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 31.08.2025 р.)
Завідувач кафедри проф. Ткачук В. М.

Силабус
з навчальної дисципліни «Дослідження властивостей фізичних систем на квантових комп'ютерах»,
що викладається в межах
ОПП «Квантові комп'ютери та квантове програмування»
другого (магістерського) рівня вищої освіти
для здобувачів з спеціальності E5 Фізика та астрономія

Львів 2025

Назва дисципліни	Дослідження властивостей фізичних систем на квантових комп'ютерах
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 – Е Природничі науки, математика та статистика Спеціальність – Е5 Фізика та астрономія
Викладач дисципліни	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 лабораторних занять (за попередньою домовленістю). Також можливі консультації через електронну пошту або он-лайн засобами Microsoft Teams, Telegram.
Сторінка курсу	
Інформація про дисципліну	Дисципліна «Дослідження властивостей фізичних систем на квантових комп'ютерах» є нормативною дисципліною для підготовки магістра за спеціальністю 104 Фізика та астрономія, яка викладається в III семестрі в обсязі 5 кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS).
Коротка анотація дисципліни	Дисципліна «Дослідження властивостей фізичних систем на квантових комп'ютерах» присвячена вивченню квантових протоколів для встановлення та аналізу властивостей спінових систем з різними типами взаємодії за допомогою квантового програмування.
Мета та цілі дисципліни	Метою даної дисципліни є одержання студентами знань основних квантових алгоритмів для встановлення та аналізу властивостей спінових систем з різними типами взаємодії за допомогою квантового програмування. Завданням курсу є формування в студентів знань та умінь написання квантових протоколів для визначення властивостей спінових систем з взаємодією Ізінга та Гейзенберга.
Література для вивчення дисципліни	**Базова:** ***1.*** В. М. Ткачук, Фундаментальні проблеми квантової механіки. Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2011. – 144 стор. ***2.*** Gnatenko Kh. P. Entanglement of multi-qubit states representing directed networks and its detection with quantum computing // Phys. Lett. A. — 2024. — Vol. 521. — Art. 129815. — 5 p. ***3.*** Qiskit Textbook Chapter 3 "Quantum computing labs" https://qiskit.org/textbook/ch-labs/index.html Допоміжна: ***4.*** Gnatenko Kh. P. Relation of curvature and torsion of weighted graph states with graph properties and its studies on a quantum computer // Eur. Phys. J. Plus. — 2025. — Vol. 140, No. 3. — Art. 241. — 7 p. Додаткові матеріали також буде запропоновано для кожної теми окремо. **Інформаційні ресурси:** ***5.*** https://quantum-computing.ibm.com/composer/files/new ***6.*** **https://www.rigetti.com/** ***7.*** **https://codebook.xanadu.ai/**
Тривалість курсу	один семестр

Обсяг курсу	150 годин, з яких 48 годин аудиторних занять, з них 16 годин лекцій, 32 години лабораторних занять, та 102 годин самостійної роботи.
Очікувані результати навчання	В результаті вивчення даного курсу студенти повинні **знати:** основні квантові алгоритми для встановлення та аналізу властивостей спінових систем з різними типами взаємодії за допомогою квантового програмування **вміти:** написати квантові протоколи для визначення властивостей спінових систем з взаємодією Ізінга та Гейзенберга. Загальні компетентності: **ЗК03.** Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел. **ЗК04.** Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями. *Спеціальні компетентності:* **СК03.** Здатність презентувати результати проведених досліджень, а також сучасні концепції у фізиці та/або астрономії фахівцям і нефахівцям. **СК04.** Здатність комунікувати із колегами усно і письмово державною та англійською мовами щодо наукових досягнень та результатів досліджень у галузі фізики та/або астрономії . **СК13.** Здатність застосовувати квантове програмування для розв'язання прикладних задач Програмні результати навчання (РН), на досягнення яких спрямоване вивчення курсу: **РН02.** Проводити експериментальні та/або теоретичні дослідження з фізики та астрономії, аналізувати отримані результати в контексті існуючих теорій, робити аргументовані висновки (включаючи оцінювання ступеня невизначеності) та пропозиції щодо подальших досліджень. **РН03.** Застосовувати сучасні теорії наукового менеджменту та ділового адміністрування для організації наукових та прикладних досліджень у галузі фізики та/або астрономії. **РН05.** Здійснювати феноменологічний та теоретичний опис досліджуваних фізичних та/або астрономічних явищ, об'єктів і процесів. **РН07.** Оцінювати новизну та достовірність наукових результатів з обраного напряму фізики та/або астрономії, оприлюднених у формі публікації чи усної доповіді. **РН09.** Аналізувати та узагальнювати наукові результати з обраного напряму фізики та/або астрономії, відслідковувати найновіші досягнення в цьому напрямі, взаємокорисно спілкуючись з колегами. **РН11.** Застосовувати теорії, принципи і методи фізики та/або астрономії для розв'язання складних міждисциплінарних наукових і прикладних задач. **РН18.** Розв'язувати задачі квантової інформації аналітично та за допомогою квантових обчислень. **РН20.** Застосовувати квантове програмування для розв'язання прикладних задач.
Ключові слова	Квантовий комп'ютер, квантова перевага, квантовий алгоритм, спінові системи
Формат курсу	Очний
	проведення лекцій, лабораторних занять і консультації для кращого

	розуміння тем
Теми	Наведено у таблиці 1
Підсумковий контроль, форма	Підсумковий контроль: іспит в кінці семестру. Форма: усна.
Пререквізити	Для вивчення курсу студенти потребують базових знань квантової механіки та класичного програмування
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, доступ до квантових комп’ютерів через інтернет.
Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)	Оцінювання проводиться за 100-бальною шкалою. Бали нараховуються за таким співвідношенням: • робота на лабораторних заняттях під час семестру: 50% сумарної оцінки; максимальна кількість балів — 50 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 лабораторних заняттях; • іспит: 50% сумарної оцінки; максимальна кількість балів — 50: два розширених завдання по 25 балів кожне відповідно до такої шкали: 21–25 — студент повністю володіє матеріалом; 16–20 — рівень володіння матеріалом достатній; 11–15 — рівень володіння матеріалом частковий; 1–10 — студент майже не володіє матеріалом; 0 — відповідь відсутня. Підсумкова максимальна кількість балів — 100. **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 незарахуванння 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. Спінові системи з взаємодією Ізінга та Гайзенберга 2. Оператор еволюції з взаємодією Ізінга та його реалізація на квантовому комп'ютері. 3. Оператор еволюції з взаємодією Гайзенберга та його реалізація на квантовому комп'ютері. 4. Протокол для дослідження еволюції середніх значень спінових операторів на квантовому комп'ютері. Визначення квантових кореляторів. 5. Кривизна та кручення квантових станів. 6. Визначення швидкості еволюці, кривизни та кручення квантових станів на квантовому комп'ютері. 7. Наближений квантовий оптимізаційний алгоритм. 8. Алгоритм оцінки фази. 9. Розрахунок енергетичних рівнів спінових систем за допомогою дослідження еволюції середнього значення оператора фізичної величини, який антикомутує з гамільтоніаном. 10. Розрахунок енергетичних рівнів спінових систем за допомогою дослідження еволюції пробного спіна.
Опитування	Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.

Таблиця 1

Схема курсу «Дослідження фізичних систем на квантовому комп'ютері»

Тижні	Тема занять (перелік питань)	Форма діяльності та обсяг годин	Термін виконання
1–2	Тема 1.Вимірювання стану спіну 1/2. Вектор Блоха і середнє значення спіну 1/2 в чистому стані. [1]	Лекції — 2 год. лабораторні — 4 год. самостійна робота — 12 год.	2 тижні
3–4	Тема 2. Геометричні властивості квантових станів спінових систем. [4]	Лекції — 2 год. лабораторні — 4 год. самостійна робота — 12 год.	2 тижні
5–6	Тема 3. Вимірювання середнього значення спіну 1/2 в змішаному стані на квантовому комп'ютері. [1]	Лекції — 2 год. лабораторні — 4 год. самостійна робота — 12 год.	2 тижні
7–8	Тема 4. Вимірювання двоспінових кореляцій на квантовому комп'ютері. Двоспінова модель Ізінга. [3]	Лекції — 2 год. лабораторні — 4 год. самостійна робота — 12 год.	2 тижні
9–10	Тема 5. Моделювання N-спінової моделі Ізінга на квантовому комп'ютері. [3]	Лекції — 2 год. лабораторні — 4 год. самостійна робота — 11 год.	2 тижні
11–12	Тема 6. Моделювання двоспінової моделі Гайзенберґа на квантовому комп'ютері. [3]	Лекції — 2 год. лабораторні — 4 год. самостійна робота — 11 год.	2 тижні

Тижні	Тема занять (перелік питань)	Форма діяльності та обсяг годин	Термін виконання
13–14	Тема 7. Означення відстані заплутаності. Вимірювання заплутаності на квантовому комп'ютері. [3]	Лекції — 2 год. лабораторні — 4 год., самостійна робота — 11 год.	2 тижні
15–16	Тема 8. Моделювання тунелювання спіну 1 на квантовому комп'ютері. [1]	Лекції — 2 год. лабораторні — 4 год. самостійна робота — 11 год.	2 тижні