

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

Силабус курсу

Теоретична астрофізика і магнітна гідродинаміка

Обсяг	7 кредити, 210 (120+90) год.
Семестр, рік навчання	7-8 семестр, 4-й рік навчання
Дні, час, місце	четвер, 11.10, НДІ Астрономічна обсерваторія ОНУ імені І.І.Мечникова, парк Шевченка
Викладач (-і)	проф. Панько О.О.
Контактний телефон (Viber)	0974334518
E-mail	panko.elena@onu.edu.ua
Робоче місце	НДІ Астрономічна обсерваторія ОНУ імені І.І.Мечникова, парк Шевченка, головна будова, приміщення кафедри.
Консультації	Очні консультації: понеділок, 14.30-17.00, АО, парк Шевченка

КОМУНІКАЦІЯ

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

АНОТАЦІЯ КУРСУ

Предметом вивчення навчальної дисципліни є теорії, що описують фізичні процеси у зорях, міжзоряному середовищі, газових туманностях, у тому числі з урахуванням впливу магнітного поля на рух плазми.

Вивченню дисципліни «Теоретична астрофізика і магнітна гідродинаміка» передують всі астрономічні курси: «Загальна астрономія», «Загальна астрофізика» «Фізика космічних об'єктів та середовищ», «Фізичні змінні та подвійні зорі», «Фотометрія та спектрофотометрія». Знання курсу «Теоретична астрофізика і магнітна гідродинаміка» закладає основи для подальшого вивчення спеціальних дисциплін на II освітньому рівні.

Метою викладання навчальної дисципліни «Теоретична астрофізика і магнітна гідродинаміка» є ознайомлення студентів з класичними та сучасними теоріями щодо джерел зоряної енергії, фізичних процесів у

фотосферах та атмосферах зір на різних стадіях еволюції, особливостями формування неперервного спектру, виникнення ліній поглинання та випромінювання; методами визначення хімічного складу зір, дослідження внутрішньої будови зір, теоретичними методами вивчення туманностей та міжзоряного середовища, а також ознайомлення студентів з процесами, що протікають у плазмі з урахуванням магнітного поля.

Результати навчання забезпечують можливості:

знати: категорії, якими оперує сучасна астрофізика; основні теорії, закони, закономірності та рівняння, які пояснюють фізику процесів, що спостерігаються у Всесвіті; особливості формування неперервного спектру, вид рівняння переносу і неперервності та методи розв'язування; гіпотеза про локальну термодинамічну рівноваги ЛТР, її наслідки та використання; моделі фотосфер; особливості збурення та іонізація атомів, поглинання та випромінювання; явища, що впливають на контури спектральних ліній; методи врахування відхилень від умов локальної термодинамічної рівноваги; методи визначення температур, густини і хімічного складу зоряних атмосфер; теоретичне співвідношення маса-світність-радіус-хімічний склад зір; джерела зоряної енергії на різних стадіях еволюції; рівняння внутрішньої будови та моделі зір; методи визначення фізичних умов в газових туманностях та міжзоряному середовищі; особливості магнітного поля у плазмі; умові вмороженості, силові трубки, та дифузію магнітного поля у плазмі; Магнітне число Рейнольда; поняття магнітного тиску; звукові хвилі у плазмі; Альфвенівські хвилі; Альфвенівські хвилі густини; Магнітоакустичні хвилі;

вміти: проводити розрахунки для визначення інтенсивності випромінювання, що виходить з поверхні зорі; розв'язувати рівняння переносу випромінювання різними методами; проводити оцінку параметрів зоряної атмосфери за спектральними лініями; визначати електронні температури і концентрації; визначати вигляд силових ліній на підставі відомих компонентів магнітного поля; розрахувати конфігурацію магнітного поля; визначити характер еволюції магнітогідродинамічного середовища; розраховувати значення магнітного числа Рейнольдса, характерний час дифузії і швидкість дифузії магнітного поля; визначити компоненти сил, що діють на плазму у магнітному полі.

ОПИС КУРСУ

Форми і методи навчання

Курс буде викладений у формі лекцій, 60 (30+30) год., практичних робіт 44 (30+14) год., організації самостійної роботи студентів (106 год.).

Методи навчання

Під час проведення лекцій використовуються наступні методи навчання: пояснювально-ілюстративний метод, інформаційно-рецептивний; репродуктивний метод (репродукція - відтворення); метод проблемного викладу; частково-пошуковий метод.

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

Зміст навчальної дисципліни

Змістовний модуль 1. Теорія зоряних фотосфер.

Тема 1. Зоряні фотосфери.

Вступ. Зоряні фотосфери. Рівняння переносу випромінювання, його загальне розв'язання. Рівняння неперервності. Наслідки. Рівняння переносу для "тонкої" та "протяжної" фотосфери, його розв'язання.

Тема 2. Теорія фотосфер при коефіцієнті поглинання, що не залежить від частоти.

Теорія фотосфер при коефіцієнті поглинання, що не залежить від частоти. "Сіра" матерія. Вид рівняння переносу і неперервності. Методи розв'язання Шустера-Шварцшільда, Еддінгтона, Чандрасекара і Хопфа. Використання квадратурних формул. Інтегральне рівняння Мілна. Розподіл яскравості по диску зорі.

Тема 3. Локальна термодинамічна рівновага.

Локальна термодинамічна рівновага (ЛТР). Поле випромінювання при термодинамічній рівновазі. Припущення про ЛТР в фотосфері зір. Розрахунок інтенсивності випромінювання, що виходить з поверхні. Залежність температури та густини від глибини. Світовий тиск в фотосфері.

Тема 4. Залежність коефіцієнта поглинання від частоти.

Залежність коефіцієнта поглинання від частоти. Випромінювання та поглинання в неперервному спектрі. Поглинання атомами водню.

Поглинання негативними іонами водню. Розсіяння світла вільними електронами. Середній коефіцієнт поглинання.

Тема 5. Теорія фотосфер при коефіцієнті поглинання, що залежить від частоти.

Теорія фотосфер при коефіцієнті поглинання, що залежить від частоти. Моделі фотосфер. Порівняння теорії і спостережень. Спеціальні питання теорії фотосфер. Конвективні процеси. Покривний ефект, відбиття світла. Гарячі зорі. Холодні зорі. Фотосфери при відсутності ЛТР.

Змістовний модуль 2. Зоряні атмосфери.

Тема 1. Зоряні атмосфери.

Коефіцієнт поглинання в спектральній лінії. Ейнштейнівські коефіцієнти переходу. Коефіцієнт поглинання, зумовлений затуханням випромінювання та тепловим рухом атомів. Ефекти тиску. Ефект Штарка. Лінії поглинання при ЛТР. Головні формули. Сили осциляторів. Механізми розширення ліній, їх сумісна дія, функція Фойгта. Визначення профілів ліній. Слабкі лінії та крила сильних ліній. Відхилення від ЛТР.

Тема 2. Лінії поглинання при когерентному та некогерентному розсіянні.

Лінії поглинання при когерентному розсіянні. Модель Шварцшильда-Шустера. Модель Еддінгтона. Лінії поглинання при некогерентному розсіянні. Перерозподіл випромінювання по частотам всередині лінії. Рівняння переносу випромінювання та його вирішення. Центральні інтенсивності ліній поглинання. Зміни профілів ліній по диску Сонця.

Тема 3. Хімічний склад зоряних атмосфер.

Лінії водню. Численність хімічних елементів. Спеціальні питання. Лінії випромінювання. Умови стаціонарності, населеність рівнів, міра емісії. Світіння заборонених ліній. Визначення температур, густини і хімічного складу за ними. Метод Занстра. Дифузія квантів.

Тема 4. Фізичні умови в атмосферах.

Збудження та іонізація атомів. Концентрація вільних електронів. Турбулентність в атмосферах. Обертання зір. Магнітні поля. Залежність спектра від температури. Вплив прискорення сили тяжіння. Зорі ранніх спектральних класів. Зорі пізніх спектральних класів.

Змістовний модуль 3. Внутрішня будова зір. Джерела зоряної енергії.

Тема 1. Внутрішня будова зір.

Середні коефіцієнти непрозорості і молекулярна вага. Теорема Фохта-Рессела. Теоретичне співвідношення маса-світність-радіус-хімічний склад. Густина, тиск та температура в надрах зорі. Фізичні процеси в надрах зір. Рівняння стану речовини зорі. Виродження газу. Перенос енергії в зорі.

Тема 2. Джерела зоряної енергії.

Гравітаційне стиснення. Контракційна шкала часу. Термоядерні джерела енергії: протон-протонний, вуглецево-азотний, гелієвий цикли та інші реакції. Змінювання хімічного складу зоряних надр.

Тема 3. Рівняння внутрішньої будови зір.

Моделі Емдена і Еддінгтона. Стійкість зоряних моделей. Хімічно однорідні та неоднорідні моделі.

Тема 4. Еволюція зір.

Стадії розвитку: протозоря, стадія головної послідовності, етап гігантів і надгігантів, кінцеві етапи еволюції. Еволюція подвійних зір. Еволюція хімічних елементів.

Змістовний модуль 4. Сонце.

Тема 1. Фізика Сонця. Фотосфера Сонця.

Будова. Методи вивчення. Рівняння Абеля. Фотосфера Сонця. Конвекція та грануляція. Сонячні плями. Сонячна активність.

Тема 2. Хромосфера та корона Сонця.

Розподіл атомів з висотою. Збудження атомів в хромосфері. Проблеми рівноваги хромосфери, турбуленція, зміна температури. Моделі хромосфери. Нестационарні явища в хромосфері. Корона сонця. Розподіл речовини з висотою, рівняння Абеля і Баумбаха. Корональні лінії. Походження неперервного спектру. Температура корони. Ультрафіолетовий спектр Сонця. Лінія $L\alpha$ в спектрі Сонця. Рентгенівське випромінювання Сонця. Моделі корони. Радіовипромінювання Сонця. Надкорона Сонця. Сонячний вітер. Моделі Паркера і Чепмена.

Змістовний модуль 5. Туманності та міжзоряне середовище.

Тема 1. Газові туманності.

Механізми світіння туманностей. Спостережені дані. Причина світіння туманностей. Теорема Росселанда. Іонізація атомів. Число рекомбінацій. Ступень іонізації в туманності. Іонізація в туманності великої оптичної товщини. Енергетичний баланс вільних електронів. Збудження атомів. Збудження при фотоіонізаціях та рекомбінаціях. Заборонені лінії, їхня інтенсивність. Необхідні умови для появи заборонених ліній. Електронні температури та концентрації. Хімічний склад туманностей.

Тема 2. Міжзоряне середовище.

Міжзоряний газ. Іонізація міжзоряного водню. Іонізація інших атомів. Міжзоряні лінії поглинання. Фізичний стан міжзоряної речовини. Рух міжзоряного газу. Міжзоряний пил. Зв'язок між зорями та туманностями. Світіння пилових туманностей. Природа пилових часток. Поляризація світла зір.

Тема 3. Космічне радіовипромінювання.

Випромінювання зон НІІ. Нетеплове випромінювання. Монохроматичне радіовипромінювання. Лінії поглинання в радіодіапазоні спектра. Реліктове радіовипромінювання.

Змістовний модуль 6. Магнітна гідродинаміка

Тема 1. Основні рівняння магнітної гідродинаміки

Основні співвідношення векторної алгебри. Теорема Остроградського-Гаусса, теорема Стокса, рівняння Максвелла у нерелятивістському наближенні, перетворення Лоренца. Закон Ома. Електродинамічні умови на поверхнях розриву. Рівняння збереження електричного заряду, імпульсу і енергії електромагнітного поля. Пондеромоторна сила, тензор густини потоку імпульсу, густина потоку енергії, густина роботи поля над речовиною.

Тема 2. Інтегральні і диференціальні рівняння

Інтегральні і диференціальні рівняння збереження маси, імпульсу і енергії речовини. Умови на поверхні розриву. Магнітогідродинамічним наближення, фізичні обмеження і оцінка головних членів в рівняннях Максвелла. Силкові трубки. Фундаментальні рівняння. Рівняння індукції, вмороженість і дифузія магнітного поля. Магнітне число Рейнольдса. Сила Лоренца Критерії подібності магнітної гідродинаміки.

Тема 3. Поверхні розриву.

Співвідношення на поверхнях розриву. Класифікація поверхонь розриву. Прямий стрибок в ідеально провідному середовищі, ставлення густин і допустимі початкові швидкості. Ударна адіабата для ідеального газу.

Тема 4. Магнітостатика

Рівновага плазменної квазірідини в магнітному полі. Умова рівноваги обмеженого обсягу. Рівноважні циліндричні конфігурації, z-пинч і θ -пинч. Завдання стійкості скінерованного z - пинча. Постановка завдання і лінеаризація рівнянь. Рівняння руху в присутності гравітаційного поля. Рівняння магнітостатичного балансу. Плазмовий бета-параметр.

Тема 5. Магнітогідродинамічні хвилі.

Незбурений стан і лінеаризація рівнянь. Альфвенівські хвилі. Альфвенівські хвилі густини. Магнітозвукові хвилі. Векторні діаграми магнітогідродинамічних хвиль. Дисипативне загасання альфвенівських хвиль.

Рекомендована література

Основна

Основна

1. Александров Ю. В. Астрофізика / Навчальний посібник. – Харків, 2014. – 216 с.
2. Андрієвський С. М., Кузьменков С. Г., Захожай В. А., Климишин І. А. Загальна астрономія / Підручник для вищих навчальних закладів. – Харків, 2019. – 523 с.
3. Банникова Е. Ю., Конторович В. М. Теоретическая астрофізика (додаткові глави для астрономів та радіоастрономів). Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2009.
5. Захожай В. А. Вступ до астрофізики та космології. – Харків, 2017.
6. Панько О. О., Сергієнко О. Г. Загальна астрономія / Навчальний посібник. – Одеса: ОНУ, 2020. – 128 с.
7. Вакарчук І.А. Теорія зоряних спектрів. Львів: Вид-во Львів. ун-ту, 2002. – 358 с.
8. Головатий В. В. Г 60 Фізика світіння газових туманностей: навч. посібник / В. В. Головатий, Б. Я. Мелех, Н. В. Гаврилова. — Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2013. — 130с. ISBN 978-617-10-0022-3

Додаткова

1. Астрономічний енциклопедичний словник / За загал. ред. І. А. Климишина, А. О. Корсунь. – Львів, 2003. – 548 с.
2. Кузьменков С. Г., Зорі. Астрофізичні задачі з розв'язаннями / Навчальний посібник. – Київ: Освіта України, 2010. – 206 с.
3. Кузьменков С. Г., Сокол І. В. Сонячна система: збірник задач / Навчальний посібник. – Київ: Вища школа, 2007. – 168 с.
4. Кудря Ю., Вавилова І. Позагалактична астрономія. – Київ: Наукова думка, 2016.
5. Sobolev V.V. Course in Theoretical Astrophysics NASA Technical Translation, United States. National Aeronautics and Space Administration, Springfield, Va., 1969.

6. 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.

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

15. Електронні інформаційні ресурси

1. <http://dspace.onu.edu.ua/>
2. phys.onu.edu.ua
3. Загальний каталог змінних зір, електронне видання GCVS
<http://simbad.u-strasbg.fr/>
4. <http://ogle.astrouw.edu.pl/atlas/terms.html>
5. http://dspace.onu.edu.ua:8080/bitstream/123456789/32243/1/Paniko_Zag_Astronomy_.pdf
6. Хаббл: Вікно у Всесвіт <https://www.youtube.com/watch?v=uCuY-fxLqGc>
7. https://physics.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/Book_5_04_2013.pdf

ОЦІНЮВАННЯ

Навчальна дисципліна «Теоретична астрофізика» оцінюється за 100-бальною шкалою у кожному семестрі.

Методи поточного контролю: Поточний контроль здійснюється за результатами виконання практичних завдань за змістовними модулями, захисту індивідуального завдання. Оцінюється також активність студента в процесі занять: усне опитування на лекції, розв’язання практичних задач. Студент повинен виконати всі практичні заняття. За виконання розрахунків та оформлення результатів нараховується до 4 балів за кожне заняття. За помилки в обчисленнях або у виведенні формул знімається до 3 балів. За більш об’ємні завдання 6-го семестру нараховується до 7 балів та відповідно знімається до 3 балів. При виставленні підсумкової оцінки за семестр береться сума всіх оцінок.

Форми і методи підсумкового контролю:

Підсумковий семестровий контроль (залік, іспит) проводиться в усній формі. На заліку студенту пропонуються 2 теоретичних питання, яке оцінюється окремо за 10 бальною шкалою. Екзаменаційний білет містить два теоретичних питання, кожне з яких оцінюється окремо за 15 бальною шкалою.

Критерії оцінювання екзаменаційного 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/іспиті, 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.

Загальна схема нарахування балів

Розподіл балів, які отримують студенти (7 семестр)

Поточний контроль, самостійна робота, індивідуальні завдання					Підсумковий контроль (залік)	Сума балів				
					Контрольна робота	Індивідуальні завдання	Практичні заняття	Разом		
Змістовний модуль 1 Поточний контроль на лекціях						5	20	80	20	100
T1	T2	T3	T4	T5						
1	1	1	1	1						
Змістовний модуль 2 Поточний контроль на лекціях						5	16			
T1	T2	T3	T4							
1	1	1	1							

Змістовний модуль 3 Поточний контроль на лекціях								
T1	T2	T3	T4			16		
1	1	1	1					
Змістовний модуль 4 Поточний контроль на лекціях								
T1		T2				8		
1		1						

Розподіл балів, які отримують студенти (8 семестр)

Поточний контроль, самостійна робота, індивідуальні завдання					Підсумковий контроль (іспит)	Сума балів
	Контрольна робота	Індивідуальні завдання	Практичні заняття	Работи		
Змістовний модуль 5 Поточний контроль на лекціях						
T1	T2	T3				
1	1	1				
Змістовний модуль 6 Поточний контроль на лекціях						
T1	T2	T3	T4	T5		
1	1	1	1	1		
					9	
					21	70
					32	30
						100

Додаткові (бонусні) бали (до 10) можуть бути отримані при виконанні і захисті індивідуального завдання студента ІНДЗ (доповідь та мультимедійна презентація за обраними темами).

Самостійна робота студентів. 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.

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 4-го курсу є обов'язковим, як і своєчасний прихід на заняття.