

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Генеральний директор

 Микола ШУЛЬГА

« 30 » 11 2022 р.



РОБОЧА ПРОГРАМА
навчальної дисципліни
Фізика ядерних реакторів
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 теоретичної фізики імені О.І.Ахієзера

Програму рекомендовано до затвердження
Науково-технічною радою ННЦ ХФТІ

Від "29" 11 2022 року, протокол № 6

РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ:

к.ф.-м.н., старший науковий співробітник,
Фомін Сергій Петрович

Програму схвалено на засіданні Вченої ради Інституту теоретичної
фізики імені О.І.Ахієзера

від "19" 09 2022 року, протокол № 4

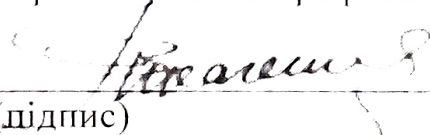
Т.в.о. Директора Інституту теоретичної фізики імені О.І.Ахієзера

 Давидов Л.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

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

назва освітньої програми

Гарант освітньо-професійної програми «Фізика та астрономія»

 Віктор ТКАЧЕНКО
(підпис) (прізвище та ініціали)

Вступ

Дисципліна «Фізика ядерних реакторів» є частиною професійної підготовки аспірантів за вибором ННЦ ХФТІ за напрямом 10 Природничі науки, за спеціальністю – 104 фізика і астрономія, яка викладається протягом третього року навчання.

ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

1.1. Метою викладання навчальної дисципліни засвоєння аспірантами фізичних основ роботи реакторів поділу, традиційних й інноваційних концепцій ядерних реакторів, розрахункових методів щодо моделювання фізичних процесів у активній зоні реактора.

1.2. Основними завданнями вивчення дисципліни «Фізика ядерних реакторів» є навчити студентів застосовувати здобуті теоретичні знання для практичного використання їх у сучасних дослідженнях.

1.2.1. Формування наступних загальних компетентностей

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

1.2.2. Формування наступних спеціальних (фахових) компетентностей

1. 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. (СК01)
2. Здатність відстежувати тенденції розвитку фізики та/або астрономії, їх прикладних застосувань, критично переосмислювати наявні знання та методи фундаментальних та прикладних наукових досліджень. (СК02)
3. Здатність застосовувати сучасні методи, методики, технології, інструменти та обладнання для проведення прикладних та фундаментальних наукових досліджень у галузі фізики та/або астрономії. (СК06)
4. Компетенція у сфері моделювання та числових методів у фізиці конденсованого стану. (СК29)

1.3. Кількість кредитів – 2.

1.4. Загальна кількість годин – 120.

1.5. Характеристика навчальної дисципліни:

Опис навчальної дисципліни «Фізика ядерних реакторів»	
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
Характеристика навчальної дисципліни	
Вид	Вибіркова за вибором ННЦ ХФТІ
Загальна кількість годин	120
Кількість кредитів ECTS	2
Кількість змістових модулів	2
Форма контролю	залік
Показники навчальної дисципліни	
Рік підготовки	III
Лекційні заняття	48
Практичні заняття	0
Самостійна робота	70
Консультації	2

1.6. Передумови для вивчення дисципліни.

Передумовами для вивчення дисципліни є володіння методами матаналізу та математичної фізики, знання основ ядерної фізики та фізичної кінетики.

1.7. Очікувані результати навчання.

Підготувати фахівця, спроможного застосовувати отримані знання у сучасних дослідженнях.

Згідно з освітньо-професійною програмою за напрямом 10 Природничі науки, за спеціальністю – 104 фізика і астрономія здобувачі мають досягти таких результатів навчання:

1. Планувати і виконувати експериментальні та/або теоретичні дослідження з фізики (астрономії) 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. (PH05)

2. 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. (PH06)

3. Уміти вибрати адекватні засоби для моделювання та аналізу фізичних процесів у ядерному реакторі, обчислювати основні характеристики відповідних процесів. (РН36)

2. ЗМІСТ ТА СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Зміст навчальної дисципліни

Модуль 1.

Тема 1. Вступ. Енергетика та екологія. Місце ядерної енергетики у структурі енергоресурсів у світі та в Україні зараз та у довгостроковій перспективі. Основні проблеми ядерної енергетики.

Тема 2. Перетворення енергії у ядерних реакторах. Особливості ядер, що діляться і відтворюють. Вивільнення енергії при розподілі. Ланцюгова ядерна реакція. Основні характеристики уламків поділу.

Тема 3 Структура та елементний склад активної зони ядерного реактора. Класифікація ядерних реакторів. Порівняльний аналіз реакторів на теплових та швидких нейтронах. Нейтронний цикл у тепловому ядерному реакторі – основні фізичні процеси.

Тема 4. Основні положення теорії уповільнення нейтронів. Характеристики властивостей речовин, що уповільнюють. Уповільнююча здатність багатокомпонентного середовища. Природні сповільнювачі: переваги та недоліки.

Тема 5. Теорія Фермі уповільнення нейтронів. Вік теплових нейтронів. Довжина уповільнення. Спектр нейтронів Фермі, що уповільнюються, в гомогенному непоглинаючому середовищі.

Тема 6. Закон дифузії теплових нейтронів у гомогенному середовищі (закон Фіка). Довжина дифузії, площа та довжина міграції нейтронів. Спектр нейтронів у реакторі на теплових нейтронах.

Тема 7. Коефіцієнт розмноження нейтронів у реакторі (формула 4-х співмножників). Розмножувальні властивості середовища. Коефіцієнт використання теплових нейтронів Θ . Температурні ефекти, що впливають на розмножувальні властивості.

Модуль 2.

Тема 8. Ефективний коефіцієнт розмноження нейтронів та реактивність реактора. "Геометричний параметр" (баклінг). Умова критичності реактора, способи її досягнення та підтримки. Запас реактивності реактора.

Тема 9. Елементарне рівняння кінетики реактора (рівняння нейтронного балансу). Період реактора. Запізнілі нейтрони та їх роль у керуванні реактором.

Тема 10. Основні динамічні процеси у ядерному реакторі. Вигорання ядерного палива. Відтворення ядерного палива, коефіцієнт відтворення. Температурні ефекти у ядерному реакторі.

Тема 11. Стаціонарне отруєння ядерного реактора. Отруєння реактора при перехідних процесах, "йодна яма". Шлакування ядерного реактора. Поглиначі нейтронів, що вигорають.

Тема 12. Ядерно-фізичні та хімічні параметри ядерного палива. Фізичний механізм дії відбивача. Нейтронно-фізичні характеристики матеріалів відбивача, теплоносія та сповільнювача.

Тема 13. Структура активної зони гетерогенного ядерного реактора на прикладі реакторів типу ВВЕР, РБМК, CANDU, та БН-600. Реактори на швидких нейтронах та можливість реалізації замкнутого паливного циклу.

Тема 14. Поняття "внутрішньої безпеки" реактора та засоби її реалізації. Реактори IV покоління. Реактор на розплавах солей.

Тема 15. Підкритичні системи, що керуються прискорювачем (ADS).

Тема 16. Явище повільного ядерного горіння. Реактор хвилі, що біжить: переваги та проблемні моменти.

3. Структура навчальної дисципліни

Назва лекції			
	Лекції	Семіна рські заняття	Самост йня робота
Змістовний модуль 1.			
Тема 1. Енергетика та екологія. Місце ядерної енергетики у структурі енергоресурсів у світі та в Україні. Основні проблеми ядерної енергетики.	4	0	4
Тема 2. Перетворення енергії у ядерних реакторах. Особливості ядер, що діляться і відтворюють. Вивільнення енергії при розподілі. Ланцюгова ядерна реакція. Основні характеристики уламків поділу.	4	0	4
Тема 3. Структура та елементний склад активної зони ядерного реактора. Класифікація ядерних реакторів. Порівняльний аналіз реакторів на теплових та швидких нейтронах. Нейтронний цикл у тепловому ядерному реакторі – основні фізичні	2	0	4

процеси.			
Тема 4. Основні положення теорії уповільнення нейтронів. Характеристики властивостей речовин, що уповільнюють. Природні сповільнювачі: переваги та недоліки.	2	0	4
Тема 5. Теорія Фермі уповільнення нейтронів. Вік теплових нейтронів. Довжина уповільнення. Спектр нейтронів Фермі, що уповільнюються, в гомогенному непоглинаючому середовищі.	2	0	5
Тема 6. Закон дифузії теплових нейтронів у гомогенному середовищі (закон Фіка). Довжина дифузії, площа та довжина міграції нейтронів. Спектр нейтронів у реакторі на теплових нейтронах.	2	0	5
Тема 7. Коефіцієнт розмноження нейтронів у розмножувальному середовищі (формула 4-х співмножників). Коефіцієнт використання теплових нейтронів Θ . Температурні ефекти, що впливають на розмножувальні властивості (Доплер-ефект).	4	0	5
Тема 8. Ефективний коефіцієнт розмноження нейтронів та реактивність реактора. "Геометричний параметр". Умова критичності реактора, способи її досягнення та підтримки. Запас реактивності реактора.	4	0	4
Разом за змістовний модуль 1	24	0	35
Змістовний модуль 2.			
Тема 9. Елементарне рівняння кінетики реактора (рівняння нейтронного балансу). Період реактора. Запізнілі нейтрони та їх роль у керуванні реактором.	4	0	4
Тема 10. Основні динамічні процеси у ядерному реакторі. Вигоряння ядерного палива. Відтворення ядерного палива, коефіцієнт відтворення. Температурні ефекти у ядерному реакторі.	2	0	4
Тема 11. Стаціонарне отруєння ядерного реактора. Отруєння реактора при перехідних процесах, "йодна яма". Шлакування ядерного реактора. Поглиначі нейтронів, що вигорають.	4	0	4
Тема 12. Ядерно-фізичні та хімічні параметри ядерного палива. Фізичний механізм дії відбивача. Нейтронно-фізичні характеристики матеріалів відбивача, теплоносія та сповільнювача.	2	0	4
Тема 13. Структура активної зони гетерогенного ядерного реактора на прикладі реакторів типу	2	0	4

ВВЕР, РБМК, CANDU, та БН-600. Реактори на швидких нейтронах та замкнутий паливний цикл.			
Тема 14. Поняття "внутрішньої безпеки" реактора та засоби її реалізації. Реактори IV покоління. Реактор на розплавах солей.	2	0	4
Тема 15. Підкритичні системи, що керуються прискорювачем (ADS). Каскадна схема.	4	0	5
Тема 16. Явище повільного ядерного горіння. Реактор хвилі, що біжить: сучасний стан проблеми.	4	0	6
Разом за змістовний модуль 2	24	0	35
Всього	48	0	70

Загальний обсяг: 120 год., зокрема: лекцій – 48 год.; практичних/семінарів – 0 год., самостійної роботи – 70 год., консультацій – 2 год.

4. Самостійна робота

№ з/п	Тема	Години
1	Самостійне опрацювання навчально-методичних посібників та вивчення матеріалу за темами 1 розділу.	35
2	Самостійне опрацювання навчально-методичних посібників та вивчення матеріалу за темами 2 розділу.	35
	Всього	70

Запитання для самоперевірки

1. Які переваги та недоліки (проблеми) має ядерна енергетика у порівнянні з іншими типами енергетики?
2. Які типи реакторів поділу ви знаєте? В чому полягає різниця між ними (переваги та недоліки)?
3. Що таке «внутрішня безпека» ядерного реактора?
4. Які типи реакторів обрані до складу реакторів четвертого покоління?
5. Що таке підкритична система, що керується прискорювачом? В чому полягають переваги такого типу ядерних систем? Яка можлива сфера використання?

Запитання до екзамену

1. Енергетика та екологія. Відновлювані "джерела енергії". Місце ядерної енергетики у структурі енергоресурсів у світі та в Україні нині та у довгостроковій перспективі. Основні проблеми ядерної енергетики.

2. Перетворення енергії у ядерних реакторах. Принципове влаштування ядерного реактора та елементний склад активної зони. Класифікація ядерних реакторів. Нейтронний цикл у тепловому ядерному реакторі.

3. Особливості ядер, що діляться і відтворюють. Вивільнення енергії при розподілі. Уламки поділу: характеристика, енергетичний стан, роль уламків у тепловиділенні.

4. Порівняльний аналіз (переваги та недоліки) реакторів на теплових та швидких нейтронах. Нейтронний цикл у тепловому ядерному реакторі – основні фізичні процеси.

5. Основні положення теорії уповільнення нейтронів. Характеристики властивостей речовин, що уповільнюють. Сповільнююча здатність багатокомпонентного середовища. Природні сповільнювачі: переваги та недоліки.

6. Вік теплових нейтронів серед (теорія Фермі), довжина уповільнення. Спектр нейтронів Фермі, що уповільнюються, в гомогенному непоглинаючому середовищі.

7. Закон дифузії теплових нейтронів у гомогенному середовищі (закон Фіка). Довжина дифузії, площа та довжина міграції нейтронів. Спектр нейтронів у реакторі на теплових нейтронах.

8. Коефіцієнт розмноження нейтронів у реакторі (формула 4-х співмножників). Розмножуючі властивості середовища: константа? Коефіцієнт використання теплових нейтронів Θ . Температурні ефекти, що впливають на властивості, що розмножують.

9. Ефективний коефіцієнт розмноження та реактивність реактора. "Геометричний параметр" (баклінг). Умова критичності реактора, способи її досягнення та підтримки. Запас реактивності реактора.

10. Елементарне рівняння кінетики реактора (р-ня нейтронного балансу). Період реактора. Запізнілі нейтрони та їх роль в управлінні реактором.

11. Основні динамічні процеси у ядерному реакторі. Вигорання ядерного палива. Відтворення ядерного палива, коефіцієнт відтворення. Температурні ефекти у ядерному реакторі.

12. Стаціонарне отруєння ядерного реактора. Отруєння реактора при перехідних процесах, "йодна яма". Шлакування ядерного реактора. Вигорання поглиначів, що вигорають.

13. Ядерно-фізичні та хімічні параметри ядерного палива. Фізичний механізм дії відбивача. Нейтронно-фізичні характеристики матеріалів відбивача, теплоносія та сповільнювача.

14. Структура активних зон гетерогенних ядерних реакторів з прикладу реакторів типу ВВЕР, РБМК, CANDU, БН-600. Реактори на швидких нейтронах та можливість реалізації замкненого паливного циклу.

15. Реактори IV покоління. Підкритичне складання, кероване прискорювачем (ADS). Реактор хвилі, що біжить: критерій Феоктистова, переваги концепції та проблемні моменти.

5. Методи контролю

Контрольні запитання під час лекцій, виконання контрольних письмових робіт по закінченню кожного модуля, письмовий залік.

6. Схема нарахування балів

Матеріал курсу «Фізика ядерних реакторів» згідно навчальної програми містить 16 тем. Темі розподілені по модулях відповідно: I модуль – 8 тем (від 1 до 8), II модуль – 8 тем (від 9 до 16). Оцінка роботи здобувачів проводиться за модульно-рейтинговою системою і включає такі види роботи над курсом: засвоєння теоретичного матеріалу та контрольні роботи.

Теми за курсом			Разом
Модуль 1	Модуль 2	Екзамен	100
T1-T8	T9-T16		
30	30		

T1, T2 ... - теми розділів.

Здобувачі пишуть відповідно до кожного модуля письмові контрольні роботи, кожна з яких оцінюється максимум 10-ма балами. Решта 20 балів – це середня оцінка поточного контролю за відповідними темами, колоквиуми (усні), самостійні письмові роботи і т.ін.

Для допуску до підсумкового семестрового контролю здобувач в сумі за практикум, поточний контроль, виконання домашніх письмових завдань має набрати не менше 30-ти балів з 60-ти можливих, тобто не менше 50% від максимально можливого.

На екзамені здобувач може одержати від 20 до 40 балів. Між 0 та 20 балами оцінка не виставляється, екзамен вважається не зданим. Бали, одержані на екзамені від 20 до 40 додаються до балів, одержаних у семестрі (30-60 балів). За цією сумою згідно таблиці шкали оцінювання виставляється підсумкова оцінка до залікової книжки.

Шкала оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру	Оцінка
	за чотирирівневою шкалою оцінювання
90-100	відмінно
70-89	добре
50-69	задовільно
1-49	незадовільно

Критерії оцінювання питань екзаменаційного білету (контрольної роботи)

Екзаменаційний білет (контрольна робота) містить кілька завдань (теоретичні питання або задачі). Кожне завдання має свій ваговий бал (вказується у дужках біля питання) та оцінюється окремо. Сумарно за всі відповіді на екзаменаційні питання можна отримати максимально 40 балів. Сумарний бал за контрольну роботу вказується в тексті відповідної роботи.

	Характеристика відповіді на кожне з питань екзаменаційного білету (контрольної роботи)	% від max балу за відповідь на питання
	Повна та вірна відповідь на питання або у повному обсязі правильно вирішена практична задача білету	100 %
	Повна відповідь з незначними помилками (або незначні помилки у розрахунках практичних завдань за наявності вірної розрахункової формули);	80-95 %
	Неповна, але вірна відповідь (або значні помилки у розрахунках практичних завдань за наявності вірної розрахункової формули для розв'язання практичних завдань);	50-80 %
	Відповідь повна, але містить грубі помилки (або вирішення практичних завдань білету містить грубі помилки, розрахункові формули для розв'язання практичних завдань містять помилки)	30-50 %
	Неповна відповідь з суттєвими помилками	5-30 %
	Невірна відповідь	0-5 %
	Відсутня відповідь на теоретичне питання (або відсутнє вирішення практичних завдань білету)	0 %

7. Рекомендована література Основна література

1. Шматко Є.С. Фізичні основи ядерних реакторів: навчальний посібник. Харків: Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, 2007. Розділ 5. С.128-169.
2. Павлович В.М. Фізика ядерних реакторів: навчальний посібник. Чорнобиль (Київ. обл.): Ін-т проблем безпеки АЕС, 2009. – 224 с.
3. Levis E.E. Fundamentals of Nuclear Reactor Physics. Academic Press, 2008, – 293 p.
4. Pazsit, Imre. Transport theory and stochastic processes. Chalmers University, Goteborg, Sweden, 2007, – 182 p.

Допоміжна

1. Давидов Л.М., Білозоров Д.П. Аналіз концептуальних систем ядерних реакторів третього й четвертого поколінь із урахуванням специфіки ядерної енергетики України. // Вісник Харківського національного університету. Серія фізична: "Ядра, частинки, поля", 2007, №777, вип. 2/34/, с. 3-32.

2. H. van Dam, T.H.J.J. van der Hagen, J.E. Hoogenboom. Nuclear Reactor Physics: lecture notes AP3341, Delft University of Technology, Delft, The Netherland, 2005, – 132 p.

3. Азарєнков М.О. і ін. Ядерна енергетика: навчальний посібник. Харків: Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, 2012. Розділ 2. с.74-152.

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

Здобувачам освіти надається доступ до курсу “Фізика ядерних реакторів” в Google Drive, де знаходяться електронний конспект лекцій, електронні підручники та задачники, список екзаменаційних теоретичних питань, список питань для самостійної роботи, розклад консультацій за курсом.