

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:  професор В. М. Ткачук

Силабус
з навчальної дисципліни «Квантові комунікації
(Quantum communications)»,
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	Квантові комунікації (Quantum communications)
Адреса викладання дисципліни	вул. Драгоманова, 12, 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 викладачів	andrij.kuzmak@lnu.edu.ua
Консультації з курсу відбуваються	Консультації в день проведення лекцій та практичних занять (за попередньою домовленістю). Також можливі он-лайн консультації через електронну пошту або он-лайн засобами Zoom, Microsoft Teams.
Сторінка курсу	https://physics.lnu.edu.ua/course/kvantovi-komunikatsii-104-fizyka-ta-astronomiia-op-kvantovi-komp-iutery-ta-kvantove-prohramuvannia
Інформація про дисципліну	Курс «Квантові комунікації» («Quantum communications») належить до обов'язкової навчальної дисципліни спеціальності 104 «Фізика та астрономія». Його викладають студентам освітньо-наукової програми «Квантові комп'ютери та квантове програмування» у III семестрі в обсязі 3 кредити (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS).
Коротка анотація дисципліни	Курс розроблено таким чином, щоб ознайомити студентів зі способами кодування, стиснення і передачі інформації через квантові канали.
Мета та цілі дисципліни	Метою і завданням навчальної дисципліни «Квантові комунікації» є ознайомлення студентів із квантовими комунікаціями; стисненням і передачею інформації через квантові канали; точністю передачі інформації через квантові канали; помилками, які виникають в квантових каналах; спроможністю передачі інформації через квантові канали.
Література для вивчення дисципліни	Базова: 1. <i>E. Desurvire</i> . Classical and Quantum Information Theory. An Introduction for the Telecom Scientist. «Cambridge University Press», 2002, 691 p. 2. <i>J. D. Hidary</i> . Quantum Computing: An Applied Approach. Springer Nature Switzerland AG, 2019, 379 p. Допоміжна: 3. <i>Ch. H. Bennet, G. Brassard, C. Crepeau</i> . Teleporting an Unknown Quantum State via Dual Classical and Einstein-Podolsky-Rosen Channels. Phys. Rev. Lett. 70 , 1895 (1993). 4. <i>D. Bouwmeester, J.-W. Pan, K. Mattle, M. Eibl, H. Weinfurter, A. Zeilinger</i> . Experimental quantum teleportation. Nature 390 , 575 (1997). Інформаційні ресурси 1. Wikipedia. http://www.wikipedia.org
Тривалість курсу	один семестр
Обсяг курсу	90 годин, з яких 32 годин аудиторних занять, з них 16 годин лекцій, 16 годин лабораторних занять, та 58 години самостійної роботи. Тижневе навантаження складає 2 годин аудиторних занять та 3,6 години самостійної роботи.
Очікувані результати навчання	Курс формує такі загальні (ЗК) та спеціальні компетентності (СК): <i>Загальні компетентності:</i> ЗК07 . Здатність проведення досліджень на відповідному рівні.

	<p><i>Спеціальні компетентності:</i></p> <p>СК02. Здатність формулювати, аналізувати та синтезувати рішення наукових проблем у галузі фізики та/або астрономії.</p> <p>СК03. Здатність презентувати результати проведених досліджень, а також сучасні концепції у фізиці та/або астрономії фахівцям і нефхівцям.</p> <p>СК05. Здатність сприймати новоздобуті знання у галузі фізики та астрономії та інтегрувати їх з уже наявними, а також самостійно опанувати знання та навички, необхідні для розв’язання складних задач і проблем у нових для себе деталізованих предметних галузях фізики та/або астрономії й дотичних до них міждисциплінарних областях.</p> <p>СК09. Здатність ефективно використовувати на практиці сучасні теорії методи управління наукою та ділового адміністрування.</p> <p>СК12. Здатність моделювати фізичні системи та досліджувати їх властивості на квантових комп’ютерах</p> <p><i>Програмні результати навчання (РН), на досягнення яких спрямоване вивчення курсу:</i></p> <p>РН01. Використовувати концептуальні та спеціалізовані знання і розуміння актуальних проблем і досягнень обраних напрямів сучасної теоретичної та експериментальної фізики та/або астрономії для розв’язання складних задач і практичних проблем.</p> <p>РН05. Здійснювати феноменологічний та теоретичний опис досліджуваних фізичних та/або астрономічних явищ, об’єктів і процесів.</p> <p>РН06. Обирати ефективні математичні методи та інформаційні технології та застосовувати їх для здійснення досліджень та/або інновацій у галузі фізики та/або астрономії.</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>РН13. Створювати фізичні, математичні і комп’ютерні моделі природних об’єктів та явищ, перевіряти їх адекватність, досліджувати їх для отримання нових висновків та поглиблення розуміння природи, аналізувати обмеження.</p> <p>РН17. Створювати квантові протоколи та реалізовувати їх на квантових комп’ютерах</p>
Ключові слова	<p>Криптографія, квантове щільне кодування, квантовий канал, квантовий протокол, квантове архівування, точність передачі інформації, точність зчитування інформації, помилки в квантових каналах, пропускна здатність квантового каналу.</p> <p>Cryptography, quantum dense coding, quantum channel, quantum protocol, quantum compressing, fidelity of information transmission, fidelity of information reading, errors in quantum channels, capacity of quantum channel.</p>
Формат курсу	Очний
	проведення лекцій, лабораторних занять та консультації для кращого розуміння тем
Теми	Наведено в Таблиці 1.
Підсумковий контроль, форма	Залік в кінці 3-го семестру.
Пререквізити	Для вивчення курсу студенти потребують ґрунтовних знань із дисциплін квантової механіки та вищої математики, зокрема курсу “Заплутані квантові стани та міра заплутаності”.

<p>Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу</p>	<p>Презентація, лекції, дискусія, розв'язок задач. Передбачено ілюстрування лекційного матеріалу схемами та графіками.</p>
<p>Необхідне обладнання</p>	<p>Дошка і крейда, персональний комп'ютер, проєктор</p>
<p>Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)</p>	<p>Оцінювання проводиться за 100-бальною шкалою. Бали нараховуються за таким співвідношенням:</p> <ul style="list-style-type: none"> • робота на лабораторних заняттях під час семестру: 40% сумарної оцінки; максимальна кількість балів — 40 відповідно до такої шкали: 36–40 — активна участь у 7–8 заняттях; 28–35 — активна участь у 5–6 заняттях; 20–27 — активна участь у 3–4 заняттях; 1–19 — активна участь у 1–2 заняттях; 0 — жодної активної участі в лабораторних заняттях; • підсумкове тестування за двома змістовими модулями (по 30 балів): 60% сумарної оцінки; <p>Кожен тест містить по 10 завдань. Кожне завдання оцінюється в 3 бали: 3 — правильна відповідь на завдання у тесті; 0 — неправильна відповідь на завдання у тесті; максимальна кількість балів — 60; Підсумкова максимальна кількість балів — 100.</p> <p>Письмові роботи: Очікується, що студенти виконають декілька видів письмових робіт (тестування).</p> <p>Академічна добросовісність: Очікується, що роботи студентів будуть їх оригінальними дослідженнями чи міркуваннями. Відсутність посилань на використані джерела, фабрикування джерел, списування, втручання в роботу інших студентів становлять, але не обмежують, приклади можливої академічної недобросовісності. Виявлення ознак академічної недобросовісності в письмовій роботі студента є підставою для її незарахування викладачем, незалежно від масштабів плагіату чи 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 письмових 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 заняттях, самостійній роботі, поточному тестуванні та підсумковому іспиті. При цьому обов'язково враховуються присутність на заняттях та активність студентів під час практичного заняття; недопустимість пропусків та запізень 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. Підсумковий іспит відбувається у відкритій формі з вільним доступом до</p>

	<p>будь-яких джерел інформації під час письмової частини.</p> <p>Жодні форми порушення академічної доброчесності не толеруються.</p>
Питання на контрольні роботи	<ol style="list-style-type: none"> 1. A protocol for transmitting information using dense coding. 2. Minimization of information loss during reading in quantum channel. 3. Fidelity of reading information from the quantum channel. 4. Quantum information compression protocol. 5. Schumacher's theorem on quantum coding of information. 6. An error in the quantum channel. 7. Types of errors in the quantum channel. 8. The capacity coefficient of the quantum channel. 9. HSW theorem. 10. Capacity of a quantum channel. <ol style="list-style-type: none"> 1. Протокол для передачі інформації за допомогою щільного кодування. 2. Мінімізація втрат інформації під час зчитування в квантовому каналі. 3. Точність зчитування інформації з квантового каналу. 4. Протокол стиснення квантової інформації. 5. Теорема Шумахера про квантове кодування інформації. 6. Помилка в квантовому каналі. 7. Типи помилок в квантовому каналі. 8. Коефіцієнт пропускної здатності квантового каналу. 9. HSW — теорема. 10. Пропускна здатність квантового каналу.
Опитування	Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.

Таблиця 1

Схема курсу «Квантові комунікації»

Тижні	Тема занять	Форма діяльності та обсяг годин	Термін виконання
1–2	<p>Передавання класичної інформації за допомогою кубітів через квантовий канал. Протокол для передачі інформації закодованої на двох кубітах за допомогою одного кубіта. Реалізація щільного квантового кодування на квантовому комп'ютері.</p> <p>Transmission of classical information using qubits via quantum channel. A protocol for transmitting information encoded on two qubits using one qubit. Implementation of dense quantum coding on a quantum computer. [1,2]</p>	Лекції — 2 год, лаб. заняття — 2 год самостійна робота — 8 год	2 тижня

Тижні	Тема занять	Форма діяльності та обсяг годин	Термін виконання
3–4	Мінімізація втрат інформації під час зчитування в квантовому каналі. Матриця густини закодованого повідомлення. Точність зчитування інформації з квантового каналу. Типовий підпростір. Minimization of information loss during reading in a quantum channel. Encoded message density matrix. Accuracy of reading information from a quantum channel. A typical subspace. [1]	Лекції — 2 год, лаб. заняття — 2 год самостійна робота — 8 год	2 тижні
5–6	Протокол стиснення квантової інформації. Точність зчитування стиснутої інформації, переданої через квантовий канал. Quantum information compression protocol. Fidelity of reading compressed information transmitted through a quantum channel. [1]	Лекції — 2 год, лаб. заняття — 2 год самостійна робота — 8 год	2 тижні
7–8	Теорема Шумахера про квантове кодування інформації. Надійність стиснення і кодування інформації і передача її через квантовий канал. Schumacher's theorem on quantum coding of information. Fidelity of compression and coding of information and its transmission through a quantum channel. [1,2]	Лекції — 2 год, лаб. заняття — 2 год самостійна робота — 8 год	2 тижні
9–10	Помилка в класичному каналі. Помилка в квантовому каналі. Типи помилок в квантовому каналі. An error in the classic channel. An error in the quantum channel. Types of errors in the quantum channel. [1]	Лекції — 2 год, лаб. заняття — 2 год самостійна робота — 5 год	2 тижні
11–12	Деполаризуючий канал. Квантовий канал з класичною помилкою. Фазова помилка. Квантовий канал з класичною і фазовою помилкою. Depolarizing channel. Quantum channel with classical error. Phase error. Quantum channel with classical and phase error. [1]	Лекції — 2 год, лаб. заняття — 2 год самостійна робота — 8 год	2 тижні
13–14	Коефіцієнт пропускної здатності квантового каналу. HSW — теорема. The coefficient of compression of the quantum channel. HSW theorem. [1]	Лекції — 2 год, лаб. заняття — 2 год самостійна робота — 5 год	2 тижні
15–16	Пропускна здатність квантового каналу без помилок. Пропускна здатність квантового каналу з різними типами помилок. Capacity of quantum channel without errors. Capacity of a quantum channel with different types of errors. [1,2]	Лекції — 2 год, лаб. заняття — 2 год самостійна робота — 8 год	2 тижні