

Національна академія наук України
Інститут скінтіляційних матеріалів

ЗАТВЕРДЖУЮ
Директор Інституту скінтіляційних
матеріалів НАН України
Б.В. Гриньов
« _____ » 20 р.
М.П.
М. ХАРКІВ

ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Сучасна фізика конденсованого стану (Прикладні аспекти, теорія та експеримент)

(шифр і назва навчальної дисципліни)

спеціальності 105 – Прикладна фізика та наноматеріали

132 – Матеріалознавство

освітньо-наукова програма – підготовки доктора філософії в галузях
природничих наук і механічної інженерії

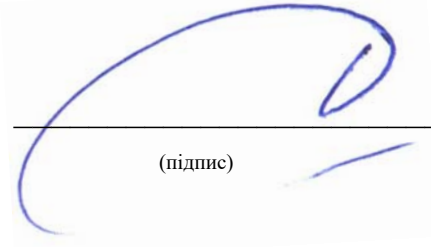
2020 навчальний рік

Програму рекомендовано до затвердження Вченою радою Інституту
сцинтиляційних матеріалів НАН України від 24.12.2019 року, протокол № 17

Розробники програми:

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

Гарант освітньо-наукової програми за спеціальністю «132 – Матеріалознавство»



(підпис)

Б.В. Гриньов

(прізвище та ініціали)

Гарант освітньо-наукової програми за спеціальністю «105 – Прикладна фізика та
наноматеріали»



(підпис)

Ю.В. Малюкін

(прізвище та ініціали)

Вступ

Програма навчальної дисципліни «Сучасна фізика конденсованого стану (Прикладні аспекти, теорія та експеримент)» складена відповідно до освітньо-наукової програми підготовки докторів філософії (третій рівень вищої освіти) за спеціальностями «105 – Прикладна фізика та наноматеріали» та «132 – Матеріалознавство».

1. Опис навчальної дисципліни

Метою викладання навчальної дисципліни є: ознайомити з фізичними законами та експериментальними даними формування атомної та електронної структури твердого тіла та конденсованих середовищ, а також їх фізичних властивостей (теплових, електричних, магнітних, оптичних, тощо).

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 фізики твердого тіла, зокрема атомну та електронну структуру твердих тіл, фізичну природу їх формування та зв'язок структурного стану з різноманітними фізичними властивостями твердих тіл та конденсованих середовищ;

– здатність на основі фізичних законів науково прогнозувати формування тієї чи іншої структури різноманітних твердих тіл та конденсованих середовищ, а також вміти прогнозувати оптимальне використання на практиці тверді тіла та конденсовані середовища всіх типів для розробки нових типів функціональних матеріалів, перш за все люмінесцентних та сцинтиляційних.

Характеристика навчальної дисципліни

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

2. Тематичний план навчальної дисципліни

- Тема 1.** Основні проблеми фізика конденсованого стану. Дальній і ближній порядок.
- Тема 2.** Електронна будова атому. Постулати Бора. Рівняння Шредінгера. Квантова модель будови атому водороду. Квантова теорія багатоелектронних атомів.
- Тема 3.** Електронна будова молекул і кристалів. Молекулярні орбіталі. Види зв'язку.
- Тема 4.** Класифікація твердих кристалічних тіл. Молекулярні кристали. Сили Ван-дер-Ваальса. Іонні кристали. Ковалентний зв'язок. Металевий зв'язок.
- Тема 5.** Кристали їх властивості. Просторова решітка. Решітки Браве. Сингонії. Найщільніша упаковка.
- Тема 6.** Індеси Мілера. Кристалографічна зона. Кристалографічні проекції. Операції симетрії. Точкові та просторові групи.
- Тема 7.** Основи дифракційних методів визначення структури кристалів. Три види випромінювання. Дифракція Брегга. Атомний і структурний фактори. Рівняння Лауе. Зворотня решітка.
- Тема 8.** Експериментальне визначення структури кристалів. Методи дослідження монокристалів. Дослідження полікристалічних зразків. Рентгенівська дифрактометрія. Прості кристалічні решітки.
- Тема 9.** Точкові дефекти у твердих тілах. Класифікація дефектів. Дефекти по Шотке і по Френелю. Центри забарвлення. Радіаційні дефекти.
- Тема 10.** Дислокації. Контур і вектор Бюргерса. Рух дислокацій. Напруження, пов'язані з дислокаціями. Взаємодія з точковими дефектами. Джерела дислокацій. Дислокації і ріст кристалів.
- Тема 11.** Фонони. Пружні хвилі і зсув атомів. Коливальні моди одноатомної решітки. Коливальний спектр решітки з базисом. Акустичні і оптичні фонони.
- Тема 12.** Теплові властивості кристалів. Моделі Ейнштейна і Дебая. Температура Дебая. Теплове розширення. Теплопровідність. Дифузія у твердих тілах.
- Тема 13.** Основи зонної структури твердих тіл. Рівняння Шредингера для твердого тіла. Одноелектронне наближення. Зони Брілюена. Поверхня

Фермі. Модель Кроніга-Пенні. Metали, діелектрики, напівпровідники. Енергетичні рівні домішкових атомів.

- Тема 14.** Metали. Основні властивості. Енергетичні рівні у одновимірному випадку. Температурна залежність функції Фермі-Дірака. Електронний газ у тривимірному випадку. Теплоємність електронного газу. Електропровідність і закон Ома. Теплопровідність металів.
- Тема 15.** Напівпровідникові кристали. Власна провідність. Заборонена зона. Концентрація власних носіїв. Домішкова провідність. Домішкові стани. Енергетичні зони германію і кремнію. Електронно-діркові переходи. Полярони.
- Тема 16.** Діелектрики. Поляризація діелектриків. Особливості і види пружної та теплової поляризацій. Зв'язок між діелектричною проникністю та поляризованістю. Частотна залежність діелектричної проникності. Сегнетоелектрики. Діелектричні втрати.
- Тема 17.** Магнітні властивості твердих тіл. Класифікація магнетиків. Діамагнетизм і парамагнетизмом твердих тіл. Феромагнетизм. Обмінна взаємодія і її роль у виникненні феромагнетизму. Спинові хвилі. Феромагнітні домени. Магнітний резонанс.
- Тема 18.** Надпровідність. Температура надпровідного переходу. Критичне магнітне поле. Кристалічна структура і ізотопічний ефект. Ефекти Джозефсона. Високотемпературна надпровідність. Теорії напівпровідності. Куперівські пари.
- Тема 19.** Оптичні властивості твердих тіл. Взаємодія світла з твердим тілом. Поглинання світла. Рекомбінаційне випромінювання в напівпровідниках. Спонтанне і вимушене випромінювання. Відбиття, заломлення, поглинання і пропускання монохроматичного випромінювання. Співвідношення Крамерса-Кроніга.
- Тема 20.** Екситони у діелектриках і напівпровідниках. Екситони Френкеля. Давидівське розщеплення. Екситони Ваньє-Мотта. Екситони в напівпровідниках і лужно-галоїдних кристалах. Зовнішні впливи на екситони.
- Тема 21.** Фізичні властивості аморфних твердих тіл. Структура аморфних твердих тіл. Енергетичний спектр некристалічних твердих тіл. Аморфні напівпровідники. Аморфні діелектрики і метали.

- Тема 22.** Полімерні матеріали. Класифікація полімерів. Отримання полімерів. Специфіка будови і полімерного стану речовини. Механічні властивості полімерів. Розчини полімерів.
- Тема 23.** Рідкі кристали. Особливості структури і фізичних властивостей рідких кристалів. Деформація нематичного рідкого кристала в електричному полі. Ефект Фредерікса. Динаміка оптичного відгуку рідкого кристала.
- Тема 24.** Наноматеріали. Класифікація дисперсних систем. Розмірні залежності властивостей наноматеріалів. Структура нанорозмірних матеріалів. Внесок поверхні у властивості наноматеріалів.
- Тема 25.** 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 | 5 | 2 | | 3 |
| 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. | 5 | 2 | | 3 |
| 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. | 5 | 2 | | 3 |
| Тема 19. | 15 | 2 | 4 | 9 |
| Тема 20. | 10 | 2 | 2 | 6 |
| Тема 21. | 5 | 2 | | 3 |

| | | | | |
|---------------------|------------|-----------|----------|-----------|
| Тема 22. | 5 | 2 | | 6 |
| Тема 23. | 5 | 2 | | 6 |
| Тема 24 | 10 | 2 | 2 | 6 |
| Тема 25. | 4 | 4 | | |
| Усього годин | 150 | 52 | 8 | 90 |

4. Завдання для самостійної роботи

| № з/п | Назва теми | Кількість годин |
|-------|---|-----------------|
| 1. | Структура твердих тіл. Аморфна та кристалічна структура. Рідкі кристали. Енергетичні критерії та ознаки різних твердих тіл. | 4 |
| 2. | Експериментальні методи дослідження структури твердих тіл. Рентгенографія. Закон Вульфа – Брега для кристалічної структури. Електронна мікроскопія. Нейтронографія. Оптичні методи. | 4 |
| 3. | Типи енергії зв'язку твердих кристалічних структур: молекулярна, іонна, металева, ковалентна. Загальні характеристики. Характерні фізичні властивості, які притаманні для кожного типу зв'язку. | 4 |
| 4. | Квантово – механічний підхід при описанні молекулярних кристалів. Квантовий осцилятор. Нулева енергія квантової частки. Обчислювання енергії зв'язку між молекулами за Ван – дер – Ваальсом | 4 |
| 5. | Іоний зв'язок. Фізична природа сил притягання та відторгнення. Константа Маделунга. Потенціал Борна. Ізотермічна стисливість. Об'ємний модуль пружності. Обчислювання енергії зв'язку між іонами з протилежними електричними зарядами по емпіричному методу Борна | 4 |
| 6. | Ковалентний зв'язок. Постулати Бора та обчислювання енергії зв'язку ковалентних кристалів з врахуванням об'єднання електронів на кожну пару атомів. Врахування кінетичної та потенціальної енергії електронів | 4 |
| 7. | Коллективна взаємодія між атомами та електронами в металах. Оцінка середньої енергії віртуальних локалізованих електронів та об'єднаних електронів в металічних кристалах. Обчислювання тиску | 4 |

| | | |
|-----|---|---|
| | електронного «газу» в металах. Енергія зв'язку атомів в металі | |
| 8. | Теплоємність твердого тіла. Теплоємність діелектриків при підвищених температурах .Експериментальні дані. Статистика Максвела – Больцмана. Закон Дюлонга – Пті. | 4 |
| 9. | Теплоємність твердих тіл при низьких температурах. Квантова теорія теплоємності атомів (теорії Ейнштейна та Дебая). Фонони в кристалах та їх взаємодія. Характеристична температура Дебая. | 4 |
| 10. | Теплоємність металів. Роль електронів. Статистика Фермі – Дірака. Енергія Фермі. Критична температура, при якій зрівнюються електронна та атомна складові теплоємності в металах. | 4 |
| 11. | Теплове розширення твердого кристалічного тіла. Ангармонізм коливання атомів. Зв'язок коефіцієнту теплового розширення з іншими константами твердого тіла. | 4 |
| 12. | Теплопровідність твердих кристалічних тіл. Теплопровідність діелектричних кристалів. Експериментальні дані. Класична теорія теплопровідності. Фонон – фононна взаємодія та розсіювання фононів при підвищених температурах. Теплоємність кристалів при низьких температурах | 4 |
| 13. | Теплопровідність металів. Довжина пробігу електрона. Взаємодія електронів та фононів. Розсіювання електронів на фононах при підвищених температурах. Розсіювання електронів на атомах сторонніх елементів при низьких температурах | 4 |
| 14. | Електропровідність металів. Закон Ома. Класична теорія. Правило Матіссена. Закон Відемана – Франца. Врахування квантових властивостей електронів для пояснення температурної залежності електропровідності в металах | 4 |
| 15. | Загальна інформація про електричну провідність іонних кристалів. Експериментальні дані. Температурна залежність коефіцієнту електропровідності іонних кристалів. Елементарний заряд носія електричного току. Роль сторонніх атомів | 4 |

| | | |
|-----|---|---|
| 16. | Дифузія в кристалах. Точкові дефекти. Енергія активації дифузії. Співвідношення Ареніуса. Закони Фіка. Експериментальні методи вивчення дифузії в кристалічних тілах | 4 |
| 17. | Теорія Нернста – Ейнштейна для електропровідності іонних кристалів. Зв'язок між коефіцієнтом дифузії атомів та коефіцієнтом електропровідності в іонних кристалах. Вплив сторонніх атомів з іншою валентністю | 4 |
| 18. | Точкові дефекти в кристалах. Вакансії Шотки та пари Френкеля. Рівноважна концентрація точкових дефектів. Методи експериментального визначення енергії формування точкового дефекту та їх концентрації. | 4 |
| 19. | Лінійні дефекти в кристалічних тілах. Дислокації. Вектор Бюргерса. Бар'єр Пайерлса. Механізми переміщення дислокацій (ковзання, переповзання). Зв'язок швидкості пластичної деформації з густиною дислокацій | 4 |
| 20. | Руйнування кристалів. Механізми гальмування дислокацій. Механізми руйнування кристалів: механізми Стро, Котрела та інші | 4 |
| 21. | Приближення сильного зв'язку між електронами та атомами в конденсованому середовищі. Модель квазі – вільних електронів. Походження енергетичної щілини. Електронні хвилі у періодичному потенціальному полі. Кількість енергетичних зон в енергетичному спектрі та енергетичних рівнів в енергетичній зоні. | 4 |
| 22. | Переміщення електрона в потенційному полі атомів. Ефективна маса електрона. Поняття дірки як носія електричного заряду. Заповнення енергетичних зон електронами: провідники, напівпровідники, ізолятор. | 4 |
| 23. | Напівпровідники. Діркові та електронні напівпровідники. Донорні та акцепторні рівні. Концентрація носіїв заряду та їх рухливість. Розподіл електронів за енергією. Температурна залежність коефіцієнту електричної провідності в напівпровідниках. | 6 |
| 24. | Фотопровідність напівпровідників. Червона межа фотопровідності. Екситони. Люмінесценція. Технічні застосування напівпровідників. | 6 |
| 25. | Магнітні властивості твердого тіла. Парамагнетизм та діамагнетизм атомів. Теорії Лормора, Ланжевена. Закон Кюри. Парамагнетизм електронів в металах по теорії | 4 |

| | | |
|-----|--|------------|
| | Паулі. Діамагнетизм електронного «газу» в металах по теорії Ландау | |
| 26. | Фізика ферромагнетизму. Формальна теорія Ланжевена – Вейса. Закон Кюри – Вейса. Квантова теорія ферромагнетизму Френкеля. Феррімагнетики. Антиферромагнетики | 4 |
| | Разом | 108 |

5. Методи контролю

Письмові відповіді на запитання екзаменаційного завдання

6. Розподіл балів, які отримують

| Поточний контроль та самостійна робота | Підсумковий контроль (іспит) | Сума |
|--|------------------------------|------|
| 40 | 60 | 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. Ч. Киттель. Введение в физику твердого тела. – Москва: Наука, 1978. – 792 с
2. Дж. Блейкмор. Физика твердого тела. – Москва: Мир, 1988. – 608 с.

3. П.В. Павлов, А.Ф. Хохлов. Физика твердого тела. – Москва: Высшая школа, 2000. – 494 с.
4. Н. Ашкрофт, Н. Мермин. Физика твердого тела. В двух томах. – Москва: Мир, 1979. – 458 с. (т. 1), 486 с. (т. 2).
5. Ch. Kittel. Introduction to Solid State Physics. Eighth Ed. –John Wiley & Sons, 2005. – 680 p.

Допоміжна

1. А.Н. Васильев, В.В. Михайлин. Введение в спектроскопию диэлектриков. – М.: Янус-К, 2000. – 415 с.
2. Э.В. Суворов. Дифракционный структурный анализ. – Москва: Юрайт, 2019. – 272 с.
3. Зуев В.В., Успенская М.В., Олехнович А.О. Физика и химия полимеров. Учеб. пособие. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2010. – 45 с
4. Коншина Е.А. Оптика жидкокристаллических сред. Учебное пособие – СПб: СПб НИУ ИТМО, 2013.– 128 с
5. Д.И. Рыжонков, В.В. Лёвина, Э.Л. Дзидзигури. Наноматериалы: учебное пособие, 4-е изд. (эл.). — М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2014. — 368 с.
6. М. Fox. Optical Properties of Solids. – New York: Oxford University Press Inc., 2001. – 305 p.