

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

Затверджено

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

Завідувач кафедри  проф. Ткачук В.М.

Силабус
з навчальної дисципліни «Вступ до квантової інформатики»,
що викладається в межах
ОПП «Комп'ютерна фізика»
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
для здобувачів з спеціальності 104 Фізика та астрономія

Львів 2022

| | |
|--|--|
| Назва дисципліни | Вступ до квантової інформатики |
| 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 |
| Викладач дисципліни | Лектор: доцент кафедри теоретичної фізики імені професора Івана Вакарчука, к.ф.-м.н Самар Микола Іванович |
| Контактна інформація викладачів | mykola.samar@lnu.edu.ua ; https://physics.lnu.edu.ua/employee/samar-m-i |
| 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 інформатики» належить до обов'язкової навчальної дисципліни і розрахований на слухачів, що навчаються у межах спеціальності «104 Фізика та астрономія». Його викладають студентам “Комп’ютерна фізика” у VII семестрі 4-го року підготовки бакалаврів із обсягом 3 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 інформатики» 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 | Базова: 1. В. М. Ткачук. <i>Фундаментальні проблеми квантової механіки</i> . Л.: “ЛНУ імені Івана Франка”, 2011, 144 с. 2. Т. Є. Крохмальський. <i>Вступ до квантових обчислень</i> . Л.: “Львівський національний університет імені Івана Франка”, 2018, 204 с. 3. Л. Ф. Блажисевський, <i>Операторні методи квантової теорії</i> . Л.: “ЛДУ імені Івана Франка”, 1993, 64 с. Допоміжна: 1. І. О. Вакарчук. <i>Квантова механіка</i> . Л.: “Львівський національний університет імені Івана Франка”, 2012, 872 с. Інформаційні ресурси Wikipedia. http://www.wikipedia.org |
| Тривалість курсу | один семестр |
| Обсяг курсу | 90 годин, з яких 48 годин аудиторних занять, з них 16 годин лекцій, 32 годин лабораторних занять, та 42 години самостійної роботи. |
| Очікувані результати навчання | Курс формує такі загальні та спеціальні компетентності: K01. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу. K02. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях. K03. Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій. |

| | |
|--|---|
| | <p>K05. Здатність приймати обґрунтовані рішення</p> <p>K12. Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово.</p> <p>K16. Знання і розуміння теоретичного та експериментального базису сучасної фізики та астрономії.</p> <p>K17. Здатність використовувати на практиці базові знання з математики як математичного апарату фізики і астрономії при вивченні та дослідженні фізичних та астрономічних явищ і процесів.</p> <p>K18. Здатність оцінювати порядок величин у різних дослідженнях, так само як точності та значимості результатів</p> <p>K24. Здатність працювати з джерелами навчальної та наукової інформації.</p> <p>K25. Здатність самостійно навчатися і опановувати нові знання з фізики, астрономії та суміжних галузей.</p> <p>K27. Усвідомлення професійних етичних аспектів фізичних та астрономічних досліджень.</p> <p>K28. Орієнтація на найвищі наукові стандарти – обізнаність щодо фундаментальних відкриттів та теорій, які суттєво вплинули на розвиток фізики, астрономії та інших природничих наук.</p> <p>K30. Здатність планувати та створювати програмне забезпечення використовуючи мови високого рівня.</p> <p>K32. Здатність до планування розробки великих програмних продуктів шляхом поділу їх на окремі задачі.</p> <p><i>Програмні результати навчання (ПР), на досягнення яких спрямоване вивчення курсу:</i></p> <p>ПР08. Мати базові навички самостійного навчання: вміти відшукувати потрібну інформацію в друкованих та електронних джерелах, аналізувати, систематизувати, розуміти, тлумачити та використовувати її для вирішення наукових і прикладних завдань.</p> <p>ПР16. Мати навички роботи із сучасною обчислювальною технікою, вміти використовувати стандартні пакети прикладних програм і програмувати на рівні, достатньому для реалізації чисельних методів розв'язування фізичних задач, комп'ютерного моделювання фізичних та астрономічних явищ і процесів, виконання обчислювальних експериментів.</p> <p>ПР26. Володіти навиками програмувати використовуючи мови високого рівня.</p> <p>ПР28. Вміти розбивати великі програмні проекти на окремі задачі.</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. |
| Формат курсу | Очний |
| | проведення лекцій, практичних занять та консультації для кращого розуміння тем |
| Теми | Наведено у таблиці 1 |
| 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, проектор |
| 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"> • 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 видів письмових робіт (тестування).</p> <p>Академічна доброчесність: Очікується, що роботи студентів будуть їх оригінальними дослідженнями чи міркуваннями. Відсутність посилань на використані джерела, фабрикавання 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;</p> |

| | |
|-------------------------------------|--|
| | недопустимість пропусків та запізень 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. Жодні форми порушення академічної доброчесності не толеруються. |
| Питання на контрольні роботи | <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. |
| Опитування | Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу. |

Таблиця 1

Схема курсу «Вступ до квантової інформатики»

| Тижні | Тема занять (перелік питань)* | Форма діяльності та обсяг годин | Термін виконання |
|-------|--|--|------------------|
| 1 | Простір станів. Оператори. Представлення векторів станів і операторів. Властивості власних значень і власних векторів ермітових операторів. | Лекції — 2 год, лаборат. заняття — 4 год самостійна робота — 5 год | 2 тижня |
| 2 | Унітарні перетворення. Постулат про вимірювання. Середні значення фізичних величин. Чистий та змішаний ансамбль станів. | Лекції — 2 год, лаборат. заняття — 4 год самостійна робота — 5 год | 2 тижня |
| 3 | Квантовий біт (кубіт). Квантові стани спіну $1/2$. Сфера Блоха. Спінова матриця густини чистого і змішаного ансамблів. Середні значення спіну $1/2$. | Лекції — 2 год, лаборат. заняття — 4 год самостійна робота — 5 год | 2 тижня |
| 4 | Власні стани і власні значення матриці густини спіну $1/2$. Вектор Блоха. Чистота квантових станів. | Лекції — 2 год, лаборат. заняття — 4 год самостійна робота — 5 год | 2 тижня |

| Тижні | Тема занять (перелік питань)* | Форма діяльності та обсяг годин | Термін виконання |
|-------|---|--|------------------|
| 5 | Квантові стани системи N спінів 1/2. Синглетний стан. Парадокс ЕПР. Нерівності Белла. | Лекції — 2 год, лаборат. заняття — 4 год самостійна робота — 5 год | 2 тижня |
| 6 | Заплутані стани. Міра заплутаності. Ентропія фон Неймана. Ентропія заплутаності. Геометрична міра заплутаності. | Лекції — 2 год, лаборат. заняття — 4 год самостійна робота — 5 год | 2 тижня |
| 7 | Квантова еволюція. Швидкість еволюції. Еволюція спіну 1/2 в магнітному полі. Квантова брахістохрона. | Лекції — 2 год, лаборат. заняття — 4 год самостійна робота — 5 год | 2 тижня |
| 8 | Будова квантового комп'ютера. Квантові логічні елементи. | Лекції — 2 год, лаборат. заняття — 4 год самостійна робота — 7 год | 2 тижня |