Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Кафедра фізики нетрадиційних енерготехнологій та екології

"ЗАТВЕРДЖУЮ"

Проректор з науково-педагогічної роботи

_____ Олександр ГОЛОВКО

"26" серпня 2022 р.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Новітня нетрадиційна енергетика та її потенціал

(назва навчальної дисципліни)

рівень вищої освіти ___другий (магістерський) _____

галузь знань _____10 Природничі науки_____
(шифр і назва)

спеціальність _____105 Прикладна фізика та наноматеріали_____
(шифр і назва)

освітня програма _____Прикладна фізика нетрадиційної енергетики_____
(шифр і назва)

спеціалізація _____Фізика нетрадиційних енерготехнологій та фізичні аспекти екології
(шифр і назва)

вид дисципліни_____за вибором_____
(обов'язкова / за вибором)

факультет _____ ННІ комп'ютерної фізики та енергетики _____

2022 / 2023 навчальний рік

Програму рекомендовано до затвердження вченою радою Навчально-наукового інституту комп'ютерної фізики та енергетики

Протокол від "26" серпня 2022 року № 8/22

РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ: Ілля МАРУЩЕНКО, кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри фізики нетрадиційних енерготехнологій та екології

Програму схвалено на засіданні кафедри фізики нетрадиційних енерготехнологій та екології

Протокол від "26" серпня 2022 року № 8/22

Завідувач кафедри фізики нетрадиційних енерготехнологій та екології

_____ Олександр КУЛИК
(підпис) (прізвище та ініціали)

Програму погоджено з гарантом освітньої програми (керівником проектної групи)
Прикладна фізика нетрадиційної енергетики
назва освітньої програми

_____ Олександр КУЛИК
(підпис) (прізвище та ініціали)

Програму погоджено методичною комісією Навчально-наукового інституту комп'ютерної фізики та енергетики
назва факультету, для здобувачів вищої освіти якого викладається навчальна дисципліна

Протокол від "26" серпня 2022 року № 8/22

Голова методичної комісії Навчально-наукового інституту комп'ютерної фізики та енергетики

_____ Ольга ЛІСІНА
(підпис) (прізвище та ініціали)

ВСТУП

Програма навчальної дисципліни “ Фізика і технологія в сучасному світі” складена відповідно до освітньо-професійної програми підготовки бакалаврів спеціальності 105 — прикладна фізика та наноматеріали

1. Опис навчальної дисципліни

1.1. Мета викладання навчальної дисципліни: вивчення фізичних основ отримання та перетворення ядерної енергії синтезу з точки зору глобальної енергетики.

1.2. Основні завдання вивчення дисципліни: забезпечити формування у студентів знання сучасного стану термоядерних досліджень, розуміння перспектив створення комерційних термоядерних реакторів, а також переваг та недоліків термоядерної енергетики у порівнянні з альтернативними концепціями.

1.3. Кількість кредитів - 4

1.4. Загальна кількість годин - 120

1.5. Характеристика навчальної дисципліни	
Обов’язкова	
Денна форма навчання	Заочна (дистанційна) форма навчання
Рік підготовки	
5-й	
Семестр	
9-й	
Лекції	
16 год.	
Практичні, семінарські заняття	
16 год.	
Лабораторні заняття	
Самостійна робота	
88 год.	
у тому числі індивідуальні завдання	

1.6. Заплановані результати навчання: згідно з вимогами освітньо-професійної (освітньо-наукової) програми, студенти мають знати основи реакторної фізики, основні властивості реакторної плазми, стан сучасних досліджень, напрямки подальшого розвитку та альтернативні концепції в реалізації керованого ядерного синтезу; вміти застосовувати методи сучасної фізики для аналізу процесів, що відбуваються в термоядерному реакторі.

2. Тематичний план навчальної дисципліни

Розділ 1. Ядерний синтез як джерело енергії

Тема 1. Огляд існуючих джерел енергії

Альтернативні джерела енергії. Порівняння ядерного синтезу з поновлюваними джерелами енергії. Порівняння термоядерної і ядерної енергетики. Економічні та екологічні аспекти ядерного синтезу. Порівняння ядерних та хімічних реакцій. Ядерна

енергія ділення. Ядерна енергія синтезу. Енергія зв'язку. Ядерний синтез у Сонці та зірках. Гравітаційне утримання. Формування важких атомів.

Тема 2. Термоядерна енергетика: перші експерименти

Перші експерименти. Методи магнітного утримання плазми: лінійні пінчі, тороїдальні пінчі, токамаки, стеларатори, відкриті пастки. Взаємодія плазма-стінка. Дівертори та лімітери. Воднева бомба та ідея інерційного синтезу. Умови для інерційного синтезу. Ідея лазеру. Використання лазерів для інерційного стискання плазми.

Тема 3. Баланс потужності в термоядерному реакторі

Поняття перерізу реакції, довжини вільного пробігу та частоти зіткнень. Швидкість реакцій. Функції розподілення. Перерізи реакцій ядерного синтезу. Генерація потужності ядерного синтезу. Втрати на випромінювання. Загальний баланс потужності в термоядерному реакторі. Баланс потужності в плазмі: критерій запалювання. Баланс потужності в реакторі: фізичний та інженерний коефіцієнти посилення.

Тема 4. Проект загального магнітного термоядерного реактора

Загальні характеристики реактора з магнітним утриманням. Критичні параметри реактора. Цілі проектування, основні інженерні та фізичні обмеження. Проект загального магнітного термоядерного реактора. Розрахунок параметрів загального магнітного термоядерного реактора та їх порівняння з параметрами ITER.

Розділ 2. Термоядерна енергетика

Тема 5. Токамаки і стеларатори

Рівновага та стабільність. Великі токамаки: JET, TFTR та JT-60U. Невеликі токамаки. Сферичні токамаки. Поточний стан експериментальних досліджень. Магнітне поле. Стабільність. Неоклассичне утримання. Плазмовий струм. Конструкція та оптимізація. Стеларатор Large Helical Device (LHD). Стеларатор Wandelstein 7-X (W7-X).

Тема 6. Великі системи лазерного інерційного синтезу

Прямий та непрямий нагрів. Конструкція мішені. Альтернативні системи нагріву. Експерименти NIF (США), LMJ (Франція), Omega (США), Firex (Японія). Пропозиція HiPER для демонстрації лазерного термоядерного синтезу. Подальші кроки.

Тема 7. Експериментальний реактор ITER

Історія ITER. Модель та основні параметри конструкції ITER. Робочі параметри. Зміни в порівнянні з проектом 2007 року. Загальний огляд токамака ITER. Додатковий нагрів. Графік будівництва.

Тема 8. Термоядерні та гібридні електростанції

Порівняння рівноважних та імпульсних електростанцій. Геометрія термоядерної електростанції. Радіаційні пошкодження та екранування. Матеріали з низькою активацією. Магнітне утримання. Екранування надпровідних котушок. Концептуальні дослідження і демонстраційні електростанції (DEMO і LIFE). Розмноження тритію. Альтернативні види палива. Гібридні термоядерні електростанції.

3. Структура навчальної дисципліни

Назви розділів і тем	Кількість годин											
	денна форма						заочна форма					
	усього	у тому числі					усього	у тому числі				
		л	п	лаб.	інд.	с. р.		л	п	лаб.	інд.	с. р.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Розділ 1. *Ядерний синтез як джерело енергії*												
Тема 1. Огляд існуючих джерел енергії	15	2	2			11						
Тема 2. Термоядерна	15	2	2			11						

енергетика: перші експерименти												
Тема 3. Баланс потужності в термоядерному реакторі	15	2	2			11						
Тема 4. Проект загального магнітного термоядерного реактора	15	2	2			11						
Разом за розділом 1	60	8	8			44						
Розділ 2. *Термоядерна енергетика*												
Тема 5. Токамаки і стеларатори	15	2	2			11						
Тема 6. Експериментальний реактор ITER	15	2	2			11						
Тема 7. Великі системи лазерного інерційного синтезу	15	2	2			11						
Тема 8. Термоядерні та гібридні електростанції	15	2	2			11						
Разом за розділом 2	60	8	8			44						
Усього годин	120	16	16			88						

4. Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Огляд існуючих джерел енергії	2
2	Термоядерна енергетика: перші експерименти	2
3	Баланс потужності в термоядерному реакторі	2
4	Проект загального магнітного термоядерного реактора	2
5	Токамаки і стеларатори	2
6	Експериментальний реактор ITER	2
7	Великі системи лазерного інерційного синтезу	2
8	Термоядерні та гібридні електростанції	2
	Разом	16

5. Завдання для самостійної роботи

№ з/п	Види, зміст самостійної роботи	Кількість годин
1	Опрацювати тему “ Огляд існуючих джерел енергії ”	11
2	Опрацювати тему “Термоядерна енергетика: перші експерименти”	11
3	Опрацювати тему “Баланс потужності в термоядерному реакторі”	11
4	Опрацювати тему “Проект загального магнітного термоядерного реактора”	11
5	Опрацювати тему “Токамаки і стеларатори”	11

6	Опрацювати тему “Експериментальний реактор ITER”	11
7	Опрацювати тему “Великі системи лазерного інерційного синтезу”	11
8	Опрацювати тему “Термоядерні та гібридні електростанції”	11
	Разом	88

6. Індивідуальні завдання

7. Методи навчання

Лекційні заняття проводяться методом лекції та розповіді-дискусії і передбачають можливість використанням електронних засобів навчання (презентації і відеозв’язок в системі Zoom). Практичні заняття проводяться методами обговорення теоретичних положень дисципліни та їх використання в практичних ситуаціях. Основною метою практичних занять є розуміння технологічних і фізичних особливостей майбутньої термоядерної енергетики порівняно з використанням традиційних великих електростанцій.

8. Методи контролю

Для оцінювання результатів навчання використовуються такі види та методи контролю: поточний контроль протягом семестру – експрес-контроль на лекціях та виступи студентів на практичних заняттях при обговоренні теоретичних засад термоядерної енергетики та їх технологічної реалізації; розв’язання задач; контрольна робота; реферат з обраної теми; підсумковий семестровий контроль - залік.

Бали за експрес-контроль на лекції студент отримає, якщо дасть правильну письмову або усну відповідь на поставлене питання. Одна правильна відповідь дає 1 бал. За кожне активно проведене практичне заняття студент отримає 1 бал. Його отримують студенти, що були активно залучені до обговорення теми практичного заняття, давали правильні відповіді на теоретичні запитання.

За кожну правильно самостійно розв’язану задачу в аудиторії або для самостійної роботи студент отримує від 1 до 3 балів, в залежності від складності задачі та повноти розв’язання. Ступінь складності задачі в завданні позначається зірочками (одна зірочка – 1 бал).

Бали за експрес-контроль на лекціях, активну роботу в аудиторії і розв’язання задач для самостійної роботи складаються в підсумкову оцінку за розділ. Для отримання максимального балу студенту необхідно набрати по 10 балів за кожний розділ. Загалом за експрес-контроль на лекціях, активну роботу на практичних заняттях і розв’язання задач можна отримати до 20 балів.

Програмою курсу передбачається також 1 контрольна робота, за яку студент може отримати до 20 балів. Контрольна робота складається з двох теоретичних питань. За кожне теоретичне питання можна отримати до 10 балів.

Також протягом семестру студентам необхідно підготувати реферат на одну із запропонованих тем. Рекомендований обсяг: 6-10 сторінок. Після завершення підготовки реферату потрібно зробити усну доповідь та відповісти на запитання за темою реферату. За письмову роботу (реферат) студент може отримати до 10 балів, і ще до 10 балів він може отримати за усну доповідь. Загалом за реферат можна отримати до 20 балів.

У підсумку за роботу в семестрі можна отримати щонайбільше 60 балів. Якщо за семестр студент набрав менше ніж 10 балів, він не буде допущений до заліку.

Курс завершується проведенням заліку, за який студент може отримати до 40 балів. Іспит проводиться у вигляді письмової роботи. Студент повинен обрати білет, що містить три питання за темами курсу. Кількість балів, що можна отримати за відповіді, будуть вказані в заліковому завданні (два питання по 15 балів і одне питання на 10 балів). За бажанням студента він може також надати усний коментар до своєї залікової роботи та відповісти на додаткові питання, отримавши додаткові заохочувальні бали, загалом не

більше 10 (за умови, що підсумкова оцінка за залік не перевищує 40 балів).

Максимальний бал, що студент може отримати за курс, складає 100 балів.

9. Схема нарахування балів

Поточний контроль, самостійна робота, контрольні роботи					Залікова робота	Сума
Розділ 1	Розділ 2	Контрольна робота	Реферат	Разом		
Т1-Т4	Т5-Т8					
10	10	20	20	60	40	100

Передбачаються бали за:

- експрес-контроль на лекції – 10;
- розв’язання задач – 10;
- виконання контрольної роботи – 20;
- підготовка реферату і усна доповідь – 20;
- залік – 40 балів.

Критерії оцінювання навчальних досягнень
Шкала оцінювання

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

10. Рекомендована література

Основна література

1. Jeffrey Freidberg. Plasma Physics and Fusion Energy. Cambridge University Press, 2007.
2. Francis F. Chen. An Indispensable Truth. How Fusion Power Can Save the Planet. Springer, 2011.
3. Garry McCracken, Peter Stott. Fusion. The Energy of the Universe. Elsevier, 2012.
4. Tünde Fülöp, Gergely Papp, Istvan Pusztai, Albert Mollen. Fusion Energy: Lecture Notes. Göteborg: Chalmers University of Technology, 2015.
5. A.A. Harms, K.F. Schoepf, G.H. Miley, D.R. Kingdon. Principles of Fusion Energy. An Introduction to Fusion Energy for Students of Science and Engineering”, 2002.

Допоміжна література

1. George Neilson (ed.). Magnetic Fusion Energy. From Experiments to Power Plants. Woodhead Publishing Series in Energy: Number 99. Elsevier, 2016.
2. C.M. Braams, P.E. Stott. Nuclear Fusion: Half a Century of Magnetic Confinement Fusion Research. Bristol: IOP Publishing, 2002.
3. T.J. Dolan. Magnetic Fusion Technology. Springer, 2013.

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

1. https://moodle.karazin.ua/course/view.php?id=4129
2. Офіційний сайт міжнародного проекту "ITER": https://www.iter.org/news/whatsnew
3. Офіційний сайт лабораторії "National Ignition Facility & Photon Science": https://lasers.llnl.gov
4. Офіційний сайт інституту "Max-Planck-Institute of Plasma Physics": http://www.ipp.mpg.de/2285/en
5. Офіційний сайт центру "Plasma Science and Fusion Center Massachusetts Institute of Technology": https://www.psfc.mit.edu

Додаток 1

Додаток до робочої програми навчальної дисципліни
Новітня нетрадиційна енергетика та її потенціал
(назва дисципліни)

Дію робочої програми продовжено: на 20_____/20_____ н. р.

Заступник директора ННІ комп'ютерної фізики та енергетики з навчальної роботи

_____ Ольга ЛІСІНА
(підпис) (прізвище, ініціали)

«____» _____ 20___ р.

Голова методичної комісії ННІ комп'ютерної фізики та енергетики

_____ Ірина ГАРЯЧЕВСЬКА
(підпис) (прізвище, ініціали)

«____» _____ 20___ р.