

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  проф. Ткачук В. М.

Володимир ТКАЧУК

Силабус
з навчальної дисципліни «Дослідження властивостей фізичних систем
на квантових комп'ютерах»,
що викладається в межах
ОНП «Квантові комп'ютери та квантове програмування»
другого (магістерського) рівня вищої освіти
для здобувачів з спеціальності 104 Фізика та астрономія

Львів 2023

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 – 10 Природничі науки Спеціальність – 104 Фізика та астрономія
Викладач дисципліни	доцент кафедри теоретичної фізики імені професора Івана Вакарчука, к.ф.-м.н, доц. Кузьмак Андрій Романович
Контактна інформація викладача	andrij.kuzmak@lnu.edu.ua
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	https://physics.lnu.edu.ua/course/doslidzhennia-vlastyvostey-fizychnykh-system-na-kvantovykh-komp-iuterakh-104-fizyka-ta-astronomiia-op-kvantovi-komp-iutery-ta-kvantove-prohramuvannia
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) студентам освітньо-наукової програми “Квантові комп'ютери та квантове програмування”.
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: <ol style="list-style-type: none"> 1. В. М. Ткачук, Фундаментальні проблеми квантової механіки. Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2011. – 144 стор. 2. A. R. Kuzmak, V. M. Tkachuk Detecting entanglement by the mean value of spin on a quantum computer Phys. Lett. A 384, No. 24, 126579 [6 p.] (2020) 3. Qiskit Textbook Chapter 3 “Quantum computing labs” https://qiskit.org/textbook/ch-labs/index.html Допоміжна: <ol style="list-style-type: none"> 4. A. R. Kuzmak, V. M. Tkachuk Probing mean values and correlations of high-spin systems on a quantum computer EPL (Europhys. Lett.) 144, No. 3, 38001 [7 p.] (2023). Додаткові матеріали також буде запропоновано для кожної теми окремо. Інформаційні ресурси: <ol style="list-style-type: none"> 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	<p>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</p> <p>вміти: написати квантові протоколи для визначення властивостей спінових систем з взаємодією Ізінга та Гейзенберга.</p> <p>Загальні компетентності: ЗК03. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел. ЗК04. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.</p> <p><i>Спеціальні компетентності:</i> СК03. Здатність презентувати результати проведених досліджень, а також сучасні концепції у фізиці та/або астрономії фахівцям і нефхівцям. 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</p> <p>Програмні результати навчання (РН), на досягнення яких спрямоване вивчення курсу:</p> <p>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 напрямку фізики та/або астрономії, оприлюднених у формі публікації чи усної доповіді. РН09. Аналізувати та узагальнювати наукові результати з обраного напрямку 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.</p>
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, а також з дисциплін “Квантове програмування” та “Квантові графи та мережі”.
Навчальні методи та техніки, які буде використано під час викладання курсу	Презентації, лекції, робота за комп'ютером.
Необхідне обладнання	персональний комп'ютер, загальноживані комп'ютерні програми й операційні системи, проектор, доступ до квантових комп'ютерів через інтернет.
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"> • Бали нараховуються за таким співвідношенням: • робота на лабораторних 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 лабораторних заняттях; • підсумкова контрольна робота (40 балів): 40% сумарної оцінки; максимальна кількість балів — 40; Максимальна семестрова кількість балів — 50. • 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. <p>Підсумкова максимальна кількість балів — 100.</p> <p>Додаткові бали можна отримати за написання тез, статті, участь у міжнародних, всеукраїнських та/або інших заходах або конкурсах за тематикою навчальної дисципліни 5/10 балів.</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 лабораторні 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 лабораторних 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 академічної недоброчесності не толеруються.</p>
Питання до екзамену	<ol style="list-style-type: none"> 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 еволюції, 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. Еволюція спіну $1/2$ в магнітному полі. Реалізація на квантовому комп'ютері. [1]	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.	Лекції — 2 год. лабораторні — 4 год.	2 тижні

Тижні	Тема занять (перелік питань)	Форма діяльності та обсяг годин	Термін виконання
	[3]	самостійна робота — 12 год.	
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 Гайзенберга на квантовому комп'ютері. [3]	Лекції — 2 год. лабораторні — 4 год. самостійна робота — 11 год.	2 тижні
13–14	Тема 7. Означення геометричної міри заплутаності. Вимірювання геометричної міри заплутаності одного спіну з рештою спінів на квантовому комп'ютері. [2]	Лекції — 2 год. лабораторні — 4 год., самостійна робота — 11 год.	2 тижні
15–16	Тема 8. Моделювання спіну 1 на квантовому комп'ютері. Вимірювання середнього значення спіну 1 і кореляцій між спінами на квантовому комп'ютері. [4]	Лекції — 2 год. лабораторні — 4 год. самостійна робота — 11 год.	2 тижні