НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ

ІНСТИТУТ ЯДЕРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Заступник директора з наукової роботи
_____ В. В. Давидовський
«_5_» _____07_____2023 р.

НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛІНИ

ТЕОРІЯ ЯДЕРНИХ РЕАКТОРІВ

Освітньо-кваліфікаційний рівень: *доктор філософії*
Галузь знань: 10 - *Природничі науки*
Спеціальність : *104 – Фізика та астрономія*
Освітня програма*: Фізика ядра, фізика елементарних частинок і високих енергій; ядерно-фізичні установки; радіаційна фізика конденсованого стану; фізика плазми і ядерного синтезу.*
Статус курсу: ***фаховий (вибірковий)***

Київ 2023

Теорія ядерних реакторів: Навчально-методичний комплекс дисципліни. – Київ: ІЯД НАНУ, 2023 . - 7 с.

Укладач: Хоменков В.П., кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник

Ухвалено на засіданні Вченої ради Інституту ядерних досліджень НАН України

протокол № 6 від “ 5 ” липня 2023 р.

Вступ

Програму навчальної дисципліни *"Теорія ядерних реакторів"*
(назва навчальної дисципліни)
складено відповідно до освітньо-професійної програми підготовки *доктор філософії*
(назва освітнього ступеня)
спеціальності *104 Фізика та астрономія*
(код і назва спеціальності)
спеціалізації
(назва спеціалізації)

Навчальна дисципліна належить до циклу *Вибір Інституту*

Предмет навчальної дисципліни фізичні процеси, що відбуваються в ядерних реакторах, їх теоретичний опис, методи кількісної та якісної оцінки параметрів, які розраховуються, що засновані на математичному апараті диференціального та інтегрального числення, рівнянь математичної фізики.

Міждисциплінарні зв'язки:

з ОПП ступеня магістрц
Забезпечується: 1.2.2/2 «Фізика - 2. Коливання та хвилі. Електрика та магнетизм», 1.2.6 «Математичні методи та моделі», 2.1.3 «Теорія ймовірності та математична статистика», 2.2.2.1 «Вища математика-4», 2.1.2 «Атомна і квантова фізика», 1.3.1.8 «Ядерна та нейтронна фізика»
Забезпечує: 2.1.8 «Енергетичні ядерні реактори», 2.1.13 «Нестаціонарні процеси та керування ЯЕУ», 2.1.14 «Основи управління безпекою в ядерній енергетиці», 2.1.12 Основи експлуатації АЕС

1. Мета та завдання навчальної дисципліни

1.1. Мета навчальної дисципліни.

Метою навчальної дисципліни є формування у студентів здатностей (компетентності):

- розуміння фізичних процесів, що протікають в ядерному реакторі;
- вміння управляти цими процесами.

1.2.Основні завдання навчальної дисципліни.

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти після засвоєння навчальної дисципліни мають продемонструвати такі результати навчання:

знання:

фізичних процесів, що проходять в ядерному реакторі, основ теорії дифузії та сповільнення нейтронів, вікової теорії для визначення фізичних характеристик ядерного реактора

уміння:

визначати критичні розміри реактора, розподіл енерговиділення по радіусу та висоті реактора, вибирати найбільш безпечний та економічний режим робота реактора

досвід:

проведення розрахунку нейтронно-фізичних та тепло-гідравлічних характеристик реактора

2. Структура навчальної дисципліни

№	Назва розділу	Кількість годин				
		Всього	Лекцій	Практичних занять	Самостійна та індивідуальна робота	Консультації
0	Вступ	8	2		6	
1	Фізичні основи ядерних реакторів	14	4	2	8	
2	Дифузія нейтронів	14	4	2	8	
3	Уповільнення нейтронів	14	4	2	8	
4	Вікова теорія	14	4	2	8	
5	Кінетична теорія нейтронів	14	4	2	8	
6	Критичні розміри реактора	14	4	2	8	
7	Гетерогенні реактори	14	4	2	8	
8	Реактори на швидких нейтронах	12	2	2	8	
	Всього	120	32	16	70	2

3. Зміст навчальної дисципліни

Вступ.

Атомна енергетика та шляхи її розвитку. Задача курсу «Теорія ядерних реакторів». Необхідність використання ядерної енергетики. Реактори нового покоління.

Розділ 1. Фізичні основи ядерних реакторів.

Тема 1.1. Загальні відомості про будову ядра. Властивості нейтронів. Поняття складового ядра. Визначення маси ядер та атомів. Визначення енергії зв‘язку ядер.Взаємодія нейтронів з ядрами. Ділення ядер. Визначення енергії ділення та синтезу ядер.

Тема 1.2. Ефективний коефіцієнт розмноження нейтронів. Основні характеристики середовища що розмножується та ядерного реактора. Формула чотирьох співмножників. Баланс нейтронів в ядерному реакторі .Ланцюгова реакція. Коефіцієнт розмноження

Розділ 2. Дифузія нейтронів.

Тема 2.1. Закон Фіка. Дифузія нейтронів. Основні поняття та визначення .Поняття осередненої довжини та транспортного перерізу. Їх визначення для ізотропного та анізотропного середовища з поглинанням та без поглинання**.** Рівняння переносу нейтронів. Одношвидкісне рівняння переносу нейтронів.

Тема 2.2. Рівняння дифузії нейтронів. Рішення рівнянь дифузії для різних джерел нейтронів .Фізичний зміст довжини дифузії. Інтегральне рівняння переносу нейтронів. **.** Метод функцій Гріна. Рівняння Пайерлса. Вирішення задач з використанням інтегрального рівняння переносу нейтронів

Розділ 3. Уповільнення нейтронів.

Тема 3.1. Уповільнення нейтронів. Зміна енергії нейтронів при взаємодії з ядрами. Закон розсіяння нейтронів. Функція розсіювання. Характеристики уповільнювача. Середньологарифмічний дикремент енергії. Властивість уповільнювати та коефіцієнт уповільнення. Вибір уповільнювача для різних типів реакторів

Тема 3.2. Уповільнення нейтронів в середовищі при відсутності поглинань. Уповільнення нейтронів в водневому середовищі що не поглинає. Уповільнення в середовищі з масовим

числом A>1 .Уповільнення нейтронів в системі, що містить ядра декількох сортів. Особливості розрахунку щільності уповільнення нейтронів за відсутності поглинання. Уповільнення нейтронів в середовищі за наявності поглинань. Уповільнення нейтронів в середовищі при поглинанні. Імовірність запобігання резонансного захоплення нейтронів. Особливості розрахунку щільності уповільнення нейтронів за наявності поглинання

Розділ 4. Вікова теорія.

Тема 4.1. Вікова теорія. Сутність вікової теорії. Вікове рівняння при відсутності поглинань. Рішення вікового рівняння для плаского, точкового та лінійного джерела нейтронів.

Тема 4.2.Фактори, що впливають на зміну віку нейтронів. Межі застосування вікової теорії. Уповільнення нейтронів. Повтор матеріалу попереднього модуля

Розділ 5. Кінетична теорія нейтронів.

Тема 5.1. Кінетичне рівняння переносу нейтронів. Рівняння переносу нейтронів Больцмана. Рішення кінетичного рівняння реактора. Кінетичне рівняння реактора для теплової групи нейтронів

Тема 5.2. Спряжені рівняння реактора. Функція цінності нейтронів. Рівняння функції. Методи розв‘язку кінетичних рівнянь реактора. Метод поступового наближення. Метод дифузійного наближення .Рівняння Пайерлса

Розділ 6. Критичні розміри реактора.

Тема 6.1. Теорія критичних розмірів реактора. Рівняння для матеріального параметра реактора в дифузійно-віковому наближенні. Умови критичності реактора. Визначення критичних розмірів реактора без відбивача. Визначення критичних розмірів сферичного гомогенного реактора. Визначення критичних розмірів циліндричного гомогенного реактора

Тема 6.2. Визначення критичних розмірів реактора з відбивачем .Гомогенний реактор з відбивачем в одногруповому наближенні. Реактор з відбивачем у вигляді нескінченної пластини. Сферичний реактор з відбивачем. Циліндричний реактор з відбивачем. Гомогенний реактор з відбивачем в двохгруповому наближенні. Кінетичне рівняння з відбивачем в двохгруповому наближенні. Критичні розміри для гетерогенного реактора з відбивачем

Розділ 7. Гетерогенні реактори.

Тема 7.1. Загальні положення теорії гетерогенних реакторів. Теорія чарунки. Переваги та недоліки гетерогенних систем .Метод імовірності перших зіткнень. Елементарна паливна чарунка реакторів РВПК, ВВЕР. Представлення рівняння Пайерлса у вигляді системи алгебраїчних рівнянь

Тема 7.2. Визначення коефіцієнтів формули чотирьох співмножників. Коефіцієнт розмноження на швидких нейтронах. Імовірність запобігання резонансній втраті. Коефіцієнт використання теплових нейтронів.

Розділ 8. Реактори на швидких нейтронах.

Тема 8.1. Реактори на швидких нейтронах. Кінетичне рівняння реакторів на швидких нейтронах. Система багатогрупових рівнянь на швидких нейтронах . Елементарна паливна чарунка реактора БН.

4. Рекомендована тематика практичних (семінарських) занять

Мікроскопічний переріз взаємодії нейтронів з ядрами. Макроскопічний переріз. Ядерна концентрація. Розрахунок перерізів.

Наводиться інформація про типи чарунок реакторів. Вводиться поняття елементарної паливної чарунки в цілому та для кожного типу реактора окремо.

Розрахунок основних геометричних характеристик ТВЗ.
Розрахунок макроскопічних перерізів для зони 0.
Розрахунок макроскопічних перерізів для зони 1, 2.
Формула чотирьох співмножників.
Розрахунок коефіцієнта розмноження на швидких нейтронах.
Розрахунок коефіцієнта розмноження на теплових нейтронах.
Розрахунок коефіцієнта використання теплових нейтронів.
Розрахунок імовірності запобігання резонансної втрати нейтронів.
Розрахунок імовірності запобігання втрати нейтронів.
Розрахунок коефіцієнта розмноження нейтронів.
Наводиться інформація про особливості конструкції ТВЗ ВВЕР-440, ВВЕР-1000.
Наводиться інформація про ідеологію нейтронно-фізичного розрахунку в чотирьох груповому наближенні. Розбиття на групи, енергетичний інтервал.
Розрахунок основних геометричних характеристик ТВЗ.
Контрольна робота за матеріалами минулого семестру.
Розрахунок відношення потоків нейтронів в першій енергетичній групі.
Розрахунок відношення потоків нейтронів в другій енергетичній групі.
Розрахунок відношення потоків нейтронів в третій енергетичній групі.
Розрахунок відношення потоків нейтронів в четвертій енергетичній групі.
Гомогенізація перерізів та потоків для чарунки з чотирьох в дві енергетичні групи.
Розрахунок коефіцієнта розмноження нейтронів.

Окрім того, на практичних заняттях має бути відведений час для вирішення задач з фізики реактора.

Орієнтовний перелік тем для вирішення задач :
Тема 1. Атомне ядро. Атомна енергія.
Тема 2. Ланцюгова реакція. Коефіцієнт розмноження.
Тема 3. Енерговиділення в активній зоні. Потужність реактора.
Тема 4. Вигоряння, шламування, відтворення і отруєння палива.

5. Рекомендована література

1) Широков С. В. Фізика ядерних реакторів. – Видання друге: Вища школа, 1998. – с 288.
2) Широков С. В. Ядерні енергетичні реактори. К. 1997, с. 280.
3) Широков С.В. Гальченко В.В. Посібник з вирішення задач з курсів «Теорія ядерних реакторів», «Енергетичні ядерні реактори», «Нестаціонарні в ядерних реакторах». Київ, НТУУ «КПІ», 2006. 80 с.
4) Дементьєв Б.А. Ядерні енергетичні реактори. – М.: Энергоиздат, 1984. – 281 с.
5) Емельянов І. Я., Міхан В. І. Конструювання ядерних реакторів. М.: Енергоіздат, 1982. – 400 с.

6. Засоби діагностики успішності навчання

Впродовж всього курсу проводиться модульна контрольна робота та домашня контрольна робота по наступним темам:

МКР:
Розділ 1. Фізичні основи ядерних реакторів.
Розділ 2. Дифузія нейтронів.
Розділ 3. Уповільнення нейтронів.

ДКР:
Розділ 4. Вікова теорія
Розділ 5. Кінетична теорія нейтронів
Розділ 6. Критичні розміри реактора

7. Методичні рекомендації

У якості індивідуального завдання рекомендується виконання КР, що сприяє кращому засвоєнню основ взаємодії нейтронів з речовиною, вивченню ймовірністей процесів взаємодії нейтрона з ядром і потоку нейтронів з ядрами мішені, формули чотирьох співмножників, коефіцієнту розмноження нейтронів для нескінченного середовища, віку нейтрона, критичних розмірів.