

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна
Кафедра фізики кристалів
Кафедра фізики твердого тіла

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Проректор з науково-педагогічної
роботи ХНУ імені В.Н.Каразіна

“ _____ ” _____ 2019 р.

Робоча програма навчальної дисципліни
“Вибрані розділи сучасної фізики твердого тіла”

рівень вищої освіти _____ доктор філософії _____
галузь знань _____ 10 – природничі науки _____
(шифр і назва)
спеціальність _____ 104 – фізика та астрономія _____
(шифр і назва)
освітня програма _____ освітньо-наукова фізика _____
(шифр і назва)
спеціалізація _____
(шифр і назва)
вид дисципліни _____ вибіркова _____
(обов’язкова / за вибором)
факультет _____ фізичний _____

2019/2020 навчальний рік

Програму рекомендовано до затвердження Вченою радою фізичного факультету

21 червня 2019 року, протокол № 6

РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ: Бойко Ю. І., доктор фіз.- мат. наук., професор кафедри фізики кристалів, Зиман З. З., доктор фіз.- мат. наук., професор, завідувач кафедри фізики твердого тіла

Програму схвалено на засіданні кафедри фізики кристалів

Протокол № 7 від 20 червня 2019 року

Завідувач кафедри Гриньов Б. В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Програму погоджено методичною комісією фізичного факультету

Протокол № 6 від 20 червня 2019 року

Голова методичної комісії

(підпис)

(прізвище та ініціали)

ВСТУП

Програма навчальної дисципліни “ **Вибрані розділи сучасної фізики твердого тіла** ”

складена відповідно до освітньо-професійної програми підготовки фахівців третього рівня вищої освіти

напряму _____ 104 – фізика та астрономія _____
спеціалізації _____

1. Опис навчальної дисципліни

1.1. Метою викладання навчальної дисципліни є

досконало ознайомити з експериментальними даними та вивчення фізичних законів формування атомної та електронної структури твердого тіла, та його фізичних властивостей (теплових, електричних, магнітних, механічних, оптичних, тощо)

1.2. Основними завданнями вивчення дисципліни є

лекційна робота, самостійна робота аспіранта, виконання індивідуальних контрольних завдань.

1.3. Кількість кредитів – 5

1.4. Загальна кількість годин – 150

1.5. Характеристика навчальної дисципліни		
нормативна		
Вид кінцевого контролю: залік		
Денна форма навчання		Заочна (дистанційна) форма навчання
Рік підготовки		
2-й		-й
Семестр		
4-й		-й
Лекції		
30 год.		год.
Практичні, семінарські заняття		
год.		год.
Лабораторні заняття		
год.		год.
Самостійна робота		
120 год.		год.
Індивідуальні завдання		

1.6. Заплановані результати 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.

– здатність на основі фізичних законів науково прогнозувати формування тієї чи іншої структури різноманітних твердих тіл, складовими яких є довільні хімічні елементи, а також вміти прогнозувати оптимальне використання на практиці тверді тіла всіх типів для різноманітних технічних приладів.

2. Тематичний план навчальної дисципліни

Розділ 1. Атомна та електронна структура твердих тіл. Фізична природа сил зв'язку та енергія взаємодії між атомами. Роль електронної підсистеми при формуванні твердого тіла.

Тема 1. Структура твердих тіл. Аморфна та кристалічна структура. Рідкі кристали. Енергетичні критерії та ознаки різних конденсованих структур.

Тема 2. Експериментальні методи дослідження структури твердих тіл. Рентгенографія. Закон Вульфа – Брега для кристалічної структури. Електронна мікроскопія. Нейтронографія. Оптичні методи.

Тема 3. Типи енергії зв'язку твердих кристалічних структур: молекулярна, іонна, металева, ковалентна. Загальні характеристики. Характерні фізичні властивості, які притаманні для кожного типу зв'язку.

Тема 4. Квантово – механічний підхід при описанні молекулярних кристалів. Квантовий осцилятор. Нулева енергія квантової частки. Обчислювання енергії зв'язку між молекулами за Ван – дер – Ваальсом.

Тема 5. Іонний 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.

Тема 6. Ковалентний зв'язок. Постулати Бора та обчислювання енергії зв'язку ковалентних кристалів з врахуванням об'єднання електронів на кожен пару атомів. Врахування кінетичної та потенціальної енергії електронів.

Тема 7. Колективна взаємодія між атомами та електронами в металах. Оцінка середньої енергії віртуальних локалізованих електронів та об'єднаних електронів в металічних кристалах. Обчислювання тиску електронного «газу» в металах. Енергія зв'язку атомів в металі.

Розділ 2. Теплові та електричні властивості твердих тіл.

Тема 1. Теплоємність твердого тіла. Теплоємність діелектриків при підвищених температурах. Експериментальні дані. Статистика Максвелла – Больцмана. Закон Дюлонга – Пті.

Тема 2. Теплоємність твердих тіл при низьких температурах. Квантова теорія теплоємності атомів (теорії Ейнштейна та Дебая). Фонони в кристалах та їх взаємодія. Характеристична температура Дебая.

Тема 3. Теплоємність металів. Роль електронів. Статистика Фермі – Дірака. Енергія Фермі. Критична температура, при якій зрівнюються електронна та атомна складові теплоємності в металах.

Тема 4. Теплове розширення твердого кристалічного тіла. Анггармонізм коливання атомів. Зв'язок коефіцієнту теплового розширення з іншими константами твердого тіла.

Тема 5. 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.

Тема 6. 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.

Тема 7. Електропровідність металів. Закон Ома. Класична теорія. Правило Матіссена. Закон Відемана – Франца. Врахування квантових властивостей електронів для пояснення температурної залежності електропровідності в металах.

Тема 8. Загальна інформація про електричну провідність іонних кристалів. Експериментальні дані. Температурна залежність коефіцієнту електропровідності іонних кристалів. Елементарний заряд носія електричного току. Роль сторонніх атомів.

Тема 9. Дифузія в кристалах. Точкові дефекти. Енергія активації дифузії. Співвідношення Ареніуса. Закони Фіка. Експериментальні методи вивчення дифузії в кристалічних тілах.

Тема 10. Спикання кристалічного порошку. Керамічні матеріали. Механізми транспорту речовини при спиканні. Лапласовський тиск. Кінетичні закономірності спикання. Макроскопічні дефекти (пори) в керамічному середовищі та їх видалення.

Тема 11. 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

Розділ 3. Дефекти в кристалах. Механічні властивості твердих тіл.

Тема 1. Точкові дефекти в кристалах. Вакансії Шотки та пари Френкеля. Рівноважна концентрація точкових дефектів. Методи експериментального визначення енергії формування точкового дефекту та їх концентрації.

Тема 2. Механічні властивості кристалічних тіл при високих температурах. Дифузійна повзучість кристалів. Формула Набарро – Херінга для монокристалів.

Тема 3. Лінійні дефекти в кристалічних тілах. Дислокації. Вектор Бюргерса. Бар'єр Пайерлса. Механізми переміщення дислокацій (ковання, переповерхання). Зв'язок швидкості пластичної деформації з густиною дислокацій.

Тема 4. Поле напруження дислокації. Сила, яка діє на дислокацію в зовнішньому полі напруження.

Тема 5. Енергія дислокації. Взаємодія дислокацій. Сила зеркального притягання дислокації поблизу поверхні кристалу.

Тема 6. Швидкість пластичної деформації кристалічного тіла механізмом ковзання та механізмом дифузійного переповзання дислокацій. Механізм надпластичності кристалів та роль границь зерен (двовірних дефектів кристалів) у цьому процесі (механізм Ешбі - Феррала).

Тема 7. Натяг дислокаційної лінії. Розмноження дислокацій. Джерело Франка - Ріда. Зміцнення кристалічних тіл. Роль сторонніх атомів. Зона Котрелла.

Тема 8. Руйнування кристалів. Механізми гальмування дислокацій. Механізми руйнування кристалів: механізми Стро, Котрелла та інші.

Розділ 4. Зонна теорія кристалічного тіла. Напівпровідники. Магнітні властивості твердого тіла.

Тема 1. 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.

Тема 2. Переміщення електрона в потенційному полі атомів. Ефективна маса електрона. Поняття дірки як носія електричного заряду. Заповнення енергетичних зон електронами: провідники, напівпровідники, ізолятори.

Тема 3. Напівпрвідники. 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.

Тема 4. Фотопровідність напівпровідників. Червона межа фотопровідності. Екситони. Люмінесценція. Технічні застосування напівпровідників.

Тема 5. Магнітні властивості твердого тіла. Парамагнетизм та діамагнетизм атомів. Теорії Лормора, Ланжевена. Закон Кюри.

Тема 6. Парамагнетизм електронів в металах за теорію Паулі. Діамагнетизм електронного «газу» в металах за теорію Ландау.

Тема 7. Фізика ферромагнетизму. Формальна теорія Ланжевена – Вейса. Закон Кюри – Вейса. Квантова теорія ферромагнетизму Френкеля. Феррімагнетики. Антиферромагнетики

3. Структура навчальної дисципліни

Назви розділів і тем	Кількість годин					
	Денна форма					
	Усього	у тому числі				
		л	п	л	ін.	с.р.
1	2	3	4	5	6	7
Розділ 1. Атомна та електронна структура твердих тіл. Фізична природа сил зв'язку та енергія взаємодії між атомами. Роль електронної підсистеми при формуванні твердого тіла.						
1. Структура твердих тіл. Аморфна та кристалічна структура. Рідкі кристали. Енергетичні критерії та ознаки різних конденсованих структур.	4	1				3
2. Експериментальні методи дослідження структури твердих тіл. Рентгенографія. Закон Вульфа – Брега для кристалічної структури.	4	1				3

Електронна мікроскопія. Нейтронографія. Оптичні методи.					
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	1			3
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	1			3
5. Іонний 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	5	1			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	5	1			4
7. Колективна взаємодія між атомами та електронами в металах. Оцінка середньої енергії віртуальних локалізованих електронів та об'єднаних електронів в металічних кристалах. Обчислювання тиску електронного «газу» в металах. Енергія зв'язку атомів в металі	5	1			4
Разом за розділом 1	31	7			24
Розділ 2. Теплові та електричні властивості твердих тіл					
8. Теплоємність твердого тіла. Теплоємність діелектриків при підвищених температурах. Експериментальні дані. Статистика Максвела – Больцмана. Закон Дюлонга – Пті.	4	1			3
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	1			3
10. Теплоємність металів. Роль електронів. Статистика Фермі – Дірака. Енергія Фермі. Критична температура, при якій зрівнюються електронна та атомна складові теплоємності в металах.	4	1			3
11. Теплове розширення твердого кристалічного тіла. Анггармонізм коливання атомів. Зв'язок коефіцієнту теплового розширення з іншими константами твердого тіла.	4	1			3
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	1			3
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	5	1			4
14. Електропровідність металів. Закон Ома. Класична теорія. Правило Матіссена. Закон Відемана – Франца. Врахування квантових властивостей електронів для пояснення температурної залежності електропровідності в металах	5	1			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	5	1			4
16. Дифузія в кристалах. Точкові дефекти. Енергія активації дифузії. Співвідношення Ареніуса. Закони Фіка. Експериментальні методи	5	1			4

вивчення дифузії в кристалічних тілах					
17. Спінання кристалічного порошку. Керамічні матеріали. Механізми транспорту речовини при спіканні. Лапласовський тиск. Кінетичні закономірності спікання. Макроскопічні дефекти (пори) в керамічному середовищі та їх видалення	5	1			4
18. 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	5	1			4
Разом за розділом 2	50	11			39
Розділ 3. Дефекти в кристалах. Механічні властивості твердих тіл					
19. Точкові дефекти в кристалах. Вакансії Шотки та пари Френкеля. Рівноважна концентрація точкових дефектів. Методи експериментального визначення енергії формування точкового дефекту та їх концентрації.	4				4
20. Механічні властивості кристалічних тіл при високих температурах. Дифузійна повзучість кристалів. Формула Набарро – Херінга для монокристалів.	5	1			4
21. 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	1			3
22. Поле напруження дислокації. Сила, яка діє на дислокацію в зовнішньому полі напруження	5	1			4
23. Енергія дислокації. Взаємодія дислокацій. Сила зеркального притягання дислокації поблизу поверхні кристалу	4	1			3
24. Швидкість пластичної деформації кристалічного тіла механізмом ковзання та механізмом дифузійного переповзання дислокацій. Механізм надпластичності кристалів та роль границь зерен (двоірних дефектів кристалів) у цьому процесі (механізм Ешбі – Феррала)	5	1			4
25. Натяг дислокаційної лінії. Розмноження дислокацій. Джерело Франка –Ріда. Зміцнення кристалічних тіл. Роль сторонніх атомів. Зона Котрела	5	1			4
26. Руйнування кристалів. Механізми гальмування дислокацій. Механізми руйнування кристалів: механізми Стро, Котрела та інші	5	1			4
Разом за розділом 3	37	7			30
Розділ 4. Зонна теорія кристалічного тіла. Напівпровідники. Магнітні властивості твердого тіла					
27. 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.	5	1			4
28. Переміщення електрона в потенційному полі атомів. Ефективна маса електрона. Поняття дірки як носія електричного заряду. Заповнення енергетичних зон електронами: провідники, напівпровідники, ізолятор.	4	1			3
29. 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.	5				5

30. Фотопровідність напівпровідників. Червона межа фотопровідності. Екситони. Люмінесценція. Технічні застосування напівпровідників.	5					5
31. Магнітні властивості твердого тіла. Парамагнетизм та діамагнетизм атомів. Теорії Лормора, Ланжевена. Закон Кюри	5	1				4
32. Парамагнетизм електронів в металах за теорією Паулі. Діамагнетизм електронного «газу» в металах за теорією Ландау	4	1				3
33. Фізика ферромагнетизму. Формальна теорія Ланжевена – Вейса. Закон Кюри – Вейса. Квантова теорія ферромагнетизму Френкеля. Феррімагнетики. Антиферромагнетики	4	1				3
Разом за розділом 4	32	5				27
Усього годин	150	30				120

5. Завдання для самостійної роботи

№	Види, зміст самостійної роботи:	Кількість годин
1	Структура твердих тіл. Аморфна та кристалічна структура. Рідкі кристали. Енергетичні критерії та ознаки різних твердих тіл.	3
2	Експериментальні методи дослідження структури твердих тіл. Рентгенографія. Закон Вульфа – Брега для кристалічної структури. Електронна мікроскопія. Нейтронографія. Оптичні методи.	3
3	Типи енергії зв'язку твердих кристалічних структур: молекулярна, іонна, металева, ковалентна. Загальні характеристики. Характерні фізичні властивості, які притаманні для кожного типу зв'язку.	3
4	Квантово – механічний підхід при описанні молекулярних кристалів. Квантовий осцилятор. Нулева енергія квантової частки. Обчислювання енергії зв'язку між молекулами за Ван – дер – Ваальсом	3
5	Іоний зв'язок. Фізична природа сил притягіння 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 кожен пару атомів. Врахування кінетичної та потенціальної енергії електронів	4
7	Колективна взаємодія між атомами та електронами в металах. Оцінка середньої енергії віртуальних локалізованих електронів та об'єднаних електронів в металічних кристалах. Обчислювання тиску електронного «газу» в металах. Енергія зв'язку атомів в металі	4
8	Теплоємність твердого тіла. Теплоємність діелектриків при підвищених температурах. Експериментальні дані. Статистика Максвела – Больцмана. Закон Дюлонга – Пті.	3
9	Теплоємність твердих тіл при низьких температурах. Квантова теорія теплоємності атомів (теорії Ейнштейна та Дебая). Фонони в кристалах та їх взаємодія. Характеристична температура Дебая.	3
10	Теплоємність металів. Роль електронів. Статистика Фермі – Дірака.	3

	Енергія Фермі. Критична температура, при якій зрівнюються електронна та атомна складові теплоємності в металах.	
11	Теплове розширення твердого кристалічного тіла. Ангармонізм коливання атомів. Зв'язок коефіцієнту теплового розширення з іншими константами твердого тіла.	3
12	Теплопровідність твердих кристалічних тіл. Теплопровідність діелектричних кристалів. Експериментальні дані. Класична теорія теплопрвідності. Фонон – фононна взаємодія та розсіювання фононів при підвищених температурах. Теплоємність кристалів при низьких температурах	3
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 іоних кристалів. Еспериментальні дані. Температурна залежність коефіцієнту електропровідності іоних 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	Спінання кристалічного порошку. Керамічні матеріали. Механізми транспорту речовини при спіканні. Лапласовський тиск. Кінетичні закономірності спікання. Макроскопічні дефекти (пори) в керамічному середовищі та їх видалення	4
18	Теорія Нернста – Ейнштейна для електропровідності іоних кристалів. Зв'язок між коефіцієнтом дифузії атомів та коефіцієнтом електропровідності в іоних кристалах. Вплив сторонніх атомів з іншою валентністю	4
19	Точкові дефекти в кристалах. Вакансії Шотки та пари Френкеля. Рівноважна концентрація точкових дефектів. Методи експериментального визначення енергії формування точкового дефекту та їх концентрації.	4
20	Механічні властивості кристалічних тіл при високих температурах. Дифузійна повзучість кристалів. Формула Набарро – Херінга для монокристалів.	4
21	Лінійні дефекти в кристалічних тілах. Дислокації. Вектор Бюргерса. Бар'єр Пайерлса. Механізми переміщення дислокацій (ковзання, переповзання). Зв'язок швидкості пластичної деформації з густиною 5дислокацій	3
22	Поле напруження дислокації. Сила, яка діє на дислокацію в зовнішньому полі напруження	4
23	Енергія дислокації. Взаємодія дислокацій. Сила зеркального притягіння дислокації поблизу поверхні кристалу	3
24	Швидкість пластичної деформації кристалічного тіла механізмом ковзання та механізмом дифузійного переповзання дислокацій. Механізм надпластичності кристалів та роль границь зерен	4

	(двомірних дефектів кристалів) у цьому процесі (механізм Ешбі – Феррала)	
25	Натяг дислокаційної лінії. Розмноження дислокацій. Джерело Франка –Ріда. Зміцнення кристалічних тіл. Роль сторонніх атомів. Зона Котрела	4
26	Руйнування кристалів. Механізми гальмування дислокацій. Механізми руйнування кристалів: механізми Стро, Котрела та інші	4
27	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.	4
28	Переміщення електрона в потенційному полі атомів. Ефективна маса електрона. Поняття дірки як носія електричного заряду. Заповнення енергетичних зон електронами: провідники, напівпровідники, ізолятор.	3
29	Напівпрвідники. 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.	5
30	Фотопровідність напівпровідників. Червона межа фотопровідності. Екситони. Люмінесценція. Технічні застосування напівпровідників.	5
31	Магнітні властивості твердого тіла. Парамагнетизм та діамагнетизм атомів. Теорії Лормора, Ланжевена. Закон Кюри	4
32	Парамагнетизм електронів в металах по теорії Паулі. Діамагнетизм електронного «газу» в металах по теорії Ландау	3
33	Фізика ферромагнетизму. Формальна теорія Ланжевена – Вейса. Закон Кюри – Вейса. Квантова теорія ферромагнетизму Френкеля. Феррімагнетики. Антиферромагнетики	3
	Разом	120

7. Методи контролю

Поточний та семестровий підсумковий контроль: залік

Питання до контролю:

Завдання 1.

Взаємодія двох атомів, розділених відстанню r , задається потенціалом: $\varphi(r) = -\beta/r^m + \lambda/r^n$.

- Показати, що для встановлення стійкого зв'язку має виконуватися нерівність $n > m$.
- Визначити рівноважну відстань між атомами (r_0), а також показати, що відношення величини енергії притягання до енергії відштовкування в умовах рівноваги дорівнює n/m .

Завдання 2.

Отримати формулу, що описує коефіцієнт лінійного теплового розширення кристала α , виразивши його через пружний модуль E і рівноважну міжатомну відстань a_0 . Зробити числову оцінку величини α .

Завдання 3.

Визначити енергію ансамблю N квантових невзаємодіючих осциляторів. Знайти високотемпературну і низькотемпературну асимптотики.

Завдання 4.

Показати, що в області температур вище дебаєвських (Θ) фоновий теплопровідність кристалів змінюється за законом $\chi \sim T^{-1}$, а в області температур $T < \Theta$, $\chi \sim T^3$.

Завдання 5.

Порівняти величину решіткової теплоємності кристала, обчисленої по теорії Дебая для низьких температур ($T < \Theta$), з значенням, що дається законом Дюлонга - Пті. Зробити кількісну оцінку.

Завдання 6

Знайти зв'язок між температурою Дебая Θ , швидкістю звуку V_z і величиною міжатомної відстані a . Зробити кількісну оцінку величини Θ вважаючи, що $V_z = 3,5 \cdot 10^5$ см/с, а $a = 3,6 \cdot 10^{-8}$ см.

Завдання 7.

Показати, що теплоємність електронного газу в металах з температурою змінюється за лінійним законом.

Завдання 8 .

При відомих значеннях температури Дебая Θ і енергії Фермі W_F знайти ту температуру T^* , до якої електронна теплоємність перевершує граткову, вважаючи, що число електронів та іонів однаково.

Завдання 9.

Знайти ефективний тиск електронного газу, який утримує іони в металевому кристалі. Зробити кількісну оцінку цього тиску при значеннях констант $e = 4,8 \cdot 10^{-10}$ од СГСЕ, $a = 3 \cdot 10^{-8}$ см.

Завдання 10.

Обчислити коефіцієнт електропровідності металу σ_e , виразивши його через характерний час вільного пробігу електрона.

Завдання 11.

Знайти зв'язок між питомим провідникові металу ρ_e , його температурою і пружним модулем E . Для опису коливання атомів використовувати гармонійне наближення.

Завдання 12.

Показати, що відношення коефіцієнта теплопровідності χ до коефіцієнта електропровідності σ металу збільшується з температурою за лінійним законом (закон Видемана - Франца).

Завдання 13.

Показати, що зі збільшенням густини електронного газу ступінь його ідеальності збільшується (парадокс «густини»).

Завдання 14.

Показати, що функція розподілу Фермі для вільних електронів в металі в області високих температур вироджується в експонентну функцію.

Завдання 15.

Знайти зв'язок між тепловою енергією W_T ансамблю з N_e електронів в металі, температурою і величиною енергії Фермі W_F .

Завдання 16.

З'ясувати, як енергія Фермі W_F електронного газу залежить від його густини n_e .

Завдання 17.

Знайти зв'язок між температурою виродження електронного газу T^* і його густиною n_e .

Завдання 18.

Знайти зв'язок між коефіцієнтом питомої електропровідності іонних кристалів $\sigma_{\text{и}}$ і коефіцієнтом дифузії $D_{\text{и}}$ (співвідношення Нернста - Ейнштейна).

Завдання 19.

Як зміниться характер температурної залежності електропровідності σ_e іонного кристала типу NaCl, якщо в решітці є двовалентне домішка катіонів, концентрація якої $c_{\text{и}}$.

Завдання 20.

Яким чином, скориставшись законом Кюрі - Вейса, можна експериментально визначити температуру Кюрі ферромагнітного перетворення.

Завдання 21.

Показати, що характерний лінійний розмір домена l_d в ферромагнетике зв'язана з розміром зразка L_0 залежністю

$$l_d \sim L_0^{1/2}.$$

Завдання 22.

Отримати співвідношення для коефіцієнта парамагнітної сприйнятливості електронного газу в металах (по Паулі).

Завдання 23.

Встановити зв'язок між рівноважної концентрацією вакансій c_{v0} в решітці однокомпонентного кристала, температурою і енергією утворення вакансій u_v .

Завдання 24.

Знайти залежність радіуса пори від часу, спонтанно заліковувати в дифузійному режимі в кристалі. Обчислити час повного заліковування. пори радіуса R_0 .

Завдання 25.

Висловити теоретичну міцність бездефектного кристала через відоме значення його питомої поверхневої енергії (γ) і міжатомну відстань (a).

Завдання 26.

Оцінити енергію W_d , пов'язану з крайової дислокацією в кристалі в розрахунку на один атом уздовж лінії дислокації. Порівняти її з енергією утворення вакансії u_v .

Завдання 27.

Пояснити, чому крайові дислокації, розташовані в одній площині ковзання, будуть відштовхуватися при паралельній орієнтації векторів Бюргерса і притягатися при антипаралельній орієнтації.

Завдання 28.

Отримати формулу, яка описує швидкість сходження дислокації під впливом напруги σ .

Завдання 29.

Яка напруга σ має бути прикладена в площині ковзання, щоб закріплена ділянка дислокаційної лінії l почала діяти як джерело Франка - Ріда.

Завдання 30.

Обчислити максимальну можливу швидкість руху дислокації в режимі сходження v_c і в режимі ковзання V_k . Порівняти ці швидкості.

8. Схема нарахування балів

Поточний контроль, індивідуальні завдання			
Поточне тестування за темами	Поточне тестування за темами	Залікова робота	Усього
T1-T16	T17-T33		
16	17	67	100

Поточне тестування з кожної теми складається з одного тестового завдання. Відповідь на кожне завдання оцінюється в 1 бал.

Залікова робота містить два пункти. Відповідь на 1-й пункт 33 бали, на 2-й – 34 бали.

Шкала оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру	Оцінка за національною шкалою	
	для екзамену	для заліку
90 – 100	відмінно	зараховано
70-89	добре	
50-69	задовільно	
1-49	незадовільно	не зараховано

9. Рекомендована література

Основна література

- 1.Кіттель Ч. Вступ в фізику твердого тіла, М., “Наука” 1963 та інші роки видання.
- 2.Уерт Ч., Томсон Р. Фізика твердого тіла, М., “Наука”, 1969.
- 3.Епіфанов Г. Фізика твердого тіла, М. 2Мир”, 1965.
- 4.Хірт Д., Лоте І. Теорія дислокацій, М. 2Атомиздат” 1972.
- 5.Шьюмон П. Дифузія в твердих тілах, М.,”Металургія” 1966.

Допоміжна література

- 1.Каганов М.,Ліфшиць І. Квазічастки, М.,”Наука”,1976.

- 2.Каганов М. Електрони, Фонони, Магнони, М.,”Наука” 1981.
- 3.Гегузин Я. Живий кристал, М., 2Наука”, 1981
- 4.Пайерлс Р. Квантова теорія твердих тіл, М. ,”ИЛ”, 1956.