

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ НАУКОВИЙ ЦЕНТР
«ХАРКІВСЬКИЙ ФІЗИКО-ТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Генеральний директор

« 30 » _____ Микола ШУЛЬГА 2022 р.



РОБОЧА ПРОГРАМА
навчальної дисципліни

Теорія плазми

Назва навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти

Доктор філософії

галузь знань

10 Природничі науки

спеціальність

104 -фізика та астрономія

освітня програма

освітньо-професійна програма «Фізика та астрономія»

спеціалізація

вид дисципліни

обов'язкова

Інститут

Фізики плазми ННЦ ХФТІ

2022 / 2023 навчальний рік

Програму рекомендовано до затвердження
Науково-технічною радою ННЦ ХФТІ

Від “ 29 ” 11 2022 року, протокол № 6

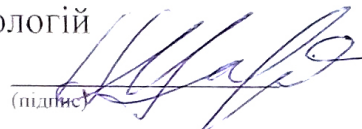
РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ:

д.ф-м.н., професор, академік НАН України М.О.Азарєнков

Програму схвалено на засіданні Науково-технічної ради Інституту
фізики твердого тіла, матеріалознавства та технологій

від “ 17 ” 10 2022 року, протокол № 1

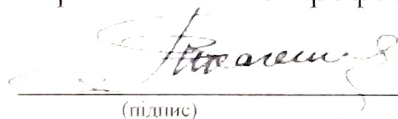
Директор Інституту фізики твердого тіла, матеріалознавства та
технологій

 Микола АЗАРЄНКОВ
(підпис) (прізвище та ініціали)

Програму погоджено з гарантом освітньо-професійної програми
«Фізика та астрономія»

назва освітньої програми

Гарант освітньо-професійної програми «Фізика та астрономія»

 Віктор ТКАЧЕНКО
(підпис) (прізвище та ініціали)

Вступ

Дисципліна «Теорія плазми» є частиною професійної підготовки аспірантів за вибором ННЦ ХФТІ за напрямом 10 Природничі науки, за спеціальністю – 104 фізика і астрономія, яка викладається протягом другого року навчання.

ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Метою викладання навчальної дисципліни є ознайомлення здобувачів з теоретичними методами дослідження плазми, формування у них здатності долучатися до нових прикладних практичних та комплексних ідей та шукати оригінальні розв'язки задач, що впливають на практичне виконання поставлених завдань в області фізики плазми. Отримані знання створюють можливості генерувати нові теоретичні методи та моделі, які можуть застосовуватись для опису фізичних процесів у плазмі.

Основними завданнями вивчення дисципліни «Теорія плазми» є

- (1) оволодіння методами, що використовуються для опису руху окремих частинок у плазмі;
- (2) опанування методів лінійного та нелінійного гідродинамічного та кінетичного аналізу властивостей та явищ у плазмі;
- (3) ознайомлення з основними типами колективних явищ: хвиль та нестійкостей у плазмі, виходячи з рівнянь квазігідродинаміки та кінетичних рівнянь;

1.2.1. Формування інтегральних компетентностей

Здатність продукувати нові ідеї, розв'язувати комплексні проблеми науково-дослідницької та інноваційної діяльності у сфері фізики, застосовувати методологію науково-дослідницької та педагогічної діяльності, а також проводити власне наукове дослідження, результати якого мають наукову новизну, теоретичне та практичне значення і застосування.

1.2.2. Формування наступних загальних компетентностей

ЗК01. Здатність генерувати нові ідеї (креативність).

ЗК02. Здатність працювати в міжнародному контексті.

ЗК03. Здатність розв'язувати комплексні наукові проблеми на основі системного наукового світогляду та загального культурного кругозору із дотриманням професійної етики та академічної доброчесності.

1.2.3. Формування наступних спеціальних (фахових) компетентностей:

СК01. Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми дослідницького характеру в сфері фізики плазми та керованого термоядерного синтезу, інтегрувати знання з різних галузей, оцінювати та забезпечувати якість виконуваних досліджень.

СК02. Здатність відстежувати тенденції розвитку фізики плазми та керованого термоядерного синтезу, їх прикладних застосувань, критично переосмислювати наявні знання та методи фундаментальних та прикладних наукових досліджень.

СК03. Здатність представляти та обговорювати результати своєї науково-дослідницької роботи державною мовою, а також англійською мовою чи одною з офіційних мов Європейсько Союзу, в усній та у письмовій формі, опрацьовувати наукову літературу з фізики плазми та керованого термоядерного синтезу і ефективно використовувати нову інформацію з різних джерел.

СК04. Здатність організовувати та здійснювати науково-педагогічну діяльність у сфері фізики плазми та керованого термоядерного синтезу.

СК05. Здатність ініціювати, розробляти та реалізовувати науково-дослідницькі, розробницькі та інноваційні проекти у сфері фізики плазми та керованого термоядерного синтезу, планувати й організовувати роботу науково-дослідницьких, розробницьких та інноваційних колективів.

СК06. Здатність застосовувати сучасні методи, методики, технології, інструменти та обладнання для проведення прикладних та фундаментальних наукових досліджень у галузі фізики плазми та керованого термоядерного синтезу.

СК19. Компетенція у сфері теорії плазми.

1.3. Кількість кредитів – 4.

1.4. Загальна кількість годин – 120.

1.5. Характеристика навчальної дисципліни:

Опис навчальної дисципліни «Теорія плазми»

Галузь знань, напрям підготовки, спеціальність, освітньо-кваліфікаційний рівень	
Галузь знань	10 – Природничі науки
напрямок підготовки	104 – фізика та астрономія
спеціальність	Фізика плазми
освітньо-кваліфікаційний рівень	Доктор філософії
Характеристика навчальної дисципліни	
Вид	Вибір ННЦ ХФТІ
Загальна кількість годин	120
Кількість кредитів ECTS	4
Кількість змістових модулів	2
Форма контролю	іспит
Показники навчальної дисципліни	
Рік підготовки	II
Лекційні заняття	32
Практичні заняття	16
Самостійна робота	70
Консультації	2

1.6. Заплановані результати навчання

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми здобувачі повинні:

РН01. Мати сучасні концептуальні та методологічні знання з фізики плазми та керованого термоядерного синтезу та дотичних до них міждисциплінарних напрямів, а також необхідні навички, достатні для проведення фундаментальних і прикладних наукових досліджень з метою отримання нових знань та/або здійснення розробок та інновацій.

РН02. Вільно презентувати та обговорювати з фахівцями і нефахівцями результати досліджень, наукові та прикладні проблеми фізики плазми та керованого термоядерного синтезу державною та іноземною мовами, кваліфіковано відображати результати досліджень у наукових публікаціях в провідних міжнародних наукових виданнях.

РН03. Уміти використовувати загальнонаукові компетентності для формулювання і перевірки наукової гіпотези; для обґрунтування висновків, обираючи для цього належні докази, зокрема, результати теоретичного аналізу, експериментальних досліджень і математичного та комп'ютерного моделювання, наявні літературні дані.

РН05. Планувати і виконувати експериментальні та/або теоретичні дослідження з фізики плазми та дотичних міждисциплінарних напрямів з використанням сучасних інструментів, критично аналізувати результати власних досліджень і результати інших дослідників у контексті усього комплексу сучасних знань щодо досліджуваної проблеми.

РН06. Застосовувати сучасні інструменти і технології пошуку, оброблення та аналізу інформації, зокрема, статистичні методи аналізу даних великого обсягу та/або складної структури, спеціалізовані бази даних та інформаційні системи.

РН07. Розробляти та реалізовувати наукові та/або інноваційні проекти, які дають можливість переосмислити наявне та створити нове цілісне знання та/або професійну практику і розв'язувати значущі наукові та технологічні проблеми фізики плазми з дотриманням норм академічної етики і врахуванням соціальних, економічних, екологічних та правових аспектів.

РН08. Глибоко розуміти загальні принципи і методи природничих наук, а також історію розвитку та методологію наукових досліджень, застосовувати їх у власних дослідженнях у сфері фізики плазми та у викладацькій практиці.

РН11. Організовувати освітній процес і проводити педагогічну діяльність у сфері фізики плазми, забезпечувати відповідне наукове, навчально-методичне та нормативне забезпечення.

РН20. Знати - визначення плазми.

Після вивчення курсу здобувач повинен знати:

- визначення плазми, визначення явища квазінейтральності і просторово-часові умови її існування;
- рівняння дрейфового руху заряджених частинок в електромагнітному полі і визначення траєкторій частинок;
- гідродинамічні та кінетичні методи опису лінійної та нелінійної взаємодії хвиль і заряджених частинок у плазмі;
- особливості зіткнень заряджених частинок у плазмі;
- процеси перенесення частинок та енергії у плазмі;

- визначення та властивості тензора діелектричної проникності плазми;
- прояви колективності у плазмі, основні типи хвиль в ізотропній і магнітоактивній «холодній і гарячій» плазмі;
- типи нестійкостей нерівноважної плазми.

В результаті вивчення дисципліни аспірант повинен вміти:

- вибрати ту чи іншу теоретичну модель для опису фізичних процесів у плазмових системах;
- застосовувати потрібні теоретичні методи для розв'язування рівнянь в межах обраної моделі;
- аналізувати фізичний сенс отриманих розв'язків та давати фізичну інтерпретацію досліджуваних явищ;
- самостійно опановувати та використовувати літературу з фізики плазми;
- вміти написати статтю до журналу та доповідь на конференцію за результатами досліджень.

Контроль знань аспіранта здійснюється за модульно-рейтинговою системою. Змістовий модуль 1 включає теми 1–4, змістовий модуль 2 – теми 5–9.

2. ЗМІСТ ТА СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Зміст навчальної дисципліни

Модуль 1. Базові поняття фізики плазми та рух частинок у плазмі.

ТЕМА 1 (2 години). Іонізовані гази та плазма. Загальна характеристика плазми: склад, концентрація компонентів, температура, ступінь іонізації. Квазінейтральність плазми, просторовий та часовий масштаби поділу зарядів. Потенціал сферично-симетричного заряду в плазмі. Дебаївське екранування. Критерії існування плазми. Загальна характеристика руху заряджених частинок у плазмі. Зіткнення частинок у плазмі. Параметри плазми. Застосування плазми.

ТЕМА 2 (4 години). Рух зарядженої частинки у постійному однорідному магнітному полі. Дрейфовий рух заряджених частинок у плазмі. Циклоїдальний рух. Електричний та гравітаційний дрейфи заряджених частинок у плазмі. Магнітний момент заряджених частинок плазми. Збереження магнітного моменту в магнітному полі, що повільно змінюється з часом. Рух частинок у магнітному полі, що повільно змінюється з часом; стискання плазми. Інерційний (поляризаційний) дрейф. Формула для швидкості дрейфу. Альфвенівська швидкість. Дрейф частинок у неоднорідному магнітному полі. Відцентровий дрейф. Градієнтний дрейф. Рух частинок у наростаючому магнітному полі вздовж z . Адіабатичні інваріанти. Магнітні пробки або дзеркала. Діамагнетизм плазми. Циклотронні струми. Отримання формули для циклотронного струму через дрейфову швидкість.

ТЕМА 3 (6 годин). Основні рівняння двокомпонентної гідродинаміки: рівняння руху та умови їх застосування; рівняння безперервності; рівняння Максвелла у середовищі; рівняння стану. Наближення магнітної гідродинаміки: формула для масової швидкості; узагальнений закон Ома. Провідність плазми. Отримання тензора провідності. Холлівський струм. Магнітний тиск та проблеми рівноваги плазми. "Вмерзлість" магнітних силових ліній: умова явища вмерзлості; кількісне формулювання явища вмерзлості. Дифузія магнітного поля. Рівняння дифузії. Глибина скінунання для поля, що періодично змінюється у часі.

ТЕМА 4 (6 годин). Хвилі у ізотропній плазмі. Лінеаризація, суперпозиція. Фазова та групова швидкості. Поперечні та поздовжні хвилі. Високочастотні та низькочастотні хвилі. Наближеність гідродинамічного опису. Гідродинамічна теорія електромагнітних хвиль у ізотропній плазмі. Гідродинамічна теорія високочастотних поздовжніх хвиль у ізотропній плазмі. Рівняння двокомпонентної гідродинаміки. Дисперсійне рівняння іоно-звукових хвиль. Граничний випадок довгих хвиль; швидкість звуку; несуттєвість поділу зарядів в полі іоно-звукової хвилі. Короткі хвилі. Холодні іони; звукові та іонні хвилі. Коливання та хвилі в холодній магнітоактивній плазмі. Система рівнянь Максвелла та магнітної гідродинаміки. Перетворення цих рівнянь та запровадження характерних частот хвильових процесів. Поширення хвиль вздовж магнітного поля. Поздовжня поляризація хвиль; поперечна поляризація хвиль; дисперсійне рівняння; звичайні та незвичайні хвилі; альфвенівські хвилі та гелікони (свистячі атмосферіки). Поширення хвиль уперек магнітного поля. Хвиля, поляризована вздовж магнітного поля, (звичайна хвиля). Хвиля, поляризована уперек магнітного поля, $\mathbf{E} \parallel \mathbf{H}_0 \perp \mathbf{q}$. Співвідношення між струмами. Магнітний звук ($\omega \ll \Omega_{ci}$, $N^2 \gg 1$). Співвідношення між компонентами полів, струмів та швидкостями; вираз для альфвенівської швидкості через швидкість звуку. Гібридні частоти. Загальний вираз для показника заломлення хвиль; резонансні частоти (при $N^2 \rightarrow \infty$); критичні частоти (при $N^2 = 0$). Косі електромагнітні хвилі у магнітоактивній плазмі. Система рівнянь. Граничні випадки хвиль, що розповсюджуються вздовж та уперек магнітного поля. Косі магнітозвукові та косі альфвенівські хвилі.

Модуль 2. Кінетична теорія хвиль та нестійкостей в плазмі.

ТЕМА 5 (3 години). Функція розподілу частинок плазми. Теорема Ліувіля. Самоузгоджене поле. Рівняння Власова. Рівняння Больцмана. Основні моменти функції розподілу. Рівняння Максвелла-Власова - основа кінетичної теорії плазми без зіткнення. Метод збурень. Лінеаризація рівнянь. Лінеаризовані рівняння Максвелла-Власова. Стаціонарні функції розподілу частинок. Дисперсійне рівняння для плоских електромагнітних хвиль. Зв'язок тензорів ВЧ провідності, діелектричної проникності та діелектричної сприйнятності. Потужність, що поглинається в плазмі. Ермітівські та

антиермітівські частини компонентів тензорів ВЧ провідності та діелектричної проникності.

ТЕМА 6 (3 години). Вирішення лінеаризованого рівняння Власова в ізотропній плазмі. Умова резонансної взаємодії плоских хвиль із зарядженими частинками. Збурення густини частинок і компонент густини струму в ізотропній плазмі. Поздовжня та поперечна діелектричні проникності ізотропної рівноважної плазми. Внесок резонансних частинок у діелектричну проникність плазми. Правило Ландау. Дисперсійне рівняння для поздовжніх хвиль в ізотропній рівноважній плазмі. Зв'язок дисперсійної функції плазми з інтегралом ймовірності комплексного аргументу. Асимптотики інтеграла ймовірності при великих та розклади при малих значеннях аргументу. Дисперсійні характеристики електронних плазмових коливань у рівноважній ізотропній плазмі без зіткнення. Фізичний сенс беззіткненого згасання Ландау.

ТЕМА 7 (3 години). Дисперсійні характеристики іонно-звукових хвиль у рівноважній плазмі без зіткнення. Особливості черенківського поглинання іонно-звукових хвиль в ізотермічній та неізотермічній плазмі. Нестійкість іонно-звукових хвиль у беззіштовхувальній плазмі зі струмом. Дисперсійне рівняння поперечних хвиль у ізотропній рівноважній плазмі. Проникнення електромагнітних хвиль до ізотропної плазми. Нормальний та аномальний скін-ефекти. Лінеаризоване рівняння Власова для заряджених частинок у магнітоактивній плазмі. Циліндричні координати у просторі швидкостей. Обмеження на стаціонарну функцію розподілу частинок однорідної плазми однорідному магнітному полі. Вирішення лінеаризованого рівняння Власова для функцій розподілу частинок в однорідній замагніченій плазмі без зіткнення.

ТЕМА 8 (3 години). Умови резонансної взаємодії хвиля-частка у магнітоактивній плазмі. Компоненти густини струму в однорідній магнітоактивній плазмі. Інтегральні вирази компонентів тензорів ВЧ провідності та діелектричної проникності в однорідній беззіштовхувальній магнітоактивній плазмі. Тензор діелектричної проникності для ВЧ полів у рівноважній магнітоактивній плазмі. Властивості симетрії компонентів. Експоненціальні інтеграли Вебера. Дисперсійне рівняння електромагнітних хвиль у рівноважній магнітоактивній плазмі. Початкове та граничне завдання про згасання/наростання амплітуд ВЧ полів у часі та у просторі. Тензор діелектричної проникності холодної зіштовхувальної магнітоактивної плазми. Дисперсійні рівняння для своїх коливань холодної замагніченої плазми. Прості і незвичайні хвилі.

ТЕМА 9 (4 години). Тензор діелектричної проникності в магнітоактивній плазмі з холодними іонами та гарячими електронами в діапазоні нижче за іонно-циклотронну частоту. Дисперсійні характеристики альфвенівських та швидких магнітозвукових хвиль. Функція діелектричного відгуку. Дисперсійне рівняння для квазі-подовжніх хвиль в однорідній магнітоактивній плазмі. Гібридні резонанси, частота аномальної дисперсії.

Дисперсійні характеристики кінетичних альфвенівських хвиль у рівноважній замагніченій плазмі без зіткнення. Кінетичний тензор діелектричної проникності для циклотронних хвиль, що розповсюджуються вздовж магнітного поля в рівноважній замагніченій плазмі. Дисперсійні характеристики та умови поширення циклотронних хвиль у рівноважній плазмі у наближеннях слабого та сильного поглинання.

Структура навчальної дисципліни

Назва лекції			
	Лекції	Практичні/семінарські заняття	Самостійна робота
Змістовний модуль 1. Базові поняття фізики плазми та рух частинок у плазмі.			
Тема 1. Визначення та основні властивості плазми.	2	2	8
Тема 2. Рух заряджених частинок у плазмі.	2	2	9
Тема 3. Гідродинамічна теорія плазми.	6	2	9
Тема 4. Гідродинамічна теорія хвиль у плазмі.	6	2	9
Разом за змістовний модуль 1	16	8	35
Змістовний модуль 2. Хвилі та нестійкості в плазмі.			
Тема 5. Вступ до кінетичної теорії плазми.	3	2	7
Тема 6. Кінетична теорія ВЧ хвиль у плазмі.	3	2	7
Тема 7. Кінетична теорія НЧ хвиль у плазмі.	3	2	7
Тема 8. Кінетичний підхід до вивчення хвиль у холодній магнітоактивній плазмі.	3	2	7
Тема 9. Кінетична теорія хвиль у магнітоактивній плазмі з гарячими електронами	4	0	7
Разом за змістовний модуль 2	16	8	35
Всього	32	16	70

Загальний обсяг: 120 год., зокрема: лекцій – 32 год.; практичних/семінарів – 16 год., самостійної роботи – 70 год., консультацій – 2 год.

4. Тематичний план практичних та семінарських занять

№ з/п	Тема	Години
1	Визначення та основні властивості плазми.	2
2	Рух заряджених частинок у плазмі.	2
3	Гідродинамічна теорія плазми.	2
4	Гідродинамічна теорія хвиль у плазмі.	2
5	Вступ до кінетичної теорії плазми.	2
6	Кінетична теорія ВЧ хвиль у плазмі.	2
7	Кінетична теорія НЧ хвиль у плазмі.	2
8	Кінетичний підхід до вивчення хвиль у холодній магнітоактивній плазмі.	2
	Всього	16

5. Самостійна робота

№ з/п	Тема	Години
1	Самостійне опрацювання навчально-методичних посібників та вивчення матеріалу за темами 1 розділу.	35
2	Самостійне опрацювання навчально-методичних посібників та вивчення матеріалу за темами 2 розділу.	35
	Всього	70

Запитання для самоперевірки

1. Яке іонізоване середовище можна назвати квазінейтральним?
2. Яку речовину можна назвати плазмою, яку – ні? Наведіть приклади.
3. Що таке плазмова частота? Фізичний сенс.
4. Що таке дебаївський радіус? Фізичний сенс.
5. Що таке гаряча (холодна) плазма?
6. Яка плазма є ближчою до ідеальної, щільна чи розріджена? Чому?
7. З яких рівнянь складаються рівняння магнітної гідродинаміки?
8. Що таке вмерзлість магнітного поля і за яких умов вона має місце?
9. Що таке скін-шар?
10. Коли має сенс наближення ідеально плазми, що проводить струм?
11. Які фізичні процеси втрачаються в моделі одноплинної гідродинаміки?
12. Які процеси визначають встановлення стаціонарного електромагнітного поля в плазмі і які характерні часи цих процесів?
13. Чому можна говорити про пружність магнітних силових ліній?
14. Що таке ларморів радіус та циклотронна частота?

15. Коли є застосовним дрейфове наближення?
16. Що таке ефект магнітного дзеркала?
17. Яка сила гальмує заряджену частинку при відбитті від магнітного дзеркала?
18. Чому заряджена частинка в магнітному при дії зовнішньої сили дрейфує поперек цієї сили?
19. Які дрейфи вам відомі?
20. У чому полягає головна відмінність між зіткненнями в газі і в плазмі?
21. Які зіткнення є важливішими, далекі чи близькі? Чому?
22. Що таке кулонівський логарифм?
23. Чим відрізняються передача енергії та імпульсу при зіткненнях?
24. Чому часи електрон-іонних та іон-електронних зіткнень є різними?
25. Якою є ієрархія часів: термалізація («максвелізація») електронів, термалізація іонів, встановлення рівноваги між електронами та іонами?
26. Чому класична провідність у плазмі не залежить від концентрації носіїв заряду?
27. Що таке електрони-втікачі?
28. Як пояснити класичну дифузію на гідродинамічній та кінетичній «мовах»?
29. Що таке діаманітний струм і як пояснити його на цих мовах?
30. Чому і за яких умов можна користуватися рівнянням рівноваги стаціонарної плазми?
31. Якими є фазові та групові швидкості різних типів МГД-хвиль (альфвенівських та магнітозвукових)?
32. Яким є якісний характер коливань плазми кожної з гілок МГД-хвиль?
33. Чи є парадоксом те, що фазова швидкість ленгмюрівських хвиль при великій довжині хвилі перевищує швидкість світла?
34. Що таке плазмове наближення? Для яких хвиль воно є застосовним?
35. Що таке частота відсічки, від чого вона залежить і чому є важливою?
36. У чому полягають відносні переваги кінетичного та гідродинамічного підходів?
37. Які властивості середовища треба знати, щоб визначити тензор діелектричної проникності?
38. Що таке рівняння Власова?
39. Що нового додає кінетичний розгляд порівняно з магнітогідродинамічним для ленгмюрівських хвиль?
40. Як можна на якісному рівні пояснити, що таке згасання Ландау?

Запитання до екзамену

1. Визначення плазми. Квазінейтральність. Плазмове частота. Ідеальна плазма. Дебаївський радіус.
2. Магнітна гідродинаміка. Вмерзлість та дифузія магнітного поля.
3. Рівновага плазми. Діаманетизм плазми.
4. Рух заряджених частинок в електромагнітному полі. Дрейфове наближення.
5. Кулонівські зіткнення в плазмі та транспортний переріз розсіювання.

6. Зіткнення частинок довільної маси та енергообмін при зіткненнях.
7. Електропровідність плазми. Електрони-втікачі.
8. Класична дифузія поперек магнітного поля.
9. Магнітогідродинамічні хвилі.
10. Гідродинамічна теорія ленгмюрових хвиль та іонного звуку.
11. Поперечні електромагнітні хвилі та частота відсічки.
12. Комплексна провідність та комплексна діелектрична проникність. Часова та просторова дисперсія. Дисперсійне рівняння та його використання для аналізу коливань.
13. Задача Ландау та кінетична теорія ленмюрівських хвиль.
14. Згасання Ландау.

6. Методи контролю

Складання колоквіумів за темами практичних/семінарських занять, письмовий екзамен.

7. Схема нарахування балів

Матеріал курсу «Теорія плазми» згідно навчальної програми містить 9 тем. Темі розподілені по модулях відповідно: I модуль – 4 теми (від 1 до 4), II модуль – 5 тем (від 5 до 9). Оцінка роботи здобувачів проводиться за модульно-рейтинговою системою і включає такі види роботи над курсом: практичні роботи, засвоєння теоретичного матеріалу та домашні завдання.

Теми за курсом			Разом
Модуль 1	Модуль 2	Екзамен	100
T1-T4	T5-T9		
30	30	40	

T1, T2 ... - теми розділів.

Оцінка за модуль складається з оцінки за практикум, поточний контроль, виконання домашніх письмових завдань. Здобувачі повинні виконати та оформити всі практичні роботи.

Здобувачі пишуть відповідно до кожного модуля письмові контрольні роботи, кожна з яких оцінюється максимум 10-ма балами. Решта 20 балів – це середня оцінка поточного контролю за відповідними темами, колоквіуми (усні), самостійні письмові роботи і т.ін.

Для допуску до підсумкового семестрового контролю здобувач в сумі за практикум, поточний контроль, виконання домашніх письмових завдань має набрати не менше 30-ти балів з 60-ти можливих, тобто не менше 50% від максимально можливого.

На екзамені здобувач може одержати від 20 до 40 балів. Між 0 та 20 балами оцінка не виставляється, екзамен вважається не зданим. Бали, одержані на екзамені від 20 до 40 додаються до балів, одержаних у семестрі (30-60 балів). За цією сумою згідно таблиці шкали оцінювання виставляється підсумкова оцінка до залікової книжки.

Шкала оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру	Оцінка
	за чотирирівневою шкалою оцінювання
90-100	відмінно
70-89	добре
50-69	задовільно
1-49	незадовільно

Критерії оцінювання

питань екзаменаційного білету (контрольної роботи)

Екзаменаційний білет (контрольна робота) містить кілька завдань (теоретичні питання або задачі). Кожне завдання має свій ваговий бал (вказується у дужках біля питання) та оцінюється окремо. Сумарно за всі відповіді на екзаменаційні питання можна отримати максимального 40 балів. Сумарний бал за контрольну роботу вказується в тексті відповідної роботи.

	Характеристика відповіді на кожне з питань екзаменаційного білету (контрольної роботи)	% від max балу за відповідь на питання
	Повна та вірна відповідь на питання або у повному обсязі правильно вирішена практична задача білету	100 %
	Повна відповідь з незначними помилками (або незначні помилки у розрахунках практичних завдань за наявності вірної розрахункової формули);	80-95 %
	Неповна, але вірна відповідь (або значні помилки у розрахунках практичних завдань за наявності вірної розрахункової формули для розв'язання практичних завдань);	50-80 %
	Відповідь повна, але містить грубі помилки (або вирішення практичних завдань білету містить грубі помилки, розрахункові формули для розв'язання практичних завдань містять помилки)	30-50 %
	Неповна відповідь з суттєвими помилками	5-30 %
	Невірна відповідь	0-5 %
	Відсутня відповідь на теоретичне питання (або відсутнє вирішення практичних завдань білету)	0 %

9. Рекомендована література

Основна література

1. Ситенко О.Г., Мальнєв В.М. Основи теорії плазми. Київ: Наукова думка, 1994.
2. Huba J.D. Revised NRL Plasma Formulary. Washington: Naval Research Laboratory, 1998.
3. Bellan P.M. Fundamentals of Plasma Physics. Cambridge: Cambridge University Press, 2006.
4. White R.B. The Theory of Toroidally Confined Plasmas. London: Imperial College Press, 2006.
5. White R.B. Theory of Tokamak Plasmas. Amsterdam: NorthHolland, 1989.
6. Akhiezer A.I., Akhiezer I.A., Polovin R.V., Sitenko A.G., Stepanov K.N. Plasma Electrodynamics, Volume 1: Linear Theory 1975; 431 p; Pergamon Press; New York.
7. Азарєнков М.О., Гришанов М.І., Денисенко І.Б. Кінетична теорія хвиль в однорідній плазмі без зіткнень. – Х.: ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2018.-176 с.
8. Азарєнков М.О., Гришанов М.І., Денисенко І.Б. Фізика плазми. Електронний варіант. Рукопис, 2021 р.
9. А.Г. Загородній, А.І. Момот. Вступ до кінетичної теорії плазми. Київ. Наукова думка, 2015, 415 с.

Допоміжна література

1. К.Д. Синельников, Б.М. Руткевич. Лекції з фізики плазми. Харків, вид. Харківського ун-ту, 1964 р.
2. Krall, Nicholas A., Trivelpiece, Alvin W Principles of Plasma Physics Publisher San Francisco Pr., 1986.

Розробник програми д.ф.-м.наук
професор, академік НАН України



Микола АЗАРЕНКОВ