

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

Затверджено

На засіданні теоретичної фізики
імені професора Івана Вакарчука
фізичного факультету
Львівського національного університету
імені Івана Франка
(протокол № 1 від 30.08.2021 р.)

Завідувач кафедри  проф. Ткачук В. М.

Силабус
з навчальної дисципліни «Квантова механіка»,
що викладається в межах
ОПП «Середня освіта (Фізика)»
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
для здобувачів з спеціальності 014 Середня освіта

Львів 2021

Назва дисципліни	Квантова механіка
Адреса викладання курсу	вул. Драгоманова, 12, 79005, 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 – 01 Освіта/Педагогіка Спеціальність – 014 Середня освіта
Викладачі курсу	Лектор: завідувач кафедри теоретичної фізики імені професора Івана Вакарчука д.фіз.-мат. н., проф. Ткачук Володимир Михайлович
Контактна інформація викладачів	volodymyr.tkachuk@lnu.edu.ua https://physics.lnu.edu.ua/employee/tkachuk-volodymyr-myhajlovych
Консультації по курсу відбуваються	Консультації в день проведення лекцій та практичних занять (за попередньою домовленістю). Також можливі он-лайн консультації через електронну пошту або он-лайн засобами Microsoft Teams.
Сторінка курсу	https://physics.lnu.edu.ua/course/kvantova-mekhanika-014-08-serednia-osvita-fizyka
Інформація про дисципліну	Дисципліна «Квантові механіка» є нормативною навчальною дисципліною, яка розрахована студентів IV курсу (бакалавр), що навчаються за спеціальністю – 014 Середня освіта. Її викладають у VII семестрі обсягом 5 кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS).
Коротка анотація дисципліни	В курсі представлені основи квантової механіки. Також робочою програмою курсу передбачено практичні заняття, які включають всі основні розділи квантової механіки. Курс охоплює такі теми: основні принципи квантової механіки, математичний апарат квантової механіки, рівняння Шредінгера, найпростіші задачі квантової механіки, момент кількості руху, рух частинки в центральносиметричному полі, теорія збурень, релятивістська квантова механіка, квантова механіка системи багатьох частинок.
Мета та цілі дисципліни	Метою цієї дисципліни є формування в майбутнього фізика цілісної картини фізичних явищ, пов'язаних із мікросвітом. Ціллю курсу є оволодіння навичок опису та розрахунку властивостей квантових систем.
Література для вивчення дисципліни	Базова 1. Вакарчук І. О. Квантова механіка. Львів, 2012. 2. Глауберман А. Ю. Квантова механіка. Львів, 1962. 3. Юхновський І. Р. Квантова механіка. Київ, 1995. 4. Вакарчук І. О., Кулій Т. В., Книгіницький О. В., Ткачук В. М. Збірник задач з квантової механіки. Львів, 1996. Допоміжна 5. Ткачук В. М. Фундаментальні проблеми квантової механіки. Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2011. 6. Понеділок Г. В. Основи квантової фізики. Львів, 2009. Інформаційні ресурси 7. Wikipedia. http://www.wikipedia.org
Тривалість курсу	один семестр

Обсяг курсу	150 годин, з яких 80 годин аудиторних занять, з них 48 год лекційних занять, 32 год практичних занять та 70 год самостійної роботи.
Очікувані результати навчання	<p>Після завершення цього курсу студент буде :</p> <ul style="list-style-type: none"> - знати основні поняття та рівняння предмету викладені у програмі курсу. - вміти застосовувати знання квантової механіки для розв'язування задач квантової механіки, володіти апаратом квантової механіки та розв'язувати відповідні рівняння. <p>Курс формує такі загальні (ЗК) та спеціальні компетентності (СК):</p> <p><i>Загальні компетентності:</i></p> <p>ЗК3. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями. ЗК8. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.</p> <p><i>Спеціальні компетентності:</i></p> <p>СК4. Здатність коректно застосовувати фізичні поняття, закони, принципи, теорії у поєднанні з необхідним математичним інструментарієм для пояснення фізичних явищ і процесів з використанням сучасних засобів навчання. СК12. Володіння базовими поняттями, аксіомами та постулатами загальної і теоретичної фізики, знання основних законів і принципів сучасної фізики та астрономії, вміння визначати межі їх застосування.</p> <p>Програмні результати навчання (ПРН), на досягнення яких спрямоване вивчення курсу:</p> <p>ПРН13. Знати та розуміти основні поняття, закони, теорії, загальну ПРН14. Аналізувати фізичні явища і процеси на основі фізичних законів, теорій, принципів, із застосуванням відповідних математичних методів. ПРН22. Розуміти місце фізики та астрономії у загальній системі знань про природу і суспільство та у розвитку суспільства, техніки і технологій.</p>
Ключові слова	квантова механіка, оператор, комутатор, ермітовий оператор, рівняння Шредінгера, рівняння Дірака, теорія збурень, імовірність квантових переходів.
Формат курсу	очний
	проведення лекцій, практичних занять та консультацій для кращого розуміння тем
Теми	наведено у табл.1
Підсумковий контроль, форма	Іспит в кінці семестру Форма: Письмово-усний.
Пререквізити	Для вивчення дисципліни необхідні знання з таких розділів математики і фізики: математичний аналіз, векторний аналіз, диференціальні рівняння, механіка, атомна фізика.
Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу	<p>а) <i>словесні</i> – лекція, пояснення, бесіда;</p> <p>б) <i>наочні</i> – ілюстрування лекційного матеріалу схемами та графіками;</p> <p>в) <i>практичні</i> – виконання практичних робіт, що передбачає організацію навчальної роботи для отримання нових знань, перевірки певних наукових гіпотез на рівні досліджень, узагальнень та аналізу та формування вмінь і навичок інтерпретації результатів досліджень</p>

	різноманітних об'єктів.
Необхідне обладнання	персональний комп'ютер, доступ до Інтернету
Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)	<p>Оцінювання проводиться за 100-бальною шкалою. Бали нараховуються за таким співвідношенням:</p> <ul style="list-style-type: none"> • робота на практичних заняттях тощо: 10% семестрової оцінки; максимальна кількість балів 10 • контрольні заміри (модулі): 40% семестрової оцінки; максимальна кількість балів 40 • іспит: 50% семестрової оцінки. Максимальна кількість балів 50 <p>Підсумкова максимальна кількість балів 100.</p> <p>Письмові роботи: Очікується, що студенти виконають декілька видів письмових робіт (тестування, письмова частина іспиту).</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>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 запізнь 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.</p> <p>Жодні форми порушення академічної доброчесності не толеруються.</p>
Питання до екзамену (чи питання на контрольні роботи)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Опис стану в квантовій механіці. Хвильова функція. 2. Принцип суперпозиції. 3. Хвильовий пакет. 4. Хвильова функція вільної частинки. Властивості плоских хвиль. 5. Середні значення координати та імпульсу. Оператор імпульсу. Координатне та імпульсне представлення. 6. Оператори фізичних величин. Дії над операторами. Приклади операторів фізичних величин. 7. Власні функції і власні значення операторів. 8. Властивості власних значень і власних функцій ермітових операторів.

	<ol style="list-style-type: none"> 9. Співвідношення невизначеностей для фізичних величин, що представляються некомутуючими операторами. 10. Різні представлення хвильових функцій. Бра- і Кет- вектори. 11. Різні представлення операторів. Матриці операторів. 12. Хвильове рівняння Шредінгера. 13. Рівняння неперервності. Закон збереження густини ймовірності. 14. Зміна середніх значень фізичних величин з часом. Квантові дужки Пуасона. 15. Стаціонарні стани. 16. Представлення Шредінгера і представлення Гайзенберга. Представлення взаємодії. 17. Частинка в потенціальній ямі з безмежно високими стінками. 18. Гармонічний осцилятор. Хвильовий та матричний підходи. Оператори народження і знищення. 19. Проходження частинки через потенціальний бар'єр. 20. Оператор повороту і орбітальний момент кількості руху. 21. Власні значення і власні функції операторів квадрата та проєкцій моменту кількості руху. 22. Власні функції операторів квадрата та проєкцій орбітального моменту кількості руху. 23. Оператор моменту кількості руху для $j = 1/2$. 24. Рух в полі центральної сили. Радіальне рівняння Шредінгера. 25. Рух в кулонівському полі. Атом водню. 26. Стаціонарна теорія збурень. Невироджений випадок. 27. Теорія збурень при наявності виродження. Дворівнева система. Ефект Штарка для атома водню. 28. Варіаційний метод. 29. Теорія збурень, залежних від часу. 30. Ймовірність квантового переходу за одиницю часу. 31. Випромінювання поглинання фотонів. 32. Рівняння Кляйна-Гордона-Фока. 33. Рівняння Дірака. Матриці Дірака. Рівняння неперервності. 34. Момент кількості руху в теорії Дірака. Спін. 35. Вільний рух релятивістської частинки. Проблема від'ємних енергій. Позитрони. 36. Квазірелятивістське наближення рівняння Дірака. Рівняння Паулі. Спін-орбітальна взаємодія. 37. Атом в магнітній полі. 38. Принцип тотожності частинок в квантовій механіці. Симетричні та антисиметричні хвильові функції. Бозони, ферміони. 39. Теорія атома гелію. Пара- та ортогелій. 40. Метод Хартрі-Фока. 41. Теорія молекул. Адіабатичне наближення. Молекула водню. 42. Хімічний зв'язок. Типи хімічного зв'язку. Властивості ковалентного зв'язку. <i>s-p</i>-гібридизація.
Опитування	Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.

Таблиця 1

Схема курсу "Квантова механіка"

Тиждень	Тема занять (перелік питань)	Форма діяльності та обсяг годин	Термін виконання
1–2	Тема 1. Основні принципи квантової механіки Тема 2. Математичний апарат квантової механіки	Лекції – 6 год, практ. заняття – 4 год, самостійна робота – 6 год	2 тижні
3–4	Тема 2. Математичний апарат квантової механіки	Лекції – 6 год, практ. заняття – 4 год, самостійна робота – 8 год	2 тижні
5–6	Тема 3. Рівняння Шредінгера Тема 4. Найпростіші задачі квантової механіки	Лекції – 6 год, практ. заняття – 4 год, самостійна робота – 12 год	2 тижні
7–8	Тема 4. Найпростіші задачі квантової механіки Тема 5. Момент кількості руху	Лекції – 6 год, практ. заняття – 4 год, самостійна робота – 12 год	2 тижні
9–10	Тема 6. Рух частинки в центральносиметричному полі	Лекції – 6 год, практ. заняття – 4 год, самостійна робота – 8 год	2 тижні
11–12	Тема 7. Теорія збурень	Лекції – 6 год, практ. заняття – 4 год, самостійна робота – 8 год	2 тижні
13–14	Тема 8. Релятивістська квантова механіка	Лекції – 6 год, практ. заняття – 4 год, самостійна робота – 8 год	2 тижні
15–16	Тема 9. Квантова механіка системи багатьох частинок	Лекції – 6 год, практ. заняття – 4 год, самостійна робота – 8 год	2 тижні