

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Львівський національний університет імені Івана Франка
Факультет електроніки та комп'ютерних технологій
Кафедра радіофізики та комп'ютерних технологій

Затверджено

На засіданні кафедри радіофізики та
комп'ютерних технологій
факультету електроніки та комп'ютерних техно-
логій
Львівського національного університету імені
Івана Франка
(протокол №12/23 від 20 червня 2023 р.)

Завідувач кафедри  Іван КАРБОВНИК

Силабус з навчальної дисципліни
«Квантові обчислення / Quantum Computing»,
що викладається в межах ОП «Комп'ютерні науки»
другого (магістерського) рівня вищої освіти
для здобувачів зі спеціальності
122 – Комп'ютерні науки

Львів 2023

Назва дисципліни	Квантові обчислення / Quantum Computing
Адреса викладання дисципліни	м. Львів, вул. Тарнавського, 107
Факультет та кафедра, за якою закріплена дисципліна	Факультет електроніки та комп'ютерних технологій, кафедра радіофізики та комп'ютерних технологій
Галузь знань, шифр та назва спеціальності	12 Інформаційні технології, 122 Комп'ютерні науки
Викладачі дисципліни	Болеста Іван Михайлович, докт. фіз.-мат. наук, проф., проф.
Контактна інформація викладачів	ivan.bolesta@lnu.edu.ua https://electronics.lnu.edu.ua/employee/bolesta-i-m
Консультації з питань навчання по дисципліні відбуваються	В режимі оф-лайн: згідно розкладу в день проведення лекцій/практичних занять (за попередньою домовленістю): кімн. 310, корпус факультету електроніки та комп'ютерних технологій, м. Львів, вул. Тарнавського, 107. В режимі он-лайн: консультації проводяться за домовленістю з студентами чи групою студентів на платформі MS Teams, Skype, Zoom та на інших ресурсах. Для погодження часу он-лайн консультацій слід писати на електронну пошту викладача або дзвонити.
Сторінка дисципліни	http://194.44.208.156/moodle/course/view.php?id=63 https://electronics.lnu.edu.ua/course/kvantovi-obchyslennia-quantum-computing-122-kn
Інформація про дисципліну	Дисципліна «Квантові обчислення» є вибірковою дисципліною з спеціальності 122 Комп'ютерні науки для освітньої програми «Комп'ютерні науки», яка викладається в 2 семестрі в обсязі 3 кредити (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS).
Коротка анотація дисципліни	Навчальну дисципліну розроблено таким чином, щоб надати магістрам необхідні знання, які стосуються обчислень з врахуванням сучасного рівня розвитку науки, зокрема, квантової фізики. Зокрема, розглядаються різні підходи до формалізації процесу обчислення: алгебра Буля, машина Тюрінга та лямбда-обчислення Черча. Аналізується поняття біта та квантового біта. Розглядаються підходи для опису квантових логічних елементів та квантових схем: надцільного кодування та телепортації. Обговорюються особливості алгоритмів та мови для квантового програмування.
Мета та цілі дисципліни	<i>Метою</i> вивчення курсу є одержання магістрами знань з новітнього напрямку розвитку - квантової інформатики, яка сформувалася в останні 20 років на основі класичної теорії інформації, інформатики та квантової механіки. <i>Ціллю</i> вивчення курсу є формування сучасного наукового світогляду студентів.
Література для вивчення дисципліни	Основна література: 1. Nakahara M. Ohmi T. Quantum computing: from linear Algebra to physical realization. Boca Raton London, New York. 2008. 416 p. 2. Ткачук В. М. Фундаментальні проблеми квантової механіки. Львів: ЛНУ ім. І.Франка, 2011. 3. Кулик С. П. Конспект лекцій. Доступно за адресою skulik@qopt.phys.msu.ru/ 4. Крохмальський Т.Є. Вступ до квантових обчислень. Навчальний посібник. Львів. ЛНУ ім. І.Франка. 2018 р. -204 с. 5. Крохмальський Т. Квантові комп'ютери: основи й алгоритми (короткий огляд). Журнал Фізичних Досліджень. 2004 Т.8, №1. С. 1-15.

	<p>6. I. Bolesta, O. Kushnir, Yu. Furgala. Quantum Computing. I. Quantum bits, gates and circuits. Proceedings of the Xth International Scientific and Practical Conference "Electronics and Information Technologies" (ELIT-2018). - August 30 – September 2 2018, Lviv– Karpaty village, Ukraine. – P. A-45-A-48.</p> <p>7. I. Bolesta, O. Kushnir, Yu. Furgala. Quantum Computing. II. Quantum Computer Languages. Proceedings of the Xth International Scientific and Practical Conference "Electronics and Information Technologies" (ELIT-2018). - August 30 – September 2 2018, Lviv– Karpaty village, Ukraine. – P. A-49-A-51.</p> <p>8. І.М. Болеста, О.О. Кушнір, І.М. Ровецький, Ю.М. Фургала. Кванто-ві обчислення. Матеріали III Міжнародної наукової конференції „Актуальні проблеми фундаментальних наук”. – 01-05 червня, 2019. - Луцьк – Світязь, Луцьк : Вежа-Друк, Україна, 2019. – С. 197–200</p> <p>9. Кайку М. Візії: як наука змінить XXI сторіччя. Львів: Літопис, 2004.- 544 с.</p> <p>10. Кайку М. Майбутнє розуму. Львів: Літопис, 2017.- 408 с.</p> <p>11. Ллойд С. Програмуючи всесвіт. Квантовий комп'ютер та майбутнє науки. Харків. Вид.-во «Клуб сімейного дозвілля». 2019.</p> <p>12. Top Quantum Research Stories of 2022. The Quantum Insider. URL: https://thequantuminsider.com/2022/12/21/top-quantum-research-stories-of-2022/</p>
Обсяг курсу	Сумарно 90 годин. Із них 16 години лекцій, 16 годин практичних робіт і 58 годин самостійної роботи.
Очікувані результати навчання	<p>Після завершення цього курсу студент буде</p> <p>Знати: кубіти – як основне поняття квантової інформатики; опис стану та динаміки системи у квантовій механіці; квантово-механічні вимірювання; формування простору багатьох кубітів (тензорний добуток); основні однокубітові та двокубітові квантові логічні елементи; квантові мережі; використання заплутаних та суперпозиційних станів для розв'язання задач інформатики (надщільне кодування, телепортація); основні квантові алгоритми; особливості мов програмування для квантових обчислень.</p> <p>Вміти: описати стан та динаміку квантово-механічних систем; визначити стан системи після вимірювання; формувати простір багатьох кубітів; застосувати дію одно- та двокубітових квантових елементів; пояснити принципи надщільного кодування та квантової телепортації.</p>
Ключові слова	Кубіти, логічні операції, лямбда-обчислення, машина Тюрінга простір Гільберта, чисті, суперпозиційні та заплутані стани, квантові логічні елементи, квантові мережі, телепортація, надщільне кодування, квантовий паралелізм.
Формат курсу	Очний
	Проведення лекцій, лабораторних робіт та консультації для поглибленого розуміння тем
Теми	Див. СХЕМА КУРСУ

Підсумковий контроль, форма	Залік вкінці семестру
Пререквізити	Для вивчення курсу студенти потребують базових знань у галузі 12 – Інформаційні технології, зокрема з дисциплін «Вища математика», «Дискретна математика», «ТІМС», «Алгоритми та структури даних», «Чисельні методи».
Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу	Лекції, презентації, практичні роботи, написання рефератів, виконання індивідуальних завдань (робота у групі, команді) обговорення, дискусія.
Необхідне обладнання	Мультимедіа, платформи Microsoft Teams, Moodle і Zoom. Оскільки предметом вивчення дисципліни є найперше алгоритми, то студенти можуть використовувати мови програмування і середовища розробки за власним вибором. Викладач пропонує Visual Studio Community 2022, C#
Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)	<p>Оцінювання проводиться упродовж семестру за 100-бальною шкалою. Бали нараховуються за такими видами робіт з наступним співвідношенням:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 4 практичні роботи: 40% семестрової оцінки; максимальна кількість балів 4x10=40. • контрольні заміри (2 модулі): 60% семестрової оцінки; максимальна кількість балів 2x30=60. <p>Загалом упродовж семестру 100 балів.</p> <hr/> <p>Контрольні заміри знань проводять у формі стандартних практичних завдань і теоретичних питань.</p> <p>Академічна доброчесність: Очікується, що лабораторні та контрольні роботи студентів будуть їхніми оригінальними дослідженнями або міркуваннями. Відсутність посилань на використані джерела, фабрикування джерел, списування, втручання в роботу інших студентів становлять, але не обмежують, приклади можливої академічної недоброчесності. Виявлення ознак академічної недоброчесності в роботі студента є підставою для її незарахування викладачем, незалежно від масштабів плагіату або спроб обману.</p> <p>Відвідування занять є важливою складовою навчання. Очікується, що всі студенти відвідають усі лекції та практичні заняття курсу. Студенти мають інформувати викладача про неможливість відвідати заняття. Студенти зобов'язані дотримуватися всіх термінів, визначених для виконання видів робіт, передбачених курсом.</p> <p>Література. Уся література, яку студенти не зможуть знайти самостійно, буде надана викладачем виключно в освітніх цілях без права її передачі третім особам. Студенти також заохочуються до використання іншої літератури та джерел, зокрема наукової літератури, яка відсутня серед обов'язкової та рекомендованої.</p> <p>Політика виставлення балів. Враховуються бали, набрані на поточному опитуванні, самостійній роботі та бали підсумкового контролю знань. Обов'язково враховуються присутність на заняттях та активність студента під час лабораторних занять; наголошується на неприпустимості пропусків або запізнь на заняття, користування мобільним телефоном, планшетом або іншими мобільними пристроями під час</p>

	занять з метою, не пов'язаною з навчанням, списування та плагіату, не своєчасного виконання поставлених завдань і т. ін. Жодні форми порушення академічної доброчесності не толеруються.
Питання до контрольних робіт	Перелік питань і завдань для проведення підсумкової оцінки знань усіх тем курсу до контрольних робіт розміщено на веб-сторінці http://194.44.208.156/moodle/course/view.php?id=63
Опитування	Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.

СХЕМА КУРСУ

Тиж.	Тема, план, короткі тези	Форма діяльності (заняття)	Література. Ресурси в Інтернеті	Завдання, практична робота, самостійна робота, год.	Термін виконання
1,2	Основні етапи розвитку обчислень. Фізичні і технологічні обмеження розвитку традиційної електроніки. Закон Мура. Машина Тюрінга. Лямбда-обчислення Черча. Роль квантових ефектів. Основні проблеми на шляху створення квантових комп'ютерів.	Лекція	1, 2, 3, 8,14	Вступне заняття. Академічна доброчесність. Закон Мура. Алгебра Буля та виконання логічних операцій.	3 тиж. семестру
3,4	Кубіти – основне поняття квантової інформатики. Опис стану квантової системи у Гільбертовому просторі станів. Стани багатокубітної системи. Тензорний добуток. Основні постулати квантової механіки.. Вимірювання у квантовій механіці.	Лекція	1, 2, 3, 4, 5, 6,	Практична робота . Кубіт - як вектор у Гільбертовому просторі. Стани багатокубітної системи.	5 тиж. семестру
5,6	Реалізація кубітів як фізичних систем. Основні принципи фізичної реалізації квантових комп'ютерів .Спін електрона, поляризація фотона, іонні кристали, кубіти на надпровідних елементах.	Лекція	2, 8, 9, 10, 11, 12	Практична робота. Оператори фізичних величин та їхнє матричне зображення. Матриці Паулі	7 тиж. семестру

7,8,9	Принципи квантових обчислень. Одно- і багато кубітові квантові логічні елементи та їхнє матричне зображення. Мінімальний набір елементів. Порівняння з класичним випадком: оборотність квантових елементів. Принципова схема квантового обчислення. Квантовий паралелізм.	Лекція	1, 2, 7, 8, 9 10	Моделювання роботи одно- та двокубітових квантових логічних елементів.	9 тиж. семестру
10, 11, 12	Квантові мережі.. Стани Белла. Квантова телепортація та надщільне кодування.	Лекція	3, 4, 9, 10	Моделювання процесу квантової телепортації та надщільного кодування.	11 тиж. семестру
13,14,	Квантові алгоритми. Алгоритми з оракулами. Квантові алгоритми пошуку. Алгоритми Гровера, Дойча –Йожі, Саймона, Шора. Квантова криптографія.	Лекція	3, 4, 9, 10, 12	Квантове перетворення Фур'є.	13. тиж. семестру
15, 16	Мови програмування . Особливості квантового програмування. Мова програмування Qirreg, її можливості. Елементи квантової теорії інформації. Міри інформації. Матриця станів. Інформація та ентропія.	Лекція	1, 2, 6, 7, 10	Підсумкове заняття	16 тиж. семестру