

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ В. Н. КАРАЗІНА

ПОГОДЖЕНО
ННЦ «ХФТІ»

ЗАТВЕРДЖЕНО
Вченою радою Харківського
національного університету
імені В. Н. Каразіна
(протокол № ____ від _____),
введено в дію наказом
від _____ № _____

Проректор з науково-педагогічної
роботи
_____ Анатолій БАБІЧЕВ

СЕРТИФІКАТНА ОСВІТНЯ ПРОГРАМА
The Stellarator Concept - The Kharkiv Lectures

Харків 2023

ПЕРЕДМОВА

Сертифікатну програму “The Stellarator Concept - The Kharkiv Lectures” розроблено:

Керівник програми – Гаркуша Ігор Євгенійович, доктор фізико-математичних наук, професор, академік НАНУ, завідувач кафедри прикладної фізики та фізики плазми ННІ ФТФ

Гірка Ігор Олександрович, доктор фізико-математичних наук, професор, член-кореспондент НАНУ, професор кафедри прикладної фізики та фізики плазми ННІ ФТФ

Andreas Dinklage, PD Dr., EUROfusion TaskForce Leader, Work Package Wendelstein 7-X; Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Germany.

1. ОПИС СЕРТИФІКАТНОЇ ОСВІТНЬОЇ ПРОГРАМИ

Загальна інформація	
Офіційна назва програми	The Stellarator Concept - The Kharkiv Lectures
Назва структурного підрозділу (кафедра, факультет, навчально-науковий інститут тощо)	кафедра прикладної фізики та фізики плазми ННІ ФТФ
Обсяг (тривалість) програми в годинах та/або кредитах ЄКТС	3 кредити ЄКТС (з урахуванням самостійної (позааудиторної) роботи)
Мова(и) викладання	Англійська, Українська.
Передумови навчання	базові знання з загальної фізики та вищої математики на рівні двох курсів університету за інженерно-фізичними спеціальностями

Мінімальна та максимальна кількість осіб в групі	від 15 до 50 осіб	
Форми навчання та вартість	On-line, безкоштовно	
Інтернет-адреса постійного розміщення опису освітньої програми	http://physics-technology.karazin.ua/academics/osvitni-programi	
Мета програми		
забезпечити потребу здобувачів освіти в галузі фізики керованого термоядерного синтезу, зокрема концепції стеларатора; підготувати на базі курсу лекцій матеріали для опублікування підручника у видавництві Elsevier; залучити широкі верстви українського студентства до участі в реалізації європейських програм створення термоядерних реакторів		
Компетентності, що вдосконалюються/ набуваються		
Загальні компетентності (ЗК)	ЗК1	Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.
	ЗК2	Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.
	ЗК3	Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій.
	ЗК4	Здатність до проведення досліджень на відповідному рівні.
	ЗК5	Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.
Фахові компетентності (ФК)	ФК1	Здатність брати участь у плануванні та виконанні наукових та науково-технічних проектів.
	ФК2	Здатність брати участь у плануванні і виконанні експериментів та лабораторних досліджень властивостей фізичних систем, фізичних явищ і процесів, обробленні й презентації їхніх результатів.
	ФК3	Здатність брати участь у виготовленні експериментальних зразків, інших об'єктів дослідження.
	ФК4	Здатність брати участь у впровадженні результатів досліджень та розробок.

	ФК5	Здатність до постійного розвитку компетентностей у сфері прикладної фізики, інженерії та комп'ютерних технологій.
	ФК6	Здатність використовувати сучасні теоретичні уявлення в галузі фізики для аналізу фізичних систем.
	ФК7	Здатність використовувати методи і засоби теоретичного дослідження та математичного моделювання в професійній діяльності.
	ФК8	Здатність працювати в колективах виконавців, у тому числі в міждисциплінарних проектах.
Результати навчання: знання, уміння/навички		
РН1		Знати і розуміти сучасну фізику на рівні, достатньому для розв'язання складних спеціалізованих задач і практичних проблем прикладної фізики.
РН2		Застосовувати сучасні математичні методи для побудови й аналізу математичних моделей фізичних процесів.
РН3		Застосовувати фізичні, математичні та комп'ютерні моделі для дослідження фізичних явищ, розробки приладів і наукоємних технологій.
РН4		Вибирати ефективні методи та інструментальні засоби проведення досліджень у галузі прикладної фізики.
РН5		Відшукувати необхідну науково-технічну інформацію в науковій літературі, електронних базах, інших джерелах, оцінювати надійність та релевантність інформації.
РН6		Класифікувати, аналізувати та інтерпретувати науково-технічну інформацію в галузі прикладної фізики.
Особливості програми		
Цільова аудиторія слухачів		студенти інженерно-фізичних спеціальностей, які планують працевлаштуватися до наукових центрів з керованого термоядерного синтезу
Найменування замовника		Національний науковий центр "Харківський фізико-технічний інститут", консорціум EUROfusion, програма Euratom Horizon 2020.
Академічні, професійні можливості результатами опанування	за	вступ до магістратури за освітніми програмами, пов'язаними з керованим термоядерним синтезом

програми	
Додаткові послуги (якщо такі передбачаються), вартість	
Трансфер	не передбачаються
Проживання	не передбачаються
Харчування	не передбачаються

2. НАВЧАЛЬНИЙ (НАВЧАЛЬНО-ТЕМАТИЧНИЙ) ПЛАН

Компоненти програми	Загальна кількість годин/ кредитів ЕКТС	Аудиторна робота		Самостійна робота
		Теоретична підготовка	Практична практика	
Тема № 1. Essentials of magnetic confinement fusion	9	3		6
Тема № 2. The stellarator family	9	3		6
Тема № 3. Stellarator theory and optimization	8	3		5
Тема № 4. Stellarator technologies	8	3		5
Тема № 5. Plasma radiation and exhaust in stellarators	8	3		5
Тема № 6. Transport in Stellarators	8	3		5
Тема № 7. Heating stellarator plasmas	8	3		5
Тема № 8. Key results from LHD	8	3		5
Тема № 9. Key results from W7-X	8	3		5
Тема № 10. Key results from HSX	8	3		5
Тема № 11. Stellarator reactors	8	3		5
Всього	90/3	33		57

3. ЗМІСТ ПРОГРАМИ

Компонент 1 The Stellarator Concept - The Kharkiv Lectures

Тема № 1. Essentials of magnetic confinement fusion

Вид навчальних занять - лекція, форма проведення - он-лайн у Zoomі.

Базові поняття фізики плазми. Вступ до магнітної гідродинаміки. Рух зарядженої частинки в неоднорідному сталому магнітному полі.

Завдання для самостійної роботи. – Принципи магнітного утримання, відкриті пастки, відмінності між токамаками та стеллараторами. Магнітні поверхні, магнітні острови.

Рекомендована література:

1. Е. Д. Волков, В. А. Супруненко, А. А. Шишкин. Стелларатор. Киев : Наук. думка, 1983. - 311 с.
2. Nicholas A. Krall, Alvin W. Trivelpiece. Principles of Plasma Physics. San Francisco Pr, 1986. - 674 с.
3. Ситенко О.Г., Мальнєв В.М. Основи теорії плазми. К.: Наукова думка, 1994. – 372 с.
4. Marco Brambilla. Kinetic Theory of Plasma Waves: Homogeneous Plasmas. Oxford University Press, 1998. - 654.
5. Jeffrey P. Freidberg. Plasma Physics and Fusion Energy. Cambridge University Press, 2008. - 690 с.
6. Alexander Piel. Plasma Physics. Springer Cham, 2017. - 463 с.
7. Kenro Miyamoto. Plasma Physics for Controlled Fusion. Springer Berlin, Heidelberg, 2018. - 495 с.
8. Francis F. Chen. Introduction to Plasma Physics and Controlled Fusion. Springer Cham, 2019. - 490 с.

Тема № 2. The stellarator family

Вид навчальних занять - лекція, форма проведення - он-лайн у ЗУМі.

Особливості магнітної конфігурації стеллараторів. Розмаїття підходів до концепції. Переваги концепції.

Завдання для самостійної роботи. – Різновиди стеллараторів (торсатрон/геліотрон, рейстрек, геліак, геліас тощо).

Рекомендована література:

1. Kenro Miyamoto. Plasma Physics for Controlled Fusion. Springer Berlin, Heidelberg, 2018. - 495 с.
2. Jeffrey P. Freidberg. Plasma Physics and Fusion Energy. Cambridge University Press, 2008. - 690 с.
3. Е. Д. Волков, В. А. Супруненко, А. А. Шишкин. Стелларатор. Киев : Наук. думка, 1983. - 311 с.

4. Francis F. Chen. Introduction to Plasma Physics and Controlled Fusion. Springer Cham, 2019. - 490 с.

Тема № 3. Stellarator theory and optimization

Вид навчальних занять - лекція, форма проведення - он-лайн у ЗУМі.

Теоретичні засади концепції. Утримання плазми в стеллараторах. Принципи оптимізації конфігурацій.

Завдання для самостійної роботи. - Оптимізовані стелларатори. Параметри, за якими здійснюється оптимізація.

Рекомендована література:

1. Kenro Miyamoto. Plasma Physics for Controlled Fusion. Springer Berlin, Heidelberg, 2018. - 495 с.

2. Jeffrey P. Freidberg. Plasma Physics and Fusion Energy. Cambridge University Press, 2008. - 690 с.

3. Е. Д. Волков, В. А. Супруненко, А. А. Шишкин. Стелларатор. Киев : Наук. думка, 1983. - 311 с.

4. Francis F. Chen. Introduction to Plasma Physics and Controlled Fusion. Springer Cham, 2019. - 490 с.

Тема № 4. Stellarator technologies

Вид навчальних занять - лекція, форма проведення - он-лайн у ЗУМі.

Технології впровадження концепції в експерименті в системах створення, утримання, нагрівання плазми, магнітної ізоляції, діагностики.

Завдання для самостійної роботи. – Методи створення плазми в стеллараторах, wall conditioning та її роль в досягненні кращих параметрів плазми.

Рекомендована література:

1. Kenro Miyamoto. Plasma Physics for Controlled Fusion. Springer Berlin, Heidelberg, 2018. - 495 с.

2. Jeffrey P. Freidberg. Plasma Physics and Fusion Energy. Cambridge University Press, 2008. - 690 с.

3. Е. Д. Волков, В. А. Супруненко, А. А. Шишкин. Стелларатор. Киев : Наук. думка, 1983. - 311 с.

4. Francis F. Chen. Introduction to Plasma Physics and Controlled Fusion. Springer Cham, 2019. - 490 с.

Тема № 5. Plasma radiation and exhaust in stellarators

Вид навчальних занять - лекція, форма проведення - он-лайн у ЗУМі.

Різновиди випромінювання з термоядерної плазми; їхнє застосування для діагностики та перетворення в електроенергію. Захист персоналу та оточуючого середовища від шкідливого впливу випромінювання.

Завдання для самостійної роботи. - Диверторні конфігурації в стеллараторах, системи нагрівання

Рекомендована література:

1. Kenro Miyamoto. Plasma Physics for Controlled Fusion. Springer Berlin, Heidelberg, 2018. - 495 с.
2. Jeffrey P. Freidberg. Plasma Physics and Fusion Energy. Cambridge University Press, 2008. - 690 с.
3. Е. Д. Волков, В. А. Супруненко, А. А. Шишкин. Стелларатор. Киев : Наук. думка, 1983. - 311 с.
4. Francis F. Chen. Introduction to Plasma Physics and Controlled Fusion. Springer Cham, 2019. - 490 с.

Тема № 6. Transport in Stellarators

Вид навчальних занять - лекція, форма проведення - он-лайн у ЗУМі.

Основи фізики явищ перенесення. Особливості явищ перенесення в стеллараторі, зокрема перенесення речовини та енергії.

Завдання для самостійної роботи. – Стеллараторні Скейлінги

Рекомендована література:

1. Kenro Miyamoto. Plasma Physics for Controlled Fusion. Springer Berlin, Heidelberg, 2018. - 495 с.
2. Jeffrey P. Freidberg. Plasma Physics and Fusion Energy. Cambridge University Press, 2008. - 690 с.
3. Е. Д. Волков, В. А. Супруненко, А. А. Шишкин. Стелларатор. Киев : Наук. думка, 1983. - 311 с.
4. Francis F. Chen. Introduction to Plasma Physics and Controlled Fusion. Springer Cham, 2019. - 490 с.

Тема № 7. Heating stellarator plasmas

Вид навчальних занять - лекція, форма проведення - он-лайн у ЗУМі.

Огляд методів нагрівання плазми, особливості різних методів та перспективи їхнього застосування в стеллараторах, що існують, та тих, що споруджуються.

Завдання для самостійної роботи. – Хвилі в плазмі. Альфвенове нагрівання.

Рекомендована література:

1. Kenro Miyamoto. Plasma Physics for Controlled Fusion. Springer Berlin, Heidelberg, 2018. - 495 с.
2. Jeffrey P. Freidberg. Plasma Physics and Fusion Energy. Cambridge University Press, 2008. - 690 с.
3. Е. Д. Волков, В. А. Супруненко, А. А. Шишкин. Стелларатор. Киев : Наук. думка, 1983. - 311 с.
4. Francis F. Chen. Introduction to Plasma Physics and Controlled Fusion. Springer Cham, 2019. - 490 с.

Тема № 8. Key results from LHD

Вид навчальних занять - лекція, форма проведення - он-лайн у ЗУМі.

Успіхи Великого Гвинтового Пристрою , Японія, в утриманні плазми, експериментах із термоядерним паливом, інших аспектах керованого термоядерного синтезу.

Завдання для самостійної роботи. – Сімейство малих стеллараторів-геліотронів (Heliotron E, Heliotron-J та ін)

Рекомендована література:

1. Kenro Miyamoto. Plasma Physics for Controlled Fusion. Springer Berlin, Heidelberg, 2018. - 495 с.

2. <https://www.osti.gov/etdeweb/servlets/purl/20261523>

3. H. Yamada for the LHD Experiment Group. Overview of results from the Large Helical Device // 2011. Nuclear Fusion, 51(9): 094021. DOI:10.1088/0029-5515/51/9/094021

4. Masaki Osakabe et al. Recent results from deuterium experiments on the large helical device and their contribution to fusion reactor development // 2022. Nuclear Fusion, 62(4), 042019 DOI 10.1088/1741-4326/ac3cda

Тема № 9. Key results from W7-X

Вид навчальних занять - лекція, форма проведення - он-лайн у ЗУМі.

Досягнення у фізиці стелларатора Вендельштайн-7Х, Німеччина, в нагріванні та утриманні плазми, застосуванні новітніх гіротронів, інших аспектах керованого термоядерного синтезу.

Завдання для самостійної роботи. – Попередні моделі лінійки Wendelstein

Рекомендована література:

1. R.C. Wolf et al. Major results from the first plasma campaign of the Wendelstein 7-X stellarator // 2017. Nuclear Fusion, 57(10), 102020. DOI 10.1088/1741-4326/aa770d

2. Thomas Sunn Pedersen et al. First results from divertor operation in Wendelstein 7-X // 2018. Plasma Physics and Controlled Fusion, 61(1), 014035. DOI 10.1088/1361-6587/aaec25

3. Thomas Sunn Pedersen et al. Key results from the first plasma operation phase and outlook for future performance in Wendelstein 7-X featured // 2017. Physics of Plasmas 24, 055503. <https://doi.org/10.1063/1.4983629>

Тема № 10. Key results from HSX

Вид навчальних занять - лекція, форма проведення - он-лайн у ЗУМі.

Переваги досліджень у галузі фізики стеллараторів на HSX (гвинтовий симетричний експеримент), США, в різних аспектах керованого термоядерного синтезу, які базуються на особливостях конструкції цієї установки.

Завдання для самостійної роботи. – Історичний огляд розвитку стеллараторів у США.

Рекомендована література:

1. <https://hsx.wisc.edu/wp-content/uploads/sites/747/2016/03/Overview-of-Recent->

[Results-from-HSX.pdf](#)

Тема № 11. Stellarator reactors

Вид навчальних занять - лекція, форма проведення - он-лайн у ЗУМі.

Особливості застосування концепції стелларатора на етапі стелларатора - ядерної електростанції: перетворення термоядерної енергії в електричну, поєднання з парогенератором та узгодження з зовнішньою електричною мережею; захист персоналу та навколишнього середовища від випромінювання з плазми.

Завдання для самостійної роботи. – Порівняльний аналіз переваг і недоліків стеллараторів і токамаків у якості реакторів, перехідні режими (transient events).

Рекомендована література:

2. Kenro Miyamoto. Plasma Physics for Controlled Fusion. Springer Berlin, Heidelberg, 2018. - 495 с.

3. Jeffrey P. Freidberg. Plasma Physics and Fusion Energy. Cambridge University Press, 2008. - 690 с.

4. Е. Д. Волков, В. А. Супруненко, А. А. Шишкин. Стелларатор. Киев : Наук. думка, 1983. - 311 с.

5. Francis F. Chen. Introduction to Plasma Physics and Controlled Fusion. Springer Cham, 2019. - 490 с.

4. ФОРМИ ТА ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ ПІДСУМКОВОГО КОНТРОЛЮ

Підсумковий контроль не передбачений