

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

Кафедра теоретичної фізики імені академіка І.М.Ліфшиця

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Декан факультету (директор навчально-наукового інституту)

фізичний факультет

(вказати назву структурного підрозділу)


 РОХМІСТРОВ Дмитро Володимирович
(вказати П.І.Б керівника)

2026 р.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Топологічні фази і топологічні фазові переходи

(назва навчальної дисципліни)

рівень вищої освіти перший (бакалаврський)галузь знань 10 Природничі науки

(шифр і назва)

спеціальність 104 – Фізика та астрономія

(шифр і назва)

освітня програма “Фізика”

(шифр і назва)

спеціалізація _____

(шифр і назва)

вид дисципліни за вибором

(обов’язкова / за вибором)

факультет фізичний

2026 / 2027 навчальний рік

Програму рекомендовано до затвердження вченою радою фізичного факультету

“ 27 ” 08 2026 року, протокол № 10

РОЗРОБНИК ПРОГРАМИ:

Філь Дмитро Вячеславович, доктор фіз-мат. наук, с.н.с., професор кафедри теоретичної фізики імені академіка І.М.Ліфшиця

Програму схвалено на засіданні кафедри

теоретичної фізики імені академіка І.М.Ліфшиця

Протокол від “ 26 ” 08 2026 року № 1

Завідувач кафедри

Рашба Г.І.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Програму погоджено з гарантом освітньої (професійної/наукової) програми (керівником проектної групи) фізика (спеціальність 104 – фізика та астрономія)
назва освітньої програми

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

(підпис)

Лазоренко О.В

(прізвище та ініціали)

Програму погоджено науково-методичною комісією

назва факультету, для здобувачів вищої освіти якого викладається навчальна дисципліна

Протокол від “ 26 ” 08 2026 року № 9

Голова науково-методичної комісії

(підпис)

Лазоренко О.В

(прізвище та ініціали)

ВСТУП

Програма навчальної дисципліни “Топологічні фази і топологічні фазові переходи” складена відповідно до освітньо-наукової (освітньо-професійної) програми підготовки першого рівню вищої освіти – бакалавр

спеціальності 104 – фізика та астрономія

освітня програма – фізика

1. Опис навчальної дисципліни

1.1. Мета викладання навчальної дисципліни

Метою викладання навчальної дисципліни «Топологічні фази і топологічні фазові переходи» є формування у студентів сучасних уявлень про топологічну класифікацію квантових фаз матерії, які не описуються традиційною теорією фазових переходів Ландау. Дисципліна передбачає формування знань про використання топологічних інваріантів у зонній теорії твердого тіла, фізичні властивості топологічних ізоляторів, топологічних надпровідників, вейлівських напівметалів і спінових систем із майоранівськими ферміонами, а також про топологічні фазові переходи, що не супроводжуються порушенням симетрії. Курс формує основу для розуміння сучасних напрямів фізики конденсованого стану, фотоніки та квантових технологій.

1.2. Основні завдання вивчення дисципліни:

- сформувати у студентів знання про сучасні підходи та концепції квантової теорії конденсованого стану, що виходять за межі традиційних курсів квантової механіки й теорії твердого тіла, зокрема про топологічний підхід до класифікації фаз матерії;
- навчити студентів застосовувати поняття геометричної фази, топологічних інваріантів і симетрій для опису електронної структури та фізичних властивостей топологічних матеріалів;
- сформувати у студентів уявлення про сучасні напрями розвитку фізики конденсованого стану, зокрема про геометричні фази, топологічно захищені крайові та поверхневі стани, майоранівські моди, фазовий перехід Березинського–Костерліца–Таулеса та інші топологічні явища.

1.3. Кількість кредитів – 5.

1.4. Загальна кількість годин – 150.

1.5. Характеристика навчальної дисципліни
За вибором
Денна форма навчання
Рік підготовки
4-й
Семестр
8-й
Лекції
48 год.
Практичні, семінарські заняття
24 год.
Лабораторні заняття
Не передбачені навчальним планом
Самостійна робота
78 год.
Індивідуальні завдання
Курсова робота
Екзамен

1.6. Перелік компетентностей, що формує дана дисципліна.:

- Здатність розв'язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми з фізики та/або астрономії у професійній діяльності або у процесі подальшого навчання, що передбачає застосування певних теорій і методів фізики та/або астрономії і характеризується складністю та невизначеністю умов (ІК).
- Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу (ЗК-1).
- Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях (ЗК-2).
- Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій (ЗК-3).
- Здатність бути критичним і самокритичним (ЗК-4).
- Здатність приймати обґрунтовані рішення (ЗК-5).
- Навички міжособистісної взаємодії (ЗК-6).
- Здатність оцінювати та забезпечувати якість виконуваних робіт (ЗК-8).
- Визначеність і наполегливість щодо поставлених завдань і взятих обов'язків (ЗК-9).
- Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово (ЗК-12).
- Здатність спілкуватися іноземною мовою (ЗК-13).
- Знання і розуміння теоретичного та експериментального базису сучасної фізики та астрономії (ФК-1).
- Здатність працювати із науковим обладнанням та вимірювальними приладами, обробляти та аналізувати результати досліджень (ФК-4).
- Здатність виконувати обчислювальні експерименти, використовувати чисельні методи для розв'язування фізичних та астрономічних задач і моделювання фізичних систем (ФК-5).
- Здатність моделювати фізичні системи та астрономічні явища і процеси (ФК-6).
- Здатність використовувати базові знання з фізики та астрономії для розуміння будови та поведінки природних і штучних об'єктів, законів існування та еволюції Всесвіту (ФК-7).
- Здатність працювати з джерелами навчальної та наукової інформації (ФК-9).
- Здатність самостійно навчатися і опановувати нові знання з фізики, астрономії та суміжних галузей (ФК-10).
- Усвідомлення професійних етичних аспектів фізичних та астрономічних досліджень (ФК-12).
- Орієнтація на найвищі наукові стандарти - обізнаність щодо фундаментальних відкриттів та теорій, які суттєво вплинули на розвиток фізики, астрономії та інших природничих наук. (ФК-13).
- Здатність здобувати додаткові компетентності через вибіркові складові освітньої програми, самоосвіту, неформальну та інформальну освіту (ФК-14).

1.7. Перелік результатів навчання, що формує дана дисципліна.

Програмні результати навчання, що забезпечуються дисципліною:

- Знати, розуміти та вміти застосовувати на базовому рівні основні положення загальної та теоретичної фізики, зокрема, класичної, релятивістської та квантової механіки, молекулярної фізики та термодинаміки, електромагнетизму, хвильової та квантової оптики, фізики атома та атомного ядра для встановлення, аналізу, тлумачення, пояснення й класифікації суті та механізмів різноманітних фізичних явищ і процесів для розв'язування складних спеціалізованих задач та практичних проблем з фізики та/або астрономії (ПРН-1).
- Знати і розуміти фізичні основи астрономічних явищ: аналізувати, тлумачити, пояснювати і класифікувати будову та еволюцію астрономічних об'єктів Всесвіту (планет, зір, планетних систем, галактик тощо), а також основні фізичні процеси, які відбуваються в них (ПРН-2).
- Знати і розуміти експериментальні основи фізики: аналізувати, описувати, тлумачити та пояснювати основні експериментальні підтвердження існуючих фізичних теорій (ПРН-3).
- Знати основні актуальні проблеми сучасної фізики та астрономії (ПРН-5).

- Оцінювати вплив новітніх відкриттів на розвиток сучасної фізики та астрономії (ПРН-6).
- Розуміти, аналізувати і пояснювати нові наукові результати, одержані у ході проведення фізичних та астрономічних досліджень відповідно до спеціалізації (ПРН-7).
- Мати базові навички самостійного навчання: вміти відшукувати потрібну інформацію в друкованих та електронних джерелах, аналізувати, систематизувати, розуміти, тлумачити та використовувати її для вирішення наукових і прикладних завдань (ПРН-8).
- Вміти упорядковувати, тлумачити та узагальнювати одержані наукові та практичні результати, робити висновки (ПРН-11).
- Розуміти зв'язок фізики та/або астрономії з іншими природничими та інженерними науками, бути обізнаним з окремими (відповідно до спеціалізації) основними поняттями прикладної фізики, матеріалознавства, інженерії, хімії, біології тощо, а також з окремими об'єктами (технологічними процесами) та природними явищами, що є предметом дослідження інших наук і, водночас, можуть бути предметами фізичних або астрономічних досліджень (ПРН-13).
- Знати і розуміти роль і місце фізики, астрономії та інших природничих наук у загальній системі знань про природу та суспільство, у розвитку техніки й технологій та у формуванні сучасного наукового світогляду (ПРН-17).
- Розуміти значення фізичних досліджень для забезпечення сталого розвитку суспільства (ПРН- 22).
- Розуміти історію та закономірності розвитку фізики та астрономії (ПРН-23).
- Розуміти місце фізики та астрономії у загальній системі знань про природу і суспільство та у розвитку суспільства, техніки і технологій (ПРН-24).
- Мати навички самостійного прийняття рішень стосовно своїх освітньої траєкторії та професійного розвитку (ПРН-25).

1.8. Пререквізити

Для вивчення даного спецкурсу студент повинен попередньо прослухати й успішно скласти навчальні дисципліни, що належать до фундаментальної фізико-математичної підготовки, а саме:

Математичний аналіз;
 Аналітична геометрія та лінійна алгебра;
 Диференціальні та інтегральні рівняння;
 Основи векторного і тензорного аналізу;
 Комплексний аналіз;
 Теорія ймовірностей та математична статистика;
 Інформатика, програмування та математичне моделювання;
 Методи математичної фізики;
 Основи фізики конденсованого стану;
 Механіка;
 Електрика і магнетизм;
 Оптика;
 Класична механіка;
 Електродинаміка;
 Квантова механіка.

2. Тематичний план навчальної дисципліни

Розділ 1. Вступ до топології у фізиці

Тема 1. Фази матерії: традиційна класифікація і проблема класифікації фаз без порушення симетрії

Поняття фази матерії та фазового переходу. Класифікація фаз у межах теорії Ландау. Параметр порядку і спонтанне порушення симетрії. Обмеження теорії Ландау. Приклади квантових фаз, що не характеризуються локальним параметром порядку. Основні ідеї топологічної класифікації фаз матерії.

Розділ 2. Фаза Беррі і квантовий ефект Холла

Тема 2. Фаза Беррі і її застосування в теорії кристалічних систем.

Адіабатична еволюція квантових станів. Геометрична фаза Беррі та її фізичний зміст. Зв'язність і кривина Беррі. Розрахунок фази Беррі на прикладі двовимірної системи. Фаза Беррі для спіну в магнітному полі. Фаза Беррі та штучні калібрувальні поля. Фаза Беррі та число Черна. Приклади розрахунку чисел Черна енергетичних зон двовимірних моделей.

Тема 3. Крайові стани в теорії квантового ефекту Холла

Квантовий ефект Холла. Розв'язання задачі про крайові стани у двовимірних електронних системах у квантуючому магнітному полі. Диск Корбіно: рівні Ландау в симетричному калібруванні. Спектральний потік між крайовими станами та квантування холлівської провідності.

Тема 4. Топологічний інваріант у теорії квантового ефекту Холла

Число Черна як топологічний інваріант. Зв'язок між числом Черна та квантованою холлівською провідністю. Принцип відповідності між топологічними інваріантами та крайовими станами. Оператор магнітних трансляцій. Метелик Хофштадтера. Розрахунок чисел Черна енергетичних зон метелика Хофштадтера.

Розділ 3. Топологічні ізолятори

Тема 5. Оператор обернення часу. Симетрія гамільтоніана відносно обернення часу

Оператор обернення часу у квантовій механіці. Оператор обернення часу для операторів народження та знищення безспінових частинок і частинок зі спіном $\frac{1}{2}$. Теорема Крамерса. Умови T і P симетрії гамільтоніанів електронних систем, записаних через оператори вторинного квантування.

Тема 6. Гамільтоніан графену і його симетрії

Гамільтоніан моношарового графену в наближенні сильного зв'язку. Симетрія гамільтоніана графену відносно обернення часу та просторової інверсії. Рівні Ландау в моношаровому графені. Гамільтоніан двошарового графену в наближенні сильного зв'язку. Ефективний двозонний гамільтоніан двошарового графену. Рівні Ландау в двошаровому графені.

Тема 7. Моделі ізоляторів Черна. Крайові моди в ізоляторах Черна

Модель Холдейна та модель Ку–Ву–Чжана як приклади ізоляторів Черна. Розрахунок числа Черна ізоляторів Черна. Крайові моди в моделі Холдейна для ізолятора Черна. Крайові моди в моделі Ку–Ву–Чжана для ізолятора Черна.

Тема 8. Моделі топологічних ізоляторів. Спіновий квантовий ефект Холла

Модель Кейна–Меле. Інваріантність моделі Кейна–Меле відносно обернення часу. Спіновий квантовий ефект Холла. Модель Кейна–Меле з взаємодією Рашби. модель Бертвіга–Г'юза–Чжана (BNZ-модель) топологічного ізолятора. Крайові стани в BNZ-моделі топологічного ізолятора. Захист крайових мод симетрією обернення часу. Балістичний транспорт крайовими станами.

Тема 9. Топологічні інваріанти в теорії топологічних ізоляторів

Z_2 -топологічний інваріант. Методи його обчислення. Топологічна класифікація ізоляторів із симетрією обернення часу. Зв'язок топологічних інваріантів зі спектром крайових станів.

Z_2 -інваріанти в теорії тривимірних топологічних ізоляторів. Сильні та слабкі тривимірні топологічні ізолятори. Квантовий ефект Холла на поверхні топологічного ізолятора.

Розділ 4. Топологічні надпровідники і вейлівські напівметали

Тема 10. Моделі топологічних надпровідників

Боголюбовські квазічастинки та формалізм Боголюбова–де Жена. Одновимірні та двовимірні моделі топологічних надпровідників.

Тема 11. Майоранівські моди і їх фізична реалізація

Майоранівські ферміони у фізиці конденсованого стану. Нульові майоранівські моди. Ланцюжок Кітаєва. Реалізація майоранівських станів у гібридних надпровідникових структурах.

Тема 12. Майоранівські ферміони в спінових системах. Спінова модель Кітаєва

Спінова модель Кітаєва на гексагональній ґратці. Представлення спінових операторів через майоранівські ферміони. Точний розв'язок моделі та її основні властивості. Спектр елементарних збуджень. Топологічні фази моделі Кітаєва.

Тема 13. Точки Вейля і фермі-дуги у спектрі вейлівських напівметалів

Вейлівські ферміони у кристалах. Вейлівські точки як джерела кривини Беррі. Фермі-дуги на поверхні кристалів. Хіральна аномалія та транспортні властивості вейлівських напівметалів.

Розділ 5. Перехід Березинського–Костерліца–Таулеса

Тема 14. Фазові переходи в двовимірних системах

Нестійкість Ландау–Пайєрлса. Бозе-конденсація у двовимірних системах. Теорема Мерміна–Вагнера. Двовимірна XY-модель: степеневе спадання кореляцій. Топологічні дефекти у вигляді вихорів у 2D XY-моделі. Температура переходу Березинського–Костерліца–Таулеса (БКТ). Рівняння для температури БКТ-переходу з урахуванням хвильових збуджень. Температура розпарювання вихрових пар.

Тема 15. Взаємодія квантових вихорів і перехід Березинського–Костерліца–Таулеса

Енергія взаємодії вихрових пар. Вплив вихорів на фазову жорсткість як механізм переходу Березинського–Костерліца–Таулеса. Ренормалізаційний опис переходу. Універсальний стрибок густини надплинної компоненти.

Тема 16. БКТ перехід в надпровідниках

Еквівалентність моделі сітки джозефсонівських контактів і XY-моделі. Опис розпарювання вихрових пар у сітці джозефсонівських контактів за допомогою рівняння Фоккера–Планка. Степенева нелінійність вольт-амперної характеристики нижче точки переходу як ознака БКТ-переходу.

3. Структура навчальної дисципліни

Назви розділів і тем	Кількість годин					
	денна форма					
	усього	у тому числі				
		л	п	лаб.	інд.	с. р.
1	2	3	4	5	6	7
Розділ 1. Вступ до топології у фізиці						
Тема 1	4	2				2
Разом за розділом 1	4	2				2
Розділ 2. Фаза Беррі і квантовий ефект Холла						
Тема 2	12	4	2			6
Тема 3	12	4	2			6

Тема 4	12	4	2			6
Разом за розділом 2	36	12	6			18
Розділ 3. Ізолятори Черна і топологічні ізолятори						
Тема 5	8	2	2			4
Тема 6	8	2	2			4
Тема 7	12	4	2			6
Тема 8	12	4	2			6
Тема 9	12	4	2			6
Разом за розділом 3	52	16	8			26
Розділ 4. Топологічні надпровідники і вейлівські напівметали						
Тема 10	8	2	2			4
Тема 11	8	2	2			4
Тема 12	6	2				4
Тема 13	6	2				4
Разом за розділом 4	28	8	4			16
Розділ 5. Перехід Березинського-Костерліца-Таулеса						
Тема 14	12	4	2			6
Тема 15	10	4				6
Тема 16	8	2	2			4
Разом за розділом 5	30	10	4			16
Усього годин	150	48	24			78

4. Теми практичних занять (семінарів).

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Геометрична фаза Беррі та її застосування в зонній теорії	2
2	Крайові стани у квантовому ефекті Холла	2
3	Число Черна і квантовий ефект Холла	2
4	Симетрія обернення часу	2
5	Симетрії та електронний спектр графену	2
6	Ізолятори Черна	2
7	Моделі топологічних ізоляторів	2
8	Топологічні інваріанти топологічних ізоляторів	2
9	Топологічні надпровідники	2
10	Майоранівські моди	2
11	Топологічні фазові переходи	2
12	БКТ-перехід у надпровідниках	2
	Усього годин	24

5. Завдання для самостійної роботи

Пояснення щодо того, що повинен зробити студент під час самостійної роботи:

1. По всім нижче вказаним темам опрацювати конспекти лекцій, прочитати відповідні параграфи в підручниках та монографіях;
2. Самостійно готуватися до семінарських занять;

3. Самостійно виконувати завдання з комп'ютерного моделювання з використанням Python або Wolfram Cloud.
4. Самостійно підготувати письмову доповідь на семінарі.
5. Самостійно зробити індивідуальне завдання і оформити його як курсову роботу.

№ з/п	Види, зміст самостійної роботи	Кількість Годин
1	Опрацювати теоретичний матеріал щодо класифікації фаз матерії. Порівняти класифікацію фаз у теорії Ландау та топологічний підхід. Проаналізувати приклади квантових фаз, що не описуються локальним параметром порядку.	2
2	Опрацювати теоретичний матеріал щодо геометричної фази Беррі. Реалізувати чисельний розрахунок кривини Беррі та числа Черна на дискретній сітці в просторі квазіімпульсів.	6
3	Опрацювати теоретичний матеріал щодо квантового ефекту Холла та крайових станів. Чисельно побудувати спектр крайових станів у геометрії смуги та дослідити його залежність від магнітного поля.	6
4	Опрацювати теоретичний матеріал щодо топологічних інваріантів у квантовому ефекті Холла. Аналітично розрахувати число Черна n-го рівня Ландау. Численно дослідити спектр метелика Хофштадтера та чисел Черна енергетичних зон.	6
5	Опрацювати теоретичний матеріал щодо симетрії обернення часу. Освоїти методи перевірки симетрії гамільтоніана, записаного через тензорні добутки матриць Паулі.	4
6	Опрацювати теоретичний матеріал щодо електронних властивостей графену. Побудувати чисельно зонну структуру моношарового та двошарового графену і дослідити вплив параметрів моделі на спектр. Порівняти спектри та рівні Ландау моношарового і двошарового графену.	4
7	Опрацювати теоретичний матеріал щодо моделей ізоляторів Черна. Чисельно розрахувати число Черна для різних значень параметрів моделей Холдейна та Ку–Ву–Чжана.	6
8	Опрацювати теоретичний матеріал щодо моделей топологічних ізоляторів. Чисельно розрахувати спектр моделі Кейна–Меле та BNZ- моделі.	6
9	Опрацювати теоретичний матеріал щодо Z_2 -топологічних інваріантів. Ознайомитися з методами їх визначення. Проаналізувати відмінності між сильними і слабкими топологічними ізоляторами. Реалізувати чисельний розрахунок Z_2 -інваріанта для заданої моделі топологічного ізолятора.	6
10	Опрацювати теоретичний матеріал щодо моделей топологічних надпровідників. Проаналізувати формалізм Боголюбова–де Жена. Побудувати спектр одновимірної моделі топологічного надпровідника та визначити умови переходу до топологічної фази.	4
11	Опрацювати теоретичний матеріал щодо майоранівських мод. Ознайомитися із сучасними експериментальними підходами до їх реалізації. Розрахувати спектр скінченного ланцюжка Кітаєва та дослідити локалізацію майоранівських крайових станів.	4
12	Опрацювати теоретичний матеріал щодо спінової моделі Кітаєва. Проаналізувати точний розв'язок моделі та представлення	4

	спінових операторів через майоранівські ферміони. Побудувати чисельно фазову діаграму спінової моделі Кітаєва та визначити області існування різних топологічних фаз.	
13	Опрацювати теоретичний матеріал щодо вейлівських напівметалів. Проаналізувати виникнення вейлівських точок і поверхневих фермі-дуг. Розрахувати зонну структуру моделі вейлівського напівметалу та побудувати поверхневі фермі-дуги.	4
14	Опрацювати теоретичний матеріал щодо фазових переходів у двовимірних системах. Проаналізувати причини відсутності далекого порядку. Реалізувати комп'ютерне моделювання двовимірної ХУ-моделі методом Монте-Карло та дослідити температурну залежність параметрів системи.	6
15	Опрацювати теоретичний матеріал щодо механізму БКТ-переходу. Проаналізувати механізм розпарювання вихорів та універсальний стрибок густини надплинної компоненти. Розрахувати температуру БКТ-переходу методом ренорм-групи.	6
16	Опрацювати теоретичний матеріал щодо БКТ-переходу в надпровідниках. Проаналізувати аналогію між ХУ-моделлю та сіткою джозефсонівських контактів. Дослідити степеневу нелінійність вольт-амперної характеристики поблизу температури переходу.	4
	Усього годин	78

6. Індивідуальні завдання Теми курсових робіт

1. Аналітичне дослідження симетрії узагальненої моделі Кейна-Меле топологічного ізолятора.
2. Аналітичний і чисельний розрахунок числа Черна для ґраткових моделей.
3. Чисельний аналіз спектра метелика Хофштадтера та розрахунок чисел Черна для заданого магнітного потоку.
4. Розрахунок Z_2 -інваріанта для узагальнених BNZ-моделей топологічного ізолятора.
5. Аналіз рівнів Ландау в тришаровому графені.
6. Аналіз крайових мод на межі поділу двох ізоляторів Черна на прикладі моделі Холдейна.
7. Чисельне дослідження топологічного фазового переходу в моделі Кейна–Меле зі взаємодією Рашби.
8. Чисельний розрахунок спектра крайових станів у моделі Холдейна для геометрії смуги.
9. Чисельне дослідження майоранівських мод в одновимірній моделі Кітаєва.
10. Чисельний розрахунок спектра спінової моделі Кітаєва та аналіз її топологічних фаз.

7. Методи навчання

Під час викладання навчальної дисципліни використовуються такі методи навчання:

1. словесні методи: лекція, пояснення, бесіда, навчальна дискусія;
2. наочні методи: демонстрація схем, графіків, математичних моделей, комп'ютерних ілюстрацій;
3. практичні методи: розв'язування задач, виконання аналітичних розрахунків, аналіз фізичних моделей;

4. проблемно-пошукові методи: постановка та розв'язання проблемних задач, аналіз фізичних процесів, обговорення альтернативних підходів до опису нерівноважних систем;
5. дослідницькі методи: виконання комп'ютерного моделювання топологічних фазових переходів.
6. методи самостійної роботи: опрацювання наукової та навчальної літератури, виконання завдань.;

8. Методи контролю

Поточне опитування, підготовка письмової доповіді для виступу на семінарі, виступ на семінарі, написання та захист курсової роботи, екзамен.

9. Схема нарахування балів

		Поточний контроль, самостійна робота, індивідуальні завдання			Екзамен	Сума
Розділи 1-5 (Т1-Т16)				Разом		
Поточне опитування	Письмова доповідь	Виступ з доповіддю на семінарі	Курсова робота			
10	10	20	20	60	40	100

Для зарахування розділів 1-5 треба набрати у підсумку не менше 5 балів за результатами поточного опитування та участі у семінарських заняттях за кожний з розділів. Треба представити письмову доповідь для виступу на семінарі й набрати за неї не менше 5 балів. Виступити з усною доповіддю на семінарі та набрати за виступ не менше 10 балів. Для зарахування курсової роботи треба набрати у підсумку не менше 10 балів.

Екзамен зданий, якщо сумарна оцінка за письмову екзаменаційну роботу не менше 20 балів, а сумарний підсумковий бал не менше 50 балів.

Критерії оцінювання навчальних досягнень

Письмова доповідь (презентація), підготовлена для виступу на семінарі, оцінюється за такими критеріями:

- оформлення – 25 %;
- повнота розкриття теми – 25 %;
- коректність викладеного матеріалу – 25 %;
- доступність і зрозумілість викладу для аудиторії – 25 %.

Виступ на семінарі оцінюється за такими критеріями:

- розуміння матеріалу – 50 %;
- уміння чітко і зрозуміло викласти матеріал – 50 %.

Курсова робота оцінюється за такими критеріями:

- повнота розкриття теми – 50 %;
- коректність розрахунків і отриманих результатів – 50 %.

Екзаменаційний білет складається з трьох теоретичних питань і одного практичного завдання. Кожне питання оцінюється в 10 балів. У відповіді на теоретичні питання студент повинен продемонструвати знання теоретичних основ навчальної дисципліни «Топологічні фази і топологічні фазові переходи», розуміння основних понять, термінів, фізичних принципів і моделей, що використовуються в курсі.

Максимальні бали виставляються в разі чіткої, логічної, послідовної відповіді на поставлене питання, з висновками основних формул, формулюванням фізичних законів

У процесі оцінювання теоретичних завдань екзаменаційного білету враховуються:

1. повнота розкриття питання (80%);
2. логічна послідовність викладення матеріалу у відповіді на завдання (20%).

Відповідь має бути обґрунтованою, з посиланням на відповідні фізичні закони та рівняння, з послідовними розрахунками всіх основних формул, доведеними до кінцевого результату з чіткою відповіддю на поставлене питання. За рішення задачі (практичного завдання) нараховуються такі бали:

- Повна та послідовно обґрунтована відповідь отримує оцінку 10 балів у випадку, коли студент отримав правильну відповідь і продемонстрував метод і спосіб її отримання.
- Оцінка 8-9 балів виставляється за відповідь, в якій є несуттєві похибки в логіці викладу,
- Відповідь на питання отримує оцінку 5-7 балів, коли студент не отримав правильну відповідь, але використав коректний метод і спосіб її отримання, або написав тільки кінцеву формулу без пояснень та виводу.
- Відповідь на питання отримує оцінку 0-4 балів, коли студент не отримав правильну відповідь, причому метод і спосіб розв'язання завдання були не вірними.

Екзамен зданий, якщо сумарна оцінка за письмову екзаменаційну роботу не менше 20 балів, а сумарний підсумковий бал не менше 50 балів.

Під час вивчення навчальної дисципліни використання технологій штучного інтелекту (ШІ) здійснюється відповідно до Політики використання технологій штучного інтелекту Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна.

У межах дисципліни застосовуються такі моделі використання ШІ:

1. Модель «ШІ заборонено».

Використання технологій штучного інтелекту не допускається під час виконання контрольних заходів, спрямованих на перевірку індивідуальних знань і сформованості компетентностей здобувача освіти, зокрема: усного опитування, модульних контрольних робіт, екзамену (заліку), якщо інше не визначено викладачем, інших видів оцінювання, для яких викладачем встановлено обмеження щодо використання ШІ.

2. Модель «ШІ як асистент».

Під час підготовки до практичних занять, виконання індивідуальних завдань, рефератів, аналітичних оглядів та інших письмових робіт дозволяється використання ШІ для: пошуку та систематизації інформації, добору та первинного аналізу наукових джерел, пояснення складних понять, удосконалення структури тексту, перевірки граматики, стилю та оформлення, генерації ідей, плану роботи або прикладів.

Фінальний текст роботи, висновки, аналіз, інтерпретація результатів та прийняті рішення повинні бути самостійно підготовлені здобувачем освіти.

3. Модель «ШІ як інструмент».

Для окремих лабораторних, практичних, проєктних або дослідницьких робіт використання технологій штучного інтелекту може бути обов'язковою складовою виконання завдання. У таких випадках здобувачі освіти можуть використовувати генеративні моделі ШІ для: аналізу та підготовки даних, генерації, аналізу й оптимізації програмного коду, порівняння результатів роботи різних моделей ШІ, створення візуалізацій, схем або зображень, аналізу великих масивів даних. проведення експериментів із застосуванням сучасних інструментів штучного інтелекту.

Усі результати, отримані за допомогою ШІ, підлягають критичному аналізу, перевірці та доопрацюванню здобувачем освіти.

Декларування використання ШІ.

У разі використання технологій штучного інтелекту здобувач освіти зобов'язаний зазначити: назву сервісу або моделі ШІ; дату використання; характер допомоги (генерація ідей, пошук інформації, аналіз даних, генерація коду, редагування тексту тощо).

За вимогою викладача здобувач освіти повинен надати використані запити (prompts) або пояснити спосіб використання інструментів ШІ.

Недеклароване використання технологій штучного інтелекту або подання згенерованого ШІ матеріалу як власного результату навчальної діяльності розглядається як порушення принципів академічної доброчесності відповідно до внутрішніх нормативних документів Університету.

Шкала оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру	Оцінка за національною шкалою	
	для чотирирівневої шкали оцінювання	для дворівневої шкали оцінювання
90 – 100	відмінно	зараховано
70-89	добре	
50-69	задовільно	
1-49	незадовільно	не зараховано

10. Рекомендована література

Основна література

1. B. Andrei Bernevig with Taylor L. Hughes, “Topological insulators and topological superconductors”, Princeton university press, Princeton and Oxford, 2013.
2. Shun-Qing Shen. Topological Insulators Dirac Equation in Condensed Matters, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2012.
3. P.M.Chaikin, T.S.Lubensky. Principles of condensed matter physics. Cambridge University Press 1995.
4. T. D. Stanescu. Introduction to Topological Quantum Matter & Quantum Computation. Second Edition. CRC Press, 2024.
5. 7 M. Guidry, Y. Sun. Symmetry, Broken Symmetry, and Topology in Modern Physics A First Course. Cambridge University Press 2022
6. Barry Bradlyn and Mikel Iraola, Lecture notes on Berry phases and topology, Sci Post Phys. Lect. Notes 51 (2022), doi: 10.21468/Sci Post Phys Lect Notes.51
7. Yuji Matsuda, Takasada Shibauchi, Hae-Young Kee, Kitaev Quantum Spin Liquids, Rev. Mod. Phys. 97, 045003 (2025).
8. N. P. Armitage, E. J. Mele, and Ashvin Vishwanath, Weyl and Dirac semimetals in three-dimensional solids, Rev. Mod. Phys. **90**, 015001 (2018).
9. C.W.J. Beenakker, Search for Majorana Fermions in Superconductors, Annu. Rev. Condens. Matter Phys. 4:113–36 (2013).

Допоміжна література

1. J. H. Davies. The physics of low dimensional semiconductors. Cambridge University Press, 1998.
2. S.M.Girvin. The Quantum Hall Effect: Novel Excitations and Broken Symmetries <http://arxiv.org/abs/cond-mat/9907002>.
3. G. Tkachov. Topological Insulators The Physics of Spin Helicity in Quantum Transport Grigory Tkachov Pan Stanford Publishing . 2016.

4. H. Castro Neto, F. Guinea, N. M. Peres, K. S. Novoselov, A. K. Geim. The electronic properties of graphene, Review of Modern Physics. **81**, 109 (2009).
5. M. Z. Hasan, C. L. Kane. Topological Insulators, Review of Modern Physics **82**, 3045 (2010).
6. J. Dalibard, F. Gerbier, G. Juzeliunas, Patrik Ohberg, Artificial gauge potentials for neutral atoms, Review of Modern Physics **83**, 1523 (2011).
7. Mikhail I. Katsnelson, "Graphene. Carbon in two dimensions", Cambridge university press, Cambridge, 2012.

11. Посилання на інформаційні ресурси в Інтернеті, відео-лекції, інше методичне забезпечення

1. Учбові матеріали на сайті кафедри теоретичної фізики

http://kaf-theor-phys.univer.kharkov.ua/ukrainian/for%20students_study_ukr.html

http://kaf-theor-phys.univer.kharkov.ua/ukrainian/for%20students_ref_ukr.html

2. Конспект лекцій нобелівського лауреата А.Леггетта "Physics in Two Dimensions" в університеті Іллінойсу

<https://courses.physics.illinois.edu/phys598PTD/fa2013>