

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.

Силабус
з навчальної дисципліни «Квантове програмування
(Quantum programming)»,
що викладається в межах
ОНП «Квантові комп'ютери та квантове програмування»
другого (магістерського) рівня вищої освіти
для здобувачів з спеціальності 104 Фізика та астрономія

Назва дисципліни	Квантове програмування (Quantum programming)
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	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	https://physics.lnu.edu.ua/?post_type=course&p=43547&preview=true
Інформація про дисципліну	Дисципліна «Квантове програмування» є нормативною дисципліною для підготовки магістра за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія», яка викладається в II семестрі в обсязі 5 кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS).
Коротка анотація дисципліни	Дисципліна «Квантове програмування» присвячена вивченню основ програмування на квантових комп'ютерах компаній IBM та Rigetti. Студенти будуть вміти створювати квантові протоколи у Quantum Composer, Open QASM, Qiskit, Amazon Braket
Мета та цілі дисципліни	Метою даної дисципліни є одержання студентами знань реалізації квантових алгоритмів на квантових симуляторах та квантових комп'ютерах. Завданням курсу є формування в студентів знань та умінь програмування на квантових комп'ютерах.
Література для вивчення дисципліни	Базова: <ol style="list-style-type: none"> 1. Т. Є. Крохмальський, Вступ до квантових обчислень. Навч. пос. – Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2018. – 204 стор. 2. В. М. Ткачук, Фундаментальні проблеми квантової механіки. Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2011. – 144 стор. 3. Qiskit Textbook Chapter 3 “Quantum computing labs” https://qiskit.org/textbook/ch-labs/index.html Допоміжна: <ol style="list-style-type: none"> 4. Gnatenko Kh. P., Laba H. P., Tkachuk V. M. Detection of energy levels of a spin system on a quantum computer by probe spin evolution // Eur. Phys. J. Plus.— 2022.— Vol. 137, No. 4.— Art. 522.— 10 p. 5. Gnatenko Kh. P., Laba H. P., Tkachuk V. M. Geometric properties of evolutionary graph states and their detection on a quantum computer // Phys. Lett. A.— 2022.— Vol. 452.— Art. 128434. <p>Додаткові матеріали також буде запропоновано для кожної теми окремо.</p> Інформаційні ресурси: <ol style="list-style-type: none"> 6. https://quantum-computing.ibm.com/composer/files/new 7. https://www.rigetti.com/ 8. 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 принципи написання квантових протоколів та їх виконання на квантових комп'ютерах</p> <p>вміти: програмувати на квантових комп'ютерах компаній IBM, Rigetti, квантових симуляторах</p> <p>Загальні компетентності ЗК04. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями. ЗК06. Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми.</p> <p>Спеціальні компетентності СК07. Здатність організувати освітній процес та проводити практичні та лабораторні заняття з фізичних та/або астрономічних навчальних дисциплін в закладах вищої освіти. СК11. Здатність розв'язувати задачі квантової інформації аналітично та за допомогою квантових обчислень СК13. Здатність застосовувати квантове програмування для розв'язання прикладних задач</p> <p>Програмні результати навчання (ПРН), на досягнення яких спрямоване вивчення курсу: РН06. Обирати ефективні математичні методи та інформаційні технології та застосовувати їх для здійснення досліджень та/або інновацій у галузі фізики та/або астрономії. РН09. Аналізувати та узагальнювати наукові результати з обраного напрямку фізики та/або астрономії, відслідковувати найновіші досягнення в цьому напрямі, взаємокорисно спілкуючись з колегами. РН12. Розробляти та застосовувати ефективні алгоритми та спеціалізоване програмне забезпечення для дослідження моделей фізичних та/або астрономічних об'єктів і процесів, обробки результатів експериментів і спостережень. РН16. Брати продуктивну участь у виконанні експериментальних та/або теоретичних досліджень у галузі фізики та астрономії. РН17. Створювати квантові протоколи та реалізовувати їх на квантових комп'ютерах РН18. Розв'язувати задачі квантової інформації аналітично та за допомогою квантових обчислень</p>
Ключові слова	Квантовий комп'ютер, квантова перевага, квантовий алгоритм Quantum computer, quantum advantage, quantum algorithm
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 дисциплін "Класична та квантова інформація" та "Класичне програмування"
Навчальні методи та техніки, які буде використано під час	Презентації, лекції, робота за комп'ютером.

<p>викладання курсу</p> <p>Необхідне обладнання</p>	<p>персональний комп'ютер, загальноживані комп'ютерні програми й операційні системи, проектор, доступ до квантових комп'ютерів через інтернет.</p>
<p>Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)</p>	<p>Оцінювання проводиться за 100-бальною шкалою. 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 за двома змістовими модулями (по 20 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. 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 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 академічної недоброчесності не толеруються.</p>
<p>Питання до екзамену (чи питання на контрольні роботи)</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Одно- та двокубітні оператори. 2. Квантовий вимір. 3. Візуалізація багатокубітного квантового стану, Q-сфера. 4. Обчислення на квантовому симуляторі 5. Програмування у Open QASM.

	<ol style="list-style-type: none"> 6. Структура квантових комп'ютерів та її врахування при написанні квантових програм. 7. Обчислення похибок, пов'язаних з дією квантових операторів та квантовим виміром. 8. Створення квантових протоколів за допомогою qiskit. 9. Опрацювання результатів квантових обчислень у qiskit 10. Створення квантових протоколів у Amazon Braket 11. Програмування на квантових комп'ютерах Rigetti <ol style="list-style-type: none"> 1. Single and two-qubit operators. 2. Quantum measurement. 3. Visualization of multi-qubit quantum states, Q-sphere. 4. Quantum computation on a quantum simulator. 5. Programming in Open QASM. 6. The structure of quantum computers and its consideration in quantum program development. 7. Error calculation associated with quantum operators and quantum measurement. 8. Creation of quantum protocols using qiskit. 9. Processing results of quantum computations in qiskit. 10. Development of quantum protocols in Amazon Braket. 11. Programming on Rigetti quantum computers.
Опитування	Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.

Таблиця 1

Схема курсу «Квантове програмування»

Тижні	Тема занять (перелік питань)	Форма діяльності та обсяг годин	Термін виконання
1–2	Тема 1. Вступ. Особливості квантового програмування. Одно- та двокубітні оператори. Квантовий вимір. Topic 1. Introduction. Features of Quantum Programming. Single and Two-Qubit Operators. Quantum Measurement Література [Б1-Б3]	Лекції — 2 год. лабораторні — 4 год. самостійна робота — 12 год.	2 тижні
3–4	Тема 2. Програмування у IBM Quantum Composer. Візуалізація багатокубітного квантового стану, Q-сфера. Обчислення на квантовому симуляторі Topic 2. Programming in IBM Quantum Composer. Visualization of Multi-Qubit Quantum States, Q-sphere. Quantum Computation on a Quantum Simulator. Література [Б1- Б3]	Лекції — 2 год. лабораторні — 4 год. самостійна робота — 12 год.	2 тижні
5–6	Тема 3. Програмування у Open QASM. Створення класичного та квантового реєстрів. Дія операторами на стани кубітів. Створення оператора. Topic 3. Programming in Open QASM. Creating Classical and Quantum Registers. Action of Operators on Qubit States. Operator Creation. Література [Б1-Б3]	Лекції — 2 год. лабораторні — 4 год. самостійна робота — 12 год.	2 тижні

Тижні	Тема занять (перелік питань)	Форма діяльності та обсяг годин	Термін виконання
7–8	Тема 4. Структура квантових комп'ютерів IBM. Похибки квантових обчислень Структура квантових комп'ютерів та її врахування при написанні квантових програм. Обчислення похибок, пов'язаних з дією квантових операторів та квантовим виміром. Topic 4. Structure of IBM Quantum Computers. Errors in Quantum Computations. Structure of Quantum Computers and its Consideration in Quantum Program Development. Calculation of Errors Associated with the Action of Quantum Operators and Quantum Measurement. Література [Б1-Б3]	Лекції — 2 год. лабораторні — 2 год. контрольна робота — 2 год. самостійна робота — 12 год.	2 тижні
9–10	Тема 5. Створення квантових протоколів за допомогою qiskit. Створення класичного та квантового реєстрів. Дія операторами на стани кубітів. Створення оператора. Виконання програми на квантовому комп'ютері. Topic 5. Creating Quantum Protocols Using Qiskit. Creating Classical and Quantum Registers. Action of Operators on Qubit States. Operator Creation. Executing Programs on a Quantum Computer. Література [Б1-Б3]	Лекції — 2 год. лабораторні — 4 год. самостійна робота — 11 год.	2 тижні
11–12	Тема 6. Опрацювання результатів квантових обчислень у qiskit Виведення та обробка результатів. Візуалізація результатів квантових вимірів за допомогою гістограм. Topic 6. Processing Results of Quantum Computations in Qiskit. Output and Processing of Results. Visualization of Quantum Measurement Results Using Histograms. Література [Б1-Б3, Д1]	Лекції — 2 год. лабораторні — 4 год. самостійна робота — 11 год.	2 тижні
13–14	Тема 7. Створення квантових протоколів у Amazon Braket Створення класичного та квантового реєстрів. Дія операторами на стани кубітів. Створення оператора. Виконання програми на квантовому комп'ютері. Topic 7. Creating Quantum Protocols in Amazon Braket. Creating Classical and Quantum Registers. Action of Operators on Qubit States. Operator Creation. Executing Programs on a Quantum Computer. Література [Б1-Б3, Д2]	Лекції — 2 год. лабораторні — 4 год., самостійна робота — 11 год.	2 тижні
15–16	Тема 8. Програмування на квантових комп'ютерах Rigetti Структура квантових комп'ютерів Rigetti. Операції над квантовими бітами. Обробка результатів квантових обчислень.	Лекції — 2 год. лабораторні — 2 год. Контрольна робота — 2 год. самостійна робота — 11 год.	2 тижні

Тижні	Тема занять (перелік питань)	Форма діяльності та обсяг годин	Термін виконання
	<p>Topic 8. Programming on Rigetti Quantum Computers. Structure of Rigetti Quantum Computers. Operations on Quantum Bits. Processing Results of Quantum Computations.</p> <p>Література [Б1-Б3, Д1, Д2]</p>		