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

"ЗАТВЕРДЖУЮ"
Проректор з науково-педагогічної роботи
Олександр ЗАПОРОЖЧЕНКО
_____ _____ 2022 р.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇДИСЦИПЛІНИ

ВК 6.03 «Гравітаційна фізика зоряних та галактичних систем»

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

ОНУ
Одеса

2

Робоча програма навчальної дисципліни «Гравітаційна фізика зоряних та галактичних систем». – Одеса: ОНУ, 2022. – 18 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 № 1 від «5» вересня 2022 р.

Завідувач кафедри _____ Володимир ГОЦУЛЬСЬКИЙ

Погоджено із гарантом ОПП «Фізика та астрономія»_____Вадим АДАМЯН

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

Протокол № 1 від «6» вересня 2022 р.

Голова НМК _____ Наталя МАСЛЄЄВА

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
		Денна (очна) форма навчання
Загальна кількість кредитів – 3	Галузь знань	Вибіркова дисципліна
годин – 90	10 – Природничі науки	**Рік підготовки**:
змістовних модулів - 1	Спеціальність:	1-й
	104 – Фізика та астрономія	**Семестр**
	Рівень вищої освіти:	2-й
	Другий (магістерський)	**Лекції**
		30 год.
		Практичні
		0 год.
		Лабораторні
		0 год.
		Самостійна робота
		60 год.
		Форма підсумкового контролю: екзамен

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Метою викладання навчальної дисципліни «Гравітаційна фізика зоряних та галактичних систем» є підготовка фахівців, що мають сформовану сучасну картину Всесвіту, спроможних вільно оперувати поняттями, що пов'язані із фізичними властивостями багатокомпонентних космічних систем та процесами, що протікають при формуванні подвійних та кратних зір і планетних систем, та більш масштабних об'єктів: зоряних скупчень та галактик; формування у студентів наукових знань по відповідному розділу астрофізики; оволодіння теоретичними і експериментальними методами астрономічних досліджень; формування сучасної астрономічної картини світу як частини природничо-наукової картини світу; вироблення у студентів самостійної навчальної діяльності; розвиток у них пізнавальної потреби. У курсі розглядаються питання динаміки зоряних та галактичних систем, які ґрунтуються на фундаментальних принципах класичної теорії тяжіння. Послідовно розглянути: ідеалізовані однорідні, нескінченні неоднорідні, кінцеві сферичні та кінцеві плоскі системи у порівнянні із сучасними результатами спостережень космічних об'єктів та явищ. Майбутні фізики повинні вільно володіти відомостями та математичним апаратом, що описує утворення багатокомпонентних космічних систем. Набуті знання будуть необхідні у майбутньої професійної діяльності астрофізиків та будуть корисні для фізиків.

Завдання: сформувати у студентів стійкі знання про динаміку зоряних та галактичних систем, які ґрунтуються на фундаментальних принципах класичної теорії тяжіння, а також вміння використовувати набуті знання у дослідженнях.

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.

В результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен

знати:

- основні поняття, що пов’язані з ідеалізованими однорідними гравітуючими системами;
- Фоккер-планковський опис гравітуючих систем;
- Газоподібні системи; зоряні системи; взаємодія зір із газом;
- Аккреція газу на зорю, зменшення імпульсу;
- Джинсовська та двопотокова нестійкості;
- Поширення хвиль у неоднорідній системі;
- флуктуації густини галактик;
- побудова двоточкової кореляційної функції для галактик;
- гравітаційні фазові переходи;
- кінцеві сферичні системи;
- дисипація внутрішньої енергії зір: приливне перенесення енергії;
- вплив моменту імпульсу на стисканя зоряної системи;
- функція розподілу для диска, що складається з зір та що рівномірно обертається;
- моделі товстих дисків;
- походження профілів щільності еліптичних галактик.

вміти:

- визначати вплив акреції на еволюцію подвійної зоряної системи;
- будувати двоточкову кореляційноу функцію для галактик;
- порівнювати результати наближених розрахунків зі спостережними фактами та обирати найкращу модель для опису явища або об’єкта.

1. Зміст навчальної дисципліни

Змістовий модуль 1. Ідеалізовані однорідні системи.

Тема 1. Ідеалізовані однорідні системи - основні поняття та повільна релаксація. Середні та флуктуючі гравітаційні поля. Повільна релаксація: характерні часи. Динаміка випадкових миттєвих сил.

Тема 2. Загальні властивості Фоккер-Планківської еволюції. Фоккер-планковський опис гравітуючих систем. Динамічні системи з пам'яттю: немарківська еволюція. Рівняння Больцмана та його деякі властивості. Теорема віріалу.

Тема 3. Загальний опис: рівняння Ліувіля та ентропія. Колективні ефекти: грексони. Колективне розсіювання. Ймовірність розсіювання. Флуктуації, кореляції, формфактори. Лінійний відгук та дисперсійні співвідношення.

Тема 4. Газоподібні системи. Зоряні системи. Взаємодія зір із газом. Акреція та зменшення імпульсу. Джинсовська та двопотокова нестійкості. Наближення точкової маси. Модель Пламмера. Вирішення основного кінетичного рівняння. Автомодельні зіткнення рівняння Больцмана. Поширення хвиль у неоднорідній системі. Акреція газу на зорю.

Змістовий модуль 2. Нескінченні неоднорідні системи.

Тема 1. Нескінченні неоднорідні системи та флуктуації густини галактик. Загальні положення. Кількісний підхід до пояснення розподілу, що спостерігається.

Тема 2. Побудова двоточкової кореляційної функції для галактик. Гравітаційна нестійкість нескінченного газу, що розширюється. Гравітаційна фрагментація. Зростання двоточкової кореляційної функції.

Тема 3. Енергія та початковий масштаб скупчування. Еволюція енергії космічних кореляцій. Рівняння космічної енергії. Моделювання задачі N тел. Еволюціонуючий просторовий розподіл та еволюціонуючий розподіл швидкостей.

Тема 4. Гравітація та термодинаміка. Гравітермодинамічна нестійкість. Просторові флуктуації. Флуктуації у часі. Гравітаційні фазові переходи. Термодинаміка та скупчування галактик. Гравітаційна нестійкість у багатокомпонентних системах. «Млинці» Зельдовича.

Змістовий модуль 3. Кінцеві системи.

Тема 1. Кінцеві сферичні системи: скупчення галактик, ядра галактик та кулясті зоряні скупчення. Симетрія та теорема Джинса. Квазірівноважні моделі. Політропи та ізотермічні сфери.

Тема 2. Моделі Фоккера – Планка. Застосування теореми віріалу. Динамічні властивості скупчень, що спостерігаються. Гравітермічна нестійкість. Формування подвійних зір та еволюція скупчень. Формування подвійних систем при взаємодії кількох тіл.

Тема 3. Дисипація внутрішньої енергії зір: приливне перенесення енергії. Ефект «пращі». Роль центральної сингулярності. Центральний диск.

Тема 4. Зорі у щільному газі. Потенційна енергія політропи. Невідповідність між віріальною і випромінюючою масами в системі зі втратою маси. Вплив моменту імпульсу на стисканя зоряної системи.

Тема 5. Кінцеві плоскі системи – дискові галактики. Динаміка галактик, що спостерігається. Рухи у галактичних координатах. Перенесення моменту імпульсу. Криві обертання та маса галактики.

Тема 6. Нестійкості систем з осьовою симетрією та систем з перемичкою. Спіральні нестійкості. Основні властивості спіральної структури. Самоузгоджені спіральні структури. Підтримка спіралей.

Тема 7. Трьохосні та несиметричні системи. Однорідні еліпсоїди та сфероїди Маклорена. Спрощена еволюція перемичок. Функція розподілу для диска, що складається з зір та що рівномірно обертається. Моделі товстих дисків. Походження профілів щільності еліптичних галактик.

3. 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
Змістовий модуль 1. Ідеалізовані однорідні системи.						
Тема 1. Ідеалізовані однорідні системи - основні поняття та повільна релаксація.	6	2		4		
Тема 2. Загальні властивості Фоккер-Планківської еволюції	6	2		4		
Тема 3. Ррівняння Ліувіля та ентропія	6	2		4		
Тема 4. Газоподібні системи. Зоряні системи. Взаємодія зір із газом.	6	2		4		
Разом за змістовим модулем 1	24	8		16		
Змістовий модуль 2. Нескінченні неоднорідні системи.						
Тема 1. Нескінченні неоднорідні системи та флуктуації густини галактик.	6	2		4		
Тема 2. Двоточкова кореляційна функція для галактик.	6	2		4		
Тема 3. Енергія та початковий масштаб скупчування. Еволюціонуючий просторовий розподіл та еволюціонуючий розподіл швидкостей.	6	2		4		
Тема 4. Гравітація та термодинаміка. Гравітермодинамічна нестійкість. Просторові флуктуації. Флуктуації у часі. Гравітаційні фазові переходи.	6	2		4		
Разом за змістовим модулем 1	24	8		16		

Змістовий модуль 3. Кінцеві системи.						
Тема 1. Кінцеві сферичні системи: скупчення галактик, ядра галактик та кулясті зоряні скупчення.	6	2		4		
Тема 2. Моделі Фоккера – Планка. Формування подвійних зір та еволюція скупчень. Формування подвійних систем при взаємодії кількох тіл.	6	2		4		
Тема 3. Дисипація внутрішньої енергії зір: приливне перенесення енергії. Вплив моменту імпульсу на стисканя зоряної системи.	6	2		4		
Тема 4. Зорі у щільному газі.	6	2		4		
Тема 5. Кінцеві плоскі системи – дискові галактики.	6	2		4		
Тема 6. Нестійкості систем з осьовою симетрією та систем з перемичкою.	6	2		4		
Тема 7. Трьохосні та несиметричні системи.	6	2		4		
Разом за змістовим модулем 3	42	14		28		
Усього годин	90	30		60		

5. Теми семінарських занять

Семінарські заняття не передбачені навчальним планом.

6. Теми практичних занять

Практичні заняття не передбачені навчальним планом.

7. Теми лабораторних робіт

Лабораторні заняття не передбачені навчальним планом.

8. Самостійна робота

№	Назва теми	Кількість годин
1	Ідеалізовані однорідні системи - основні поняття та повільна релаксація.	4
2	Загальні властивості Фоккер-Планківської еволюції	4
3	Рівняння Ліувіля та ентропія	4
4	Газоподібні системи. Зоряні системи. Взаємодія зір із газом.	4
5	Нескінченні неоднорідні системи та флуктуації густини галактик.	4
6	Двоточкова кореляційна функція для галактик.	4
7	Енергія та початковий масштаб скупчування. Еволюціонуючий просторовий розподіл та еволюціонуючий розподіл швидкостей.	4
8	Гравітація та термодинаміка. Гравітермодинамічна нестійкість. Просторові флуктуації. Флуктуації у часі. Гравітаційні фазові переходи.	4
9	Кінцеві сферичні системи: скупчення галактик, ядра галактик та кулясті зоряні скупчення.	4
10	Моделі Фоккера – Планка. Формування подвійних зір та еволюція скупчень. Формування подвійних систем при взаємодії кількох тіл.	4
11	Дисипація внутрішньої енергії зір: приливне перенесення енергії. Вплив моменту імпульсу на стисканя зоряної системи.	4
12	Зорі у щільному газі.	4
13	Кінцеві плоскі системи – дискові галактики.	4
14	Нестійкості систем з осьовою симетрією та систем з	4

	перемичкою.	
15	Трьохосні та несиметричні системи.	4
	Разом	60

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 самостійної роботи використовується дослідницький метод.

10. Форми контролю та методи оцінювання

Поточний контроль здійснюється за результатами самостійної роботи. Оцінюється також активність студента в процесі занять: усне опитування, оцінювання доповідей, рефератів, розв’язання ситуаційних задач. Підсумковий семестровий контроль (іспит).

Критерії оцінювання виконання самостійної роботи

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

Критерії оцінювання підсумкового контролю

Підсумковий семестровий контроль (екзамен) проводиться в усній формі. На екзамені студенту пропонуються 2 теоретичних питання, яке оцінюється окремо за 15 бальною шкалою. Критерії оцінювання залікового питання:

– повна розгорнута відповідь – 15 балів;

– повна, але не розгорнута відповідь – 12 балів;

– повна, але не розгорнута відповідь, яка містить незначну помилку чи суперечність – 10 балів, за кожну наступну незначну помилку чи суперечність знімається 1 бал;

– неповна відповідь, яка не містить критичних помилок чи суперечностей – 8 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 заліку, є сумою балів, що були отримані за кожне теоретичне питання.

Кінцева оцінка виставляється за сумою балів поточного та підсумкового контролю за шкалою, що наведена нижче (п.12).

11. Питання для поточного та періодичного контролю

4. Ідеалізовані однорідні системи - основні поняття та повільна релаксація.
5. Середні та флуктуючі гравітаційні поля. Повільна релаксація: характерні часи. Динаміка випадкових миттєвих сил.
6. Загальні властивості Фоккер-Планківської еволюції.
7. Фоккер-планковський опис гравітуючих систем.
8. Динамічні системи з пам'яттю: немарківська еволюція.
9. Рівняння Ліувіля та ентропія. Колективні ефекти: грексони.
10. Колективне розсіювання. Ймовірність розсіювання. Флуктуації, кореляції, формфактори.
11. Лінійний відгук та дисперсійні співвідношення.
12. Газоподібні системи. Зоряні системи. Взаємодія зір із газом.
13. Акреція та зменшення імпульсу. Аккреція газу на зорю.

14. Джинсовська та двопотокова нестійкості. Наближення точкової маси. Модель Пламмера.
15. Поширення хвиль у неоднорідній системі.
16. Нескінченні неоднорідні системи та флуктуації густини галактик.
17. Кількісний підхід до пояснення розподілу, що спостерігається.
18. Побудова двоточкової кореляційної функції для галактик.
19. Гравітаційна нестійкість нескінченного газу, що розширюється. Гравітаційна фрагментація.
20. Зростання двоточкової кореляційної функції.
21. Енергія та початковий масштаб скупчування. Еволюція енергії космічних кореляцій.
22. Еволюціонуючий просторовий розподіл та еволюціонуючий розподіл швидкостей.
23. Гравітермодинамічна нестійкість. Просторові флуктуації. Флуктуації у часі.
24. Гравітаційні фазові переходи. Термодинаміка та скупчування галактик.
25. Гравітаційна нестійкість у багатокомпонентних системах. «Млинці» Зельдовича.
26. Кінцеві сферичні системи: скупчення галактик, ядра галактик та кульові зоряні скупчення.
27. Моделі Фоккера – Планка. Застосування теореми віріалу.
28. Динамічні властивості скупчень, що спостерігаються. Гравітермічна нестійкість.
29. Формування подвійних зір та еволюція скупчень.
30. Формування подвійних систем при взаємодії кількох тіл.
31. Дисипація внутрішньої енергії зір: приливне перенесення енергії. Ефект пращі.
32. Роль центральної сингулярності. Центральний диск.

33. Зорі у щільному газі. Невідповідність між віріальною і випромінюючою масами в системі зі втратою маси.
34. Вплив моменту імпульсу на стисканя зоряної системи.
35. Кінцеві плоскі системи – дискові галактики. Динаміка галактик, що спостерігається. Перенесення моменту імпульсу.
36. Спіральні нестійкості. Основні властивості спіральної структури. Самоузгоджені спіральні структури. Підтримка спіралей.
37. Трьохосні та несиметричні системи. Однорідні еліпсоїди та сфероїди Маклорена.
38. Спрощена еволюція перемичок.
39. Функція розподілу для диска, що складається з зір та що рівномірно обертається.
40. Моделі товстих дисків. Походження профілів щільності еліптичних галактик.

12. Розподіл балів, які отримують студенти

<table>
<tr><th colspan="9">Поточний контроль, самостійна робота, індивідуальні завдання</th><th>Підсумковий контроль (екз)</th><th>Сума балів</th></tr>
<tr><th colspan="4">Поточний контроль на лекціях</th><th>Контрольна робота</th><th>Індивідуальні завдання</th><th>Виконання і захист лабораторних робіт</th><th>Прак-тичне зав-дання</th><th>Разом</th><th></th><th></th></tr>
<tr><td colspan="4">Змістовий модуль 1.</td><td rowspan="3"></td><td rowspan="3"></td><td rowspan="3"></td><td rowspan="3"></td><td rowspan="9">70</td><td rowspan="9">30</td><td rowspan="9">100</td></tr>
<tr><td>Т1</td><td>Т2</td><td>Т3</td><td>Т4</td></tr>
<tr><td>3</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td></tr>
<tr><td colspan="4">Змістовий модуль 2.</td><td rowspan="3"></td><td rowspan="3">10</td><td rowspan="3"></td><td rowspan="3"></td></tr>
<tr><td>Т1</td><td>Т2</td><td>Т3</td><td>Т4</td></tr>
<tr><td>3</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td></tr>
<tr><td colspan="4">Змістовий модуль 3.</td><td rowspan="4"></td><td rowspan="4">15</td><td rowspan="4"></td><td rowspan="4"></td></tr>
<tr><td>Т1</td><td>Т2</td><td>Т3</td><td>Т4</td></tr>
<tr><td>3</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td></tr>
<tr><td>Т5</td><td>Т6</td><td>Т7</td><td></td></tr>
<tr><td>3</td><td>3</td><td>3</td><td></td></tr>
</table>

Шкала оцінювання

<table>
<tr><td rowspan="2">Сума балів за всі види навчальної діяльності</td><td rowspan="2">Оцінка ECTS</td><td colspan="2">Оцінка за національною шкалою</td></tr>
<tr><td>для екзамену, курсового проекту (роботи), практики</td><td>для заліку</td></tr>
<tr><td>90 – 100</td><td>A</td><td>відмінно</td><td rowspan="6">зараховано</td></tr>
<tr><td>82-89</td><td>B</td><td rowspan="2">добре</td></tr>
<tr><td>74-81</td><td>C</td></tr>
<tr><td>64-73</td><td>D</td><td rowspan="2">задовільно</td></tr>
<tr><td>60-63</td><td>E</td></tr>
<tr><td>35-59</td><td>FX</td><td>незадовільно з можливістю повторного складання</td><td>не зараховано з можливістю повторного складання</td></tr>
<tr><td>0-34</td><td>F</td><td>незадовільно з обов’язковим повторним вивченням дисципліни</td><td>не зараховано з обов’язковим повторним вивченням дисципліни</td></tr>
</table>

13. Навчально-методичне забезпечення

Навчально-методичне забезпечення: робоча програма навчальної дисципліни; силабус, конспекти лекцій; презентації; методичні вказівки до виконання лабораторних робіт, первинний інструктаж з техніки безпеки, порядок виконання лабораторної роботи.

14. Рекомендована література

Основна

1. Saslaw William C. Gravitational Physics of Stellar and Galactic Systems. Cambridge University Press. 1985. https://doi.org/10.1017/CBO9780511564239
2. Штанов Ю.В. Темна матерія у Всесвіті: сучасний стан і проблеми // Вісн. НАН України, 2015, № 11 С.29-40. doi: 10.15407/visn2015.11.029

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.pdfhttp://mao.kiev.ua/biblio/mono/pzastr.pdf
2. Вавілова І.Б. Великомасштабна структура Всесвіту: спостереження і методи дослідження. Навчальний посібник до спецкурсу «Позагалактична астрономія». Київ: РВЦ Київський університет, 1998. 107 с. Режим доступу ftp://ftp.mao.kiev.ua/pub/irivav/Vavilova-Large-Scale-Structure-Universe.pdf

15. Електронні інформаційні ресурси

1. http://dspace.onu.edu.ua/
2. phys.onu.edu.ua
3. https://sites.astro.caltech.edu/~george/ay20/eaa-steldyn.pdf
4. https://www.ias.ac.in/article/fulltext/pram/073/01/0193-0214
5. https://iopscience.iop.org/article/10.1086/177990/pdf
6. https://ethz.ch/content/dam/ethz/special-interest/phys/particle-physics/quanz-group-dam/documents-old-s-and-p/Courses/Astrophysics_III_FS2019/astro3c3_19.pdf
7. https://podcasts.ox.ac.uk/galaxy-dynamics-stellar-systems-new-state-matter