

**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**

<b>Назва дисципліни</b>	Квантова механіка
<b>Адреса викладання дисципліни</b>	вул. Драгоманова, 19, 79005, м. Львів
<b>Факультет та кафедра, за якою закріплена дисципліна</b>	фізичний факультет, кафедра теоретичної фізики імені професора Івана Вакарчука
<b>Галузь знань, шифр та назва спеціальності</b>	Галузь знань – 10 Природничі науки Спеціальність – 105 Прикладна фізика
<b>Викладач дисципліни</b>	Лектор: Гнатенко Христина Павлівна, професор кафедри теоретичної фізики імені професора Івана Вакарчука, д-р ф.-м.н.;
<b>Контактна інформація викладача</b>	<a href="mailto:Khrystyna.gnatenko@lnu.edu.ua">Khrystyna.gnatenko@lnu.edu.ua</a> <a href="https://physics.lnu.edu.ua/employee/hnatenko-h-p">https://physics.lnu.edu.ua/employee/hnatenko-h-p</a>
<b>Консультації з курсу відбуваються</b>	Консультації в день проведення лекцій та практичних занять (за попередньою домовленістю). Також можливі консультації через електронну пошту або он-лайн засобами Microsoft Teams, Telegram.
<b>Сторінка курсу</b>	
<b>Інформація про дисципліну</b>	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).
<b>Коротка анотація дисципліни</b>	У дисципліні «Квантова механіка» висвітлюються фізичні основи та задачі квантової механіки, яка є фундаментальним розділом теоретичної фізики, а також подаються основні проблеми квантової інформації.
<b>Мета та цілі дисципліни</b>	Мета: формування в майбутнього фізика цілісної картини атомних явищ, розуміння законів мікросвіту. Завдання: навчити студентів самостійно розв'язувати задачі квантової механіки та квантової інформації.
<b>Література для вивчення дисципліни</b>	<b>Базова:</b> 1. <i>Вакарчук І. О.</i> , Квантова механіка (видання четверте, доповнене). Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2012. 872 стор. <a href="http://www.ktf.franko.lviv.ua/personal/vakarchuk.html">http://www.ktf.franko.lviv.ua/personal/vakarchuk.html</a> 2. <i>Вакарчук І. О., Кулій Т. В., Книгіницький О. В., Ткачук В. М.</i> . Збірник задач з квантової механіки. Львів, 1996. 3. <i>Юхновський І. Р.</i> Квантова механіка. К., 1995. <b>Допоміжна:</b> 4. <i>Ткачук В. М.</i> , Фундаментальні проблеми квантової механіки. Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2011. 144 стор. <a href="http://www.ktf.franko.lviv.ua/books/Tkachuk-FPQM.pdf">http://www.ktf.franko.lviv.ua/books/Tkachuk-FPQM.pdf</a> 5. <i>Dirac P. A. M.</i> Principles of quantum mechanics Oxford at the Clarendon press, 1947. 6. <i>Horodecki R.</i> Quantum information Acta Phys. Pol. A 139, 197 (2021). Додаткові матеріали також буде запропоновано для кожної теми окремо. <b>Інформаційні ресурси:</b> 1. <a href="https://arxiv.org/">https://arxiv.org/</a> 2. <a href="https://scholar.google.com.ua/schhp?hl=uk">https://scholar.google.com.ua/schhp?hl=uk</a>
<b>Тривалість курсу</b>	один семестр
<b>Обсяг курсу</b>	135 годин, з яких 96 годин аудиторних занять, з них 48 годин лекцій, 48 години практичних занять, та 39 годин самостійної роботи.
<b>Очікувані результати навчання</b>	В результаті вивчення даного курсу студенти повинні знати основні поняття та принципи квантової механіки, розв'язки найпростіших задач квантової механіки

	<p><b>вміти:</b> застосовувати математичний апарат квантової механіки для розв'язання найпростіших задач.</p> <p><b>Загальні компетентності</b></p> <p>ЗК 1. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях</p> <p>ЗК 2. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.</p> <p>ЗК 9. Здатність працювати автономно.</p> <p><b>Спеціальні компетентності</b></p> <p>СК 6. Здатність використовувати сучасні теоретичні уявлення в галузі фізики для аналізу фізичних систем.</p> <p>СК 7. Здатність використовувати методи і засоби теоретичного дослідження та математичного моделювання в професійній діяльності.</p> <p><b>Програмні результати навчання</b></p> <p>ПРН 01. Знати і розуміти сучасну фізику на рівні, достатньому для розв'язання складних спеціалізованих задач і практичних проблем прикладної фізики.</p> <p>ПРН 02. Застосовувати сучасні математичні методи для побудови й аналізу математичних моделей фізичних процесів.</p>
<b>Ключові слова</b>	Хвильова функція, постулати квантової механіки, рівняння Шредингера
<b>Формат курсу</b>	Очний
	проведення лекцій, практичних занять і консультації для кращого розуміння тем
<b>Теми</b>	Наведено у таблиці 1
<b>Підсумковий контроль, форма</b>	Підсумковий контроль: екзамен в кінці семестру. Форма: усна.
<b>Пререквізити</b>	Для вивчення курсу студенти потребують знань теоретичної механіки, методів математичної фізики
<b>Навчальні методи та техніки, які буде використано під час викладання курсу</b>	Презентації, лекції, робота за комп'ютером.
<b>Необхідне обладнання</b>	персональний комп'ютер, загальноживані комп'ютерні програми й операційні системи, проектор
<b>Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)</b>	<p>Оцінювання проводиться за 100-бальною шкалою.</p> <p>Бали нараховуються за таким співвідношенням:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>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;</li> <li>підсумкова контрольна робота за двома змістовими модулями (по 20 балів): 40% сумарної оцінки; максимальна кількість балів — 40; Максимальна семестрова кількість балів — <b>50</b>.</li> </ul> <p>Іспит: 50% сумарної оцінки; максимальна кількість балів — <b>50</b>: 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.</p> <p>Підсумкова максимальна кількість балів — <b>100</b>.</p> <p>Додатково до 5 балів можна отримати за участь у науковій конференції, виступі на науковому семінарі за тематикою дисципліни.</p>

	<p><b>Академічна доброчесність</b> 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.</p> <p><b>Відвідання занять</b> 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.</p> <p><b>Література.</b> 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.</p> <p><b>Політика виставлення балів.</b> 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 запізнь на заняття; користування мобільним телефоном, планшетом чи іншими мобільними пристроями під час заняття в цілях, не пов'язаних із навчанням; списування та плагіат; несвочасне виконання поставленого завдання і т. ін.</p> <p><b>Жодні форми академічної недоброчесності не толеруються.</b></p>
<p><b>Питання до екзамену (чи питання на контрольні роботи)</b></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Опис стану в квантовій механіці. Хвильова функція. Принцип суперпозиції. Хвильовий пакет. Хвильова функція вільної частинки.</li> <li>2. Середні значення координати та імпульсу. Оператор імпульсу.</li> <li>3. Оператори фізичних величин. Дії над операторами. Приклади операторів фізичних величин.</li> <li>4. Власні функції і власні значення операторів. Властивості власних значень і власних функцій ермітових операторів.</li> <li>5. Співвідношення невизначеностей для фізичних величин, що представляються некомутуючими операторами.</li> <li>6. Різні представлення хвильових функцій. Бра- і Кет- вектори. Різні представлення операторів. Матриці операторів.</li> <li>7. Хвильове рівняння Шредінгера.</li> <li>8. Рівняння неперервності. Закон збереження густини ймовірності.</li> <li>9. Зміна середніх значень фізичних величин з часом. Квантові дужки Пуасона.</li> <li>10. Стаціонарні стани. Представлення Шредінгера і представлення Гайзенберга.</li> <li>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.</li> <li>12. Перехід від квантових рівнянь руху до класичних. Розпливання хвильових пакетів з часом. Хвильова функція в квазікласичному наближенні. Метод Вентцеля-Крамерса-Бріллюена.</li> </ol>
<p><b>Опитування</b></p>	<p>Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.</p>

## Схема курсу «Квантова механіка»

Тижні	Тема занять (перелік питань)	Форма діяльності та обсяг годин	Література	Термін виконання
<b>Змістовий модуль 1</b>				
1–2	<b>Основні принципи квантової механіки</b> 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	<b>Математичний апарат квантової механіки</b> 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	<b>Співвідношення невизначеностей</b> 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	<b>Рівняння Шредінгера</b> Хвильове рівняння Шредінгера. Рівняння неперервності. Закон збереження густини ймовірності.	Лекції — 6 год. практичні — 6 год. самостійна робота — 6 год.	Б: 1–3; Д: 5	2 тижні
<b>Змістовий модуль 2</b>				
9–10	<b>Зміна середніх значень фізичних величин з часом.</b> Квантові дужки Пуасона. Стаціонарні стани. Представлення Шредінгера і представлення Гайзенберга.	Лекції — 6 год. практичні — 6 год. самостійна робота — 4 год.	Б: 1–3; Д: 4	2 тижні
11–12	<b>Найпростіші задачі квантової механіки</b> 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	<b>Зв'язок квантової механіки з класичною</b> 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	Література	Термін виконання
	Правило квантування Бора-Зоммерфельда. Квантова механіка і інтеграли по траєкторіях.			
15–16	<b>Момент кількості руху</b> 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