

СИЛАБУС
навчальної дисципліни
«ФІЗИКА ТВЕРДОГО ТІЛА»

Галузь знань	10 - Природничі науки
Спеціальність	104 – Фізика та астрономія
Освітня програма	Фізика ядра, фізика елементарних частинок і високих енергій; ядерно-фізичні установки; радіаційна фізика конденсованого стану; фізика твердого тіла; фізика плазми і ядерного синтезу
Освітній рівень	доктор філософії
Статус дисципліни	Фаховий / Вибірковий
Мова викладання	Українська
Курс / семестр	II (III) курс, 1 (2) семестр
Кількість кредитів ЄКТС	4 кредити
Розподіл за видами занять та годинами навчання	Лекції – 32 год. Практичні (семінарські) – 16 год. Лабораторні – 0. год. Самостійна робота – 70 год.
Форма підсумкового контролю	Іспит
Відділ	Відділ теоретичної фізики, ІЯД НАН України, корп. 101, тел. +380-44-525-3969
Викладач (-і)	Фіщук Іван Іванович, провідний науковий співробітник, доктор фіз.-мат. наук, старший науковий співробітник.
Контактна інформація викладача (-ів)	i.fishchuk@kinr.kiev.ua; ivan.fishch@gmail.com
Дні занять	Середа
Консультації	Дистанційні, за домовленістю з ініціативи здобувача, групові

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

Мета навчальної дисципліни - формування у аспірантів компетентностей у галузі фізики твердого тіла методів, що застосовуються при розв'язанні задач фізики твердого тіла.

Предмет навчальної дисципліни – основи фізики твердого тіла.

Компетентності

Інтегральна компетентність (ІК): здатність розв'язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми з фізики твердого тіла

Загальні компетентності (ЗК):

- ЗК.01. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.
- ЗК.02. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.
- ЗК.03. Навички використання інформаційних та комунікаційних технологій.
- ЗК.04. Здатність бути критичним та самокритичним.
- ЗК.05. Здатність приймати обґрунтовані рішення.
- ЗК.08. Здатність оцінювати та забезпечувати якість виконуваних робіт.

ЗК.09. Визначеність та наполегливість щодо поставлених задач та взятих обов'язків.

ЗК.15. Здатність зберігати та приумножувати моральні, культурні, наукові цінності і досягнення суспільства на основі розуміння історії та закономірностей розвитку предметної області, їх місця у загальній системі знань про природу і суспільство та у розвитку суспільства, техніки та технологій, використовувати різні види та форми рухової активності для активного відпочинку та ведення здорового способу життя.

Фахові компетентності (ФК):

ФК.02. Здатність використовувати на практиці базові знання з фізики твердого тіла при вивченні та дослідженні фізичних явищ та процесів.

ФК.03. Здатність виконувати теоретичні та експериментальні дослідження автономно та у складі наукової групи.

ФК.04. Здатність працювати з джерелами наукової та теоретичної інформації.

ФК.05. Здатність самостійно навчатися і опанувати нові знання з фізики та суміжних галузей.

ФК.06. Розвинуте почуття особистої відповідальності за достовірність результатів досліджень та дотримання принципів академічної доброчесності разом з професійною гнучкістю.

ФК.07. Орієнтація на найвищі наукові стандарти – обізнаність щодо фундаментальних відкриттів та теорій, які суттєво вплинули на розвиток фізики, астрономії та інших природничих наук.

ФК.08. Здатність здобувати додаткові компетентності через вибіркові складові освітньої програми, самоосвіту, неформальну та інформальну освіту.

Програмні результати навчання

ПРН.04. Мати сучасні концептуальні та методологічні знання з фізики та/або астрономії та дотичних до них міждисциплінарних напрямів, а також необхідні навички, достатні для проведення фундаментальних і прикладних наукових досліджень з метою отримання нових знань та/або здійснення розробок та інновацій.

ПРН.08. Мати базові навички самостійного навчання: вміти відшукувати потрібну інформацію в друкованих та електронних джерелах, аналізувати, систематизувати, розуміти, тлумачити та використовувати її для вирішення наукових і прикладних завдань.

ПРН.09. Мати 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.

ПРН.10. Вміти планувати дослідження, обирати оптимальні методи та засоби досягнення мети дослідження, знаходити шляхи розв'язання наукових завдань та вдосконалення застосованих методів.

ПРН.11. Вміти упорядковувати, тлумачити та узагальнювати одержані наукові та практичні результати, робити висновки.

ПРН.12. Мати навички роботи з сучасною обчислювальною технікою, вміти використовувати стандартні пакети прикладних програм та програмувати на рівні, достатньому для реалізації чисельних методів розв'язування фізичних задач, комп'ютерного моделювання фізичних та астрономічних явищ і процесів, виконання обчислювальних експериментів.

ПРН.13. Мати навички самостійного прийняття рішень стосовно своїх освітньої траєкторії та професійного розвитку.

Після засвоєння матеріалу дисципліни аспірант повинен: знати основні поняття про структуру та енергетичний спектр кристалів, основні механічні, оптичні, електричні і магнітні властивості твердих тіл, експериментальні методи фізики твердого тіла; вміти розраховувати електронні кінетичні властивості твердих тіл, записувати рівняння для опису фазових переходів, записувати рівняння для опису надпровідності.

Передумови для навчання

Перелік попередньо прослуханих дисциплін / Знання, якими повинен володіти здобувач, щоб приступити до вивчення дисципліни

Для успішного засвоєння дисципліни аспірант повинен знати фізичні основи механіки, молекулярної фізики, електрики і магнетизму, оптики, термодинаміки і статистичної фізики, атомної фізики і квантової механіки, що є необхідними для якісного виконання наукових досліджень за темою дисертації.

Матеріально-технічне (програмне) забезпечення дисципліни

Для виконання практичних завдань за темою курсу потрібен персональний комп'ютер, підключений до мережі Інтернет. Станом на 2023 р. ця вимога легко задовольняється для аспірантів ІЯД НАН України за рахунок наявного обладнання у відділах, де виконується наукова робота, а також за рахунок особистої комп'ютерної техніки аспірантів. Отже, кожний аспірант має необхідні умови для виконання завдань курсу.

Рекомендовані джерела

1. Дж. Блейкмор. Фізика твердого тела. М.: Мир, 1988.
2. Дж. Займан. Принципы теории твердого тела. М.: Мир, 1974.
3. У. Узрт, Р. Томсон, Фізика твердого тела. М.; Мир, 1969.
4. Н. Ашкрофт, Н. Мермин. Фізика твердого тела. М.: Мир, 1979.т.1,2

Допоміжна література:

1. В.Л. Бонч-Бруевич. С.Г. Калашников. Фізика полупроводников. М.; Наука, 1967.
2. Н. Мотт, З. Дэвис. Электронные процессы в некристаллических веществах. М.; Мир, 1982. т.1, 2. — Новосибирск: Наука, 1967.
3. Т. Мосс, Г. Баррел, Б. Зллис. Полупроводниковая оптоэлектроника. М.: Мир. 1967.
4. А. Роуз-Инс, Е. Родерик. Введение в физику сверхпроводимости. М.; Мир, 1972.

Навчальний контент

Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Загальний методичний підхід до викладання навчальної дисципліни визначається як комунікативно-когнітивний та професійно орієнтований, згідно з яким у центрі освітнього процесу знаходиться аспірант – суб'єкт навчання і майбутній науковець.

Лекційні заняття

Лекція 1. Поняття про фізику твердого тіла. Кристалічні та аморфні тіла. Будова кристалів. Трансляційна симетрія. Елементарна комірка. Решітки Браве. Індеси Мілера. Точкові і просторові групи. Особливості поширення хвиль в періодичних структурах. Закон Вульфа-

Брега. Оборнена гратка. Зони Бріллюена.

Лекція 2. Основні типи дефектів в твердих тілах. Дефекти в кристалах. Точкові дефекти їх утворення та дифузія. Вакансії. Комбінації атомних дефектів. Крайові та гвинтові дислокації. Вектор Бюргерса. Енергія дислокацій. Рух дислокацій. Переповзання та сковзання. Механізми утворення дислокацій в кристалах. Вплив радіаційних, механічних та термічних дій на реальну структуру твердих тіл.

Лекція 3. Типи взаємодій в твердому тілі. Типи хімічного зв'язку в кристалах. Міжатомна взаємодія та сили зв'язку у твердому тілі. Структурні та фізичні особливості іонних, ковалентних, металічних та молекулярних кристалів. Щільнозапаковані структури.

Лекція 4. Невпорядковані тверді тіла. Аморфні тіла - методи отримування та дифракційного дослідження структури. Рідинні кристали. Близький та далекий порядок. Напівпровідникове скло.

Лекція 5. Квазічастинки в твердому тілі. Описання енергетичного стану кристалів за допомогою газу квазічастинок. Приклади квазічастинок. Фонони, магнони, екситони, плазмони та ін. Електрони в металі як квазічастинки. Квазіімпульс. Закон дисперсії. Теорема Блоха. Граничні умови. Густина станів. Статистика газу квазічастинок. Бозони та ферміони. Взаємодія квазічастинок.

Лекція 6. Оптичні та акустичні фонони. Коливання кристалічної решітки - фонони. Акустична та оптична вітки коливань. Теплоємність решітки, Дебаївська частота. Фактор Дебая-Валлера в розсіюванні рентгенівських променів. Ангармонізм та теплове розширення.

Лекція 7. Електронні стани в кристалах. Одноелектронна модель, Наближення слабо і сильнозв'язаних електронів. Зонна схема та типи твердих тіл. Вироджений електронний газ. Електронна теплоємність, поверхня Фермі. Тензор ефективних мас. Електрони та дірки. Циклотронна маса. Положення Фермі-рівня в неvirоджених напівпровідниках.

Лекція 8. Кінетичні явища. Кінетичні рівняння. Електро- та теплопровідність. Тривалість релаксування. Механізми розсіювання електронів. Розсіювання на домішках і дефектах. Електрон-фононі зіткнення. Нормальні процеси, процеси перекиду. Іонна провідність кристалів. Суперіонна провідність. Магнітоопір та ефект Холла. Квантовий ефект Холла.

Лекція 9. Напівпровідники. Електронна структура типових напівпровідників. Германій та кремній. Домішкові рівні. Донори та акцептори, р-п-переходи. Фотопровідність. Рекомбінація та релаксація нерівноважних носіїв. Гарячі носії. Ефект Гана.

Лекція 10. Теплоємність.

Температурна залежність теплоємності. Моделі Ейнштейна та Дебая.

Лекція 11. Механізми поглинання фотонів. Поглинання вільними носіями. Решітчаті поглинання. Багатофононні процеси. Комбінаційне розсіювання світла в кристалах. Поглинання зв'язаними носіями. Правила відбору. Міжзонні прямі та непрямі переходи. Люмінесценція кристалів. Рекомбінаційне випромінювання в діелектриках та напівпровідниках. Спонтанне і вимушене випромінювання. Лазери.

Лекція 12. Ефективне поле. Електрострикція і п'єзоелектрика. Піроелектрики і сегнетоелектрики. Електричний гістерезис. Аномалії фізичних властивостей сегнетоелектриків в області фазових переходів.

Лекція 13. Рівновага фаз. Рушійна сила фазових переходів. Фазові рівноваги у багатокомпонентних системах. Вплив викривлення поверхні на фазову рівновагу. Формула Томсона. Правило фаз. Фазові переходи I і II роду. Дифузійні та без-дифузійні претворення у двокомпонентних системах. Мартенситні перетворення. Види термічної обробки. Метастабільний стан. Розпад пересичених твердих розчинів.

Лекція 14. Переходи метал-діелектрик в системі електронів. Перехід Андерсона. Край рухливості в електронному спектрі. Перехід Мотта. Флуктуації, Тверді розчини та проміжні фази. Лекція 15. Основні властивості надпровідників.

Ефект Мейснера. Надпровідники I і II роду. Основи мікроскопічної та термодинамічної теорій. Куперовські пари. Енергетична щільність і квазічастинки в надпровіднику.

Тунельний ефект. Ефект Джозефсона. Високотемпературна надпровідність.

Лекція 16. Рентгенографія - методи досліджень ідеальної та реальної структури.

Електронографія та електронна мікроскопія. Нейтронографія, пружне та непружне когерентне розсіювання, дослідження магнітних структур і фононних спектрів. Електричні та гальваномагнітні вимірювання як методи вивчення електронної структури кристалів і складу домішок у напівпровідниках. Оптичні методи досліджень, використання лазерних джерел світла.

Практичні заняття

Заняття 1. Розв'язування задач в рамках кристалічної та оберненої решітки.

Заняття 2. Задачі зі знаходженням ефективних кінетичних характеристик цих тіл.

Заняття 3. Розв'язування задач по коливанням кристалічної решіткою.

Заняття 4. Розв'язання задач із врахування фононів.

Заняття 5. Розв'язування задач стану електронів в періодичному потенціалі.

Заняття 6. Розв'язування задач по транспортних характеристиках газу невзаємодіючих електронів

Самостійна робота аспіранта

Самостійна робота здобувача наукового ступеня доктора філософії є основним засобом засвоєння навчального матеріалу у вільний від навчальних занять час і включає:

Вид самостійної роботи. Кількість годин СРС.

Опрацювання матеріалу лекцій та літератури 25

Виконання практичних завдань 20

Підготовка до контрольної роботи 5

Підготовка до іспиту 20

Політика та контроль

Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог, які викладач ставить перед аспірантом:

- правила відвідування занять: відповідно до Наказу, заборонено оцінювати присутність або відсутність здобувача на аудиторному занятті, в тому числі нараховувати заохочувальні або штрафні бали. Відповідно до робочої навчальної програми даної дисципліни, бали нараховують за відповідні види навчальної активності на лекційних та практичних заняттях.

- правила поведінки на заняттях: аспірант має можливість отримувати бали за відповідні види навчальної активності на лекційних заняттях, передбачені робочої навчальної програми дисципліни. Використання засобів зв'язку для пошуку інформації на гугл-диску викладача, в інтернеті, в дистанційному курсі на платформі Інституту здійснюється за умови вказівки викладача;

- політика дедлайнів та перескладань: якщо аспірант не проходив або не з'явився на модульної контрольної роботи (без поважної причини), його результат оцінюється у 0 балів.

Перескладання результатів модульної контрольної роботи не передбачено;

- політика щодо академічної доброчесності: Положення встановлює загальні моральні принципи, правила етичної поведінки осіб та передбачає політику академічної доброчесності для осіб, що працюють і навчаються в Інституті, якими вони мають керуватись у своїй діяльності, в тому числі при вивченні та складанні контрольних заходів з дисципліни «Фазові переходи та критичні явища»;

- 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

Система оцінювання результатів навчання

Види контролю та система оцінювання результатів навчання

Поточний контроль: опитування за темою заняття, МКР.

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

Семестровий контроль: іспит.

Умови допуску до семестрового контролю: відсутні.

Рейтинг аспіранта з дисципліни складається з балів, які він отримує:

- 1) на практичних заняттях;
- 2) за модульну контрольну роботу (МКР);
- 3) за відповідь на екзамені.

Система рейтингових балів

1) Практичні заняття. Ваговий коефіцієнт дорівнює 10. Максимальна кількість балів, які може отримати аспірант на практичних заняттях становить $4 \times 10 = 40$ балів. Нарахування балів на одному практичному занятті:

- відмінне виконання 10 балів;
- дуже добре або добре виконання 7-9 балів;
- задовільні, достатні відповіді 4-6 балів.

2) Модульна контрольна робота (МКР). Ваговий коефіцієнт дорівнює 20.

Максимальна кількість балів за контрольну роботу становить $1 \times 20 = 20$ балів.

Нарахування балів за контрольну роботу:

- «відмінно», повна відповідь (не менше 90 % потрібної інформації) 18-20 балів;
- «добре», достатньо повна відповідь (не менше 75 % потрібної інформації або незначні неточності) 15-17 балів;
- «задовільно», неповна відповідь (не менше 60 % потрібної інформації та деякі помилки) 11-14 балів;
- «незадовільно», незадовільна відповідь (менше 60 % потрібної інформації) 0.

3). Екзамен. Критерії оцінювання. Завдання містить два теоретичні питання, кожне з яких оцінюються у 20 балів. Всього $2 \times 20 = 40$ балів.

Нарахування балів за екзаменаційну відповідь:

- повна відповідь (не менше 90 % потрібної інформації) 36-40 балів;
- достатньо повна відповідь (не менше 75 % потрібної інформації) 30-35 балів;
- неповна відповідь (не менше 60 % потрібної інформації) 24-29 балів;
- незадовільна відповідь (менше 60 % потрібної інформації) 0.

Накопичування рейтингових балів з навчальної дисципліни

Види навчальної роботи	Мах кількість балів
Виконання самостійних практичних завдань	30
Виконання практичної роботи аудиторно	10
Контрольна робота	20
Іспит	40
Максимальна кількість балів	100

Відповідність шкали оцінювання ЄКТС національній системі оцінювання та ІЯД НАНУ

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ЄКТС	Оцінка за національною шкалою	
		для екзамену (іспиту), диференційованого заліку, курсового проекту (роботи), практики, тренінгу	для заліку
90 – 100	A	відмінно	

82 – 89	B	добре	зараховано
74 – 81	C		
64 – 73	D	задовільно достатньо	не зараховано
60 – 65	E		
35 – 59	FX	незадовільно	не зараховано
1 – 34	F		

Більш детальну інформацію щодо компетентностей, результатів навчання, методів навчання, форм оцінювання, самостійної роботи наведено у Робочій програмі навчальної дисципліни, див сайт ІЯД.

Силабус затверджено на засіданні вченої ради ІЯД НАНУ « 5 » липня 2023 р. Протокол № 6.