

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Львівський національний університет імені Івана Франка**  
**Факультет фізичний**  
**Кафедра астрофізики**

**Затверджено**

На засіданні кафедри астрофізики  
факультету фізичного  
Львівського національного університету  
імені Івана Франка  
(протокол № 1 від 30 серпня 2024 р.)

Завідувач кафедри  Богдан МЕЛЕХ

**Силабус з навчальної дисципліни вільного вибору**

**«Комп'ютерне моделювання Всесвіту»,**

що викладається в межах ОПП першого (бакалаврського) рівня вищої освіти  
для студентів другого курсу всіх спеціальностей

Львів 2024 р.

<b>Назва курсу</b>	Комп'ютерне моделювання Всесвіту
<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>	Дисципліна вільного вибору студентів III курсу
<b>Викладачі курсу</b>	Завідувач кафедри астрофізики, д.ф.-м.н., ст. наук. Мелех Богдан Ярославович
<b>Контактна інформація викладачів</b>	<a href="mailto:bohdan.melekh@lnu.edu.ua">bohdan.melekh@lnu.edu.ua</a> <a href="https://physics.lnu.edu.ua/employee/melekh-bohdan-yaroslavovych">https://physics.lnu.edu.ua/employee/melekh-bohdan-yaroslavovych</a> _
<b>Консультації по курсу відбуваються</b>	Консультації в день проведення лекцій та практичних занять (за попередньою домовленістю). Також можливі он-лайн консультації з використанням засобів <i>Microsoft Teams</i> .
<b>Сторінка курсу</b>	
<b>Інформація про курс</b>	Курс " <i>Комп'ютерне моделювання Всесвіту</i> " є дисципліною вільного вибору для студентів 3-го курсу університету, незалежно від їхньої спеціальності чи факультету. Курс викладається у V семестрі в обсязі 3 кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS).).
<b>Коротка анотація курсу</b>	<p>У цьому курсі буде висвітлено роль комп'ютерного моделювання у сучасній астрофізиці. Зокрема, буде показано, як за допомогою чисельних симуляцій астрофізики отримують знання про формування великомасштабної структури Всесвіту, походження та еволюцію галактик, роль і кількість темної матерії та темної енергії в ньому, області активного зореутворення та їх оточення, виникнення планетних систем, вибухи нових та наднових зір, чорні діри та квазари, зоряний вітер та супервітер і нарешті — про майбутнє нашого Всесвіту. Викладання курсу супроводжуватиметься демонстрацією реальних вищезгаданих об'єктів Всесвіту, які стали видимі для нас, завдяки роботі сучасних наземних та космічних телескопів.</p> <p>Буде показано, як астрофізики спостерігають Всесвіт на різних етапах його еволюції за допомогою сучасних високотехнологічних телескопів, зокрема детально описані задачі, які стоять перед нещодавно запущеним космічним телескопом ім. Дж. Вебба. Значна роль приділена опису нового вікна у Всесвіт — гравітаційної астрономії та роль комп'ютерного моделювання при аналізі даних спостережень на гравітаційних детекторах. Також буде розглянуто основні завдання підземної астрофізики, зокрема буде приділена значна увага реєстрації нейтрино, завдяки яким ми можемо побачити ядро Сонця, а також експериментам з пошуку частинок темної матерії.</p> <p>Значна роль приділена перевірці результатів комп'ютерного моделювання в астрофізиці через порівняння його результатів з даними спостережень. Показано, як було виявлене прискорене розширення Всесвіту і як астрофізики пробують пояснити його різними моделями так званої темної енергії, отримано зображення горизонту подій надмасивної чорної діри у центрі однієї з галактик.</p> <p>Окрему роль приділено астрономії у контролі та дослідженні ближнього</p>

	<p>космосу, з точки зору як інформаційної безпеки України, так і планетарного захисту.</p> <p>Презентація найновіших відкриттів у сучасних астрономії астрофізиці здійснюється зрозумілою для гуманітарних спеціальностей мовою, з використанням високоякісного демонстраційного матеріалу (світлин, відео та схем). Обговорюється вплив найважливіших відкриттів в астрофізиці на філософію та теологію.</p>
<p><b>Мета та цілі курсу</b></p>	<p>Мета курсу: дати студентам уявлення про роль комп'ютерного моделювання в отриманні нових знань про Всесвіт, а також про роль нових наземних та космічних телескопів у перевірці рівня достовірності цих знань. Також до мети курсу належить демонстрація ролі астрономії в інформаційній безпеці нашої держави та в планетарному захисті людської цивілізації та екології планети Земля.</p> <p>Основне завдання курсу: навчити студентів науковому підходу до пізнання світу та розвинути у них навички уникнення суперечностей між власним світоглядом та сучасною науковою картиною світу.</p>
<p><b>Література для вивчення дисципліни</b></p>	<p><b>Базова література:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Головатий В.В., Мелех Б.Я., Гаврилова Н.В., Фізика світіння газових туманностей. Навчальний посібник. – Львів: Видавництво ЛНУ ім. І.Франка, 2013.</li> <li>2. Ferland G.J. “Hazy 1. A brief introduction to Cloudy. Introduction and commands (version 05.07)”, Department of Physics and Astronomy, University of Kentucky, Lexington, (2005), 221p., <a href="http://www.nublado.org">http://www.nublado.org</a></li> <li>3. Press W.H., Teukolsky S)..A., Vetterling W.T., Flannery B.P. “Numerical Recipes. The Art of Scientific Computing” 3rd edition, Cambridge University Press, (2007), 1235 p.</li> <li>4. Stone J.M., Norman M.L. “ZEUS).-2D. A Radiation Magnetohydrodynamics Code for Astrophysical Flows in Two Space Dimensions: I. The Hydrodynamic Algorithms and Tests”, National Center for Supercomputing Applications, University of Illinois at Urbana-Champaign, (1995), 74 p., <a href="http://zeus.ncsa.uiuc.edu">http://zeus.ncsa.uiuc.edu</a></li> <li>5. Clarke D.A., Norman M.L., Fiedler R.A. “ZEUS).-3D. USER MANUAL (Version 3.2.1)”, National Center for Supercomputing Applications, University of Illinois at Urbana-Champaign, The Board of Trustees of the University of Illinois, (1994), 79 p., <a href="http://zeus.ncsa.uiuc.edu">http://zeus.ncsa.uiuc.edu</a></li> <li>6. Мелех Б.Я. Розподіл енергії в спектрі випромінювання іонізуючих ядер областей НІІ в голубих компактних карликових галактиках за 912A// Журнал фізичних досліджень. - 2000. -Т.4,№2. - С.225-235.</li> <li>7. Leitherer C., Schaerer D., Goldader J.D., Delgado R.G., Robert C., Kune D.F., de Mello D.F., Devost D., Heckman T.M. Starburst99: Synthesis Models for Galaxies with Active Star Formation // Astrophysical Journal Supplement Series - 1999. - Vol.123. - P.3-40.</li> <li>8. Вавилова І.Б., Бабик Ю.В., Добричева Д.В., Василенко А.А., Іващенко Г.Ю., Сергієнко О.М., Торбанюк О.О., Пулатова Н. Г. Астрокосмічні бази даних для досліджень мультихвильових і космологічних властивостей позагалактичних</li> </ol>

об'єктів // Космічна наука і технологія. - 2015.- Т. 21. — С. 94-107.

9. Тугай А.В. Рентгенівська астрономія. Методи отримання зображень, кривих блиску і спектрів за супутниковими спостереженнями. ВПЦ "Київський університет". - 2012. - 42с.

**Допоміжна література:**

1. Ferland G.J. "Hazy 2. A brief introduction to Cloudy 96. Computational methods", Department of Physics and Astronomy, University of Kentucky, Lexington, (2005), 361 p., <http://www.nublado.org>

2. Ferland G.J. "Hazy 3. A brief introduction to Cloudy 96. Results, environment", Department of Physics and Astronomy, University of Kentucky, Lexington, (2005), 543 p., <http://www.nublado.org>

3. Stone J.M., Norman M.L. "ZEUS)-2D. A Radiation Magnetohydrodynamics Code for Astrophysical Flows in Two Space Dimensions: II. The Magnetohydrodynamics Algorithms and Tests", National Center for Supercomputing Applications, University of Illinois at Urbana-Champaign, (1995), 55 p., <http://zeus.ncsa.uiuc.edu>

4. Stone J.M., Michalakis D., Norman M.L. "ZEUS)-2D. A Radiation Magnetohydrodynamics Code for Astrophysical Flows in Two Space Dimensions: III. The Radiation Hydrodynamic Algorithms and Tests", National Center for Supercomputing Applications, University of Illinois at Urbana-Champaign, (1995), 54 p., <http://zeus.ncsa.uiuc.edu>

5. Sloan Digital Sky Surveys: Telescopes and Instruments. [Electronic resource]. - URL: <https://www.sdss.org/instruments/>

6. Sloan Digital Sky Surveys: Surveys. [Electronic resource]. - URL: <https://www.sdss.org/surveys/>

7. Offline Scientific Analysis. [Electronic resource]. - URL: [https://www.isdc.unige.ch/integral/workshop/DA\\_workshop\\_1/Kretschmar\\_OSA.pdf/](https://www.isdc.unige.ch/integral/workshop/DA_workshop_1/Kretschmar_OSA.pdf/)

8. Астрономічний енциклопедичний словник / За заг. ред. І.А.Климишина та А.О.Корсунь. - Львів: ЛНУ-ГАО НАНУ, 2003.

9. Дума Д.П. Загальна астрометрія: навчальний посібник. К.: Наукова думка, 2007.

10. Tody D. IRAF in the Nineties. Astronomical Data Analysis Software and Systems II. [Electronic resource]. - URL:

<http://articles.adsabs.harvard.edu/full/1993ASPC...52..173T/0000173.000.html>

11. Common Astronomical Software Application. CASA. A User Reference & Cookbook. [Electronic resource]. - URL:

<https://casa.nrao.edu/docs/cookbook/index.html>

12. Sloan Digital Sky Surveys. Education and Public Engagement. [Electronic resource]. - URL: <https://www.sdss.org/education/>

**Інформаційні ресурси:**

1. <http://www.nublado.org>

2. <http://www.astro.princeton.edu/~jstone/zeus.html>

3. <http://ascl.net/cmbfast.html>

4. <http://flash.uchicago.edu/site/flashcode/>

5. <http://plutocode.ph.unito.it/>

6. <http://www.stsci.edu/science/starburst99/docs/default.htm>

7. <http://camb.info/>

8. <https://www.ligo.org/science/GW-Detecting.php>

<b>Тривалість курсу</b>	один семестр
<b>Обсяг курсу</b>	90 годин, з яких 32 години аудиторних занять, з них 16 годин лекцій та 16 годин практичних занять, а також 58 годин самостійної роботи.
<b>Очікувані результати навчання</b>	Після завершення цього курсу студент повинен - <u>знати</u> : <ul style="list-style-type: none"> <li>• обчислювальні та візуалізаційні комп'ютерні технології, які використовуються в сучасних астрофізичних дослідженнях,</li> <li>• принципи роботи найновіших астрономічних інструментів (телескопів, гравітаційних детекторів, нейтринних детекторів),</li> <li>• зміст найважливіших сучасних відкриттів в астрофізиці,</li> <li>• концепцію сучасної наукової картини світу,</li> <li>• практичні переваги наукового світогляду.</li> </ul> - <u>вміти</u> : <ul style="list-style-type: none"> <li>• приймати до уваги дані сучасної природничої науки під час формування власного уявлення про світ,</li> <li>• використовувати обчислювальні та візуалізаційні комп'ютерні технології, що використовуються в сучасних астрофізичних дослідженнях.</li> </ul>
<b>Ключові слова</b>	Астрофізика, комп'ютерне моделювання, науковий світогляд, філософія, теологія.
<b>Формат курсу</b>	Очний
	проведення лекцій, практичних занять та консультацій для кращого розуміння тем
<b>Теми</b>	Наведено у табл.1
<b>Підсумковий контроль, форма</b>	залік в кінці семестру
<b>Пререквізити</b>	Для вивчення дисципліни необхідні лише базові шкільні знання з астрономії, математики та фізики.
<b>Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу</b>	Презентації, лекції, опитування, дискусія, практичні завдання, підготовка доповідей/відеопрезентацій, <i>Microsoft Teams</i> .
<b>Необхідне обладнання</b>	Персональний комп'ютер, проектор.
<b>Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)</b>	Оцінювання проводиться за 100-бальною шкалою. Бали нараховуються за наступним співвідношенням: 1) контрольні за двома змістовими модулями (30+20=50 балів), 2) практичні завдання, опитування у формі тесту та відеопрезентація за змістовими модулями (15+15+20=50 балів). Підсумкова максимальна кількість балів — 100.
<b>Питання на контрольні роботи</b>	1. Узагальнений огляд чисельних симуляцій формування великомасштабної структури Всесвіту. 2. Еволюція галактик та їх скупчень. 3. Спектр потужності космічного мікрохвильового випромінювання. 4. Суть та мета космологічних симуляцій. 5. Темна матерія та обертання галактик.

6. Темна енергія та розширення Всесвіту.
7. Процеси зореутворення. Узагальнений огляд хемодинамічних симуляцій еволюції галактик.
8. Симуляції формування зір та планетарних систем..
9. Симуляції вибухів Наднових.
10. Чорні діри та квазари.
11. Роль ІТ в астрономічних спостереженнях на наземних та космічних електромагнітних телескопах.
12. Гравітаційні детектори та симуляції подій злиття релятивістських астрофізичних об'єктів.
13. Підземна астрономія.
14. Симуляції утворення перших молекул у Всесвіті.
15. Моделювання світіння небулярних середовищ.
16. Діагностика світіння небулярних середовищ.
17. Пошук темної матерії.
18. Пошук темної енергії.
19. Роль ІТ в космічній ситуаційній обізнаності.
20. ІТ та космічні телескопи.
21. Пошук життя у Всесвіті. Історія проекту S).ETI.
22. Астрофізика та її роль у формуванні світогляду.
23. Астрофізика та філософія.
24. Астрофізика та теологія.

## Схема курсу «Комп'ютерне моделювання Всесвіту»

Тиждень	Тема занять (перелік питань)	Форма діяльності та обсяг годин	Термін виконання
1-4	Вступ. Космологічні симуляції.	Лекції — 4 год., практ. заняття — 4 год., самостійна робота — 13 год.	4 тижні
5-8	Симуляції зореутворення. Моделювання зоряних атмосфер Діагностика та моделювання світіння небулярних середовищ.	Лекція — 4 год., практ. заняття — 4 год., самостійна робота — 13 год.	4 тижні
9,10	Моделювання внутрішньої будови зір. Ядерна астрофізика. Симуляції вибухів наднових та злиття нейтронних зір. Підсумки нуклеогенезису.	Лекції — 2 год., практ. заняття — 2 год., самостійна робота — 8 год.	2 тижні
11,12	Виникнення планетних систем навколо зір різних мас. Нуклеосинтез, молекули та життя у Всесвіті.	Лекції — 2 год., практ. заняття — 2 год., самостійна робота — 8 год.	2 тижні
13,14	Роль IT в організації астрономічних спостережень на електромагнітних (наземних та космічних), підземних та гравітаційних телескопах.	Лекції — 2 год., практ. заняття — 2 год., самостійна робота — 8 год.	2 тижні
15,16	Роль природничих наук у формуванні світогляду.	Лекції — 2 год., практ. заняття — 2 год., самостійна робота — 8 год.	2 тижні