

СИЛАБУС
навчальної дисципліни
«ОСНОВИ ФІЗИКИ ПЛАЗМИ»

Галузь знань	10 - <i>Природничі науки</i>
Спеціальність	104 – <i>Фізика та астрономія</i>
Освітня програма	<i>Фізика ядра, фізика елементарних частинок і високих енергій; ядерно-фізичні установки; радіаційна фізика конденсованого стану; фізика плазми і ядерного синтезу</i>
Освітній рівень	доктор філософії
Статус дисципліни	<i>Фаховий / Вибірковий</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Курс / семестр	<i>II (III) курс, 1 (2) семестр</i>
Кількість кредитів ЄКТС	<i>4 кредити</i>
Розподіл за видами занять та годинами навчання	<i>Лекції – 32 год.</i>
	<i>Практичні (семінарські) – 16 год.</i>
	<i>Лабораторні – 0. год.</i>
	<i>Самостійна робота – 70 год.</i>
Форма підсумкового контролю	<i>Іспит</i>
Відділ	<i>Відділ теорії ядерного синтезу, ІЯД НАН України, корп. 101, тел. +380-44-525-4283, http://www.kinr.kiev.ua/departments/fusion_theory/fusion_theory_ua.html</i>
Викладач (-і)	<i>Яковенко Юрій Володимирович, провідний науковий співробітник, д. ф.-м. н., с.н.с.</i>
Контактна інформація викладача (-ів)	<i>yakovenko@kinr.kiev.ua, +380-67-506-2096</i>
Дні занять	<i>П'ятниця</i>
Консультації	<i>Дистанційні, за домовленістю з ініціативи здобувача, групові</i>

1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

Мета навчальної дисципліни - формування у аспірантів компетентностей у галузі фізики плазми.

Предмет навчальної дисципліни – фізика плазми.

Компетентності

Інтегральна компетентність (ІК): Здатність продукувати нові ідеї, розв'язувати комплексні проблеми науково-дослідницької та/або розробницької, та/або інноваційної діяльності у сфері фізики та/або астрономії, застосовувати методологію науково-дослідницької та педагогічної діяльності, а також проводити власне наукове дослідження, результати якого мають наукову новизну, теоретичне та практичне значення.

Загальні компетентності (ЗК):

ЗК.01. Здатність генерувати нові ідеї (креативність).

ЗК.02. Здатність працювати в міжнародному контексті.

ЗК.03. Здатність розв'язувати комплексні наукові проблеми на основі системного наукового світогляду та загального культурного кругозору із дотриманням професійної

етики та академічної доброчесності.

Спеціальні (фахові) компетентності (СК):

- СК.01. Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми дослідницького характеру в сфері фізики та/або астрономії, інтегрувати знання з різних галузей, оцінювати та забезпечувати якість виконуваних досліджень.
- СК.02. Здатність відстежувати тенденції розвитку фізики та/або астрономії, їх прикладних застосувань, критично переосмислювати наявні знання та методи фундаментальних та прикладних наукових досліджень.
- СК.03. 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 в письмовій формі, опрацьовувати наукову літературу з фізики та/або астрономії і ефективно використовувати нову інформацію з різних джерел.
- СК.06. Здатність застосовувати сучасні методи, методики, технології, інструменти та обладнання для проведення прикладних та фундаментальних наукових досліджень у галузі фізики та/або астрономії.

Програмні результати навчання

- РН01. Вміти застосовувати базові математичні знання, які використовуються у фізиці та астрономії: з аналітичної геометрії, лінійної алгебри, математичного аналізу, диференціальних та інтегральних рівнянь, теорії ймовірностей та математичної статистики, теорії груп, методів математичної фізики, теорії функцій комплексної змінної, математичного моделювання.
- РН02. Аналізувати та оцінювати стан і перспективи розвитку фізики та/або астрономії, а також дотичних міждисциплінарних напрямів.
- РН03. Вільно презентувати та обговорювати державною мовою, а також англійською мовою чи одною з офіційних мов Європейського Союзу, результати наукових досліджень, фундаментальні та прикладні проблеми фізики та/або астрономії, публікувати результати наукових досліджень у наукових виданнях, що індексуються у базах Scopus та WoS Core Collection.
- РН04. Формулювати і перевіряти гіпотези; використовувати для обґрунтування висновків належні докази, зокрема, результати теоретичних і експериментальних досліджень, математичного моделювання, комп'ютерного експерименту, а також наявні літературні дані.
- РН05. Розробляти моделі процесів і систем у фізиці та/або астрономії та дотичних міждисциплінарних напрямках, використовувати їх у науково-дослідницькій діяльності для отримання нових знань та/або створення розробок та інноваційних продуктів.
- РН09. Глибоко розуміти загальні принципи та методи природничих наук, а також методологію наукових досліджень, місце фізики в системі наукових знань як методологічної основи природничих, інженерних наук та технологій; застосувати їх у власних дослідженнях у сфері фізики та/або астрономії та у викладацькій діяльності.

Після засвоєння матеріалу дисципліни аспіранти повинен: знати визначення плазми; рівняння дрейфового руху заряджених частинок в електромагнітному полі; методи опису нелінійної взаємодії хвиль і заряджених частинок та хвиль між собою; критерії стохастичності руху частинок в електромагнітному полі; особливості зіткнень заряджених частинок у плазмі; процеси перенесення частинок та енергії; визначення та властивості тензора діелектричної проникності плазми; основні типи хвиль в ізотропній і магнітоактивній плазмі; найважливіші механізми нестійкостей нерівноважної плазми; **уміти** вибирати ту чи іншу теоретичну модель для опису фізичних процесів у плазмових системах; застосовувати основні теоретичні методи для розв'язування рівнянь моделі; аналізувати фізичний сенс

отриманих розв'язків та давати фізичну інтерпретацію досліджуваних явищ; **самостійно працювати** з навчальною, науковою та довідковою літературою з фізики плазми українською та іноземними мовами.

Передумови для навчання

Перелік попередньо прослуханих дисциплін / Знання, вміння, навички, якими повинен володіти здобувач, щоб приступити до вивчення дисципліни

Для успішного засвоєння дисципліни аспірант повинен знати загальну фізику, теорію електромагнітного поля, механіку та електродинаміку суцільного середовища, статистичну фізику, фізичну кінетику та квантову механіку в обсязі стандартних університетських курсів.

Зміст навчальної дисципліни

Дисципліну структурно розділено на 2 розділи (модулі):

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

Розділ 2. Хвилі та нестійкості в плазмі.

Матеріально-технічне (програмне) забезпечення дисципліни

Для роботи (зокрема, розрахунків при виконанні практичних завдань) за темою курсу потрібен персональний комп'ютер; можна вважати, що ця вимога легко задовольняється для аспірантів ІЯД НАН України у тих відділах, де виконується наукова робота (навіть якщо аспірант не має ані особистого комп'ютера вдома, ані ноутбука). Отже, кожний відділ у змозі створити аспірантові достатні умови для виконання завдань курсу.

Сторінка курсу на платформі Інституту (персональна навчальна система)

Наразі такої немає.

Рекомендовані джерела

Базова література:

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред. — М.: Наука, 1982.
2. Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П. Физическая кинетика. — М.: Наука, 1979.
3. Кадомцев Б.Б. Коллективные явления в плазме. — М.: Наука, 1976.
4. Заславский Г.М., Сагдеев Р.З. Введение в нелинейную физику: от маятника до турбулентности и хаоса. — М.: Наука, 1988.
5. Трубников Б.А. Столкновения частиц в полностью ионизованной плазме. — В сб.: Вопросы теории плазмы, вып. 1, с. 98. — М.: Госатомиздат, 1963.
6. Шафранов В.Д. Электромагнитные волны в плазме. — В сб.: Вопросы теории плазмы, вып. 3, с. 3. — М.: Госатомиздат, 1963.
7. Франк-Каменецкий Д.А. Лекции по физике плазмы. — М.: Атомиздат, 1968.
8. Ситенко А.Г., Мальнев В.М. Основы теории плазмы. — К.: Наукова думка, 1994.
9. Загородний А.Г., Черемных О.К. Введение в физику плазмы. — К.: Наукова думка, 2014. — 696 с.
10. Bellan P.M. Fundamentals of Plasma Physics. — Cambridge: Cambridge University Press, 2006.
11. White R.V. The Theory of Toroidally Confined Plasmas. — London: Imperial College Press, 2006 (або ж White R.V. Theory of Tokamak Plasmas. — Amsterdam: North-Holland, 1989).
12. Чен Ф. Введение в физику плазмы. — М.: Мир, 1987.
13. Кравцов Ю.А., Орлов Ю.И. Геометрическая оптика неоднородных сред. — М.: Наука, 1980.
14. Котельников И.А., Ступаков Г.В. Лекции по физике плазмы. Новосибирск: НГУ, 1996.

Допоміжна література:

15. Huba J.D. Revised NRL Plasma Formulary. — Washington: Naval Research Laboratory, 1998.

Навчальний контент

Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Загальний методичний підхід до викладання навчальної дисципліни визначається як комунікативно-когнітивний та професійно орієнтований, згідно з яким у центрі освітнього процесу знаходиться аспірант – суб'єкт навчання і майбутній науковець.

Лекційні заняття

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

Лекція 1. Визначення та основні властивості плазми. Вступ: мета, завдання та структура курсу. Визначення плазми. Квазинейтральність. Ленгмюрові коливання. Радіус Дебая та екранування зарядів. Колективний характер взаємодії у плазмі. Ідеальна (в термодинамічному сенсі) плазма. Огляд областей застосування фізики плазми та різновидів плазми.

Лекція 2. Магнітогідродинамічна (МГД) модель плазми. Рівняння магнітної гідродинаміки. Вмерзлість та дифузія магнітного поля. Рівновага та рівняння балансу сил. Магнітні поверхні. Пружність магнітних силових ліній. Діамагнетизм плазми.

Лекція 3. Рух частинок в електромагнітному полі – 1. Рух заряджених частинок в однорідному магнітному полі. Ларморове коло. Рух заряджених частинок у схрещених електричному та магнітному полях. Дрейф частинки під дією зовнішньої сили. Адіабатична інваріантність магнітного моменту в слабко неоднорідному полі. Слабко неоднорідні поля та дрейфове наближення. Головні типи дрейфів.

Лекція 4. Рух частинок в електромагнітному полі – 2. Лагранжів підхід до дрейфового наближення. Магнітне дзеркало та коливання зарядженої частинки між магнітними дзеркалами. Радіаційні пояси Землі.

Лекція 5. Резонансний рух частинок та стохастичність. Нелінійна теорія резонансу в гамільтонових системах: резонансні острови та динаміка частинок, захоплених у резонансі. Виникнення хаосу при перекритті резонансних островів. Детермінована стохастичність та її фізичний зміст. Критерій Чирикова. Стохастизація магнітного поля.

Лекція 6. Зіткнення в плазмі - 1. Транспортний переріз розсіювання та кулонівський логарифм. Розсіювання струменя на частинках великої маси. Частоти гальмування, поперечного та поздовжнього розсіювання.

Лекція 7. Зіткнення в плазмі - 2. Характерні часи передачі імпульсу та енергії від струменя до частинок довільної маси. Вплив теплового руху розсіюючих частинок.

Лекція 8. Зіткненняве перенесення в плазмі. Характерні часи релаксації функції розподілу. Спітцера провідність. Електрони-втікачі. Рівновага в двоплинній моделі та дрейфові потоки. Класична дифузія поперек магнітного поля. Амбіполярність класичної дифузії.

Розділ 2. Хвилі та нестійкості в плазмі.

Лекція 9. МГД хвилі. Лінеаризація рівнянь МГД. Альфвенів хвилі: дисперсія, властивості, характер рух плазми. Магнітозвукові хвилі: дисперсія, властивості, характер руху плазми.

Лекція 10. МГД нестійкості. Енергетичний принцип. Джерела енергії гвинтової та конвективної нестійкостей. Конвективна нестійкість плазмового циліндра зі струмом.

Лекція 11. Хвилі в двоплинній МГД. Дисперсія ленгмюрових хвиль з урахуванням теплового руху частинок. Дисперсія йонно-звукових хвиль у плазмі без магнітного поля. Поперечні хвилі в холодній плазмі та частота відсічки. Верхньогібридні та нижньогібридні коливання.

Лекція 12. Комплексна діелектрична проникність та дисперсія хвиль – 1. Наближення геометричної оптики. Комплексна провідність та комплексна діелектрична проникність. Часова та просторова дисперсія. Дисперсійне рівняння та його використання для аналізу

коливань.

Лекція 13. Комплексна діелектрична проникність та дисперсія хвиль – 2. Поздовжні та поперечні коливання в ізотропній плазмі. Типи коливань у плазмі з магнітним полем. Тензор діелектричної проникності в МГД-наближенні.

Лекція 14. Кінетичний підхід до вивчення хвиль у плазмі - 1. Рівняння Власова. Задача Ландау. Перетворення Лапласа та його застосування до задачі Ландау. Кінетична теорія ленгмюрових коливань.

Лекція 15. Кінетичний підхід до вивчення хвиль у плазмі - 2. Згасання Ландау. Згасання Ландау та резонансні острови. Згасання Ландау та причинність. Поняття про плазмово-струменеву нестійкість.

Лекція 16. Нелінійна теорія хвиль у плазмі. Рівняння трихвильових процесів. Співвідношення Менлі-Роу. Квантовомеханічна інтерпретація. Розпади хвиль. Квазілінійна теорія.

Практичні заняття

Заняття 1. Опрацювання завдання 1. Спільний розбір проблемних задач завдання 1.

Заняття 2. Опрацювання завдання 1. Спільний розбір проблемних задач завдання 1.

Заняття 3. Опрацювання завдання 1. Спільний розбір проблемних задач завдання 1.

Заняття 4. Контрольна робота 1. Перевірка засвоєння модуля 1.

Заняття 5. Опрацювання завдання 2. Спільний розбір проблемних задач завдання 2.

Заняття 6. Опрацювання завдання 2. Спільний розбір проблемних задач завдання 2.

Заняття 7. Опрацювання завдання 2. Спільний розбір проблемних задач завдання 2.

Заняття 8. Контрольна робота 2. Перевірка засвоєння модуля 2.

Самостійна робота аспіранта

Самостійна робота здобувача наукового ступеня доктора філософії є основним засобом засвоєння навчального матеріалу у вільний від навчальних занять час і включає:

Вид самостійної роботи

Кількість годин

Опрацювання матеріалу лекцій та літератури 25

Виконання практичних завдань 20

Підготовка до контрольних робіт 5

Підготовка до іспиту 20

Політика та контроль

Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог, які викладач ставить перед аспірантом:

- Правила відвідування занять: не оцінюється балами присутність або відсутність здобувача на аудиторному занятті. Відповідно до робочої навчальної програми даної дисципліни, бали нараховують за відповідні види навчальної активності на лекційних та практичних заняттях.
- Правила поведінки на заняттях: аспірант має можливість отримувати бали за відповідні види навчальної активності на лекційних заняттях, передбачені робочої навчальної програми дисципліни.
- За вказівкою викладача можливе проведення занять онлайн та використання засобів зв'язку для пошуку інформації на гугл-диску викладача.
- Політика дедлайнів та перескладань: якщо аспірант не проходив або не з'явився на модульної контрольної роботи (без поважної причини), його результат оцінюється у 0 балів. Перескладання результатів модульної контрольної роботи не передбачено.
- Здача практичних завдань відбувається з представленням розв'язків задач у паперовому або електронному вигляді. Аспірант мусить «захистити» розв'язки деяких задач на вибір викладача.
- При виконанні контрольних робіт та під час іспиту дозволяється використання довідкової літератури, як в паперовому вигляді, так і в інтернеті.

- Політика щодо академічної доброчесності. Положення встановлює загальні моральні принципи, правила етичної поведінки осіб та передбачає політику академічної доброчесності для осіб, що працюють і навчаються в Інституті, якими вони мають керуватись у своїй діяльності, в тому числі при вивченні та складанні контрольних заходів з цієї дисципліни.
- При використанні цифрових засобів зв'язку з викладачем (мобільний зв'язок, електронна пошта, переписка на форумах та у соцмережах тощо) необхідно дотримуватись загальноприйнятих етичних норм, зокрема бути ввічливим та обмежувати спілкування робочим часом викладача.

Система оцінювання результатів навчання

Види контролю та система оцінювання результатів навчання

Поточний контроль: опитування за темою заняття, МКР.

Календарний контроль: провадиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.

Семестровий контроль: іспит.

Умови допуску до семестрового контролю: відсутні.

Рейтинг аспіранта з дисципліни складається з балів, які він отримує:

- 1) за роботу на практичних заняттях;
- 2) за самостійні практичні завдання;
- 3) за модульні контрольні роботи (МКР);
- 4) за відповідь на екзамені.

Система рейтингових балів

1) Самостійні практичні завдання. Максимальна кількість балів, які може отримати аспірант за виконання самостійних практичних завдань становить $2 \times 14 = 28$ балів. Нарахування балів за одне самостійне завдання:

- повна виконання (не менше 90 % обсягу) – 13-14 балів;
- достатньо повне виконання (не менше 75 % потрібної інформації) – 9-12 балів;
- неповне виконання (не менше 60 % потрібної інформації) – 5-8 балів;
- незадовільне виконання (менше 60 % потрібної інформації) – 0 балів.

2) Практичні заняття. Максимальна кількість балів, які може отримати аспірант на практичних заняттях становить $6 \times 2 = 12$ балів. Нарахування балів на одному практичному занятті:

- відмінна підготовка до заняття – 2 бали;
- задовільна, достатня підготовка – 1 бал.

3) МКР. Максимальна кількість балів за МКР становить $2 \times 10 = 20$ балів. Нарахування балів:

- «відмінно», повна відповідь (не менше 90 % потрібної інформації) – 9-10 балів;
- «добре», достатньо повна відповідь (не менше 75 % потрібної інформації або незначні неточності) – 6-8 балів;
- «задовільно», неповна відповідь (не менше 60 % потрібної інформації та деякі помилки) – 3-5 балів;
- «незадовільно», незадовільна відповідь (менше 60 % потрібної інформації) – 0 балів.

4). Екзамен. Завдання містить два теоретичні питання та задачу. Кожне з яких оцінюються у 15 балів, задача – 10 балів. Всього $2 \times 15 + 10 = 40$ балів.

Нарахування балів за екзаменаційну відповідь:

- повна відповідь (не менше 90 % потрібної інформації) – 14-15 балів;
- достатньо повна відповідь (не менше 75 % потрібної інформації) – 10-13 балів;
- неповна відповідь (не менше 60 % потрібної інформації) – 7-9 балів;
- незадовільна відповідь (менше 60 % потрібної інформації) – 0 балів.

Нарахування балів за екзаменаційну задачу:

- відмінний розв'язок (не менше 90 % потрібної інформації) – 9-10 балів;
- достатньо якісний розв'язок (не менше 75 % потрібної інформації) – 6-8 балів;

- неповний розв'язок (не менше 60 % потрібної інформації та помилки) – 3-5 балів;
- незадовільна відповідь (менше 60 % потрібної інформації та істотні помилки) – 0 балів.

Накопичування рейтингових балів з навчальної дисципліни

Види навчальної роботи	Мах кількість балів
Виконання самостійних практичних завдань	28
Виконання практичної роботи аудиторно	12
Контрольна робота	20
Іспит	40
Максимальна кількість балів	100

Відповідність шкали оцінювання ЄКТС національній системі оцінювання та ІЯД НАНУ

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ЄКТС	Оцінка за національною шкалою	
		для екзамену (іспиту), диференційованого заліку, курсового проєкту (роботи), практики, тренінгу	для заліку
90 – 100	A	відмінно	зараховано
82 – 89	B	добре	
75 – 81	C		
69 – 74	D		
60 – 68	E	задовільно достатньо	не зараховано
35 – 59	FX	незадовільно	
1 – 34	F		

Більш детальну інформацію щодо компетентностей, результатів навчання, методів навчання, форм оцінювання, самостійної роботи наведено у Робочій програмі навчальної дисципліни, див сайт ІЯД.

Силабус затверджено на засіданні вченої ради ІЯД НАНУ « 5 » липня 2023 р. Протокол № 6.