

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 машинне навчання та обробка даних»,
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	Квантове машинне навчання та обробка даних
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/course/kvantove-mashynne-navchannia-ta-obrobka-danykh-104-fizyka-ta-astronomiia-op-kvantovi-komp-iutery-ta-kvantove-prohramuvannia
Інформація про дисципліну	Дисципліна «Квантове машинне навчання та обробка даних» є нормативною дисципліною для підготовки магістра за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія», яка викладається в III семестрі в обсязі 3 кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS).
Коротка анотація дисципліни	Дисципліна «Квантове машинне навчання та обробка даних» присвячена вивченню алгоритмів машинного навчання з використанням квантових комп'ютерів.
Мета та цілі дисципліни	Метою даної дисципліни є одержання студентами знань основних алгоритмів квантового машинного навчання та обробки даних. Завданням курсу є формування в студентів знань та умінь створення алгоритмів квантового машинного навчання.
Література для вивчення дисципліни	Базова: <ol style="list-style-type: none"> 1. V. Dunjko, J. M. Taylor, H. J. Briegel, <i>Quantum-Enhanced Machine Learning</i>, Phys. Rev. Lett. 117 (13), 130501 (2016) 2. S. Sim, P. D. Johnson, A. Aspuru-Guzik, <i>Expressibility and entangling capability of parameterized quantum circuits for hybrid quantum-classical algorithms</i>, Adv. Quant. Tech. 2 1900070 (2019). 3. Quantum Machine Learning, Pennylane https://pennylane.ai/qml/demos_qml.html Допоміжна: <ol style="list-style-type: none"> 4. Quantum Machine Learning, Qiskit Textbook https://learn.qiskit.org/course/machine-learning 5. Т. Є. Крохмальський, Вступ до квантових обчислень. Навч. пос. – Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2018. – 204 стор. <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	90 годин, з яких 32 годин аудиторних занять, з них 16 годин лекцій, 16 години лабораторних занять, та 58 годин самостійної роботи.
Очікувані результати навчання	В результаті вивчення даного курсу студенти повинні знати: основні алгоритми квантового машинного навчання та обробки

	<p>даних</p> <p>вміти: розв'язувати прикладні задачі з використанням квантового машинного навчання на квантових комп'ютерах компаній IBM, Rigetti, квантових симуляторах</p> <p><i>Загальні компетентності</i></p> <p>ЗК01. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях</p> <p>ЗК05. Здатність використовувати інформаційні та комунікаційні технології.</p> <p><i>Спеціальні компетентності</i></p> <p>СК10. Здатність створювати квантові протоколи та реалізовувати їх на квантових комп'ютерах</p> <p>СК11. Здатність розв'язувати задачі квантової інформації аналітично та за допомогою квантових обчислень</p> <p>СК13. Здатність застосовувати квантове програмування для розв'язання прикладних задач</p> <p><i>Програмні результати навчання (ПРН), на досягнення яких спрямоване вивчення курсу:</i></p> <p>РН09. Аналізувати та узагальнювати наукові результати з обраного напрямку фізики та/або астрономії, відслідковувати найновіші досягнення в цьому напрямі, взаємокорисно спілкуючись з колегами.</p> <p>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.</p> <p>РН17. Створювати квантові протоколи та реалізовувати їх на квантових комп'ютерах</p> <p>РН19. Моделювати фізичні системи та досліджувати їх властивості на квантових комп'ютерах</p> <p>РН20. Застосовувати квантове програмування для розв'язання прикладних задач</p>
Ключові слова	Квантовий комп'ютер, класичне машинне навчання, квантове машинне навчання, квантовий алгоритм
Формат курсу	Очний
	проведення лекцій, лабораторних занять і консультації для кращого розуміння тем
Теми	Наведено у таблиці 1
Підсумковий контроль, форма	Підсумковий контроль: екзамен в кінці семестру. Форма: усна.
Пререквізити	Для вивчення курсу студенти потребують базових знань квантової механіки та класичного програмування, а також дисципліни “Квантове програмування” та “Заплутані квантові стани та міра заплутаності”
Навчальні методи та техніки, які буде використано під час викладання курсу	Презентації, лекції, робота за комп'ютером.
Необхідне обладнання	персональний комп'ютер, загальнонавчальні комп'ютерні програми й операційні системи, проектор, 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: 10% сумарної оцінки; максимальна кількість балів — 10 відповідно до такої шкали: 9–10 — активна участь у 7–8 заняттях; 7–8 —

	<p>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. Задачі класичного машинного навчання. 2. Основні алгоритми класичного машинного навчання. 3. Варіаційні квантові стани та їх властивості 4. Обчислення міри заплутаності варіаційних квантових станів за допомогою квантового програмування. 5. Методи тренування протоколів з приготування варіаційних квантових станів та алгоритми їх реалізації. 6. Методи кодування класичних даних у квантовому стані. 7. Квантові протоколи для приготування квантових станів з різними типами кодування. 8. Класичні генеративні змагальні мережі. 9. Квантовий генератор та принципи його побудови. Тренування квантового генератора. 10. Класичні конвуляційні нейронні мережі. 11. Машинне навчання з використанням квантових конвуляційних

	нейронних мереж.
Опитування	Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.

Таблиця 1

Схема курсу «Квантове машинне навчання та обробка даних»

Тижні	Тема занять	Форма діяльності та обсяг годин	Термін виконання
1–2	Тема 1. Вступ. Використання особливостей квантових обчислень у машинному навчанні. Література:[1-5]	Лекції — 2 год. лабораторні — 2 год. самостійна робота — 7 год.	2 тижні
3–4	Тема 2. Класичне машинне навчання Задачі класичного машинного навчання. Основні алгоритми класичного машинного навчання. Практичне застосування. Література:[1-5]	Лекції — 2 год. лабораторні — 2 год. самостійна робота — 7 год.	2 тижні
5–6	Тема 3. Варіаційні квантові стани Приготування варіаційних квантових станів на квантовому комп'ютері. Властивості варіаційних квантових станів Література:[1-5]	Лекції — 2 год. лабораторні — 2 год. самостійна робота — 7 год.	2 тижні
7–8	Тема 4. Заплутаність варіаційних квантових станів Заплутаність варіаційних квантових станів з різними структурами. Обчислення міри заплутаності варіаційних квантових станів за допомогою квантового програмування. Література:[1-5]	Лекції — 2 год. лабораторні — 1 год. контрольна робота — 1 год. самостійна робота — 7 год.	2 тижні
9–10	Тема 5. Кодування класичних даних Методи кодування класичних даних у квантовому стані. Квантові протоколи для приготування квантових станів з різними типами кодування. Література:[1-5]	Лекції — 2 год. лабораторні — 2 год. самостійна робота — 7 год.	2 тижні
11–12	Тема 6. Тренування варіаційних квантових протоколів. Методи тренування протоколів з приготування варіаційних квантових станів та алгоритми їх реалізації Література:[1-5]	Лекції — 2 год. лабораторні — 2 год. самостійна робота — 7 год.	2 тижні
13–14	Тема 7. Квантові генеративні змагальні мережі Класичні генеративні змагальні мережі. Квантовий генератор та принципи його побудови. Тренування квантового генератора. Література:[1-5]	Лекції — 2 год. лабораторні — 2 год., самостійна робота — 8 год.	2 тижні
15–16	Тема 8. Квантові конвуляційні нейронні мережі Класичні конвуляційні нейронні мережі. Машинне навчання з використанням квантових конвуляційних нейронних мереж. Література:[1-5]	Лекції — 2 год. лабораторні — 1 год. контрольна робота — 1 год. самостійна робота — 8 год.	2 тижні