

**Одеський національний університет імені І. І. Мечникова**  
**Факультет математики, фізики та інформаційних технологій**  
**Кафедра фізики та астрономії**

**Силабус курсу**

**Фізика космічних об'єктів та середовищ**

Обсяг	3 кредити, 90 год.
Семестр, рік навчання	6 семестр, 3-й рік навчання
Дні, час, місце	Вівторок, 14.20, ауд.18, Пастера 42
Викладач (-і)	проф. Панько О.О.
Контактний телефон (Вайбер)	0974334518
E-mail	ranko.elena@onu.edu.ua
Робоче місце	НДІ Астрономічна обсерваторія ОНУ імені І.І.Мечникова, парк Шевченка, головна будова, приміщення кафедри.
Консультації	Очні консультації: четвер, 14.30-17.00, АО, парк Шевченка

**КОМУНІКАЦІЯ**

Комунікація зі студентами: E-mail: ranko.elena@onu.edu.ua; Viber; очні зустрічі (номер телефону ТІЛЬКИ для контакту у Viber).

**АНОТАЦІЯ КУРСУ**

**Предметом вивчення** навчальної дисципліни є стаціонарні та нестаціонарні зорі, фізика міжзоряного середовища, фізичні процеси у галактиках та міжгалактичному середовищі.

Вивченню дисципліни «Фізика космічних об'єктів та середовищ» передують розділи курсу «Фізика ядра та елементарних частинок», «Загальна астрономія». Знання курсу «Фізика космічних об'єктів та середовищ» закладає основи для подальшого вивчення дисциплін «Загальна астрофізика», та циклу спеціальних дисциплін за вибором студента.

**Метою курсу** є засвоєння понять, що пов'язані з фізикою зір, міжзоряного середовища, галактик, тощо. На відміну від курсів «Загальної астрофізики» «Теоретичної астрофізики» та ін., які є курсами спеціалізації для напряму астрономія/астрофізика, запропонований курс приділяє увагу саме фізичної складової астрофізики та дозволяє розглядати те або інше космічне

явище у всіх фізичних проявах із розкриттям фізичних процесів і досить повною інтерпретацією цих явищ. В космічних об'єктах фізичні умови істотно відрізняються 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.

**Завданням дисципліни** є опанування методами, що дозволяють отримувати об'єктивні та достовірні результати в умовах обмеженої можливості проведення активного експерименту, вміти визначати основні фізичні параметри зір, туманностей, міжзоряного середовища, а саме: ознайомити студентів першого рівня вищої освіти з особливостями аналізу спостереженого матеріалу в астрофізичних дослідженнях; сформувати навички розв'язку нестандартних фізичних задач; сформувати навички розв'язування теоретичних задач та практичних завдань астрофізики.

#### ***Результати навчання забезпечують можливості:***

**знати:** категорії, якими оперує сучасна астрофізика; методи астрофізичних досліджень, основні теорії, закони, закономірності та рівняння, які пояснюють фізику процесів, що спостерігаються у Всесвіті.

**вміти:** використовувати теоретичні знання для розв'язування задач; визначати мету і завдання дослідження, обґрунтовувати актуальність проблеми, будувати одну або декілька робочих гіпотез дослідження; користуватися табличними значеннями та обрати необхідну точність обчислень; знаходити зв'язки і співвідношення між параметрами космічних об'єктів; для створення математичних моделей використовувати фундаментальні закони природи, зокрема, закони всесвітнього тяжіння, збереження енергії, матерії, імпульсу.

## **ОПИС КУРСУ**

### ***Форми і методи навчання***

Курс буде викладений у формі лекцій (30 год.), практичних занять (8 год.), лабораторних занять (6 годин), організації самостійної роботи студентів (46 год.).

Під час викладання дисципліни використовуються наступні форми роботи - лекція, лабораторна робота, самостійна робота. Під час проведення лекцій та практичних занять використовуються наступні методи навчання:

пояснювально-ілюстративний метод; інформаційно-рецептивний; репродуктивний метод (репродукція-відтворення) ; метод проблемного викладу; частково-пошуковий метод.

Під час лабораторних занять використовуються наступні методи навчання: частково-пошуковий, або евристичний метод; дослідницький, при захисті лабораторних робіт та індивідуальних завдань використовується дискусійний метод. Під час самостійної роботи використовується дослідницький метод (студент опановує літературу за вказаною темою).

### ***Зміст навчальної дисципліни***

#### **Змістовий модуль 1. Стаціонарні та нестаціонарні зорі.**

**Тема 1. Сонце.** Загальні характеристики Сонця. Сонячна атмосфера. Модель фотосфери. Конвекційна зона. Роль конвекції. Грануляція і механізм її виникнення. Електричне і магнітне поля Сонця. Сонячні плями, статистичні закономірності. Магнітні поля плям. Механізм утворення плям. Верхня атмосфера Сонця. Розподіл щільності і температура в хромосфері і короні. Хромосферні утворення: факели, флокули, волокна, спікули, хромосферні спалахи. Протуберанці. Механізм утворення протуберанців. Сонячна корона. Інтерпретація спектра сонячної корони. Магнітні поля в сонячній короні. Структура і динаміка корони. Сонячний вітер. Механізм нагрівання корони. Зовнішня корона, її перехід у міжпланетну плазму. Зодіакальне світло. Радіовипромінювання Сонця: постійна складова, компонента що повільно змінюється і сплески радіовипромінювання, що впливають за хромосферними спалахами, шумові буря. Космічні промені, що генеруються Сонцем. Оточення Сонця: пилова і газова складові міжпланетного середовища. Міжпланетне магнітне поле. Динамічні процеси в міжпланетній плазмі. Рентгенівське випромінювання Сонця. Внутрішня будова Сонця. Ядерні реакції в надрах Сонця. Проблема сонячних нейтрино.

**Тема 2. Фізичні характеристики зір.** Видимі зоряні величини і відстані до зір. Світимості, температури, радіуси, маси, хімічний склад зір і аномалії хімічного складу. Спектри зір. Обертання зір. Магнетизм зір. Залежності маса-світність, радіус-маса, спектр-світність. Витікання речовини із зір. I та II типи зоряного населення. Основні характеристики.

**Тема 3. Еволюція зір.** Етапи: формування, стадія Головної Послідовності, подальша еволюція. Міжзоряне середовище, його роль в еволюції зір. Еволюційні треки. Характеристики основних моделей зір.

**Тема 4. Теорія променистої рівноваги і неперервний спектр зорі.** Основні поняття теорії випромінювання: енергія випромінювання,

інтенсивність випромінювання, потік випромінювання. Коефіцієнти випромінювання і поглинання. Рівняння переносу випромінювання. Умова променистої рівноваги. Гіпотеза про локальну термодинамічну рівновагу. Рівняння переносу випромінювання в умовах променистої рівноваги й у наближенні ЛТР. Загальне рішення рівняння переносу випромінювання. Усереднення рівняння переносу. Теорія променистої рівноваги для коефіцієнта поглинання, який не залежить від частоти. Розподіл температури у фотосфері з глибиною. Закон потемніння диска зорі до краю. Неперервний спектр зорі.

**Тема 5. Коефіцієнт неперервного поглинання, який залежить від частоти.** Хімічний склад зоряних атмосфер. Збудження й іонізація атомів. Потенціали збудження й іонізації. Формула Больцмана. Іонізаційна формула Саха. Істинне поглинання. Фотоелектричне поглинання. Фотоелектричне поглинання для подібних водню атомів. Врахування змушеного поглинання. Вільно-вільні переходи. Поглинання негативним іоном водню і розсіювання випромінювання вільними електронами. Розподіл енергії в неперервному спектрі при коефіцієнті поглинання, що залежить від частоти.

**Тема 6. Утворення ліній поглинання у спектрах зір.** Основні поняття теорії ліній. Механізм утворення ліній поглинання. Рівняння переносу випромінювання для випадку когерентного розсіювання. Рівняння переносу випромінювання за участю процесів розсіювання і селективного поглинання. Коефіцієнти селективного поглинання. Зв'язок між коефіцієнтами поглинання і Ейнштейнівськими коефіцієнтами переходів. Загасання унаслідок випромінювання. Загасання внаслідок зіткнень. Доплерівське розширення лінії. Спільна дія загасання і рухи атомів. Вплив ефектів тиску. Вплив на контури ліній обертання зір і магнітного поля.

**Тема 7. Джерела енергії зір.** Основи теорії внутрішньої будови зір. Основні співвідношення між факторами гравітаційного стиску зорі і протидіючих факторів – газовим і променевим тиском. Основні рівняння і способи їх рішення. Основні результати теорії внутрішньої будови зір на прикладі даних для Сонця. Джерела енергії зір. Гравітаційне стискання. Реакції ретроядерного синтезу. Перетворення елесменів, хімічна еволюція Всесвіту.

**Тема 8. Подвійні зорі.** Класифікація подвійних систем. Тісні подвійні зорі. Принцип визначення характеристик компонент. Газові потоки і диски в подвійних системах.

**Тема 9. Фізичні змінні та нестаціонарні зорі.** Цефеїди та ліриди, їхні основні характеристики. Інтерпретація спостережених даних про зміни блиску, кольори, спектри, променеву швидкість, радіуси. Залежність період-світність і

її нуль-пункт. Довгоперіодичні змінні. Зорі з емісійними спектральними лініями. Зорі, що спалахують, симбіотичні зорі. Нові та наднові зорі. Інтерпретація кривих блиску і змін у спектрах. Залишки наднових. Пульсари. Джерела рентгенівських променів.

**Тема 10.** Спалахи наднових. Зоряні залишки: білі карлики, нейтронні зорі, чорні діри. Злиття зоряних залишків. Гравітаційні сплески.

### **Змістовий модуль 2. Фізика міжзоряного середовища.**

**Тема 1.** Складові міжзоряного середовища. Пилова складова. Дифузна матерія у галактиці. Пилова складова міжзоряного середовища і її фізичні характеристики. Поляризація, розсіювання і поглинання світла у пиловій туманності. Розподіл пилової матерії в Галактиці.

**Тема 2.** Міжзоряний газ. Спектри газових туманностей. Хімічний склад і фізичний стан міжзоряного газу. Хмари іонізованого (HII) та нейтрального (HI) водню. Радіовипромінювання хмар HI. Спектри газових туманностей. Хімічний склад і фізичний стан міжзоряного газу. Хмари іонізованого (HII) та нейтрального (HI) водню. Радіовипромінювання хмар HI. Конденсації міжзоряної речовини та їхня еволюція. Планетарні туманності. Залишки спалахів наднових. Космічні промені. Особливості їхнього хімічного складу. Галактична корона. Магнітне поле Галактики.

**Змістовий модуль 3. Фізичні процеси у галактиках та міжгалактичному середовищі.**

**Тема 1.** Елементи позагалактичної астрономії. Спостережені дані про будову видимої частини Всесвіта. Галактики як основний тип населення Метагалактики та їхні характеристики. Активність галактик. Нестационарні процеси в галактиках. Радіогалактики і квазари.

**Тема 2.** Скупчення і надскупчення скупчень. Войди. Надмасштабні утворення. Червоне зміщення та реліктове випромінювання. Космологічне рівняння Ейнштейна. Моделі Всесвіта Ейнштейна, Фрідмана, Леметра, Де-Ситтера. "Гарячий Всесвіт" та його еволюція.

**Тема 3.** Новітні досягнення і проблеми астрофізики. Огляд відкриттів в астрофізиці за останні роки. Актуальні проблеми сучасної астрофізики.

### ***Рекомендована література***

#### ***Основна***

1. Александров Ю. В. Астрофізика / Навчальний посібник. – Харків, 2014. – 216 с.
2. Захожай В. А. Вступ до астрофізики та космології. – Харків, 2017.

3. Андрієвський С. М., Кузьменков С. Г., Захожай В. А., Климишин І. А. Загальна астрономія / Підручник для вищих навчальних закладів. – Харків, 2019. – 523 с.

4. Вавилова І. Б. Великомасштабна структура Всесвіту: спостереження і методи дослідження / Навчальний посібник. – Київ: Київський університет, 1998. – 107 с.

5. Кудря Ю., Вавилова І. Позагалактична астрономія. – Київ: Наукова думка, 2016.

6. Івченко В. М., Решетник В. М. Радіоастрономія / Навчальний посібник для студентів фізичного факультету. – Київ, 2021. – 246 с.

7. Жданов В. І. Вступ до теорії відносності / Навчальний посібник. – К.: ВПЦ «Київський університет», 2008. – 287 с.

### *Додаткова*

1. Климишин І. А., Гарбузов Г. О., Мурніков Б. О., Кабанова Т. І. Астрономія / Навчальний посібник. – Одеса: «Астропринт», 2012. – 352 с.

2. Панько О. О., Сергієнко О. Г. Загальна астрономія / Навчальний посібник. – Одеса: ОНУ, 2020. – 128 с.

3. Каретніков В. Г., Мурніков Б. О., Кабанова Т. І. Визначення довжин хвиль в спектрах небесних тіл // Методичні вказівки для студентів фізичного факультету спеціальності «астрономія». – Одеса: Астропринт, 2015. – 16 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. Каретников В. Г. Многоцветная астрофотометрия. Учебное пособие. – Одесса: Астропринт, 2013. – 224 с.

6. Мурніков Б. О. Класифікація змінних зір // Методичні вказівки. – Одеса: «Астропринт», 2020. – 44 с.

7. Кузьменков С. Г., Зорі. Астрофізичні задачі з розв'язаннями / Навчальний посібник. – Київ: Освіта України, 2010. – 206 с.

8. Кузьменков С. Г., Сокол І. В. Сонячна система: збірник задач / Навчальний посібник. – Київ: Вища школа, 2007. – 168 с.

9. Рябов М. І., Мурніков Б. О., Кабанова Т. І. Словник термінів з радіоастрономії. – Одеса: ОНУ, 2017. – 138 с.

10. Яцків Я. С., Александров О. М., Вавилова В. Б., Жданов В. І., Жук О. І., Кудря Ю. М., Парновський С. Л., Федорова О. В., Хміль С. В.. Загальна теорія відносності: горизонти випробувань. – Київ, 2013. – 264 с.

### Електронні інформаційні ресурси

1. <http://dspace.onu.edu.ua/>
2. [phys.onu.edu.ua](http://phys.onu.edu.ua)
3. Загальний каталог змінних зір, електронне видання GCVS  
<https://heasarc.gsfc.nasa.gov/W3Browse/all/gcvs.htm>
4. OGLE Collection of Variable Stars <https://ogledb.astrouw.edu.pl/~ogle/OCVS/>

### ОЦІНЮВАННЯ

Навчальна дисципліна «Фізика космічних об'єктів та середовищ» оцінюється за 100-бальною шкалою.

**Методи поточного контролю:** Поточний контроль здійснюється за результатами виконання лабораторних робіт, практичних завдань та самостійної роботи. Оцінюється також активність студента в процесі занять: усне опитування, написання звітів до лабораторних робіт, написання звітів при виконанні практичних завдань, оцінювання доповідей, рефератів, розв'язання ситуаційних задач.

**Форми і методи підсумкового контролю:**

Розподіл балів, які отримують студенти

Поточний контроль, самостійна робота, індивідуальні завдання						Підсумковий контроль (ісп)	Сума балів				
Змістовний модуль 1 Поточний контроль на лекціях та практичних заняттях					Контроль на робота	Індивідуальні завдання	Виконання і захист лабораторних робіт	Практичне завдання	Разом		
T1	T2	T3	T4	T5			24	8	70	30	100
2	2	2	2	2							
T6	T7	T8	T9	T10							
2	2	2	2	2							
Змістовний модуль 2 Поточний контроль на лекціях та											

практичних заняттях							
T1	T2						
2	2				4		
Змістовний модуль 3 Поточний контроль на лекціях та практичних заняттях							
T1	T2	T3					
2	2	2			4		

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 кожен наступну незначну помилку чи суперечність знімається 1 бал;

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

за кожен 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.



### ***Самостійна робота студентів.***

Формами самостійної роботи студентів є: підготовка теоретичного матеріалу (лекцій). Метою самостійної роботи студента є забезпечення твердих знань теоретичного матеріалу.

Результати завдань самостійної роботи оцінюються за відповідями на контрольні запитання та правильно виконаними обчисленнями.

Результати індивідуального завдання представляються у вигляді доповіді (7-10 хв.), що супроводжується презентацією (6-8 слайдів).

Критеріями оцінювання є: повнота представленої матеріалу, якість доповіді та презентації, відповідей на запитання викладача та однокурсників.

### **ПОЛІТИКА КУРСУ**

Визначається нормативними документами/Положеннями, які є чинними в ОНУ імені І.І.Мечникова (<https://onu.edu.ua/uk/geninfo/official-documents>).

Дедлайн виконання завдань з курсу визначає викладач. В разі поважних причин, перенесення терміну виконання завдань дозволяє викладач. Перескладання заборгованостей – з дозволу деканату.

Кожен студент повинен пам'ятати про академічну доброчесність що забезпечується самостійним виконанням навчальних завдань, завдань поточного та підсумкового контролю, належним посиленням на джерела інформації у разі виконання творчих робіт, дотриманням норм законодавства про авторське право і суміжні права, наданням достовірної інформації про результати власної наукової діяльності.

За порушення академічної доброчесності здобувачі освіти можуть бути притягнуті до академічної відповідальності згідно Положенню про академічну доброчесність в ОНУ імені І.І.Мечникова. (<https://onu.edu.ua/pub/bank/userfiles/files/documents/acad-dobrochesnost.pdf>).

Відвідування занять для студента 3-го курсу є обов'язковим, як і своєчасний прихід на заняття. Мобільні пристрої під час навчання повинні бути заблоковані.