

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Кафедра фізики ядра та високих енергій імені О.І. Ахієзера

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Директор навчально-наукового інституту

«Фізико-технічний факультет»

(вказати назву структурного підрозділу)

Кузнецов П.Б.

(вказати П.І.Б керівника)

“ 28 * серпня 2023 р

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Фізика ядерних реакторів

(назва навчальної дисципліни)

рівень вищої освіти	1 рівень (магістерський)
галузь знань	10 «Природничі науки»
спеціальність	105 «Прикладна фізика та наноматеріали»
освітня програма	«Експериментальна ядерна фізика та фізика плазми» (освітньо-наукова програма)
спеціалізація	
вид дисципліни	обов'язкова
факультет	ННІ «Фізико-технічний факультет»

2023/2024 навчальний рік

Програму рекомендовано до затвердження Вченою радою Навчально наукового інституту «Фізико-технічний факультет»
“25” серпня 2023 року, протокол № 8

РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ: (вказати авторів, їхні наукові ступені, вчені звання та посади)

Максим МАЛОВИЦЯ доктор філософії, доцент кафедри фізики ядра та високих енергій імені О. І. Ахієзера.

Програму схвалено на засіданні кафедри фізики ядра та високих енергій імені О.І. Ахієзера
Протокол від “16” червня 2023 року № 10

Завідувач кафедри фізики ядра та високих енергій імені О.І. Ахієзера



_____ (підпис)

Микола ШУЛЬГА
(прізвище та ініціали)

Програму погоджено науково-методичною комісією ННІ «Фізико-технічний факультет»
(назва факультету, для здобувачів вищої освіти якого викладається навчальна дисципліна)

Протокол від “14” серпня 2023 року № 11

Голова науково-методичної комісії ННІ «Фізико-технічний факультет»



_____ (підпис)

_____ (прізвище та ініціали)

Микола ЮНАКОВ

ВСТУП

Програму навчальної дисципліни «Фізика ядерних реакторів» складено відповідно до освітньо-професійної програми підготовки другого (магістерського) рівня вищої освіти. Галузь знань: 10 – «Природничі науки». Спеціальність: 105 – «Прикладна фізика та наноматеріали». Освітня програма: «Експериментальна ядерна фізика та фізика плазми». При розробці Програми враховані вимоги Стандарту вищої освіти другого (магістерського) рівня, галузі знань 10 – «Природничі науки», спеціальності 105 – «Прикладна фізика та наноматеріали», затвердженого наказом МОН України № 804 від 16.06.2020 р.

1. ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

1.1. Мета викладання навчальної дисципліни

Мета: студенти мають засвоїти фундаментальні положення, методи дослідження та рівняння з Фізики ядерних реакторів.

1.2. Основні завдання вивчення дисципліни

Навчити студентів застосовувати здобуті теоретичні знання для практичного використання їх у сучасних дослідженнях.

Загальні компетентності, які мають бути засвоєні внаслідок вивчення вищої математики (вищої алгебри):

- Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях. **(ЗК-1)**
- Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел. **(ЗК-7)**
- Здатність працювати автономно. **(ЗК-9)**

Фахові компетентності, які мають бути засвоєні внаслідок вивчення вищої математики (вищої алгебри):

- Здатність використовувати сучасні теоретичні уявлення в галузі фізики для аналізу фізичних систем. **(СК-6)**
- Здатність використовувати методи і засоби теоретичного дослідження та математичного моделювання в професійній діяльності. **(СК-7)**
- Здатність виконувати обчислювальні експерименти, використовувати чисельні методи для розв'язування фізичних задач і моделювання фізичних систем **(СК-10)**

1.3. Кількість кредитів: 4.

1.4. Загальна кількість годин: 120.

1.5. Характеристика навчальної дисципліни

Обов'язкова / за вибором	
Денна форма навчання	Заочна (дистанційна) форма навчання
Рік підготовки	
1-й	1-й
Семестр	
2-й	2-й
Лекції	
64 год.	64 год.
Самостійна робота	
56 год.	56 год.
Індивідуальні завдання	
—	—

1.6. Заплановані результати навчання

Підготувати фахівця з теоретичної фізики, спроможного застосовувати отримані знання у сучасних дослідженнях.

Згідно з освітньо-професійною програмою «Прикладна фізика», спеціальність 105 – «прикладна фізика та наноматеріали» студенти мають досягти таких результатів навчання:

- Знати цілі сталого розвитку та можливості своєї професійної сфери для їх досягнення, в тому числі в Україні. (Зн-2)
- Розуміти закономірності розвитку прикладної фізики, її місце в розвитку техніки, технологій і суспільства, у тому числі в розв'язанні екологічних проблем. (Зн-3)
- Застосовувати сучасні математичні методи для побудови й аналізу математичних моделей фізичних процесів. (Ум-1)
- Застосовувати фізичні, математичні та комп'ютерні моделі для дослідження фізичних явищ, розробки приладів і наукоємних технологій. (Ум-3)
- Оцінювати фінансові, матеріальні та інші витрати, пов'язані з реалізацією проектів у сфері прикладної фізики, соціальні, екологічні та інші потенційні наслідки реалізації проектів. (Ком-4)

2. ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Розділ 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.

Розділ 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

Назви модулів і тем	Кількість годин					
	Денна форма					
	Усього	у тому числі				
л		п	лаб	інд	ср	
1	2	3	4	5	6	7
Розділ 1						
Тема 1. Вступ. Енергетика та екологія. Місце ядерної енергетики у структурі енергоресурсів у світі та в Україні. Основні проблеми ядерної енергетики.	4	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.	8	4				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 процеси.	8	4				4
Тема 4. Основні положення теорії уповільнення нейтронів. Характеристики властивостей речовин, що уповільнюють. Природні сповільнювачі: переваги та недоліки.	8	4				4
Тема 5. Теорія Фермі уповільнення нейтронів. Вік теплових нейтронів. Довжина уповільнення. Спектр нейтронів Фермі, що уповільнюються, в гомогенному непоглинаючому середовищі.	8	4				4

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.	8	4				4
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).	8	4				4
Тема 8. Ефективний коефіцієнт розмноження нейтронів та реактивність реактора. "Геометричний параметр". Умова критичності реактора, способи її досягнення та підтримки. Запас реактивності реактора.	8	4				4
Разом за модулем 1	60	32				28
Розділ 2						
Тема 9. Елементарне рівняння кінетики реактора (рівняння нейтронного балансу). Період реактора. Запізнілі нейтрони та їх роль у керуванні реактором.	8	4				4
Тема 10. Основні динамічні процеси у ядерному реакторі. Вигоряння ядерного палива. Відтворення ядерного палива, коефіцієнт відтворення. Температурні ефекти у ядерному реакторі.	8	4				4
Тема 11. Стаціонарне отруєння ядерного реактора. Отруєння реактора при перехідних процесах, "йодна яма". Шлакування ядерного реактора. Поглиначі нейтронів, що вигорають.	8	4				4
Тема 12. Ядерно-фізичні та хімічні параметри ядерного палива. Фізичний механізм дії відбивача. Нейтронно-фізичні характеристики матеріалів відбивача, теплоносія та сповільнювача.	8	4				4
Тема 13. Структура активної зони гетерогенного ядерного реактора на прикладі реакторів типу ВВЕР, РБМК, CANDU, та БН-600. Реактори на швидких нейтронах та замкнутий паливний цикл.	8	4				4
Тема 14. Поняття "внутрішньої безпеки" реактора та засоби її реалізації. Реактори IV покоління. Реактор на розплавах солей.	8	4				4
Тема 15. Підкритичні системи, що керуються прискорювачем (ADS). Каскадна схема.	8	4				4
Тема 16. Явище повільного ядерного горіння. Реактор хвилі, що біжить: сучасний стан проблеми.	8	4				
Разом за модулем 2	60	32				28
УСЬОГО ГОДИН	120	64				56

4. САМОСТІЙНА РОБОТА

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Вивільнення енергії при розподілі. Ланцюгова ядерна реакція. Основні характеристики уламків поділу.	4
2	Порівняльний аналіз реакторів на теплових та швидких нейтронах. Нейтронний цикл у тепловому ядерному реакторі.	4
3	Основні положення теорії уповільнення нейтронів. Характеристики властивостей речовин, що уповільнюють. Уповільнююча здатність багатокомпонентного середовища.	4
4	Теорія Фермі уповільнення нейтронів. Вік теплових нейтронів. Довжина уповільнення. Спектр нейтронів Фермі.	4
5	Закон дифузії теплових нейтронів у гомогенному середовищі (закон Фіка). Довжина дифузії, площа та довжина міграції нейтронів. Спектр нейтронів у реакторі на теплових нейтронах.	4
6	Коефіцієнт розмноження нейтронів (формула 4-х співмножників). Коефіцієнт використання теплових нейтронів Θ . Доплер-ефект.	4
7	Ефективний коефіцієнт розмноження нейтронів та реактивність реактора. "Геометричний параметр" (баклінг). Умова критичності реактора. Запас реактивності реактора.	4
8	Елементарне рівняння кінетики реактора (рівняння нейтронного балансу). Період реактора. Запізнілі нейтрони.	4
9	Основні динамічні процеси у ядерному реакторі. Вигоряння та відтворення ядерного палива. Коефіцієнт відтворення. Температурні ефекти у ядерному реакторі.	4
10	Стаціонарне отруєння ядерного реактора. Отруєння реактора при перехідних процесах, "йодна яма". Шлакування ядерного реактора. Поглиначі нейтронів, що вигорають.	4
11	Ядерно-фізичні та хімічні параметри ядерного палива. Фізичний механізм дії відбивача. Нейтронно-фізичні характеристики матеріалів відбивача, теплоносія та сповільнювача	4
12	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.	4
13	Поняття "внутрішньої безпеки" реактора та засоби її реалізації. Реактори IV покоління. Реактор на розплавах солей.	4
14	Підкритичні системи, що керуються прискорювачем (ADS).	4
	Разом	56

5. ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

Не передбачено.

6. МЕТОДИ НАВЧАННЯ

Лекції, розв'язування задач та творчих завдань, контрольні роботи.

7. МЕТОДИ КОНТРОЛЮ

Поточне опитування, тестування, оцінювання виконання самостійних домашніх завдань, підсумковий комбінований письмовий іспит.

Критерії оцінювання навчальних досягнень

Критерії оцінювання контрольної роботи. Контрольна робота у 2 семестрі містить одне теоретичне питання та дві задачі. Контрольна робота у 3 семестрі містить два теоретичних питання та дві задачі. Контрольні роботи виконуються в аудиторії.

Критерії оцінювання теоретичних питань:

Повна розгорнута відповідь - 10 балів.

Повна, але не розгорнута відповідь - 9 балів.

Повна, але не розгорнута відповідь, яка містить незначну помилку чи суперечність, - 8 балів, за кожну наступну незначну помилку чи суперечність знімається 1 бал.

Неповна відповідь, яка не містить критичних помилок чи суперечностей, - 7 балів, за кожну наступну незначну помилку чи суперечність знімається 1 бал.

Відповідь, що містить критичну помилку чи неточність, або відсутність відповіді оцінюється в 0 балів.

Критерії оцінювання розв'язання задачі:

Студент отримав загальний розв'язок і правильно вирахував числове значення відповіді - 20 балів.

Студент отримав загальний розв'язок і неправильно вирахував числове значення відповіді - 17 балів.

Студент отримав загальний розв'язок, але помилився в одиницях вимірювання - 13 балів.

Студент правильно вписав необхідні для розв'язання закони та рівняння, але не зміг отримати загальний розв'язок - 8 балів.

Студент не повністю вписав необхідні для розв'язання закони та рівняння - 2 бали.

Студент не правильно вписав необхідні для розв'язку закони та рівняння, чи розв'язок взагалі відсутній 0 балів.

Критерії оцінювання підсумкового контролю знань. Підсумковий контроль знань відбуваються у вигляді письмового екзамену з навчальної дисципліни. Кожен білет має два теоретичних питання та задачу що потребує розв'язання:

Перше питання до 10 балів.

Друге питання до 10 балів.

Розв'язання задачі до 20 балів.

Критерії оцінювання теоретичних питань:

Повна розгорнута відповідь - 10 балів.

Повна, але не розгорнута відповідь - 9 балів.

Повна, але не розгорнута відповідь, яка містить незначну помилку чи суперечність, - 8 балів, за кожну наступну незначну помилку чи суперечність знімається 1 бал.

Неповна відповідь, яка не містить критичних помилок чи суперечностей, - 7 балів, за кожну наступну незначну помилку чи суперечність знімається 1 бал.

Відповідь, що містить критичну помилку чи неточність, або відсутність відповіді оцінюється в 0 балів.

Критерії оцінювання розв'язання задачі:

Студент отримав загальний розв'язок і правильно вирахував числове значення відповіді - 20 балів.

Студент отримав загальний розв'язок і неправильно вирахував числове значення відповіді - 17 балів.

Студент отримав загальний розв'язок, але помилився в одиницях вимірювання - 13 балів.

Студент правильно виписав необхідні для розв'язання закони та рівняння, але не зміг отримати загальний розв'язок - 8 балів.

Студент не повністю виписав необхідні для розв'язання закони та рівняння - 2 бали.

Студент не правильно виписав необхідні для розв'язку закони та рівняння, чи розв'язок взагалі відсутній 0 балів.

8. СХЕМА НАРАХУВАННЯ БАЛІВ

Розподіл балів, що присвоюються студентам

Вид роботи	Модуль		Іспит
	1	2	
Поточне опитування	10	10	
Поточні контрольні роботи	15	15	
Наполегливість, активність на заняттях, конспект	5	5	
Сума балів за модуль	30	30	40

Для допуску до складання підсумкового контролю (екзамену) здобувач вищої освіти повинен набрати не менше 15 балів з навчальної дисципліни під час поточного контролю, самостійної роботи, індивідуального завдання.

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

9. ЛІТЕРАТУРА

Базова

1. Павлович В.М. Фізика ядерних реакторів: навчальний посібник. Чорнобиль (Київ, обл.): Ін-т проблем безпеки АЕС, 2009. – 224 с.
2. Levis E.E. Fundamentals of Nuclear Reactor Physics. Academic Press, 2008, – 293 p.
3. Pazsit, Imre. Transport theory and stochastic processes. Chalmers University, Geteborg, Sweden, 2007, – 182 p.

Допоміжна

1. Давидов Л.М., Белозоров 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. Азаренков Н.А. и др. Ядерная энергетика: учебное пособие. Харьков: Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, 2012. Раздел 2. с. 74-152.