

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ І.І.МЕЧНИКОВА  
Кафедра фізики та астрономії



“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Проректор з науково-педагогічної роботи  
Олександр ЗАПОРОЖЧЕНКО

” Зробити 2023 р.

**РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

**ОК 3 «Фізика елементарних частинок та ядерна астрофізика»**

Рівень вищої освіти	другий (магістерський)
Галузь знань	10 – Природничі науки
Спеціальність	104 - Фізика та астрономія
Освітньо-професійна програма	Фізика та астрономія

ОНУ  
Одеса  
2023

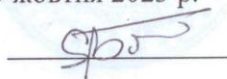
Робоча програма навчальної дисципліни «Фізика елементарних частинок та ядра астрофізика». – Одеса: ОНУ, 2023. – 19 с.

Розробник: Панько Олена Олексіївна, доктор фізико-математичних наук, професор кафедри фізики та астрономії


Робоча програма затверджена на засіданні кафедри фізики та астрономії ФМФІТ

Протокол № 3 від «17» жовтня 2023 р.

Завідувач кафедри



Володимир ГОЦУЛЬСЬКИЙ

Погоджено із гарантом ОПП «Фізика та астрономія»  Олена Панько

Схвалено навчально-методичною комісією (НМК) факультету математики, фізики та інформаційних технологій

Протокол № 2 від «19» жовтня 2023 р.

Голова НМК



Володимир ГОЦУЛЬСЬКИЙ

Переглянуто та затверджено на засіданні кафедри фізики та астрономії

Протокол № \_\_\_ від «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_ (\_\_\_\_\_)

Переглянуто та затверджено на засіданні кафедри фізики та астрономії

Протокол № \_\_\_ від «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_ (\_\_\_\_\_)

### 1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, Спеціальність, спеціалізація, рівень вищої освіти	Характеристика навчальної дисципліни
		<b>Денна (очна) форма навчання</b>
Загальна кількість кредитів – 5 годин – 150 змістовних модулів - 1	Галузь знань 10 – Природничі науки Спеціальність: 104 – Фізика та астрономія Рівень вищої освіти: <u>Другий (магістерський)</u>	Вибіркова дисципліна
		<b>Рік підготовки:</b>
		1-й
		<b>Семестр</b>
		1-й
		<b>Лекції</b>
		28 год.
		<b>Практичні</b>
		20 год.
		<b>Лабораторні</b>
		0 год.
		<b>Самостійна робота</b>
		102 год.
		<b>Форма підсумкового контролю: іспит</b>

## 2. Мета та завдання навчальної дисципліни

**Метою** викладання навчальної дисципліни «Фізика елементарних частинок та ядра астрофізика» є підготовка фахівців, спроможних вільно оперувати поняттями, що пов'язані із класифікацією елементарних частинок, взаємодіями, в яких вони приймають участь, з можливими шляхами ядерних перетворень за участю елементарних частинок. У межах курсу хімічна еволюція Всесвіту розглядається саме як послідовий ланцюжок термоядерних реакцій, що приводить до експериментально виявленого кількісного складу баріонної речовини. В результаті засвоєння матеріалу курсу студенти повинні ознайомитися із термоядерними реакціями, що протікають у зорях різних типів; реакціями захвату теплових нейтронів, реакціями, що протікають у міжзоряному середовищі, а також з хімічною еволюцією зокрема нашої Галактики і Всесвіту в цілому.

В космічних об'єктах фізичні умови істотно вирізняються від тих, що можна отримати в земних лабораторіях. Тому майбутні фізики повинні вільно володіти відомостями та математичним апаратом, що описує стан космічних об'єктів та середовищ, їхню швидкі та еволюційні зміни, вміти аналізувати фізичні процеси, що протікають в умовах, що недосяжні в земних лабораторіях. Ці знання необхідні для майбутньої професійної діяльності як для фізиків, так й для астрофізиків.

**Завдання:** сформувати у студентів стійкі знання про класи елементарних частинок, взаємодії, які з ними пов'язані, типи ядерних реакцій, процеси, що протікають у зорях та міжзоряному середовищі, а також та про еволюцію хімічних елементів у Всесвіті.

Процес вивчення дисципліни спрямований на формування елементів наступних **компетентностей**.

Інтегральна компетентність

ІК. Здатність розв'язувати складні задачі і проблеми дослідницького та/або інноваційного характеру у фізиці та астрономії.

## **Загальні компетентності**

ЗК 01. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

ЗК 02. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.

ЗК 03. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.

ЗК 04. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.

ЗК 05. Здатність використовувати інформаційні та комунікаційні технології.

ЗК 06. Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми.

## **Спеціальні (фахові) компетентності**

СК 01. Здатність використовувати закони та принципи фізики та/або астрономії у поєднанні із потрібними математичними інструментами для опису природних явищ.

СК 02. Здатність формулювати, аналізувати та синтезувати рішення наукових проблем в області фізики та/або астрономії.

СК 05. Здатність сприймати новоздобуті знання в області фізики та астрономії та інтегрувати їх із уже наявними, а також самостійно опановувати знання і навички, необхідні для розв'язання складних задач і проблем у нових для себе деталізованих предметних областях фізики та/або астрономії й дотичних до них міждисциплінарних областях.

СК 08. Здатність формулювати нові гіпотези та наукові задачі в області фізики та астрономії, вибирати відповідні методи для їх розв'язання, беручи до уваги наявні ресурси.

**Програмні результати навчання згідно з освітньо-професійною програмою «Фізика та астрономія»:**

РН01. Використовувати концептуальні та спеціалізовані знання і розуміння актуальних проблем і досягнень обраних напрямів сучасної теоретичної і

експериментальної фізики та/або астрономії для розв'язання складних задач і практичних проблем.

PH03. Обирати і використовувати відповідні методи обробки та аналізу даних фізичних та/або астрономічних досліджень і оцінювання їх достовірності.

PH04. Здійснювати феноменологічний та теоретичний опис досліджуваних фізичних та/або астрономічних явищ, об'єктів і процесів.

PH08. Аналізувати та узагальнювати наукові результати з обраного напрямку фізики та/або астрономії, відслідковувати найновіші досягнення в цьому напрямі, взаємо-корисно спілкуючись із колегами.

PH09. Відшукувати інформацію і дані, необхідні для розв'язання складних задач фізики та/або астрономії, використовуючи різні джерела, зокрема, наукові видання, наукові бази даних тощо, оцінювати та критично аналізувати отримані інформацію та дані.

PH10. Застосовувати теорії, принципи і методи фізики та/або астрономії для розв'язання складних міждисциплінарних наукових і прикладних задач.

PH12. Розробляти та застосовувати ефективні алгоритми та спеціалізоване програмне забезпечення для дослідження моделей фізичних та/або астрономічних об'єктів і процесів, обробки результатів експерименті і спостережень.

***В результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен***

**знати:**

- основні експериментальні факти у фізиці частинок;
- основні методи опису взаємодій частинок;
- стандартну модель та її основні розширення;
- законі збереження та типи термоядерних реакцій;
- реакції протон-протонного циклу;
- реакції CNO-циклу;
- реакції гарячих циклів (Ne-Na, Mg-Al);

- термоядерний синтез у наднових зорях;
- процеси захвату повільних нейтронів;
- особливості хімічного складу зір різних типів;
- основні принципи спектроскопічного аналізу, ціль якого – визначення хімічного складу зорі;
- процеси первинного нуклеосинтезу;
- перетворення атомних ядер у міжзоряному середовищі.

**вміти:**

- застосовувати знання з законів збереження симетрій у квантовій теорії поля для опису результатів конкретних термоядерних реакцій;
- пояснити закономірності хімічної еволюції зір;
- пояснити формування хімічних аномалій у зір різних типів;
- пояснити особливості хімічної еволюції нашої Галактики і Всесвіту в цілому.

### **3. Зміст навчальної дисципліни**

#### **Змістовий модуль 1. Елементарні частинки**

**Тема 1. Формування сучасних уявлень про фізику елементарних частинок та атомних ядер.** Історичний огляд. Масштаби величин, характерні для фізики атомного ядра та елементарних частинок. Рівні будови баріонної матерії.

**Тема 2. Фундаментальні частинки. Принципи класифікації елементарних частинок.** Адрони (баріони, мезони), лептони, калібрувальні бозони. Кварки. Бозони та ферміони. Взаємодія між фундаментальними ферміонами. Маса частинок. Час життя. Заряди та числа. Закони збереження у фізиці елементарних частинок. Частинки та античастинки.

**Тема 3. Параметри термоядерних реакцій.** Перетин реакції. Довжина вільного пробігу. Енергія реакції. Поріг реакції. Стабільні протон-неutronні

комбінації.  $\beta$  розпад та парність. Порушення закону збереження парності за слабкої взаємодії.  $\alpha$  розпад та кластерний розпад. Изобари,  $\beta^-$  та  $\beta^+$  розпади. Енергія зв'язку ядра. Формула Вайдзеккера. Моделі ядра – рідкої краплі, оболонкова модель. Магічні числа. Атомні ядра та реакції при надвисоких густинах (у зонах енерговиділення зір).

## **Змістовий модуль 2. Перетворення елементів у Всесвіті**

**Тема 1. Хімічний склад Всесвіту, що спостерігається.** Методи визначення хімічного складу зір. Хімічний склад Сонця. Розподіл елементів за атомним номером. Парні пики. Залізний пік. Хімічний склад зір у різних підсистемах Галактики. Типи зоряного населення та різниця вмісту хімічних елементів в зорях різних типів Хімічний склад інших галактик.

**Тема 2. Первинний нуклеосинтез.** Проблема антиматерії. Перші реакції термоядерного синтезу. Утворення надлегких ядер:  $^2\text{H}$ , He, Li, Be, B. Проблема Li, Be, B. Термоядерні реакції у зорях III типу.

**Тема 3. Реакції у зорях головної послідовності.** Протон-протонний цикл. Нейтрино як індикатор реакцій. CNO цикл (Бете – Вейцзеккера).

**Тема 4. Наступні реакції.** Потрійна  $3\alpha$  реакція. Перебудова зорі. Особливості наступних реакцій: горіння C, O, S, Si. Гарячі цикли (Ne – Na і Mg – Al). Утворення Fe.

**Тема 5. Утворення ядер хімічних елементів, важчих за залізо і нікель.** Процеси захвату теплових нейтронів. s-процес; r-процес. Утворення ядер надважких хімічних елементів: rp-процес.

**Тема 6. Наднові зорі.** Термоядерний синтез в надрах наднових зір. Нейтронізація речовини. Багаточастинкові ядерні реакції злиття декількох  $\alpha$  - частинок та нуклонів. Процеси збагачення міжзоряного середовища синтезованими хімічними елементами. Хімічна еволюція Галактики і інших галактик. Аномалії хімічного складу зір.



**Тема 7. Космічні частинки,** перетворення елементів у міжзоряному середовищі. Реакції сколювання. Нейтронні зорі. Пікноядерні реакції. Утворення елементів ід час злиття нейтронних зір.

**Тема 8. Майбутня хімічна еволюція Всесвіту.**

#### 4. Структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин					
	Очна форма					
	усього	У тому числі				
		Л	Пр.з.	СРС	інд	Лаб.
1	2	3	4	5	6	7
<b>Змістовий модуль 1. Елементарні частинки</b>						
Тема 1. Формування сучасних уявлень про фізику елементарних частинок та атомних ядер.	14	2	2	10		
Тема 2. Фундаментальні частинки.	14	2	2	10		
Тема 3. Параметри термоядерних реакцій.	18	4	2	12		
<b>Разом за змістовим модулем 1</b>	<b>46</b>	<b>8</b>	<b>6</b>	<b>32</b>		
<b>Змістовий модуль 2. Перетворення елементів у Всесвіті</b>						
Тема 1. Хімічний склад Всесвіту, що спостерігається.	12	2	2	8		
Тема 2. Первинний нуклеосинтез.	12	2	2	8		
Тема 3. Реакції у зорях головної послідовності.	18	4	2	12		
Тема 4. Наступні реакції.	12	2	2	8		
Тема 5. Утворення ядер хімічних елементів, важчих за залізо і нікель.	18	4	2	12		
Тема 6. Наднові зорі.	12	2	2	8		

Тема 7. Космічні частинки,	12	2	2	8		
Тема 8. Майбутня хімічна еволюція Всесвіту.	8	2		6		
<b>Разом за змістовим модулем 2</b>	104	20	14	70		
<b>Усього годин</b>	150	28	20	102		

## 5. Теми семінарських занять

Семінарські заняття не передбачені навчальним планом.

### 1. Теми практичних занять

№	Назва теми	Кількість годин
1	Масштаби величин, характерні для фізики атомного ядра та елементарних частинок. Рівні будови баріонної матерії. Принципи класифікації елементарних частинок. Параметри термоядерних реакцій.	2
2	Принципи класифікації елементарних частинок.	2
3	Параметри термоядерних реакцій.	2
4	Розподіл елементів за атомним номером. Типи зоряного населення та різниця вмісту хімічних елементів в зорях різних типів Хімічний склад інших галактик.	2
5	Перші реакції термоядерного синтезу. Утворення надлегких ядер. Термоядерні реакції у зорях III типу.	2
6	Протон-протонний та CNO цикли	2
7	<i>e</i> -процес.	2
8	Процеси захвату теплових нейтронів.	2
9	Хімічна еволюція Галактики і інших галактик.	2
10	перетворення елементів у міжзоряному середовищі.	2
	<b>Разом</b>	20

## 7. Теми лабораторних робіт

Лабораторні роботи не передбачені навчальним планом.

## 8. Самостійна робота

№	Назва теми	Кількість годин
1	Формування сучасних уявлень про фізику елементарних частинок та атомних ядер. Масштаби величин, характерні для фізики атомного ядра та елементарних частинок.	10
2	Принципи класифікації елементарних частинок. Адрони (баріони, мезони), лептони, калібрувальні бозони. Кварки. Бозони та ферміони. Маса частинок. Час життя. Заряди та числа. Закони збереження у фізиці елементарних частинок. Частинки та античастинки.	10
‘3	Параметри термоядерних реакцій. Перетин реакції. Довжина вільного пробігу. Енергія реакції. Поріг реакції. Стабільні протон-нейтронні комбінації. Магічні числа. $\beta$ розпад та парність. Порушення закону збереження парності за слабкої взаємодії. $\alpha$ розпад та кластерний розпад. Ізобари, $\beta^-$ та $\beta^+$ розпади. Енергія зв'язку ядра. Формула Вайдзеккера. Моделі ядра – рідкої краплі, оболонкова модель. Атомні ядра та реакції при надвисоких густинах.	12
4	Хімічний склад Всесвіту, що спостерігається. Методи визначення хімічного складу зір. Хімічний склад Сонця. Розподіл елементів за атомним номером. Парні пики. Залізний пік. Типи зоряного населення та різниця вмісту хімічних елементів в зорях різних типів.	8

	Хімічний склад зір у різних підсистемах Галактики. Хімічний склад інших галактик.	
5	Первинний нуклеосинтез. Проблема антиматерії. Перші реакції термоядерного синтезу. Утворення надлегких ядер: 2H, He, Li, Be, B. Проблема Li, Be, B. Термоядерні реакції у зорях III типу.	8
6	Реакції у зорях головної послідовності. Протон-протонний цикл. CNO цикл. Нейтрино як індикатор реакцій.	12
7	Потрійна $3\alpha$ реакція. Перебудова зорі. Горіння C, O, S, Si. Гарячі цикли (Ne – Na і Mg – Al). Утворення Fe.	8
8	Утворення ядер хімічних елементів, важчих за залізо і нікель. Процеси захвату теплових нейтронів: s-процес. r-процес. Утворення ядер надважких хімічних елементів: rp-процес.	12
9	Наднові зорі. Термоядерний синтез в надрах наднових зір. Нейтронізація речовини. Багаточастинкові ядерні реакції. Процеси збагачення міжзоряного середовища синтезованими хімічними елементами. Хімічна еволюція Галактики і інших галактик. Аномалії хімічного складу зір.	8
10	Космічні частинки, перетворення елементів у міжзоряному середовищі. Реакції сколювання. Нейтронні зорі. Пікноядерні реакції. Утворення елементів під час злиття нейтронних зір.	8
11	Майбутня хімічна еволюція Всесвіту.	6
	<b>Разом</b>	<b>102</b>

До самостійної роботи відноситься: підготовка теоретичного матеріалу до лекцій, практичних занять.

## **Критерії оцінювання виконання самостійної роботи**

Результати підготовки теоретичного матеріалу до практичних занять оцінюються за усним опитуванням.

Результати самостійної роботи представляються у вигляді доповіді (7-10 хв.), що супроводжується презентацією (5-7 слайдів) або у вигляді рефератів (7-10 хвилин). Критеріями оцінювання є: повнота представленого матеріалу, якість доповіді та презентації, відповідей на запитання викладача та однокурсників.

## **9. Методи навчання**

При викладанні дисципліни використовуються словесні методи навчання, наочні методи навчання. Головним словесним методом навчання є лекція. Під час проведення лекцій використовуються наступні методи навчання: пояснювально-ілюстративний метод або інформаційно-рецептивний; репродуктивний метод (репродукція – відтворення); метод проблемного викладу; частково-пошуковий, або евристичний метод. Під час практичних занять використовуються наступні методи навчання частково-пошуковий, або евристичний метод; дослідницький, при захисті лабораторних робіт використовується дискусійний метод. Під час самостійної роботи використовується дослідницький метод.

## **10. Форми контролю та методи оцінювання**

Поточний контроль здійснюється за результатами виконання практичних завдань та самостійної роботи. Оцінюється також активність студента в процесі занять: усне опитування, написання звітів до лабораторних робіт, написанні звітів при виконанні практичних завдань, оцінювання доповідей, рефератів, розв'язання ситуаційних задач. Підсумковий семестровий контроль (іспит).

## 11. Питання для поточного та підсумкового контролю

2. Формування сучасних уявлень про фізику елементарних частинок та атомних ядер.
3. Масштаби величин, характерні для фізики атомного ядра та елементарних частинок.
4. Принципи класифікації елементарних частинок.
5. Адрони (баріони, мезони), лептони, калібрувальні бозони. Кварки. Бозони та ферміони.
6. Маса частинок. Час життя. Заряди та числа. Закони збереження у фізиці елементарних частинок. Частинки та античастинки.
7. Параметри термоядерних реакцій. Перетин реакції. Довжина вільного пробігу. Енергія реакції. Поріг реакції.
8. Стабільні протон-нейтронні комбінації. Магічні числа.
9.  $\beta$  розпад та парність. Порушення закону збереження парності за слабкої взаємодії.
10.  $\alpha$  розпад та кластерний розпад.
11. Ізобари,  $\beta^-$  та  $\beta^+$  розпади. Енергія зв'язку ядра. Формула Вайдзеккера.
12. Моделі ядра – рідкої краплі, оболонкова модель.
13. Атомні ядра та реакції при надвисоких густинах.
14. Хімічний склад Всесвіту, що спостерігається. Методи визначення хімічного складу зір.
15. Хімічний склад Сонця.
16. Розподіл елементів за атомним номером. Парні пики. Залізний пік.
17. Типи зоряного населення та різниця вмісту хімічних елементів в зорях різних типів.
18. Хімічний склад зір у різних підсистемах Галактики. Хімічний склад інших галактик.
19. Первинний нуклеосинтез. Проблема антиматерії. Перші реакції термоядерного синтезу.

20. Утворення надлегких ядер:  $2\text{H}$ ,  $\text{He}$ ,  $\text{Li}$ ,  $\text{Be}$ ,  $\text{B}$ . Проблема  $\text{Li}$ ,  $\text{Be}$ ,  $\text{B}$ . Термоядерні реакції у зорях III типу.
21. Реакції у зорях головної послідовності. Протон-протонний цикл. Нейтрино як індикатор реакцій.
22. Реакції у зорях головної послідовності. CNO цикл.
23. Потрійна  $3\alpha$  реакція. Перебудова зорі.
24. Горіння  $\text{C}$ ,  $\text{O}$ ,  $\text{S}$ ,  $\text{Si}$ .
25. Гарячі цикли ( $\text{Ne} - \text{Na}$  і  $\text{Mg} - \text{Al}$ ).
26. Утворення  $\text{Fe}$ . Утворення ядер хімічних елементів, важчих за залізо і нікель.
27. Процеси захвату теплових нейтронів: s-процес.
28. Процеси захвату теплових нейтронів: r-процес.
29. Утворення ядер надважких хімічних елементів: rp-процес.
30. Наднові зорі. Термоядерний синтез в надрах наднових зір. Нейтронізація речовини.
31. Багаточастинкові ядерні реакції злиття декількох  $\alpha$  - частинок та нуклонів. Процеси збагачення міжзоряного середовища синтезованими хімічними елементами.
32. Хімічна еволюція Галактики і інших галактик.
33. Аномалії хімічного складу зір.
34. Космічні частинки, перетворення елементів у міжзоряному середовищі. Реакції сколювання.
35. Нейтронні зорі. Пікноядерні реакції. Утворення елементів ід час злиття нейтронних зір.
36. Майбутня хімічна еволюція Всесвіту.

## 12. Розподіл балів, які отримують студенти

Поточний контроль, самостійна робота, індивідуальні завдання						Підсумковий контроль (екз)	Сума балів				
<b>Змістовний модуль 1</b> <b>Поточний контроль на лекціях</b>			<b>Контрольна робота</b>	<b>Індивідуальні завдання</b>	<b>Виконання і захист лабораторних робіт</b>	<b>Практичне завдання</b>	<b>Разом</b>	<b>70</b>	<b>30</b>	<b>100</b>	
<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>									<b>12</b>
<b>2</b>	<b>2</b>	<b>4</b>									
<b>Змістовний модуль 2</b> <b>Поточний контроль на лекціях</b>											
<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>								<b>30</b>
<b>2</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>2</b>								
<b>T5</b>	<b>T6</b>	<b>T7</b>	<b>T8</b>								
<b>4</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>								

При оцінюванні в балах рівня засвоєння матеріалу використовуються загальні критерії оцінювання навчальних досягнень здобувачів вищої освіти:

Підсумковий семестровий контроль (іспит) проводиться в усній формі. Екзаменаційний білет містить два теоретичних питання, кожне з яких



оцінюється окремо за 15 бальною шкалою Критерії оцінювання теоретичного питання:

- повна розгорнута відповідь – 15 балів;
- повна, але не розгорнута відповідь – 14 балів;
- повна, але не розгорнута відповідь, яка містить незначну помилку чи суперечність –

13 балів, за кожну наступну незначну помилку чи суперечність знімається 1 бал;

- неповна відповідь, яка не містить критичних помилок чи суперечностей – 10 балів,

за кожну наступну незначну помилку чи суперечність знімається 1 бал;

- відповідь, що містить критичну помилку чи неточність, або відсутність відповіді оцінюється в 0 балів.

Кількість балів, що здобувач отримав на іспиті, є сумою балів, що були отримані за кожне завдання з екзаменаційного білету.

Кінцева оцінка виставляється за сумою балів поточного та підсумкового контролю за шкалою, що наведена нижче.

### **Шкала оцінювання: національна та ECTS**

<b>Сума балів за всі види навчальної діяльності</b>	<b>Оцінка ЄКТС</b>	<b>Оцінка за національною шкалою</b>	
		<b>для для екзамену, курсового проекту (роботу), практики</b>	<b>для заліку</b>
90 – 100	<b>A</b>	відмінно	зараховано

85-89	<b>B</b>	добре		
75-84	<b>C</b>			
70-74	<b>D</b>	задовільно		
60-69	<b>E</b>			
35-59	<b>FX</b>	незадовільно		не зараховано
1-34	<b>F</b>			

### 13. Навчально-методичне забезпечення

Навчально-методичне забезпечення: робоча програма навчальної дисципліни; силабус, конспекти лекцій; презентації; методичні вказівки, первинний інструктаж з техніки безпеки.

### 14. Рекомендована література

#### Основна

1. Ніцук Ю.А. Ядерна фізика: Навч. посібник. – Одеса.: Одеський національний університет імені І.І. Мечникова, 2008. – 168 с.
2. Захожай В. А. Вступ до астрофізики та космології. – Харків, 2017.
3. Андрієвський С.М., Кузьменков С.Г. Ядерна астрофізика. Навчальний посібник. Одеса: Одеський національний університет імені І.І. Мечникова, 2022. 120 с.  
<http://dspace.onu.edu.ua:8080/handle/123456789/33025>
4. Климишин І.А., Дубицький І.М. Основи космології. Івано-Франківський Теологічно-катехитичний духовний інститут, 1999. 147 с.

#### Додаткова

1. Кудря Ю.М., Вавилова І.Б. Позагалактична астрономія. Книга 1. Галактики: основні фізичні властивості. Навчальний посібник. К.:

Наукова думка, 2016. 344 с. ISBN 978-966-00-1517-3 Режим доступу  
<http://mao.kiev.ua/biblio/mono/pzastr.pdf>  
<http://mao.kiev.ua/biblio/mono/pzastr.pdf>

2. Климишин І. А., Гарбузов Г. О., Мурніков Б. О., Кабанова Т. І. Астрономія / Навчальний посібник. – Одеса: «Астропринт», 2012. – 352 с.
3. Вакарчук І.О. Теорія зоряних спектрів. Підручник. Львів: Львівський національний університет імені Івана Франка, 2002. 359 с.
4. Каретніков В. Г., Мурніков Б. О., Кабанова Т. І. Спектральна класифікація зір // Методичні вказівки для студентів фізичного факультету спеціальності «астрономія». – Одеса:Астропринт, 2015. – 28 с.
5. Кузьменков С.Г. Фундаментальні фізичні та математичні константи. Задачі з розв'язками. Херсон, 2021. 96 с.
6. Александров Ю. В. Астрофізика / Навчальний посібник. – Харків, 2014. – 216 с.

### **15. Електронні інформаційні ресурси**

1. <http://dspace.onu.edu.ua/>
2. [phys.onu.edu.ua](http://phys.onu.edu.ua)