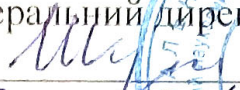


НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ НАУКОВИЙ ЦЕНТР
«ХАРКІВСЬКИЙ ФІЗИКО-ТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Генеральний директор

 Микола ШУЛЬГА
« 30 » 2022 р.



РОБОЧА ПРОГРАМА
навчальної дисципліни

МАГНІТНЕ УТРИМАННЯ 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	За вибором аспіранта
Інститут	Інститут Фізики Плазми ІНЦ ХХФТІ

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

Заступник Генерального директора ННЦ ХФТІ з наукової роботи
ГАРКУША Ігор Євгенійович

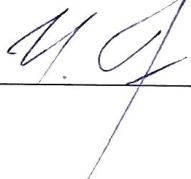
д.ф.-м.н., с.н.с

Завідувач відділу стелараторів МОІСЕЄНКО Вольдимир Євгенович

Програму схвалено на засіданні Науково-технічної ради Інституту
фізики плазми _____

від "19" 10 2022 року, протокол № 2

Науковий керівник Інституту Фізики Плазми ННЦ ХФТІ



(підпис)

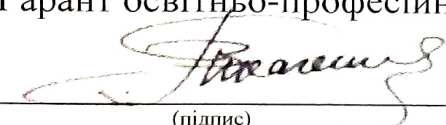
Ігор ГАРКУША

(прізвище та ініціали)

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

назва освітньої програми

Гарант освітньо-професійної програми «Фізика та астрономія»



(підпис)

Віктор ТКАЧЕНКО

(прізвище та ініціали)

Програма навчальної дисципліни «Утримання плазми» складена відповідно до освітньо-наукової програми підготовки третього (аспірант) рівня вищої освіти. Галузь знань: 10 – «Природничі науки». Спеціальність: 104 – «фізика і астрономія». Фахова орієнтація: «Фізика плазми».

1. ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

1.1. Мета викладання навчальної дисципліни.

Метою викладання навчальної дисципліни є надання знань про основні властивості термоядерної плазми, підходи до реалізації магнітного утримання плазми в установках типу Токамак та стеларатор, питання рівноваги плазми, основні схеми створення та нагрівання плазми, діагностики високотемпературної плазми тощо.

1.2. Основні завдання вивчення дисципліни.

Основними завданнями вивчення дисципліни «Утримання плазми» є надання аспірантам 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 нагрівання та утримання плазми або електродинамічних явищ, а також для розробки стратегії розв'язання більш серйозних проблем, повністю або частково пов'язаних з проблемою керованого термоядерного синтезу.

1.2.1. Загальні компетентності:

- ЗК01. Здатність генерувати нові ідеї (креативність).
- ЗК03. Здатність розв'язувати комплексні наукові проблеми на основі системного наукового світогляду та загального культурного кругозору із дотриманням професійної етики та академічної доброчесності.

1.2.2. Фахові компетентності:

- СК06. Здатність застосовувати сучасні методи, методики, технології, інструменти та обладнання для проведення прикладних та фундаментальних наукових досліджень у галузі фізики.
- СК09. Уміння формулювати робочі гіпотези та моделі досліджуваної проблеми.
- СК31. Компетенція у сфері магнітного утримання плазми.

1.3. Кількість кредитів 4

1.4. Загальна кількість годин 120

1.5. Опис навчальної дисципліни «Утримання плазми»

Галузь знань, напрям підготовки, спеціальність, освітньо-кваліфікаційний рівень	
Галузь знань	10 – Природничі науки
напрямок підготовки	104 – фізика та астрономія
спеціальність	
освітньо-кваліфікаційний рівень	Доктор філософії
Мова навчання	Українська, англійська
Характеристика навчальної дисципліни	
Вид	За вибором аспіранта
Загальна кількість годин	120
Кількість кредитів ECTS	4
Кількість змістових модулів	2
Форма контролю	залік
Показники навчальної дисципліни	
Рік підготовки	III
Лекційні заняття	32
Практичні заняття	16
Самостійна робота	70
Консультації	2

1.6. Передумови для вивчення дисципліни.

Передумовою вивчення дисципліни є базова освіта магістерського рівня в галузі фізики, лекційний курс основи фізики плазми, що викладається раніше або паралельно.

1.7. Заплановані результати навчання:

Згідно з освітньо-науковою програмою аспіранти мають досягти таких результатів навчання:

- РН5. Планувати і виконувати експериментальні та/або теоретичні дослідження з фізики 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.
- РН6. 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.
- РН40. Знати фізичні принципи утримання високотемпературної плазми та будову пасток. Уміти оцінити основні параметри плазми у пастці. Вміти оцінювати характерні інженерно-фізичні параметри пристроїв керованого термоядерного синтезу.

Для цього аспіранти мають досягти наступних результатів.

Знати:

- принципи магнітного утримання, токамаки та стеларатори;
- основи фізики високотемпературної плазми;
- використання сучасних діагностик плазми в наукових дослідженнях та технологіях;
- методи обробки та інтерпретації експериментально отриманих результатів.

Вміти:

- описувати електромагнітні 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 аспірантів з принципами фізики плазми, а саме магнітного утримання, діагностики та використання сучасних методів нагрівання плазми в наукових дослідженнях та технологіях.

2. ЗМІСТ ТА СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

2.1. Тематичний план навчальної дисципліни

МОДУЛЬ 1

Тема 1. Шлях до «термояду». Від перших ідей до наших днів.

Тема 2. Рівновага плазми. Теорема віріала, рівновага ізотропної плазми, рівновага анізотропної плазми, плазма як діаманетик.

Тема 3. Пінчі. Рівновага в пінчу, зет-пінч та тета-пінч, гвинтовий пінч, безсилові конфігурації.

Тема 4. Нестійкості пінчів. Перетяжки, змійки, гвинтові збурення, критерій Сайдема. Критерій Мерсьє.

Тема 5. Жолобкова нестійкість. Умова конвективної нестійкості Кадомцева, критерій Розенблюта – Лонгмайра, інкремент жолобкової нестійкості, методи стабілізації.

Тема 6. Відкриті магнітні пастки. Пробкотрони, концептуальні основи, дзеркальна геометрія, конус втрат, різновиди відкритих пасток, сучасні експериментальні установки.

МОДУЛЬ 2.

Тема 7. Токамаки. Токамаки, тороїдальний струм, магнітні поверхні. Рівняння Греда-Шафранова, магнітні острови. «бананова» дифузія Галєєва-Сагдєєва (режим рідкісних зіткнень); область «плато»; режим Пфірша-Шлютера (режим сильних зіткнень).

Тема 8. Стеларатори. Особливості неокласичного переносу в стелараторах, його оптимізація. Бутстреп струм. Різновиди стелараторів, торсатрони/ геліотрони, оптимізовані стеларатори.

Тема 9. Методи нагрівання плазми. Омічний нагрів, іонно-циклотронний резонанс, електронно-циклотронний резонанс, інжекція нейтральних пучків.

Тема 10. Методи діагностики гарячої плазми. Спектроскопія, інтерферометрія, лазерне розсіювання, корпускулярна діагностика (активна, пасивна), СВЧ діагностика, зондові методи.

Тема 11. Сучасні великі термоядерні установки. Досягнуті параметри в тороїдальних пастках (Joint European Torus (JET), EURATOM (Великобританія), JT – 60 Super Advanced (Японія), Large Helical Device (Японія), Wendelstein7-X (ФРН)).

Тема 12. Міжнародний термоядерний реактор – (ITER – ITER, Франція), його цілі і завдання. Проблеми безпечної роботи термоядерних реакторів.

3. СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Назви розділів і тем	Кількість годин					
	денна форма					
	усього	у тому числі				
		л	п	лаб	кон	с.р.
1	2	3	4	5	6	7
Модуль I.					1	
Тема 1. Шлях до «термояду». Від перших ідей до наших днів.	8	2	-	-	-	5
Тема 2. Рівновага плазми.	10	4	-	-	-	6
Тема 3. Пінчі	10	4	-	-	-	6
Тема 4. Нестійкості пінчів	10	4	-	-	-	6
Тема 5. Жолобкова нестійкість	10	4	-	-	-	6
Тема 6. Відкриті магнітні пастки.	12	6	-	-	-	6
Разом Модуль I:	60	24	-		1	35
Модуль II.					1	
Тема 7. Токамаки.	8	1	-	-	-	7
Тема 8. Стеларатори	12	1	8	-	-	3
Тема 9. Методи нагрівання плазми	10	1	4	-	-	5
Тема 10. Методи діагностики гарячої плазми	10	1	4	-	-	5
Тема 11. Сучасні великі термоядерні установки	10	2	-	-	-	8

Тема 12. Міжнародний термоядерний реактор – (ITER – ITER, Франція), його цілі і завдання. Проблеми безпечної роботи термоядерних реакторів.	10	2	-			7
Разом Модуль II:	60	8	16	0	1	35
Усього годин:	120	32	16	0	2	70

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

4. МЕТОДИ НАВЧАННЯ

Online-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.

Offline-навчання – аудиторне навчання за всіма традиційними формами.

Асинхронне навчання – при консультуванні через електронну пошту.

5. МЕТОДИ КОНТРОЛЮ

Навчальним планом передбачені наступні методи контролю:

Контрольна робота за матеріалами першого та другого модулю

Залік

6. СХЕМА НАРАХУВАННЯ БАЛІВ

МОДУЛЬ I.

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

МОДУЛЬ II.

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

7. Критерії оцінювання виконання завдань контрольної роботи Модуль 1.

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;
 - вагомі 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.

8. Критерії оцінювання виконання завдань роботи Модуль 2.

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;
 - вагомі 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 залікової роботи оцінюється сумою балів.

9. Критерії оцінки залікової роботи.

1. Залікова робота складається з 3 завдань, кожне завдання оцінюється за 20 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 10 до 20 балів;
 - вагомі 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 залікової роботи оцінюється сумою балів.

10. 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

11. Рекомендована література

Основна література

1. Krall N.A., Trivelpiece A.W., Principles of Plasma Physics, McGraw-Hill, 1973.
2. Huddleston R.H., Leonard S. L. Plasma Diagnostic Techniques, Academic Press, 1965.
3. Hutchinson I.H. Principles of Plasma Diagnostics, Cambridge University Press, 2005.
4. Dendy R.O. Plasma Physics: An Introductory Course, Cambridge University Press, 1995.
5. Eliezer S., Eliezer Y. The fourth state of matter. An introduction to plasma science. IOP, Institute of Physics Publishing, Bristol and Philadelphia, 2001, 224 c.
6. Chen F.F. Introduction to Plasma Physics and Controlled Fusion, Springer International Publishing Switzerland, 2016, <https://doi.org/10.1007/978-3-319-22309-4>
7. Boyd T.J.M., Sanderson J.J. The Physics of Plasmas, Cambridge University Press; 2003. <https://doi:10.1017/CBO9780511755750>
8. Wakatani M. Stellarator and Heliotron Devices, Oxford University Press, 1998.

Допоміжна література

1. H. Alfven. Cosmical Electrodynamics, 248 p.
2. Sakharov A.D. Theory of the magnetic thermonuclear reactor, part II, 1991 Sov. Phys. Usp. 34 378. <https://doi:10.1070/PU1991v034n05ABEH002493>
3. Tamm, I.E. (1991). Theory of a Magnetic Thermonuclear Reactor. In: Bolotovskii, B.M., Frenkel, V.Y., Peierls, R. (eds) Selected Papers. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-74626-0_16
4. Hawryluk R.J. et al. Fusion plasma experiments on TFTR: a 20 year retrospective.

5. Physics of Plasmas. 1998.-5 (5).- P. 1577. Jacquinot J. et al. Overview of ITER. Physics Deuterium-Tritium Experiments in JET// <http://www.iop.org/Jet/fulltext/JETP98031.PDF>.

6. Rebut P.H. Alfen prize lecture. // Proc. 33-d EPS Conf. Plasma Physics. Rome, Italy, 2006.

7. Ситенко О.Г., Мальнев В.М. Основы теории плазмы, К., Наукова думка, 1994.

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

<https://www.youtube.com/channel/UCfhI84QOrypRN8bYQuUhm-w>
Plasma and Plasma Physics, UKAEA Webinars