

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 «Вступ до квантової інформації»,
що викладається в межах
ОПП «Квантові комп'ютери та квантове програмування»
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
для здобувачів з спеціальності 104 Фізика та астрономія

Львів 2022

Назва дисципліни	Вступ до квантової інформації
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	10 Природничі науки. 104 Фізика та астрономія
Викладач дисципліни	доцент кафедри теоретичної фізики імені професора Івана Вакарчука, к.ф.-м.н, доц. Кузьмак Андрій Романович
Контактна інформація викладачів	andrij.kuzmak@lnu.edu.ua
Консультації з 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 Zoom, Microsoft Teams.
Сторінка курсу	
Інформація про дисципліну	Курс «Вступ до квантової інформації» належить до вибіркової навчальної дисципліни і розрахований на слухачів, що навчаються у межах спеціальності 104 «Фізика та астрономія». Його викладають студентам освітньо-професійної програми «Квантові комп'ютери та квантове програмування» у VI семестрі 3-го року підготовки бакалаврів із обсягом 6 кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS).
Коротка анотація дисципліни	Курс розроблено таким чином, щоб ознайомити студентів з основами квантової інформації, квантових обчислень і квантових комп'ютерів.
Мета та цілі дисципліни	Метою і завданням навчальної дисципліни «Вступ до квантової інформації» є ознайомлення студентів із математичним апаратом квантової інформації і вивчення найпростіших схем квантової інформації і реалізації найпростіших алгоритмів на квантових комп'ютерах.
Література для вивчення дисципліни	<p>Базова:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. В. М. Ткачук. Фундаментальні проблеми квантової механіки. Л.: «ЛНУ імені Івана Франка», 2011, 144 с. 2. Т. Є. Крохмальський. Вступ до квантових обчислень. Л.: «Львівський національний університет імені Івана Франка», 2018, 204 с. 3. Л. Ф. Блажисевський, Операторні методи квантової теорії. Л.: «ЛДУ імені Івана Франка», 1993, 64 с. <p>Допоміжна:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. І. О. Вакарчук. Квантова механіка. Л.: «Львівський національний університет імені Івана Франка», 2012, 872 с. <p>Інформаційні ресурси</p> <p>Wikipedia. http://www.wikipedia.org</p>
Тривалість курсу	один семестр
Обсяг курсу	180 годин, з яких 96 годин аудиторних занять, з них 48 годин лекцій, 48 годин практичних занять, та 84 години самостійної роботи. Тижневе навантаження складає 6 годин аудиторних занять та 5,25 години самостійної роботи.

Очікувані результати навчання	<p>ПР10. Вміти планувати дослідження, обирати оптимальні методи та засоби досягнення мети дослідження, знаходити шляхи розв'язання наукових завдань та вдосконалення застосованих методів.</p> <p>ПР11. Вміти упорядковувати, тлумачити та узагальнювати одержані наукові та практичні результати, робити висновки.</p> <p>ПР12. Вміти представляти одержані наукові результати, брати участь у дискусіях стосовно змісту і результатів власного наукового дослідження.</p> <p>ПР13. 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.</p> <p>ПР14. Знати і розуміти основні вимоги техніки безпеки при проведенні експериментальних досліджень, зокрема правила роботи з певними видами обладнання та речовинами, правила захисту персоналу від дії різноманітних чинників, небезпечних для здоров'я людини.</p> <p>ПР22. Розуміти значення фізичних досліджень для забезпечення сталого розвитку суспільства.</p> <p>ПР24. Розуміти місце фізики та астрономії у загальній системі знань про природу і суспільство та у розвитку суспільства, техніки і технологій.</p>
Ключові слова	квантовий стан, принцип суперпозиції, постулат про вимірювання, середні значення фізичних величин, чистий стан, змішаний стан, матриця густини, кубіт, спін $1/2$, квантова заплутаність, парадокс ЕПР, нерівності Белла, унітарні оператори, квантова еволюція, швидкість еволюції, квантова брахістохрона, квантові логічні елементи, квантовий комп'ютер, операторні тотожності.
Формат курсу	Очний
	проведення лекцій, практичних занять та консультації для кращого розуміння тем
Теми	<ol style="list-style-type: none"> 1. Математичний апарат квантової інформації. 2. Спін $1/2$. 3. Заплутані стани. 4. Квантова еволюція. 5. Квантові логічні елементи. 6. Функція Гріна для рівняння Шредінгера.
Підсумковий контроль, форма	залік в кінці 6-го семестру.
Пререквізити	Для вивчення курсу студенти потребують ґрунтовних знань із дисциплін загальної фізики та вищої математики. Насамперед з квантової механіки, математичного аналізу, лінійної алгебри, диференціальних рівнянь.
Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу	Презентація, лекції, дискусія, розв'язок задач. Передбачено ілюстрування лекційного матеріалу схемами та графіками.
Необхідне обладнання	Дошка і крейда, персональний комп'ютер, проєктор

<p>Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)</p>	<p>Оцінювання проводиться за 100-бальною шкалою. Бали нараховуються за таким співвідношенням:</p> <ul style="list-style-type: none"> • практичні/самостійні тощо: 20% семестрової оцінки; максимальна кількість балів — 20; • контрольні заміри (тести): 80% семестрової оцінки; максимальна кількість балів — 80; <p>Підсумкова максимальна кількість балів — 100.</p> <p>Письмові роботи: Очікується, що студенти виконають декілька письмових робіт (тестування).</p> <p>Академічна доброчесність: Очікується, що роботи студентів будуть їх оригінальними дослідженнями чи міркуваннями. Відсутність посилань на використані джерела, фабрикування джерел, 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 незарахування викладачем, незалежно від масштабів плагіату чи 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 письмових 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 заняттях, самостійній роботі, поточному тестуванні та підсумковому іспиті. При цьому обов'язково враховуються присутність на заняттях та активність студентів під час практичного 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. Підсумковий іспит відбувається у відкритій формі з вільним доступом до будь-яких джерел інформації під час письмової частини.</p> <p>Жодні форми порушення академічної доброчесності не толеруються.</p>
<p>Питання на контрольні роботи</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Оператори фізичних величин. 2. Властивості власних значень і власних станів фізичних величин. 3. Постулат про вимірювання. 4. Чистий стан. 5. Середнє значення чистого стану. 6. Матриця густини. 7. властивості матриці густини. 8. Квантовий біт. 9. Спін 1/2. 10. Сфера Блоха. 11. Середнє значення спіну 1/2.

	12. Система спінів $1/2$. 13. Парадокс ЕПР. 14. Нерівності Белла. 15. Заплутані стани. 16. Узгодженість. 17. Ентропія заплутаності. 18. Вектор Блоха. 19. Чистота квантових станів. 20. Квантова еволюція. 21. Швидкість еволюції. 22. Еволюція спіну $1/2$ в магнітному полі. 23. Квантові логічні елементи. 24. Операторні тотожності. 25. Інтегральна форма рівняння Шредінгера. 26. Оператор еволюції і функція Гріна. 27. Рівняння для функції Гріна. 28. Рівняння Блоха.
Опитування	Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.

Таблиця 1

Схема курсу «Вступ до квантової інформації»

Тижні	Тема занять (перелік питань)*	Форма діяльності та обсяг годин	Термін виконання
1, 2	Простір станів. Оператори. Представлення векторів станів і операторів. Властивості власних значень і власних векторів ермітових операторів. Унітарні перетворення. Постулат про вимірювання. Середні значення фізичних величин. Чистий і змішаний ансамбль станів.	Лекції — 6 год, практ. заняття — 6 год самостійна робота — 10 год	2 тижня
3,4	Квантовий біт (кубіт). Квантові стани спіну $1/2$. Сфера Блоха. Спінова матриця густини чистого і змішаного ансамблів. Середні значення спіну $1/2$. Вимірювання на квантовому комп'ютері середніх значень спіну $1/2$.	Лекції — 6 год, практ. заняття — 6 год самостійна робота — 10 год	2 тижня
5, 6	Власні стани і власні значення матриці густини спіну $1/2$. Вектор Блоха. Чистота квантових станів. Квантові стани системи N спінів $1/2$. Корелятори. Вимірювання кореляторів. Синглетний стан. Парадокс ЕПР. Нерівності Белла.	Лекції — 6 год, практ. заняття — 6 год самостійна робота — 10 год	2 тижня
7, 8	Заплутані стани. Міра заплутаності. Міра заплутаності Вуттерса. Ентропія фон Неймана. Ентропія заплутаності. Геометрична міра заплутаності.	Лекції — 6 год, практ. заняття — 6 год самостійна робота — 10 год	2 тижня
9, 10	Квантова еволюція. Швидкість еволюції. Еволюція спіну $1/2$ в магнітному полі. Квантова брахістохрона.	Лекції — 6 год, практ. заняття — 6 год самостійна робота — 10 год	2 тижня

Тижні	Тема занять (перелік питань)*	Форма діяльності та обсяг годин	Термін виконання
11,12	Будова квантового комп'ютера. Квантові логічні елементи. Квантовий комп'ютер на спіні $1/2$ в магнітному полі. Квантовий комп'ютер на двох спінах в магнітному полі.	Лекції — 6 год, практ. заняття — 6 год самостійна робота — 10 год	2 тижня
13, 14	Спін $1/2$ у змінному магнітному полі. Операторні тотожності. Інтегральна форма рівняння Шредінгера. Оператор еволюції для функції Гріна. Т-впорядкування операторів.	Лекції — 6 год, практ. заняття — 6 год самостійна робота — 10 год	2 тижня
15, 16	Диференціювання експонентних операторів. Функціональне диференціювання. Рівняння Блоха. Експонентні оператори.	Лекції — 6 год, практ. заняття — 6 год самостійна робота — 14 год	2 тижня