

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:  Володимир ТКАЧУК

Силабус з навчальної дисципліни
«Квантові комп'ютери: сучасний стан і перспективи»,
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 комп'ютери: сучасний стан і перспективи
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	10 Природничі науки. 104 Фізика та астрономія
Викладач дисципліни	доцент кафедри теоретичної фізики імені професора Івана Вакарчука, к.ф.-м.н, доц. Стецко Микола Миколайович
Контактна інформація викладачів	mykola.stetsko@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-komp-iutery-suchasnyy-stand-ta-perspektyvy
Інформація про дисципліну	Курс «Квантові комп'ютери: сучасний стан і перспективи» належить до вибіркової навчальної дисципліни і розрахований на слухачів, що навчаються у межах спеціальності 104 «Фізика та астрономія». Його викладають студентам освітньо-наукової програми «Квантові комп'ютери та квантове програмування» у II семестрі 1-го року підготовки магістрів із обсягом 3 кредити (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS).
Коротка анотація дисципліни	Курс розроблено таким чином, щоб ознайомити студентів із сучасним станом квантових комп'ютерів, основою їх роботи і їхньою архітектурою.
Мета та цілі дисципліни	Метою і завданням навчальної дисципліни «Квантові комп'ютери: сучасний стан і перспективи» є ознайомлення студентів із фізичними основами роботи сучасних квантових комп'ютерів, які працюють на ефекті Джозефсона. Також ознайомити студентів із архітектурою квантових комп'ютерів, які реалізуються на ядерних і електронних спінах атомів.
Література для вивчення дисципліни	Базова: 1. <i>Francesco Tafuri</i> . Fundamentals and Frontiers of the Josephson Effect. Springer Series in Materials Science 286, 2019, 810 p. 2. <i>Т. Є. Крохмальський</i> . Вступ до квантових обчислень. Л.: «Львівський національний університет імені Івана Франка», 2018, 204 с. 3. <i>Juan José García Ripoll</i> , Quantum Information and Quantum Optics with superconducting circuits, Cambridge, Cambridge Univ. Press, 2022, 302 p. Допоміжна: 1. <i>B. Yurke, J. S. Denker</i> . Quantum network theory. Phys. Rev. A. 29 , 1419 (1983). 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

	<p>годин практичних занять, та 58 години самостійної роботи. Тижневе навантаження складає 2 годин аудиторних занять та 3,6 години самостійної роботи.</p>
Очікувані результати навчання	<p>Курс формує такі загальні (ЗК):</p> <p><i>Загальні компетентності:</i></p> <p>ЗК02. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.</p> <p>ЗК03. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.</p> <p>ЗК04. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.</p> <p>ЗК05. Здатність використовувати інформаційні та комунікаційні технології.</p> <p><i>Програмні результати навчання (РН), на досягнення яких спрямоване вивчення курсу:</i></p> <p>РН03. Застосовувати сучасні теорії наукового менеджменту та ділового адміністрування для організації наукових та прикладних досліджень у галузі фізики та/або астрономії.</p> <p>РН10. Відшукувати інформацію і дані, необхідні розв'язання складних задач фізики та/або астрономії, використовуючи різні джерела, зокрема, наукові видання, наукові бази даних тощо, оцінювати та критично аналізувати отриману інформацію та дані.</p> <p>РН11. Застосовувати теорії, принципи і методи фізики та/або астрономії для розв'язання складних міждисциплінарних наукових і прикладних задач.</p> <p>РН14. Розробляти та викладати фізичні та/або астрономічні навчальні дисципліни в закладах вищої, фахової передвищої, професійної (професійно-технічної), загальної середньої та позашкільної освіти, застосовувати сучасні освітні технології та методики, здійснювати необхідну консультативну методичну підтримку здобувачів освіти.</p> <p>РН15. Планувати наукові дослідження з урахуванням цілей та обмежень, обирати ефективні методи дослідження, робити обґрунтовані висновки, за результатами дослідження.</p>
Ключові слова	Квантовий комп'ютер, квантовий біт (кубіт), надпровідний кубіт, спин ядра, спин електрона, ефект Джозефсона, зарядовий кубіт, потоковий кубіт, фазовий кубіт.
Формат курсу	Очний
	проведення лекцій, лабораторних занять та консультації для кращого розуміння тем
Теми	<ol style="list-style-type: none"> 1. Квантові комп'ютери на ефекті Джозефсона. 2. Квантові комп'ютери на спінах.
Підсумковий контроль, форма	Залік в кінці 2-го семестру.
Пререквізити	Для вивчення курсу студенти потребують ґрунтовних знань із дисциплін загальної фізики та вищої математики. Насамперед з квантової механіки, фундаментальних проблем квантової механіки, статистичної фізики, квантової статистичної механіки, математичного аналізу, лінійної алгебри, диференціальних рівнянь.
Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу	Презентація, лекції, дискусія, розв'язок задач. Передбачено ілюстрування лекційного матеріалу схемами та графіками.

Необхідне обладнання	Дошка і крейда, персональний комп'ютер, проєктор
Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)	<p>Оцінювання проводиться за 100-бальною шкалою. Бали нараховуються за таким співвідношенням:</p> <p>a. робота на лабораторних заняттях під час семестру: 20% сумарної оцінки; максимальна кількість балів — 20 відповідно до такої шкали: 16–20 — активна участь у 7–8 заняттях; 11–15 — активна участь у 5–6 заняттях; 6–10 — активна участь у 3–4 заняттях; 1–5 — активна участь у 1–2 заняттях; 0 — жодної активної участі в лабораторних заняттях;</p> <p>b. підсумкове тестування за двома змістовими модулями (по 25 балів): 50% сумарної оцінки; максимальна кількість балів — 50;</p> <p>c. розширена доповідь (або декілька доповідей) на лабораторних заняттях за тематикою курсу (усереднена оцінка): 30% сумарної оцінки; максимальна кількість балів — 30 відповідно до такої шкали: 24–30 — студент повністю володіє матеріалом; 18–23 — рівень володіння матеріалом достатній; 12–17 — рівень володіння матеріалом частковий; 1–11 — студент майже не володіє матеріалом; 0 — доповіді не було.</p> <p>Максимальна семестрова кількість балів — 100. Додаткові бали (до 10 включно) можна отримати: написання тез, статті, участь у міжнародних, всеукраїнських та/або інших заходах або конкурсах за тематикою навчальної дисципліни.</p> <p>Підсумкова максимальна кількість балів — 100.</p> <p>Письмові роботи: Очікується, що студенти виконають декілька видів письмових робіт (тестування).</p> <p>Академічна доброчесність: 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 недоброчесності. Виявлення ознак академічної недоброчесності 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 запізнь на заняття; користування</p>

	<p>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 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. Ефект Джоузефсона. 2. Рівняння Джоузефсона. 3. Квант магнітного потоку. Константа Джоузефсона. 4. Три основні ефекти Джоузефсона. 5. Індуктивність Джоузефсона. 6. Енергія Джоузефсона. 7. Квантування електричного кола. 8. Три типи кубітів на ефекті Джоузефсона. 9. Спін у змінному магнітному полі. 10. Частота Рабі. 11. Вимірювання стану спіну у змінному магнітному полі. 12. Квантові логічні елементи побудовані на спіні у змінному магнітному полі. 13. Ефект Ландау-Зенера.
Опитування	Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.

Таблиця 1

Схема курсу «Квантові комп'ютери: сучасний стан і перспективи»

Тижні	Тема занять	Форма діяльності та обсяг годин	Термін виконання
1, 2	Тема 1. Ефект Джоузефсона. Рівняння Джоузефсона. Квант магнітного потоку. Константа Джоузефсона. Література: Б1, Б2, Б3, Д1.	Лекції — 2 год, практ. заняття — 2 год самостійна робота — 8 год	2 тижні
3,4	Тема 2. Три основні ефекти Джоузефсона. Індуктивність Джоузефсона. Енергія Джоузефсона. Література: Б1, Б2, Б3, Д1.	Лекції — 2 год, практ. заняття — 2 год самостійна робота — 8 год	2 тижні
5, 6	Тема 3. Квантування електричного кола. Література: Б1, Б2, Б3, Д1.	Лекції — 2 год, практ. заняття — 2 год самостійна робота — 8 год	2 тижні
7, 8	Тема 4. Три типи кубітів на ефекті Джоузефсона. Література: Б1, Б2, Б3, Д1.	Лекції — 2 год, практ. заняття — 2 год самостійна робота — 8 год	2 тижні
9, 10	Тема 5. Квантові комп'ютери на спінах ядер фосфору. Література: Б1, Б2, Б3, Д1.	Лекції — 2 год, практ. заняття — 2 год самостійна робота — 5 год	2 тижні
11,12	Тема 6. Спін $1/2$ у змінному магнітному полі. Частота Рабі. Література: Б1, Б2, Б3, Д1.	Лекції — 2 год, практ. заняття — 2 год самостійна робота — 8 год	2 тижні

Тижні	Тема занять	Форма діяльності та обсяг годин	Термін виконання
13, 14	Тема 7. Вимірювання кубіту побудованого на спіні $1/2$. Квантові логічні елементи. Література: Б1, Б2, Б3, Д1.	Лекції — 2 год, практ. заняття — 2 год самостійна робота — 5 год	2 тижні
15, 16	Тема 8. Ефект Ландау–Зенера. Література: Б1, Б2, Д1.	Лекції — 2 год, практ. заняття — 2 год самостійна робота — 8 год	2 тижні