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 31.08.2023 р.)

Завідувач кафедри Володимир ТКАЧУК

Силабус
з навчальної дисципліни «Квантова механіка»,
що викладається в межах
ОПП «Комп'ютерні технології в прикладній фізиці»
ОПП «Нанофізика та наноматеріали»
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
для здобувачів з спеціальності 105 Прикладна фізика

Львів 2023

Назва дисципліни	Квантова механіка
Адреса викладання дисципліни	вул. Драгоманова, 19, 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 – 105 Прикладна фізика
Викладач дисципліни	Лектор: Гнатенко Христина Павлівна, професор кафедри теоретичної фізики імені професора Івана Вакарчука, д-р ф.-м.н.;
Контактна інформація викладача	Khrystyna.gnatenko@lnu.edu.ua https://physics.lnu.edu.ua/employee/hnatenko-h-p
Консультації з курсу відбуваються	Консультації в день проведення лекцій та практичних занять (за попередньою домовленістю). Також можливі консультації через електронну пошту або он-лайн засобами Microsoft Teams, Telegram.
Сторінка курсу	
Інформація про дисципліну	Дисципліна «Квантова механіка» є нормативною дисципліною для підготовки бакалавра за спеціальністю 105 Прикладна фізика, яка викладається в VII семестрі в обсязі 4,5 кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS).
Коротка анотація дисципліни	У дисципліні «Квантова механіка» висвітлюються фізичні основи та задачі квантової механіки, яка є фундаментальним розділом теоретичної фізики, а також подаються основні проблеми квантової інформації.
Мета та цілі дисципліни	Мета: формування в майбутнього фізика цілісної картини атомних явищ, розуміння законів мікросвіту. Завдання: навчити студентів самостійно розв'язувати задачі квантової механіки та квантової інформації.
Література для вивчення дисципліни	**Базова:** 1. *Вакарчук І. О.*, Квантова механіка (видання четверте, доповнене). Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2012. 872 стор. http://www.ktf.franko.lviv.ua/personal/vakarchuk.html 2. *Вакарчук І. О., Кулій Т. В., Книгініцький О. В., Ткачук В. М.*. Збірник задач з квантової механіки. Львів, 1996. 3. *Юхновський І. Р.* Квантова механіка. К., 1995. **Допоміжна:** 4. *Ткачук* В. М., Фундаментальні проблеми квантової механіки. Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2011. 144 стор. http://www.ktf.franko.lviv.ua/books/Tkachuk-FPQM.pdf 5. *Dirac P. A. M.* Principles of quantum mechanics Oxford at the Clarendon press, 1947. 6. *Horodecki R.* Quantum information Acta Phys. Pol. A 139, 197 (2021). Додаткові матеріали також буде запропоновано для кожної теми окремо. **Інформаційні ресурси:** 1. https://arxiv.org/ 2. https://scholar.google.com.ua/schhp?hl=uk
Тривалість курсу	один семестр
Обсяг курсу	135 годин, з яких 96 годин аудиторних занять, з них 48 годин лекцій, 48 години практичних занять, та 39 годин самостійної роботи.
Очікувані результати навчання	В результаті вивчення даного курсу студенти повинні **знати** основні поняття та принципи квантової механіки, розв'язки найпростіших задач квантової механіки

	вміти: застосовувати математичний апарат квантової механіки для розв'язання найпростіших задач. **Загальні компетентності** ЗК 1. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях ЗК 2. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності. ЗК 9. Здатність працювати автономно. **Спеціальні компетентності** СК 6. Здатність використовувати сучасні теоретичні уявлення в галузі фізики для аналізу фізичних систем. СК 7. Здатність використовувати методи і засоби теоретичного дослідження та математичного моделювання в професійній діяльності. **Програмні результати навчання** ПРН 01. Знати і розуміти сучасну фізику на рівні, достатньому для розв'язання складних спеціалізованих задач і практичних проблем прикладної фізики. ПРН 02. Застосовувати сучасні математичні методи для побудови й аналізу математичних моделей фізичних процесів.
Ключові слова	Хвильова функція, постулати квантової механіки, рівняння Шредингера
Формат курсу	Очний
	проведення лекцій, практичних занять і консультації для кращого розуміння тем
Теми	Наведено у таблиці 1
Підсумковий контроль, форма	Підсумковий контроль: екзамен в кінці семестру. Форма: усна.
Пререквізити	Для вивчення курсу студенти потребують знань теоретичної механіки, методів математичної фізики
Навчальні методи та техніки, які буде використано під час викладання курсу	Презентації, лекції, робота за комп'ютером.
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 практичних заняттях під час семестру: 10% сумарної оцінки; максимальна кількість балів — 10 відповідно до такої шкали: 9–10 — активна участь у 7–8 заняттях; 7–8 — активна участь у 5–6 заняттях; 5–6 — активна участь у 3–4 заняттях; 1–4 — активна участь у 1–2 заняттях; 0 — жодної активної участі в практичних заняттях; • підсумкова контрольна робота за двома змістовими модулями (по 20 балів): 40% сумарної оцінки; максимальна кількість балів — 40; Максимальна семестрова кількість балів — **50.** Іспит: 50% сумарної оцінки; максимальна кількість балів — **50**: п'ять розширених завдань по 10 балів. Завдання оцінюються як: 10 — студент повністю володіє матеріалом; 7–9 — рівень володіння матеріалом достатній; 4–6 — рівень володіння матеріалом частковий; 1–3 — студент майже не володіє матеріалом; 0 — відповідь відсутня. Підсумкова максимальна кількість балів — **100.** Додатково до 5 балів можна отримати за участь у науковій конференції, виступі на науковому семінарі за тематикою дисципліни.

	Академічна доброчесність здобувачами вищої освіти передбачає самостійне виконання навчальних завдань, завдань поточного та підсумкового контролю результатів навчання. Списування, втручання в роботу інших студентів становлять, але не обмежують, приклади можливої академічної недоброчесності. Виявлення ознак академічної недоброчесності в письмовій чи усній роботі студента є підставою для її незарахування викладачем, незалежно від масштабів обману. **Відвідання занять** є важливою складовою навчання. Очікується, що всі студенти відвідають усі лекції і практичні 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 робіт, передбачених курсом. **Література**. Усю література, 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 на практичних та поточному тестуванні. 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 академічної недоброчесності не толеруються.**
Питання до екзамену (чи питання на контрольні роботи)	1. Опис стану в квантовій механіці. Хвильова функція. Принцип суперпозиції. Хвильовий пакет. Хвильова функція вільної частинки. 2. Середні значення координати та імпульсу. Оператор імпульсу. 3. Оператори фізичних величин. Дії над операторами. Приклади операторів фізичних величин. 4. Власні функції і власні значення операторів. Властивості власних значень і власних функцій ермітових операторів. 5. Співвідношення невизначеностей для фізичних величин, що представляються некомутуючими операторами. 6. Різні представлення хвильових функцій. Бра- і Кет- вектори. Різні представлення операторів. Матриці операторів. 7. Хвильове рівняння Шредінґера. 8. Рівняння неперервності. Закон збереження густини ймовірності. 9. Зміна середніх значень фізичних величин з часом. Квантові дужки Пуасона. 10. Стаціонарні стани. Представлення Шредінґера і представлення Гайзенберґа. 11. Частинка в потенціальній ямі з безмежно високими стінками. Гармонічний осцилятор. Хвильовий та матричний підходи. Оператори народження і знищення. Проходження частинки через потенціальний бар'єр. 12. Перехід від квантових рівнянь руху до класичних. Розпливання хвильових пакетів з часом. Хвильова функція в квазікласичному наближенні. Метод Вентцеля-Крамерса-Бріллюена.
Опитування	Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.

Таблиця 1

Схема курсу «Квантова механіка»

Тижні	Тема занять (перелік питань)	Форма діяльності та обсяг годин	Літера-тура	Термін виконання
Змістовий модуль 1				
1–2	**Основні принципи квантової механіки** Опис стану в квантовій механіці. Хвильова функція. Принцип суперпозиції. Хвильовий пакет. Хвильова функція вільної частинки. Середні значення координати та імпульсу. Оператор імпульсу.	Лекції — 6 год. практичні — 6 год. самостійна робота — 5 год.	Б: 1–3; Д: 5	2 тижні
3–4	**Математичний апарат квантової механіки** Оператори фізичних величин. Дії над операторами. Приклади операторів фізичних величин. Власні функції і власні значення операторів. Властивості власних значень і власних функцій ермітових операторів.	Лекції — 6 год. практичні — 6 год. самостійна робота — 4 год.	Б: 1–3; Д: 5	2 тижні
5–6	**Співвідношення невизначеностей** Співвідношення невизначеностей для фізичних величин, що представляються некомутуючими операторами. Різні представлення хвильових функцій. Бра- і Кет- вектори. Різні представлення операторів. Матриці операторів.	Лекції — 6 год. практичні — 6 год. самостійна робота — 5 год.	Б: 1–3; Д: 5	2 тижні
7–8	**Рівняння Шредінґера** Хвильове рівняння Шредінґера. Рівняння неперервності. Закон збереження густини ймовірності.	Лекції — 6 год. практичні — 6 год. самостійна робота — 6 год.	Б: 1–3; Д: 5	2 тижні
Змістовний модуль 2				
9–10	**Зміна середніх значень фізичних величин з часом.** Квантові дужки Пуасона. Стаціонарні стани. Представлення Шредінґера і представлення Гайзенберґа.	Лекції — 6 год. практичні — 6 год. самостійна робота — 4 год.	Б: 1–3; Д: 4	2 тижні
11–12	**Найпростіші задачі квантової механіки** Частинка в потенціальній ямі з безмежно високими стінками. Гармонічний осцилятор. Хвильовий та матричний підходи. Оператори народження і знищення. Проходження частинки через потенціальний бар'єр.	Лекції — 6 год. практичні — 6 год. самостійна робота — 4 год.	Б: 1–3; Д: 4	2 тижні
13–14	**Зв'язок квантової механіки з класичною** Перехід від квантових рівнянь руху до класичних. Розпливання хвильових пакетів Хвильова функція в квазікласичному наближенні. Метод Вентцеля-Крамерса-Бріллюена.	Лекції — 6 год. практичні — 6 год., самостійна робота — 6 год.	Б: 1–3; Д: 4	2 тижні

Тижні	Тема занять (перелік питань)	Форма діяльності та обсяг годин	Літера-тура	Термін виконання
	Правило квантування Бора-Зоммерфельда. Квантова механіка і інтеграли по траєкторіях.			
15–16	**Момент кількості руху** Оператор повороту і орбітальний момент кількості руху. Власні значення і власні функції операторів квадрата та проекцій моменту кількості руху. Власні функції операторів квадрата та проекцій орбітального моменту кількості руху. Оператор моменту кількості руху для $j = 1/2$.	Лекції — 6 год. практичні — 4 год. контрольна робота — 2 год самостійна робота — 5 год.	Б: 1–3; Д: 4, 6	2 тижні