МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Львівський національний університет імені Івана Франка
Фізичний факультет
Кафедра теоретичної фізики імені професора Івана Вакарчука

Затверджено

На засіданні кафедри теоретичної фізики імені
професора Івана Вакарчука
фізичного факультету
Львівського національного університету
імені Івана Франка
(протокол № 1 від 31.08.2022 р.)

Завідувач кафедри професор В. М. Ткачук

Силабус
з навчальної дисципліни «Квантова статистика», що викладається в межах ОПП «Фізика та астрофізика» першого (бакалаврського) рівня вищої освіти для здобувачів з спеціальності 104 Фізика та астрономія

Львів 2022

Назва дисципліни	Квантова статистика
Адреса викладання дисципліни	вул. Драгоманова, 12, 79005, м. Львів
Факультет та кафедра, за якою закріплена дисципліна	фізичний факультет, кафедра теоретичної фізики імені професора Івана Вакарчука
Галузь знань, шифр та назва спеціальності	Галузь знань — 10 Природничі науки Спеціальність — 104 Фізика та астрономія
Викладачі дисципліни	професор кафедри теоретичної фізики імені професора Івана Вакарчука, д.ф.-м.н., проф. Держко Олег Володимирович
Контактна інформація викладачів	derzhko@icmp.lviv.ua; oleg.derzhko@gmail.com
Консультації з курсу відбуваються	Консультації в день проведення лекцій та лабораторних занять (за попередньою домовленістю). Також можливі консультації через електронну пошту або он-лайн засобами Zoom, Microsoft Teams, Skype.
Сторінка курсу	https://physics.lnu.edu.ua/course/kvantova-statystychna-fizyka-fizyka
Інформація про дисципліну	Дисципліна «Квантова статистика» є нормативною і розрахована на слухачів спеціальності «104 Фізика та астрономія» освітнього рівня бакалавра. Її викладають у VIII семестрі в обсязі 4 кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS).
Коротка анотація дисципліни	Курс розроблено таким чином, щоб стисло подати основи квантової статистики: представлення чисел заповнення, теорія надплинності, теорія надпровідності, а також магнетизм металів та ізоляторів.
Мета та цілі дисципліни	Метою і завданням навчальної дисципліни «Квантова статистика» є формування в майбутнього фізика цілісної картини фізичних явищ, пов'язаних із статистикою тотожних квантових частинок. Це передбачає виклад основ теорії колективних явищ у багаточастинкових квантових системах, засвоєння математичного апарату, вивчення теорії надплинності, надпровідності та магнетизму.
Література для вивчення дисципліни	**Базова:** 1. М. М. Боголюбов, *Лекції з кванової статистики,* К.: Радянська школа, 1949. 2. І. В. Стасюк, *Функції Гріна у квантовій статистиці твердих тіл*, Львів: ЛНУ ім. І.Франка, 2013. 3. А. А. Абрикосов, Л. П. Горьков, И. Е. Дзялошинский, *Методы квантовой теории поля в статистической физике*, Москва: Физматгиз, 1962. **Допоміжна:** 1. В. Б. Кобилянський, *Статистична фізика,* Київ: Вища школа, 1972. 2. Д. Н. Зубарев, *Неравновесная статистическая термодинамика*, Москва: Наука, 1971. **Інформаційні ресурси:** 1. Eric Weisstein's World of Physics https://scienceworld.wolfram.com/physics/ 2. Wikipedia. https://www.wikipedia.org 3. The Feynman Lectures on Physics. https://www.feynmanlectures.caltech.edu/
Тривалість курсу	один семестр

Обсяг курсу	120 годин, з яких 64 годин аудиторних занять, з них 32 годин лекцій, 32 годин лабораторних занять, та 56 години самостійної роботи.
Очікувані результати навчання	Курс формує такі загальні (ЗК) та спеціальні компетентності (СК): *Загальні компетентності:* **К01**. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу. **К06**. Навички міжособистісної взаємодії. *Спеціальні компетентності:* **К16**. Знання і розуміння теоретичного та експериментального базису сучасної фізики та астрономії. **К18**. Здатність оцінювати порядок величин у різних дослідженнях, так само як точності та значимості результатів. **К21**. Здатність моделювати фізичні системи та астрономічні явища і процеси. **К23**. Здатність виконувати теоретичні та експериментальні дослідження автономно та у складі наукової групи. **К24**. Здатність працювати з джерелами навчальної та наукової інформації. **К25**. Здатність самостійно навчатися і опановувати нові знання з фізики, астрономії та суміжних галузей. **К26**. Розвинуте відчуття особистої відповідальності за достовірність результатів досліджень та дотримання принципів академічної доброчесності разом з професійною гнучкістю. **К28**. Орієнтація на найвищі наукові стандарти – обізнаність щодо фундаментальних відкриттів та теорій, які суттєво вплинули на розвиток фізики, астрономії та інших природничих наук. *Програмні результати навчання (ПР),* на досягнення яких спрямоване вивчення курсу: **ПР01**. Знати, розуміти та вміти застосовувати 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. **ПР03**. Знати і розуміти експериментальні основи фізики: аналізувати, описувати, тлумачити та пояснювати основні експериментальні підтвердження існуючих фізичних теорій. **ПР04**. 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. **ПР05**. Знати основні актуальні проблеми сучасної фізики та астрономії. **ПР06**. Оцінювати вплив новітніх відкриттів на розвиток сучасної фізики та астрономії.

	ПР08. Мати базові навички самостійного навчання: вміти відшуковувати потрібну інформацію в друкованих та електронних джерелах, аналізувати, систематизувати, розуміти, тлумачити та використовувати її для вирішення наукових і прикладних завдань. **ПР11**. Вміти упорядковувати, тлумачити та узагальнювати одержані наукові та практичні результати, робити висновки. **ПР12**. Вміти представляти одержані наукові результати, брати участь у дискусіях стосовно змісту і результатів власного наукового дослідження. **ПР24**. Розуміти місце фізики та астрономії у загальній системі знань про природу і суспільство та у розвитку суспільства, техніки і технологій.
Ключові слова	Представлення чисел заповнення; надплинність; надпровідність; електронні кореляції і магнетизм.
Формат курсу	Очний
Теми	Див. Табл. 1 Схема курсу
Підсумковий контроль, форма	Іспит у кінці VIII семестру. Форма: Письмово-усний.
Пререквізити	Для вивчення курсу студенти потребують знань із таких дисциплін: математичний аналіз, векторний аналіз, диференціальні рівняння, квантова механіка, термодинаміка і статистична механіка.
Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу	Презентація, лекції, розв'язування задач. Передбачено ілюстрування лекційного матеріалу схемами та рисунками.
Необхідне обладнання	персональний комп'ютер, загальновживані комп'ютерні програми й операційні системи, проєктор
Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)	Оцінювання проводиться за 100-бальною шкалою. Бали нараховуються за таким співвідношенням: • робота на лабораторних заняттях під час семестру (усереднена оцінка), 50% семестрової оцінки; максимальна кількість балів — 50; • результати іспиту: 50% підсумкової оцінки; максимальна кількість балів — 50; Підсумкова максимальна кількість балів — 100. **Письмові роботи:** Очікується, що студенти підсумують результати 4 лабораторних робіт. **Академічна доброчесність:** Очікується, що лабораторні роботи студентів будуть оригінальними. Списування, втручання в роботу інших студентів становлять, але не обмежують, приклади можливої академічної недоброчесності. Виявлення ознак академічної недоброчесності в письмовій роботі студента є підставою для її незарахуванння викладачем, незалежно від масштабів плагіату чи обману. **Відвідання занять** є важливою складовою навчання. Очікується, що всі студенти відвідають усі лекції і лабораторні заняття курсу. Студенти мають інформувати викладача про неможливість відвідати заняття. У будь-якому випадку студенти зобов'язані дотримуватися усіх строків, визначених для виконання усіх видів письмових робіт, передбачених курсом. **Література.** Усю літературу, яку студенти не зможуть знайти

	самостійно, буде надано викладачами виключно в освітніх цілях без права її передавання третім особам. Студенти заохочуються до використання також й іншої літератури та джерел, яких немає серед рекомендованих. **Політика виставлення балів.** Враховуються бали, набрані за роботу на лабораторних заняттях та на іспиті. При цьому обов'язково враховуються присутність на заняттях та активність студента під час заняття; недопустимість пропусків та запізнень на заняття; користування мобільним телефоном, планшетом чи іншими мобільними пристроями під час заняття в цілях, не пов'язаних із навчанням; списування та плагіат; несвоєчасне виконання поставленого завдання і т. ін. Жодні форми порушення академічної доброчесності не толеруються.
Орієнтовний перелік питань на іспит	1. Формалізм чисел заповнення. 2. Гібсова квантова статистична механіка. 3. Ідеальний Бозе газ. 4. Надплинність гелію-4 і теорія Боголюбова неідеального газу Бозе-Айнштайна. 5. Ідеальний Фермі газ. 6. Надпровідність, діамагнетизм надпровідників, феноменологічна теорія Лондонів. 7. Пара Купера. 8. Пари Купера і теорія Бардіна-Купера-Шрифера у підході Боголюбова. 9. Властивості надпровідника Бардіна-Купера-Шрифера (рівняння Лондонів, термодинаміка). 10. Середньопольова теорія феромагнетизму Стонера для моделі Габарда (метали). 11. Спін у зовнішньому магнітному полі. 12. Середньопольова теорія Вайса для моделі Гайзенберга (діелектрики).
Опитування	Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.

Таблиця 1

Схема курсу «Квантова статистика»

Тижні	Тема занять (перелік питань)	Форма діяльності та обсяг годин	Термін виконання
1	**Представлення чисел заповнення:** симетрична і антисиметрична статистики; оператори; стистична механіка Гіббса.	Лекції — 4 год, практичні — 4 год, самостійна робота — 7 год	2 тижні
2	**Бозе системи**: ідеальний газ Бозе; конденсація Бозе; надплинність гелію; критерій Ландау; наближене вторинне квантування; діагоналізація бвлінійних форм операторів Бозе; аналіз теорії Боголюбова.	Лекції — 6 год, практичні — 6 год, самостійна робота — 10 год	3 тижні
3	**Фермі системи**: ідеальний газ Фермі; термодинаміка при низьких температурах;	Лекції — 8 год, практичні — 8 год,	4 тижні

	парамагнетизм Паулі та діамагнетизм Ландау; надпровідність: ефект Майснера та інші властивості надпровідників; пара Купера; теорія Бардина-Купера-Шрифера у підході Боголюбова; мікроскопічне пояснення спосережуваних властивостей надпровідників (ефект Майснера, температурна поведінка теплоємності).	самостійна робота — 14 год	
4	**Магнетизм металів та діелектриків**: модель Габарда; теорія Стонера; модель Гайзенберга; середньопольовий розв'язок моделі Гайзенберга.	Лекції — 8 год, практичні — 8 год, самостійна робота — 14 год	4 тижні
5	**Методи квантової статистики:** двочасові функції Гріна, функції Гріна Мацубари, ферміонізація і бозонізація у одновимірному випадку.	Лекції — 6 год, практичні — 6 год, самостійна робота — 11 год	3 тижні