

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Львівський національний університет імені Івана Франка**  
**Фізичний факультет**  
**Кафедра теоретичної фізики імені професора Івана Вакарчука**

**Затверджено**

На засіданні кафедра 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 «Досягнення та перспективи квантової механіки»,  
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**

<b>Назва дисципліни</b>	Досягнення та перспективи квантової механіки
<b>Адреса викладання дисципліни</b>	вул. Драгоманова, 19, 79005, м. Львів
<b>Факультет та кафедра, за якою закріплена дисципліна</b>	фізичний факультет, кафедра теоретичної фізики імені професора Івана Вакарчука
<b>Галузь знань, шифр та назва спеціальності</b>	Галузь знань – 10 Природничі науки Спеціальність – 104 Фізика та астрономія
<b>Викладач дисципліни</b>	Ткачук Володимир Михайлович, завідувач кафедри теоретичної фізики імені професора Івана Вакарчука, д. ф.-м.н.
<b>Контактна інформація викладача</b>	volodymyr.tkachuk@lnu.edu.ua <a href="https://physics.lnu.edu.ua/employee/tkachuk-volodymyr-myhajlovych">https://physics.lnu.edu.ua/employee/tkachuk-volodymyr-myhajlovych</a>
<b>Консультації з курсу відбуваються</b>	Консультації в день проведення лекцій та лабораторних занять (за попередньою домовленістю). Також можливі консультації через електронну пошту або он-лайн засобами Microsoft Teams, Telegram.
<b>Сторінка курсу</b>	<a href="https://physics.lnu.edu.ua/course/dosiahnennia-ta-...e-prohramuvannia">https://physics.lnu.edu.ua/course/dosiahnennia-ta-...e-prohramuvannia</a>
<b>Інформація про дисципліну</b>	Дисципліна «Досягнення та перспективи квантової механіки» дисципліною за вибором для підготовки магістра за спеціальністю 104 Фізика та астрономія, яка викладається в III семестрі в обсязі 5 кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS).
<b>Коротка анотація дисципліни</b>	Дисципліна «Досягнення та перспективи квантової механіки» присвячена вивченню деяких нових ефектів у фізиці квантової матерії.
<b>Мета та цілі дисципліни</b>	Метою даної дисципліни є одержання студентами базових знань про досягнення та перспективи розвитку квантової механіки. Завданням курсу є формування в студентів базових знань про сучасний стан квантової механіки.
<b>Література для вивчення дисципліни</b>	<b>Базова:</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>Ткачук В. М. <i>Фундаментальні проблеми квантової механіки</i>. Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2010.</li> <li>Крохмальський Т. Є. <i>Вступ до квантових обчислень</i>. Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2018.</li> </ol> <b>Допоміжна:</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>Вакарчук І. О. <i>Квантова механіка</i> (вид. 4-е, доп.). Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2012. (Розділ XII. Основи квантової інформації.).</li> <li>Zeilinger A. “A Foundational Principle for Quantum Mechanics,” <i>Foundations of Physics</i>. 1999. Vol. 29, No. 4, P. 631–643; <a href="https://doi.org/10.1023/A:1018820410908">https://doi.org/10.1023/A:1018820410908</a></li> </ol> <p>Додаткові матеріали також буде запропоновано для кожної теми окремо.</p> <b>Інформаційні ресурси:</b> <ol style="list-style-type: none"> <li><a href="https://arxiv.org">https://arxiv.org</a></li> </ol>
<b>Тривалість курсу</b>	один семестр
<b>Обсяг курсу</b>	150 годин, з яких 48 годин аудиторних занять, з них 16 годин лекцій, 32 години лабораторних занять, та 102 годин самостійної роботи.
<b>Очікувані результати навчання</b>	В результаті вивчення даного курсу студенти повинні <b>знати:</b> сучасний стан квантової механіки; <b>вміти:</b> застосовувати освоєні знання до різних задач.  <i>Загальні компетентності</i>

	<p><b>ЗК01.</b> Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.</p> <p><b>ЗК06.</b> Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми.</p> <p><b>ЗК07.</b> Здатність проведення досліджень на відповідному рівні.</p> <p><i>Спеціальні компетентності</i></p> <p><b>СК03.</b> Здатність презентувати результати проведених досліджень, а також сучасні концепції у фізиці та/або астрономії фахівцям і нефахівцям.</p> <p><b>СК04.</b> Здатність комунікувати із колегами усно і письмово державною та англійською мовами щодо наукових досягнень та результатів досліджень у галузі фізики та/або астрономії.</p> <p><i>Програмні результати навчання (ПРН), на досягнення яких спрямоване вивчення курсу:</i></p> <p><b>РН01.</b> 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><b>РН04.</b> Обирати і використовувати відповідні методи обробки та аналізу даних фізичних та/або астрономічних досліджень і оцінювання їх достовірності.</p> <p><b>РН05.</b> Здійснювати феноменологічний та теоретичний опис досліджуваних фізичних та/або астрономічних явищ, об'єктів і процесів.</p> <p><b>РН10.</b> Відшуковувати 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><b>РН16.</b> Брати продуктивну участь у виконанні експериментальних та/або теоретичних досліджень у галузі фізики та астрономії.</p>
<b>Ключові слова</b>	Ланцюжок Кітаєва, торовий код, модель Кітаєва на шестикутній ґратці, топологічний квабіт, топологічні квантові обчислення, квантовий ефект Гола, графен
<b>Формат курсу</b>	Очний
	проведення лекцій, лабораторних занять і консультації для кращого розуміння тем
<b>Теми</b>	Наведено у таблиці 1
<b>Підсумковий контроль, форма</b>	Підсумковий контроль: залік в кінці семестру. Форма: усна.
<b>Пререквізити</b>	Для вивчення курсу студенти потребують базових знань квантової механіки, методів математичної фізики, квантової статистичної механіки.
<b>Навчальні методи та техніки, які буде використано під час викладання курсу</b>	Презентації, лекції, робота за комп'ютером.
<b>Необхідне обладнання</b>	персональний комп'ютер, проектор
<b>Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)</b>	Оцінювання проводиться за 100-бальною шкалою. Бали нараховуються за таким співвідношенням: • 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;

	<p>1–5 — активна участь у 1–2 заняттях;  0 — жодної активної участі в лабораторних заняттях;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• підсумкове тестування за двома змістовими модулями (по 25 балів): 50% сумарної оцінки; максимальна кількість балів — 50;</li> <li>• 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.</li> </ul> <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.  Підсумкова максимальна кількість балів — 100.</p>
<b>Питання на залік (чи питання на контрольні роботи)</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Основні етапи розвитку квантової механіки.</li> <li>2. Сучасна квантова революція. Експерименти над індивідуальними квантовими системами.</li> <li>3. Сучасні експерименти із розсіювання на двох щілинах.</li> <li>4. Квантові комп'ютери: від Фейнмана до сьогодні.</li> <li>5. Способи реалізації квантових бітів.</li> <li>6. Основні проблеми в реалізації квантових комп'ютерів. Декогеренція.</li> <li>7. Квантова криптографія – найбільш успішний проект квантової інформації.</li> <li>8. Перспективи сучасних квантових технологій.</li> </ol>
<b>Опитування</b>	Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.

Таблиця 1

## Схема курсу «Досягнення та перспективи квантової механіки»

Тижні	Тема занять (перелік питань)	Форма діяльності та обсяг годин	Термін виконання
1–2	<b>Тема 1.</b> Основні етапи розвитку квантової механіки. <b>Література:</b> Б1, Б2, Д3, Д4.	Лекції — 2 год. лабораторні — 4 год. самостійна робота — 13 год.	2 тижні
3–4	<b>Тема 2.</b> Сучасна квантова революція. Експерименти над індивідуальними квантовими системами <b>Література:</b> : Б1, Б2, Д3.	Лекції — 2 год. лабораторні — 4 год. самостійна робота — 13 год.	2 тижні
5–6	<b>Тема 3.</b> Сучасні експерименти із розсіювання на двох щілинах. <b>Література:</b> Б1, Д6, Д7.	Лекції — 2 год. лабораторні — 4 год. самостійна робота — 13 год.	2 тижні
7–8	<b>Тема 4.</b> Квантові комп'ютери: від Фейнмана до сьогодні <b>Література:</b> Б1, Б2, Д3, Д4.	Лекції — 2 год. лабораторні — 4 год. самостійна робота — 13 год.	2 тижні

Тижні	Тема занять (перелік питань)	Форма діяльності та обсяг годин	Термін виконання
		год.	
9–10	<b>Тема 5.</b> Способи реалізації квантових бітів. <b>Література:</b> Б1, Б2	Лекції — 2 год. лабораторні — 4 год. самостійна робота — 13 год.	2 тижні
11–12	<b>Тема 6.</b> Основні проблеми в реалізації квантових комп'ютерів. Декогеренція. <b>Література:</b> Б1, Б2	Лекції — 2 год. лабораторні — 4 год. самостійна робота — 13 год.	2 тижні
13–14	<b>Тема 7.</b> Квантова криптографія – найбільш успішний проект квантової інформації. <b>Література:</b> Б1, Б2..	Лекції — 2 год. лабораторні — 4 год., самостійна робота — 13 год.	2 тижні
15–16	<b>Тема 8.</b> Перспективи сучасних квантових технологій.  <b>Література:</b> Б1, Б2, Д1.	Лекції — 2 год. лабораторні — 4 год. самостійна робота — 11 год.	2 тижні