

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
«Вибрані питання квантової статистичної механіки»,
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 курсу	Вибрані питання квантової статистичної механіки
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. Пастухов Володимир Степанович
Контактна інформація викладача	volodymyr.pastukhov@lnu.edu.ua ; volodyapastukhov@gmail.com https://physics.lnu.edu.ua/employee/pastukhov-v-s
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/vybrani-pytannya-kvantovoji-statystychnoji-mehaniky-fizyka
Інформація про дисципліну	Дисципліна «Вибрані питання квантової статистичної механіки» належить до обов'язкового компонента освітньо-наукової програми «Теоретична фізика та астрофізика» спеціальності 104 Фізика та астрономія другого (магістерського) рівня вищої освіти. Її викладають у III семестрі в обсязі 5 кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS).
Коротка анотація дисципліни	У курсі коротко розглянуто деякі напрямки розвитку багаточастинкової фізики останніх років в контексті досліджень холодних газів.
Мета та цілі дисципліни	Метою і завданням навчальної дисципліни «Вибрані питання квантової статистичної механіки» є ознайомлення студентів, як з деякими вже добре відомими концепціями багаточастинкової фізики, так і з новими напрямками, які виникли в останні десятиліття.
Література для вивчення дисципліни	Базова: 1. І. В. Стасюк, <i>Функції Гріна у квантовій статистиці твердих тіл</i> , Видавництво Львівського університету, Львів, 2013. 2. E. Braaten and H.-W. Hammer, Phys. Rep. 428 , 259 (2006). https://arxiv.org/pdf/cond-mat/0410417 3. S.Tan, Ann. Phys. 323 , 2952 (2008); Ann. Phys. 323 , 2971 (2008); Ann. Phys. 323 , 2987 (2008). https://arxiv.org/pdf/cond-mat/0505200 ; https://arxiv.org/pdf/0803.0841 4. E. Braaten and L. Platter, Phys. Rev. Lett. 100 , 205301 (2008). https://arxiv.org/pdf/0803.1125 5. L. Pitaevskii, S. Stringari, <i>Bose-Einstein Condensation and Superfluidity</i> . Oxford University Press, 2016. 6. R. Combescot, et al., Phys. Rev. Lett. 98 , 180402 (2007). https://arxiv.org/pdf/cond-mat/0702314 7. R. Combescot and S. Giraud, Phys. Rev. Lett. 101 , 050404 (2008). https://arxiv.org/pdf/0804.2638 8. G. Ness, et al. Phys. Rev. X 10 , 041019 (2020). https://journals.aps.org/prx/pdf/10.1103/PhysRevX.10.041019

	<p>9. X. Cui, Phys. Rev. A 102, 061301(R) (2020). https://arxiv.org/pdf/2003.11710</p> <p>10. D. S. Petrov Phys. Rev. Lett. 115, 155302 (2015). https://arxiv.org/pdf/1506.08419</p> <p>11. D. S. Petrov and G. E. Astrakharchik Phys. Rev. Lett. 117, 100401 (2016). https://arxiv.org/pdf/1605.07585</p> <p>12. L. Parisi and S. Giorgini Phys. Rev. A 102, 023318 (2020). https://arxiv.org/pdf/2003.05231.pdf</p> <p>13. E. P. Gross Il Nuovo Cimento (1955-1965) 20, 454 (1961).</p> <p>14. L. P. Pitaevskii, Sov. Phys. JETP 13, 451 (1961).</p> <p>Допоміжна:</p> <p>1. N. Prokof'ev and B. Svistunov, Phys. Rev. B 77, 020408(R) (2008). https://arxiv.org/pdf/0707.4259</p> <p>2. J. Vlietinck et al., Phys. Rev. B 87, 115133 (2013). https://arxiv.org/pdf/1302.3505</p> <p>3. P. Zin et al. Phys. Rev. A 98, 051603(R) (2018). https://arxiv.org/pdf/1805.11186</p> <p>4. A. Griffin, T. Nikuni, E. Zaremba, <i>Bose-Condensed Gases at Finite Temperatures</i>, Cambridge University Press, 2009.</p> <p>Інформаційні ресурси:</p> <p>1. https://www.wikipedia.org/</p>
Тривалість курсу	один семестр
Обсяг курсу	150 годин, з яких 48 годин аудиторних занять, з них 16 години лекцій, 32 годин лабораторних занять, та 102 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>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><i>Програмні результати навчання (ПРН), 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>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. 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>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>
Ключові слова	ефект Ефімова, співвідношення Тана, фермі-поларон, квантові краплі, вихори в бозе-конденсатах
Формат курсу	Очний
Теми	Див. табл. 1 «Схема курсу»
Підсумковий контроль, форма	Іспит в кінці III семестру. Форма: письмово-усний
Пререквізити	Для вивчення курсу студенти потребують знань із таких дисциплін: теоретична механіка, квантова механіка, квантова статистика? Фізика бозе-систем, квантова теорія поля.
Навчальні методи та техніки, які буде використано під час викладання курсу	Презентація, лекції, дискусія, розв'язування задач. Передбачено ілюстрування лекційного матеріалу схемами та рисунками.
Необхідне обладнання	персональний комп'ютер, загальнонавчальні комп'ютерні програми й операційні системи, проєктор
Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)	Оцінювання проводиться за 100-бальною шкалою. Бали нараховуються за таким співвідношенням: <ul style="list-style-type: none"> робота на лабораторних заняттях під час семестру: 10% сумарної оцінки; максимальна кількість балів — 10 відповідно до такої шкали: <ul style="list-style-type: none"> 9–10 — активна участь у 14–16 заняттях; 7–8 — активна участь у 10–12 заняттях; 5–6 — активна участь у 6–8 заняттях; 1–4 — активна участь у 1–4 заняттях;

- 0 — жодної активної участі в лабораторних заняттях;
- захист чотирьох лабораторних робіт (по 10 балів): 40% сумарної оцінки; максимальна кількість балів — 40 відповідно до такої шкали:
 - 35–40 — студент повністю виконав всі лабораторні роботи і володіє відповідним матеріалом;
 - 25–30 — рівень володіння матеріалом достатній (або виконано три лабораторні роботи);
 - 15–20 — рівень володіння матеріалом частковий (або виконано дві лабораторні роботи);
 - 1–10 — студент майже не володіє матеріалом (або виконано одну лабораторну роботу);
 - 0 — студент не виконав жодної лабораторної роботи.

Максимальна семестрова кількість балів — 50.

- іспит: 50% сумарної оцінки; максимальна кількість балів — 50: два розширених завдання по 25 балів кожне відповідно до такої шкали:
 - 21–25 — студент повністю володіє матеріалом;
 - 16–20 — рівень володіння матеріалом достатній;
 - 11–15 — рівень володіння матеріалом частковий;
 - 1–10 — студент майже не володіє матеріалом;
 - 0 — відповідь відсутня.

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 три види письмових робіт (лабораторні та контрольні роботи протягом семестру, іспит).

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 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

	<p>рекомендованих.</p> <p>Політика виставлення балів. Враховуються бали, набрані на лабораторних заняттях. 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 порушення академічної доброчесності не толеруються.</p>
<p>Перелік питань на іспит</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Концепція контактного потенціалу, двочастинкові зв'язані стани. 2. Задача розсіяння на контактному потенціалі (одновимірний випадок). 3. Задача розсіяння на контактному потенціалі (тривимірний випадок). 4. Тричастинкові зв'язані стани. 5. Фізичні основи ефекту Єфімова. 6. Особливості хвильової функції багаточастинкової системи на малих відстанях та хвіст розподілу частинок за імпульсами. 7. Залежність енергії системи ферміонів від довжини розсіяння. 8. Співвідношення між енергією і розподілом частинок за імпульсами. Хвіст структурного фактора. 9. Фермі-полярон. Випадок домішки великої маси. 10. Фермі-полярон: поляронний стан. 11. Фермі-полярон: молекулярний стан. 12. Основний стан двокомпонентної бозе-системи. 13. Ефект Андрєєва–Башкіна. Стійкість однорідної двокомпонентної бозе-системи. 14. Стійкість неоднорідної бозе-суміші (одновимірний випадок). 15. Вихрові стани бозе-конденсатів при нульовій температурі. 16. Елементарні збудження бозе-системи з вихорами.
<p>Опитування</p>	<p>Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.</p>

Таблиця 1

Схема курсу «Вибрані питання квантової статистичної механіки»*

Тижні	Тема занять (перелік питань)	Форма діяльності та обсяг годин	Термін виконання
1–2	1. Кількачастинкові задачі. Вторинне квантування. Двочастинкова задача. Контактний потенціал. Зв'язані стани. Література: Б1, Б2	Лекції — 2 год, лабораторні — 4 год, самостійна робота — 12 год	2 тижні
3–4	2. Кількачастинкові задачі. Задача розсіювання (1D-3D випадки). Тричастинкова задача на зв'язані стани. Ефект Єфімова. Література: Б2	Лекції — 2 год, лабораторні — 4 год, самостійна робота — 12 год	2 тижні
5–6	3. Співвідношення Тана. Хвильова функція системи спін-1/2 ферміонів на малих відстанях. Хвіст розподілу частинок за імпульсами. Література: Б3, Б4, Б5	Лекції — 2 год, лабораторні — 4 год, самостійна робота — 12 год	2 тижні
7–8	4. Співвідношення Тана. Залежність енергії системи спін-1/2 ферміонів від довжини розсіювання. Співвідношення між енергією і розподілом за імпульсами. Хвіст структурного фактора. Література: Б3, Б4, Б5	Лекції — 2 год, лабораторні — 2 год, контрольна робота — 2 год, самостійна робота — 12 год	2 тижні
9–10	5. Фермі-полярон. Формулювання задачі про фермі-полярон. Формула Фумі. Література: Б6, Б7, Б8, Б9	Лекції — 2 год, лабораторні — 4 год, самостійна робота — 12 год	2 тижні
11–12	6. Фермі-полярон. Варіаційний розрахунок енергії фермі-полярона. Поляронний стан. Молекулярний стан. Література: Б6, Б7, Б8, Б9, Д1, Д2	Лекції — 2 год, лабораторні — 4 год, самостійна робота — 14 год	2 тижні
13–14	7. Квантові краплі. Основний стан двокомпонентної бозе-системи. Ефект Андрєєва-Башкіна. Стійкість однорідної двокомпонентної бозе-системи. Стійкість неоднорідної бозе-суміші (1D випадок). Література: Б10, Б11, Б12, Д3	Лекції — 2 год, лабораторні — 4 год, самостійна робота — 14 год	2 тижні
15–16	8. Вихори в бозе-конденсатах. Вихори в 2D бозе-конденсатах при нульовій температурі. Література: Б13, Б14, Д4	Лекції — 2 год, лабораторні — 2 год, контрольна робота — 2 год, самостійна робота — 14 год	2 тижні

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