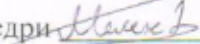


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Львівський національний університет імені Івана Франка  
Фізичний факультет  
Кафедра астрофізики

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  
«Астрофізика компактних об'єктів»,  
що викладається в межах ОНП «Теоретична фізика та астрофізика»  
другого (магістерського) рівня вищої освіти для здобувачів  
зі спеціальності 104 Фізика та астрономія

Львів 2023

<b>Назва дисципліни</b>	Астрофізика компактних об'єктів
<b>Адреса викладання курсу</b>	вул. Кирила і Мефодія 8, 79005, Львів
<b>Факультет та кафедра, за якою закріплена дисципліна</b>	фізичний факультет, кафедра астрофізики
<b>Галузь знань, шифр та назва спеціальності</b>	Галузь знань — 10 Природничі науки, Спеціальність — 104 Фізика та астрономія
<b>Викладачі дисципліни</b>	Лектор: Ваврух М. В., професор кафедри астрофізики, докт. ф.-м. н.; лабораторні заняття проводить: проф. Ваврух М.В.
<b>Контактна інформація викладачів</b>	<a href="mailto:markiyan.vavrukh@lnu.edu.ua">markiyan.vavrukh@lnu.edu.ua</a> <a href="https://physics.lnu.edu.ua/employee/vavrukh-markiyan-vasylovych">https://physics.lnu.edu.ua/employee/vavrukh-markiyan-vasylovych</a>
<b>Консультації з дисципліни відбуваються</b>	Консультації в день проведення лекцій та лабораторних занять (за попередньою домовленістю).
<b>Сторінка курсу</b>	<a href="https://physics.lnu.edu.ua/course/astrofizyka-kompaktnykh-ob-ektiv">https://physics.lnu.edu.ua/course/astrofizyka-kompaktnykh-ob-ektiv</a>
<b>Інформація про дисципліну</b>	Дисципліна «Астрофізика компактних об'єктів» є нормативною дисципліною в галузі знань 10 Природничі науки зі спеціальності 104 Фізика та астрономія для підготовки магістрів, яка викладається в 1 семестрі в обсязі 3 кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS).
<b>Коротка анотація дисципліни</b>	Дисципліна «Астрофізика компактних об'єктів» є дисципліною, в результаті вивчення якої студенти засвоюють інформацію про історію відкриття і дослідження компактних об'єктів в Галактиці, фізичні характеристики та спектральну класифікацію білих карликів, характеристики нейтронних зір та чорних дір, фізичні процеси, що відбуваються всередині компактних об'єктів, а також вивчають методи опису внутрішньої будови компактних об'єктів, побудову моделей, що використовуються для розрахунку їхніх характеристик, методи інтерпретації спостережуваних даних.
<b>Мета та цілі дисципліни</b>	Мета дисципліни — дати студентам поглиблені знання про теоретичні методи опису структури вироджених карликів, нейтронних зір і чорних дір, розрахунку їхніх характеристик та явищ, що відбуваються в компактних об'єктах, або в системах з їх участю. Завдання дисципліни полягає у підготовці студентів до участі у науковій роботі кафедри астрофізики, де проводяться дослідження компактних об'єктів, а також підготовці їх до виконання магістерських робіт за цією тематикою.
<b>Література для вивчення дисципліни</b>	<b>Базова література:</b> 1. Ваврух М. В., Смеречинський С. В., Тишко Н. Л. <i>Нові моделі в теорії структури вироджених карликів</i> . Львів: Вид-во “Растр-7”, 2018. 2. Shapiro S. L. <i>Black Holes, White Dwarfs and Neutron Stars</i> . Cornell University, Ithaca, New York, 1983. 3. Chandrasekhar S. <i>An Introduction to the Study of Stellar Structure</i> . Dover Publications, 2010. 4. James R. A. “The structure and stability of rotating gas masses.” <i>Astrophys. J.</i> 1964. Vol. 140. P. 552–582. 5. Vavrukh M., Smerechynskyi S., Tyshko N. “The inverse problem of the theory degenerate dwarfs.” <i>Astron. Rep.</i> 2011, Vol. 55, No 6. P. 505–524.

	<p>6. Vavruk M., Smerechynskyi S., Dzikovskyi D. “Consideration of the competing factors in the calculations of the characteristics of non-magnetic degenerate dwarfs.” <i>Ukr. J. Phys.</i> 2018. Vol. 63, No 9 . P. 777–789.</p> <p>7. Vavruk M., Dzikovskyi D., Smerechynsi S. “Inverse problem of white dwarfs theory with rapid axial rotation.” <i>Contrib. Astron. Observ. Scalnate Pleso.</i> 2022. Vol. 52, No 2. P. 25–43.</p> <p><b>Допоміжна література:</b></p> <p>1. Camenzind M. <i>Compact Objects in Astrophysics.</i> Berling; Heidelberg: Springer-Verlag, 2007.</p> <p>2. Tremblay P.-E., Bergeron P., Gianninas A. “An improved spectroscopic analysis of DA white dwarfs from the Sloan Digital Sky Survey Data Release 4.” <i>Astrophys. J.</i> 2011. Vol. 730. Article 128.</p> <p><b>Інформаційні ресурси:</b></p> <p>1. Астрономічний енциклопедичний словник. ГАО НАН України. ЛНУ імені Івана Франка, 2003. <a href="https://astro.lnu.edu.ua/astro/">https://astro.lnu.edu.ua/astro/</a></p> <p>2. Bergeron P. A. Saffer R. A., Liebert J. “A spectroscopic determination of the mass distribution of DA white dwarfs.” <i>Astrophys. J.</i> 1992. Vol. 394. P. 228–247. <a href="https://articles.adsabs.harvard.edu/pdf/1992ApJ...394..228B">https://articles.adsabs.harvard.edu/pdf/1992ApJ...394..228B</a></p>
<b>Тривалість курсу</b>	один семестр
<b>Обсяг курсу</b>	90 годин, з яких 32 години аудиторних занять, з них 16 годин лекцій, 16 годин лабораторних занять та 58 годин самостійної роботи.
<b>Очікувані результати навчання</b>	<p>У результаті вивчення даного курсу студент повинен мати такі ЗК та СК:</p> <p>ЗК02. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.</p> <p>ЗК04. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.</p> <p>ЗК05. Здатність використовувати інформаційні та комунікаційні технології</p> <p>ЗК07. Здатність проведення досліджень на відповідному рівні.</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 опанувати 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>СК06. Здатність розробляти наукові та прикладні проекти, керувати ними та оцінювати їх на основі фактів.</p> <p>СК10. Здатність здійснювати наближену діагностику фізичних умов у різноманітних астрофізичних системах на основі результатів астрономічних спостережень.</p> <p>СК11. Здатність розуміти сучасні моделі різноманітних астрофізичних систем та вміти критично їх аналізувати на основі даних астрономічних спостережень.</p> <p>СК13. Здатність будувати спрощені моделі фізичних явищ та віднаходити аналогії для міждисциплінарних застосувань фізичних методів дослідження.</p>

	<p>та досягнути таких програмних <i>результатів навчання</i> (РН):</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>РН04. Обирати і використовувати відповідні методи обробки та аналізу даних фізичних та/або астрономічних досліджень і оцінювання їх достовірності.</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. Відшуковувати 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>РН15. Планувати наукові дослідження з урахуванням цілей та обмежень, обирати ефективні методи дослідження, робити обґрунтовані висновки, за результатами дослідження.</p> <p>РН16. Брати продуктивну участь у виконанні експериментальних та/або теоретичних досліджень у галузі фізики та астрономії.</p> <p>РН18. Розв’язувати задачі про рух природних та штучних об’єктів у гравітаційних полях та задачі про внутрішню будову зір.</p>
<b>Ключові слова</b>	Білі карлики, нейтронні зорі (пульсари), чорні діри; модель холодного карлика Фаулера–Чандрасекара; узагальнені моделі, багатозафазні моделі; обернена задача теорії вироджених карликів; вплив неповного виродження електронів, кулонівських взаємодій, осьового обертання, магнітних полів, ефектів ЗТВ; межа Чандрасекара і гранична маса карлика; крива “маса — радіус”; фомування карликів у ядрах субгігантів; спостережувані характеристики пульсарів; обертання і гравітаційне випромінювання пульсарів; діри Шварцшильда і Керра; акреція на компактні об’єкти.
<b>Формат курсу</b>	очний
<b>Теми</b>	Наведено у табл.1
<b>Підсумковий контроль, форма</b>	залік в кінці семестру
<b>Пререквізити</b>	Для вивчення курсу студенти потребують базових знань з дисциплін курсу загальної фізики та математичного аналізу, загальної астрономії та астрофізики, теорії диференціальних рівнянь.

<b>Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу</b>	Презентації, лекції, дискусії, розв'язування задач, підготовка рефератів.
<b>Необхідне обладнання</b>	персональний комп'ютер, відкриті спеціальні комп'ютерні програми для моделювання, діагностики та візуалізації даних, операційна системи Linux, проектор.
<b>Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)</b>	<p>Оцінювання проводиться за 100-бальною шкалою. Бали нараховуються за таким співвідношенням:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• написання реферату на задану викладачем тему для кожного із змістовних модулів (ЗМ) : 25 (ЗМ 1) + 15 (ЗМ 2) = 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 &lt; 90%), 1–50% — реферат містить помилки, викладення неповне, 0% — робота не виконана, або виконана повністю неправильно;</li> <li>• контрольні роботи з двох ЗМ: 40 (ЗМ 1) + 20 (ЗМ 2) = 60 балів. Кожна контрольна містить два теоретичних питання, кожне з яких у першій роботі оцінюється за 20-бальною шкалою, відповідно до таких критеріїв: 20 — питання викладено правильно і повністю; 12–19 — повнота викладення недостатня; 1–11 — рівень володіння матеріалом дуже низький, або ж низький; 0 — студент повністю неправильно виклав питання, або ж зовсім не надав на нього відповіді; у другій роботі кожне з двох питань оцінюється за 10-бальною шкалою: 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;</li> </ul> <p>Підсумкова максимальна кількість балів — 100.</p> <p><b>Академічна доброчесність</b> 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 незарахування викладачем, незалежно від масштабів обману.</p> <p><b>Відвідання занять</b> 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 робіт, передбачених курсом.</p> <p><b>Література.</b> Усю літературу, яку студенти не зможуть знайти самостійно, буде надано викладачами виключно в освітніх цілях без права її</p>

	<p>передавання третім особам. Студенти заохочуються до використання також й іншої літератури та джерел, яких немає серед рекомендованих.</p> <p><b>Політика виставлення балів.</b> Враховуються бали, набрані на лабораторних заняттях та контрольних роботах. 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><b>Жодні форми академічної недоброчесності не толеруються.</b></p>
<b>Опитування</b>	Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано після завершення курсу.

Таблиця 1

Схема дисципліни «Астрофізика компактних об'єктів»\*

Тиж-день	Тема занять (перелік питань)	Форма діяльності та обсяг годин	Термін виконання
<b>Змістовий модуль 1</b>			
1–4	Компактні об'єкти Всесвіту як кінцеві стадії еволюції зір. Елементарна теорія холодних вироджених карликів Фаулера–Чандрасекара. <b>Література:</b> Б1, Б2, Д1	Лекції — 4 год, лаб. заняття — 4 год, самостійна робота — 14 год.	4 тижні
5–8	Нові моделі в теорії структури вироджених карликів. Вплив осьового обертання карликів. Карлики зі швидким обертанням. Вплив неповного виродження електронної підсистеми. Вплив магнітних полів. <b>Література:</b> Б1, Б3–Б7, Д2	Лекції — 4 год, лаб. заняття — 3 год, контрольна робота — 1 год, самостійна робота — 14 год.	4 тижні
<b>Змістовий модуль 2</b>			
9–12	Вироджені ядра субгігантів та зір у подвійних системах. Нейтронні зорі. <b>Література:</b> Б2, Д1	Лекції — 4 год, лаб. заняття — 4 год, самостійна робота — 15 год.	4 тижні
13–16	Чорні діри як масивні компактні об'єкти Всесвіту. Акреція на компактні об'єкти. <b>Література:</b> Б2, Д1	Лекції — 4 год, лаб. заняття — 3 год, контрольна робота — 1 год, самостійна робота — 15 год.	4 тижні

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