

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 «Нові задачі квантової механіки
(New problems of quantum mechanics)»,
що викладається в межах
ОНП «Теоретична фізика та астрофізика»
другого (магістерського) рівня вищої освіти
для здобувачів з спеціальності 104 Фізика та астрономія

Львів 2023

Назва дисципліни	Нові задачі квантової механіки (New problems of quantum mechanics)
Адреса викладання дисципліни	вул. Драгоманова, 19, 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	Лектор: завідувач кафедри теоретичної фізики імені професора Івана Вакарчука д.фіз.-мат. н., проф. Ткачук Володимир Михайлович
Контактна інформація викладача	volodymyr.tkachuk@lnu.edu.ua https://physics.lnu.edu.ua/employee/tkachuk-volodymyr-myhajlovych
Консультації з курсу відбуваються	Консультації в день проведення лекцій та лабораторних занять (за попередньою домовленістю). Також можливі консультації через електронну пошту або он-лайн засобами Microsoft Teams, Telegram.
Сторінка курсу	https://physics.lnu.edu.ua/course/novi-zadachi-kvantovoi-mekhaniky-new-problems-of-quantum-mechanics
Інформація про дисципліну	Дисципліна «Нові задачі квантової механіки (New problems of quantum mechanics)» є нормативною дисципліною для підготовки магістра за спеціальністю 104 Фізика та астрономія, ОНП «Теоретична фізика та астрофізика», яка викладається в II семестрі в обсязі 3 кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS).
Коротка анотація дисципліни	Дисципліна «Нові задачі квантової механіки (New problems of quantum mechanics)» присвячена вивченню сучасних проблем та задач квантової механіки, зокрема проблеми побудови теорії квантованого простору, оцінки величини кванта довжини.
Мета та цілі дисципліни	Метою даної дисципліни є одержання студентами знань основних задач квантової механіки, які пов'язані з врахуванням особливостей структури простору на планківських масштабах. Завданням курсу є формування в студентів знань та умінь розв'язання основних задач квантової механіки, які пов'язані з врахуванням квантованості простору.
Література для вивчення дисципліни	Базова: 1. Х. П. Гнатенко, В. М. Ткачук. <i>Фізичні системи у квантованому просторі</i> . Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2021. 130 стор. 2. Kh. P. Gnatenko, V. M. Tkachuk. <i>The Soccer-ball problem in quantum space</i> . ACC Gdansk, 2020. 95 pages. 3. І. О. Вакарчук. <i>Квантова механіка</i> (видання четверте, доповнене). Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2012. 872 стор. Допоміжна: 1. Kh. P. Gnatenko. “Composite system in noncommutative space and the equivalence principle.” <i>Phys. Lett. A</i> . 2013. Vol. 377, No. 43. P. 3061–3066. 2. Kh. P. Gnatenko, V. M. Tkachuk. “Weak equivalence principle in quantum space.” <i>Front. Astron. Space Sci.</i> 2022. Vol. 9. Art. 950468. 3. Kh. P. Gnatenko, V. M. Tkachuk. “Deformed Heisenberg algebras of different types with preserved weak equivalence principle.” <i>J. Phys. Stud.</i> 2023. Vol. 27, No. 1. Art. 1001. Додаткові матеріали також буде запропоновано для кожної теми окремо. Інформаційні ресурси: 1. https://scholar.google.com.ua/scholar?hl=uk&as_sdt=0%2C5&q=quantize+d+space&btnG= 2. https://arxiv.org/

Тривалість курсу	один семестр
Обсяг курсу	90 годин, з яких 32 годин аудиторних занять, з них 16 годин лекцій, 16 години лабораторних занять, та 58 годин самостійної роботи.
Очікувані результати навчання	<p>В результаті вивчення даного курсу студенти повинні</p> <p>знати: основні сучасні задачі квантової механіки</p> <p>вміти: розв'язувати задачі квантової механіки, пов'язані з врахуванням структури простору на планківських масштабах.</p> <p><i>Загальні компетентності</i></p> <p>ЗК01. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.</p> <p>ЗК02. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.</p> <p>ЗК04. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями</p> <p><i>Спеціальні компетентності</i></p> <p>СК01. Здатність використовувати закони та принципи фізики та/або астрономії у поєднанні із потрібними математичними інструментами для опису природних явищ.</p> <p>СК02. Здатність формулювати, аналізувати та синтезувати рішення наукових проблем у галузі фізики та/або астрономії.</p> <p>СК04. Здатність комунікувати з колегами усно і письмово державною та англійською мовами щодо наукових досягнень та результатів досліджень у галузі фізики та/або астрономії.</p> <p>СК05. Здатність сприймати новоздобуті знання у галузі фізики та астрономії та інтегрувати їх з уже наявними, а також самостійно опановувати 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>СК12. Здатність оперувати з основними типами деформації алгебри Гайзенберга, використовувати їх у задачах фізики мікро- та макросвіту.</p> <p>Програмні <i>результати навчання</i> (РН), на досягнення яких спрямоване вивчення курсу:</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>РН02. Проводити експериментальні та/або теоретичні дослідження з фізики та астрономії, аналізувати отримані результати в контексті існуючих теорій, робити аргументовані висновки (включаючи оцінювання ступеня невизначеності) та пропозиції щодо подальших досліджень.</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>РН10. 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>РН13. Створювати фізичні, математичні і комп'ютерні моделі природ-</p>

	<p>них об'єктів та явищ, перевіряти їх адекватність, досліджувати їх для отримання нових висновків та поглиблення розуміння природи, аналізувати обмеження.</p> <p>РН17. Розв'язувати найпростіші квантово-механічні задачі з урахуванням квантованості простору на планківських масштабах, знаходити оцінки для величини кванта простору, застосовувати узагальнення статистик Бозе–Айнштейна та Фермі–Дірака у статистико-механічному та квантово-механічному підходах для ефективного моделювання фізичних систем.</p>
Ключові слова	Space quantization at the Planck scale, minimal length, deformed Heisenberg algebras / Квантованість простору на планківських масштабах, мінімальна довжина, деформовані алгебри Гайзенберга
Формат курсу	Очний
Теми	Наведено у таблиці 1
Підсумковий контроль, форма	Залік в кінці II семестру.
Пререквізити	Для вивчення курсу студенти потребують базових знань квантової механіки та дисципліни «Фундаментальні проблеми квантової механіки»
Навчальні методи та техніки, які буде використано під час викладання курсу	Презентації, лекції, робота за комп'ютером.
Необхідне обладнання	персональний комп'ютер, загальноживані комп'ютерні програми й операційні системи, проектор
Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)	<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: <ul style="list-style-type: none"> 31–40 — активна участь у 7–8 заняттях; 21–30 — активна участь у 5–6 заняттях; 11–20 — активна участь у 3–4 заняттях; 1–10 — активна участь у 1–2 заняттях; 0 — жодної активної участі в лабораторних заняттях; • підсумкова контрольна робота за двома змістовими модулями (по 30 балів): 60% сумарної оцінки; максимальна кількість балів — 60; кожна контрольна робота складається з 3 завдань по 5 балів: <ul style="list-style-type: none"> 5 — завдання виконане повністю правильно; 4 — незначні недоліки у виконанні завдання; 2–3 — завдання виконане частково; 1 — зазначено лише вихідні вирази для виконання завдання; 0 — відповідь відсутня. <p>Підсумкова максимальна кількість балів 100.</p> <p>Академічна доброчесність здобувачами вищої освіти передбачає самостійне виконання навчальних завдань, завдань поточного та підсумкового контролю результатів навчання. Списування, втручання в роботу інших студентів становлять, але не обмежують, приклади можливої академічної недоброчесності. Виявлення ознак академічної недоброчесності в письмовій чи усній роботі студента є підставою для її незарахування викладачем, незалежно від масштабів 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</p>

	<p>будь-якому випадку студенти зобов'язані дотримуватися усіх строків, визначених для виконання усіх видів робіт, передбачених курсом.</p> <p>Література. Усю літературу, 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 лабораторних заняттях та контрольних роботах. При цьому обов'язково враховуються присутність на заняттях та активність студента під час заняття; недопустимість пропусків та запізнь 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.</p> <p>Жодні форми академічної недоброчесності не толеруються.</p>
<p>Питання на контрольну роботу</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. The history of the idea of deformation of commutation relations for operators of coordinates and momenta. 2. Generalized uncertainty relation and minimal length. 3. One-dimensional deformed Heisenberg algebra. 4. Uncertainty relations in noncommutative space. 5. Representation for non-commutative coordinates and non-commutative momenta. 6. Features of Snyder's algebra and Kempf's algebra. 7. Representation for coordinates and momenta that satisfy the deformed algebra. Minimal length. 8. The problem of describing the motion of a macroscopic body in a quantized space. 9. Algebra for coordinates and momenta of the center of mass, coordinates and momenta of relative motion. 10. The problem of violation of the principle of equivalence in a space with minimal length and its solution. 11. Estimation of the quantum of space based on the equivalence principle. 12. A noncommutative algebra, which is rotationally-invariant, equivalent to noncommutative algebra of canonical type and does not leads to violation of the weak equivalence principle. 13. Circular motion in quantized space. 14. A non-commutative algebra that does not cause a violation of time-reversal symmetry <ol style="list-style-type: none"> 1. Історія виникнення ідеї про деформацію комутаційних співвідношень для операторів координат та операторів імпульсів. 2. Узагальнене співвідношення невизначеностей та мінімальна довжина. 3. Одновимірні деформована алгебра Гайзенберга. 4. Співвідношення невизначеностей у некомутивному просторі. 5. Представлення для некомутивних координат та некомутивних імпульсів. 6. Особливості алгебри Снайдера та алгебри Кемпфа. 7. Представлення для координат та імпульсів, які задовольняють деформовану алгебру. Мінімальна довжина. 8. Проблема опису руху макроскопічного тіла у квантованому просторі. 9. Алгебра для координат та імпульсів центра мас, координат та імпульсів відносного руху.

	<p>10. Проблема порушення принципу еквівалентності у просторі з мінімальною довжиною та її розв'язання.</p> <p>11. Оцінка величини кванта простору на основі принципу еквівалентності.</p> <p>12. Некомутативна алгебра, яка є сферично симетрична, еквівалентна алгебра канонічного типу та не зумовлює порушення принципу еквівалентності.</p> <p>13. Рух по колу у квантованому просторі.</p> <p>14. Некомутативна алгебра, яка не зумовлює порушення симетрії відносно інверсії часу.</p>
Опитування	Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.

Таблиця 1

Схема курсу «Нові задачі квантової механіки (New problems of quantum mechanics)»*

Тиждень	Тема занять	Форма діяльності та обсяг годин	Термін виконання
Змістовий модуль 1			
1–2	<p>Тема 1. Вступ. Історія виникнення ідеї про деформацію комутаційних співвідношень для операторів координат та операторів імпульсів, її зв'язок з теорією струн та квантовою гравітацією.</p> <p>[Introduction. The history of the idea of deformation of commutation relations for operators of coordinates and operators of momenta, its relation with string theory and quantum gravity]</p> <p>Література: Б1–Б3, Д2</p>	Лекції — 2 год, лабораторні — 2 год, самостійна робота — 7 год.	2 тижні
3–4	<p>Тема 2. Узагальнене співвідношення невизначеностей. Узагальнене співвідношення невизначеностей та мінімальна довжина. Одновимірні деформована алгебра Гайзенберга. [Generalized uncertainty relation. Generalized uncertainty relation and minimum length. One-dimensional deformed Heisenberg algebra.]</p> <p>Література: Б1–Б3, Д3</p>	Лекції — 2 год, лабораторні — 2 год, самостійна робота — 7 год.	2 тижні

* Поклики на літературу подано відповідно до переліку базової (Б) та допоміжної (Д) літератури.

Тижні	Тема занять	Форма діяльності та обсяг годин	Термін виконання
5–6	<p>Тема 3. Некомутативний простір канонічного типу. Двовимірна некомутативна алгебра. Співвідношення невизначеностей у некомутативному просторі. Представлення для некомутативних координат та некомутативних імпульсів.</p> <p>[A noncommutative space of canonical type. Two-dimensional noncommutative algebra. Uncertainty relations in noncommutative space. Representation for noncommutative coordinates and noncommutative momenta.]</p> <p>Література: Б1–Б3, Д1</p>	Лекції — 2 год, лабораторні — 2 год, самостійна робота — 7 год.	2 тижні
7–8	<p>Тема 4. Алгебра Снайдера та алгебра Кемпфа. Особливості алгебри Снайдера та алгебри Кемпфа. Представлення для координат та імпульсів, які задовольняють деформовану алгебру. Мінімальна довжина.</p> <p>[Snyder's algebra and Kempf's algebra. Features of Snyder's algebra and Kempf's algebra. Representations for coordinates and momenta that satisfy the deformed algebra. Minimum length.]</p> <p>Література: Б1–Б3, Д2</p>	Лекції — 2 год, лабораторні — 1 год, контрольна робота — 1 год, самостійна робота — 7 год.	2 тижні
Змістовий модуль 2			
9–10	<p>Тема 5. Макроскопічне тіло у квантованому просторі. Проблема опису руху макроскопічного тіла у квантованому просторі. Алгебра для координат та імпульсів центра мас, координат та імпульсів відносного руху.</p> <p>[A macroscopic body in a quantized space. The problem of describing the motion of a macroscopic body in a quantized space. Algebra for coordinates and momenta of the center of mass, coordinates and momenta of relative motion.]</p> <p>Література: Б1–Б3, Д1</p>	Лекції — 2 год, лабораторні — 2 год, самостійна робота — 7 год.	2 тижні

Тижні	Тема занять	Форма діяльності та обсяг годин	Термін виконання
11–12	<p>Тема 6. Принцип еквівалентності. Проблема порушення принципу еквівалентності у просторі з мінімальною довжиною та її розв'язання. Оцінка величини кванта простору на основі принципу еквівалентності.</p> <p>[The equivalence principle. The problem of violation of the equivalence principle in a space with minimal length and its solution. Estimation of the quantum of space based on the principle of equivalence.]</p> <p>Література: Б1–Б3, Д3</p>	Лекції — 2 год, лабораторні — 2 год, самостійна робота — 7 год.	2 тижні
13–14	<p>Тема 7. Сферична симетрія у некомутованому просторі канонічного типу. Некомутована алгебра, яка є сферично симетрична, еквівалентна алгебра канонічного типу та не зумовлює порушення принципу еквівалентності.</p> <p>[Rotational symmetry in a noncommutative space of canonical type. A noncommutative algebra, which is rotationally-invariant, equivalent to noncommutative algebra of canonical type and does not lead to violation of the weak equivalence principle.]</p> <p>Література: Б1–Б3, Д3</p>	Лекції — 2 год, лабораторні — 2 год, самостійна робота — 8 год.	2 тижні
15–16	<p>Тема 8. Симетрія відносно інверсії часу. Рух по колу у квантованому просторі. Некомутована алгебра, яка не зумовлює порушення симетрії відносно інверсії часу.</p> <p>[Time-reversal symmetry. Circular motion in quantized space. A non-commutative algebra that does not cause a violation of time-reversal symmetry.]</p> <p>Література: Б1–Б3, Д3</p>	Лекції — 2 год, лабораторні — 1 год, контрольна робота — 1 год, самостійна робота — 8 год.	2 тижні