

Національна академія наук України
Інститут сцинтиляційних матеріалів

ЗАТВЕРДЖУЮ
Директор Інституту сцинтиляційних
матеріалів НАН України
матеріалів
* *
Національної
академії наук України
Б.В. Гриньов
(підпис) 522
« _____ » 20 р.
М.П.
ХАРКІВ

ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Прикладні аспекти фізики твердого тіла, наноматеріалів та нанотехнологій

(шифр і назва навчальної дисципліни)

спеціальність 105 – Прикладна фізика та наноматеріали

освітньо-наукова програма – підготовки доктора філософії в галузі
природничих наук

2020 навчальний рік

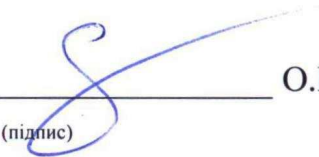
Програму рекомендовано до затвердження Вченою радою Інституту
сцинтиляційних матеріалів НАН України від 27.07.2020 року, протокол № 4

Розробники програми:

Сорокін Олександр Васильович, доктор фіз.-мат. наук, старший науковий
співробітник

Лисецький Лонгін Миколайович, доктор фіз.-мат. наук, професор

Гарант освітньо-наукової програми



(підпис)

О.В. Сорокін
(прізвище та ініціали)

Вступ

Програма навчальної дисципліни «Прикладні аспекти фізики твердого тіла, наноматеріалів та нанотехнологій» складена відповідно до освітньо-наукової програми підготовки докторів філософії (третьій рівень вищої освіти) за спеціальністю 105 – Прикладна фізика та наноматеріали.

1. Опис навчальної дисципліни

Метою викладання навчальної дисципліни є: ознайомити аспірантів з основними ідеями та експериментальними методами дослідження оптичних властивостей конденсованих середовищ, зокрема молекулярних, діелектричних та напівпровідникових сполук, наноматеріалів та рідких кристалів.

Згідно з вимогами освітньо-наукової програми аспіранти повинні досягти таких результатів навчання:

– здатність продемонструвати глибинні професійні знання, науковий і культурний кругозір рівня здобувача наукового ступеня доктора філософії, зокрема шляхом засвоєння, узагальнення та систематизації знань та основних концепцій, теоретичних та практичних проблем прикладної фізики твердого тіла, які стосуються зокрема оптичних властивостей молекулярних сполук, твердих тіл, рідких кристалів та наноматеріалів, розуміти фізичну природу їх формування та зв'язок структурного стану з фізичними властивостями різноманітних конденсованих середовищ;

– здатність на основі фізичних законів та розуміння структури різноманітних конденсованих середовищ прогнозувати їх оптичні властивості, перш за все люмінесцентні та сцинтиляційні, а також вміння їх експериментально визначення із застосуванням сучасних методів досліджень.

Характеристика навчальної дисципліни

Тип	Нормативна дисципліна
Форма навчання	Денна
Рік підготовки	1, 2
Семестр	3
Кількість кредитів	5
Загальна кількість годин	150
Аудиторні заняття (лекції та семінари)	60
Самостійна робота	90
Контроль	Залік, іспит

2. Тематичний план навчальної дисципліни

- Тема 1.** Що таке спектроскопія. Спектри. Огляд історії розвитку спектроскопії. Квантова природа спектрів конденсованих речовин. Приклади оптичних спектрів.
- Тема 2.** Спектри поглинання і люмінесценції. Взаємодія світла з речовиною. Поглинання і пропускання світла. Закон Бугера-Ламберта-Бера. Люмінесценція. Квантовий вихід і загасання люмінесценції.
- Тема 3.** Основи вимірювання люмінесценції. Анізотропія люмінесценції. Принципи роботи спектрофлюориметра. Чинники, що впливають на коректне вимірювання. Світлофільтри. Вимірювання часів життя. Люмінесцентна мікроскопія.
- Тема 4.** Гасіння люмінесценції і перенесення енергії. Види гасіння люмінесценції. Відхилення закону гасіння від прямої. Безвипромінювальне перенесення енергії. Умови реалізації FRET. Механізми FRET. Ефективність перенесення енергії. Homo-FRET.
- Тема 5.** Розсіювання світла. Види розсіювання світла. Релеєвське розсіювання. Неупруге розсіювання. Раманівське розсіювання.
- Тема 6.** Основи спектроскопії. Рівні енергії воднеподібних атомів. Імовірності переходів. Сили осциляторів. Інтенсивності спектрів. Ширина спектральних ліній.
- Тема 7.** Основи молекулярної спектроскопії. Типи молекулярних спектрів. Коливальні та обертальні ступені свободи. Молекулярні орбіталі.
- Тема 8.** Міжмолекулярна взаємодія. Вплив розчинників на молекулярні спектри. Універсальні та специфічні типи взаємодії. Вплив температури і в'язкості. Перенесення заряду. Утворення димерів.
- Тема 9.** Впорядковані молекулярні агрегати. J-агрегати як новий клас молекулярних агрегатів. Ціанінові барвники. Екситонні властивості J-агрегатів. Структура молекулярних агрегатів. Технічні і біомедичні застосування.
- Тема 10.** Інфрачервона спектроскопія. Коливальні переходи. ІЧ спектри. Особливості вимірювання ІЧ спектрів.
- Тема 11.** Сучасна мікроспектроскопія. Багатофотонна спектроскопія. Близькопольова скануюча мікроскопія. Одномолекулярна спектроскопія.

- Тема 12.** Молекулярна спектроскопія з часовим розділенням. Часова залежність FRET. Перенесення енергії у системах з різної розмірністю. Спектроскопія накачування-зондування. Фотонне відлуння.
- Тема 13.** Основи атомної спектроскопії. Спектри багатоелектронних атомів. Правила відбору. Терми багатоелектронних атомів. Розщеплення спектральних ліній у магнітному та електронних полях.
- Тема 14.** Оптичні властивості твердих тіл. Особливості енергетичної структури кристалів. Механізми оптичних переходів у твердих тілах. Міжзонні переходи. Екситони. Центри забарвлення. Домішкові центри.
- Тема 15.** Термо- і оптично стимульована люмінесценція. Остеовалентні переходи. Крос-люмінесценція. Оже-електрони. Рентген флуоресцентна спектроскопія.
- Тема 16.** Сцинтилятори. Основні поняття фізики сцинтиляторів. Види сцинтиляторів. Взаємодія іонізуючого випромінювання з речовиною. Основи фізики сцинтиляційного процесу.
- Тема 17.** Оптичні властивості нанокристалів. Квантово-розмірний ефект. Оптичні властивості вуглецевих кластерів. Вуглецеві наночастинки. Люмінесцентні металеві кластери. Металеві наночастинки. Квантові точки. Нанокристалічні діелектрики.
- Тема 18.** Плазмонне підсилення люмінесценції мономерів та агрегатів органічних люмінофорів. Плазмонний резонанс. Плазмонне підсилення люмінесценції мономерів барвників. Особливості екситон-плазмонної взаємодії у випадку J-агрегатів. Поверхневі плазмонні поляритони у J-агрегатах.
- Тема 19.** Хемі- та електролюмінесценція. Основи фізики електролюмінесценції напівпровідників. Органічна електролюмінесценція. Основи фізики хемілюмінесценції. Особливості електрохемілюмінесценції.
- Тема 20.** Фотовольтаїка. Використання сонячної енергії. Основи роботи сонячної батареї. Фотовольтаїчні перетворювачі першого та другого покоління. Сонячні елементи третього покоління – найбільш перспективні технології. Комірки Гретцеля. Використання галоїдних перовскитів.
- Тема 21.** Оптичні властивості галоїдних перовскитів: об'ємні матеріали та нанокристалів. Переваги та недоліки галоїдних перовскитів.
- Тема 22.** Фотодеградація органічних барвників. Механізми, причини та захист від неї.

- Тема 23.** Рідкокристалічний стан речовини. Основні типи рідкокристалічних фаз. Хімічна структура молекул мезогенних речовин. Надмолекулярне впорядкування в нематичних, смектичних і холестеричних рідких кристалах (РК).
- Тема 24.** Рідкокристалічні композиції. Залежність фазового стану від температури. Орієнтаційне впорядкування в РК. Параметр порядку. Теорія Майєра-Заупе. Опис трансляційного впорядкування в РК. Смектичні РК.
- Тема 25.** Текстури РК. Реорієнтація молекул РК в електричному полі. Фізичні принципи дії електрооптичних комірок і РК-дисплеїв. Холестеричні РК. Молекулярна хіральність і спіральне закручування.
- Тема 26.** Селективне відбивання в холестеричних РК. Напрямки практичного застосування холестеричних РК. Теоретичні моделі спірального закручування в РК. Рідкокристалічні сегнетоелектрики.
- Тема 27.** Анізотропія фізичних властивостей РК. Шляхи покращення функціональних характеристик РК-матеріалів. Анізотропні середовища. Полімерні РК. Плівки Ленгмюра-Блоджетт.
- Тема 28.** Композитні наноматеріали на основі РК. Ліотропні РК. Рідкокристалічні властивості модельних клітинних мембран. Медико-біологічні застосування рідких кристалів.
- Тема 29.** Консультація перед іспитом. Іспит.

3. Структура навчальної дисципліни

Назви модулів і тем	Кількість годин			
	Усього	у тому числі		
		Аудиторні заняття		самостійна робота
		лекції	семінари	
1	2	3	4	5
Тема 1.	5	2		3
Тема 2.	5	2		3
Тема 3	5	2		3
Тема 4	5	2		3
Тема 5	5	2		3
Тема 6	7	2		5
Тема 7.	5	2		3
Тема 8.	5	2		3

Тема 9.	5	2		3
Тема 10.	5	2		3
Тема 11.	5	2		3
Тема 12.	7	2		5
Тема 13.	5	2		3
Тема 14.	5	2		3
Тема 15.	5	2		3
Тема 16.	5	2		3
Тема 17.	5	2		3
Тема 18.	7	2		5
Тема 19.	5	2		3
Тема 20.	5	2		3
Тема 21.	5	2		3
Тема 22.	5	2		3
Тема 23.	5	2		3
Тема 24.	7	2		5
Тема 25.	5	2		3
Тема 26.	5	2		3
Тема 27.	4	2		2
Тема 28.	4	2		2
Тема 29.	4	4		
Усього годин	150	60		90

4. Завдання для самостійної роботи

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1.	Квантово-механічний опис двохрівневої системи. Випромінювання чорного тіла. Квантова теорія поглинання і люмінесценції.	6
2.	Вимірювання поляризаційних спектрів. Анізотропія. Визначення квантового виходу люмінесценції. Джерела випромінювання. Раманівське розсіювання та інші багатофононні процеси.	8
3.	Розщеплення рівнів енергії у магнітному полі. Ефект Штарка. Правила відбору. Молекулярна симетрія і дозволені та заборонені переходи. Розрахунок дипольних моментів оптичних переходів. Апроксимація Бора-Опенгеймера, фактори Франка-Кондона і форма смуг поглинання. Переходи з перенесенням заряду і переходи Рідберга.	6
4.	Надвипромінювання Діке і екситонне	6

	надвипромінювання. Ефект Парсела.	
5.	Використання молекулярних агрегатів в якості фотосенсибілізаторів.	4
6.	Квантово-розмірний ефект і енергія екситонного зв'язку.	4
7.	Екситонні матеріали у сонячній енергетиці.	6
8.	Теорія плазмонних коливань у наночастинках.	6
9.	Механізми фотодеградації барвників.	6
10.	Перенесення електрону в молекулах. Комплекси з перенесенням заряду. Перенесення протону (ICT). Перенесення протону з обертанням фрагменту (TICT).	6
11.	Резонансне перенесення енергії. Механізми Ферстера і Декстера. Особливості перенесення енергії у мультихромофорних системах.	6
12.	Міграція енергії у молекулярних системах. Вплив розмірності. Модель випадкового блукання.	8
13.	Надмолекулярне впорядкування в нематичних, смектичних і холестеричних рідких кристалах (РК)	6
14.	Орієнтаційне впорядкування в РК. Параметр порядку. Теорія Майєра-Заупе. Опис трансляційного впорядкування в РК.	6
15.	Теоретичні моделі спірального закручування в РК	6
	Разом	90

5. Методи контролю

Усні відповіді на запитання залікового завдання.

Письмові відповіді на запитання екзаменаційного завдання.

6. Розподіл балів, які отримують

Самостійна робота	Поточний контроль (залік)	Підсумковий контроль (іспит)	Сума
20	30	50	100

Шкала оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру	Оцінка	
	для чотирирівневої шкали оцінювання	для дворівневої шкали оцінювання
90 – 100	відмінно	зараховано
70-89	добре	
50-69	задовільно	
1-49	незадовільно	не зараховано

7. Рекомендована література

Базова

1. М.А. Ельяшевич. *Атомная и молекулярная спектроскопия*. 2-е изд. – М.: Эдиториал УРСС, 2001. – 896 с.
2. Л.В. Левшин, А.М. Салецкий. *Оптические методы исследования молекулярных систем*. – М.: МГУ, 1994. – 320 с.
3. W.W. Parson. *Modern Optical Spectroscopy*. –Berlin: Springer-Verlag, 2015. – 572 p.
4. B. Valeur. *Molecular Fluorescence. Principles and Applications*. – Weinheim: WILEY-VCH Verlag, 2002. – 381 p.
5. J.R. Lakowicz. *Principles of Fluorescence Spectroscopy. Third Edition*. – Singapore: Springer Science+Business Media, 2006. – 954 p.
6. M. Fox. *Optical Properties of Solids*. – New York: Oxford University Press Inc., 2001. – 305 p.
7. В.А. Пустоваров. Люминесценция твердых тел: учебное пособие. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2017. — 128 с.
8. Н.И. Гриценко. Физика жидких кристаллов: учеб. пособ. – Чернигов: РИО ЧНПУ имени Т.Г.Шевченко, 2015. – 344 с.
9. В. А. Беляков, А. С. Сонин. Оптика холестерических жидких кристаллов. – М. : Наука, 1981. – 360 с.

Допоміжна

1. Коншина Е.А. Оптика жидкокристаллических сред. Учебное пособие – СПб: СПб НИУ ИТМО, 2013.– 128 с
2. A.P. Demchenko. Photobleaching of organic fluorophores: quantitative characterization, mechanisms, protection. *Methods Appl. Fluoresc.* 2020 8 022001
3. G. Blasse, V. C. Grabmaier *Luminescent Materials.* – Berlin: Springer-Verlag, 1994. – 232 p.
4. В.В. Климов. Наноплазмоника. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. – 480 с.
5. T. Kobayashi (Ed.). *J-aggregates. Vol. 2.* – Singapore: World Scientific Publishing, 2012. – 520 p.
6. P.N. Prasad. *Nanophotonics.* – Hoboken: John Wiley & Sons, 2004. – 415 p
7. Р.Ю. Шендрик. Введение в физику сцинтилляторов: Учебное пособие. – Иркутск: изд-во Иркут. гос. ун-та, 2013. – 110 с.