

Міністерство освіти і науки України
Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника
Фізико-технічний факультет
Кафедра матеріалознавства і новітніх технологій

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Проректор _____

“ _____ ” _____ 2022 р.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

ФІЗИКА КОНДЕНСОВАНОГО СТАНУ РЕЧОВИНИ

(шифр і назва навчальної дисципліни)

напрямок підготовки аспіранта (PhD) освітньо-науковою програмою
«105, Прикладна фізика та наноматеріали»

(шифр і назва напрямку підготовки)

спеціальність 105, Прикладна фізика та наноматеріали

(шифр і назва спеціальності)

спеціалізація доктор філософії (PhD)

(назва спеціалізації)

інститут, факультет фізико-технічний

(назва інституту, факультету)

Робоча програма «*Фізика конденсованого стану речовини*» для підготовки здобувачів третього рівня вищої освіти – доктора філософії спеціальності «105, Прикладна фізика та наноматеріали» “___” _____, 2022 р. – 12 с.

Розробники: (вказати авторів, їхні посади, наукові ступені та вчені звання)
Будзуляк І. М. – професор кафедри матеріалознавства і новітніх технологій, доктор фізико-математичних наук, професор

Робоча програма затверджена на засіданні кафедри матеріалознавства і новітніх технологій

Протокол № 1 від “29” серпня 2022 р.

Завідувач кафедри матеріалознавства і новітніх технологій

“29” серпня 2022 р. _____ Богдан ОСТАФІЙЧУК

Схвалено методичною комісією фізико-технічного факультету.

Протокол від “30” серпня 2022 р. № 1

“30” серпня 2022 р.

Голова _____
(підпис)

Михайло ЯЦУРА
(прізвище та ініціали)

© Прикарпатський національний
університет імені Василя Стефаника,
2022 рік

1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, напрям підготовки, освітньо-кваліфікаційний рівень	Характеристика навчальної дисципліни	
		денна форма навчання	заочна форма навчання
Кількість кредитів – 6	Галузь знань 10 Природничі науки	Цикл професійної підготовки	
Модулів – 1	Спеціальність (професійне спрямування): <u>105, Прикладна фізика і наноматеріали</u>	Рік підготовки:	
Змістових модулів – 2		I-й	____-й
Індивідуальне науково-дослідне завдання – реферат		Семестр	
Загальна кількість годин – 180		1-й	2-й
Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 2 самостійної роботи студента – 6	Освітньо-кваліфікаційний рівень: <u>доктор філософії (PhD)</u>	Лекції	
		40 год.	
		Практичні, семінарські	
		20 год.	
		Лабораторні	
		__ год.	__ год.
		Самостійна робота	
		120 год.	
Індивідуальні завдання: __ год.			
Вид контролю: залік, екзамен			

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної і індивідуальної роботи становить:
для денної форми навчання – 0,5

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Мета. Логічно послідовне формування у аспірантів знань про фізику конденсованого стану речовини, теоретичні основи опису конденсованих середовищ, зокрема метод функцій Гріна, метод вторинного квантування, діаграми Феймана, моделі, які найбільш повно описують даний стан, можливості використання конденсатів в різноманітних галузях науки і техніки.

Завдання вивчення дисципліни: формування у студентів уявлень про принципово нові фізичні явища і процеси, які притаманні конденсованим середовищам внаслідок прояву у них всього спектру квантово-механічних властивостей, які не є суттєвими для макрооб'єктів; узагальнення знань студентів про фізико-хімічні процеси при виборі оптимального набору методик обробки сировини і матеріалів для отримання тих чи інших конденсатів, формування знань щодо сучасних уявлень про квантові ансамблі багатьох частинок, їх опис через введення поняття квазічастинок, зокрема фермі- і бозе-рідин, експериментальне підтвердження теоретичних розрахунків.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен

знати: основні поняття і терміни: конденсований стан, тверді тіла, рідини, аморфні тіла, рідкі кристали, бозе-рідини, фермі-рідини, вторинне квантування, функції Гріна, діаграми Феймана, квазічастинки, ферміони, бозони; загальну характеристику конденсатів, квантово-механічні основи фізичних процесів та особливості їх прояву в тих чи інших конденсатах, взаємозв'язок між будовою атомів та конденсатами, сформованими на їх основі; рідкий гелій; особливі властивості води.

вміти: застосовувати отримані знання для характеристики конденсованого стану речовини, описати стан макроскопічної системи, сформулювати умови виникнення елементарних збуджень в конденсованих середовищах, розвинути функцію Гріна, шляхом застосування діаграм Феймана, представити гамільтоніан системи із застосуванням формалізму вторинного квантування, застосувати фрактальне представлення для опису макро- і наностанів конденсованих середовищ, будувати ґратки Браве.

3. Програма навчальної дисципліни

Змістовий модуль 1.

Структура речовини в конденсованому стані

Тема 1. Будова речовини. Електронна структура атомів

Будова речовини. Електронна структура атомів.

Тема 2. Хімічний зв'язок і валентність

Хімічний зв'язок і валентність. Типи сил зв'язку в конденсованому стані: Ван-дер-ваальсівський зв'язок, водневий зв'язок, іонний зв'язок, ковалентний зв'язок, металічний зв'язок. Природа хімічного зв'язку і модельні уявлення про її виникнення. Визначальна роль електричних сил, що діють між електронами і ядрами атомів, при утворенні хімічного зв'язку. Ковалентний зв'язок в молекулі водню. Геометричні та енергетичні характеристики ковалентного зв'язку: довжина зв'язку, валентний кут, енергія зв'язку. Іонний зв'язок в твердих кристалічних речовинах. Властивості іонного зв'язку: не насиченість, ненаправленість. Координаційні числа. Типи решіток у іонних кристалів. Водневий зв'язок. Міжмолекулярні взаємодії. Природа сил взаємодії між молекулами, їх орієнтаційна, індукційна і дисперсійна складові. Характер сил міжмолекулярної взаємодії: відсутність спрямованості і насичуваності; прояв на відстанях, порівнянних з розмірами молекул; величина енергії електростатичного взаємодії в порівнянні з енергією ковалентного зв'язку. Природа металічного зв'язку: уявлення про металевий зв'язок з позицій теорії молекулярних орбіталей. Властивості сполук з металічним зв'язком.

Тема 3. Симетрія твердих тіл

Симетрія твердих тіл. Кристалічні і аморфні тверді тіла. Поняття просторової ґратки. Трансляційна інваріантність. Базис і кристалічна структура. Елементарна комірка. Сингонії кристалів. Комірка Вігнера - Зейтца. Решітка Браве. Позначення вузлів, напрямків і площин в кристалі. Індеси Міллера і Міллера-Браве. Обернений простір. Обернена ґратка, її властивості. Побудова оберненої ґратки. Зона Брілюена. Застосування оберненої ґратки для опису дифракції хвиль на кристалічній решітці. Елементи симетрії кристалів: повороти, відображення, інверсія, інверсійні повороти, трансляції.

Тема 4. Далекий і ближній порядок

Розташування атомів в кристалах. Проста, гранецентрирована і об'ємцентрована кубічні ґратки. Щільна гексагональна упаковка. Характер розподілу електронної густини в твердих кристалічних речовинах з різним типом зв'язку і фізико-хімічні властивості цих речовин. Енергетичні рівні

атомів і молекул та енергетичні зони в кристалах. Структура речовини з ненаправленою взаємодією. Приклади кристалічних структур, що відповідають щільним упаковкам: проста кубічна, ОЦК, ГЦК, структура типу CsCl, типу NaCl, типу перовскіту CaTiO₃.

Тема 5. Ковалентний зв'язок

σ -, π - зв'язки. Гібридизація атомних орбіталей: sp -, sp^2 -, sp^3 - типи гібридизації. Структура типу алмазу і графіту. Властивості ковалентного зв'язку: насичуваність, спрямованість. Основні положення теорії (методу) молекулярних орбіталей. Опис молекули з позицій теорії молекулярних орбіталей. Метод лінійної комбінації атомних орбіталей в молекулярну (ЛКАО МО). Основні положення теорії валентних зв'язків і електронна структура молекул.

Тема 6. Типи рідин

Рідини. Типи рідин і рідинних систем. Вода. Аномальні властивості води.

Змістовий модуль 2.

Методи опису властивостей конденсованих середовищ

Тема 7. Електронні властивості твердих тіл

Електронні властивості твердих тіл: основні експериментальні факти. Рівняння Больцмана. Час релаксації. Дрейф вільних носіїв заряду в твердих тілах. Механізми розсіювання носіїв заряду. Електропровідність напівпровідників і металів. Час релаксації і рухливість вільних носіїв. Залежність рухливості від температури при різних механізмах розсіювання. Температурна залежність електропровідності напівпровідників і металів. Ефект Холла. Коефіцієнт Холла і його зв'язок з параметрами напівпровідників. Залежність коефіцієнта Холла від температури. Термоелектричні явища. Ефект Зеєбека. Об'ємна і контактна складові термоЕРС. Температурна залежність коефіцієнта термо-е.р.с. в напівпровідниках. Ефект Пельтьє. Ефект Томсона. Фотопровідність, оптичне поглинання.

Тема 8. Енергетичний спектр електронів в твердих тілах

Усуспільнення електронів в кристалі. Енергетичний спектр електронів в твердих тілах. Рух електронів в періодичному полі кристалічної решітки, ефективна маса електронів. Характер заповнення енергетичних зон і розподіл твердих тіл на діелектрики, напівпровідники і метали. Власні напівпровідники. Поняття про дірки. Домішкові напівпровідники. Брегівські відбивання електронів при русі в кристалі. Наближення сильнозв'язаних електронів.

Зв'язок ширини дозволеної зони з перекриттям хвильових функцій атомів. Закон дисперсії. Тензор ефективних мас.

Тема 9. Носії заряду в напівпровідниках

Основні наближення зонної теорії. Нерівноважні носії заряду в напівпровідниках. Швидкість генерації і швидкість рекомбінації. Час життя вільних носіїв заряду. Механізми рекомбінації. Час життя при різних механізмах рекомбінації. Дифузія і дрейф нерівноважних носіїв в напівпровідниках. Рівняння неперервності. Дифузний і дрейфовий струми. Дифузія нерівноважних електронно-діркових пар у випадку біполярної генерації. Ефективний коефіцієнт дифузії. Дифузійна довжина. Дифузія у випадку монополярної генерації. Дебаївський радіус екранування. Основні наближення зонної теорії. Граничні умови Борна - Кармана. Теорема Блоха. Блохівське функції. Квазіімпульс. Зони Бріллюена. Енергетичні зони. Поверхня Фермі. Густина станів Метали, діелектрики і напівпровідники. Напівметали.

Тема 10. Дефекти в твердих тілах

Дефекти в твердих тілах. Точкові дефекти, їх утворення, дифузія і рівноважна концентрація. Вакансії і міжвузельні атоми. Дефекти Френкеля і Шоткі. Домішкові атоми впровадження та заміщення. Гантелі. Краудіони. Комплекси точкових дефектів. Особливості поведінки точкових дефектів в неметалевих кристалах. Власні і домішкові точкові дефекти в напівпровідникових кристалах. А-центри, Е-центри, К-центри в напівпровідниках. Стехіометричні точкові дефекти. Центри забарвлення. Екситони. Екситони Френкеля і Ванье-Мотта. Вплив екситонів на формування F-центрів в іонних кристалах.

Лінійні дефекти. Дислокації. Основні положення теорії дислокацій. Крайові та гвинтові дислокації, їх рух. Вектор Бюргерса, його властивості. Утворення і розмноження дислокацій. Джерело Франка-Ріда. Густина дислокацій. Взаємодія дислокацій з вакансіями, меж вузловими і домішковими атомами. Дислокації в іонних кристалах, їх електричні властивості. Дислокації в напівпровідникових кристалах (на прикладі решітки алмазу). 60° -ні дислокації. Об'ємні (тримірні) дефекти.

Тема 11. Коливання ґратки

Коливання кристалічної ґратки. Рівняння руху атомів. Простий і складний одномірні ланцюжки атомів. Ланцюжок з домішковим атомом. Зонні розв'язки та відщеплення домішкового рівня від зони. Лінійна і нелінійна теорії пружності. Закони збереження Ландау для диференціальних рівнянь теорії пружності та гідродинаміки. Тензори деформацій і напружень. Модулі

стиснення і зсуву в монокристалі і полікристалі. Поздовжній і поперечний звук в твердих тілах. Акустичні та оптичні коливання. Квантування коливань. Фонони. Фононний гамільтоніан. Зв'язок з гамільтоніаном системи гармонічних осциляторів. Ангармонізм. Електрон-фононна взаємодія. Поляронні ефекти. Фононний і електронний поляронні ефекти в металах і полімерних ланцюжках. Полярони великого і малого радіусу. Солітони і хвилі зарядової густини. Нульові коливання кристалічної решітки.

Тема 12. Теплоємність твердих тіл

Теплоємність твердих тіл. Квантова теорія теплоємності кристалів. Моделі Дебая і Ейнштейна.

Теплове розширення твердих тіл і його зв'язок з ангармонічного коливаннями. Вироджений Фермі-газ. Густина станів станів 3D і 2D Фермі-газу. Розподіл Фермі-Дірака. Енергія Фермі. Характерні значення температури плавлення і енергії Фермі в металах. Теорія Фермі-рідини Ландау.

Тема 13. Магнітні властивості твердих тіл

Намагніченість і магнітна сприйнятливість. Діамагнетики, парамагнетики, феромагнетики і антиферомагнетики. Температура Кюрі і температура Нееля. Закони Кюрі і Кюрі-Вейса для магнітної сприйнятливості.

Магнони. Спектр спінових хвиль.

Тема 14. Надпровідність і надплинність

Надпровідність і надплинність. Явище надпровідності.

Рідкий гелій ^4He . Рідкий гелій ^3He . Куперівські пари. Теорія Бардіна-Купера-Шриффера. Функції Гріна. Метод діаграм Феймана.

4. Структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин					
	денна форма					
	усього	у тому числі				
л		п	лаб	інд	с.р.	
1	2	3	4	5	6	7
Модуль 1						
Змістовий модуль 1.						
Структура речовини в конденсованому стані						
Тема 1. Будова речовини. Електронна структура атомів.	13	2				8
Тема 2. Хімічний зв'язок і валентність	13	3	2			8
Тема 3. Симетрія твердих тіл.	14	3	2			8
Тема 4. Далекий і ближній порядок.	13	2	2			8
Тема 5. Ковалентний зв'язок.	13	3	2			8
Тема 6. Типи рідин.	14	3				8
Разом за змістовим модулем 1	80	16	8			48
Змістовий модуль 2.						
Методи опису властивостей конденсованих середовищ						
Тема 7. Електронні властивості твердих тіл	12	3	2			9
Тема 8. Енергетичний спектр електронів в твердих тілах.	12	3	2			9
Тема 9. Носії заряду в напівпровідниках.	12	3	2			9
Тема 10. Дефекти в твердих тілах.	14	3				9
Тема 11. Коливання ґратки.	12	3	2			9
Тема 12. Теплоємність твердих тіл.	12	3	2			9
Тема 13. Магнітні властивості твердих тіл.	12	3				9
Тема 14. Надпровідність і надплинність.	14	3	2			9
Разом за змістовим модулем 2	100	24	12			72
Усього годин	180	40	20			120

5. Теми семінарських занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1		
2		
...		

6. Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
Змістовий модуль 1. Структура речовини в конденсованому стані		
1	Хімічний зв'язок і валентність.	2
2	Симетрія твердих тіл.	2
3	Далекий і ближній порядок.	2
4	Ковалентний зв'язок.	2
Змістовий модуль 2. Методи опису властивостей конденсованих середовищ		
5	Електронні властивості твердих тіл.	2
6	Енергетичний спектр електронів в твердих тілах.	2
7	Носії заряду в напівпровідниках.	2
8	Коливання ґратки.	2
9	Теплоємність твердих тіл	2
10	Надпровідність і надплинність	2
	Разом	20

7. Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1		
2		
...		

8. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
Змістовий модуль 1. Структура речовини в конденсованому стані		
1	Будова речовини. Електронна структура атомів.	8
2	Хімічний зв'язок і валентність	8
3	Симетрія твердих тіл.	8
4	Далекий і ближній порядок.	8
5	Ковалентний зв'язок.	8
6	Типи рідин.	8
Змістовий модуль 2. Лазерні технології		
7	Електронні властивості твердих тіл	9
8	Енергетичний спектр електронів в твердих тілах.	9
9	Носії заряду в напівпровідниках.	9
10	Дефекти в твердих тілах.	9
11	Коливання ґратки.	9
12	Теплоємність твердих тіл.	9
13	Магнітні властивості твердих тіл.	9
14	Надпровідність і надплинність.	9
	Разом	120

9. Індивідуальні завдання

10. Методи навчання

Лекції, презентації, семінарські заняття, захист рефератів, індивідуальна робота

11. Методи контролю

Поточний контроль, контрольне тестування, реферат

12. Розподіл балів, які отримують аспіранти

Поточне тестування та самостійна робота				Підсумковий тест (екзамен)	Сума
Змістовий модуль 1		Змістовий модуль 2		50	100
Поточний контроль	Реферат	Поточний контроль	Реферат		
10	15	10	15		

Шкала оцінювання: національна та ECTS

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою	
		для екзамену, курсового проекту (роботи), практики	для заліку
90 – 100	A	відмінно	зараховано
80 – 89	B	добре	
70 – 79	C		
60 – 69	D	задовільно	
50 – 59	E		
26 – 49	FX	незадовільно з можливістю повторного складання	не зараховано з можливістю повторного складання
0-25	F	незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни	не зараховано з обов'язковим повторним вивченням дисципліни

13. Методичне забезпечення

1. Рисунки, схеми.

14. Рекомендована література

Базова

1. Байков Ю.А. Физика конденсированного состояния / Ю.А. Байков, В.М. Кузнецов // М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. – 290 с.
2. Брандт Н.Б., Кульбачинский В. А. Квазичастицы в физике конденсированного состояния. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 632 с.
3. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц, Л.П. Питаевский. Теоретическая физика (т. IX) Статистическая физика. Часть II Теория конденсированного состояния – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1978. – 448 с.
4. Биккин Х.М., Ляпилин И.И. Неравновесная термодинамика и физическая кинетика / Х. М. Биккин, И. И. Ляпилин. – Екатеринбург : УрО РАН, 2009. – 500 с. – (Научно-образовательная серия «Физика конденсированных сред»; т. 1).
5. Д. Эйзенберг, В. Кауцман Структура и свойства воды / Д. Эйзенберг, В. Кауцман // Ленинград : Гидрометеиздат – 1975. – 280 с.
6. Адамсон А. Физическая химия поверхностей / А. Адамсон // М. – Мир. – 1979. – 568с.
7. Ашкрофт, Н. Физика твердого тела : в 2 т. / Н. Ашкрофт, Н. Мермин. – М. : Мир, 1979. – Т. 1. – 400 с.
8. Ашкрофт, Н. Физика твердого тела : в 2 т. / Н. Ашкрофт, Н. Мермин. – М. : Мир, 1979. – Т. 2. – 424 с.
9. Гусев, А.И. Нанокристаллические материалы / А.И. Гусев, А.А. Ремпель. - М. : Физматлит, 2000. – 224 с.
10. Наноструктурные материалы. Учебное пособие для студ. высш. учебн. заведений. // Р.А. Андриевский, А.В. Рагуля. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 192 с.
11. Ч. Пул, Ф. Оуэнс. Нанотехнологии. Мир материалов и технологий. Техносфера, Москва, 2005.
12. Гусев А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии / А.И. Гусев // М. – ФИЗМАТЛИТ. – 2005. – 416с.
13. Елецкий А.В. Углеродные нанотрубки и их эмиссионные свойства / А.В. Елецкий // Успехи физических наук. – 2002. – Т.172, №4.
14. Кац Е.А. Фуллерены, углеродные нанотрубки и нанокластеры: Родословная форм и идей / Е.А. Кац // М. – Издательство ЛКИ. – 2008. – 296с.
15. Киреев В.А. Краткий курс физической химии / В.А. Киреев // М. – Химия. – 1978. – 620с.
16. Пархоменко В.Д. Плазмохимические методы получения порошкообразных веществ и их свойства / В.Д. Пархоменко, П.И.

- Сорока, Ю.И. Краснокутский, В.Г. Верещак // Всесоюзный журнал химического общества им. Д.И. Менделеева. – 1991. – Т.36, №2.
17. Письменко В.Т. Дисперсные системы / В.Т. Письменко, Е.Н. Калюкова // Ульяновск.- УлГТУ. – 2005. – 196с.

Допоміжна

1. Ярославцев А.Б. Основы физической химии / А.Б. Ярославцев // М.- Научный мир. – 1998. – 230с.
2. Третьяков Ю.Д. Гомогенные солевые и гидроксидные системы как прекурсоры для получения керамических порошков / Ю.Д. Третьяков, Н.Н. Олейников, А.А. Вертегел // Журн. неорганической химии. – 1996. – Т.41, №6.
3. Мовчан Б.А. Электронно-лучевая гибридная нанотехнология осаждения неорганических материалов в вакууме / Б.А. Мовчан // Актуальные проблемы современного материаловедения. – К.: Изд. Академперіодика, 2008. – Т.1.
4. Москаленко В.Ф. Нанонаука: стан, перспективи досліджень / В.Ф. Москаленко, Л.Г. Розенфельд, І.С. Чекман, Б.О. Мовчан // Науковий вісник Національного медичного університету імені О.О.Богомольця. – 2008. – №4.
5. Хайрутдинов Р.Ф. Химия полупроводниковых наночастиц / Р.Ф. Хайрутдинов // Успехи химии – Т.67, №2. – 1998.