

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:  професор В. М. Ткачук

Силабус
з навчальної дисципліни «Теорія зоряних спектрів
(Theory of stellar spectra)»,
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	Теорія зоряних спектрів (Theory of stellar spectra)
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	https://physics.lnu.edu.ua/course/teoriia-zorianykh...e-prohramuvannia
Інформація про дисципліну	Курс «Теорія зоряних спектрів» (Theory of stellar spectra) належить до вибіркової навчальної дисципліни і розрахований на слухачів, що навчаються у межах 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 процесами переносу випромінювання в зоряних атмосферах, а також із фізичними процесами, які відбуваються в надрах зір.
Мета та цілі дисципліни	Метою і завданням навчальної дисципліни «Теорія зоряних спектрів» є ознайомлення студентів із квантово-механічним описом фізичних процесів, які відбуваються в атмосфері і надрах зір різного спектрального класу.
Література для вивчення дисципліни	Базова: 1. <i>І. О. Вакарчук</i> . Теорія зоряних спектрів. Л.: «Львівський національний університет імені Івана Франка», 2002, 360 с. 2. <i>R. O. Gray, Ch. J. Corbally</i> , Stellar Spectral Classification. Princeton University Press, 2009, 592 p. Допоміжна: 3. <i>J. J. Eldridge, Ch. A. Tout</i> , The Structure and Evolution of Stars. World Scientific Publishing Europe Ltd; 1st edition, 2019, 360 p. 4. <i>І. О. Вакарчук</i> . Квантова механіка. Л.: «Львівський національний університет імені Івана Франка», 2012, 872 с. Інформаційні ресурси 5. 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	Спектр випромінення зорі, спектральні класи зір, діаграма Герцшпрунга-Рассела, температура атмосфери зорі, ширина спектральної лінії, термоядерний синтез, іонізація елементів в атмосфері зір. Stellar spectrum, spectral classes of stars, Hertzsprung–Russell diagram, temperature of a star's atmosphere, width of a spectral line, thermonuclear fusion, ionization of elements in the atmosphere of stars.
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 техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу	Презентація, лекції, дискусія, розв'язок задач. Передбачено ілюстрування лекційного матеріалу схемами та графіками.
Необхідне обладнання	Дошка і крейда, персональний комп'ютер, проєктор

<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 будь-яких джерел інформації під час письмової частини.</p> <p>Жодні форми порушення академічної доброчесності не толеруються.</p>
<p>Питання на контрольні роботи</p>	<ol style="list-style-type: none"> Theory of uniform radiation. Kinetics of photons. Planck's formula.

	<ol style="list-style-type: none"> 3. Quantization of the electromagnetic field. 4. Spectral classes of stars. 5. Transfer of radiation during scattering. 6. Widths of spectral lines. 7. Natural width of a spectral line. 8. Influence of the Doppler effect on the spectral line width. 9. Properties of nuclear reactions. 10. Origin of chemical elements. 11. Thermonuclear processes in the interior of stars. 12. Electromagnetic vacuum. 13. Weak interaction. 14. Solar neutrinos. 15. Thermal equilibrium of stars. 16. The nature of white dwarfs and neutron stars. 17. Equilibrium of relativistic stars. <ol style="list-style-type: none"> 1. Теорія рівномірного випромінювання. 2. Кінетика фотонів. Формула Планка. 3. Квантування електромагнітного поля. 4. Спектральні класи зір. 5. Перенос випромінювання при розсіянні. 6. Ширини спектральних ліній. 7. Природна ширина спектральної лінії. 8. Вплив ефекту Доплера на ширину спектральної лінії. 9. Властивості ядерних реакцій. 10. Походження хімічних елементів. 11. Термоядерні процеси в надрах зір. 12. Електромагнітний вакуум. 13. Слабка взаємодія. 14. Сонячні нейтрино. 15. Теплова рівновага зір. 16. Природа білих карликів і нейтронних зір. 17. Рівновага релятивістських зір.
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			
1–2	Процеси в зоряних атмосферах за участю фотонів. Теорія рівномірного випромінювання. Кінетика фотонів. Формула Планка. Processes in stellar atmospheres involving photons. Theory uniform radiation. Kinetics of photons. Planck's formula.[1,2]	Лекції — 2 год, лаб. заняття — 2 год самостійна робота — 8 год	2 тижня

Тижні	Тема занять (перелік питань)*	Форма діяльності та обсяг годин	Термін виконання
3–4	Поведінка густини і температури біля поверхні зорі. Потік, Інтенсивність випромінення. Behavior of density and temperature near the surface of the star. Flux and intensity of radiation. [1,2]	Лекції — 2 год, лаб. заняття — 2 год самостійна робота — 8 год	2 тижня
5–6	Класична теорія ширини спектральних ліній. Квантова теорія ширини спектральних ліній. Classical theory of the width of spectral lines. Quantum theory of the widths of spectral lines.[1]	Лекції — 2 год, лаб. заняття — 2 год самостійна робота — 8 год	2 тижня
7–8	Врахування природної ширини ліній у рівняння переносу випромінювання. The natural width of lines in the radiation transfer equation. [1]	Лекції — 2 год, лаб. заняття — 2 год самостійна робота — 8 год	2 тижня
9–10	Властивості ядерних реакцій. Врахування електромагнітного випромінювання. Слабка взаємодія. Ядерні реакції в зорях. Сонячні нейтрино. Properties of nuclear reactions. Consideration of electromagnetic radiation. Weak interaction. Nuclear reactions in stars. Solar neutrino[1,2]	Лекції — 2 год, лаб. заняття — 2 год самостійна робота — 5 год	2 тижня
Змістовний модуль 2			
11–12	Структура зорі. Відношення маса-світність. Теплова рівновага зір. Еволюція зір головної послідовності. Горіння гелію. The structure of the star. Mass-luminosity relation. Thermal equilibrium of stars. Evolution of the stars. Helium burning. [2]	Лекції — 2 год, лаб. заняття — 2 год самостійна робота — 8 год	2 тижня
13–14	Нейтронізація. Два типи енергетичних втрат. Роль нейтрино в еволюції зір. Neutronization. Two types of energy losses. The role of neutrinos in the evolution of stars. [2]	Лекції — 2 год, лаб. заняття — 2 год самостійна робота — 5 год	2 тижня
15–16	Розв'язок Шварцшільда. Рух частинок в полі Шварцшільда. Рівновага релятивістських зір. Пульсари. Чорні діри. Schwarzschild solution. Dynamics of particles in the Schwarzschild field. Equilibrium of relativistic stars. Pulsars. Black holes. [2]	Лекції — 2 год, лаб. заняття — 2 год самостійна робота — 8 год	2 тижня