

# СИЛАБУС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

## Окремі питання фізики твердого тіла

спеціальності: 105 – Прикладна фізика та наноматеріали

132 – Матеріалознавство

2023 навчальний рік

### I. Опис навчальної дисципліни

Навчальна дисципліна обов'язкового компонента

Складена відповідно до освітньо-наукової програми підготовки докторів філософії (третій рівень вищої освіти) за спеціальностями 105 – Прикладна фізика та наноматеріали та 132 – Матеріалознавство.

Рік, на якому реалізується вивчення дисципліни – 1 (перший)

Семестр, на якому реалізується вивчення дисципліни – 2 (другий)

Кількість кредитів – 4 кредити

Загальна кількість годин – 120 годин

З них:

аудиторні заняття (лекції та семінари) – 48 годин

самостійна робота – 72 години

### II. Інформація про викладача

ППП: Сорокін Олександр Васильович

Науковий ступінь: доктор фізико-математичних наук

Вчене звання: – старший науковий співробітник

Посада: заступник директора з наукової роботи, старший науковий співробітник відділу наноструктурних матеріалів ім. Ю.В. Малюкіна

Контактна інформація: +38 057 341-03-24, sorokin@isma.kharkov.ua

### III. Опис дисципліни

#### 1. Мета і завдання навчальної дисципліни

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

Основними завданнями вивчення дисципліни «Окремі питання фізики твердого тіла» є:

– 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, в першу чергу – оптичними;

– вміння на основі фізичних законів науково прогнозувати формування тієї чи іншої структури різноманітних твердих тіл, а також оптимальне

використовувати на практиці тверді тіла різних типів для розробки нових типів функціональних матеріалів, перш за все люмінесцентних та сцинтиляційних.

## 2. Результати навчання (Компетентності)

- Наявність глибоких обґрунтованих знань в галузі прикладної фізики, структури та властивостей наноматеріалів, детальне розуміння підходів до створення і застосування новітніх матеріалів, вміння проводити експериментальні і теоретичні дослідження у галузі фізичного матеріалознавства.
- Знання сучасного стану, засад і принципів розвитку природничих наук на міжнародному, міждержавному, державному та регіональному рівнях.
- Розуміння теоретичних засад, що лежать в основі методів досліджень стану навколишнього середовища, методології проведення теоретичних і експериментальних досліджень.
- Проявляти наукові погляди та підходи при оцінюванні варіантів створення нових перспективних матеріалів з заданим рівнем властивостей.
- Володіти концептуальними та методологічними знаннями в галузі природничих наук та бути здатним застосовувати їх до професійної діяльності на межі предметних галузей.
- Інтегрувати існуючі методики та методи досліджень та адаптувати їх для розв'язання наукових завдань при проведенні дисертаційних досліджень.
- Вміти визначити об'єкт і суб'єкт, предмет досліджень, використовуючи гносеологічні підходи до розв'язання наукових та технічних проблем.
- Описувати закономірності та принципи виготовлення і застосування сучасних сцинтиляційних та люмінесцентних матеріалів (зокрема, наноматеріалів).

## IV. Обов'язкові завдання та методи контролю

- Відвідування лекційних занять; виконання завдань самостійної роботи.
- Підсумковий контроль – іспит.
- Розподіл балів

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

## V. Опис навчальної дисципліни

### 1. Тематичний план лекційних занять

Тема 1. Класифікація твердих кристалічних тіл. Іонні, ковалентні, металеві та молекулярні кристали.

Тема 2. Кристалічні решітки. Кристали та їх властивості, решітки Браве, примітивна комірка, типи кристалічних структур. Індеси Мілера, симетрія у решітках, класи симетрії.

Тема 3. Основи дифракційних методів визначення структури кристалів. Три фактори. Рівняння Лауе. Зворотна решітка.

Тема 4. Експериментальне визначення структури кристалів. Метод Лауе. Рентгенограми обертання. Методи рентгенівського гоніометра. Методи дослідження полікристалічних зразків. Методи рентгенівської дифрактометрії. Прості кристалічні структури.

Тема 5. Основи зонної теорії твердих тіл. Потенційна енергія електрона в кристалічній решітці. Теорема Блоха. Хвильові вектора кристалічної решітки. Зони Бріллюена. Формування енергетичних зон. Вплив поверхневих ставні і домішкових центрів.

Тема 6. Точкові дефекти у твердих тілах. Дефекти у кристалах. Вакансії. Міжвузольні атоми. Дифузія. Центри забарвлення. Радіаційні дефекти.

Тема 7. Лінійні і двовимірні дефекти. Дислокації. Контур і вектор Бюргерса. Рух і формування дислокацій.

Тема 8. Фонони і коливання решітки. Коливання одномірної решітки. Коливання решітки з базисом. Взаємодія фононів і фотонів.

Тема 9. Теплові властивості кристалів. Теплоємність. Закон Дюлонга і Пті. Модель Дебая. Щільність станів. Модель Ейнштейна. Теплопровідність. Дифузія

Тема 10. Основні властивості металів. Модель вільного електронного газу. Енергія Фермі. Розподілення Фермі-Дірака. Внесок електронів до теплоємності.

Електрична провідність. Електронна теплопровідність. Ефект Холла.

Тема 11. Напівпровідникові кристали. Власна провідність. Заборонена зона. Прямі і непрямі оптичні переходи. Закон діючих мас. Домішкова провідність. Рухливість носіїв току. Циклотронний резонанс. Електронно-діркові переходи.

Тема 12. Діелектрики. Поляризація діелектриків. Основні характеристики поляризації. Види поляризації. Діелектрична проникність. Її частотна залежність. П'єзоелектрики. Сегнетоелектрики. Діелектричні втрати.

Тема 13. Магнітні властивості твердих тіл. Класифікація магнетиків. Діамагнетизм і парамагнетизм. Феромагнетизм. Молекулярне поле Вейсса. Обмінна взаємодія. Антиферомагнетизм і феримагнетизм. Електронний парамагнітний резонанс і ядерний магнітний резонанс.

Тема 14. Наноматеріали. Класифікація дисперсних систем. Особливості термодинамічних властивостей наноматеріалів. Структура нанорозмірних матеріалів. Внесок поверхні.

Тема 15. Основи спектроскопії. Рівні енергії воднеподібних атомів. Імовірності переходів. Сили осциляторів. Інтенсивності спектрів. Ширина спектральних ліній.

Тема 16. Основи атомної спектроскопії. Спектри багатоелектронних атомів. Правила відбору. Терми багатоелектронних атомів. Розщеплення спектральних ліній у магнітному та електронних полях.

Тема 17. Оптичні властивості твердих тіл. Особливості енергетичної структури кристалів. Механізми оптичних переходів у твердих тілах. Міжзонні переходи. Екситони. Центри забарвлення. Домішкові центри.

Тема 18. Релаксація збуджених станів. Захоплення на пастки. Термостимульована і оптично стимульована люмінесценція. Крос-люмінесценція. Up- і down-конверсія.

Тема 19. Сцинтилятори. Основні поняття фізики сцинтиляторів. Види сцинтиляторів. Взаємодія іонізуючого випромінювання з речовиною. Основи фізики сцинтиляційного процесу.

Тема 20. Оптичні властивості наноматеріалів. Квантово-розмірний ефект. Оптичні властивості вуглецевих кластерів. Вуглецеві наночастинки. Люмінесцентні металеві кластери. Металеві наночастинки. Квантові точки. Нанокристалічні діелектрики.

Тема 21. Деякі колективні ефекти в твердих тілах (полярони, автолокалізація електронів і екситонів, надвипромінювання Діке, екситонне надвипромінювання, ефект Парсела)

Тема 22. Фізичні властивості аморфних твердих тіл. Енергетичний спектр некристалічних твердих тіл. Аморфні напівпровідники.

Тема 23. Консультація перед іспитом. Іспит.

## 2. Завдання для самостійної роботи

- Структура твердих тіл. Аморфна та кристалічна структура. Рідкі кристали. Енергетичні критерії та ознаки різних твердих тіл.
- Експериментальні методи дослідження структури твердих тіл. Рентгенографія. Закон Вульфа – Брега для кристалічної структури. Електронна мікроскопія. Нейтронографія. Оптичні методи.
- Типи енергії зв'язку твердих кристалічних структур: молекулярна, іонна, металева, ковалентна. Загальні характеристики. Характерні фізичні властивості, які притаманні для кожного типу зв'язку.

- Теплоємкість твердого тіла. Теплоємкість діелектриків при підвищених температурах. Експериментальні дані. Статистика Максвела – Больцмана. Закон Дюлонга – Пті.
- Теплоємкість твердих тіл при низьких температурах. Квантова теорія теплоємкості атомів (теорії Ейнштейна та Дебая). Фонони в кристалах та їх взаємодія. Характеристична температура Дебая.
- Теплоємкість металів. Роль електронів. Статистика Фермі – Дірака. Енергія Фермі. Критична температура, при якій зрівнюються електронна та атомна складові теплоємкості в металах.
- Теплове розширення твердого кристалічного тіла. Ангармонізм коливання атомів. Зв'язок коефіцієнту теплового розширення з іншими константами твердого тіла.
- Теплопровідність твердих кристалічних тіл. Теплопровідність діелектричних кристалів. Експериментальні дані. Класична теорія теплопровідності. Фонон – фононна взаємодія та розсіювання фононів при підвищених температурах. Теплоємкість кристалів при низьких температурах
- 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
- Електропровідність металів. Закон Ома. Класична теорія. Правило Матіссена. Закон Відемана – Франца. Врахування квантових властивостей електронів для пояснення температурної залежності електропровідності в металах
- Загальна інформація про електричну провідність іонних кристалів. Експериментальні дані. Температурна залежність коефіцієнту електропровідності іонних кристалів. Елементарний заряд носія електричного току. Роль сторонніх атомів
- Дифузія в кристалах. Точкові дефекти. Енергія активації дифузії. Співвідношення Ареніуса. Закони Фіка. Експериментальні методи вивчення дифузії в кристалічних тілах
- 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
- Точкові дефекти в кристалах. Вакансії Шотки та пари Френкеля. Рівноважна концентрація точкових дефектів. Методи експериментального визначення енергії формування точкового дефекту та їх концентрації.
- Лінійні дефекти в кристалічних тілах. Дислокації. Вектор Бюргерса. Бар'єр Пайерлса. Механізми переміщення дислокацій (ковзання, переповзання). Зв'язок швидкості пластичної деформації з густиною дислокацій
- Руйнування кристалів. Механізми гальмування дислокацій. Механізми руйнування кристалів: механізми Стро, Котрела та інші

- Приближення сильного зв'язку між електронами та атомами в конденсованому середовищі. Модель квазі – вільних електронів. Походження енергетичної щільності. Електронні хвилі у періодичному потенціальному полі. Кількість енергетичних зон в енергетичному спектрі та енергетичних рівнів в енергетичній зоні.
- Переміщення електрона в потенційному полі атомів. Ефективна маса електрона. Поняття дірки як носія електричного заряду. Заповнення енергетичних зон електронами: провідники, напівпровідники, ізолятор.
- 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.
- Фотопровідність напівпровідників. Червона межа фотопровідності. Екситони. Люмінесценція. Технічні застосування напівпровідників.
- Магнітні властивості твердого тіла. Парамагнетизм та діамагнетизм атомів. Парамагнетизм електронів в металах по теорії Паулі. Діамагнетизм електронного «газу» в металах по теорії Ландау. Фізика ферромагнетизму. Формальна теорія Ланжевена – Вейса. Закон Кюри – Вейса. Феррімагнетики. Антиферромагнетики
- Модель потенційних кривих та спектральні
- закономірності внутрішньоцентрової люмінесценції. Термостимульована люмінесценція. Визначення
- параметрів центрів захоплення. Релаксація електронних збуджень та формування спектру люмінесценції.
- Взаємодія іонізуючого випромінювання з речовиною. Основи фізики сцинтиляційного процесу.

### 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.	6	2		4
Тема 18.	6	2		4
Тема 19.	6	2		4
Тема 20.	6	2		4
Тема 21.	6	2		4
Тема 22.	6	2		4
Тема 23.	4	4		
<b>Усього годин</b>	<b>120</b>	<b>48</b>		<b>72</b>

## V. Рекомендована література

### Базова

1. Ch. Kittel. Introduction to Solid State Physics. Eighth Ed. – John Wiley & Sons, 2005. – 680 p.
2. J. Blakemore. Solid State Physics. 2nd ed. – Cambridge: Cambridge University Press, 1985. – 506 p.
3. N.W. Ashcroft, N.D. Mermin. Solid State Physics. – Orlando: Harcourt, Inc., 1976. – 826 p.
4. S.H. Simon. The Oxford Solid State Basics. – Oxford: Oxford University Press, 2013. – 290 p.
5. В.В. Бібик, Т.М. Гричановська, Л.В. Однорець, Н.І. Шумакова. Фізика твердого тіла: навчальний посібник. – Суми: Видавництво СумДУ, 2010. – 200 с.
6. Ю.М. Поплавко. Фізика твердого тіла: підручник. В 2-х томах. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2017. – Том 1: Структура, квазічастинки, метали, магнетики. – 415 с.
7. Ю.М. Поплавко. Фізика твердого тіла: підручник. В 2-х томах. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2017. – Том 2: Діелектрики, напівпровідники, фазові переходи. – 379 с.

### Допоміжна

1. B. Valeur. Molecular Fluorescence. Principles and Applications. – Weinheim: WILEY-VCH Verlag, 2002. – 381 p.
2. M. Fox. Optical Properties of Solids. – New York: Oxford University Press Inc., 2001. – 305 p.
3. R.A.L. Jones. Soft Condensed Matter. – New York: Oxford University Press Inc., 2002. – 196 p.

4. P. Lecoq, A. Gektin, M. Korzhik, Inorganic Scintillators for Detector Systems: Physical Principles and Crystal Engineering. Second Edition. – Cham: Springer International Publishing, 2017. – 408 p.
5. G. Iadonisi, G. Cantele, M.L. Chiofalo. Introduction to Solid State Physics and Crystalline Nanostructures. – Milan: Springer-Verlag, 2014. – 685 p.
6. M. Dresselhaus, G. Dresselhaus, S.B. Cronin, A.G. Souza Filho. Solid State Properties: From Bulk to Nano. – Berlin: Springer-Verlag GmbH, 2018. – 517 p.

1.