

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Волинський національний університет імені Лесі Українки**  
**Навчально-науковий фізико-технологічний інститут**  
**Кафедра експериментальної фізики, інформаційних та освітніх**  
**технологій**

**СИЛАБУС**  
**вибіркового освітнього компонента**  
**Основи кристалографії**  
**підготовки бакалавра**  
**спеціальності: 105 Прикладна фізика та наноматеріали**  
**освітньо-професійної програми Прикладна фізика та наноматеріали**

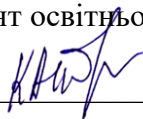
Луцьк – 2024

**Силабус освітнього компонента «Основи кристалографії» підготовки бакалавра, галузі знань 10 Природничі науки, спеціальності 1– Прикладна фізика та наноматеріали, за освітньою-професійною програмою «Прикладна фізика та наноматеріали».**

**Розробник:** Шаварова Ганна Петрівна, кандидат фіз.-мат. наук, доцент кафедри експериментальної фізики, інформаційних та освітніх технологій.

**Погоджено**

Гарант освітньо-професійної програми:

  
\_\_\_\_\_

(Кевшин А.Г.)

Силабус освітнього компонента затверджено на засіданні кафедри експериментальної фізики, інформаційних та освітніх технологій.

протокол № 1 від 30 серпня 2024 р.

Завідувач кафедри:   
\_\_\_\_\_

(Галян В.В.)

© Шаварова Г.П., 2024

## I. Опис навчальної дисципліни

| Найменування показників          | Галузь знань, спеціальність, освітня програма, освітній рівень               | Характеристика навчальної дисципліни                                                      |
|----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| Денна форма навчання             | 10 – Природничі науки<br>105 – Прикладна фізика та наноматеріали<br>Бакалавр | Нормативна                                                                                |
| Кількість годин / кредитів 150/5 |                                                                              | Рік підготовки __4-й__                                                                    |
|                                  |                                                                              | Семестр 8 __-ий__                                                                         |
|                                  |                                                                              | Лекції __24__ год.                                                                        |
|                                  |                                                                              | Практичні (семінарські) __30__ год.<br>Лабораторні __0__ год.<br>Індивідуальні __0__ год. |
| ІНДЗ: немає                      |                                                                              | Самостійна робота __86__ год.                                                             |
|                                  |                                                                              | Консультації __10__ год.                                                                  |
|                                  |                                                                              | Форма контролю: залік                                                                     |
| Мова навчання українська         |                                                                              |                                                                                           |

## II. Інформація про викладача

Прізвище, ім'я та по батькові: Шаварова Ганна Петрівна

Науковий ступінь: канд. фіз.-мат. наук

Вчене звання: доцент

Посада: доцент кафедри експериментальної фізики, інформаційних та освітніх технологій

Контактна інформація: тел. 0952433322, e-mail: shavaro.hanna@vnu.edu.ua

Дні занять: ps.vnu.edu.ua/cgi-bin/timetable.cgi

## III. Опис освітнього компонента

### 1. Анотація освітнього компонента.

Фізичні властивості монокристалів і енергетичний спектр дефектів у твердих тілах у значній мірі визначаються типом кристалічної решітки.

У процесі вивчення освітнього компонента здобувачі освіти засвоюють способи аналітичного опису та графічного зображення зовнішньої огранки кристалів та їх елементів симетрії; вивчають будову реальних кристалів, основні типи дефектів їх структури, способи утворення дефектів, їх рух та взаємодію; знайомляться з основними механізмами дифузії атомів у твердих тілах.

### 2. Пререквізити, постреквізити.

*Пререквізити:* базові знання з молекулярної фізики та векторної алгебри.

*Постреквізити:* освітні компоненти, для розуміння яких необхідні знання структури ідеальних та реальних кристалів, впливу дефектів на властивості твердих тіл, а саме ОК, пов'язані з вивченням фізики твердого тіла, фізики конденсованого стану, фізичного матеріалознавства.

### **3. Мета і завдання освітнього компонента.**

**Метою** вивчення освітнього компонента є засвоєння здобувачами освіти основних понять кристалографії, таких, як види симетрії, ґратки Браве, обернена ґратка; ознайомлення з фізичними принципами і методами Х-променевого структурного аналізу, а також основними типами дефектів, способами їх утворення та процесами їх руху, явищами дифузії атомів кристалічних тіл.

Основними **завданнями** вивчення освітнього компонента «Основи кристалографії» є: формування у здобувачів освіти навичок аналітичного опису та графічного зображення елементів структури кристалів та їх симетрії, формування професійної компетентності щодо розуміння зв'язку між структурою реальних кристалів та їх фізичними властивостями.

### **4. Результати навчання (компетентності).**

Засвоївши навчальну дисципліну «Оптика» студенти повинні оволодіти такими компетентностями:

#### **Інтегральна компетентність**

Здатність розв'язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми прикладної фізики наноматеріалів, що передбачає застосування теорій та методів фізики, математики та інженерії й характеризується комплексністю та невизначеністю умов.

#### *Загальні:*

ЗК-1. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

ЗК-2. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.

ЗК-5. Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій.

ЗК-7. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.

ЗК-8. Навички міжособистісної взаємодії.

ЗК-10. Навички здійснення безпечної діяльності.

ЗК-12. Здатність зберігати та примножувати моральні, культурні, наукові цінності і досягнення суспільства на основі розуміння історії та закономірностей розвитку предметної області, її місця у загальній системі знань про природу і суспільство та у розвитку суспільства, техніки.

#### *Спеціальні:*

СК-2. Здатність брати участь у плануванні і виконанні експериментів та лабораторних досліджень властивостей фізичних систем, фізичних явищ і процесів, обробленні й презентації їхніх результатів.

СК-5. Здатність до постійного розвитку компетентностей у сфері прикладної фізики, інженерії та комп'ютерних технологій.

СК-6. Здатність використовувати сучасні теоретичні уявлення в галузі фізики для аналізу фізичних систем.

СК-8. Здатність працювати в колективах виконавців, у тому числі в міждисциплінарних проєктах.

#### *Програмні результати навчання*

Р01. Знати і розуміти сучасну фізику на рівні, достатньому для розв'язання складних спеціалізованих задач і практичних проблем прикладної фізики.

Р04. Застосовувати фізичні, математичні та комп'ютерні моделі для дослідження фізичних явищ, розробки приладів і наукоємних технологій.

Р9. Презентувати результати досліджень і розробок фахівцям і нефахівцям, аргументувати власну позицію.

## 5. Структура освітнього компонента

| Назви змістових модулів і тем                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Усьо-го   | Лек.      | Практ.    | Сам. роб. | Конс.    | Форма контролю/ Бали          |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|-------------------------------|
| <b>Змістовий модуль 1. Основи структурної кристалографії</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |           |           |           |           |          |                               |
| Тема 1 Класифікація твердих тіл. Кристалічні та аморфні тверді тіла. Близький і далекий порядок. Координаційне число, координаційний багатогранник. Площини спайності. Елементи симетрії зовнішньої огранки кристалів та їх позначення.                                                                                                                                    | 11        | 2         | 4         | 4         | 1        | РМГ /2<br>Т/2                 |
| Тема 2 Взаємодія елементів симетрії. 32 види симетрії та їх виведення. Класифікація видів симетрії, категорії, сингонії. Системи позначень видів симетрії (за Германом-Могеном, Шенфлісом, Шубніновим). Вибір кристалографічних осей для кристалів різних сингоній. Елементи симетрії нескінчених фігур. Гратки Браве, їх типи. Просторові групи симетрії, їх позначення.. | 22        | 4         | 6         | 10        | 2        | РМГ/1<br>ІРС/2<br>КР/3        |
| Тема 3. Основні закони кристалографії. Аналітичний опис кристалів. Індеси вузлів, напрямків, площин. Проективне зображення кристалів. Стереографічні та гномостереографічні проекції. Сферичні координати. Обернена гратка. Співвідношення між векторами трансляцій прямої та оберненої гратки.                                                                            | 24        | 4         | 6         | 12        | 2        | Р3/2<br>РМГ/1<br>ІРС/2<br>Т/2 |
| Тема 4. Найбільш щільні укладки атомів. Типи порожнин в щільно-укладених структурах. Геометричні умови стійкості для іонних кристалів типу АВ. Основні типи кристалічних структур. Геометричні умови дифракції Х-променів на кристалі. Умови Лауе, рівняння Вульфа-Брега. Експериментальні методи Х-променевого дослідження моно- та полікристалів.                        | 25        | 4         | 4         | 16        | 1        | Р3/2<br>ІРС/1<br>КР/3         |
| <b>Разом за модулем 1</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | <b>82</b> | <b>14</b> | <b>20</b> | <b>42</b> | <b>6</b> | <b>23</b>                     |

| <b>Змістовий модуль 2. Основні типи дефектів та дифузія у твердих тілах</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |            |           |           |           |           |                                |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------------------------|
| Тема 5. Класифікація структурних дефектів за розмірністю та способом утворення. Власні та невластні дефекти. Точкові дефекти. Вакансії. Міжвузлові атоми та їх рівноважна концентрація. Пари Френкеля. Дефекти за Шоткі. Центри забарвлення. Домішкові точкові дефекти. Лінійні дефекти Крайова та гвинтова дислокація, дислокаційна лінія, вектор Бюргерса. Утворення та методи спостереження дислокацій. Енергія, рух дислокацій. Закріплення і розмноження дислокацій. Вплив дислокацій на міцність кристалів. | 34         | 4         | 6         | 22        | 2         | P3/2<br>T/2<br>IPC /3<br>PMГ/2 |
| Тема 6. Дифузія у твердих тілах. Основні механізми дифузії. Характер руху атомів в твердих тілах. Дифузія за рахунок вакансій. Переміщення атомів на мікроскопічні віддалі. Розрахунок коефіцієнта дифузії та його температурна залежність. Експериментальне визначення енергії активації дифузії. Макроскопічна дифузія. Розподіл концентрації дифундуючих частинок в зразку I –й та II-й закони Фіка. Методи спостереження дифузії.                                                                             | 34         | 6         | 4         | 22        | 2         | P3/1<br>KP/3<br>IPC /4         |
| <b>Разом за модулем 2</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | <b>68</b>  | <b>10</b> | <b>10</b> | <b>44</b> | <b>4</b>  | <b>17</b>                      |
| <b>Види підсумкових робіт</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |            |           |           |           |           |                                |
| Модульна контрольна робота 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |            |           |           |           |           | 30                             |
| Модульна контрольна робота 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |            |           |           |           |           | 30                             |
| <b>Всього годин / Балів</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <b>150</b> | <b>24</b> | <b>30</b> | <b>86</b> | <b>10</b> | <b>100</b>                     |

Методи контролю\*: ДС – дискусія, ДБ – дебати, Т – тести, ТР – тренінг, РЗ/К – розв’язування задач/кейсів, ІНДЗ/ІРС – індивідуальне завдання/індивідуальна робота здобувача освіти, РМГ – робота в малих групах, МКР/КР – модульна контрольна робота/ контрольна робота, Р – реферат, а також аналітична записка, аналітичне есе, аналіз твору тощо.

## 6. Теми практичних занять

### Змістовий модуль 1

1 **Класифікація твердих тіл.** Кристалічні та аморфні тверді тіла. Близький і далекий порядок. Координаційне число, координаційний багатогранник. Аморфні тіла. Ізотропність аморфних тіл. (2 год.)

2. **Елементи симетрії скінчених фігур.** Прості елементи симетрії: площини симетрії, можливі кути між площинами; вісь симетрії, кут найменшого повороту, можливі значення порядку осі симетрії; центр інверсії. Позначення елементів симетрії. Складні елементи симетрії. Дзеркально-поворотні та інверсійні зсі, залежність між їх порядками, позначення осей в різних системах. (2 год.)

3. **Точкові групи симетрії.** Взаємодія елементів симетрії. Приклади теорем про додавання елементів симетрії. Незалежні елементи симетрії. 32 незалежні комбінації елементів симетрії. Точкові групи симетрії (види симетрії). Одиначний напрямок. Кількість одиначних напрямків в кристалах з різною симетрією. Схеми виведення видів симетрії. (2 год.)

4. **Класифікація видів симетрії.** Поділ видів симетрії на категорії за кількістю одиначних напрямків та за осями симетрії. Сингонії. Співвідношення між періодами ідентичності та кути між координатними площинами для кожної сингонії. Системи позначень видів симетрії (за Германом- Могеном, Шьонфлісом, Шубніковим). Установка кристалів. Вибір кристалографічних осей для кристалів різних сингоній. Система координат для тригональної та гексагональної сингонії. (2 год.)

5. **Елементи симетрії кристалічної ґратки.** Елементи симетрії нескінчених фігур. Ґратки Браве. Трансляції, площини дзеркального ковзання, гвинтові осі, їх позначення. Періоди ідентичності. Вектори трансляцій. Елементарна комірка. Неоднозначність вибору та правила вибору елементарної комірки. Трансляційна ґратка. Ґратки Браве. Примітивні, гранецентровані об'ємцентровані, базоцентровані елементарні комірки, їх позначення. Кількість атомів, що припадає на одну елементарну комірку. Просторові групи симетрії, позначення ПГС (2 год.).

6. **Аналітичний опис кристалів.** Основні закони кристалографії: закон постійності кутів та закон раціональних відношень. Одиначна площа та сімейство площин. Індокси вузлів. Позначення вузлів на їх проєкціях на координатні площини. Символи напрямків. Числа Вайса, коефіцієнти Мілера. Символи площин, сімейства площин, простих форм. (2 год.)

7. **Проективне зображення кристалів.** Стереографічні та гномостереографічні проєкції. Побудова проєкцій точок, прямих та площин. Сферичні координати. (2 год.)

8. **Обернена ґратка..** Сфери використання поняття оберненої ґратки. Співвідношення між векторами трансляцій прямої та оберненої ґратки. Масштабний коефіцієнт. Взаємна спряженість прямої та оберненої ґраток. (2 год)

9. **Найбільш щільні укладки атомів.** Умови утворення найбільш щільних упаковок структурних частинок. Двох- та трьохшарова щільні упаковки: способи утворення та симетрія структурних типів. Багатошарові щільні упаковки. Типи порожнин в щільноупакованих структурах. Види порожнин та геометричні умови стійкості для іонних кристалів типу АВ. Границі стійкості для реальних кристалів. Поляризація іонів. Основні параметри кристалічних структур: коефіцієнт компактності, координаційне число, найменша віддаль між атомами. Кристалічні структури деяких елементів та бінарних сполук. (2 год.)

10. **Геометричні умови дифракції X- променів на кристалі.** Умови Лауе. Рівняння Вульфа-Брега у скалярній і векторній формі, зв'язок з рівняннями Лауе, сфера Евальда. Дифрактометричний метод дослідження полікристалів. Визначення періодів кристалічної ґратки. Встановлення симетрії монокристалла за лауеграмою. (2 год.)

## **Змістовий модуль 2**

### **Основні типи дефектів в твердих тілах.**

11. **Класифікація структурних дефектів.** Класифікація структурних дефектів за розмірністю: точкові, лінійні, поверхневі та об'ємні дефекти. Класифікація дефектів за способом утворення. Власні та невластні дефекти. (1 год.).

12. **Точкові дефекти.** Власні точкові дефекти. Вакансії. Міжвузлові атоми та їх рівноважна концентрація. Пари Френкеля. Дефекти за Шоткі. Центри забарвлення. Домішкові точкові дефекти. Домішки заміщення та впровадження. Способи утворення точкових дефектів. (2 год.).

13. **Лінійні дефекти.** Крайова дислокація, дислокаційна лінія, вектор Бюргерса. Гвинтова дислокація. Утворення дислокацій. Методи спостереження дислокацій. Енергія дислокацій. Рух дислокацій. Переповзання та ковзання дислокацій, площа ковзання. Вплив дислокацій на міцність кристалів. Закріплення і розмноження дислокацій. (3 год.)

### **Дифузія в твердих тілах.**

14. **Основні механізми дифузії.** Міжвузловий механізм, частота стрибків, час осідлого життя. Дифузія за рахунок вакансій. Розрахунок коефіцієнта дифузії та його температурна залежність. Експериментальне визначення енергії активації дифузії. (2 год.).

15. **Макроскопічна дифузія.** I –й закон Фіка. Розподіл концентрації дифундуючих частинок в зразку. II-й закон Фіка. Методи спостереження дифузії. Ефект Кіркендалла. (2 год.).

## **7. Завдання для самостійного опрацювання.**

1. Опрацювання теоретичних основ лекційного матеріалу.
  - Проста форма. Приклади простих форм. Відкрита і замкнута проста форма. Комбінації простих форм.
  - Дійсні та можливі грані та ребра кристала. Співвідношення між кількістю граней, вершин та ребер кристала.
  - Атомні радіуси та способи їх визначення.
  - Іонні радіуси. Закономірності в розмірах іонних радіусів для елементів таблиці Менделєєва. Фактори, що впливають на величину іонних радіусів елемента.
  - Поліморфізм, політипізм.
  - Принципи формування структури кристалів. структура кристалів з ковалентним, іонним, металічним, водневим та ван-дер-ваальсівським зв'язком.
2. Вивчення питань та тем, які не розглядаються у курсі лекцій.
  - Правильна система точок. Загальне та часткове положення структурної одиниці в елементарній комірці. Кратність правильної системи точок.
  - Симетрія та фізичні властивості кристалів.
  - Взаємодія дислокацій між собою та з точковими дефектами.
  - Поверхні кристала.
3. Підготовка до практичних занять.
4. Систематизація вивченого матеріалу перед іспитом.

## **IV. Політика оцінювання**

Для ефективності навчального процесу і безпечного перебування у навчальному закладі студент зобов'язаний виконувати наступні правила:

- дотримуватись правил внутрішнього розпорядку університету та правил техніки безпеки;
- відвідувати лекції та практичні заняття відповідно до розкладу, не пропускати заняття без поважних причин, не запізнюватися на заняття;
- активно працювати на практичних заняттях;

- своєчасно виконувати домашні завдання;

Бали поточного контролю за кожною темою визначаються оцінкою за роботу на практичних заняттях, у яку входять результати тестів та контрольних робіт, та оцінки за домашні завдання. Якщо здобувач вищої освіти не відвідував окремі аудиторні заняття (з поважних причин), на консультаціях він має право відпрацювати пропущені заняття та добрати кількість балів за пропущені теми, відповідно до силабусу.

*Політика щодо академічної доброчесності.*

- Бути порядним і чесним, забороняється підказувати і списувати на практичних заняттях, модульних контрольних роботах та заліку, у разі виявлення списування робота оцінюється у 0 балів.

- Під час виконання практичних робіт, підсумкових робіт та інших видів навчальної діяльності здобувач вищої освіти повинен дотримуватися правил академічної доброчесності, які описані у статті 42 Закону України Про Освіту (<https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v-650729-18#Text>) та у Кодексі академічної доброчесності Волинського національного університету імені Лесі Українки ([http://ra.vnu.edu.ua/wp-content/uploads/2020/03/Academ\\_Dobr\\_Code.docx](http://ra.vnu.edu.ua/wp-content/uploads/2020/03/Academ_Dobr_Code.docx)).

- Здобувач вищої освіти має право оскаржити результати оцінювання його діяльності шляхом написання листа на ім'я директора ННФТ інституту, у якому аргументовано вказано з яким значенням оцінки його діяльності він не погоджується.

*Політика щодо дедлайнів та перескладання.*

Пропущені з поважних причин практичні і лабораторні заняття слід відпрацювати протягом 2-х тижнів після виходу студента на навчання. Форма і час відпрацювання узгоджується з викладачем. Перескладання модулів і контрольних робіт не дозволяється.

*Зарахування результатів навчання, отриманих поза межами НН фізико-технологічного інституту у формальній, неформальній та інформальній освіті.*

Згідно «Положення про визнання результатів навчання, отриманих у формальній, неформальній та/або інформальній освіті у Волинському національному університеті імені Лесі Українки» від 29 червня 2022 року здобувачеві вищої освіти можуть бути зарахованими результати навчання, які отримані у формальній, неформальній та/або інформальній освіті.

## **V. Підсумковий контроль**

В процесі вивчення дисципліни використовуються такі методи оцінювання навчальної роботи студента:

- поточне тестування та опитування;
- контрольні роботи;
- модульні контрольні роботи (МКР);

Діагностика залишкових базових знань з дисципліни проводиться з використанням комплексних контрольних робіт (ККР), підготовлених викладачем та затверджених методичною комісією інституту.

*Підсумковий бал (за 100-бальною шкалою) з курсу визначається так:*

кількість балів за поточне оцінювання – 40 балів;

модульний контроль – 60 балів.

Модульний контроль проводиться у письмовій формі. Білет містить завдання різної складності (теоретичні завдання і задачі) із зазначенням кількості балів за кожне завдання. Після перевірки студент отримує роботу із зауваженнями викладача та підсумковою оцінкою.

За результатами роботи студентам нараховуються в кінці семестру заохочувальні бали. За відвідування більшості лекцій - 5 балів; участь в олімпіаді з фізики: до 10 балів (залежно від рівня

олімпіади і результату); за публікацію тез доповідей на конференції додатково нараховується 3 бали, за публікацію статті у фаховому виданні до 10-ти балів залежно від особистого внеску.

### **Перелік питань на залік**

Залік проводиться у письмовій формі. Білет складається з двох теоретичних питань та чотирьох практичних завдань різного рівня складності.

#### **Теоретичні питання:**

##### **Класифікація твердих тіл.**

1. Кристалічні та аморфні тверді тіла. Близький і далекий порядок. Координаційне число, координаційний багатогранник. Аморфні тіла. Ізотропність аморфних тіл.

2. Кристалічні тверді тіла і їх властивості. Анізотропність та однорідність кристалічних твердих тіл з погляду їх структури. Площини спайності.

##### **Елементи симетрії зовнішньої огранки кристала.**

3. Прості елементи симетрії: площини симетрії, можливі кути між площинами; вісь симетрії, кут найменшого повороту, можливі значення порядку осі симетрії; центр інверсії. Позначення елементів симетрії.

4. Складні елементи симетрії. Дзеркально-поворотні та інверсійні осі, залежність між їх порядками, позначення осей в різних системах.

5. Взаємодія елементів симетрії. Приклади теорем про додавання елементів симетрії. Незалежні елементи симетрії.

6. Одиначний напрямок. Кількість одиначних напрямків в кристалах з різною симетрією.

7. Точкові групи симетрії (види симетрії). 32 незалежні комбінації елементів симетрії. Схеми виведення елементів симетрії.

8. Класифікація видів симетрії, поділ видів симетрії на категорії, за кількістю одиначних напрямків та за осями симетрії. Сингонії. Співвідношення між періодами ідентичності та кути між координатними площинами для кожної сингонії.

9. Системи позначень видів симетрії (за Германом-Могеном, Шьонфлісом, Шубніковим).

10. Установка кристалів. Вибір кристалографічних осей для кристалів різних сингоній. Система координат для тригональної та гексагональної сингонії.

11. Проста форма. Приклади простих форм. Відкрита і замкнута проста форма. Комбінації простих форм. Дійсні та можливі грані та ребра кристала. Співвідношення між кількістю граней, вершин та ребер кристала.

##### **Геометрія кристалічної ґратки.**

12. Елементи симетрії нескінчених фігур. Трансляції, площини ковзного відбивання (дзеркального ковзання), гвинтові осі, їх позначення.

13. Періоди ідентичності. Вектори трансляцій. Елементарна комірка. Неоднозначність вибору та правила вибору елементарної комірки.

14. Трансляційна ґратка. ґратки Браве. Примітивні, гранецентровані, об'ємцентровані, базоцентровані елементарні комірки, їх позначення. Кількість атомів, що припадає на одну елементарну комірку. Просторові групи симетрії, позначення ПГС.

15. Основні закони кристалографії: закон постійності кутів та закон раціональних відношень. Одиначна площа та сімейство площин.

16. Аналітичний опис кристалів. Індеси вузлів. Позначення вузлів на їх проекціях на координатні площини. Символи напрямків. Числа Вейса, коефіцієнти Мілера. Символи площин, сімейства площин, простих форм. Визначення індексів ребра, що є лінією перетину двох площин.

17. Проективне зображення кристалів. Стереографічні та гномостереографічні проекції. Побудова проекцій точок, прямих та площин. Сферичні координати.

18. Обернена ґратка. Співвідношення між векторами трансляцій прямої та оберненої ґратки. Властивості оберненої ґратки. Побудова оберненої ґратки з прямої. Взаємна спряженість прямої та оберненої ґраток. Визначення кутів між векторами трансляцій оберненої ґратки. Застосування оберненої ґратки (визначення міжплощинних віддалей, кутів між площинами, між прямою та площиною).

19. Фактори, що впливають на величину іонних радіусів елемента.

20. Найбільш щільні упаковки. Умови утворення найбільш щільних упаковок структурних частинок. Двох – та трьохшарова щільні упаковки: способи утворення та симетрія структурних типів. Багатошарові щільні упаковки. Поліморфізм, політипізм.

21. Типи порожнин в щільноупакованих структурах. Види порожнин та геометричні умови стійкості для іонних кристалів типу АВ. Границі стійкості для реальних кристалів. Поляризація іонів.

22. Основні параметри кристалічних структур: коефіцієнт компактності, координаційне число, найменша віддаль між атомами. Кристалічні структури деяких елементів та бінарних сполук.

23. Геометричні умови дифракції Х- променів на кристалі. Умови Лауе. Рівняння Вульфа-Бреґа у скалярній і векторній формі. Геометрична інтерпретація рівнянь Вульфа-Бреґа.

27. Дифрактометричний метод дослідження полікристалів. Х-променеві дослідження монокристалів. Метод Лауе.

### **Основні типи дефектів у твердих тілах.**

28. Класифікація структурних дефектів за розмірністю: точкові, лінійні, поверхневі та об'ємні дефекти. Класифікація дефектів за способом утворення. Власні та невласні дефекти.

29. Власні точкові дефекти. Вакансії та їх рівноважна концентрація. Міжвузлові атоми та їх рівноважна концентрація. Пари Френкеля. Дефекти за Шоткі. Центри забарвлення.

30. Домішкові точкові дефекти. Домішки заміщення та впровадження. Способи утворення точкових дефектів.

31. Лінійні дефекти. Крайова дислокація, дислокаційна лінія, вектор Бюргерса. Гвинтова дислокація. Утворення дислокацій. Методи спостереження дислокацій.

32. Енергія дислокацій. Рух дислокацій. Переповзання та ковзання дислокацій, площа ковзання. Вплив дислокацій на міцність кристалів. Закріплення і розмноження дислокацій.

### **Дифузія у твердих тілах.**

33. Основні механізми дифузії. Міжвузловий механізм, частота стрибків, час осідлого життя. Дифузія за рахунок вакансій. Коефіцієнт дифузії та його температурна залежність. Експериментальне визначення енергії активації дифузії.

34. Макроскопічна дифузія. I –й закон Фіка. Розподіл концентрації дифундуючих частинок у зразку. II-й закон Фіка. Методи спостереження дифузії.

## VI. Шкала оцінювання

Рейтингова оцінка з навчальної дисципліни визначається як сума у балах поточної та підсумкової оцінки.

### Шкала оцінювання знань здобувачів освіти

| Оцінка в балах | Лінгвістична оцінка | Оцінка за шкалою ECTS |                                            |
|----------------|---------------------|-----------------------|--------------------------------------------|
|                |                     | оцінка                | пояснення                                  |
| 90–100         | Відмінно            | A                     | відмінне виконання                         |
| 82–89          | Дуже добре          | B                     | вище середнього рівня                      |
| 75-81          | Добре               | C                     | загалом хороша робота                      |
| 67-74          | Задовільно          | D                     | непогано                                   |
| 60-66          | Достатньо           | E                     | виконання відповідає мінімальним критеріям |
| 1–59           | Незадовільно        | Fx                    | необхідне перескладання                    |

## VII. Рекомендована література та інтернет-ресурси

1. Основи кристалографії: навчальний посібник/ І.М. Фодчук, О.О. Ткач. Чернівці: ЧНУ, 2007. 108 с.
2. Болеста І.М. Фізика твердого тіла. Навчальний посібник. Львів: Видавн. центр ЛНУ імені Івана Франка. 2003. 480 с.
3. Узлов К.І. Кристалографія, кристалохімія та мінералогія. Частина I: Конспект лекцій. Дніпропетровськ: НМетАУ, 2015. 36 с
4. Узлов К.І. Кристалографія, кристалохімія та мінералогія. Частина II: Конспект лекцій.– Дніпропетровськ: НМетАУ, 2015. 52 с
5. Казіміров В. П. Рентгенографія кристалічних матеріалів : навч. посіб. / В. П. Казіміров, Е. Б. Русанов. К. : ВПЦ «Київський університет», 2016. 287 с.
6. Пчелінцев, В.О. Кристалографія, кристалохімія та мінералогія [Текст] : навч. посіб. / В.О. Пчелінцев. Суми : СумДУ, 2008. 226 с. URL: <http://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/993>
7. Рентгенівська кристалографія. URL: [https://ukrayinska.libretexts.org/Хімія/Аналітична\\_хімія/Фізичні\\_методи\\_в\\_хімії\\_та\\_нанонауці\\_\(Barron\)/07%3A\\_Молекулярна\\_та\\_твердотільна\\_структура/7.03%3A\\_Рентгенівська\\_кристал\\_ографія](https://ukrayinska.libretexts.org/Хімія/Аналітична_хімія/Фізичні_методи_в_хімії_та_нанонауці_(Barron)/07%3A_Молекулярна_та_твердотільна_структура/7.03%3A_Рентгенівська_кристал_ографія)