МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Львівський національний університет імені Івана Франка
Фізичний факультет
Кафедра астрофізики

Затверджено
На засіданні кафедри астрофізики
фізичного факультету ЛНУ імені Івана Франка
(протокол № 1 від 30 серпня 2023 р.)

Завідувач кафедри Богдан МЕЛЕХ

Силабус з навчальної дисципліни «Фізика галактик (Physics of galaxies)», що викладається в межах ОНП «Теоретична фізика та астрофізика», ОНП «Експериментальна фізика» другого (магістерського) рівня вищої освіти для здобувачів із спеціальності 104 Фізика та астрономія

Львів 2023

Назва дисципліни	Фізика галактик (Physics of galaxies)
Адреса викладання дисципліни	вул. Кирила і Мефодія 8, 79005, Львів
Факультет та кафедра, за якою закріплена дисципліна	фізичний факультет, кафедра астрофізики
Галузь знань, шифр та назва спеціальності	Галузь знань — 10 Природничі науки, спеціальності — 104 Фізика та астрономія.
Викладачі дисципліни	Лектор: Стельмах Оксана Миколаївна, доц кафедри астрофізики, канд. фіз.-мат. наук
Контактна інформація викладачів	oksana.stelmakh@lnu.edu.ua https://physics.lnu.edu.ua/employee/stelmakh-oksana-mykolajivna
Консультації по курсу відбуваються	Консультації в день проведення лекцій (за попередньою домовленістю). Також можливі онлайн консультації.
Сторінка курсу	https://physics.lnu.edu.ua/course/fizyka-halaktyk
Інформація про кдисципліну	Дисципліна «Фізика галактик (Physics of galaxies)» є вибірковою дисципліною для підготовки магістра за спеціальністю 104 Фізика та астрономія, яка викладається в I–II семестрі в обсязі 3.5 кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS).
Коротка анотація дисципліни	Курс розроблено таким чином, щоб ознайомити студентів з астрофізичними об'єктами — Галактикою та іншими галактиками, які формують скупчення та надскупчення галактик; сформувати розуміння структури галактик, так і процесів їх зіткнення; вивчити морфологічні особливості галактик та їх еволюцію. В результаті вивчення цього курсу студент повинен освоїти морфологічний тип галактик, інтерпретувати результати поверхневої фотометрії даних об'єктів та дати студентам можливість засвоєння основ як гілродинамічних, так і хемодинамічних симуляцій еволюції даних об'єктів.
Мета та цілі дисципліни	Навчити студентів цілісного розуміння взаємодії таких астрофізичних об’єктів, як зорі, газопилові комплекси та темна матерія, які є складниками таких структур як галактики; формування розуміння як далекосяжної взаємодії між галактиками, так і процесів зіткнення галактик; формування розуміння морфологічних особливостей галактик та їх еволюції.
Література для вивчення дисципліни	**Базова література:** 1. Андрієвський С. М., Климишин І. А. *Курс загальної астрономії*: навч. посібник. Одеса: Астропринт, 2007. 2. Александров Ю. В. *Астрофізика*: навч. посібник для студ. напряму «Фізика» класичних університетів. Харків: ХНУ ім. В. Н. Каразіна. 2014. 3. Кудря Ю., Вавилова І. *Позагалакична астрономія*: навч. посібник. Київ: Наукова думка, 2016. 4. Вавилова І. Б. *Великомаштабна структура Всесвіту*. Київ: Вид-во Київського університету. 1998. **Допоміжна** 1. Жданов В. І. *Вступ до теорії відносності*: навч. посібник. Київ: ВПЦ Київський університет. 2008.

	Інформаційні ресурси: 1. https://youtu.be/G5AdrupH788 2. https://youtu.be/F5arTGiIJ3A.
Тривалість курсу	2 семестри
Обсяг курсу	105 годин, з них 32 години лекцій, 73 години самостійної роботи
Очікувані результати навчання	У результаті вивчення даного курсу студенти повинні - **знати** основні спостережувані характеристики галактик; стандартні моделі галактик та їх порівняння із спостережуваними даними; особливості будови галактик, що не вписують в стандартну морфологічну схему; теорії еволюції галактик і їх тестування; - **вміти** застосовувати вивчені закони і принципи для розв'язування задач фізики галактик; здійснювати глибокий інтерпретативний аналіз спостережень галактик; визначати морфологічний тип галактики; встановлювати емпірично зв'язки між характеристиками ядра галактики та дисперсії швидкостей в ній; пояснювати еволюцію галактик.
Ключові слова	Our Galaxy, spiral and elliptical galaxies, their cores, arms of galaxies / Наша Галактика, спіральні та еліптичні галактики, їх ядра, рукави галактик
Формат курсу	Очний
Теми	Наведено у табл.1
Підсумковий контроль, форма	Залік в кінці I семестру Залік в кінці II семестру
Пререквізити	Для вивчення курсу студенти потребують базових знань з дисциплін загальної астрономії та астрофізики, фізики зір та туманностей, космічної магентогідродинаміка, фізики мікро- та макросвіту, програмування в середовищі ОС Linux.
Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу	Презентації, лекції, підготовка доповідей.
Необхідне обладнання	персональний комп'ютер, проєктор.
Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)	Оцінювання проводиться за 100-бальною шкалою в кожному семестрі. Бали нараховуються за таким співвідношенням: • написання реферату на задану викладачем тему для кожного зі змістовних модулів (ЗМ): 2 × 20 = 40 балів. Розподіл балів зручніше подавати у відсотках від максимальної кількості балів, які можна отримати за відповідну роботу: 91–100% — реферат охоплює всі важливі аспекти обраної теми, матеріал викладено правильно (90%) + макс. 10% за акуратність оформлення, 51–90% — реферат охоплює всі важливі аспекти обраної теми, однак матеріал викладено неповно (якщо відсоток < 90%), 1–50% — реферат містить помилки, викладення неповне, 0% — робота не виконана, або виконана повністю неправильно; • контрольні роботи з двох ЗМ: 2 × 30 = 60 балів; кожна контрольна містить три теоретичних питання, кожне з яких оцінюється за 10-бальною шкалою, відповідно до таких критеріїв: 10 — питання викладено правильно і повністю;

	6–9 — повнота викладення недостатня; 1–5 — рівень володіння матеріалом дуже низький, або ж низький; 0 — студент повністю неправильно виклав питання, або ж зовсім не надав на нього відповіді. Підсумкова максимальна кількість балів — 100. **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 незарахуванння викладачем, незалежно від масштабів обману. **Відвідання занять** є важливою складовою навчання. Очікується, що всі студенти відвідають усі лекції курсу. Студенти мають інформувати викладача про неможливість відвідати заняття. У будь-якому випадку студенти зобов'язані дотримуватися усіх строків, визначених для виконання усіх видів 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 під час написання рефератів та контрольних робіт. При цьому обов'язково враховуються присутність на заняттях та активність студента під час заняття; недопустимість пропусків та запізнень 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 академічної недоброчесності не толеруються.**
Питання для оцінювання знань студентів	1. The Milky Way as a galaxy. 2. Modern data on the structure and physical properties of the Milky Way. 3. Hubble's morphological classification. 4. Surface photometry of galaxies. The surface brightness of galaxies. Night sky background. 5. Standard photometric parameters. Luminosity decrease in elliptical, spiral, and S0 galaxies. 6. Tolman's relativistic law. Surface brightness and source density distribution. Magnitude and absorption corrections. Evolutionary and K-correction. 7. History of creation of catalogs of galaxies. General characteristics of surveys and deep fields. The need for automated classification of galaxies. 8. Distances to galaxies. Indicators and types of distances. Redshift distance and Hubble's law. Distances for cepheids. Cepheids are pulsating stars. 9. A key project on the Hubble Space Telescope. Period-luminosity dependences for stars of the RR Lyra type. New stars as an indicator of distances, The brightest stars. Spherical clusters. Luminosity function of planetary nebulae.

	10. Linear dimensions of structures in galaxies. Diameters of galaxies. Regions N II of ionized hydrogen. Ring structures and molecular rings. Absolute magnitudes and luminosity classes. Supernova stars. Classification of supernovae. Type Ia supernovae. Ia supernovae and a revolution in cosmology. 11. Type II R supernovae. Fluctuations in surface brightness. Tully–Fisher method. Theoretical Tully–Fisher dependence. Faber–Jackson methods. 12. The history of the discovery of the rotation of galaxies. Determination of rotation speeds and tilt angle. The linear dimensions of galaxies. The direction of rotation of spiral galaxies. Rotation curves of spiral and irregular galaxies. Position–velocity diagram and rotation curves. 13. Rotation curves and the problem of dark matter. Models of galaxies based on rotation curves. Universal rotation curves. “Material” and “wave” views on the origin of spirals. Form of spiral sleeves. 14. The luminosity of galaxies. The luminosity classes of galaxies. Corrections to the value of apparent magnitudes. The luminosity function and the density function of galaxies. Examples of using the brightness function. Schechter’s approximation of the luminosity function. Dependence of the luminosity function of a galaxy on its surroundings. Transparency of disc galaxies. 15. History of determination of galaxy masses. The virial theorem. Determination of the mass by the surface brightness profile. Stars in Keplerian orbits (spiral galaxies). Determination of mass by the rotation curve. Determining the mass of disc galaxies by the Tully–Fisher dependence. Masses of galaxies according to the X-ray gas. Determining the mass of binary galaxies. Determining the mass of the galaxy based on the dynamics of satellites. 16. The “mass–luminosity” ratio of galaxies. Mass–luminosity relation for spiral and elliptical galaxies. 1. Молочний шлях як галактика. 2. Сучасні дані про структуру і фізичні властивості Молочного Шляху. 3. Морфологічна класифікація Габбла. 4. Поверхнева фотометрія галактик. Поверхнева яскравість галактик. Фон нічного неба. 5. Стандартні фотометричні параметри. Зменшення яскравості в еліптичних, спіральних та S0-галактиках. 6. Релятивістський закон Толмена. Поверхнева яскравість та розподіл густини джерел. Поправки до зоряних величин та на поглинання. Еволюційна та К-поправка. 7. Історія створення каталогів галактик. Загальні характеристики оглядів та глибоких полів. Необхідність автоматизованої класифікації галактик. 8. Відстані до галактик. Індикатори та типи відстаней. Відстань за червоним зміщенням та закон Габбла. Відстані за цефеїдами. Цефеїди — пульсуючі зорі. 9. Ключовий проект на космічному телескопі Габбла. Залежності період–світність для зір типу RR Ліри. Нові зорі як індикатор відстаней, Найяскравіші зорі. Кулясті скупчення. Функція світності планетарних туманностей.

	10. Лінійні розміри структур у галактиках. Діаметри галактик. Області H II іонізованого водню. Кільцеві структури та молекулярні кільця. Абсолютні зоряні величини та класи світності. Наднові зорі. Класифікація наднових. Наднові типу Ia. Наднові Ia та революція у космології. 11. Наднові типу II P. Флуктуації поверхневої яскравості. Метод Таллі–Фішера. Теоретична залежність Таллі–Фішера. Методи Фебера–Джексона. 12. Історія відкриття обертання галактик. Визначення швидкостей обертання та кута нахилу. Лінійні розміри галактик. Напрямок обертання спіральних галактик. Криві обертання спіральних та неправильних галактик. Діаграма положення-швидкість та криві обертання. 13. Криві обертання та проблема темної матерії. Моделі галактик за кривими обертання. Універсальні криві обертання. «Матеріальний» та «хвильовий» погляди на походження спіралей. Форма спіральних рукавів. 14. Світність галактик. Класи світності галактик. Поправки до значення видимих зоряних величин. Функція світності та функція густини галактик. Приклади використання функції світності. Апроксимація Шехтера функції світності. Залежність функції світності галактики від її оточення. Прозорість дискових галактик. 15. Історія визначення мас галактик. Теорема про віріал. Визначення маси за профілем поверхневої яскравості. Зорі на кеплерівських орбітах (спіральні галактики). Визначення маси за кривою обертання. Визначення маси дискових галактик за залежністю Таллі–Фішера. Маси галактик за ренгенівським газом. Визначення маси подвійних галактик. Визначення маси галактики за динамікою супутників. 16. Відношення «маса–світність» галактик. Відношення «маса–світність» для спіральних та еліптичних галактик.
Опитування	Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.

Таблиця 1

Схема курсу «Фізика галактик (Physics of galaxies) »[*]

Тиж-день	Тема занять (перелік питань)	Форма діяльності та обсяг годин	Термін виконання
I семестр			
Змістовий модуль 1			
1–4	Spherical galactic coordinate system. Cylindrical galactic coordinate system. [Сферична галактична система координат. Циліндрична галактична система координат.] **Література:** Б1, Б2; Д1	Лекції — 4 год, самостійна робота — 9 год.	4 тижні
5–8	Thin and thick disks: the distribution of the stellar population and the chemical composition and age of the population of the Milky Way. Position and speed of the Sun. Spiral structure. The magnetic field of the Galaxy. Cosmic rays. Bulge and the center of the Galaxy. Halo. The corona and the immediate surroundings of the Galaxy. [Тонкий і товстий диски: розподіл зоряного населення та хімічний склад і вік населення Молочного Шляху. Положення та швидкість Сонця. Спіральна структуру. Магнітне поле Галактики. Космічні промені. Балдж та центр Галактики. Гало. Корона та найближче оточення Галактики.] **Література:** Б1, Б2; Д1, Д2	Лекції — 3 год, контрольна робота — 1 год, самостійна робота — 9 год.	4 тижні
Змістовий модуль 2			
9–12	Structural formations in the galaxy. Classification of spiral sleeves. Features of the classification of dwarf galaxies. Classification and redshift. [Структурні утворення у галактика. Класифікація спіральних рукавів. Особливості класифікації карликових галактик. Класифікація та червоне зміщення.] **Література:** Б3, Б4; Д2	Лекції — 4 год, самостійна робота — 9 год.	4 тижні
13–16	One-dimensional surface brightness profiles. Shapes of galaxy isophotes. [Одновимірні профілі поверхневої яскравості. Форми ізофот галактик.] **Література:** Б2, Б4; Д1, Д2	Лекції — 3 год, контрольна робота — 1 год, самостійна робота — 9 год.	4 тижні

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

Тиж-день	Тема занять (перелік питань)	Форма діяльності та обсяг годин	Термін виконання
II семестр			
Змістовий модуль 3			
1–4	Profile of Sersyk. Central regions of galaxies. Freeman's law and galaxies of low surface brightness. [Профіль Серсика. Центральні області галактик. Закон Фрімана та галактики низької поверхневої яскравості.] **Література:** Б1–Б3; Д1, Д2	Лекції — 4 год, самостійна робота — 9 год.	4 тижні
5–8	Digitization of photographic surveys of the sky. Digital sky surveys. [Оцифрування фотографічних оглядів неба. Цифрові огляди неба.] **Література:** Б1, Б2; Д1, Д2	Лекції — 3 год, контрольна робота — 1 год, самостійна робота — 9 год.	4 тижні
Змістовий модуль 4			
9–12	Modern dependences of period, color–lightness. Dependence on metallicity. [Сучасні залежності період–колір–світність. Залежність від металічності.] **Література:** Б2, Б3; Д2	Лекції — 4 год, самостійна робота — 9 год.	4 тижні
13–16	The history of the discovery of the rotation of galaxies. Determination of rotation speeds and tilt angle. The linear dimensions of galaxies. The direction of rotation of spiral galaxies. Rotation curves of spiral and irregular galaxies. The history of galaxy mass determination. [Історія відкриття обертання галактик. Визначення швидкостей обертання та кута нахилу. Лінійні розміри галактик. Напрямок обертання спіральних галактик. Криві обертання спіральних та неправильних галактик. Історія визначення мас галактик.] **Література:** Б2, Б3; Д2	Лекції — 3 год, контрольна робота — 1 год, самостійна робота — 9 год.	4 тижні