

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

Кафедра прикладної фізики та фізики плазми

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

В. о. директора навчально-наукового інституту

ННІ «Фізико-технічний факультет»

Пилип КУЗНЕЦОВ

“ ” 2023 р.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Плазмодинаміка

(назва навчальної дисципліни)

| | |
|---------------------|---|
| рівень вищої освіти | другий (магістр) |
| галузь знань | 10 – “Природничі науки” (шифр і назва) |
| спеціальність | 105 – “Прикладна фізика та наноматеріали” (шифр і назва) |
| освітня програма | “Експериментальна ядерна фізика та фізика плазми” (шифр і назва) |
| спеціалізація | (шифр і назва) |
| вид дисципліни | обов’язкова (обов’язкова / за вибором) |
| факультет | ННІ «Фізико-технічний факультет» |

2023 / 2024 навчальний рік

Програму рекомендовано до затвердження Вченою радою ННІ «Фізико-технічний факультет»

“25” серпня 2023 року, протокол №8

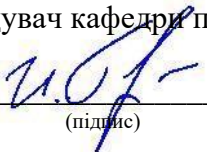
РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ: (вказати авторів, їхні наукові ступені, вчені звання та посади)

Гаркуша Ігор Євгенійович Д.ф.-м.н., професор, академік НАН України,
завідувач кафедри прикладної фізики та фізики плазми

Програму схвалено на засіданні кафедри прикладної фізики та фізики плазми

Протокол від “24” липня 2022 року №12

Завідувач кафедри прикладної фізики та фізики плазми

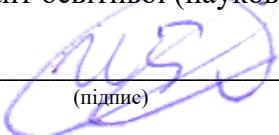


(підпис)

Ігор ГАРКУША
(прізвище та ініціали)

Програму погоджено з гарантом освітньо-наукової програми Експериментальна ядерна фізика та фізика плазми
(назва освітньої програми)

Гарант освітньої (наукової) програми



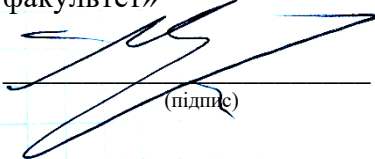
(підпис)

Ігор ДЕНИСЕНКО
(прізвище та ініціали)

Програму погоджено науково-методичною комісією ННІ «Фізико-технічний факультет»

Протокол від “14” серпня 2023 року №11

Голова науково- методичної комісії ННІ «Фізико-технічний факультет»



(підпис)

Микола ЮНАКОВ
(прізвище та ініціали)

ВСТУП

Програма навчальної дисципліни “Плазмодинаміка” складена відповідно до освітньо-наукової програми підготовки другого (магістр) рівня вищої освіти. Галузь знань: 10 – “Природничі науки”. Спеціальність: 105 – “Прикладна фізика та наноматеріали”. Освітньо-наукова програма: “Експериментальна ядерна фізика та фізика плазми”. Фахова орієнтація: “Фізика плазми”.

1. Опис навчальної дисципліни

1.1. Мета викладання навчальної дисципліни.

Метою викладання навчальної дисципліни є надання знань про основні властивості плазми, що рухається, зокрема, основні механізми прискорення плазми та компенсованих пучків різноманітних іонів, типи джерел рухомої плазми та іонів, плазмооптичні системи, взаємодію плазми з різноманітними магнітними полями, використання потоків плазми, в тому складі для плазмових технологій.

1.2. Основні завдання вивчення дисципліни.

Загальні компетентності:

- здатність до абстрактного та системного мислення й аналізу (ЗК-2);
- здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел; (ЗК-7);
- здатність працювати автономно; (ЗК-9)

Фахові компетентності:

- здатність використовувати сучасну апаратуру при проведенні наукових досліджень (ФК-2);
- здатність використовувати методи аналітичної обробки результатів дослідження та математичного моделювання (ФК-4);
- здатність використовувати сучасні теоретичні уявлення в галузі фізики для аналізу фізичних систем; (СК-6);
- здатність виконувати обчислювальні експерименти, використовувати чисельні методи для розв’язування фізичних задач і моделювання фізичних систем; (СК-10);

Основними завданнями вивчення дисципліни “Плазмодинаміка” є надання студентам знань та навичок, достатніх для усвідомленої самостійної постановки та розв’язання задач (в першу чергу – якісного та оціночного характеру), що виникають під час професійної діяльності з приводу динаміки плазми або електродинамічних явищ, а також для розробки стратегії розв’язання більш серйозних проблем, повністю або частково пов’язаних з прискоренням плазми в імпульсних (ІПП) і квазістаціонарних плазмових прискорювачах (КСПП), спрощених та повноблочних КСПП, принципів формування компресійних течій плазми, генерації плазми в стаціонарних та квазістаціонарних прискорювачах з замкненим дрейфом електронів (прискорювачі з анодним шаром, прискорювачі з замкненим дрейфом та протяжною зоною генерації іонів) і екіпотенціальними магнітними поверхнями для фокусування потоків плазми.

1.3. Кількість кредитів **8**

1.4. Загальна кількість годин 240

| 1.5. Характеристика навчальної дисципліни | |
|---|-------------------------------------|
| Обов’язкова / за вибором | |
| Денна форма навчання | Заочна (дистанційна) форма навчання |
| Рік підготовки | |
| 1-й | -й |
| Семестр | |
| 1-й та 2-й | -й |

| | |
|-------------------------------------|------|
| Лекції | |
| 96 год. | год. |
| Практичні, семінарські заняття | |
| - год. | год. |
| Лабораторні заняття | |
| - год. | год. |
| Самостійна робота | |
| 144 год. | год. |
| у тому числі індивідуальні завдання | |
| курсора робота – 15. | |

1.6. Заплановані результати навчання

Згідно з освітньо-науковою програмою «Експериментальна ядерна фізика та фізика плазми» спеціальності 105 – «Прикладна фізика та наноматеріали» студенти мають досягти таких результатів навчання:

- вибирати методи і моделювати явища та процеси в динамічних системах, а також аналізувати отримані результати (Ум-1);
- самостійно планувати та виконувати експерименти, оцінювати отримані результати (Ум-2);
- самостійно виконувати експериментальні дослідження та застосовувати дослідницькі навички за професійною тематикою (Ум-9);
- аргументувати вибір методів розв'язування спеціалізованої задачі, критично оцінювати отримані результати та захищати прийняті рішення (Ум-12).

Для цього студенти мають досягти наступних результатів.

Знати:

- принципи плазмодинаміки;
- основи генерації плазмових потоків;
- використання плазмодинамічних систем в наукових дослідженнях та технологіях
- методи обробки та інтерпретації експериментально отриманих результатів.

Вміти:

- описувати плавомеханічні явища у плазмі;
- виділити найбільш важливий ефект в умовах конкретного завдання або експерименту;
- розрахувати основні параметри кінцевого стану, до якого приходить система в результаті фізичних процесів;
- правильно обробляти та інтерпретувати отримані результати.

Обізнаність студентів з принципами плазмодинаміки, а саме у генерації плазмових потоків, діагностики та використання плазмодинамічних систем в наукових дослідженнях та технологіях.

2. Тематичний план навчальної дисципліни

Семестр 1

Розділ 1. Предмет плазмодинаміки і основні завдання.

Тема 1. Загальна, лабораторна і космічна плазмодинаміка. Плазмодинаміка середніх енергій. Про різноманіття стаціонарних і імпульсних генераторів плазмових

потоків. Прискорювачі заряджених частинок, теплові та плазмодинамічні системи. Іонні інжектори. Закон Ленгмюра- Чайльда. Основні характеристики пучків: первеанс, емітанс, яскравість і ін. Квазіпірсова система. Три випадки вилучення іонів з плазмового джерела.

Тема 2. Плазмові прискорювачі. Класифікація прискорювачів. Теплові, електромагнітні та термомагнітні прискорювачі. Стаціонарні та імпульсні пристрої, Прискорювачі із зовнішнім магнітним полем і сильноструміві прискорювачі з власним МП.

Тема 3. Механізми прискорення в плазмі. Умова існування і способи підтримки електричного поля в плазмі. Поля Лоренца, Больцмана і Векслера. Релаксаційні процеси в плазмі всередині кожної з компонент і між компонентами.

Розділ 2. Імпульсні прискорювачі плазми.

Тема 4. Модель струмового перемички. Модель «снігового плуга». (Snow plough). Турбулентний механізм прискорення.

Тема 5. Конструкції прискорювачів. Найпростіші приклади: джерело Бостіка, прискорювач Альфвена, плазмова гармата Маршала. Основні результати експериментів на ППУ. Фізичні процеси в реальному ППУ. Прискорювачі ерозійного типу.

Розділ 3. Особливості діагностики щільною рухомою плазми.

Тема 6. Аналіз електротехнічних характеристик. Зондові методи аналізу полів і струмів. Калориметри, п'єзодетектори і болометри. Корпускулярні методи. Спектрально-оптичні методи. Інтерферометрія потоків плазми.

Тема 7. Плазмовий фокус. Пінч розряди. Пінч-ефект, рівновага в Пінчі, співвідношення Беннета. Z-пінч, капілярний розряд. Нестійкості пінча. Нестійкість Релея-Тейлора і Кельвіна-Гельмгольца. Різні модифікації плазмового фокуса (геометрія Філіппова і Мейзера).

Тема 8. Особливості організації електричного розряду в системах плазмового фокуса. Стадії розряду в ПФ (breakdown, rundown, pinch). Вимоги до енергетики. Особливості газового напуску. Характеристики розряду в системах ПФ. Характеристики електромагнітного випромінювання ПФ.

Тема 9. Закони подібності для інтенсивності нейтронного випромінювання ПФ. Часові та просторові характеристики потоків швидких іонів та електронів, що генеруються в системах ПФ. Деякі технологічні застосування

Тема 10. Динаміка одиночних частинок в схрещених E, H полях. Дрейфовий наближення. Умови його застосовності. Гідродинамічні моделі плазми. Дворідинна гідродинаміка. Магнітна гідродинаміка. Параметри подібності в МГД. Формалізм функцій потоку. Епюри прискорювача / компресора.

Тема 11. Вмороженість магнітного поля в плазму. Явища вмороженості в рамках одночасткових уявлень. Електродинамічна формулювання явища вмороженості. Параметри вмороженості. Магнітозвукові обурення, що поширюється поперек магнітного поля. Тиск магнітного поля. Амперова сила і тензор натягу Максвелла. Магнітний тиск і натяг. Статичні МГД-конфігурації.

Тема 12. Моделі течій плазми в каналах кінцевої ширини. Рівняння для функції потоку в дворідинній моделі плазми. Ізомагнітні і ізобернулєві течії. Наближення повільно змінюваного каналу. Ізобернулєва течія холодної плазми в каналі. Прискорювальний режим течії плазми у вузькому каналі. Компресійні течії.

Тема 13. Квазістаціонарні плазмові прискорювачі (КСПП). прискорювальний і компресійний режими роботи. Вибір профілю каналу. Перехід течії через швидкість звуку. Про вхідний і вихідний зонах КСПП. ів. Зв'язок параметрів потоку з електротехнічними характеристиками. Основні рівняння. Поняття кризи струму. Іонний перенос струму. Двоступеневий режим роботи КСПП. Компонування прискорювачів.

Основні результати експериментів. Застосування КСПП і МПК в плазмових технологіях і УТС.

Тема 14. Стаціонарні прискорювачі плазми із зовнішнім магнітним полем. Холлівські прискорювачі. Прискорювачі із замкнутим дрейфом електронів. Основні рівняння динаміки електронів та іонів. Параметр Холла, замагніченість електронів. Компоненти електронного струму. Пристінкова провідність. Результати досліджень. Використання з якості електрореактивних космічних двигунів.

Розділ 3. Плазмооптика.

Тема 15. Приклади систем вакуумної корпускулярної оптики, фокусування електричним і магнітним полем. Фокусні відстані. Недоліки вакуумної корпускулярної оптики. Аберації. Умови еквіпотенціалізації магнітних силових ліній в плазмі. Основні характеристики плазмової лінзи. Принципова схема плазмової лінзи. Фокусна відстань плазмової лінзи. Співвідношення фокусної відстані плазмової лінзи з фокусною відстанню магнітної і електричної лінзи. Критичні умови, при яких порушується робота плазмової лінзи.

Тема 16. Конкретні плазмові лінзи. Схема експериментальної установки. Характеристики фокусування плазмової лінзи. Способи задання електричних полів в плазмовій лінзі. Сферична аберация. Залежність фокусування від величини магнітного поля. Граничні характеристики плазмових потоків і їх зв'язок з параметрами лінзи.

Семестр 2.

Розділ 4. Рух плазми в зовнішніх магнітних полях.

Тема 17. Рух плазми в зовнішніх магнітних полях. Рух плазми в аксіально-симетричному наростаючому магнітному полі. Рух плазми в криволінійному магнітному полі. Поняття сепарації частинок. Рух щільної плазми в тороїдальному магнітному полі.

Тема 18. Рух плазми в поперечному магнітному полі. Стаціонарний плазмовий потік в слабо неоднорідному поперечному магнітному полі. Умова слабого зміни магнітного поля. Поляризація потоків плазми. Умова рівноваги плазми. Максимальний діаманітний струм в плазмі. Умови і можливості закорочування полів поляризації в плазмі. Гальмування потоків плазми.

Тема 19. Дифузія плазми в магнітне поле. Вхід плазмового потоку в магнітне поле. Рух плазми в просторово-періодичному магнітному полі. Умови резонансного перерозподілу енергії між компонентами іонів потоків плазми.

Тема 20. Інжекція нейтралів в замкнуті пастки. Метод нагріву плазми пучками атомів. Релаксація енергії інжекттованих частинок. Вибір енергії інжекттованих частинок. Критерій Стікса. Вибір інших параметрів пучка. Баланс енергії. Загальна схема реалізації методу нагріву плазми пучками частинок. Основні вимоги до інжекторам частинок. Інжектори нейтралів. Потужнострумові джерела іонів.

Тема 21. Типи джерел. Багатоапертурні джерела іонів. Нейтралізація пучків частинок. Сепарація пучків. Рекуперація енергії іонів. Загальна компоновка інжекторів. Основні технічні вимоги. Діагностика пучків атомів та інжекторів.

Тема 22. Технологічні застосування дугових прискорювачів плазми. Максимально допустимі потоки енергії на підкладку. Діаграма на площині «щільність частинок - енергія на частку», діапазон роботи різних джерел металеві плазми. Вакуумна дуга. Катодна форма вакуумної дуги. Основні Характеристики розряду. Типи катодних плям. Умови стаціонарного існування дуги. Потік енергії в катод.

Тема 23. Рух катодних плям в магнітному полі. Енергія прискорених іонів і механізми їх прискорення. Величина критичного струму, при якому можливе стаціонарне існування вакуумної дуги. Вакуумна дуга з контрагованою анодною плямою. Умова переходу до форми вакуумної дуги з контрагованою анодною плямою. Стаціонарний прискорювач металеві плазми на основі вакуумної дуги. Вимоги до характеристик

дугового розряду в стаціонарних прискорювачах. Конструктивні особливості та принцип роботи. Автостабілізація і стабілізація розряду зовнішнім магнітним полем. Параметри плазмових потоків.

Тема 24. Імпульсні прискорювачі металевої плазми (катодний режим).

Середній рівень потужності прискорювача. Критична величина імпульсного заряду. Управління швидкістю і кутом розльоту плазмового струменя за допомогою магнітного поля. Параметри імпульсних прискорювачів металевої плазми. Основні переваги методу отримання плівкових покриттів. з використанням імпульсних прискорювачів металевої плазми.

Тема 25. Потужний імпульсний прискорювач, який працює в анодному режимі. Умови переходу до квазістаціонарних стадії процесу ерозії. Час встановлення цього режиму. Механізм прискорення плазми. Величина масової витрати за імпульс. Переваги даного прискорювача при нанесенні проводять плівок.

Тема 26. Металізація в вакуумі торцевими плазмовими прискорювачами. «Гарячі» катоди, які постачають в розряд легкоплавкі метали. Максимальна величина витрат речовини. Швидкість витікання плазми. Параметри плазмових струменів. Застосування фокусування плазми (плазмова оптика).

Розділ 5. Процеси конденсації та розпилення.

Тема 27. Метод конденсації з іонним бомбардуванням (КІБ). Physical Vapor Deposition. 1. Ідеологія методу нанесення покриттів на поверхні матеріалів методом КІБ. Залежність процесів конденсації і розпилення від енергії іонів плазми. Основні параметри, що визначають властивості конденсату.

Тема 28. Попередня чистка поверхонь матеріалів. Методи чистки поверхні зразків і деталей перед осадженням покриттів. Роль температури поверхні зразків в якості нанесених покриттів. Роль потенціалу зміщення зразків в процесах очищення у разі необхідності і конденсації. Основні параметри, що визначають властивості конденсату

Тема 29. Експериментальні установки. Установки типу «Булат». Застосування плазмооптичних систем для фокусування потоків плазми. Застосування магнітних сепараторів для сепарації іонів і зменшення крапельної фракції. Умова проходження через криволінійний магнітний фільтр.

Тема 30. Параметри плазми при нанесенні покриттів. Основні характеристики приповерхневої плазми. Розподіл іонів по енергіях і Зарядовий стан. Рециклінг. Приповерхневі шари. Процеси на поверхні.

Тема 31. Алмазоподібні вуглецеві покриття. Використання комбінованих високочастотних і дугових розрядів для нанесення покриттів. Модифікація поверхонь матеріалів імпульсними потоками газоподібної плазми. Механізм модифікації поверхонь, що опромінюються потоками плазми. Мікротвердість, зносостійкість, корозійна стійкість поверхневих шарів опромінених матеріалів.

Тема 32. Використання потужних прискорювачів плазми для моделювання процесів на першій стінці і диверторних пластинах термоядерного реактора. Утворення перехідних шарів щільної плазми. Ерозійні характеристики матеріалів, що опромінюються. Механізми ерозії матеріалів в термоядерних установках.

Інші застосування плазмових технологій і плазмових джерел. Прилади на основі діелектричного бар'єрного розряду. ДБР люмінесцентні лампи, ДБР стерилізатори, озонатори.

3. Структура навчальної дисципліни

| Назви розділів і тем | Кількість годин | | | | | |
|---|-----------------|--------------|----------|----------|----------|-----------|
| | денна форма | | | | | |
| | усього | у тому числі | | | | |
| л | | п | лаб | інд | с.р. | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Семестр I | | | | | | |
| Розділ 1. | | | | | | |
| Тема 1. Загальна, лабораторна і космічна плазмодинаміка. | 8 | 4 | - | - | - | 4 |
| Тема 2. Плазмові прискорювачі. | 8 | 3 | - | - | - | 5 |
| Тема 3. Механізми прискорення в плазмі. | 8 | 3 | - | - | - | 5 |
| Розділ 2. | | | | | - | |
| Тема 4. Модель струмового перемички. | 8 | 3 | - | - | - | 5 |
| Тема 5. Конструкції прискорювачів. | 8 | 4 | - | - | - | 4 |
| Розділ 3. Особливості діагностики щільною рухомою плазми. | | | | | | |
| Тема 6. Аналіз електротехнічних характеристик. | 8 | 4 | - | - | - | 4 |
| Тема 7. Плазмовий фокус. | 8 | 4 | - | - | - | 4 |
| Тема 8. Особливості організації електричного розряду в плазмових фокусах. | 8 | 3 | - | - | - | 5 |
| Тема 9. Закони подібності для інтенсивності нейтронного випромінювання ПФ. | 8 | 3 | - | - | - | 5 |
| Тема 10. Динаміка частинок в схрещених E, H полях. Дрейфове наближення. | 6 | 2 | - | - | - | 4 |
| Тема 11. Вмороженість магнітного поля в плазму. | 6 | 2 | - | - | - | 4 |
| Тема 12. Моделі течій плазми в каналах кінцевої ширини. | 6 | 2 | - | - | - | 4 |
| Тема 13. Квазістаціонарні плазмові прискорювачі (КВПУ). прискорювальний і компресійний режими роботи. | 8 | 3 | - | - | - | 5 |
| Тема 14. Стаціонарні прискорювачі плазми із зовнішнім магнітним полем. | 6 | 2 | - | - | - | 4 |
| Розділ 3. | | | | | | |
| Тема 15. Приклади систем вакуумної корпускулярної оптики, фокусування електричним і магнітним полем. | 8 | 3 | - | - | - | 5 |
| Тема 16. Конкретні плазмові лінзи. | 8 | 3 | - | - | - | 5 |
| Разом: | 120 | 48 | 0 | 0 | 0 | 72 |
| Семестр II | | | | | | |
| Розділ 4. | | | | | | |
| Тема 17. Рух плазми в зовнішніх магнітних полях. | 8 | 4 | - | - | - | 4 |
| Тема 18. Рух плазми в поперечному магнітному полі. | 8 | 3 | - | - | - | 5 |
| Тема 19. Дифузія плазми в магнітне поле. | 8 | 3 | - | - | - | 5 |
| Тема 20. Інжекція нейтралів в замкнуті пастки. | 8 | 3 | - | - | - | 5 |
| Тема 21. Типи джерел. Багатоапертурні джерела | 8 | 4 | - | - | - | 4 |

| | | | | | | |
|---|------------|-----------|----------|----------|----------|------------|
| іонів. | | | | | | |
| Тема 22. Технологічні застосування дугових прискорювачів плазми. | 8 | 4 | - | - | - | 4 |
| Тема 23. Рух катодних плям в магнітному полі. | 8 | 4 | - | - | - | 4 |
| Тема 24. Імпульсні прискорювачі металевої плазми. | 8 | 3 | - | - | - | 5 |
| Тема 25. Потужний імпульсний прискорювач. | 8 | 3 | - | - | - | 5 |
| Тема 26. Металізація в вакуумі торцевими плазмовими прискорювачами. | 6 | 2 | - | - | - | 4 |
| Розділ 5. | | | | | | |
| Тема 27. Метод конденсації з іонним бомбардуванням (КІБ). | 6 | 2 | - | - | - | 4 |
| Тема 28. Методи чистки поверхні зразків і деталей перед осадженням покриттів. | 6 | 2 | - | - | - | 4 |
| Тема 29. Експериментальні установки. | 8 | 3 | - | - | - | 5 |
| Тема 30. Параметри плазми при нанесенні покриттів. | 6 | 2 | - | - | - | 4 |
| Тема 31. Алмазоподібні вуглецеві покриття. | 8 | 3 | - | - | - | 5 |
| Тема 32. Використання потужних прискорювачів плазми для моделювання процесів на першій стінці і диверторних пластинах термоядерного реактора. | 8 | 3 | - | - | - | 5 |
| Курсова робота | | | | | 15 | |
| Разом: | 120 | 48 | 0 | 0 | 0 | 72 |
| Усього годин: | 240 | 96 | 0 | 0 | 0 | 144 |

4. Теми семінарських (практичних, лабораторних) занять Не передбачені.

5. Завдання для самостійної роботи

| № з/п | Види, зміст самостійної роботи | Кількість годин |
|-------------------|--|-----------------|
| Семестр I | | |
| 1 | Самостійне вивчення лекційного матеріалу | 72 |
| Семестр II | | |
| 2 | Курсова робота | 15 |
| 3 | Самостійне вивчення лекційного матеріалу | 57 |
| Разом: | | 144 |

| № з/п | Види, зміст самостійної роботи: самостійна робота з теоретичними матеріалами за темами. | Кількість годин |
|-------|---|-----------------|
| 1 | Тема 1. Три випадки вилучення іонів з плазмового джерела. | 4 |
| 2 | Тема 2. Прискорювачі із зовнішнім магнітним полем і сильнострумові прискорювачі з власним МП. | 5 |
| 3 | Тема 3. Релаксаційні процеси в плазмі всередині кожної з компонент і між компонентами. | 5 |

| | | |
|----|--|----|
| 4 | Тема 4. Моделі механізмів прискорення. | 5 |
| 5 | Тема 5. Фізичні процеси в прискорювачі ерозійного типу. | 4 |
| 6 | Тема 6. Методи аналізу полів і струмів. | 4 |
| 7 | Тема 7. Різні модифікації плазмового фокуса. | 4 |
| 8 | Тема 8. Характеристики електромагнітного випромінювання ПФ. | 5 |
| 9 | Тема 9. Деякі технологічні застосування нейтронного випромінювання ПФ. | 5 |
| 10 | Тема 10. Параметри подібності в МГД. | 4 |
| 11 | Тема 11. Магнітне тиск і натяг. Статичні МГД-конфігурації. | 4 |
| 12 | Тема 12. Моделі течій плазми в каналах кінцевої ширини. | 4 |
| 13 | Тема 13. Застосування КВПУ і МПК в плазмових технологіях і УТС. | 5 |
| 14 | Тема 14. Прискорювачі із замкнутим дрейфом електронів. | 4 |
| 15 | Тема 15. Принципова схема плазмової лінзи. Фокусна відстань плазмової лінзи. | 5 |
| 16 | Тема 16. Способи завдання електричних полів в плазмовій лінзі. | 5 |
| | Разом за I семестр | 72 |
| 17 | Тема 17. Рух плазми в зовнішніх магнітних полях. | 4 |
| 18 | Тема 18. Рух плазми в поперечному магнітному полі. | 5 |
| 19 | Тема 19. Дифузія плазми в магнітне поле. | 5 |
| 20 | Тема 20. Інжекція нейтралів в замкнуті пастки. | 5 |
| 21 | Тема 21. Загальна компоновка інжекторів. Основні технічні вимоги. | 4 |
| 22 | Тема 22. Технологічні застосування дугових прискорювачів плазми. | 4 |
| 23 | Тема 22. Технологічні застосування дугових прискорювачів плазми. | 4 |
| 24 | Тема 23. Рух катодних плям в магнітному полі. | 4 |
| 25 | Тема 24. Імпульсні прискорювачі металевої плазми. | 5 |
| 26 | Тема 25. Потужний імпульсний прискорювач. | 5 |
| 27 | Тема 26. Металізація в вакуумі торцевими плазмовими прискорювачами. | 4 |

| | | |
|----|---|-----|
| 28 | Тема 27. Метод конденсації з іонним бомбардуванням (КІБ). | 4 |
| 29 | Тема 28. Методи чистки поверхні зразків і деталей перед осадженням покриттів. | 4 |
| 30 | Тема 29. Експериментальні установки. | 5 |
| 31 | Тема 30. Параметри плазми при нанесенні покриттів. | 4 |
| 32 | Тема 31. Алмазоподібні вуглецеві покриття. | 5 |
| 33 | Тема 32. Використання потужних прискорювачів плазми для моделювання процесів на першій стінці і диверторних пластинах термоядерного реактора. | 5 |
| 28 | Курсова робота | 15 |
| | Разом за II семестр | 72 |
| | Разом | 144 |

6. Індивідуальні завдання 1 курсова робота (15 годин)

7. Методи навчання

Онлайн-навчання – застосовано під час карантину та військового стану з застосуванням електронних засобів зв'язку.

E-learning - презентації, презентації з анімацією, відеофільми, онлайн сайти та інше.

Оффлайн-навчання – аудиторне навчання за всіма традиційними формами

Асинхронне навчання –при консультуванні через електронну пошту.

8. Методи контролю

Навчальним планом передбачені наступні методи контролю:

Контрольна робота за матеріалами першого та другого розділу;

Залік

Контрольна робота за матеріалами третього та четвертого розділу;

Іспит

9. Схема нарахування балів Семестр I.

| Поточний контроль, самостійна робота, індивідуальні завдання | | | | Сума |
|--|--|------------------------|-------|------|
| Самостійна робота | Контрольні роботи, передбачені навчальним планом | Індивідуальне завдання | Разом | |
| - | 60 | 40 | 100 | 100 |

Семестр II.

| Поточний контроль, самостійна робота, індивідуальні завдання | | | | Екзамен (залікова робота) | Сума |
|--|--|---------------------------|-------|---------------------------------|------|
| Самостійна робота | Контрольні роботи, передбачені навчальним планом | Індивідуальне завдання | Разом | | |
| - | 25 | 15 | 40 | 60 | 100 |

Критерії оцінювання виконання завдань контрольної роботи в I семестрі.

1. Контрольна робота складається з 6 завдань, кожне завдання оцінюється за 10 бальною шкалою.
2. Загальна оцінка виконання контрольної роботи є єдиною оцінкою за виконання всіх завдань роботи.
3. Бали з оцінки кожного завдання знімаються за :
 - принципові помилки, тобто помилки, що свідчать про нерозуміння сутності проблеми, використання хибних науково-технологічних положень – від 5 до 10 балів;
 - вагомні помилки, тобто помилки, що свідчать про спрощений підхід до розгляду питання та відсутність належного аналізу – від 4 до 7 балів.
 - помилки за неухважністю та неакуратністю, вживання сленгу та ненаукової термінології - від 1 до 4 балів.
4. Виконання контрольної роботи оцінюється сумою балів.

Критерії оцінювання виконання завдань залікової роботи в I семестрі.

1. Залікова робота складається з 4 завдань, кожне завдання оцінюється за 10 бальною шкалою.
2. Загальна оцінка виконання залікової роботи є єдиною оцінкою за виконання всіх завдань роботи.
3. Бали з оцінки кожного завдання знімаються за :
 - принципові помилки, тобто помилки, що свідчать про нерозуміння сутності проблеми, використання хибних науково-технологічних положень – від 5 до 10 балів;
 - вагомні помилки, тобто помилки, що свідчать про спрощений підхід до розгляду питання та відсутність належного аналізу – від 4 до 7 балів.
 - помилки за неухважністю та неакуратністю, вживання сленгу та ненаукової термінології - від 1 до 4 балів.
4. Виконання залікової роботи оцінюється сумою балів.

Критерії оцінювання виконання завдань контрольної роботи в II семестрі.

1. Контрольна робота складається з 2 завдань, кожне завдання оцінюється за 10 бальною шкалою.
2. Загальна оцінка виконання контрольної роботи є єдиною оцінкою за виконання всіх завдань роботи.
3. Бали з оцінки кожного завдання знімаються за :
 - принципові помилки, тобто помилки, що свідчать про нерозуміння сутності проблеми, використання хибних науково-технологічних положень – від 5 до 10 балів;
 - вагомні помилки, тобто помилки, що свідчать про спрощений підхід до розгляду питання та відсутність належного аналізу – від 4 до 7 балів.

- помилки за неуважністю та неакуратністю, вживання сленгу та ненаукової термінології - від 1 до 4 балів.

4. Виконання контрольної роботи оцінюється сумою балів.

Критерії оцінки курсової роботи в II семестрі.

1. Курсова робота оцінюється з суми балів, що виставив керівник роботи та оцінки прийомної комісії:
 - керівник оцінює роботу за 10 бальною шкалою, та обґрунтовує в відгуку керівника, що надається,
 - комісія заслуховує результати курсової роботи та оцінює її за 10 бальною шкалою.

Критерії оцінки екзаменаційної роботи в II семестрі.

1. Екзаменаційна робота складається з 3 завдань, кожне завдання оцінюється за 20 бальною шкалою.
2. Загальна оцінка виконання екзаменаційної роботи є єдиною оцінкою за виконання всіх завдань роботи.
3. Бали з оцінки кожного завдання знімаються за :
 - принципові помилки, тобто помилки, що свідчать про нерозуміння сутності проблеми, використання хибних науково-технологічних положень – від 10 до 20 балів;
 - вагомні помилки, тобто помилки, що свідчать про спрощений підхід до розгляду питання та відсутність належного аналізу – від 5 до 10 балів.
 - помилки за неуважністю та неакуратністю, вживання сленгу та ненаукової термінології - від 1 до 5 балів.
4. Виконання екзаменаційної роботи оцінюється сумою балів.

Для допуску до складання підсумкового контролю (заліку, або екзамену) здобувач вищої освіти повинен набрати не менше 50 балів з навчальної дисципліни під час поточного контролю, самостійної роботи, індивідуального завдання.

Шкала оцінювання

| Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру | Оцінка | |
|--|-------------------------------------|----------------------------------|
| | для чотирирівневої шкали оцінювання | для дворівневої шкали оцінювання |
| 90 – 100 | відмінно | зараховано |
| 70-89 | добре | |
| 50-69 | задовільно | |
| 1-49 | незадовільно | не зараховано |

10. Рекомендована література

Основна література

1. R. O. Dendy. Plasma Dynamics (Oxford Science Publications) Clarendon Press; 1990- 176 p. - ISBN-13 : 978-0198520412
2. A.I. Morozov. Introduction to Plasma Dynamics, Taylor and Francis pub. 2013, ISBN 9780429111631, <https://doi.org/10.1201/b13929>

3. Eliezer S., Eliezer Y. The fourth state of matter. An introduction to plasma science. IOP, Institute of Physics Publishing, Bristol and Philadelphia, 2001, 224 p.
4. Introduction to Plasma Physics and Controlled Fusion Springer Cham Heidelberg New York Dordrecht London © Springer International Publishing Switzerland 2016, 497 p

Допоміжна література

1. Features of materials alloying under exposures to pulsed plasma streams. European Physical Journal D. 54, (2009)185–188 V.A.Makhlaj, I.E.Garkusha, A.N. Bandura et al.
2. Experimental study of plasma energy transfer and material erosion under ELM-like heat loads. Journ. Nucl. Mater. 2009, v.390-391, p.814-817. I.E. Garkusha, V.A. Makhlaj, V.V. Chebotarev
3. PLASMA 2007, editors: H-J.Hartfuss, M. Dudeck, J.Musielok, M.J. Sadowski. AIP, CP993, 2008, I.E. Garkusha, V.V. Chebotarev, A. Hassanein et al., Dynamics of Xenon Plasma Streams generated by Magnetoplasma Compressor. p.341-344. V.V.Chebotarev, I.E.Garkusha, I.S.Landman et al.Application of quasi-steady-state plasma streams for material studies. p.371-378.
4. O.V. Byrka, V.V. Chebotarev, I.E. Garkusha et al. Application of powerful quasi-steady-state plasma accelerators for simulation of ITER transient heat loads on divertor surfaces. Plasma Phys. Control. Fusion, 49 (2007) A231-A239.
5. I.O. Misiruk, O.I. Timoshenko, V.S. Taran, I.E Garkusha. Application of plasma nitriding in medical implants post-processing. Plasma Physics and Technology, Vol. 1, № 2, 2014, p. 58
6. I.E. Garkusha, T.N. Cherednychenko, M.S. Ladygina, V.A. Makhlaj, Yu.V. Petrov, D.G. Solyakov, V.V. Staltsov, D.V. Yelisyeyev, A. Hassanein. EUV Radiation from Pinching Discharges of MPC Type and its Dependence on Dynamics of Compression Zone Formation. Physica Scripta T161 (2014) 014037.
7. I.E. Garkusha. High current plasma accelerators: physics and applications. «Journal of Kharkiv National University», № 1040, 2013 physical series «Nuclei, Particles, Fields», issue 1 /57/ pp.28-39.
- 8 V.I. Tereshin. Quasi-stationary plasma accelerators (QSPA) and their applications. Plasma Physics and Controlled Fusion. Volume 37 (1995) pp. 177-190.
9. Mahan J.E., Physical vapor deposition of thin films. Wiley, New York, 2000, 312 c.
10. H. Alfven. Cosmical Electrodynamics, 248 p.

11. Посилання на інформаційні ресурси в Інтернеті, відео-лекції, інше методичне забезпечення

Plasma and Plasma Physics, UKAEA Webinars <https://www.youtube.com/watch?v=E8Fqdg4eI00>