

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

фізичний факультет

(назва факультету, інституту, центру, коледжу)

Кафедра астрономії та фізики космосу



«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Заступник декана/директора
з навчальної роботи

Момот О.В.

20 21 року

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
СОНЯЧНА МАГНІТОГІДРОДИНАМІКА

(повна назва навчальної дисципліни)

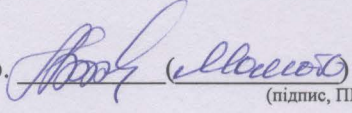
для студентів

галузь знань **10. Природничі науки**
(шифр і назва)
спеціальність **104. Фізика та астрономія**
(шифр і назва спеціальності)
освітній рівень **бакалавр**
(молодший бакалавр, бакалавр, магістр)
освітня програма **фізика**
(назва освітньої програми)
спеціалізація **фізика космосу**
(за наявності) (назва спеціалізації)
вид дисципліни **вибіркова**

БК 12

Форма навчання	очна
Навчальний рік	2021/2022
Семестр	8
Кількість кредитів ECTS	4
Мова викладання, навчання та оцінювання	українська
Форма заключного контролю	залік

Викладач: с.н.с. Криводубський В.Н., д.ф.-м.н.

Пролонговано: на 20 22 / 20 23 н.р.  « 20 » 21 20 22 р.
(підпис, ПІБ, дата)

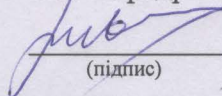
на 20 __ / 20 __ н.р. () « __ » 20 __ р.
(підпис, ПІБ, дата)

КИЇВ – 2021

Розробник(и): (вказати авторів: ПІБ, науковий ступінь, вчене звання, посада, кафедра)
Криводубський Валерій Никифорович, д.ф.-м.н., с.н.с., Астрономічна обсерваторія

ЗАТВЕРДЖЕНО

Зав. кафедри астрономії та фізики космосу

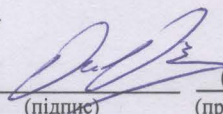
 (Івченко В.М.)
(підпис) (прізвище та ініціали)

Протокол № 22 від « 04 » червня 2021 р.

Схвалено науково - методичною комісією факультету/інституту (педагогічною радою коледжу)

фізичного факультету

Протокол №4 від 22 червня 2020 року

Голова науково-методичної комісії  (Оліх О.Я.)
(підпис) (прізвище та ініціали)

« _____ » _____ 20__ року

1. Мета дисципліни – навчити студентів розбиратися в основних питаннях геліофізики з позицій МГД та підготувати їх до самостійного поглибленого аналізу різних аспектів геліофізичних явищ, а також явищ космічної фізики, які виходять за межі фізики Сонця.

2. Попередні вимоги до опанування або вибору навчальної дисципліни (за наявності):

Опанування курсів математичного аналізу, диференціальних рівнянь, низки курсів експериментальної (“Механіка”, “Молекулярна фізика”, “Електрика і магнетизм”, “Оптика”), теоретичної (“Електродинаміка”) фізики та спецкурсів, які описують плазму та основи теорії коливань і хвиль (“Колівання та хвилі”, “Вступ до фізики плазми”, “Фізика космічної плазми”).

3. Анотація навчальної дисципліни:

Курс лекцій присвячений сонячній магнітогідродинаміці (МГД), тобто гідродинаміці сонячної речовини, яка знаходиться в магнітному полі. Сонячна МГД служить ефективним інструментом для пояснення багатьох фізичних явищ на Сонці. Вона відіграє також ключову роль при вивченні загальних законів поведінки космічних магнітних полів і плазмових процесів, оскільки Сонце представляє собою природну фізичну лабораторію для їх вивчення.

Курс охоплює вивчення широкого кола фізичних явищ (сонячні плями, сонячні спалахи, глобальне магнітне поле і цикли магнітної активності Сонця, корона, сонячний вітер), які вдається пояснити в рамках сонячної МГД. Оскільки конвективна зона Сонця охоплена турбулентними рухами, то значна увага на лекціях приділяється фізичним моделям спостережених явищ, що ґрунтуються на теорії усереднених полів, так званій макроскопічній МГД, яка вивчає поведінку макроскопічних електромагнітних і гідродинамічних полів в турбулентній плазмі. Зокрема висвітлено недавно відкриті нові ефекти замагніченої турбулентної плазми: альфа-ефект (збудження глобального магнетизму спіральним полем швидкостей), який відіграє ключову роль в замиканні сонячного динамо-циклу, макроскопічний турбулентний діаманетизм та адвекція крупно масштабного магнітного поля в неоднорідній за густиною турбулізованій плазмі, які відіграють роль «негативної магнітної плавучості» в конвективній зоні Сонця. При поясненні магнітних циклів Хейла на основі механізму турбулентного альфа-омега динамо залучено до розгляду останні досягнення геліосейсмології у вивченні внутрішнього обертання Сонця.

4. Завдання (навчальні цілі): Вивчення та пояснення комплексу фізичних явищ магнітної активності Сонця з допомогою математичного апарату магнітогідродинаміки.

5. Результати навчання за дисципліною: Контрольні роботи, , опитування на лекціях , захист лабораторних робіт, домашні завдання, залік.

Результат навчання (1. знати; 2. вміти; 3. комунікація; 4. автономність та відповідальність)		Форми (та/або методи і технології) викладання і навчання	Методи оцінювання та пороговий критерій оцінювання (за необхідності)	Відсоток у підсумковій оцінці з дисципліни
Код	Результат навчання			
2.1	Знати і вміти використовувати теоретичний матеріал	Лекції, семінари, самостійна робота	Контрольні роботи (2)	30
3.1	Брати участь у дискусії щодо матеріалу, який розглядається	Лекції	Робота на лекціях і семінарах	5
2.2	Вміти розв'язувати задачі з курсу	Лекції, самостійна робота	Домашні завдання	5
1.2	Володіти теоретичним і практичним матеріалом у межах курсу	Лекції, семінари, самостійна робота	Залік	60

6. Співвідношення результатів навчання дисципліни із програмними результатами навчання (необов'язково для вибіркової дисципліни які не входять до блоків спеціалізації)

Програмні результати навчання (назва)	Результати навчання дисципліни (код)	2.1	3.1	2.2	1.2

<i>ПРН3. Знати і розуміти експериментальні основи фізики: аналізувати, описувати, тлумачити та пояснювати основні експериментальні підтвердження існуючих фізичних теорій.</i>	+	+	+	+
<i>ПРН7. Розуміти, аналізувати і пояснювати нові наукові результати, одержані у ході проведення фізичних та астрономічних досліджень відповідно до спеціалізації.</i>	+	+		+
<i>ПРН27. Мати базові навички самостійної оцінки рівня освітніх програм із природничих наук в Україні і світі для їх вибіркового опанування в рамках міждисциплінарного шляху розвитку науки.</i>	+	+		

7. Схема формування оцінки.

7.1 Форми оцінювання студентів:

- семестрове оцінювання:

- 1. Контрольні роботи: 2, кожна – 15 балів*
- 2. Активність на лекціях і семінарах – 5 балів*
- 3. Домашні завдання – 5 балів*

- підсумкове оцінювання (у формі екзамену/комплексного екзамену, диференційованого заліку):

Залік – 60 балів

- умови допуску до підсумкового заліку:

Набрати впродовж семестру 20 балів

7.2 Організація оцінювання: *(обов'язково зазначається порядок організації передбачених робочою навчальною програмою форм оцінювання із зазначенням орієнтовного графіку оцінювання).*

Контрольні роботи виконуються у середині (перший модуль) і наприкінці (другий модуль) семестру. Домашні завдання задаються протягом семестру. Активність визначається за роботою на всіх парах.

7.3 Шкала відповідності оцінок

Відмінно / Excellent	90-100
Добре / Good	75-89
Задовільно / Satisfactory	60-74
Незадовільно / Fail	0-59
Зараховано	60-100

8. Структура навчальної дисципліни. Тематичний план лекцій та самостійних робіт

№ п/п	Номер і назва теми*	лекції	семінари	Самостійна робота
1	Роль магнітних полів в космосі. Висока електропровідність космічної та сонячної плазми. Рівняння індукції магнітного поля. Вмороженість та затухання магнітних полів в астрофізичних умовах.	2		5
2	Загальна характеристика Сонця. Спокійне і активне Сонце. Модель внутрішньої будови Сонця. Ядерні реакції – джерело сонячної енергії. Потік сонячних нейтрино – основне джерело інформації про фізичні процеси в надрах Сонця в сучасну епоху.	2		5
3	Конвективна зона Сонця. Умови виникнення конвекції в підфотосферних шарах Сонця. Роль областей з частковою іонізацією водню і гелію. Ієрархія масштабів турбулентності на Сонці. Моделі конвективної зони. Основні завдання теорії внутрішньої будови Сонця. .	2	2	5
4	Фотосфера і хромосфера. Грануляція та супергрануляція на фотосферному рівні. Моделі фотосфери (сонячної атмосфери) – моделі HSRA та VAL. Хромосферні утворення: хромосферна сітка, факели, флокули, волокна, спікули.	2		5
5	Сонячні плями. Основні спостережні дані. Магнітні поля плям, полярність груп плям. Цюрихська та магнітна класифікації груп сонячних плям. Охолодження, рівноважна структура та еволюція плям в часі.	2	2	5
6	Сонячна активність. Індекси сонячної активності. Відносні числа сонячних плям. Основні закони сонячної циклічності. «Королівські зони» сонячних плям і діаграма «метеликів Маундера». Магнітний цикл Хейла. Диференційне обертання Сонця. Проблеми сонячної магнітної циклічності.	2		5
7	Геліосейсмологія. Спостережні дані геліосейсмологічних експериментів. П'ятихвилинні коливання і внутрішні гравітаційні коливання. Математичний опис просторової структури акустичних і гравітаційних коливань. Діагностика внутрішніх шарів Сонця.	2	2	5
8	Структура магнітних полів на Сонці. Полоїдальна та тороїдальна складові глобального	2		5

	магнітного поля. Розклад магнітних складових в ряди за радіальними хвильовими функціями і сферичними тесеральними гармоніками. Безструмові (потенціальні) та безсилові магнітні поля.			
9	Динаміка і еволюція магнітних полів на Сонці. Магнітна плавучість Паркера та інші механізми впливання магнітних полів в конвективній зоні Сонця. Магнітогідродинамічні (альвенівські) хвилі.	2	2	5
10	Нові турбулентні ефекти макроскопічної магнітогідродинаміки. Ефекти МГД усередненого (великомасштабного) магнітного поля, відсутні в класичній МГД. 1. Збудження спіральною (гіротропною) турбулентністю усередненого електричного поля, паралельного магнітному полю – альфа-ефект. 2. Перебудова магнітного поля в неоднорідній турбулентній плазмі (діамагнетизм). 3. Турбулентна магнітна дифузія, яка спричиняє різке падіння величини електропровідності плазми.	2		5
11	Збудження глобального магнітного поля Сонця (альфа-Омега динамо). Спіральний (гіротропний) характер турбулентних рухів у стратифікованій за густиною конвективній зоні Сонця. Генерація полоїдальної складової глобального магнітного поля Сонця (альфа-ефект). Диференційне обертання Сонця за даними геліосейсмологічних експериментів. Генерація тороїдальної складової глобального поля Сонця (Омега-ефект). Механізм альфа-Омега динамо в конвективній зоні.	2	2	5
12	Турбулентні механізми перебудови глобального магнетизму Сонця. Турбулентний діамагнетизм неоднорідної конвективної зони. Перенесення магнітного поля, зумовлене вертикальним градієнтом густини речовини в турбулентній плазмі ($\nabla\rho$ -ефект). Топологічна накачка магнітного потоку Дробишевського. .	2		5
13	Нелінійне турбулентне динамо. Гіротропність магнітного поля (бета-ефект). Вплив обертання на адвекцію магнітного поля, зумовлену вертикальним градієнтом густини речовини в турбулентній плазмі. Анізотропний альфа-ефект (вплив обертання) та альфа-квенчінг (магнітне пригнічення).	2	2	5
14	Моделі сонячних спалахів. Спостережені дані. Основне джерело енергії спалахів – магнітні	2		5

	поля. Формування струмових шарів. Магнітне пересполучення. Механізми сонячних спалахів. Нестационарні процеси у верхній атмосфері Сонця. Протуберанці – спостережені дані, формування, моделі. Корональні конденсації, стримери і корональні діри. Корональні викиди мас.			
15	Сонячний вітер. Геліосфера. Походження сонячного вітру – теорія Чепмена і розв’язок Паркера. Міжпланетне магнітне поле. Взаємодія сонячного вітру з магнітосферою Землі і вплив сонячної активності на атмосферу Землі..	2	2	5

ВСЬОГО¹

30

14

74

*Примітка: слід зазначити також теми, винесені на самостійне вивчення

Загальний обсяг 120 год.², в тому числі (вибрати необхідне):

Лекцій – **30 год.**

лабораторні – **14 год.**

Практичні заняття – _____ год.

Лабораторні заняття – _____ год.

Тренінги – _____ год.

Консультації – _____ год.

Самостійна робота – **76 год.**

9. Рекомендовані джерела³:

Основна: (Базова)

до 10 фундаментальних, базових джерел

1. Прист Э.Р. Солнечная магнитогидродинамика. М., 1985.
2. Паркер Е. Космические магнитные поля. В 2-х томах. М., 1982.
3. Богородский А.Ф. Магнитная гидромеханика. Киев, 1966.
4. Плазменная гелиогеофизика. В 2-х томах. Под ред. Л.М.Зеленого, И.С.Веселовского. М.: Физматлит, 2008.
5. Альвен Г., Фельтхаммар К.-Г. Космическая электродинамика. М., 1967.
6. Гибсон Э. Спокойное Солнце. М., 1977.
7. Брей Р., Лоухед Р. Солнечные пятна. М., 1967.
8. Вайнштейн С.И., Зельдович Я.Б., Рузмайкин А.А. Турбулентное динамо в астрофизике. М., 1980.
9. Смит Г., Смит Э. Солнечные вспышки. М., 1966.
10. Хундхаузен А.Дж. Расширение короны и солнечный ветер. М., 1976.

Додаткова:

як правило – до 20 джерел

1. Загородний А.Г., Черемных О.К. Введение в физику плазмы: в 2-х частях. Киев: Наук. Думка, 2014.
2. Ладиков-Роев Ю.П., Черемных О.К. Математические модели сплошных сред. Киев. 2010.
3. Пикельнер С.Б. Основы космической электродинамики. М., 1966.
4. Zeldovich, Ya.B., Ruzmaikin, A.A., and Sokoloff, D.D.: 1983, Magnetic Fields in Astrophysics, Gordon and Breach, New York.

¹ У робочій програмі навчальної дисципліни для лекційних, семінарських, практичних і лабораторних занять зазначається *реальна* кількість годин (*кратне 2 год. – час тривалості пари*).

² Загальна кількість годин, відведених на дану дисципліну згідно навчального плану.

³ В тому числі Інтернет ресурси

5. Де Ягер К.. Стрoение и динамика атмосферы Солнца. М., 1962.
6. Рубашов Б.М.. Проблемы солнечной активности. М.-Л., 1964.
7. Вайнштейн С.И. Магнитные поля в космосе. М., 1983.
8. Моффат Г. Возбуждение магнитного поля в проводящей среде. М., 1980.
9. Воронцов С.В., Жарков В.Н. Гелиосейсмология. В кн.: Итоги науки и техники. Астрономия. Т.38. ВИНТИ АН СССР. М., 1988.
10. Лейбахер Дж.У., Нойс Р.У., Тумре Ю., Ульрих Р.К. Гелиосейсмология. В мире науки. 1985. № 11. С.4-14.
11. Проблемы солнечной активности. Под ред. В.Бумбы и И.Клечка. М., 1979.
12. Динамика токовых слоев и физика солнечной активности. Рига, 1982.
13. Алтынцев А.Т., Банин В.Г., Куклин Г.В., Томозов В.М. Солнечные вспышки. М., 1982.
14. Чертков А.Д. Солнечный ветер и внутреннее строение Солнца. Результаты исследований по международным геофизическим проектам. Отв. ред. М.И. Пудовкин. М., 1985.
15. Bahcall J.N., Pinsonneault M.N., Basu S. Solar models: current epoch and time dependences, neutrinos, and helioseismological properties//Astrophys. Journ. 2001. Vol. 555, P.990-1012.
16. Штеенбек М., Кирко И.М., Гайлитис А. и др. 1968. Экспериментальное обнаружение электродвижущей силы вдоль внешнего магнитного поля, индуцированной течением жидкого металла (α -эффект) // ДАН СССР – Т.180, №2. – С.326-329.
17. Криводубський В.Н. Параметри динамо і перебудова великомасштабного магнітного поля в конвективній зоні Сонця. Докторська дисертація. Київ, 2006.
18. Романчук П.Р., Криводубский В.Н. 1974. Механизм возникновения хромосферных вспышек//Препринт № 2, АО КНУ– 17 с.

10. Додаткові ресурси (за наявності):

Посилання на електронні ресурси (не тільки відкриті) на яких розміщено додаткову інформацію щодо дисципліни – приклади контрольних і екзаменаційних завдань, тематика рефератів, методичні вказівки по виконанню лабораторних робіт, тощо)