

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 «Квантово-механічні аспекти астрофізики
Quantum aspects of astrophysics »,
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	Квантово-механічні аспекти астрофізики (Quantum aspects of astrophysics)
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. Кузьмак Андрій Романович
Контактна інформація викладачів	andrij.kuzmak@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	
Інформація про дисципліну	Курс «Квантово-механічні аспекти астрофізики» (Quantum aspects of astrophysics) належить до вибіркової навчальної дисципліни спеціальності 104 «Фізика та астрономія». Його викладають студентам ОНП «Квантові комп'ютери та квантове програмування» у II семестрі із обсягом 3 кредити (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS).
Коротка анотація дисципліни	Курс розроблено таким чином, щоб ознайомити студентів із квантовими ефектами, які лежать в основі явищ в астрофізиці і поведінки астрофізичних об'єктів.
Мета та цілі дисципліни	Метою і завданням навчальної дисципліни «Квантово-механічні аспекти астрофізики» є ознайомлення студентів із квантово-механічним описом фізичних процесів, які відбуваються в астрофізичних об'єктах, таких як зорі, білі карлики, нейтронні зорі, чорні діри, тощо.
Література для вивчення дисципліни	Базова: 1. І. О. Вакарчук. Теорія зоряних спектрів. Л.: «Львівський національний університет імені Івана Франка», 2002, 360 с. 2. J. J. Eldridge, Ch. A. Tout, The Structure and Evolution of Stars. World Scientific Publishing Europe Ltd; 1st edition, 2019, 360 p. Допоміжна: 1. І. О. Вакарчук. Квантова механіка. Л.: «Львівський національний університет імені Івана Франка», 2012, 872 с. 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 годин лабораторних занять, та 58 години самостійної роботи. Тижневе навантаження складає 2 годин аудиторних занять та 3,6 години самостійної роботи.
Очікувані результати навчання	Курс формує такі загальні (ЗК) та спеціальні компетентності (СК): <i>Загальні компетентності:</i> ЗК02. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності. ЗК03. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних

	<p>джерел.</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>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 (РН), 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>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>РН09. Аналізувати та узагальнювати наукові результати з обраного напрямку фізики та/або астрономії, відслідковувати найновіші досягнення в цьому напрямі, взаємодіючи спільно з колегами.</p> <p>РН11. Застосовувати теорії, принципи і методи фізики та/або астрономії для розв'язання складних міждисциплінарних наукових і прикладних задач.</p>
Ключові слова	<p>Спектр випромінення зорі, потік випромінення, інтенсивність випромінення, температура атмосфери зорі, ширина спектральної лінії, радіолінія надтонкої структури атома водню (лінія 21 см), термоядерний синтез, іонізація елементів в атмосфері зір, реліктове випромінення, рекомбінація, вироджений фермі-газ.</p> <p>The spectrum of the star, the flux of radiation, the intensity of the radiation, the temperature of the star's atmosphere, the width of the spectral line, the radio line of the hyperfine structure of the hydrogen atom (21 cm line), thermonuclear fusion, ionization of elements in the atmosphere of stars, cosmic background radiation, recombination, degenerate Fermi gas.</p>
Формат курсу	Очний
	проведення лекцій, лабораторних занять та консультації для кращого розуміння тем
Теми	Наведено у таблиці 1
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, астрофізики, електродинаміки, статистичної фізики, математичного аналізу, диференціальних рівнянь.
Навчальні методи та	Презентація, лекції, дискусія, розв'язок задач.

<p>техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу</p>	<p>Передбачено ілюстрування лекційного матеріалу схемами та графіками.</p>
<p>Необхідне обладнання</p>	<p>Дошка і крейда, персональний комп'ютер, проєктор</p>
<p>Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)</p>	<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: 36–40 — активна участь у 7–8 заняттях; 28–35 — активна участь у 5–6 заняттях; 20–27 — активна участь у 3–4 заняттях; 1–19 — активна участь у 1–2 заняттях; 0 — жодної активної участі в лабораторних заняттях; • підсумкове тестування за двома змістовими модулями (по 30 балів): 60% сумарної оцінки; <p>Кожен тест містить по 10 завдань. Кожне завдання оцінюється в 3 бали: 3 — правильна відповідь на завдання у тесті; 0 — неправильна відповідь на завдання у тесті; максимальна кількість балів — 60; 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 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</p>

	<p>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. Theory of uniform radiation. 2. Kinetics of photons. Planck's formula. 3. Transfer of radiation during scattering. Coefficient thermal conductivity. 4. Quantum theory of the width of spectral lines. 5. The nature of the line of a hydrogen atom with a length of 21 cm. 6. Study of the structure of galaxies and intergalactic space on based on the line 21 cm. 7. Research of magnetic fields in the universe based on the analysis of the 21 cm line. 8. Influence of the Doppler effect on the radiation spectrum. 9. The nature of cosmic background radiation. 10. Recombination. 11. Electromagnetic vacuum. 12. Thermonuclear processes in the cores of stars. 13. Origin of chemical elements. 14. Solar neutrinos. 15. The nature of white dwarfs and neutron stars. 16. Hawking radiation. 17. Saha equation <ol style="list-style-type: none"> 1. Теорія рівномірного випромінювання. 2. Кінетика фотонів. Формула Планка. 3. Перенос випромінювання при розсіянні. Коефіцієнт теплопровідності. 4. Квантова теорія ширини спектральних ліній. 5. Природа лінії атома водню довжиною 21 см. 6. Дослідження структури галактик і міжгалактичного простору на основі лінії 21 см. 7. Дослідження магнітних полів у всесвіті на основі аналізу лінії 21 см. 8. Вплив ефекту Доплера на спектр випромінювання. 9. Природа реліктового випромінювання. 10. Рекомбінація. 11. Електромагнітний вакуум. 12. Термоядерні процеси в ядрах зір. 13. Походження хімічних елементів. 14. Сонячні нейтрино. 15. Природа білих карликів і нейтронних зір. 16. Випромінювання Хокінга. 17. Формула Саха.
Опитування	Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.

Таблиця 1

Схема курсу «Квантово-механічні аспекти астрофізики»

Тижні	Тема занять (перелік питань)*	Форма діяльності та обсяг годин	Термін виконання
Змістовний модуль 1			

Тижні	Тема занять (перелік питань)*	Форма діяльності та обсяг годин	Термін виконання
1–2	Процеси в зоряних атмосферах за участю фотонів. Теорія рівномірного випромінювання. Кінетика фотонів. Формула Планка. (Processes in the stellar atmospheres. Theory of the uniform radiation. Kinetics of photons. Planck's formula) [1]	Лекції — 2 год, лаб. заняття — 2 год самостійна робота — 8 год	2 тижня
3–4	Поведінка густини і температури біля поверхні зорі. Потік, Інтенсивність випромінювання. (Behavior of density and temperature near the surface of the star. Flow and intensity of radiation) [1]	Лекції — 2 год, лаб. заняття — 2 год самостійна робота — 8 год	2 тижня
5–6	Лінія надтонкої структури атома водню (лінія 21 см). Дослідження розподілу речовини в галактиці і міжгалактичному просторі. (Hyperfine line of Hydrogen atom. Study of the distribution of matter in the galaxy and intergalactic space.) [1]	Лекції — 2 год, лаб. заняття — 2 год самостійна робота — 8 год	2 тижня
7–8	Дослідження магнітних полів у Всесвіті на основі аналізу лінії 21 см. Вплив ефекту Доплера на спектр випромінювання. (Research of magnetic fields in the universe based on the analysis of the 21 cm line. The influence of the Doppler effect on the radiation spectrum.) [1]	Лекції — 2 год, лаб. заняття — 2 год самостійна робота — 8 год	2 тижня
Змістовний модуль 2			
9–10	Реліктове випромінювання. Реконбінація. Електромагнітний вакуум. (Cosmic background radiation Recombination. Electromagnetic vacuum.) [1]	Лекції — 2 год, лаб. заняття — 2 год самостійна робота — 5 год	2 тижня
11–12	Випромінювання чорних дір. (Radiation of black holes) [2]	Лекції — 2 год, лаб. заняття — 2 год самостійна робота — 8 год	2 тижня
13–14	Властивості ядерних реакцій. Термоядерні реакції в ядрах зір. Поява хімічних елементів. (Properties of nuclear reactions. Thermonuclear reactions in the cores of stars. Chemical elements.) [2]	Лекції — 2 год, лаб. заняття — 2 год самостійна робота — 5 год	2 тижня
15–16	Природа білих карликів і нейтронних зір. (The nature of white dwarfs and pulsars) [2]	Лекції — 2 год, лаб. заняття — 2 год самостійна робота — 8 год	2 тижня