

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 «Exotic types of statistics [Екзотичні статистики]»,
що викладається в межах
ОНП «Теоретична фізика та астрофізика»
другого (магістерського) рівня вищої освіти
для здобувачів зі спеціальності 104 Фізика та астрономія

Львів 2023

Назва дисципліни	Екзотичні статистики (Exotic types of statistics)
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	професор кафедри теоретичної фізики імені професора Івана Вакарчука, д.ф.-м.н., проф. Ровенчак Андрій Адамович
Контактна інформація викладача	andrij.rovenchak@lnu.edu.ua ; andrij.rovenchak@gmail.com https://physics.lnu.edu.ua/employee/rovenchak-a-a
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 Zoom, Microsoft Teams, Skype.
Сторінка курсу	https://physics.lnu.edu.ua/course/ekzotychni-statystyka
Інформація про дисципліну	Дисципліна «Екзотичні статистики (Exotic types of statistics)» належить до дослідницького (наукового) компонента освітньо-наукової програми «Теоретична фізика та астрофізика» спеціальності 104 Фізика та астрономія другого (магістерського) рівня. Її викладають у III семестрі в обсязі 3 кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS).
Коротка анотація дисципліни	У курсі подано інформацію про різноманітні узагальнення статистик Фермі–Дірака і Бозе–Айнштайна. Розглянуто підходи до таких узагальнень, розвинуті в межах статистичної фізики та квантової механіки. Показано способи знаходження зв'язку між параметрами різних статистик.
Мета та цілі дисципліни	Метою і завданням навчальної дисципліни «Екзотичні статистики (Exotic types of statistics)» є ознайомлення студентів із фізичними моделями, які можна описувати за допомогою квантових статистичних розподілів, відмінних від традиційних розподілів Фермі–Дірака і Бозе–Айнштайна. Передбачено аналіз дробових статистик Джентіле, Поліхронакоса, Голдейна–Ву, сімейства неекстенсивних статистик типу Цалліса, еніонної статистики та деяких інших з погляду статистичної фізики та квантової механіки. Відповідні питання є актуальним при вивченні низькорозмірних (одно- та двовимірних) систем. Неекстенсивні узагальнення статистики також використовують у міждисциплінарних дослідженнях.
Література для вивчення дисципліни	Базова: 1. А. А. Ровенчак. <i>Екзотичні статистики</i> . Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2018. 2. А. А. Ровенчак. <i>Статистика Бозе і дробові статистики в теорії багаточастинкових систем і суміжних задачах</i> . Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2019. 3. S. Abe and Y. Okamoto (eds.). <i>Nonextensive Statistical Mechanics and Its Applications</i> . Berlin: Springer, 2001. 4. A. Khare. <i>Fractional statistics and quantum theory</i> . Singapore: World Scientific, 2005. Допоміжна: 1. П. І. Голод та А. У. Клімик. <i>Математичні основи теорії симетрій</i> .

	<p>Наукова думка, Київ, 1992.</p> <ol style="list-style-type: none"> 2. А. А. Ровенчак. <i>Фізика бозе-систем</i>. Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2015. 3. А. Isihara. <i>Statistical Physics</i>. Academic Press, 1971. 4. A. Lavagno and P. Narayana Swamy. Thermostatistics of a q-deformed boson gas. <i>Phys. Rev. E</i> 61(2): 1218–1226 (2000). 5. A. P. Rebesh, I. I. Kachurik, and A. M. Gavrilik. Elements of μ-calculus and thermodynamics of μ-Bose gas model. <i>Ukr. J. Phys.</i> 58(12): 1182–1191 (2013). 6. A. Rovenchak. Phase transition in a system of 1D harmonic oscillators obeying Polychronakos statistics with a complex parameter. <i>Low Temp. Phys.</i> 39(10): 888–892 (2013). 7. C. Tsallis. Possible generalization of Boltzmann-Gibbs statistics. <i>J. Stat. Phys.</i> 52(1–2): 479–486 (1988). 8. F. Wilczek. <i>Fractional Statistics and Anyon Superconductivity</i>. Singapore: World Scientific, 1990. <p>Інформаційні ресурси:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Anyon Physics of Ultracold Atomic Gases. http://users.physik.fu-berlin.de/~pelster/Anyon2/index.html 2. Nonextensive Statistical Mechanics and Thermodynamics. http://tsallis.cat.cbpf.br/biblio.htm 3. Wolfram MathWorld. http://mathworld.wolfram.com
Тривалість курсу	один семестр
Обсяг курсу	90 годин, з яких 32 годин аудиторних занять, з них 16 години лекцій, 16 годин лабораторних занять, та 58 години самостійної роботи.
Очікувані результати навчання	<p>Курс формує такі загальні (ЗК) та спеціальні компетентності (СК):</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>СК13. Здатність будувати спрощені моделі фізичних явищ та віднаходити аналогії для міждисциплінарних застосувань фізичних методів дослідження.</p>

	<p><i>Програмні результати навчання (ПРН)</i>, 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>РН08. Презентувати результати досліджень у формі доповідей на семінарах, конференціях тощо, здійснювати професійний письмовий опис наукового дослідження, враховуючи вимоги, мету та цільову аудиторію.</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>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. 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	Gentile statistics; Polychronakos statistics; Haldane–Wu statistics; Tsallis entropy nonextensive statistics; nonadditive statistics; q -deformations; anyons; braid group; virial expansions / статистика Джентіле; статистика Поліхронакоса; статистика Голдейна–Ву; ентропія Цалліса; неекстенсивна статистика; неадитивна статистика; q -деформації; еніони; група кіс; віріальні розклади
Формат курсу	Очний
Теми	Див. Табл. 1 Схема курсу
Підсумковий контроль, форма	Залік у III семестрі
Пререквізити	Для вивчення курсу студенти потребують знань із таких дисциплін: квантова механіка, термодинаміка і статистична фізика, квантова статистика, фізика бозе-систем, квантова теорія поля.
Навчальні методи та техніки, які буде використано під час викладання курсу	Презентація, лекції, дискусія, підготовка доповідей, розв'язування задач. Передбачено ілюстрування лекційного матеріалу схемами та рисунками.
Необхідне обладнання	персональний комп'ютер, загальноновживані комп'ютерні програми й операційні системи, проєктор; система комп'ютерної алгебри wxMaxima

**Критерії оцінювання
(окремо для кожного
виду навчальної
діяльності)**

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:
17–20 — активна участь у 7–8 заняттях;
13–16 — активна участь у 5–6 заняттях;
9–12 — активна участь у 3–4 заняттях;
1–8 — активна участь у 1–2 заняттях;
0 — жодної активної участі в лабораторних заняттях;
- підсумкове тестування за двома змістовими модулями (по 20 балів, проводиться на під час лабораторних занять): 40% сумарної оцінки; максимальна кількість балів — 40;
- розширена доповідь (або декілька доповідей) на лабораторних заняттях за тематикою курсу (усереднена оцінка): 40% сумарної оцінки; максимальна кількість балів — 40 відповідно до такої шкали:
31–40 — студент повністю володіє матеріалом;
21–30 — рівень володіння матеріалом достатній;
11–20 — рівень володіння матеріалом частковий;
1–10 — студент майже не володіє матеріалом;
0 — доповіді не було;

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.

Письмові роботи: Очікується, що студенти виконають декілька видів письмових робіт (підсумкові тестування за двома змістовими модулями протягом семестру).

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.

Відвідання занять є важливою складовою навчання. Очікується, що всі студенти відвідають усі лекції і лабораторні 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.

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.

Політика виставлення балів. Враховуються бали, набрані на лабораторних заняттях та підсумкових тестуваннях за двома змістовими

	модулями. 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. Жодні форми порушення академічної доброчесності не толеруються.
Опитування	Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.

Таблиця 1

Схема курсу «Екзотичні статистики (Exotic types of statistics)»*

Тиждні	Тема занять (перелік питань)	Форма діяльності та обсяг годин	Термін виконання
Змістовий модуль 1. Statistical-mechanical approaches [Статистико-механічні підходи]			
1–2	1. Introduction. Grand canonical ensemble. The notion of statistics. Energy level occupation. Statistical-mechanical approach. [Вступ. Великий канонічний ансамбль. Поняття статистики. Заповнення енергетичних рівнів. Статистико-механічний підхід.] Література: Б1, Д2, Д3	Лекції — 2 год, лабораторні — 2 год, самостійна робота — 5 год	2 тижні
3–4	2. Gentile statistics. Derivation of the Gentile distribution. Thermodynamic properties of systems obeying the Gentile statistics. [Статистика Джентіле. Виведення розподілу Джентіле. Термодинамічні властивості систем зі статистикою Джентіле.] Література: Б1, Б2, Б4, Д2, Д3	Лекції — 2 год, лабораторні — 2 год, самостійна робота — 8 год	2 тижні
5–6	3. Polychronakos and Haldane–Wu fractional statistics. Derivations of the expression for occupation numbers. Thermodynamic functions. [Дробові статистики Поліхронакоса та Голдейна–Ву. Виведення виразів для чисел заповнення. Термодинамічні функції.] Література: Б1, Б2, Б4, Д6	Лекції — 2 год, лабораторні — 2 год, самостійна робота — 8 год	2 тижні
7–8	4. Tsallis statistics. Non-extensive statistical mechanics [Статистика Цалліса. Неекстенсивна статистична механіка.] Література: Б1, Б2, Б3, Д4, Д5, Д7	Лекції — 2 год, лабораторні — 2 год, самостійна робота — 8 год	2 тижні

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

Тижні	Тема занять (перелік питань)	Форма діяльності та обсяг годин	Термін виконання
Змістовий модуль 2. Quantum-mechanical approaches [Квантово-механічні підходи]			
9–10	5. Quantum-mechanical approach to the notion of fractional statistics. Anyon statistics. Fractional quantum Hall effect. Wave function properties [Квантово-механічний підхід до поняття дробової статистики. Еніонна статистика. Дробовий квантовий ефект Голла. Властивості хвильової функції.] Література: Б1, Б4, Д8	Лекції — 2 год, лабораторні — 2 год, самостійна робота — 8 год	2 тижні
11–12	6. Operator realization of fractional statistics. q -deformation. Parabosons and parafermions [Операторна реалізація дробових статистик. q -деформації. Парабозони і параферміони.] Література: Б1	Лекції — 2 год, лабораторні — 2 год, самостійна робота — 8 год	2 тижні
13–14	7. Elements of group theory. Definition of a group. Lie groups, $SU(n)$, braid group. Group-theoretical representation of fractional statistics. [Елементи теорії груп. Означення групи. Групи Лі, $SU(n)$, група кіс. Теоретико-групове зображення дробових статистик.] Література: Б1, Д1	Лекції — 2 год, лабораторні — 2 год, самостійна робота — 5 год	2 тижні
15–16	8. Links between parameters of various fractional statistics. Virial expansions. [Зв'язок між параметрами різних дробових статистик. Віріальні розклади.] Література: Б1, Б2, Б4	Лекції — 2 год, лабораторні — 2 год, самостійна робота — 8 год	2 тижні