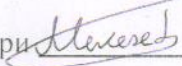


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Львівський національний університет імені Івана Франка
Фізичний факультет
Кафедра астрофізики

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
«Нуклеосинтез у Всесвіті (Nucleosynthesis in the Universe)»,
що викладається в межах ОНП «Теоретична фізика та астрофізика»
другого (магістерського) рівня вищої освіти
для здобувачів зі спеціальності 104 Фізика та астрономія

Львів 2023

Назва дисципліни	Нуклеосинтез у Всесвіті (Nucleosynthesis in the Universe)
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: Мелех Богдан Ярославович, завідувач кафедри астрофізики, докт. фіз.-мат. наук; лабораторні заняття проводить доцент Кошмак І.О.
Контактна інформація викладачів	bohdan.melekh@lnu.edu.ua https://physics.lnu.edu.ua/employee/melekh-bohdan-yaroslavovych ihor.koshmak@lnu.edu.ua https://physics.lnu.edu.ua/employee/koshmak-ihor-oleksandrovykh
Консультації по дисципліні відбуваються	Консультації в день проведення лекцій та лабораторних занять (за попередньою домовленістю). Також можливі он-лайн консультації з використанням засобів <i>Microsoft Teams</i> .
Сторінка дисципліни	https://physics.lnu.edu.ua/course/nuklohenezys-u-vsesviti https://teams.microsoft.com/l/channel/19%3a805344e5b623449a8e9f0dce9b07e508%40thread.tacv2/%25D0%2597%25D0%25B0%25D0%25B3%25D0%25B0%25D0%25BB%25D1%258C%25D0%25BD%25D0%25B5?groupId=8859e9ac-0e98-4f4b-84cd-994fefee99f8&tenantId=70a28522-969b-451f-bdb2-abfea3aaa5bf (команда “Нуклеосинтез у Всесвіті / Nucleosynthesis in the Universe” у <i>Microsoft Teams</i>)
Інформація про дисципліну	Дисципліна «Нуклеосинтез у Всесвіті (Nucleosynthesis in the Universe)» є нормативною дисципліною для підготовки магістра за спеціальністю 104 Фізика та астрономія, ОНП «Теоретична фізика та астрофізика», яка викладається в II семестрі в обсязі 4.5 кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS).
Коротка анотація дисципліни	Курс покликаний дати фундаментальні знання основ походження ядер хімічних елементів у Всесвіті, а також зробити поглиблений огляд основ та методів ядерної астрофізики. Знання цього курсу необхідні у наукових задачах, пов'язаних з описом фізичних процесів у надрах зір різних спектральних типів та з хемодинамічним моделюванням еволюції галактик.
Мета та цілі дисципліни	Дати студентам знання з основ сучасної ядерної астрофізики, однією з основних задач якої є пояснення походження ядер різноманітних хімічних елементів у Всесвіті, навчити майбутніх магістрів основним методам досліджень процесів протікання ядерних реакцій у надрах зір, під час вибуху нових та наднових, у процесі злиття нейтронних зір та в епоху нуклеосинтезу Великого Вибуху.
Література для вивчення дисципліни	Методичне забезпечення: 1. С. М. Андрієвський, І.А. Климишин. <i>Курс загальної астрономії</i> : навчальний посібник. Одеса: Астропринт, 2007. 2. R. Kippenhahn, A. Weigert, and A. Weiss. <i>Stellar Structure and Evolution</i> . 2 nd edition. Heidelberg; New York; Dordrecht; London: Springer, 2012. DOI 10.1007/978-3-642-30304-3 3. T. Rauscher and A. Patkós. “Origin of the chemical elements”. <i>Handbook of Nuclear Chemistry</i> , edited by A. Vertes, S. Nagy, Z. Klencsar, R. G. Lovas, F. Rosch. Springer Science+Business Media B.V., 2011, P. 611–665. PDF: https://ned.ipac.caltech.edu/level5/Sept16/Rauscher/paper.pdf

	<p>Базова література:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. S. E. Woosley and A. Heger. “The evolution and explosion of massive stars.” <i>Rev. Mod. Phys.</i> 2002. Vol. 74, P. 1015–1071. https://journals.aps.org/rmp/abstract/10.1103/RevModPhys.74.1015 2. D. Tytler, J. M. O’Meara, N. Suzuki and D. Lubin. “Review of Big Bang nucleosynthesis and primordial abundances.” <i>Physica Scripta</i>. 2000. No. T85, P. 12–31. http://ned.ipac.caltech.edu/level5/Tytler2/Tytler_contents.html 3. F.-K. Thielemann, M. Eichler, I. V. Panov, and B. Wehmeyer “Neutron star mergers and nucleosynthesis of heavy elements.”. <i>Annual Review of Nuclear and Particle Science</i>. 2017. Vol. 67. P. 253–274. First published as a Review in Advance on August 7, 2017, https://doi.org/10.1146/annurev-nucl-101916-123246 <p>Допоміжна література:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. A. Ray. “Massive stars as thermonuclear reactors and their explosions following core collapse.”. https://arxiv.org/abs/0907.5407 2. J. Heyvaerts. “Basic hydrodynamics.” <i>Late Stages of Stellar Evolution Computational Methods in Astrophysical Hydrodynamics</i>, edited by C. B. Loore (Lect. Notes Phys.). Berlin; Heidelberg: Springer Verlag, 1991. P. 313–354. 3. A. I. Karakas “Nucleosynthesis of low and intermediate-mass stars.” <i>Principles and Perspectives in Cosmochemistry. Astrophysics and Space Science Proceedings</i>, edited by A. Goswami and B. E. Reddy. Berlin; Heidelberg: Springer, 2010. P. 107–164. https://www.researchgate.net/publication/226808111_Nucleosynthesis_of_Low_and_Intermediate-mass_Stars 4. D. Karinkuzhi, S. Van Eck, S. Goriely, L. Siess, A. Jorissen, T. Merle, A. Escorza, and T. Masseron. “Low-mass low-metallicity AGB stars as an efficient i-process site explaining CEMP-rs stars.” <i>Astron. Astrophys.</i> 2021. Vol. 645. A61. https://doi.org/10.1051/0004-6361/202038891 5. B. Müller, and V. Varma. “A 3D simulation of a neutrino-driven supernova explosion aided by convection and magnetic fields.” <i>Mon. Not. R. Astron. Soc. Lett.</i> 2020. Vol. 498. P. L109–L113. https://doi.org/10.1093/mnrasl/slaa137 6. H. Mikami, Y. Sato, T. Matsumoto, and T. Hanawa. “Three-dimensional magnetohydrodynamical simulations of a core-collapse supernova.” <i>Astrophys. J.</i> 2008. Vol. 683. P. 357–374. https://iopscience.iop.org/article/10.1086/589759 <p>Інформаційні ресурси:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. https://ned.ipac.caltech.edu/level5/Sept16/Rauscher/Rauscher_contents.html 2. http://ned.ipac.caltech.edu/level5/Tytler2/Tytler_contents.html 3. http://cs.physics.sunysb.edu/verbaarschot/html/lectures/phy551-08/notes/Nucleosynthesis.pdf 4. https://pdg.lbl.gov/2020/reviews/rpp2020-rev-bbang-nucleosynthesis.pdf 5. http://www2.iap.fr/users/pitrou/primat.htm 6. https://camb.readthedocs.io/en/latest/bbn.html 7. https://www-thphys.physics.ox.ac.uk/people/SubirSarkar/bbn.html 8. https://www.sciencedirect.com/topics/physics-and-astronomy/stellar-nucleosynthesis
Тривалість курсу	один семестр
Обсяг курсу	135 годин, з яких 48 години аудиторних занять, з них 16 годин лекцій та 32 години лабораторних занять, а також 87 годин самостійної роботи.

<p>Очікувані результати навчання</p>	<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>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>СК03. Здатність презентувати результати проведених досліджень, а також сучасні концепції у фізиці та/або астрономії фахівцям і нефаківцям.</p> <p>СК04. Здатність комунікувати з колегами усно і письмово державною та англійською мовами щодо наукових досягнень та результатів досліджень 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>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 <i>результатів навчання</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>РН07. Оцінювати новизну та достовірність наукових результатів з обраного напрямку фізики та/або астрономії, оприлюднених у форму публікації чи усної доповіді.</p> <p>РН08. Презентувати результати досліджень у формі доповідей на семінарах, конференціях тощо, здійснювати професійний письмовий опис наукового дослідження, враховуючи вимоги, мету та цільову аудиторію.</p> <p>РН09. Аналізувати та узагальнювати наукові результати з обраного напрямку фізики та/або астрономії, відслідковувати найновіші досягнення в цьому напрямі, взаємокорисно спілкуючись із колегами.</p> <p>РН10. Відшукувати інформацію і дані, необхідні розв'язання складних</p>
---	---

	<p>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>PH11. Застосовувати теорії, принципи і методи фізики та/або астрономії для розв'язання складних міждисциплінарних наукових і прикладних задач.</p> <p>PH12. 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.</p> <p>PH13. 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>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.</p> <p>PH20. Володіти сучасними методами діагностики та моделювання світіння небулярних середовищ і зоряних атмосфер на основі даних астрономічних спостережень.</p>
Ключові слова	Gamow windows, nuclear reactions, nuclear astrophysics, nucleogenesis, nucleosynthesis, fusion reactions, star evolution, supernovae, novae, neutron star mergers, Big Bang nucleosynthesis / Вікна Гамова, ядерні реакції, ядерна астрофізика, нуклеогенезис, нуклеосинтез, реакції синтезу, еволюція зір, наднові, нові, злиття нейтронних зір, нуклеосинтез Великого Вибуху.
Формат дисципліни	Очний
Теми	Наведено у табл. 1
Підсумковий контроль, форма	іспит в кінці семестру усний
Пререквізити	Для вивчення курсу студенти потребують знань з дисциплін «Астрофізика компактних об'єктів», «Діагностика та моделювання світіння небулярних середовищ».
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) CAMB (Код для анізотропії у мікрохвильовому фоні), для обчислення CMB, лінзування, кількості галактик, спектрів потужності темної доби 21 см, спектрів потужності матерії та функцій перенесення. Існують також загальні корисні функції для космологічних обчислень, таких як розширення фону, відстані тощо. У курсі робиться наголос на роботу з класами, що алгоритмізують розрахунок нуклеосинтезу Великого Вибуху (англ. BBN): https://camb.readthedocs.io/en/latest/bbn.html 2) AlterBBN — це програма на C, яка обчислює вміст хімічних елементів елементів, синтезованих нуклеосинтезом Великого вибуху (BBN). В AlterBBN реалізовані різні космологічні сценарії, які можуть змінювати прогнози BBN: https://alterbbn.hepforge.org/

	<p>3) Доступні програми для розрахунків у ядерній астрофізиці: https://www.jinaweb.org/science-research/scientific-resources/codes</p>
<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"> • 8 лабораторних робіт по 4 бали кожна: 32% сумарної оцінки; кількість балів, які можна отримати за лабораторну роботу, визначається відповідно до такої шкали: <ul style="list-style-type: none"> 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; • контрольні роботи (модулі): 20% семестрової оцінки; загалом — дві роботи (перша — максимум 10 балів, друга — максимум 8 балів); кожна контрольна містить два теоретичних питання, кожне з яких у першій роботі оцінюється за 5-бальною шкалою відповідно до таких критеріїв: <ul style="list-style-type: none"> 5 — питання викладено правильно і повністю; 3–4 — повнота викладення недостатня; 1–2 — 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 4-бальною шкалою: <ul style="list-style-type: none"> 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: <ul style="list-style-type: none"> два розширені теоретичні завдання (по макс. 15 балів кожне), одного розширеного практичного (макс. 20 балів); теоретичні питання оцінюються за такою шкалою: <ul style="list-style-type: none"> 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 ж низький, 0 — студент повністю неправильно виклав питання, або ж зовсім не надав на нього відповіді; розширене практичне завдання оцінюється за такою шкалою: <ul style="list-style-type: none"> 18–20 — робота виконана правильно та задовільно, добре, або гарно оформлена, 1–17 — робота виконувалася спочатку правильно, але на якомусь етапі аналізу отриманих результатів виникла помилка, 0 — завдання невиконане, або виконане повністю неправильно. <p>Додаткові бали (до 10 включно) можна отримати: написання тез, статі, участь у міжнародних, всеукраїнських та/або інших заходах або конкурсах за тематикою навчальної дисципліни.</p> <p>Підсумкова максимальна кількість балів — 100.</p>

	<p>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.</p> <p>Відвідання занять 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>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.</p> <p>Політика виставлення балів. 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>Жодні форми академічної недоброчесності не толеруються.</p>
<p>Питання до екзамену</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Історичний огляд задачі пояснення стійкості зір. Від'ємна теплоємність в надрах зір. Теорема віріала. / Historical overview of the problem of explaining stellar stability. Negative heat capacity in stellar interiors. Virial theorem. 2. Задачі сучасної ядерної астрофізики та її роль в описі еволюційних процесів на Землі. / Tasks of modern nuclear astrophysics and its role in describing evolutionary processes on Earth. 3. Час Кельвіна–Гельмгольца. Роль квантово-механічного ефекту тунелювання під час зоряного термоядерного синтезу. Розрахунок енерговиділення. / Kelvin–Helmholtz time. The role of quantum-mechanical tunneling during stellar nucleosynthesis. Calculation of energy release. 4. Внутрішня структура зір та їх хімічний вміст. / Internal structure of stars and their chemical composition. 5. Швидкості ядерних реакцій та хімічний вміст. / Rates of nuclear reactions and chemical composition. 6. Вікна Гамова. / Gamow windows 7. Протон-протонний цикл та його розгалуження: визначення ефективних реакцій та їх вікон Гамова, часи протікання реакцій, енерговиділення та зміни в хімічному вмісті. / Proton-proton chain and its branching: determination of effective reactions and their Gamow windows, reaction times, energy release, and changes in chemical composition. 8. CNO цикл та його розгалуження: умови протікання, визначення ефективних реакцій та їх вікон Гамова, часи протікання реакцій, енерговиділення та зміни в хімічному вмісті. / CNO chain and its branching: conditions for occurrence, determination of effective reactions and their Gamow windows, reaction times, energy release, and changes in chemical composition. 9. Спостережувана діагностика горіння водню та гелію: нейтринні детектори та розв'язання проблеми сонячних нейтрино, статистика зі спостережень зір різних спектральних класів, відношення кількості

	<p>червоних до блакитних надгігантів. / Observed diagnostics of hydrogen and helium burning: neutrino detectors and addressing the solar neutrino problem, statistics from observations of stars of different spectral classes, ratio of the number of red to blue giants.</p> <ol style="list-style-type: none"> 10. Фізичні процеси в зорях різної маси після їх сходження з Головної послідовності та еволюційні треки цих зір. / Physical processes in stars of different masses after their departure from the Main Sequence and the evolutionary tracks of these stars. 11. Горіння гелію. / Helium burning. 12. Горіння карбону. / Carbon burning. 13. Горіння неону. / Neon burning. 14. s-процес в зорях. / s-process in stars. 15. Горіння кисню. / Oxygen burning. 16. Горіння кремнію. / Silicon burning. 17. Рівняння ядерної статистичної рівноваги. / Equation of nuclear statistical equilibrium. 18. Моделі зір у діапазоні від 8 до 11 сонячних мас. / Star models in the range of 8 to 11 solar masses. 19. Моделі зір у діапазоні від 12 до 100 сонячних мас. / Star models in the range of 12 to 100 solar masses. 20. Роль слабкої взаємодії. Ефекти обертання на пізніх стадіях еволюції масивної зорі. Магнітне поле і його роль. Вплив металічності на еволюцію зорі. / The role of weak interaction. Rotation effects in the later stages of massive star evolution. Magnetic field and its role. Impact of metallicity on stellar evolution. 21. Класифікація вибухів наднових за даними фотометричних та спектроскопічних спостережень. / Classification of supernova explosions based on photometric and spectroscopic observations. 22. Умови для проходження вибухового нуклеосинтезу. / Conditions for the occurrence of explosive nucleosynthesis. 23. Наднова як результат колапсу ядра масивної зорі: залізне ядро та його колапс, детекція потоку нейтрино перед спалахом Наднової, енергія нейтрино та роль його поглинання під час вибуху Наднової, конвекція та виникнення ударної хвилі, поширення ударної хвилі, роль магнітного поля, ефекти перемішування, залишок. / Supernova as a result of the collapse of the core of a massive star: iron core and its collapse, detection of neutrino flux before the Supernova flash, neutrino energy and the role of its absorption during the Supernova explosion, convection and the emergence of a shock, propagation of the shock, the role of the magnetic field, mixing effects, remnant. 24. Наднові Ia типу: два сценарії колапсу білого карлика. / Type Ia Supernovae: Two scenarios of white dwarf collapse. 25. Залишки від вибуху наднових. / Remnants from supernova explosions. 26. Вибухове горіння кисню та кремнію. / Explosive burning of oxygen and silicon. 27. Вибухове горіння неону та карбону. / Explosive burning of neon and carbon. 28. p-процес. / p-process. 29. r-процес. / r-process. 30. Швидкості реакцій під час вибухового нуклеосинтезу. Вплив металічності. / Reaction rates during explosive nucleosynthesis. Influence of metallicity. 31. Оцінка віку залишків вибухів наднових. / Estimation of the age of supernova remnants.
--	---

	<p>32. Приклади спостережуваних наднових та їх залишків. / Examples of observed supernovae and their remnants.</p> <p>33. Умови для синтезу ядер найважчих хімічних елементів. r-процес під час злиття компактних бінарних систем. Гамма-спалахи та кілонові. / Conditions for the synthesis of the heaviest chemical elements. r-process during compact binary mergers. Gamma-ray bursts and kilonovae.</p> <p>34. Моделювання фізичних умов у Всесвіті під час нуклеосинтезу Великого Вибуху. / Modeling the physical conditions in the Universe during the Big Bang Nucleosynthesis.</p> <p>35. Ланцюжки реакцій нуклеосинтезу Великого Вибуху. / Chains of reactions during Big Bang Nucleosynthesis.</p> <p>36. Вплив космологічних моделей на наслідки нуклеосинтезу Великого Вибуху. Тестування теорій нуклеосинтезу Великого Вибуху через визначення хімічного складу гігантських зон НІІ у блакитних компактних галактиках (вміст первинного гелію та темпу його збагачення в процесі зоряного нуклеосинтезу). / The impact of cosmological models on the consequences of Big Bang Nucleosynthesis. Testing theories of Big Bang Nucleosynthesis through determining the chemical composition of H II giant regions in blue compact galaxies (primordial helium content and the rate of its enrichment during stellar nucleosynthesis).</p> <p>37. Нуклеосинтез Великого Вибуху та спостережуваний спектр потужності космічного реліктового випромінювання. / Big Bang Nucleosynthesis and the observed power spectrum of the CMB radiation.</p>
Опитування	Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.

Таблиця 1

Схема курсу «Нуклеосинтез у Всесвіті (Nucleosynthesis in the Universe)»*

Тижні	Тема занять (перелік питань)	Форма діяльності та обсяг годин	Термін виконання
Змістовий модуль 1.			
1–8	<p>Introduction. Various masses stars on the Main Sequence of the Hertzsprung–Russell diagram. Proton-proton and CNO-cycles. Synthesis of nuclei of the chemical elements during evolution of stars of various masses after their descent from the Main sequence of the Hertzsprung–Russell diagram.</p> <p>[Вступ. Зорі різної маси на Головній послідовності діаграми Герцшпрунга–Расселла. Протон-протонний та CNO-цикли. Синтез ядер хімічних елементів під час еволюції зір різної маси після їх сходження з Головної послідовності діаграми Герцшпрунга–Расселла]</p> <p>Література: М1–М3, Б1, Д1–Д4</p>	<p>Лекції — 8 год, лаб. заняття — 15 год, контрольна робота — 1 год, самостійна робота — 43 год.</p>	8 тижнів

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

Тижні	Тема занять (перелік питань)	Форма діяльності та обсяг годин	Термін виконання
Змістовий модуль 2.			
9–16	Nucleosynthesis of supernovae. Nucleosynthesis during merge of neutron stars. Big Bang nucleosynthesis. [Нуклеосинтез наднових. Нуклеосинтез під час злиття нейтронних зір. Нуклеосинтез Великого Вибуху] Література: М2–М3, Б2, Б3, Д1, Д5, Д6	Лекції — 8 год, лаб. заняття — 15 год, контрольна робота — 1 год, самостійна робота — 44 год.	8 тижнів