

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

Затверджено

На засіданні кафедри радіофізики і
комп'ютерних технологій
факультету електроніки та комп'ютерних
технологій
Львівського національного університету
імені Івана Франка
(протокол № ____ від 31 серпня 2020 р.)

Завідувач кафедри _____



Силабус з навчальної дисципліни
«Квантова фізика та обчислення»,
що викладається в межах ОПП «Комп'ютерні науки» третього
рівня вищої освіти (доктор філософії) для здобувачів з
спеціальності 122 «Комп'ютерні науки»

Львів 2020

Назва дисципліни	Квантова фізики та обчислення
Адреса викладання дисципліни	м. Львів, вул. Тарнавського, 107
Факультет та кафедра, за якою закріплена дисципліна	Факультет електроніки та комп'ютерних технологій, кафедра радіофізики і 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, професор, завідувач кафедри
Контактна інформація викладачів	Ivan.bolesta@lnu.edu.ua , ivanbolesta@gmail.com , 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. В режимі он-лайн: консультації проводяться за домовленістю з аспірантами на платформі MS Тімс, Skype, Зум та на інших ресурсах з попереднім погодженням часу (через електронну пошту викладача або телефонний дзвінок.
Сторінка дисципліни	https://electronics.lnu.edu.ua/course/kvantova-fizyka-ta-obchyslennia-122-komp-iuterni-nauky
Інформація про дисципліну	Дисципліна «Квантова Фізика та обчислення» є вибірковою дисципліною з спеціальності 122 Комп'ютерні науки для освітньої програми «Комп'ютерні науки», яка викладається в 3 семестрі в обсязі 3 кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS).
Коротка анотація дисципліни	Навчальну дисципліну розроблено таким чином, щоб надати аспірантам 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: надщільного кодування та телепортації. Обговорюються особливості алгоритмів та мови для квантового програмування.
Мета та цілі дисципліни	Метою вивчення курсу є одержання аспірантами знань з новітнього напрямку розвитку - квантової інформатики, яка сформувалася в останні 20 років на основі класичної теорії інформації, інформатики та квантової механіки. Вивчення курсу сприятиме формуванню сучасного наукового світогляду аспірантів.
Література для вивчення дисципліни	Основна література: 1. Нильсен М., Чанг І. Квантовые вычисления и квантовые компьютеры. Москва. Мир. 2006. 824 с. 2. Валиев К.А., Кокин А.А. Квантовые компьютеры: надежды и реальность. Ижевск. РХД. 2001. 352 с. 3. Китаев А., Шень А., Вялый М. Классические и квантовые вычисления. Мцсква. МЦНМО 1999. 186 с. 4. Nakahara M. Ohmi t. Quantum computing: from linear Algebra to physical realization. Boca Raton London, New York. 2008. 416 p. 5. Стин Э. Квантовые вычисления. Ижевск. РХД. 2000. 112 с. 6.Ткачук В.М. Фундаментальні проблеми квантової механіки. Львів:ЛНУ ім.І.Франка, 2011. Допоміжна література:

	<p>7. Кулик С.П. Физические основы квантовой информации. Конспект лекций. Доступно по адресу skulik@qopt.phys.msu.ru</p> <p>8. Крохмальський Т. Квантові комп'ютери: основи й алгоритми (короткий огляд). Журнал Фізичних Досліджень. 2004 Т.8, №1. С. 1-15.</p> <p>9. Емельянов В.И. Конспект лекций по основам квантовой физики и квантовых вычислениях. Москва. 2009.</p> <p>10. Качаев И.А. Квантовые вычисления. Препринт ИФВЭ Протвино. 2001. 24 с.</p> <p>11. Гайнутдинова А.Ф. Квантовые вычисления. Методическое пособие. Казань.</p> <p>12. Кайку М. Візії: як наука змінить ХХІ сторіччя. Львів: Літопис, 2004.- 544 с.</p> <p>13. Кайку М. Майбутнє розуму. Львів: Літопис, 2017.- 408 с.</p> <p>14. Ллойд С. Програмуючи всесвіт. Квантовий комп'ютер та майбутнє науки. Харків. Вид.-во «Клуб сімейного дозвілля». 2019.</p>
Обсяг курсу	48 години аудиторних занять. З них 32 години лекцій, 16 години практичних занять та 42 години самостійної роботи
Очікувані результати навчання	<p>Після завершення цього курсу студент буде знати:</p> <p>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:</p> <p>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, гільбертів простір, чисті, суперпозиційні та заплутані стани, квантові логічні елементи, квантові мережі, телепортація, надщільне кодування, квантовий паралелізм.
Формат курсу	Очний
	Проведення лекцій, практичних занять та консультації для кращого розуміння тем
Теми	Див. СХЕМА КУРСУ
Підсумковий контроль, форма	Іспит в кінці 3 семестру
Пререквізити	Для вивчення курсу студенти потребують базових знань з дисциплін «Фізика», «Вища математика», «Дискретна математика», «ТІМС» , «Алгоритми та структури даних», «Чисельні методи», «Комп'ютерна електротехніка та цифрова схемотехніка», «Аналогова схемотехніка» .
Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під	Презентація, лекції, практичні роботи, написання рефератів, виконання індивідуальних завдань (робота у групі, команді) обговорення, дискусія.

час викладання курсу	
Необхідне обладнання	Мультимедіа, платформи MS Tims, Moodle, комп'ютерне програмне забезпечення
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"> • практичні заняття: 40% семестрової оцінки; максимальна кількість балів 40. • контрольні заміри (2 модулі): 60% семестрової оцінки; максимальна кількість балів 60. Загалом упродовж семестру 100 балів. <hr/> <p>Контрольні заміри проводяться у формі тестових завдань.</p> <p>Академічна доброчесність: Очікується, що роботи аспірантів будуть їх оригінальними дослідженнями чи міркуваннями. Відсутність посилань на використані джерела, фабрикування джерел, списування, втручання в роботу інших аспірантів та ін. є прикладами можливої академічної не доброчесності. Виявлення ознак академічної не доброчесності є підставою для її не зарахування викладачем, незалежно від масштабів плагіату чи обману.</p> <p>Відвідання занять є важливою складовою навчання. Очікується, що аспіранти відвідають усі лекції і практичні заняття, а при неможливості відвідування - інформувати викладача. Аспіранти зобов'язані дотримуватися усіх термінів визначених для виконання усіх видів робіт, передбачених курсом.</p> <p>Література. Уся література, яку аспіранти не зможуть знайти самостійно, буде надана викладачем виключно в освітніх цілях без права її передачі третім особам. Аспіранти заохочуються до використання іншої літератури та джерел, яких немає серед рекомендованих.</p> <p>Політика виставлення балів. Враховуються бали набрані на поточному тестуванні, самостійній роботі та бали підсумкового тестування. При цьому обов'язково враховуються присутність на заняттях та активність під час практичних занять; недопустимість пропусків та запізнь на заняття; користування мобільним телефоном, планшетом чи іншими мобільними пристроями під час заняття в цілях не пов'язаних з навчанням; списування та плагіат; несвоєчасне виконання поставленого завдання і т. ін.</p> <p>Жодні форми порушення академічної доброчесності не толеруються.</p>
Питання до контрольних робіт	Перелік питань та завдань для проведення підсумкової оцінки знань певних тем до контрольних робіт розміщені на веб-сторінці.
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), 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	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,	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	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.	Лекція	1, 2, 6, 7, 10	Підсумкове заняття	15 тж. семестру
16.	Елементи квантової теорії інформації. Міри інформації. Матриця станів. Інформація та ентропія.	Лекція	1, 2, 6, 7, 10		