

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

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Декан
фізичного факультету

Руслан БОБК
“ _____ ” _____ 2023 р.

Робоча програма навчальної дисципліни

Загальний курс “КРИСТАЛОГРАФІЯ І КРИСТАЛОФІЗИКА”

рівень вищої освіти _____ перший (бакалавр) _____
галузь знань _____ 10 – природничі науки _____
(шифр і назва)
спеціальність _____ 104 – фізика та астрономія _____
(шифр і назва)
освітня програма _____ фізика _____
(шифр і назва)
спеціалізація _____
(шифр і назва)
вид дисципліни _____ обов'язкова _____
(обов'язкова / за вибором)
факультет _____ фізичний _____

2023/2024 навчальний рік

Програму рекомендовано до затвердження Вченою радою фізичного факультету

30 серпня 2023 року, протокол № 6

РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ: Бойко Ю.І., докт. фіз.- мат. наук, професор кафедри фізики кристалів.

Програму схвалено на засіданні кафедри фізики кристалів

Протокол № 6 від 28 серпня 2023 року

Завідувач кафедри Гриньов Б. В.

(підпис)

Програму погоджено з гарантом освітньої (професійної/наукової) програми (керівником проектної групи) _____

назва освітньої програми

Гарант освітньої (професійної/наукової) програми
(керівник проектної групи)

Лазоренко О.В.

(підпис)

Програму погоджено методичною комісією фізичного факультету

Протокол № 7 від 29 серпня 2023 року

Голова методичної комісії

Макаровський М.О.

(підпис)

ВСТУП

Програма навчальної дисципліни “Кристалографія і кристалофізика” складена відповідно до освітньо-професійної програми підготовки

_____ перший (бакалавр)_____

(назва рівня вищої освіти)

спеціальності (напряму) _____ 104 – фізика та астрономія _____
спеціалізації _____

1. Опис навчальної дисципліни

1.1. Метою викладання навчальної дисципліни є

вивчити фізичні властивості кристалічних тіл з врахуванням їх анізотропії на основі застосування тезорного аналізу

1.2. Основними завданнями вивчення дисципліни є

щотижнева лекційна робота впродовж 6-го семестру, самостійна робота студента, виконання індивідуальних контрольних завдань.

Компетентності, що забезпечуються дисципліною:

- Здатність розв’язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми з фізики та/або астрономії у професійній діяльності або у процесі подальшого навчання, що передбачає застосування певних теорій і методів фізики та/або астрономії і характеризується складністю та невизначеністю умов. (ІК)
- Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях. (ЗК 2)
- Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій. (ЗК 3)
- Здатність приймати обґрунтовані рішення. (ЗК 5)
- Здатність оцінювати та забезпечувати якість виконуваних робіт. (ЗК 8)
- Визначеність і наполегливість щодо поставлених завдань і взятих обов’язків. (ЗК 9)
- Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово. (ЗК 12)
- Знання і розуміння теоретичного та експериментального базису сучасної фізики та астрономії. (ФК 1)
- Здатність використовувати базові знання з фізики та астрономії для розуміння будови та поведінки природних і штучних об’єктів, законів існування та еволюції Всесвіту. (ФК 7)
- Здатність працювати з джерелами навчальної та наукової інформації. (ФК 9)
- Здатність самостійно навчатися і опановувати нові знання з фізики, астрономії та суміжних галузей. (ФК 10)
- Усвідомлення професійних етичних аспектів фізичних та астрономічних досліджень. (ФК 12)
- Орієнтація на найвищі наукові стандарти – обізнаність щодо фундаментальних відкриттів та теорій, які суттєво вплинули на розвиток фізики, астрономії та інших природничих наук. (ФК 13)

1.3. Кількість кредитів – 4

1.4. Загальна кількість годин – 120

1.5. Характеристика навчальної дисципліни
нормативна

Денна форма навчання	Заочна (дистанційна) форма навчання
Рік підготовки	
3-й	-й
Семестр	
5-й	-й
Лекції	
64 год.	год.
Практичні, семінарські заняття	
год.	год.
Лабораторні заняття	
год.	год.
Самостійна робота	
56 год.	год.
Індивідуальні завдання	
2 контрольні роботи	

1.6. Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти повинні досягти таких результатів навчання:

знати: основні поняття геометричної кристалографії, елементи тензорного аналізу, який використовують в кристалофізиці для описання фізичних властивостей кристалів з врахуванням їх анізотропії. Різноманітні фізичні властивості, які описуються за допомогою тензорів від 1 до 4 рангів.

вміти: використовувати формули структурної кристалографії і метод тензорного аналізу при вирішуванні різноманітних задач кристалографії і кристалофізики з врахуванням анізотропії фізичних властивостей.

Програмні результати навчання, що забезпечуються дисципліною:

- Знати, розуміти та вміти застосовувати на базовому рівні основні положення загальної та теоретичної фізики, зокрема, класичної, релятивістської та квантової механіки, молекулярної фізики та термодинаміки, електромагнетизму, хвильової та квантової оптики, фізики атома та атомного ядра для встановлення, аналізу, тлумачення, пояснення й класифікації суті та механізмів різноманітних фізичних явищ і процесів для розв'язування складних спеціалізованих задач та практичних проблем з фізики та/або астрономії. (ПРН 1)
- Знати і розуміти фізичні основи астрономічних явищ: аналізувати, тлумачити, пояснювати і класифікувати будову та еволюцію астрономічних об'єктів Всесвіту (планет, зір, планетних систем, галактик тощо), а також основні фізичні процеси, які відбуваються в них. (ПРН 2)
- Знати і розуміти експериментальні основи фізики: аналізувати, описувати, тлумачити та пояснювати основні експериментальні підтвердження існуючих фізичних теорій. (ПРН 3)
- Знати основні актуальні проблеми сучасної фізики та астрономії. (ПРН 5)
- Оцінювати вплив новітніх відкриттів на розвиток сучасної фізики та астрономії. (ПРН 6)
- Розуміти, аналізувати і пояснювати нові наукові результати, одержані у ході проведення фізичних та астрономічних досліджень відповідно до спеціалізації. (ПРН 7)
- Мати базові навички самостійного навчання: вміти відшуковувати потрібну інформацію в друкованих та електронних джерелах, аналізувати, систематизувати, розуміти, тлумачити та використовувати її для вирішення наукових і прикладних завдань. (ПРН 8)
- Вміти упорядковувати, тлумачити та узагальнювати одержані наукові та практичні результати, робити висновки. (ПРН 11)
- Розуміти зв'язок фізики та/або астрономії з іншими природничими та інженерними науками, бути обізнаним з окремими (відповідно до спеціалізації) основними поняттями прикладної фізики, матеріалознавства, інженерії, хімії, біології тощо, а також з окремими об'єктами (технологічними процесами) та природними явищами, що є предметом дослідження інших

наук і, водночас, можуть бути предметами фізичних або астрономічних досліджень. (ПРН 13)

- Знати і розуміти роль і місце фізики, астрономії та інших природничих наук у загальній системі знань про природу та суспільство, у розвитку техніки й технологій та у формуванні сучасного наукового світогляду. (ПРН 17)
- Розуміти значення фізичних досліджень для забезпечення сталого розвитку суспільства. (ПРН 22)
- Розуміти історію та закономірності розвитку фізики та астрономії. (ПРН 23)
- Розуміти місце фізики та астрономії у загальній системі знань про природу і суспільство та у розвитку суспільства, техніки і технологій. (ПРН 24)

2. Тематичний план навчальної дисципліни

Розділ 1. Основні поняття геометричної кристалографії

Тема:

- 1.1. Анізотропія та симетрія властивостей кристалів
- 1.2. Основні (прості) елементи симетрії
- 1.3. Складні (складені) елементи симетрії
- 1.4. Елементарна комірка та просторова гратка
- 1.5. Кристалографічні системи та категорії
- 1.6. Класи (точкові групи) елементів симетрії
- 1.7. Значення класів симетрії
- 1.8. Кристалографічні проекції

Розділ 2. Просторові ґратки

Тема:

- 2.1. Аналітичний опис геометричних елементів ґратки
- 2.2. Обернена ґратка
- 2.3. Основні формули структурної кристалографії
- 2.4. Ґратки Браве
- 2.5. Особливості гексагональної та ромбоедричної сингоній
- 2.6. Елементи симетрії дисконтинууму
- 2.7. Просторові (федорівські) групи
- 2.8. Поняття про антисиметрію

Розділ 3. Структура кристалів

Тема:

- 3.1. Сили зв'язку в кристалах
- 3.2. Атомні й іонні радіуси
- 3.3. Кульові пакування як моделі кристалічних структур
- 3.4. Кристалічні структури

Розділ 4. Математичні основи кристалофізики.

Тема:

- 4.1. Скаляри, вектори, тензори 1 – 4 рангу. Запис з індексами підсумовування.
- 4.2. Матриця перетворювання. Закони перетворювання: координат точки, компонент вектора, компонент тензора довільного рангу.
- 4.3. Характеристична поверхня 2 го порядку для тензора другого рангу. Головна система координат. Графічний метод Мора. Кристалофізична система координат. Спрощення системи рівнянь для тензора 2 –го рангу.
- 4.4. Геометричні властивості характеристичної поверхні для тензора 2 –рангу. Зв'язок значення фізичної величини та радіуса – вектора характеристичної поверхні. Визначення напрямку вектору, який описує вивчаєму властивість.
- 4.5. Вплив симетрії кристалів на анізотропію фізичних властивостей. Елементи симетрії. Точкові групи симетрії. Принцип Неймана.

- 4.6. Фізичні властивості, які описуються тензором першого рангу. Піроелектрики. Електрокалоричний ефект. Приклади.
- 4.7. Оптичні властивості кристалів. Анізотропія показника заломлення світла. Ефект двопріміневого заломлення світла. Оптична індикатриса. Вплив симетрії кристалів на оптичні властивості. Приклади.

Розділ 5. Фізичні властивості кристалів, які описуються тензорами другого, третього та четвертого рангу.

Тема:

- 5.1. Магнітні властивості кристалів. Сили та моменти сил, які діють на кристал в однородному та неоднородному магнітному полі.
- 5.2. Електрична поляризація кристалів. Відмінність тензорного описання електричної поляризації кристалів від описання намагніченості.
- 5.3. Тензор механічного напруження. Типи напруженого стану. Однорідне та неоднорідне напруження. Нормальні та тангенціальні компоненти тензора напруження. Конкретні приклади. Обчислювання максимальних, мінімальних та середніх значень напруження.
- 5.4. Тензор деформацій. Вплив симетрії кристалу. Узагальнення для неоднорідної деформації. Тензор теплового розширення. Конус нулевого теплового розширення для кристалу кальцита.
- 5.5. Пьезоелектрики. Тензор третього рангу. Використання матричного описання. Зменшення числа пьезомодулів з врахуванням симетрії кристалу. Метод прямої перевірки. Приклади для різних елементів симетрії.
- 5.6. Пружність. Тензори четвертого рангу. Матричне описання. Зменшення числа пружних модулів у зв'язку з врахуванням симетрії кристалу. Закон Гука. Приклади.
- 5.7. Процеси переносу. Теплопровідність. Тензори теплопровідності та теплового супротиву. Окремі види стаціонарного теплового потіку. Загальна задача стаціонарного теплового потіку. Тепловий потік від точкового джерела.

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. Основні поняття геометричної кристалографії.						
1. Анізотропія та симетрія властивостей кристалів .	4	2				2
2. Основні (прості) елементи симетрії.	4	2				2
3. Складні (складені) елементи симетрії.	4	2				2
4. Елементарна комірка та просторова ґратка.	4	2				2
5. Кристалографічні системи та категорії.	4	2				2
6. Класи (точкові групи) елементів симетрії.	4	2				2
7. Значення класів симетрії. Кристалографічні проєкції.	4	2				2
Разом за розділом 1	14	14				14
Розділ 2. Просторові ґратки.						
1. Аналітичний опис геометричних елементів ґратки. Обернена ґратка	4	2				2
2. Основні формули структурної кристалографії.	4	2				2
3. Ґратки Браве.	4	2				2
4. Особливості гексагональної та ромбоєдричної сингоній.	4	2				2
5. Елементи симетрії дисконтинууму.	4	2				2
6. Просторові (федорівські) групи.	4	2				2
7. Поняття про антисиметрію.	4	2				2

Разом за розділом 2	28	14				14
Розділ 3. Структура кристалів.						
1. Сили зв'язку в кристалах.	2	2				
2. Атомні й іонні радіуси.	2	2				
3. Кульові пакування як моделі кристалічних структур.	2	2				
4. Кристалічні структури.	2	2				
Разом за розділом 3	8	8				
Розділ 4. Математичні основи кристалофізики.						
1. Скаляри, вектори, тензори 1 – 4 рангу. Запис з індексами підсумовування.	4	2				2
2. Матриця перетворювання. Закони перетворювання: координат точки, компонент вектора, компонент тензора довільного рангу.	4	2				2
3. Характеристична поверхня 2 го порядку для тензора другого рангу. Головна система координат. Графічний метод Мора. Кристалофізична система координат. Спрощення системи рівнянь для тензора 2 –го рангу.	4	2				2
4. Геометричні властивості характеристичної поверхні для тензора 2 –рангу. Зв'язок значення фізичної величини та радіуса – вектора характеристичної поверхні. Визначення напрямку вектору, який описує вивчаєму властивість.	4	2				2
5. Вплив симетрії кристалів на анізотропію фізичних властивостей. Елементи симетрії. Точкові групи симетрії. Принцип Неймана.	4	2				2
6. Фізичні властивості, які описуються тензором першого рангу. Піроелектрики. Електрокалоричний ефект. Приклади.	4	2				2
7. Оптичні властивості кристалів. Анізотропія показника заломлення світла. Ефект двопріменного заломлення світла. Оптична індикатриса. Вплив симетрії кристалів на оптичні властивості. Приклади.	4	2				2
Разом за розділом 4	28	14				14
Розділ 5. Фізичні властивості кристалів, які описуються тензорами другого, третього та четвертого рангу						
1. Магнітні властивості кристалів. Сили та моменти сил, які діють на кристал в однородному та неоднородному магнітному полі.	4	2				2
2. Електрична поляризація кристалів. Відмінність тензорного описання електричної поляризації кристалів від описання намагніченості.	4	2				2
3. Тензор механічного напруження. Типи напруженого стану. Однорідне та неоднорідне напруження. Нормальні та тангенціальні компоненти тензора напруження. Конкретні приклади. Обчислювання максимальних, мінімальних та середніх значень напруження.	4	2				2
4. Тензор деформацій. Вплив симетрії кристалу. Узагальнення для неоднорідної деформації. Тензор теплового розширення. Конус нулевого теплового розширення для кристалу кальцита	4	2				2
5. Пьезоелектрики. Тензор третього рангу. Використання матричного описання. Зменшення числа пьезомодулів з врахуванням симетрії кристалу. Метод прямої перевірки. Приклади для різних елементів симетрії	4	2				2
6. Пружність. Тензори четвертого рангу. Матричне описання. Зменшення числа пружних модулів у зв'язку з врахуванням симетрії кристалу. Закон Гука. Приклади.	4	2				1
7. Процеси переносу. Теплопровідність. Тензори теплопровідності та теплового супротиву. Окремі види стаціонарного теплового потіку. Загальна задача стаціонарного теплового потіку. Тепловий потік від точкового джерела.	4	2				1
Разом за розділом 5	28	14				12
Контрольна робота						

5. Завдання для самостійної роботи

№	З використанням літературних джерел із списку рекомендованої літератури проробка питань, поставлених викладачем на лекції з теми:	Кількість годин
1	Анізотропія та симетрія властивостей кристалів .	2
2	Основні (прості) елементи симетрії.	2
3	Складні (складені) елементи симетрії.	2
4	Елементарна комірка та просторова гратка.	2
5	Кристалографічні системи та категорії.	2
6	Класи (точкові групи) елементів симетрії.	2
7	Значення класів симетрії. Кристалографічні проекції.	2
8	Аналітичний опис геометричних елементів гратки. Обернена гратка	2
9	Основні формули структурної кристалографії.	2
10	Гратки Браве.	2
11	Особливості гексагональної та ромбоєдричної сингоній.	2
12	Елементи симетрії дисконтинууму.	2
13	Просторові (федорівські) групи.	2
14	Поняття про антисиметрію.	2
15	Скаляри, вектори, тензори 1 – 4 рангу. Запис з індексами підсумовування.	2
16	Матриця перетворювання. Закони перетворювання: координат точки, компонент вектора, компонент тензора довільного рангу.	2
17	Характеристична поверхня 2 го порядку для тензора другого рангу. Головна система координат. Графічний метод Мора. Кристалфізична система координат. Спрощення системи рівнянь для тензора 2 –го рангу.	2
18	Геометричні властивості характеристичної поверхні для тензора 2 –рангу. Зв'язок значення фізичної величини та радіуса – вектора характеристичної поверхні. Визначення напрямку вектору, який описує вивчаєму властивість.	2
19	Вплив симетрії кристалів на анізотропію фізичних властивостей. Елементи симетрії. Точкові групи симетрії. Принцип Неймана.	2
20	Фізичні властивості, які описуються тензором першого рангу. Піроелектрики. Електрокалорічний ефект. Приклади.	2
21	Оптичні властивості кристалів. Анізотропія показника заломлення світла. Ефект двопріменевого заломлення світла. Оптична індикатриса. Вплив симетрії кристалів на оптичні властивості. Приклади.	2
22	Магнітні властивості кристалів. Сили та моменти сил, які діють на кристал в однородному та неоднородному магнітному полі.	2
23	Електрична поляризація кристалів. Відмінність тензорного описання електричної поляризації кристалів від описання намагніченості.	2
24	Тензор механічного напруження. Типи напруженого стану. Однорідне та неоднорідне напруження. Нормальні та тангенціальні компоненти тензора напруження. Конкретні приклади. Обчислювання максимальних, мінімальних та середніх значень напруження.	2
25	Тензор деформацій. Вплив симетрії кристалу. Узагальнення для неоднорідної деформації. Тензор теплового розширення. Конус	2

	нулевого теплового розширення для кристалу кальцита	
26	П'єзоелектрики. Тензор третього рангу. Використання матричного описання. Зменшення числа п'єзомодулів з врахуванням симетрії кристалу. Метод прямої перевірки. Приклади для різних елементів симетрії	2
27	Пружність. Тензори четвертого рангу. Матричне описання. Зменшення числа пружних модулів у зв'язку з врахуванням симетрії кристалу. Закон Гука. Приклади.	1
28	Процеси переносу. Теплопровідність. Тензори теплопровідності та теплового супротиву. Окремі види стаціонарного теплового потіку. Загальна задача стаціонарного теплового потіку. Тепловий потік від точкового джерела.	1
	Контрольна робота	2
	Разом	56

6. Індивідуальні завдання

7. Методи контролю

контр. роб., залік.

Питання до контролю:

Завдання 1. Яку зміну температури можна вимірити, використовуючи піроелектричний приймач, що складається з турмалінової пластинки товщиною 1 мм і мілівольметра чутливістю 10^{-3} В/поділка? Як краще вирізувати пластинку для цих цілей? Якою величиною можна охарактеризувати чутливість такого піроелектричного приймача? У скільки разів збільшилася б чутливість приймача, якби замість турмалінової пластинки використовувалася пластинка сульфату літію тієї ж товщини, вирізана перпендикулярно полярній осі.

Завдання 2. В інтервалі кімнатних температур ($22 - 24^{\circ}\text{C}$) потрібно проконтролювати точність підтримки сталою температуру або вимірити малу зміну її. Який кристал – турмалін чи сегнетову сіль – слід застосувати для цього? Яким приладом скористатися: балістичним гальванометром чи мілівольтметром?

Завдання 3. Чи витримає пластинка з кристала тригліцинсульфата (ТГС) різке зниження температури від точки Кюрі 49°C до 39°C ? Електрична міцність досліджуваного кристала дорівнює 40 кВ/см.

Завдання 4. Знайти величину і напрямок вектора густини струму (у координатній системі X_1, X_2, X_3), що виникає в кристалічній пластинці площею S і товщиною d ($\sqrt{S} \gg d$) під дією зовнішнього поля $E = 150$ В/см, яке прикладене в напрямку $(\sqrt{2}/2, \sqrt{2}/2, 0)$, якщо тензор питомої електропровідності кристала в цій координатній системі має вигляд:

$$\sigma_{ij} = \begin{bmatrix} 9 & -2 & 8 \\ -2 & 16 & 0 \\ 8 & 0 & 25 \end{bmatrix} \cdot 10^{-7} \text{ 1/ом см.}$$

Завдання 5. Тензором якого виду описується лінійне розширення кристала сульфату літію в ортогональній системі координат X_1, X_2, X_3 , якщо: а) вісь симетрії $-2 \parallel X_3$; б) вісь симетрії $2 \parallel X_2$?

Завдання 6. Тензор питомої електричної провідності кристала, виражений у

10^{-7} 1/ом·см, має вигляд:

$$\sigma_{ij} = \begin{bmatrix} 25 & 0 & 0 \\ 0 & 7 & -3/\sqrt{3} \\ 0 & -3/\sqrt{3} & 13 \end{bmatrix}.$$

У яких напрямках щодо системи координат, у якій тензор σ_{ij} має приведений у задачі вигляд, напрямок вектора густини струму буде збігатися з напрямком прикладеного електричного поля?

Завдання 7 Вимірювання коефіцієнтів теплового розширення триклинного кристала проводилися на зразку, що має форму куба. При цьому виміри цих коефіцієнтів було виконано уздовж ребер куба і трьох його об'ємних діагоналей. Показати, як за даними вимірів можуть бути обчислені компоненти тензора теплового розширення.

Завдання 8. Як слід орієнтувати пластинку кальциту, щоб при нагріванні вона не змінювала своєї товщини?

Завдання 10. До кристалічної платівці L- зрізу кристала ADP доклали одновісне механічне напруження стиснення в напрямку нормалі до її робочих гранів. Як буде виглядати тензор напружень в кристалофізичній системі координат?

Завдання 11. Напружений стан кристала кварцу в кристалофізичній системі координат задається у такий спосіб: $\sigma_{11} = 1$ Кг/см², $\sigma_{22} = 2$ Кг/см², $\sigma_{33} = 3$ Кг/см², $\sigma_{12} = -0,5$ Кг/см². Визначити величини максимальних і мінімальних нормальних напружень, що діють у кристалі.

Завдання 12. При пружній деформації кристалічного зразка, що має форму куба розміром $1 \times 1 \times 1$ см³, його точки зазнають наступних зміщень, см:

$$u_1 = (4X_1 + 3X_2 - 5X_3) \cdot 10^{-4}; \quad u_2 = (7X_1 - 13X_2 + 4X_3) \cdot 10^{-4}; \quad u_3 = (9X_1 - 2X_2 + 4X_3) \cdot 10^{-4}.$$

Знайти зміну кутів між ребрами куба та зміну його об'єму при деформації.

Завдання 13. Стан пружної деформації кристала задається тензорами деформації:

$$\text{а) } \begin{bmatrix} 0,001 & 0 & 0 \\ 0 & -0,004 & 0 \\ 0 & 0 & 0,008 \end{bmatrix}; \quad \text{б) } \begin{bmatrix} 0,0001 & 0 & 0 \\ 0 & 0,001 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

Визначити вигляд характеристичної поверхні деформації, а також поверхні, до якої переходить сфера одиничного радіуса після деформацій, обумовлених цими тензорами.

Завдання 14. Параметри комірки кристала арагонита задаються наступними значеннями: $a : b : c = 0,6224 : 1 : 0,7206$. При нагріванні від 0 до 100⁰С угол ϕ між гранями (100) і (110) зменшується на 1,14', а угол γ між гранями (001) і (011) росте на 2,84'. Коефіцієнт об'ємного розширення цього кристала дорівнює $62 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$. Обчислити три головні коефіцієнти теплового розширення.

Завдання 15. Знайти вигляд матриці п'єзоелектричних модулів кристала сегнетової солі, якщо відомо, що його кристалографічна симетрія характеризується наявністю трьох взаємно перпендикулярних осей симетрії другого порядку.

Завдання 16. Для визначення п'єзомодулів поляризованої кераміки титанату барію з неї виготовили зразок у вигляді куба і подіяли напруженнями стиску σ в напрямку осі поляризації кераміки. Потім на цей зразок подіяли гідростатичним стиском P . На яких гранях куба при

таких випробуваннях виникають електричні заряди? Які п'єзомодулі кераміки титанату барію можуть бути визначені за результатами цих випробувань?

Завдання 17. Визначити вигляд матриці пружних коефіцієнтів S_{ij} класу симетрії 222, до якого відносяться кристали сегнетової солі.

Завдання 18. Кристал кварцу піддали одноосному стиску σ а) уздовж напрямку $[\bar{2}110]$, б) уздовж напрямку $[0001]$. Знайти характер пружних деформацій, випробовуваних кристалом.

Завдання 19. Які з пружних коефіцієнтів кубічних кристалів можуть бути визначені за результатами вимірів величини подовжньої деформації, а також величини об'ємного стиску $\Delta V/V$ кристалічних зразків, що зазнають дію напружень одноосного стискання σ в напрямку типу $[100]$?

Завдання 20. Довести, що величина об'ємного стиснення кристалів кубічного класу симетрії не залежить від напрямку дії одноосного механічного напруги.

8. Схема нарахування балів

Поточний контроль, контрольна робота, залік				
Поточне тестування за темами	Поточне тестування за темами	Контрольна робота, передбачена навчальним планом	Залік	Сума
T1-T7	T8-T14			100
14	14	32	40	

T1, T2 ... – теми розділів.

Поточне тестування з кожної теми складається з двох тестових завдань. Відповідь на кожне завдання оцінюється в 1 бал.

Контрольна робота складається з 4-ох завдань, відповідь на кожне оцінюється у 8 балів.

На заліку студент має відповісти на два питання білету. Правильна відповідь на кожне питання оцінюється в 20 балів.

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. Бойко Ю.І., Методичний посібник до вивчення курсу “Кристалознавство”, Харків, 1990, 62 стор.
2. Глосковська Н.К., Основи кристалознавства (методичний посібник), Київ, 1992, 78 стор.

3. Ch. Kittel, Introduction to Solid State Physics, Wiley, 1996.
4. J. F. Nye, Physical Properties of Crystals: Their Representation by Tensors and Matrices, Clarendon Press, 1985
5. T. Egleston, A. Brezina, Explanation of the Principles of Crystallography and Crystallophysics, Creative Media Partners, LLC, 2016 p

Екзаменаційні білети до курсу

Билет №1.

1. Перетворення координат точки.
2. Тензор деформацій і теплове розширення.

Билет №2.

1. Закон перетворення тензора другого рангу..
2. Тензори коефіцієнтів теплопровідності і теплового опору.

Билет №3.

1. Вплив симетрії кристалів на їх фізичні властивості. принцип Неймана.
2. Загальний випадок стаціонарного теплового потоку в анізотропних кристалах.

Билет №4.

1. Характеристична поверхня для тензора другого рангу.
2. П'єзоелектрика.

Билет №5.

1. Головні осі координат. Спрощення рівнянь, що описують властивості кристалів.
2. Зворотний п'єзоелектричний ефект.

Билет №6.

1. Величина, що характеризує фізичні властивості кристала в заданому напрямку.
2. Частинні випадки стаціонарного теплового потоку в кристалах: тонка пластинка і тонкий довгий стрижень.

Билет №7.

1. Геометричні властивості характеристичної поверхні.
2. Метод Фумі зменшення числа п'єзоелектричних модулів.

Билет №8.

1. Закон перетворення компонент тензора другого рангу.
2. Магнітна сприйнятливість анізотропних кристалів.

Билет №9.

1. Загальне визначення тензора будь-якого рангу в кристалофізиці.
2. Тензор напружений.

Билет №10.

1. Матриця і закон перетворення тензора будь-якого рангу.
2. Електрична поляризація анізотропних кристалів.

Билет №11.

1. Принцип Неймана в кристалофізиці.
2. Момент сил, що діє на анізотропний кристал в однорідному магнітному полі.

Билет №12.

1. Геометричні властивості характеристичної поверхні.
2. Тензор четвертого рангу. Пружні властивості кристалів.

Билет №13.

1. Сила, що діє на кристал в неоднорідному магнітному полі.
2. Конус теплового розширення в кальциті.

Билет №14.

1. Магнітна сприйнятливність магнітного анізотропного кристалічного порошку.
2. Зворотний п'єзоелектричний ефект в анізотропних кристалах.

Билет №15.

1. Оптична індикатриса. Приклади для різних класів симетрії.
2. Електрокалоричний ефект в кристалах.

Билет №16.

1. Тензор деформацій.
2. Тепловий потік через анізотропну кристалічну платівку.

Билет №17.

1. Графічний метод визначення головних значень тензора другого рангу.
2. Тепловий потік від точкового джерела тепла в анізотропному середовищі.

Билет №18

1. Тензор коефіцієнтів теплопровідності в анізотропних кристалах.
2. Прямий п'єзоелектричний ефект в кристалах.

Билет №19.

1. Піроелектричний ефект в кристалах.
2. Електрооптичний ефект Погкельса в кристалах.

Билет №20.

1. Квадратичний електрооптичний ефект в кристалах (ефект Керра).
2. Визначення напрямку результуючого вектора при використанні властивостей характеристичної поверхні.

Билет №21.

1. Пружні властивості кристалів кубічного класу симетрії.
2. П'єзооптичні властивості кристала кварцу.