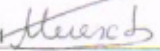


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Львівський національний університет імені Івана Франка
Фізичний факультет
Кафедра астрофізики

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
«Моделювання зоряних атмосфер»,
що викладається в межах ОНП «Теоретична фізика та астрофізика»
другого (магістерського) рівня вищої освіти
для здобувачів з спеціальності 104 Фізика та астрономія

Львів 2023

Назва дисципліни	Моделювання зоряних атмосфер
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	Лекції та лабораторні заняття проводить Мелех Богдан Ярославович, завідувач кафедри астрофізики, докт. фіз.-мат. наук.
Контактна інформація викладачів	bohdan.melekh@lnu.edu.ua https://physics.lnu.edu.ua/employee/melekh-bohdan-yaroslavovych
Консультації по дисципліні відбуваються	Консультації в день проведення лекцій та лабораторних занять (за попередньою домовленістю). Також можливі он-лайн консультації з використанням засобів Microsoft Teams.
Сторінка дисципліни	https://physics.lnu.edu.ua/course/modeliuvannia-zorianykh-atmosfer
Інформація про дисципліну	Дисципліна «Моделювання зоряних атмосфер» є нормативною дисципліною для підготовки магістра за спеціальністю 104 Фізика та астрономія, ОНП «Теоретична фізика та астрофізика», яка викладається в III семестрі в обсязі 3 кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS).
Коротка анотація дисципліни	Курс покликаний викласти студентам основи моделювання зоряних атмосфер. Зоряні атмосфери є унікальними природними лабораторіями, умови у яких важко відтворити у земних умовах. Вивчення та програмна реалізація сучасних моделей зоряних атмосфер дозволяє краще відтворювати реальні зоряні атмосфери, що дозволяє уточнювати теорію та розуміння процесів, що відбуваються у зоряних атмосферах. Даний спецкурс зорієнтований на студентів-магістрів спеціальності 104 Фізика та астрономія, освітньої програми «Теоретична фізика та астрофізика». Вивчення цього курсу є важливим у підготовці студентів-магістрів спеціальності 104 Фізика та астрономія, освітньої програми «Теоретична фізика та астрофізика», які будуть ознайомлені з основними науковими проблемами такого актуального напрямку астрофізики, як дослідження зоряних атмосфер.
Мета та цілі дисципліни	<p>Головна мета курсу:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Дати огляд елементарних процесів у зоряних атмосферах. 2. Дати студентам поглиблений огляд моделей зоряних атмосфер. 3. Показати застосування модельних методів відтворення зоряних атмосфер різних типів. 4. Підготувати майбутніх магістрів до роботи у наукових групах, що займаються розв'язком актуальних проблем фізики зоряних атмосфер вже під час навчання. <p>Основні завдання курсу:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Навчити студентів розуміти основні елементарні процеси у зоряних атмосферах. 2. Дати студентам детальний опис сучасних методів дослідження зоряних атмосфер з описом їх переваг та недоліків. 3. Описати сучасні методики визначення іонного вмісту. 4. Описати сучасні алгоритми розрахунку перенесення випромінювання у зоряних атмосферах. 5. Застосовувати модельні методи формування зоряного континууму у плоско-паралельній геометрії.

	<p>6. Застосовувати модельні методи формування зоряних ліній у плоско-паралельній геометрії.</p> <p>7. Застосовувати модельні методи формування зоряних ліній у не-плоско-паралельній геометрії.</p> <p>8. Реалізовувати програми для моделювання зоряних атмосфер і для діагностики фізичних умов у фотосферах та атмосферах зір.</p>
Література для вивчення дисципліни	<p>Базова:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. М. І. Стоділка, О. І. Баран. <i>Діагностика неоднорідної атмосфери Сонця</i>. Львів: Растр-7, 2020. 2. I. Hubeny and D. Mihalas. <i>Theory of Stellar Atmospheres. An Introduction to Astrophysical Non-equilibrium Quantitative Spectroscopic Analysis</i> (Princeton series in Astrophysics). Princeton University Press, 2015. 3. R. J. Rutten. <i>Radiative Transfer in Stellar Atmospheres</i>. Sterrekundig Instituut Utrecht Institute of Theoretical Astrophysics Oslo, 2003. Link: https://robrutten.nl/rrweb/rjr-pubs/2003rtsa.book....R.pdf 4. <i>Radiative Transfer in Stellar and Planetary Atmospheres</i>. Edited by L. Crivellari, S. Simón-Díaz, M. J. Arévalo (Canary Islands Winter School of Astrophysics, Volume XXIX “Radiative Transfer in Stellar and Planetary Atmospheres”, Series Editor R. Rebolo). Cambridge University Press, 2020. DOI: 10.1017/9781108583572 <p>Допоміжна:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. P. Heinzel. “Chapter 5.2 - Models of Solar and Stellar Atmospheres.” <i>The Sun as a Guide Stellar Physics</i>. Elsevier, 2019. P. 157–183. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814334-6.00006-6 <p>Інформаційні ресурси:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. http://kurucz.harvard.edu/grids.html 2. http://tlusty.oca.eu/Tlusty2002/tlusty-frames-guides.html 3. https://www.physik.uni-hamburg.de/en/hs/subsite---research/research-hauschildt-redirect.html 4. https://marcs.astro.uu.se/index.php 5. https://www.as.utexas.edu/~chris/moog.html 6. http://tlusty.oca.eu/Synspec43/synspec-frames-guides.html 7. https://www.stsci.edu/science/starburst99/docs/default.htm
Тривалість курсу	один семестр
Обсяг курсу	90 годин, з яких 32 години аудиторних занять, з них 16 годин лекцій та 16 години лабораторних занять, а також 58 годин самостійної роботи.
Очікувані результати навчання	<p>У результаті вивчення даного курсу студент повинен мати такі ЗК та СК:</p> <p>ЗК01. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.</p> <p>ЗК02. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.</p> <p>ЗК03. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.</p> <p>ЗК04. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.</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 опановувати знання та</p>

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.

СК08. Здатність формулювати нові гіпотези та наукові задачі у галузі фізики та астрономії, вибирати відповідні методи для їх розв'язання, беручи до уваги наявні ресурси.

СК10. Здатність здійснювати наближену діагностику фізичних умов у різноманітних астрофізичних системах на основі результатів астрономічних спостережень.

СК11. Здатність розуміти сучасні моделі різноманітних астрофізичних систем та вміти критично їх аналізувати на основі даних астрономічних спостережень.

та досягти таких програмних **результатів навчання:**

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.

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.

РН04. Обирати і використовувати відповідні методи обробки та аналізу даних фізичних та/або астрономічних досліджень і оцінювання їх достовірності.

РН05. Здійснювати феноменологічний та теоретичний опис досліджуваних фізичних та/або астрономічних явищ, об'єктів і процесів.

РН07. Оцінювати новизну та достовірність наукових результатів з обраного напрямку фізики та/або астрономії, оприлюднених у форму публікації чи усної доповіді.

РН08. Презентувати результати досліджень у формі доповідей на семінарах, конференціях тощо, здійснювати професійний письмовий опис наукового дослідження, враховуючи вимоги, мету та цільову аудиторію.

РН09. Аналізувати та узагальнювати наукові результати з обраного напрямку фізики та/або астрономії, відслідковувати найновіші досягнення в цьому напрямі, взаємокорисно спілкуючись із колегами.

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.

РН12. Розробляти та застосовувати ефективні алгоритми та спеціалізоване програмне забезпечення для дослідження моделей фізичних та/або астрономічних об'єктів і процесів, обробки результатів експериментів і спостережень.

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.

РН15. Планувати наукові дослідження з урахуванням цілей та обмежень, обирати ефективні методи дослідження, робити обґрунтовані висновки, за результатами дослідження.

	PH19. Знати про походження хімічних елементів у Всесвіті і розуміти чинники зміни їх вмісту, а також їх роль у формуванні зоряних та небулярних спектрів, вміти розв'язувати найпростіші задачі з визначення йонного та хімічного вмісту зір і небулярних середовищ.
Ключові слова	зоряні атмосфери, локальна термодинамічна рівновага, відсутність локальної термодинамічної рівноваги
Формат дисципліни	Очний
Теми	Наведено у табл.1
Підсумковий контроль, форма	іспит в кінці семестру усний
Пререквізити	Для вивчення дисципліни студенти потребують знань з дисциплін «Діагностика та моделювання світіння небулярних середовищ», «Астрофізика компактних об'єктів», «Нуклеосинтез у Всесвіті».
Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу	Презентації, лекції, дискусія, лабораторні роботи, підготовка доповідей.
Необхідне обладнання	Персональний комп'ютер, операційна системи Linux, проектор, відкриті спеціальні пакети комп'ютерних програм для моделювання: 1) Моделі зоряних атмосфер Куруча та Кастеллі (результати розрахунку сіток та відповідне програмне забезпечення): http://kurucz.harvard.edu/grids.html , https://wwwuser.oats.inaf.it/fiorella.castelli/sources.html 2) Пакет Tlusty для моделювання зоряних атмосфер, акреційних дисків, а також для зоряної спектроскопічної діагностики: http://tlusty.oca.eu/ 3) Пакет Synspec43 для моделювання зоряних атмосфер та для зоряної спектроскопічної діагностики : http://tlusty.oca.eu/Synspec43/synspec.html 4) Сітки моделей зоряних атмосфер, розраховані програмою PHOENIX: https://www.physik.uni-hamburg.de/en/hs/subsite---research/research-hauschildt-redirect.html 5) MARCS (Model Atmospheres with a Radiation and Convective Scheme) — сітка одновимірних, гідростатичних, плоскопаралельних, а також та сферичних ЛТР-моделей зоряних атмосфер: https://marcs.astro.uu.se/index.php 6) MOOG — код для діагностичного аналізу зоряних ліній за умови ЛТР, а також для синтезу зоряного спектра: https://www.as.utexas.edu/~chris/moog.html 7) Програма Starburst99 для еволюційно-популяційного синтезу областей зореутворення: https://www.stsci.edu/science/starburst99/docs/default.htm
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"> • 7 лабораторних робіт (макс. 4 бали за л.р. №1, 4–5, макс. 2 бали за л.р. №2, 3 та макс. 8 балів за л.р. №6, 7, разом — 32 бали). Максимальна кількість балів для різних лабораторних — різна, відповідно до об'єму роботи, яку необхідно виконати. Тому розподіл балів зручніше подавати у відсотках від максимальної кількості балів, які можна отримати за відповідну лабораторну роботу: 91–100% — робота виконана повністю правильно (90%) + макс. 10% за акуратність оформлення звіту; 51–90% — здійснення програмної реалізації алгоритму методу, або ж налаштування вхідного файлу для розрахунку за допомогою наявного програмного забезпечення (50%) + макс. 40% за здійснення розрахунків та аналіз отриманих результатів;

1–50% — здійснення програмної реалізації алгоритму методу, або ж налаштування вхідного файлу для розрахунку за допомогою наявного програмного забезпечення;

0% — робота не виконана, або виконана повністю неправильно;

- поточний контроль (модулі): максимальна кількість балів 18 (2 контрольні роботи за змістовими модулями по 9 балів). Кожна контрольна містить два теоретичних питання, кожне з яких оцінюється за 4-бальною шкалою відповідно до таких критеріїв:

4 — питання викладено правильно і повністю;

2–3 — повнота викладення недостатня;

0.5–1.9 — рівень володіння матеріалом дуже низький, або ж низький;

0 — студент повністю неправильно виклав питання, або ж зовсім не надав на нього відповіді;

- іспит: 50% сумарної оцінки; максимальна кількість балів — 50: два розширені теоретичні завдання (по макс. 15 балів кожне), одне розширене практичне завдання (макс. 20 балів).

Теоретичні питання оцінюються за такою шкалою:

15 — питання викладено правильно і повністю,

7–14 — повнота викладення недостатня,

3–6 — рівень володіння матеріалом частковий,

1–2 — рівень володіння матеріалом дуже низький, або низький,

0 — студент повністю неправильно виклав питання, або ж зовсім не надав на нього відповіді;

розширене практичне завдання оцінюються за наступною шкалою:

18–20 — завдання виконане правильно та задовільно, добре, або гарно оформлена,

1–17 — завдання виконане спочатку правильно, але на якомусь етапі аналізу отриманих результатів виникла помилка,

0 — завдання не виконане, або виконане повністю неправильно.

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.

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 незарахування викладачем, незалежно від масштабів обману.

Відвідання занять є важливою складовою навчання. Очікується, що всі студенти відвідають усі лекції та 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.

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 на лабораторних заняттях та поточному тестуванні. 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

	<p>час заняття в цілях, не пов'язаних із навчанням; списування та плагіат; несвоєчасне виконання поставленого завдання і т. ін.</p> <p>Жодні форми академічної недоброчесності не толеруються.</p>
<p>Питання до екзамену</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Спостережувані основи моделювання та діагностики зоряних атмосфер. 2. Урахування поляризації у моделюванні зоряних атмосфер. 3. Аналітичний огляд наукової статті з актуальних питань дослідження зоряних атмосфер. 4. Перенесення випромінювання через зоряну атмосферу: оптична глибина, стандартне рівняння перенесення випромінювання у випадку плоско-паралельної геометрії та його формальний розв'язок. наближення Едінгтона–Барб'є. 5. Не-плоско-паралельні моделі зоряних атмосфер: сонячні лінії NaD, сонячні та зоряні лінії CaII H та K, корональні лінії, зоряний вітер та лінії. 6. Наближення Едінгтона–Барб'є. 7. Багаторівневі ітерації: метод еквівалентного дворівневого атома, повна лінеаризація, ітерації Ньютона–Рафсона, рівняння швидкостей переходів, збурення лінеаризація 8. Багаторівневі ітерації: розв'язок рівняння другого порядку Ауера–Міхаласа, розв'язок рівняння першого порядку Шармера–Карлсона, прекодиціонування, особливості ініціалізації. 9. Локальна термодинамічна рівновага: розподіли Максвелла, Больцмана, Саха та Саха–Больцмана. 10. Методи Λ-ітерацій: класичні та наближені, наближені Λ-оператори. 11. Функція Планка, наближення Віна та Релея–Джинса, закон Стефана–Больцмана, індуковане випромінювання, поглинання в лініях. 12. Метод Фотріє. 13. Не-ЛТР: статистична рівновага, опис елементарних процесів в зоряних атмосферах. 14. Аналітичні розв'язки рівняння перенесення випромінювання: загальне рівняння перенесення випромінювання, експоненціальні інтегралі, рівняння Шварцшільда–Мілна. 15. Не-ЛТР: когерентне розсіяння, фізичні умови в зоряній короні. 16. Оператори: класичний Λ-оператор, Φ- та χ-оператори, графі Курганова, узагальнені Λ-оператори. Наближені розв'язки. 17. Фотонні переходи. Швидкості радіативних та ударних переходів 18. Основи чисельного моделювання зоряних атмосфер. Дискретизація. 19. Радіативне та ударне розширення спектральних ліній 20. Аналітичні розв'язки рівняння перенесення випромінювання: наближення Едінгтона–Барб'є, друге наближення Едінгтона. 21. Складові доплерівського розширення спектральних ліній. Надтонка структура 22. Аналітичні розв'язки рівняння перенесення випромінювання: наближення для великих оптичних глибин. 23. Монохроматичний перерозподіл у спектральних лініях. 24. Плоско-паралельні моделі зоряних атмосфер: класичні моделі, розшарування за тиском, розшарування за температурою, радіативна рівновага, наближення сірої атмосфери, бленкетінг. 25. Повний та частковий перерозподіл у спектральних лініях. 26. Плоско-паралельні моделі зоряних атмосфер: чисельне моделювання у припущеннях ЛТР та радіативної рівноваги атмосфер холодних зір, чисельне Не-ЛТР моделювання у припущенні радіативної рівноваги атмосфер гарячих зір, континуум плоско-паралельних моделей.

	27. Плоско-паралельні моделі зоряних атмосфер: основи спектральної діагностики з використанням лінії плоско-паралельних моделей та визначення хімічного вмісту (методи кривої росту, синтез ліній ЛТР, синтез не-ЛТР ліній).
Опитування	Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.

Таблиця 1

Схема курсу «Моделювання зоряних атмосфер»*

Тиж-день	Тема занять (перелік питань)	Форма діяльності та обсяг годин	Термін виконання
Змістовий модуль 1			
1–4	Тема 1. Спостереження зір. Тема 2. Випромінювання у зоряних атмосферах. Тема 3. Рівняння перенесення випромінювання. Література: Б1, Б3, Б4	Лекції — 4 год, лаб. заняття — 4 год, самостійна робота — 14 год	4 тижні
5–8	Тема 4. Локальна термодинамічна рівновага (ЛТР). Тема 5. Відсутність локальної термодинамічної рівноваги (НеЛТР). Тема 6. Зв'язано-зв'язані та зв'язано-вільні переходи. Література: Б2, Б3	Лекції — 4 год, лаб. заняття — 3 год, контрольна робота — 1 год, самостійна робота — 15 год	4 тижні
Змістовий модуль 2			
9–12	Тема 7. Аналітичні розв'язки рівняння перенесення випромінювання. Тема 8. Чисельні розв'язки рівняння перенесення випромінювання. Тема 9. Урахування поляризації. Література: Б2, Б3	Лекції — 4 год, лаб. заняття — 4 год, самостійна робота — 14 год	4 тижні
13–14	Тема 10. Плоско-паралельні моделі зоряних атмосфер. Література: Б2, Б3, Д1	Лекції — 2 год, лаб. заняття — 2 год, самостійна робота — 7 год	2 тижні
15–16	Тема 11. Не-плоско-паралельні моделі зоряних атмосфер. Література: Б2, Б3, Д1	Лекції — 2 год, лаб. заняття — 1 год, контрольна робота — 1 год, самостійна робота — 8 год	2 тижні

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