема кристалів. Енергетичні рівні активаторів, дефектів, пасток і т.д. Схеми рекомбінаційних процесів в кристалофосфорах.

2.2. Часові характеристики рекомбінаційної люмінесценції. Кінетичні рівняння як, рівняння балансу між процесами рекомбінації, іонізації,

захоплення носіїв заряду пастками та їх звільнення з пасток. Імовірність іонізації, коефіцієнт рекомбінації, імовірність захоплення електронів (дірок) пастками, імовірність звільнення електронів (дірок) з пасток.

2.3. Загасання люмінесценції. Випадок переважання процесів рекомбінації електронів з іонізованими центрами (Квазімолекулярна кінетика затухання. Кінетика 1-го роду). Загасання люмінесценції по гіперболі (Кінетика II-го роду). Залежність кінетики люмінесценції від температури.

2.4. Центри захоплення та методи визначення їх параметрів. Параметри центрів захоплення. Ефективний переріз захоплення, коефіцієнт захоплення; імовірність звільнення електронів з пасток, середній час життя електрона (дірки) на пастці. Глибина пастки (оптична і термічна).

Визначення енергії термічної іонізації пасток на основі аналізу кінетики фосфоресценції.

2.4. Метод кривих термовисвічування для визначення характеристик центрів захоплення. Термолюмінесценція і її спостереження. Криві термолюмінесценції у випадку кінетики 1-го роду. Рівняння кривих ТСЛ. Глибина пасток. Метод визначення глибини пасток на основі нагріву з різними швидкостями. Криві ТСЛ для кінетики II-го роду. Глибина пасток.

Дозиметричні датчики на основі ТСЛ.

3. ЛЮМІНЕСЦЕНЦІЯ ДОМШКОВИХ ЦЕНТРІВ.

Електрон-фононна взаємодія як розсіяння електронів на фононах. Безфононні лінії люмінесценції. Широкопasmовою люмінесценція. Параметри електрон-фононної взаємодії. Стоксів зсув, параметр Хуанга-Ріса (S). Форма спектрів люмінесценції для різних S.

Електрон-фононна взаємодія і адиабатичне наближення. Вібронна взаємодія і порушення адиабатичності. Ефект Яна-Теллера. Теорема Яна-Теллера. Випадок вироджених і квазивироджених станів. Псевдоефект Яна-Теллера. Форма поверхні адиабатичного потенціалу у випадку взаємодії T-рівнів з E_g- та T_{2g}- коливаннями. Статистичний та динамічний ЕЯТ

Люмінесцентна спектроскопія іонів з s²- конфігурацією зовнішньої електронної оболонки (Ргуподібні центри – РЦ). Природа А-, В-, С- та D- смуг поглинання. Структура та температурна залежність розщеплення А- і С- смуг поглинання. Люмінесценція РЦ при збудженні в А- смугі поглинання. Співіснування тетрагональних і тригональних мінімумів адиабатичного потенціалу. А_T- і А_X- смуги випромінювання.

Енергетичні схеми кристалофосфорів з іонами лантанідів.

Особливості заbudови електронних оболонок іонів РЗЕ. Схема енергетичних рівнів 4f-оболонки іонів РЗЕ (Ce, Pr, Nd, Eu, Gd, Tb, Er, Yb). Особливості випромінювальних 5d-4f переходів в іонах Gd³⁺, Eu³⁺ та Tb³⁺ Тривалентні (Ce³⁺, Pr³⁺, Nd³⁺) та двовалентні (Eu²⁺, Sm²⁺, Yb²⁺) іони РЗЕ з 4f - 5d переходами.

Особливості люмінесценції іонів перехідних металів групи заліза. Діаграми Танабе-Сутано для іонів Ti³⁺, Cr³⁺, Mn²⁺. Співвідношення між

розщепленням кристалічним полем та спин-орбітальною взаємодією. Безфононна та широкосмугова люмінесценція іонів перехідних металів.

Сенсибілізована люмінесценція. Міграція енергії збудження. Резонансно-індуктивна взаємодія між іонами. Реабсорбція люмінесценції. Зміна часових параметрів люмінесценції сенсибілізатора при взаємодії з активатором. Міграція енергії збудження в лампових люмінофорах $\text{LaPO}_4\text{-Ce}$, Tb.

Антистоксова люмінесценція іонів РЗЕ. Ступінчасте збудження та резонансно-індуктивна взаємодія у випадку іонів Er^{3+} та Yb^{3+} .

4. ЛЮМІНЕСЦЕНЦІЯ ЕКСИТОНІВ У КРИСТАЛАХ.

Екситони. Люмінесценція вільних екситонів. Типи екситонів в кристалах. Екситони Френкеля та Вань'є. Екситони з переносом заряду. Енергетичні рівні екситона Вань'є. Радіус та енергія зв'язку екситона. Форма смуг люмінесценції вільних екситонів. Розсіяння екситонів на фонах. Локалізовані екситони. Поляритони. Взаємодія екситонів з фотонами.

Автолокалізація електронних збуджень. Релаксація електронів в зоні провідності. Релаксовані та нерелаксовані ("гарячі") електрони. Взаємодія зонних електронів з фонами. Полярони.

Релаксовані та нерелаксовані дірки. Просторова та енергетична структура автолокалізованої дірки в ЛГК - V_k -центру. Загальні положення методу молекулярних орбіталей. Зв'язуючі та антизв'язуючі σ - і π -молекулярні орбіталі. Симетрія-орбіталей. Схема молекулярних орбіталей для молекули X_2 . Спектри поглинання V_k -центрів.

Гетероядерні V_k -центри та V_k -центри, локалізовані на дефектах ґратки (V_{kA} , V_{kF}). Динаміка руху "гарячих" та автолокалізованих дірок. Термалізація дірки. Температура реорієнтації та делокалізації.

Автолокалізовані екситони. Автолокалізований екситон в ЛГК - V_k - центр, що захопив електрон. Умови співіснування вільних та автолокалізованих екситонів. Люмінесценція вільних та автолокалізованих екситонів в діелектричних кристалах. Особливості випромінювання автолокалізованих екситонів (АЛЕ). Схема енергетичних рівнів та переходів в молекулі X_2 -е. σ - і π - смуги люмінесценції АЛЕ. Модель зміщеного та незміщеного АЛЕ.

Правило Урбаха. Температурна залежність краю фундаментального поглинання. Параметр екситон-фононної взаємодії.

5. ПОМНОЖЕННЯ ЕЛЕКТРОННИХ ЗБУДЖЕНЬ.

Пружне розсіювання електронів. Фотонне помноження. Залежність енергії двофотонного помноження від ширини забороненої зони кристала. Особливості спектрів збудження власної люмінесценції.

6. ОСТОВНО-ВАЛЕНТНА ЛЮМІНЕСЦЕНЦІЯ КРИСТАЛІВ.

Остовно-валентна люмінесценція - новий вид власного свічення широкозонних кристалів. Основні закономірності та умови виникнення та спостереження остовно-валентної люмінесценції. Домішкова остовно-валентна люмінесценція. Аніонне оточення катіона та структура спектрів домішкової

остовно-валентної люмінесценції. Квазімолекулярна модель остовно-валентної люмінесценції. Електронна структура та випромінювання кластерів $[CsCl_n]$ ($n = 6, 8, 12$).

Внутрішня люмінесценція лужно-галоїдних кристалів.

7. ПЕРЕНЕСЕННЯ ТА МІГРАЦІЯ ЕЛЕКТРОННИХ ЗБУДЖЕНЬ.

Резонансне перенесення енергії. Види мультипольної взаємодії. Мікропараметри взаємодії. Часові залежності загасання люмінесценції. Види міграції електронних збуджень. Крос-релаксація. Обмінна взаємодія. Сенсibilізована люмінесценція. Концентраційне гасіння люмінесценції. Антистоксова люмінесценція.

8. ЛЮМІНЕСЦЕНЦІЯ НИЗЬКОРОЗМІРНИХ СИСТЕМ.

Квантово-розмірний ефект. Слабка і сильна взаємодія. Закономірності прояву квантово-розмірного ефекту у випадку люмінесценції вільних екситонів. Енергія зв'язку екситонів. Розмірний ефект. Інтерференція екситонних станів та її прояви в люмінесцентних параметрах екситонів. Перспективи застосування нанорозмірних систем для створення нових люмінесцентних матеріалів.

Методи дослідження люмінесцентних параметрів люмінофорів та квантового виходу люмінофорів. Вимірювання спектрів збудження та люмінесценції. Визначення часових параметрів люмінесценції. Визначення енергетичних параметрів пасток.

4. Структура навчальної дисципліни

№	Назви змістових модулів і тем	Кількість годин			
		лк	пр	лаб	ср
МОДУЛЬ 1					
1	Модельні підходи до пояснення люмінесценції.	4	–		2
2	Рекомбінаційна люмінесценція в кристалах.	4			4
3	Люмінесценція домішкових центрів.	4	–	4	6
4	Люмінесценція екситонів у кристалах.	4	–		6
5	Помноження електронних збуджень.	4	–	4	6
6	Остовно-валентна люмінесценція кристалів.	4	–	4	6
7	Перенесення та міграція електронних збуджень.	4	–	4	6
8	Люмінесценція низькорозмірних систем.	4	–		6
	ВСЬОГО	32	–	16	42

5. Теми лабораторних занять

№	Назва теми	Кількість годин
МОДУЛЬ 1		
1	Методика вимірювання спектрів збудження люмінесценції.	4
2	Вивчення основних закономірностей люмінесценції молекул в рідинах.	8
3	Визначення часових констант випромінювальної релаксації.	4
	ВСЬОГО	16

6. Методи навчання

Використовуються такі методи навчання:

- а) *словесні* – лекція, пояснення, бесіда, інструктаж (вступний та поточний) під час виконання лабораторних робіт;
- б) *наочні* – ілюстрування лекційного матеріалу таблицями, схемами та графіками;
- в) *лабораторні* – виконання лабораторних робіт, що передбачає організацію навчальної роботи для отримання нових знань, перевірки певних наукових гіпотез на рівні досліджень, узагальнень та аналізу та формування вмінь і навичок інтерпретації результатів досліджень різноманітних нанооб'єктів.

7. Розподіл балів, що присвоюються студентам

Контроль знань здійснюється за результатами іспиту.

Шкала оцінювання: вузу, національна та ECTS

Оцінка ЄКТС	Оцінка в балах	Оцінка за національною шкалою	
		Екзамен	
A	90–100	5	відмінно
B	81–89	4	дуже добре
C	71–80		добре
D	61–70	3	задовільно
E	51–60		достатньо

8. РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

Базова:

1. Кюри Д. Люминесценция кристаллов. М. 1961.
2. Антонов-Романовский Э.И. Кинетика фотолюминесценции кристаллофосфоров. М. 1966.
3. Ребане К.-С.К. Люминесценция. Тарту. 1966.
4. Агранович В.М., Галанин М.Д. Перенос энергии в конденсированных средах. М.: Наука. 1978.
5. Гурвич А.М. Введение в физическую химию кристаллофосфоров. М. Мир. 1982
6. Экситоны. М.: Наука. 1985.
7. Берсукер И.Б. Эффект Яна-Теллера и вибронные взаимодействия в современной химии. М.: Наука. 1987.
8. Лакович Д. Основы флуоресцентной спектроскопии. М.1986. – С. 496.
9. Левшин Л.В. Люминесценция и ее измерение. М. 1989.
10. Сердюк В.В., Ваксман Ю.Ф. Люминесценция полупроводников. 1988. 200 с.
11. М.Д. Галанин. Люминесценция молекул и кристаллов. М. 1999. – С.200
12. И.А. Парфианович, В.Н. Саломатов Люминесценция кристаллических веществ. Иркутск. 1975.
13. Phosphor handbook/Shigeo Shionoya et al. CRC Press. 1999.
14. Алукер Э.Д., Лусис Д.Ю., Чернов С.А. Электронные возбуждения и радиолюминесценция щелочно-галогидных кристаллов Ин-т физики Рига: Зинатне, 1979. – С. 251
15. Алукер Э.Д., Гаврилов В.В., Дейч Р.Г., Чернов С.А. Быстропротекающие радиационно-стимулированные процессы в щелочно-галогидных кристаллах/ Ин-т физики Рига: Зинатне, 1987. – С. 183
16. Лущик Ч. Б. Распад электронных возбудителей с образованием дефектов в твердых телах /Ч. Б. Лущик, А. Ч. Лущик. М.: Наука, 1989.

Допоміжна:

Періодичні видання

1. Journal of Luminescence.
2. Вісник Львівського університету. Серія фізична.
3. Function materials.

Інформаційні ресурси:

1. www.sciencedirect.com.
2. <http://onlinelibrary.wiley.com>.