Національний технічний університет України
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Кафедра загальної фізики

ФІЗИКА КРИСТАЛІВ

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни	
Рівень вищої освіти	***Перший (бакалаврський)***
Галузь знань	*10 Природничі науки*
Спеціальність	*104 Фізика та астрономія*
Освітня програма	*Комп'ютерне моделювання фізичних процесів*
Статус дисципліни	*Вибіркова*
Форма навчання	*Очна (денна)*
Рік підготовки, семестр	*4 курс, осінній семестр*
Обсяг дисципліни	*4 кредити*
Семестровий контроль/ контрольні заходи	*Залік / МКР*
Розклад занять	*Час і місце проведення аудиторних занять викладені на сайті http://rozklad.kpi.ua/*
Мова викладання	*Українська*
Інформація про керівника курсу / викладачів	***Лектор:*** *д.ф.-м.н., проф. Решетняк Сергій Олександрович, r.sa@ukr.net* ***Лабораторні заняття:*** *д.ф.-м.н., проф. Решетняк Сергій Олександрович, r.sa@ukr.net*
Розміщення курсу	*Електронний кампус КПІ ім. Ігоря Сікорського, платформа Сікорський*

Програма навчальної дисципліни

1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчання та результати навчання

Мета навчальної дисципліни – формування та закріплення у здобувачів компетентностей, навичок та вмінь щодо використання апарату фізики кристалів в фізичних дослідженнях.

Предмет навчальної дисципліни – закони, методи та засоби фізики кристалів як складові процесу фізичних досліджень.

Дисципліна «Фізика кристалів» належить до циклу дисциплін професійної та практичної підготовки і вивчається студентами в 7-му семестрі навчання за спеціальністю 104 Фізика та астрономія. Ця дисципліна є неодмінною частиною класичної програми підготовки спеціалістів в області фізики і спрямована на формування у студентів базових понять, вмінь та навичок стосовно процесів, явищ та законів фізики кристалів. Зокрема,

ЗДАТНІСТЬ:

- *опановувати основні положення фізики кристалів;*
- *використовувати основи фізики кристалів для описання кристалічної структури твердих тіл;*
- *застосовувати апарат фізики кристалів для дослідження пружних та термодинамічних характеристик твердих тіл;*
- *обчислювати характеристики хвильових процесів в твердих тілах;*
- *виконувати експериментальні досліди з фізики кристалів.*

Після засвоєння навчальної дисципліни студенти мають продемонструвати такі результати навчання:

ЗНАННЯ:

- *концептуальних підходів фізики кристалів до вивчення фізичних явищ;*
- *класичних дифракційних методів;*
- *методів експериментальних досліджень з фізики кристалів;*
- *основ кристалічної будови твердих тіл;*
- *загальних підходів до вивчення термодинамічних характеристик кристалів;*
- *методів дослідження хвильових процесів в кристалах.*

УМІННЯ:

- *аналізувати навчальну та навчально-методичну літературу, використовувати її в навчальному процесі;*
- *складати математичні моделі задач фізики кристалів;*
- *виконувати теоретичні розрахунки при вивченні модельних процесів фізики кристалів;*
- *виконувати експериментальні роботи з фізики кристалів;*
- *викладати матеріал логічно та послідовно.*

Програмні результати навчання.

Компетентності:

ЗК1. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.

ЗК2. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

ЗК5. Здатність приймати обґрунтовані рішення.

ЗК12. Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово.

ФК1. Знання і розуміння теоретичного та експериментального базису сучасної фізики та астрономії.

ФК2. Здатність використовувати на практиці базові знання з математики як математичного апарату фізики і астрономії при вивченні та дослідженні фізичних та астрономічних явищ і процесів.

ФК3. Здатність оцінювати порядок величин у різних дослідженнях, так само як точності та значимості результатів.

ФК4. Здатність працювати із науковим обладнанням та вимірювальними приладами, обробляти та аналізувати результати досліджень

ФК6. Здатність моделювати фізичні системи та астрономічні явища і процеси.

ФК7. Здатність використовувати базові знання з фізики та астрономії для розуміння будови та поведінки природних і штучних об'єктів, законів існування та еволюції Всесвіту.

ФК8. Здатність виконувати теоретичні та експериментальні до-слідження автономно та у складі наукової групи

ФК9. Здатність працювати з джерелами навчальної та наукової інформації.

ФК10. Здатність самостійно навчатися і опановувати нові знання з фізики, астрономії та суміжних галузей.

ФК13. Орієнтація на найвищі наукові стандарти – обізнаність щодо фундаментальних відкриттів та теорій, які суттєво вплинули на розвиток фізики, астрономії та інших природничих наук

ПРН 1. 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.

ПРН7. Знати базові навички проведення теоретичних та/або експериментальних наукових досліджень з окремих спеціальних розділів фізики або астрономії, що виконуються індивідуально (автономно) та/або у складі наукової групи.

ПРН9. Вміти застосовувати базові математичні знання, які використовуються у фізиці та астрономії: з аналітичної геометрії, лінійної алгебри, математичного аналізу, диференціальних та інтегральних рівнянь, теорії ймовірностей та математичної статистики, теорії груп, методів математичної фізики, теорії функцій комплексної змінної, математичного моделювання.

ПРН10. Вміти планувати дослідження, обирати оптимальні методи та засоби досягнення мети дослідження, знаходити шляхи розв'язання наукових завдань та вдосконалення застосованих методів

ПРН11. Вміти упорядковувати, тлумачити та узагальнювати одержані наукові та практичні результати, робити висновки.

ПРН16. Вміти самостійно навчатися та підвищувати рівень своєї кваліфікації

ПРН25. Вміти проводити теоретичні або експериментальні наукові дослідження що виконуються індивідуально або у складі наукової групи.

2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)

Вивчення даного кредитного модуля базується на дисциплінах «Загальна фізика. Механіка», «Загальна фізика. Молекулярна фізика», «Загальна фізика. Електрика та магнетизм», «Загальна фізика. Оптика», «Загальна фізика. Фізика атома», «Теоретична фізика. Класична механіка», «Теоретична фізика. Квантова механіка», «Математичний аналіз», «Основи векторного та тензорного аналізу», «Аналітична геометрія та лінійна алгебра», «Диференціальні та інтегральні рівняння».

3. Зміст навчальної дисципліни

Дисципліна структурно розділена на 7 розділів:

Розділ 1. Структура та класифікація кристалів.

Тема 1.1. Аморфні та кристалічні тіла. Кристалічна гратка, базис, елементарна комірка, примітивна комірка. Симетрії кристалічних структур та симетрія фізичних властивостей кристалів. Трансляція, точкові операції симетрії, точкова група симетрії. Поняття анізотропії кристалів.

Тема 1.2. Типи двовимірних та тривимірних кристалічних структур. Сингонії. Індексування площин, напрямків та вузлів елементарної гратки в кристалі.

Розділ 2. Дослідження структури та властивостей кристалів.

Тема 2.1. Фізична основа експериментальних методик дослідження кристалів. Закон Брегга. Методи дослідження поверхневої та об'ємної структури кристалів.

Тема 2.2. Дифракція і обернена гратка. Основи формалізму дифракційних методів. Умови дифракційних максимумів.

Тема 2.3. Електрони в напівпровідниках. Чорне випромінення.

Розділ 3. Збудження коливань в кристалах. Фонони.

Тема 3.1. Класичний і квантовий формалізми опису процесів коливання атомів в кристалах. Фонони.

Тема 3.2. Закон дисперсії фононів як характеристика реакції середовища на поширення акустичних хвиль. Умови формування зонної структури спектру акустичних хвиль.

Розділ 4. Енергія і термічні властивості кристалів.

Тема 4.1. Середня енергія осциляторів. Функція розподілу фононів по частотам. Моделі теплоємності, границі їх застосування. Періодичні граничні умови.

Тема 4.2. Багатофононні процеси. Ангармонічні явища в кристалах.

Розділ 5. Електронна підсистема кристалів.

Тема 5.1. Рівняння Шредінгера електронної підсистеми. Обернена гратка. Теорема Блоха.

Тема 5.2. Типи зв'язку атомів в кристалах. Наближення сильного зв'язку.

Тема 5.3. Модель вільних електронів. Енергія Фермі.

Тема 5.4. Модель слабозв'язаних електронів.

Тема 5.5. Класифікація кристалів. Залежність фізичних властивостей кристалів від структури енергетичних зон. Визначення типу провідності.

Тема 5.6. Моделі Фермі-газу і Фермі-рідини. Способи розрахунку густини станів для електронного газу в кристалі.

Тема 5.7. Електронна теплоємність. Експериментальне визначення вкладу електронної підсистеми в теплоємність кристалу.

Розділ 6. Кінетичні явища в кристалах.

Тема 6.1. Кінетичне рівняння Больцмана. Матричний елемент в блохівських функціях. Ймовірність розсіяння окремого електрону на домішках. Інтеграл зіткнень для системи ферми-частинок. Функція розподілу в рамках лінійної теорії збурень. Ізотропна модель. Розв'язання кінетичного рівняння вт-наближенні.

Тема 6.2. Електропровідність та теплопровідність металів. Закон Відемана-Франца.

Тема 6.3. Замкнуті та відкриті поверхні Фермі в схемі розширених зон. Траєкторія руху електрона в імпульсному просторі в магнітному полі. Період руху електрона по замкнутій траєкторії. Циклотронна маса. Частота Лармора.

Тема 6.4. Кінетичне рівняння для електронів в електромагнітному полі.

Розділ 7. Магнітні властивості кристалів.

Тема 7.1. Енергія магнітної підсистеми. Доменна структура.

Тема 7.2. Ефект магнітострикції. Гігантська магнітострикція.

Тема 7.3. Ефект магнітоопору. Гігантський магнітоопір.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література:

1. *C. Kittel. Introduction to Solid State Physics. – John Willy & Sons inc., 2005. – 680 p.*
2. *A.Abrikosov. Fundamentals of the Theory of Metals. – Elsevier Sci. Publ., 1988. – 630 p.*
3. *Фізика твердого тіла : підручник. В 2-х томах. / Ю. М. Поплавко. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2017. – Том 1: Структура, квазічастинки, метали, магнетики. – 415 с.*
4. *Фізика твердого тіла : підручник. В 2-х томах. / Ю. М. Поплавко. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2017. – Том 2: Діелектрики, напівпровідники, фазові переходи. – 379 с.*
5. *Фізика твердого тіла. Лабораторний практикум. [Електронний ресурс]: навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія» / С. О. Решетняк, Р. В. Захарченко, В. Н. Захарченко, Ю. Б. Скирта – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 191 с.*

Додаткова література:

6. *J.M. Ziman. Electrons and Phonons. – Oxford Unuiv. Press, 1960. – 554 p.*
7. *Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Статистическая физика. Ч. 1. М.: Наука, 1976.*
8. *Ашкрофт Н., Мерин Н. Физика твердого тела. Т. 1-2. М.: Наука, 1983.*
9. *Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теория упругости. М.: Наука, 1977.*
10. *Бонч-Бруевич В.Л. Электронная теория неупорядоченных полупроводников. М.: Наука, 1987*
11. *Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Квантовая механика. М.: Наука, 1991.*

Всі наведені джерела можна завантажити з Електронного кампусу КПІ ім. Ігоря Сікорського або з папки курсу на платформі Сікорський.

Інформаційні ресурси:

1. Електронний кампус КПІ ім. Ігоря Сікорського, методичне забезпечення до кредитного модуля «Фізика кристалів».

*2. Платформа «Сікорський», дистанційний курс «Фізика кристалів», код курсу **t563lp3**.*

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни

Навчальна частина дисципліни складена з лекційного матеріалу, лабораторних занять та контрольних заходів у вигляді МКР і ДКР. При викладанні дисципліни рекомендується побудувати ознайомлення студентів з предметом таким чином, щоб вони не тільки отримували ту чи іншу інформацію стосовно курсу, який вивчається, але й відчували зв'язок між різними темами кредитного модуля, а також місце модуля серед інших фізичних дисциплін. Загальний методичний підхід до викладання навчальної дисципліни визначається як комунікативно-когнітивний та професійно-орієнтований, згідно з яким у центрі освітнього процесу знаходиться студент – суб'єкт навчання і майбутній фахівець.

Лекційні заняття:

№	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
1.	Розділ 1, тема 1.1. Лекція 1. Аморфні та кристалічні тіла. Кристалічна гратка, базис, елементарна комірка, примітивна комірка. Симетрії кристалічних структур та симетрія фізичних властивостей кристалів. Трансляція, точкові операції симетрії, точкова група симетрії. Поняття анізотропії кристалів. [1], глава 1.
2.	Розділ 1, тема 1.2. Лекція 2. Типи двовимірних та тривимірних кристалічних структур. Сингонії. Індексування площин, напрямків та вузлів елементарної гратки в кристалі. [1], глава 1.
3.	Розділ 2, тема 2.1. Лекція 3. Фізична основа експериментальних методик дослідження кристалів. Закон Брегга. Методи дослідження поверхневої та об'ємної структури кристалів. [1], глави 1,2.
4.	Розділ 2, тема 2.2. Лекція 4. Дифракція і обернена гратка. Основи формалізму дифракційних методів. Умови дифракційних максимумів.. [1], глава 2.
5.	Розділ 3, тема 3.1. Лекція 5. Класичний і квантовий формалізми опису процесів коливання атомів в кристалах. Фонони. [1], глава 5.
6.	Розділ 3, тема 3.2. Лекція 6. Закон дисперсії фононів як характеристика реакції середовища на поширення акустичних хвиль. Умови формування зонної структури спектру акустичних хвиль. [1], глава 5.
7.	Розділ 4, тема 4.1. Лекція 7. Середня енергія осциляторів. Функція розподілу фононів по частотам. Моделі теплоємності, границі їх застосування. Періодичні граничні умови. [1], глава 6.
8.	Розділ 4, тема 4.2. Лекція 8. Багатофононні процеси. Ангармонічні явища в кристалах. [1], глава 6.
9.	Розділ 5, теми 5.1-5.2. Лекція 9. Рівняння Шредінгера електронної підсистеми. Обернена гратка. Теорема Блоха. Типи зв'язку атомів в кристалах. Наближення сильного зв'язку. [2], § 1.1, 1.2.
10.	Розділ 5, теми 5.3-5.4. Лекція 10. Модель вільних електронів. Енергія Фермі. Модель слабозв'язаних електронів. [3], § 18, [2], § 1.3.
11.	Розділ 5, тема 5.5.

	Лекція 11. Класифікація кристалів. Залежність фізичних властивостей кристалів від структури енергетичних зон. Визначення типу провідності. *[6], § 20.*
12.	*Розділ 5, тема 5.6.* *Лекція 12. Моделі Фермі-газу і Фермі-рідини. Способи розрахунку густини станів для електронного газу в кристалі.* *[6], § 20.*
13.	*Розділ 5, тема 5.7.* *Лекція 13. Електронна теплоємність. Експериментальне визначення вкладу електронної підсистеми в теплоємність кристалу.* *[6], глава 2.*
14.	*Розділ 6, тема 6.1.* *Кінетичне рівняння Больцмана. Матричний елемент в блохівських функціях. Ймовірність розсіяння окремого електрону на домішках. Інтеграл зіткнень для системи фермі-частинок. Функція розподілу в рамках лінійної теорії збурень. Ізотропна модель. Розв'язання кінетичного рівняння вт-наближенні.* *[2], глава 3.*
15.	*Розділ 6, тема 6.2.* *Електропровідність та теплопровідність металів. Закон Відемана-Франца.* *[2], глава 3.*
16.	*Розділ 6, тема 6.3.* *Замкнуті та відкриті поверхні Фермі в схемі розширених зон. Траєкторія руху електрона в імпульсному просторі в магнітному полі. Період руху електрона по замкнутій траєкторії. Циклотронна маса. Частота Лармора.* *[2], глава 5.*
17.	*Розділ 6, тема 6.4.* *Кінетичне рівняння для електронів в електромагнітному полі.* *[2], глава 5.*

Лабораторні заняття:

№	*Назва теми заняття та перелік основних питань* *(перелік дидактичного забезпечення, посилання на літературу та завдання на СРС)*
1.	*Вивчення техніки безпеки та правил користування лабораторним обладнанням з фізики кристалів (2 години)* *[5,7,8]*
2.	*Вивчення властивостей p-n переходу (6 годин)* *[5,7,8]*
3.	*Вивчення характеристик чорного випромінювання (6 годин)* *[5,7,8]*
4.	*Вивчення температурної залежності електропровідності металів і напівпровідників (6 годин)* *[5,7,8]*
5.	*Вивчення ефекту Холла (4 години)*

	[5,7,8]
6.	*Вивчення впливу магнітного поля на доменну структуру (6 годин) [5,7,8]*
7.	*Вивчення ефекту магнітоопору (6 годин) [5,7,8]*

6. Самостійна робота студента

Самостійна робота студента є основним засобом засвоєння навчального матеріалу у вільний від навчальних занять час і включає:

№ з/п	*Вид самостійної роботи*	*Кількість годин СРС*
1	*Підготовка до аудиторних занять*	*34*
2	*Підготовка до МКР*	*6*
3	*Підготовка до заліку*	*8*

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни

Система вимог, які викладач ставить перед студентом:

*- **правила відвідування занять**: відповідно до Наказу 1-273 від 14.09.2020 р. заборонено оцінювати присутність або відсутність здобувача на аудиторному занятті, в тому числі нараховувати заохочувальні або штрафні бали. Відповідно до РСО даної дисципліни бали нараховують за відповідні види навчальної активності на практичних заняттях.*

*- **правила поведінки на заняттях**: студент має слушно виконувати вказівки викладача щодо роботи на занятті, поводитися стримано й чемно та не заважати іншим студентам і викладачу. Використання засобів зв'язку для пошуку інформації на гугл-диску викладача, в інтернеті, в дистанційному курсі на платформі Сікорський здійснюється за умови вказівки викладача;*

*- **політика дедлайнів та перескладань**: якщо студент не проходив або не з'явився на контрольну роботу (без поважної причини), його результат оцінюється у 0 балів. Успішним вважається виконання контрольної роботи, якщо студент отримав за неї не менш, ніж 50% від максимальної кількості балів. У випадку пропуску контрольної роботи без поважної причини або неуспішної здачі контрольної роботи перескладання контрольної роботи здійснюється за узгодженням з викладачем, при цьому максимальна оцінка, яку студент може отримати за контрольну роботу, зменшується на 2 бали по відношенню до вчасної здачі контрольної роботи;*

*- **політика щодо академічної доброчесності**: Кодекс честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» https://kpi.ua/files/honorcode.pdf встановлює загальні моральні принципи, правила етичної поведінки осіб та передбачає політику академічної доброчесності для осіб, що працюють і навчаються в університеті, якими вони мають керуватись у своїй діяльності, в тому числі при вивченні та складанні контрольних заходів з дисципліни «Фізика кристалів»;*

*- **при використанні цифрових засобів зв'язку з викладачем** (мобільний зв'язок, електронна пошта, переписка на форумах та у соцмережах тощо) необхідно дотримуватись*

загальноприйнятих етичних норм, зокрема бути ввічливим та обмежувати спілкування робочим часом викладача.

8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (РСО)

Види контролю:

***Поточний контроль**: МКР.*

***Календарний контроль**: проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.*

***Семестровий контроль**: залік.*

***Умови допуску до семестрового контролю**: успішне виконання всіх контрольних та лабораторних робіт, семестровий рейтинг не менше 60 балів.*

На першому занятті студенти ознайомлюються з рейтинговою системою оцінювання (РСО) дисципліни, яка побудована на основі «Положення про систему оцінювання результатів навчання», https://document.kpi.ua/files/2020_1-273.pdf.

Рейтингова система оцінювання результатів навчання

***1**. Рейтинг студента з кредитного модуля розраховується зі 100 балів, які студент отримує за:*

1) *три контрольні роботи (МКР поділяється на 3 контрольні роботи тривалістю по 0,6 акад. годин);*
2) *виконання лабораторних робіт (7 робіт);*

***2**. Критерії нарахування балів.*

2.1. Виконання контрольних робіт:

Ваговий бал – 10 балів. Максимальна кількість балів за всі контрольні роботи дорівнює 10 балів х 3 = 30 балів. Критерії оцінювання:

творча робота - 9 –10 балів,
роботу виконано з незначними недоліками - 7 –8 балів,
роботу виконано з певними помилками - 5 – 6 балів,
роботу не зараховано (завдання не виконане або є грубі помилки) - 0 балів.

2.2. Виконання лабораторних робіт:

бездоганна робота - 9 –10 балів,
роботу виконано з незначними недоліками - 7 –8 балів,
роботу виконано з певними помилками - 5 – 6 балів,
роботу не зараховано (завдання не виконане або є грубі помилки) - 0 балів.

***3**. Умовою першої атестації є отримання не менше 15 балів та успішне виконання всіх лабораторних робіт на час атестації. Умовою другої атестації – отримання не менше 30 балів, виконання всіх лабораторних робіт на час атестації.*

***4**. Умовою допуску до заліку є успішне виконання всіх контрольних та лабораторних робіт. Якщо семестровий рейтинг складає не менше 60 балів, студент отримує залік автоматом.*

5. Виконання всіх контрольних та лабораторних робіт є також умовою допуску до перескладання заліку, якщо рейтинг протягом семестру склав менше 60 балів. В такому разі рейтингова оцінка встановлюється в результаті співбесіди з викладачем з урахуванням вже набраних балів.

6. Сума отриманих балів переводиться до залікову оцінку згідно з таблицею:

Кількість балів	*Оцінка*

100…95	*Відмінно*
94…85	*Дуже добре*
84…75	*Добре*
74…65	*Задовільно*
64…60	*Достатньо*
Менше 60	*Незадовільно*
Є незараховані контрольні чи лабораторні роботи	*Не допущено*

Якщо студент набрав протягом семестру 60 балів і більше, але хоче підвищити свою рейтингову оцінку, він може це зробити у співбесіді з викладачем.

9. Додаткова інформація з дисципліни

- *Перелік запитань наведено в Електронному кампусі КПІ ім. Ігоря Сікорського та в папці курсу на платформі «Сікорський».*
- *Сертифікати проходження дистанційних чи онлайн курсів за відповідною тематикою можуть бути зараховані за умови виконання вимог, наведених у НАКАЗІ № 7-177 ВІД 01.10.2020 р. «Про затвердження положення про визнання в КПІ ім. Ігоря Сікорського результатів навчання, набутих у неформальній/інформальній освіті».*

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Склав завідувач кафедри загальної фізики, д.ф.-м.н., проф. Решетняк С.О.

Ухвалено кафедрою загальної фізики (протокол № 6 від 02.06.2026 р.).

Погоджено Методичною комісією ФМФ (протокол № 11 від 26.06.2026 р.)