

Державний вищий навчальний заклад
«Ужгородський національний університет»
Фізичний факультет
Кафедра фізики напівпровідників



«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Декан фізичного факультету

(назва факультету)

Лазур

Лазур В.Ю.

(прізвище, ініціали)

«30» _ червня 2022 року

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Фізика твердого тіла

Рівень вищої освіти
Галузь знань
Спеціальність

Перший (бакалаврський) рівень
10 «Природничі науки»
104 Фізика та астрономія

Освітня програма
Статус дисципліни
Мова навчання

Фізика та астрономія
Обов'язкова
Українська

Робоча програма навчальної дисципліни «Фізика твердого тіла» для здобувачів вищої освіти галузі знань 10 «Природничі науки» спеціальності 104 Фізика та астрономія освітньої програми Фізика та астрономія

Розробник: Височанський Ю.М. - завідувач кафедри фізики напівпровідників, доктор фізико-математичних наук, професор, акад. НАНУ

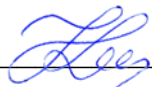
Робочу програму розглянуто та затверджено на засіданні кафедри фізики напівпровідників

протокол № 9 від «30» травня 2022 р.

Завідувач кафедри  Височанський Ю.М.

Схвалено науково-методичною комісією фізичного факультету

протокол № 10 від «30» червня 2022 р.

Голова науково-методичної комісії  Карбованець М.І.

Височанський Ю. М., 2022 р.

© ДВНЗ «Ужгородський національний університет», 2022р.

1. ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

| Найменування показників | Розподіл годин за навчальним планом |
|--|--|
| | денна форма навчання |
| Кількість кредитів – 4,5 | Рік підготовки 4-й |
| Загальна кількість годин - 135 | Семестр 7-й |
| Кількість модулів – 2 | |
| Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 4 самостійної роботи студента – 4 | |
| | Лекції 34 год. |
| Вид підсумкового контролю: екзамен | Практичні, семінарські 32 год. |
| Форма підсумкового контролю: комбінована | Лабораторні - Самостійна робота 69 год. |

2. МЕТА ВИВЧЕННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Навчальна дисципліна «Фізика твердого тіла» є обов'язковою компонентою циклу професійної підготовки освітньої програми підготовки бакалаврів спеціальності «Фізика та астрономія».

Метою вивчення курсу «Фізика твердого тіла» є:

- Ознайомлення студентів із основами теорії твердого тіла, а також властивостями конструкційних та функціональних матеріалів (металів, напівпровідників, діелектриків, магнетиків), що застосовуються в електротехніці та інших суміжних галузях. Формування розуміння зв'язку фізичних властивостей матеріалів із будовою, хімічним складом, симетрією основними фізико-хімічними властивостями матеріалів, технологією їх одержання.
- Оволодіння студентами основними фундаментальними уявленнями про природу основних фізичних явищ, що застосовуються в електроніці та оптиці.
- Отримання основ знань по практичному застосуванню різних матеріалів.

Метою проведення лекцій є вияснення фізичної суті і змісту основних положень та понять фізики твердого тіла, а також електронних та оптичних ефектів у даних матеріалах.

Задачі проведення лекцій. У результаті проведення лекцій студенти повинні знати основні поняття фізики твердого тіла, електронних та оптичних явищ, що мають практичні застосування, сучасні теорії, що описують дані фізичні явища, розуміти їх фізичну суть, знати формулювання основних законів і закономірностей, основні технічні характеристики матеріалів, межі застосування запропонованих теорій, моделей і абстракцій, знати методи вивчення фізичних явищ, законів та величин. Виробити у студентів – майбутніх інженерів-фізиків розуміння фізичних процесів, що визначають властивості конструкційних та функціональних діелектричних матеріалів.

Мета проведення практичних занять – ознайомлення з основними методиками розрахунку фізичних величин, поглиблення розуміння основ теорії, знань і розуміння суті фізичних явищ і законів. Розвиток навиків по дослідженню, аналізу та практичному використанню твердотільних матеріалів.

Задачі проведення практичних занять. Виконавши практичні завдання, студент повинен знати суть фізичних законів, засвоїти математичні основи розрахунків фізичних параметрів твердих тіл, оцінювати їх чутливість і точність, вміти критично аналізувати всі етапи виконуваної роботи і оформити одержані експериментальні результати, використовувати засоби обчислювальної техніки для підрахунку результатів експериментальних вимірювань, правильно оформляти звіт за виконаною роботою, скласти коротке резюме по кожному завданню.

У результаті вивчення навчальної дисципліни "Фізика твердого тіла" студент повинен

знати: основні поняття, визначення, теореми, співвідношення, що складають зміст курсу "фізика твердого тіла"; основні типи фізичних задач, які зв'язані з застосуванням понятійного і математичного апарату теорії груп, тензорного аналізу, теоретичні основи аналізу процесів та явищ в різних твердотільних матеріалах; основні типи фізичних задач.

вміти: формалізувати фізичні задачі з області фізики твердого тіла за допомогою освоєного математичного апарату, класифікувати отримані математичні співвідношення за типами і, слідуючи відомим алгоритмам, отримувати шукані розв'язки.

уявляти основні напрямки розвитку теорії в галузі фізики твердого тіла, а також математичних методів, в т.ч. із залученням комп'ютерних технологій.

Вивчення курсу ґрунтується на знаннях, отриманих у курсах загальної фізики, математичної фізики, матеріалів електронної техніки, вищої математики та комп'ютерних інформаційних технологій. Детальне дослідження предметного середовища, яке вивчається у курсі „Фізика твердого тіла” може бути продовжено й поглиблено і інших спецкурсах, а також у процесі виконання науково-дослідних та кваліфікаційних робіт студентів.

Відповідно до освітньої програми, вивчення дисципліни сприяє формуванню у здобувачів вищої освіти таких компетентностей:

| | |
|------------------------------------|--|
| Інтегральна компетентність | 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 комплексністю та невизначеністю умов. |
| Загальні компетентності | K02. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях. K07. Навички здійснення безпечної діяльності. |
| Спеціальні (фахові) компетентності | K16. Знання і розуміння теоретичного та експериментального базису сучасної фізики та астрономії. K17. 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. K19. Здатність працювати із науковим обладнанням та вимірювальними приладами, обробляти та аналізувати результати досліджень. K20 Знати і розуміти свої громадянські права і обов'язки, як члена вільного демократичного суспільства, мати навички їх реалізації, відстоювання та захисту. K23. Розуміти історію та закономірності розвитку фізики та астрономії. |

3. ПЕРЕДУМОВИ ДЛЯ ВИВЧЕННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Передумовами вивчення навчальної дисципліни «Фізика твердого тіла» є володіння базовими знаннями з математики, фізики та хімії згідно програм загальноосвітньої середньої школи, а також опанування таких навчальних дисциплін (НД) освітньої програми (ОП):

- ОК 5 Механіка з елементами теорії відносності
- ОК 6 Термодинаміка і молекулярна фізика
- ОК 7 Електрика і магнетизм
- ОК 8 Оптика
- ОК 9 Атомна фізика
- ОК 11 Фізичний практикум
- ОК 12 Математичний аналіз
- ОК 13 Аналітична геометрія і вища алгебра
- ОК 14 Диференціальні та інтегральні рівняння
- ОК 16 Електродинаміка і теорія поля
- ОК 17 Квантова механіка (за 3 курс).

Вивчення даного курсу ґрунтується на знаннях, отриманих у курсах загальної фізики, математичної фізики, вищої математики. Детальне дослідження предметного середовища, яке вивчається у курсі „Фізика твердого тіла”, може бути продовжено й поглиблено і інших спецкурсах, а також у процесі виконання науково-дослідних та кваліфікаційних робіт студентів.

4. ОЧІКУВАНІ РЕЗУЛЬТАТИ НАВЧАННЯ

Відповідно до освітньої програми «Фізика та астрономія», вивчення навчальної дисципліни «Фізика твердого тіла» повинно забезпечити досягнення здобувачами вищої освіти таких програмних результатів навчання (ПР):

| | |
|-------------------------------|---|
| Програмні результати навчання | ПР07. Розуміти, аналізувати і пояснювати нові наукові результати, одержані у ході проведення фізичних та астрономічних досліджень відповідно до спеціалізації. ПР13. 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, |
|-------------------------------|---|

| | |
|--|---|
| | <p>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.</p> <p>ПР14. Знати і розуміти основні вимоги техніки безпеки при проведенні експериментальних досліджень, зокрема правила роботи з певними видами обладнання та речовинами, правила захисту персоналу від дії різноманітних чинників, небезпечних для здоров'я людини.</p> <p>ПР15. Знати, аналізувати, прогнозувати та оцінювати основні екологічні аспекти загального впливу промислово-технологічної діяльності людства, а також окремих фізичних і астрономічних явищ, наукових досліджень та процесів (природних і штучних) на навколишнє природне середовище та на здоров'я людини.</p> |
|--|---|

Очікувані результати навчання, які повинні бути досягнуті здобувачами освіти після опанування навчальної дисципліни «Фізика твердого тіла».

| Очікувані результати навчання (ОРН) | Шифр ПРН |
|---|----------|
| Здобувач має розуміти, вміти аналізувати і пояснювати нові наукові результати, одержані у ході проведення фізичних та астрономічних досліджень, зокрема в галузі фізики твердого тіла. | ПР07 |
| Здобувач має розуміти зв'язок фізики твердого тіла з іншими природничими та інженерними науками, бути обізнаним з окремими (відповідно до спеціалізації) основними поняттями прикладної фізики, матеріалознавства, інженерії, хімії тощо, а також з окремими об'єктами (технологічними процесами) та природними явищами, що є предметом дослідження інших наук. | ПР13 |
| Здобувач повинен знати і розуміти основні вимоги техніки безпеки при проведенні експериментальних досліджень, зокрема правила роботи з певними видами обладнання та речовинами, правила захисту персоналу від дії різноманітних чинників, небезпечних для здоров'я людини, зокрема тих що пов'язані з технологіями отримання та обробки кристалів та стекел. | ПР14 |
| Здобувач повинен знати, вміти аналізувати, прогнозувати та оцінювати основні екологічні аспекти загального впливу промислово-технологічної діяльності людства, а також окремих фізичних явищ, наукових досліджень та процесів, зокрема пов'язаних з сучасними напівпровідни ковими технологіями, на навколишнє природне середовище та на здоров'я людини. | ПР15. |

5. ЗАСОБИ ДІАГНОСТИКИ ТА КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАВЧАННЯ

Засоби оцінювання та методи демонстрування результатів навчання

Підсумковим засобом оцінювання результатів навчання з дисципліни «Фізика твердого тіла» є екзамен.

Методами демонстрування результатів навчання з навчальної дисципліни є:

- відповіді і виконання тестів на практичних заняттях;
- виконання індивідуальних завдань (розв'язка задач) самостійної роботи;

- виконання завдань модульних контрольних робіт;
- презентація результатів виконання навчально-дослідницької роботи студента (НДРС);
- виступ на науковій конференції студентів фізичного факультету.

Форми контролю та критерії оцінювання результатів навчання

Форми поточного контролю:

- усне опитування та виконання тестових завдань, розв'язування задач, на практичних заняттях;
- виконання завдань самостійної роботи.

Форма модульного контролю: складається з поточного контролю та оцінювання модульної контрольної роботи

Форма підсумкового семестрового контролю: **екзамен.**

Розподіл балів, які отримують здобувачі вищої освіти (Т1, Т2 ... – теми)

модуль 1

| Поточне оцінювання та самостійна робота | | | | | Модульна контрольна робота | Сума |
|---|----|----|----|----|----------------------------|------|
| Т1 | Т2 | Т3 | Т4 | Т5 | 60 | 100 |
| 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | | |

модуль 2

| Поточне оцінювання та самостійна робота | | | | | Модульна контрольна робота | Сума |
|---|----|----|----|-----|----------------------------|------|
| Т6 | Т7 | Т8 | Т9 | Т10 | 60 | 100 |
| 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | | |

РЕЙТИНГОВА СИСТЕМИ ОЦІНКИ ЗНАНЬ СТУДЕНТІВ

1. Рейтинг - це комплексний показник успішності студента, рівня його володіння предметом, який вивчається. Він характеризує не лише глибину та якість знань, але й систематичність роботи студента, його творчість, активність і самостійність.

2. Максимальна сума балів за всі види робіт (практичні, контрольні, самостійне вивчення, колоквіуми, підсумковий екзамен) з курсу становить 100 бали

3. Викладачі можуть встановлювати заохочувальні бали за активну участь в обговоренні теоретичного матеріалу та в розв'язуванні задач, творче виконання завдань, за додаткову індивідуальну роботу, яка сприяє поглибленому вивченню курсу (підготовка рефератів, участь в студентських олімпіадах, наукових конференціях, конкурсах наукових робіт, активна робота в наукових гуртках, публікація статей), однак зальна сума балів курсу та відповідного фізичного практикуму не може перевищувати максимальну суму балів, визначену в п.2 та п.3.

4. Рейтинг обраховується як сума набраних студентом балів в 4 семестрі (2-го курсу) за різнобічну діяльність в опануванні курсом "Фізика твердого тіла", яка виступає чисельним показником якості його роботи у порівнянні з максимально можливою кількістю балів та результатами однокурсників.

6. Для переводу кількості набраних балів в оцінку ECTS (Європейська система трансферу кредитів) використовують наступну систему:

| Шкала ЕКТС | Диференційована шкала | Недиференційована шкала | Мін.бал- макс.бал |
|------------|-----------------------|-------------------------|-------------------|
| A | Відмінно | Зараховано | 90-100 |
| B | Добре | | 82-89 |
| C | | | 74-81 |
| D | | | 64-73 |
| E | Задовільно | | 60-63 |
| Fx | Незадовільно | Не зараховано | 35-59 |
| F | | | 0-34 |

КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ ПІДСУМКОВОГО СЕМЕСТРОВОГО КОНТРОЛЮ З КУРСУ «ФІЗИКА ТВЕРДОГО ТІЛА»

Оцінки “відмінно” (A) заслуговує студент, який виявив всебічне і глибоке знання програмового матеріалу, вміння вільно виконувати завдання, передбачені програмою, засвоїв основну і ознайомився з додатковою літературою, розуміє взаємозв’язок головних понять дисципліни та їх значення для майбутньої професії.

Оцінки “добре” (B) заслуговує студент, що виявив повне знання програмового матеріалу, успішно виконує передбачені програмою завдання, засвоїв основну літературу, рекомендовану програмою, виявив систематичний характер знань з дисципліни і здатний до їх самостійного поповнення, але під час відповіді допустив незначні неточності.

Оцінки “добре” (C) заслуговує студент, що виявив повне знання програмового матеріалу, успішно виконує передбачені програмою завдання, засвоїв основну літературу, рекомендовану програмою, виявив систематичний характер знань з дисципліни і здатний до їх самостійного поповнення, але під час відповіді допустив неточності і помилки.

Оцінки “задовільно” (D) заслуговує студент, що виявив знання основного програмового матеріалу в обсязі, необхідному для подальшого навчання та майбутньої роботи за професією, вміє виконувати завдання, передбачені програмою, знайомий з основною рекомендованою літературою. Як правило, оцінка “задовільно” виставляється студентам, що допустили помилки у відповіді на екзамені та при виконанні екзаменаційних завдань, але які володіють необхідними знаннями для їх усунення.

Оцінки “задовільно” (E) заслуговує студент, що виявив знання основного програмового матеріалу в обсязі, необхідному для подальшого навчання та майбутньої роботи за професією, вміє виконувати завдання, передбачені програмою, знайомий з основною рекомендованою літературою. Як правило, оцінка “достатньо” виставляється студентам, що допустили грубі помилки у відповіді на екзамені та при виконанні екзаменаційних завдань, але які володіють необхідними знаннями для їх усунення за допомогою викладача.

Оцінка “незадовільно” (FX) виставляється студенту, який виявив суттєві прогалини в знаннях основного програмового матеріалу, допустив принципові помилки у виконанні передбачених програмою завдань. Студенти, які не з’явилися на екзамен без поважних причин, вважаються такими, що одержали незадовільну оцінку.

Оцінка “незадовільно” (F) виставляється студенту, не виконав повністю план навчальної дисципліни, виявив суттєві прогалини в знаннях основного програмового матеріалу, допустив принципові помилки у виконанні передбачених програмою завдань, не виявив знання основного програмового матеріалу в обсязі, необхідному для подальшого навчання та майбутньої роботи за професією.

За результатами рейтингового контролю знань студентів, дозволяється виставлення залікової відмітки “зараховано” або екзаменаційної оцінки (без складання заліку чи іспиту) із відповідною оцінкою за системою ECTS у випадку набору кількості балів, що відповідає мінімальній оцінці. Студент має право підвищити оцінку за системою ECTS, складаючи залік або екзамен.

6. ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

6.1. Перелік тем навчальної дисципліни

Модуль 1.

1. ОСОБЛИВОСТІ СТРУКТУРИ ТВЕРДИХ ТІЛ. Вступ. Короткий історичний нарис розвитку фізики твердого тіла. Зв'язок між кристалічною структурою і властивостями твердих тіл. Типи кристалічних ґраток. Точкові групи симетрії. Сингонії. Просторові групи симетрії. Основні положення теорії груп. Елементарні комірки прямої і оберненої ґратки, їх основні геометричні властивості. Вільні електрони в твердих тілах. Концепція елементарних збуджень. Перспективи використання твердих тіл в різних галузях електронної техніки та енергетики.
2. ОСНОВНІ ТИПИ ЗВ'ЯЗКІВ У ТВЕРДИХ ТІЛАХ. Класифікація твердих тіл. Типи зв'язків. Енергія зв'язку. Молекулярні кристали. Іонні кристали. Енергія Маделунга. Енергія спорідненості до електрона та енергія зв'язку. Ковалентні кристали. Ступінь іонності та металічності зв'язків по Філіпсу та Харрісону.
3. ДИФРАКЦІЯ У КРИСТАЛАХ. Використання трьох типів випромінювань: рентгенівські промені, електронні та нейтронні пучки. Закон Бреґа. Експериментальні дифракційні методи вивчення кристалічної структури: метод Лауе, метод обертання кристалів, метод порошку. Рівняння Лауе для амплітуди розсіяної хвилі. Обернена ґратка. Побудова Евальда. Зони Бріллюена.
4. МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТВЕРДИХ ТІЛ. Напружений та деформований стан твердих тіл. Пружність. Закон Гука для ізотропних та анізотропних твердих тіл. Тензор деформацій. Вектор зміщення. Зміна об'єму при деформації. Густина пружної енергії. Зв'язок симетрії кристалічної ґратки і форма тензора пружних модулів. Однорідні та неоднорідні деформації.
5. ДИНАМІКА КРИСТАЛІЧНОЇ ГРАТКИ. Пружні хвилі в суцільному середовищі. Рівняння Кристоффеля. Зв'язок швидкості поперечних та поздовжніх хвиль з пружними модулями на прикладі кубічних і моноклінних кристалів. Коливання одноатомного і двоатомного лінійного ланцюжка. Оптичні та акустичні фонони. Групова та фазова швидкість поширення коливань. Поняття про коливання дво- і тривимірних ґраток. Спектральна густина коливань ґратки і функція розподілу. Поляризація коливань. Прояв в коливних спектрах анізотропії та нееквівалентності міжатомних взаємодій. Поняття про модельні розрахунки динаміки ґратки.

Модуль 2.

6. ТЕПЛОВІ ВЛАСТИВОСТІ ТВЕРДИХ ТІЛ. Теплоємність твердих тіл (ланцюжкових, шаруватих, ізотропних). Модель Ейнштейна. Модель Дебая. Анггармонізм динаміки ґратки. Теплове розширення. Співвідношення Грюнайзена. Теплопровідність твердих тіл та її температурна залежність. Механізми розсіювання фононів. Біфонони.
7. ДЕЛОКАЛІЗОВАНІ І ЛОКАЛІЗОВАНІ СТАНИ ЕЛЕКТРОНІВ У КРИСТАЛАХ. Рівняння Шредінґера для твердого тіла. Адіабатичне наближення Борна-Оппенгеймера. Одноелектронне наближення Хартрі-Фока. Теорема Блоха. Хвильовий вектор електрона у кристалі. Енергетичний спектр електронів (метод слабкого зв'язку) у ідеальному кристалі. Енергетичний спектр електронів у приведеній зоні Бріллюена. Ефективна маса носіїв заряду. Заповнення зон електронами: метали, напівметали, напівпровідники, діелектрики. Густина електронних станів у твердих тілах. Електрон у збуреному періодичному полі. Енергетичні рівні домішкових атомів у кристалі.
8. МЕТАЛИ. Класична модель для електропровідності металів та її недоліки. Властивості електронного газу в основному стані ($T = 0$ К). Температурна залежність теплоємності вільних електронів в твердих тілах. Поверхня Фермі. Закон Відемана-Франца. Експериментальні методи вивчення поверхні Фермі. Циклотронний резонанс. Відкриті і замкнуті орбіти електронів. Квантування в сильних магнітних полях. Рівні Ландау. Ефекти Шубнікова-де-Гааза та де-Гааза-

ван-Альфена. Температурна залежність електропровідності. Низькотемпературна надпровідність. Високотемпературна надпровідність. Ефекти пов'язані з надпровідністю. Практичне використання ефекту надпровідності та надпровідників. Фазові переходи за рахунок перебудови електронної підсистеми: напівпровідник-діелектрик, напівпровідник-метал, тощо. Практичне використання металів.

9. МАГНІТНІ ВЛАСТИВОСТІ ТВЕРДИХ ТІЛ. Класифікація магнетиків. Природа діамагнетизму. Природа парамагнетизму. Діамагнетизм і парамагнетизм у твердих тілах. Феромагнетизм. Обмінна взаємодія, спінові хвилі, магнони. Магнітні домени. Перемагнічування феромагнетиків, петлі гістерезису. Коерцитивне поле. М'які. жорсткі феромагнетики, їх практичне використання. Антиферомагнетики і феримагнетики.

10. ВЛАСТИВОСТІ НЕКРИСТАЛІЧНИХ ТВЕРДИХ ТІЛ. Структура аморфних твердих тіл. Енергетичний спектр некристалічних твердих тіл. Аморфні напівпровідники та їх використання. Аморфні діелектрики. Аморфні метали. Склоподібні напівпровідники. Кераміка. Композити. Полімери. Рідкі кристали.

6.2. Структура навчальної дисципліни

| Назви змістових модулів і тем | Кількість годин | | | | | |
|---|-----------------|-----------|-------------------|-------------|-------------------------------|----------------------------|
| | Усього | Лекції | Практичні заняття | Лабораторні | Індивідуальна робота студента | Самостійна робота студента |
| Модуль 1. Структура твердих тіл | | | | | | |
| 1. Особливості структури твердих тіл. | 15 | 4 | 4 | | | 7 |
| 2. Основні типи зв'язків у твердих тілах. | 13 | 4 | 2 | | | 7 |
| 3. Дифракція у кристалах. | 11 | 2 | 2 | | | 7 |
| 4. Механічні властивості твердих тіл. | 15 | 4 | 4 | | | 7 |
| 5. Динаміка кристалічної ґратки. | 15 | 4 | 4 | | | 7 |
| Разом за 1 модуль | 69 | 18 | 16 | | | 35 |
| Модуль 2. Електронні властивості твердих тіл | | | | | | |
| 6. Теплові властивості твердих тіл. | 15 | 4 | 4 | | | 7 |
| 7. Делокалізовані і локалізовані стани електронів у кристалах | 15 | 4 | 4 | | | 7 |
| 8. Метали. | 15 | 4 | 4 | | | 7 |
| 9. Магнітні властивості твердих тіл. | 11 | 2 | 2 | | | 7 |
| 10. Властивості некристалічних твердих тіл. | 10 | 2 | 2 | | | 6 |
| Разом за 2 модуль | 66 | 16 | 16 | | | 34 |
| Разом за курс | 135 | 34 | 32 | | | 69 |

6.3. Тематичний план практичних занять

| № п.п | НАЗВА ТЕМИ | К-ть годин |
|--------------|---|------------|
| 1. | Зв'язок між кристалічною структурою і властивостями твердих тіл. Типи кристалічних ґраток. Точкові групи симетрії. Сингонії. Просторові групи симетрії. | 2 |
| 2. | Основні положення теорії груп. Елементарні комірки прямої і оберненої ґратки, їх основні геометричні властивості. | 2 |
| 3. | Типи зв'язків. Енергія зв'язку. Молекулярні кристали. Іонні кристали. Енергія Маделунга. Ковалентні кристали. Ступінь іонності та металічності зв'язків. | 2 |
| 4. | Закон Бреґа. Метод Лауе. Рівняння Лауе для амплітуди розсіяної хвилі. Обернена ґратка. Побудова Евальда. Зони Бріллюена. | 2 |
| 5. | Напружений та деформований стан твердих тіл. Пружність. Закон Гука для ізотропних та анізотропних твердих тіл. Тензор деформацій. | 2 |
| 6. | Густина пружної енергії. Зв'язок симетрії кристалічної ґратки і форма тензора пружних модулів. Однорідні та неоднорідні деформації. | 2 |
| 7. | Пружні хвилі в суцільному середовищі. Коливання одноатомного і двоатомного лінійного ланцюжка. Оптичні та акустичні фонони. Групова та фазова швидкість поширення коливань. | 2 |
| 8. | Зв'язок швидкості поперечних та повздовжних хвиль з пружними модулями на прикладі кубічних і моноклінних кристалів. Рівняння Кристоффеля. | 2 |
| 9. | Теплоємність твердих тіл (ланцюжкових, шаруватих, ізотропних). Модель Ейнштейна. Модель Дебая. Ангармонізм динаміки ґратки. Теплове розширення. Співвідношення Грюнайзена. Теплопровідність твердих тіл та її температурна залежність. Механізми розсіювання фононів. | 2 |
| 10. | Ангармонізм динаміки ґратки. Теплове розширення. Співвідношення Грюнайзена. Теплопровідність твердих тіл та її температурна залежність. | 2 |
| 11. | Рівняння Шредінґера для твердого тіла. Адіабатичне наближення. Одно-електронне наближення. Теорема Блоха. Хвильовий вектор електрона у кристалі. Енергетичний спектр електронів у ідеальному кристалі. | 2 |
| 12. | Енергетичний спектр електронів у приведеній зоні Бріллюена. Ефективна маса носіїв заряду. Заповнення зон електронами: метали, напівметали, напівпровідники, діелектрики. | 2 |
| 13. | Класична модель для електропровідності металів. Властивості електронного газу в основному стані. Температурна залежність електропровідності та теплоємності вільних електронів. Поверхня Фермі. Закон Відемана-Франца. | 2 |
| 14. | Надпровідність. Фазові переходи за рахунок перебудови електронної підсистеми: напівпровідник-діелектрик, напівпровідник-метал, тощо. | 2 |
| 15. | Природа діамагнетизму і парамагнетизму. Феромагнетизм. Обмінна взаємодія, спінові хвилі, магнони. Магнітні домени. Антиферомагнетики і феримагнетики. | 2 |
| 16. | Структура аморфних твердих тіл. Енергетичний спектр некристалічних твердих тіл. Аморфні напівпровідники, діелектрики, метали. Склоподібні напівпровідники. Кераміка. Композити. Полімери. Рідкі кристали. | 2 |
| Разом | | 32 |

6.4. Самостійна робота

| № | Назва теми | Годин |
|---|---|--|
| 1 | <p>Модуль 1. Структура твердих тіл</p> <p>Елементарні комірки прямої і оберненої ґратки, їх основні геометричні властивості.</p> <p>Перспективи використання твердих тіл в різних галузях електронної техніки та енергетики.</p> <p>Ступінь іонності та металічності зв'язків по Філіпсу та Харрісону.</p> <p>Експериментальні дифракційні методи вивчення кристалічної структури: метод Лауе, метод обертання кристалів, метод порошку. Рівняння Лауе для амплітуди розсіяної хвилі.</p> <p>Поняття про коливання дво- і тривимірних ґраток. Спектральна густина коливань ґратки і функція розподілу. Поляризація коливань. Прояв в коливних спектрах анізотропії та нееквівалентності міжатомних взаємодій.</p> <p>(Самостійне вивчення окремих питань, вивчення лекційного матеріалу, підготовка до практичних занять, розв'язування задач домашньої самостійної роботи). Разом:</p> | <p>7</p> <p>7</p> <p>7</p> <p>7</p> <p>6</p> <p>34</p> |
| 2 | <p>Модуль 2. Електронні властивості твердих тіл</p> <p>Теплопровідність твердих тіл та її температурна залежність. Механізми розсіювання фононів. Біфонони.</p> <p>Заповнення зон електронами: метали, напівметали, напівпровідники, діелектрики. Густина електронних станів у твердих тілах. Електрон у збуреному періодичному полі. Енергетичні рівні домішкових атомів у кристалі.</p> <p>Експериментальні методи вивчення поверхні Фермі. Циклотронний резонанс. Відкриті і замкнуті орбіти електронів. Квантування в сильних магнітних полях. Рівні Ландау. Ефекти Шубнікова-де-Гааза та де-Гааза-ван-Альфена.</p> <p>Перемагнічування феромагнетиків, петлі гістерезису. Коерцитивне поле. М'які. жорсткі феромагнетики, їх практичне використання.</p> <p>Аморфні напівпровідники та їх використання. Полімери. Рідкі кристали.</p> <p>(Самостійне вивчення окремих питань, вивчення лекційного матеріалу, підготовка до практичних занять, розв'язування задач домашньої самостійної роботи). Разом:</p> | <p>7</p> <p>7</p> <p>7</p> <p>7</p> <p>7</p> <p>7</p> <p>35</p> |
| | Всього за курс | 69 |

Організація самостійної та індивідуальної роботи студентів

Самостійна робота є складовою частиною вивчення кожної дисципліни. Вона організовується згідно графіка самостійної роботи студентів, де вказується зміст самостійної роботи, та форма контролю.

Самостійна робота студентів при вивченню дисципліни організовується на лекціях та практичних заняттях. Для контролю за самостійною роботою з лекційного курсу передбачено колоквиуми, де перевіряється здатність студентів творчо мислити, усно формулювати фізичні положення і твердження. При самостійній роботі над лекційним курсом рекомендується використати записи лекцій та навчальні посібники, що приводяться в списку літератури. Для зручності використання навчальних посібників студенти повністю забезпечуються розширеною програмою з вказаними розділами і параграфами. Для стимулювання самостійної роботи на лекціях пропонуються домашні завдання, в основному у вигляді вправ, часткових випадків, виводів простих формул, рефератів. Теми рефератів можуть бути загальними або індивідуальними.

При підготовці до практичних занять рекомендується самостійно проробити теоретичний матеріал по темі заняття, попередньо повідомлений студентам, виписати основні формули, проаналізувати наслідки із них. Пропонується виявити спільне, що об'єднує тему, по якій буде проводитися практичне заняття, з попередніми темами. Підготовка до практичних занять передбачає розв'язок задач, заданих на самостійну роботу. Розв'язок задач відіграє важливу роль в процесі вивчення фізики, так як стимулює розвиток логічного і творчого мислення, виробляє навички практичного застосування одержаних знань.

Розв'язок задач потрібно починати з якісного аналізу, з виявлення суті явища, розглядуваного в задачі і проведення аналізу умов, в яких це явище відбувається. Важливим моментом в розв'язку задачі є набір наближення, абстракції, моделі, а також вибір методу розв'язку, що полягає в установленні, якими законами і формулами необхідно користуватися при розв'язку задач. Розв'язок задач приносить найбільшу користь, якщо він виконаний самостійно. Однак на першому етапі можна користуватися підказкою викладача. Перевірити правильність розв'язку в загальному вигляді потрібно, використовуючи правило розмірностей.

Велике значення має аналіз одержаного розв'язку, так як він дозволить зафіксувати в пам'яті нові прийоми, які використовуються для розв'язку задач даного типу і одержані у результаті перебору різних варіантів, виявити частковість або спільність даного розв'язку, установити правдоподібність результату розв'язку, межі його застосування, встановити, як можна ускладнити задачу і намітити шляхи її розв'язку.

При розв'язку задач рекомендується користуватися такими правилами, які витікають із вищевказаного.

1. Записати умову задачі (повністю або скорочено).
2. Зробити аналіз задачі: - що є об'єктом вивчення; встановити, яким фізичним законам підлягають явища або процес, що вивчаються.
3. При можливості зробити рисунок.
4. Розв'язати задачу у загальному випадку.
5. Перевірити розв'язок задачі за розмірністю.
6. Виразити значення фізичних величин, даних в умові задачі, в одній системі одиниць.
7. Обчислити значення шуканої величини.
8. Проаналізувати розв'язок.

Усні відповіді, результати самостійних і контрольних робіт оцінюються за звичайною бальною системою, яка потім додається і перетворюється в рейтингову.

7. ІНСТРУМЕНТИ, ОБЛАДНАННЯ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Технічні засоби навчання; мультимедійний проектор, персональний компютер.

Дистанційна платформа Moodle.

8. НАВЧАЛЬНА ЛІТЕРАТУРА

1. Болеста І.М. Фізика твердого тіла. Львів: вид-во ЛНУ ім. І. Франка. – 2003.- 480 с.
2. Подопригора Н.В. Фізика твердого тіла: навчальний посібник для студентів фізичних спеціальностей педагогічних університетів / Подопригора Н.В., Садовий М.І., Трифонова О. М. – Кіровоград: ПП «Центр оперативної поліграфії «Авангард», 2014. – 416 с.
3. Поплавко Ю. М. 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. Курик М. В., Цмоць В. М. Фізика твердого тіла. - Київ: Вища школа.- 1984.- 247 с.

Інформаційні ресурси в мережі Інтернет

<http://www.nbuv.gov.ua> (Національна бібліотека України імені В.І.Вернадського).

<http://www.lib.uzhnu.edu.ua/> (Наукова бібліотека УжНУ).

<http://4uth.gov.ua/> (Державна бібліотека України для юнацтва).

<https://ddpu.edu.ua/fizmatzbirnyk/slovniky/sl11.pdf> (М.О. Вакуленко , О.В. Вакуленко. Фізичний тлумачний словник).

<https://www.unian.ua/science> (Новини науки і технологій).

П Е Р Е Л І К

контрольних запитань з курсу
„ФІЗИКА ТВЕРДОГО ТІЛА”

1. Структура кристалів. Базис. Елементарна комірка кристалічної ґратки.
2. Типи кристалічних ґраток. Точкові групи симетрії. Сингонії. Просторові групи симетрії.
3. Кристалографічні площини. Індеси Міллера. Позначення орієнтації кристалографічних напрямків та положень вузлів елементарної комірки.
4. Типи міжатомних зв'язків в твердих тілах. Енергія хімічного зв'язку.
5. Особливості міжатомних взаємодій в молекулярних іонних та ковалентних кристалах, в металах. Сили Ван-дер-Ваальса-Лондона. Потенціал Леннарда-Джонса.
6. Енергія Маделунга в іонних кристалах. Повна енергія кристалічної ґратки. Рівноважний період ґратки.
7. Типи дефектів в твердих тілах, рівноважна концентрація точкових дефектів. Радіаційні дефекти. Типи дислокацій. Вектора Бюргерса.
8. Пружність твердих тіл. Закон Гука для ізотропних та анізотропних твердих тіл.
9. Деформований стан твердого тіла. Тензор деформацій. Вектор зміщення. Зміна об'єму при деформації. Густина пружної енергії.
10. Зв'язок симетрії кристалічної ґратки і форми тензора пружних модулів на прикладах кубічних та моноклінних кристалів. Модуль Юнга. Стисливість. Коефіцієнт Пуассона. Модуль зсуву.
11. Пружні хвилі в кристалах. Рівняння Кристофеля.
12. Фонони. Методи експериментального визначення залежності енергії фононів від їх хвильового вектора.
13. Динаміка ланцюжка однакових атомів. Закон дисперсії.
14. Зони Бріллюена. Групова швидкість фононів.
15. Динаміка ланцюжка з двома атомами в примітивній комірці. Оптичні та акустичні фонони.
16. Густина фононних станів для ланцюжка однакових атомів. Густина фононних станів для трьохвимірного випадку.
17. Моделі Дебая і Ейнштейна для теплоємності твердих тіл.
18. Ангармонізм кристалічної ґратки. Взаємодія фононів. Теплове розширення твердих тіл.
19. Модель Друде для електропровідності металів. Закон Відемана- Франца. Недоліки моделі Друде.
20. Рівняння Шредінгера для твердого тіла. Енергетичний спектр в наближенні вільних електронів.
21. Квазіімпульс електронів в кристалі. Періодичні краєві умови. Густина енергетичних станів.
22. Властивості електронного газу в основному стані. ($T=0$ K). Розподіл Фермі. Енергія Фермі. Імпульс Фермі.

23. Енергетичний спектр електронів в наближенні слабого зв'язку. Теорема Блоха. Зони Бриллюена.
24. Заповнення зон електронами: метали, напівметали, напівпровідники, діелектрики.
25. Рух вільних електронів в кристалі при накладанні магнітного поля.
26. Поверхня Фермі. Методи визначення форми поверхні Фермі. Циклотронний резонанс. Відкритті і замкнуті орбіти електронів.
27. Ефективна маса електронів в кристалі.
28. Електропровідність металів при низьких температурах. Надпровідність. Високотемпературна надпровідність. Критична напруженість магнітного поля для надпровідників. Ефект Мейснера. Ізотопічний ефект. Теплоємність твердих тіл в надпровідному стані.
29. Спарювання носіїв заряду при переході в надпровідний стан. Основні положення теорії Бардіна-Купера-Шріфера.
30. Динаміка кристалічної ґратки та мікроскопічні механізми фазових переходів.
31. Класифікація магнетиків. Природа діамагнетизму.
32. Природа парамагнетизму. Парамагнетизм електронів провідності.
33. Магнітне впорядкування. Феромагнетизм.
34. Магнітні домени. Перемагнічування феромагнетиків, петлі гістерезису. Коерцитивне поле.

Результати перегляду

Робоча програма перезатверджена на 20___ / 20___ н.р. без змін; зі змінами (Додаток ___).
(потрібне підкреслити)

протокол № ___ від «___» _____ 20 ___ р. Завідувач кафедри _____ Височанський Ю.М.
(підпис) (Прізвище ініціали)

Робоча програма перезатверджена на 20___ / 20___ н.р. без змін; зі змінами (Додаток ___).
(потрібне підкреслити)

протокол № ___ від «___» _____ 20 ___ р. Завідувач кафедри _____ Височанський Ю.М.
(підпис) (Прізвище ініціали)

Робоча програма перезатверджена на 20___ / 20___ н.р. без змін; зі змінами (Додаток ___).
(потрібне підкреслити)

протокол № ___ від «___» _____ 20 ___ р. Завідувач кафедри _____ Височанський Ю.М.
(підпис) (Прізвище ініціали)

Робоча програма перезатверджена на 20___ / 20___ н.р. без змін; зі змінами (Додаток ___).
(потрібне підкреслити)

протокол № ___ від «___» _____ 20 ___ р. Завідувач кафедри _____ Височанський Ю.М.
(підпис) (Прізвище ініціали)