

Учреждение образования
«Международный государственный экологический институт
имени А.Д. Сахарова»
Белорусского государственного университета

УТВЕРЖДАЮ

Директор МГЭИ им. А.Д. Сахарова
БГУ

О.И. Родькин

26 декабря 2024

Регистрационный № УД-163224/уч.

ФИЗИКА, КИНЕТИКА И ДИНАМИКА ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ

Учебная программа учреждения образования по учебной дисциплине для
специальностей:

1-100 01 01 Ядерная и радиационная безопасность

2024 г.

Учебная программа составлена на основе ОСВО 1-100 01 01-2021 Ядерная и радиационная безопасность от 25.04.2022 и учебного плана учреждения образования для специальности Ядерная и радиационная безопасность Рег.№134-21/уч. от 25.06.2021

СОСТАВИТЕЛИ:

Б.И. Попов, доцент кафедры ядерных и медицинских технологий учреждения образования «Международный государственный экологический институт имени А.Д. Сахарова» БГУ, кандидат технических наук,

А.И. Киевицкая, профессор кафедры ядерных и медицинских технологий учреждения образования «Международный государственный экологический институт имени А.Д. Сахарова» БГУ, доктор физико-математических наук, доцент

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

И.Я. Дубовская, доцент кафедры ядерной физики физического факультета БГУ, кандидат физико-математических наук, доцент;

А.С. Лобко, заместитель директора НИИЯП БГУ, доктор физико-математических наук, доцент

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой ядерных и медицинских технологий «Международного государственного экологического института им. А.Д. Сахарова» БГУ

(протокол № 4 от 19.11.2024);

Научно-методическим советом учреждения образования «Международный государственный экологический институт им. А.Д. Сахарова» БГУ

(протокол № 4 от 26.12.2024)

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Дисциплина «Физика, кинетика и динамика ядерных реакторов» является дисциплиной специальности 1-100 01 01 «Ядерная и радиационная безопасность» первой ступени высшего образования. Она предназначена для изучения студентами физических процессов, протекающих в ядерных реакторах, и основ моделирования переходных и нестационарных нейтронно-физических процессов, необходимых для понимания принципов управления реакторами.

В дисциплине «Физика, кинетика и динамика ядерных реакторов» используются для практического применения теоретические знания, полученные студентами в рамках дисциплины «Нейтронная физика». Дисциплина охватывает вопросы от характеристик взаимодействия нейтрона с реакторными материалами до основ расчета систем управления и защиты ядерных реакторов.

В программе дисциплины «Физика, кинетика и динамика ядерных реакторов» рассмотрены следующие вопросы: физические основы практического использования ядерной энергии; замедление и диффузия нейтронов в реакторе; нейтронное поле и условия критичности реактора; элементарная кинетика реактора и с учетом запаздывающих нейтронов; кинетика подкритического реактора; динамика изменения нуклидного состава топлива; эффекты и запасы реактивности реактора; отравление реактора ксеноном и самарием; эффективность стержней управления реактора; основы жидкостного борного регулирования реактора. Вопросы касаются в основном реакторов на тепловых нейтронах с рассмотрением особенностей реакторов на быстрых нейтронах.

Цель учебной дисциплины – сформировать у студентов систематические знания по физике и основам переходных и нестационарных нейтронно-физических процессов в ядерных реакторах, необходимые для последующей деятельности в области их практического использования.

Задачи учебной дисциплины:

- сформировать систематические знания обучающихся в области физики ядерных реакторов;
- получить навыки решения задач по расчету: сечений взаимодействия нейтронов с ядрами реакторных материалов; распределению плотности потока нейтронов в реакторе; эффективного коэффициента размножения реактора на тепловых нейтронах; динамики изменения изотопного состава топлива в процессе работы реактора; параметров отравления реактора;
- сформировать качественное понимание основных переходных и нестационарных процессов, происходящих в ядерном реакторе;
- сформировать у студентов знания, необходимые для понимания принципов управления реактором.

В результате усвоения дисциплины обучающийся должен

знать:

- уравнение диффузии моноэнергетических нейтронов и граничные условия его решения;
- характеристики процесса замедления, уравнение возраста;
- условие критичности реактора в диффузионно-возрастном приближении;
- элементарное уравнение кинетики реактора;
- особенности кинетики с учетом запаздывающих нейтронов;
- уравнение обратных часов и его смысл;
- эффекты реактивности реактора;
- понятия общий и оперативный запас реактивности;
- особенности отравления реактора ксеноном и самарием;
- методы управления реактором;

уметь:

- вычислять сечения реакций тепловых нейтронов с ядрами элементов реакторной среды;
- рассчитывать эффективный коэффициент размножения реактора в диффузионно-возрастном приближении;
- рассчитывать изотопный состав топлива в зависимости от времени работы реактора;
- рассчитывать параметры отравления реактора;
- рассчитывать эффективность поглощающих стержней управления реактора;

владеть:

- основными методами решения задач по физике ядерных реакторов.

В результате усвоения учебной дисциплины студент должен обладать следующими **компетенциями**:

- Применять знания теории тепломассопереноса и особенностей процессов тепломассопереноса в ядерных энергетических установках (БПК-17);
- Способным к саморазвитию и совершенствованию в профессиональной деятельности (УК-5);
- Проявлять инициативу и адаптироваться к изменениям в профессиональной деятельности (УК-6).

Для организации самостоятельной работы студентов по дисциплине необходимо принять такие меры, как размещение в свободном доступе комплекса учебных и учебно-методических материалов (программа, методические указания к практическим занятиям), а также вычислительную технику с соответствующим программным обеспечением.

Учебная программа по учебной дисциплине «Физика, кинетика и динамика ядерных реакторов» рассчитана на 108 учебных часов, из них 68 аудиторных часов, в том числе:

- лекции – 40 часов,
- практические занятия – 28 часов.

Форма промежуточной аттестации по дисциплине – зачет и экзамен в 8-м семестре.

Форма получения высшего образования – очная (дневная).

Трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетные единицы.

Контроль знаний предполагает сдачу отчетов по практическим занятиям. Проводится самостоятельная работа студентов, включающая в себя теоретическую подготовку к проведению практических занятий.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Тема 1. Введение в дисциплину «Физика, кинетика и динамика ядерных реакторов»

Краткая история открытия деления ядер урана и освоения атомной энергии. Мирное использование атомной энергии в Республике Беларусь.

Тема 2. Физические основы получения ядерной энергии

Типы нейтронных реакций в реакторе. Особенности реакции деления. Характеристики нейтронных полей. Скорости нейтронных реакций в активной зоне реактора. Условия критичности реактора. Нейтронный цикл в реакторе на тепловых нейтронах.

Тема 3. Основы конструкции ядерных реакторов

Ядерное топливо. Замедлитель. Теплоноситель. Структура активной зоны ядерных реакторов.

Тема 4. Диффузия нейтронов в ядерном реакторе

Закон диффузии моноэнергетических нейтронов. Волновое уравнение. Геометрический параметр реактора. Вероятность избежать утечки тепловых нейтронов.

Тема 5. Замедление нейтронов в ядерном реакторе

Характеристики замедляющих свойств среды. Возраст нейтронов. Уравнение возраста и его решение. Вероятность избежать резонансного захвата. Вероятность избежать утечки замедляющихся нейтронов. Спектр Ферми замедляющихся нейтронов.

Тема 6. Гомогенный реактор на тепловых нейтронах

Источник нейтронов по теории возраста. Приближение к критическому состоянию и условие критичности. Материальный и геометрический параметры. Время жизни поколения нейтронов. Геометрический параметр реакторов различной формы. Свойства отражателя. Однотемпературный метод расчета реактора. Эффективная добавка. Многогрупповой метод.

Тема 7. Гетерогенный реактор на тепловых нейтронах

Резонансный захват. Эффективный резонансный интеграл. Вероятность избежать резонансного захвата. Расчет коэффициента использования тепловых нейтронов. Расчет вероятности избежать резонансного захвата. Расчет коэффициента размножения на быстрых нейтронах. Преимущества и недостатки гетерогенного реактора.

Тема 8. Кинетика реактора

Элементарное уравнение кинетики. Период и время удвоения мощности реактора. Уравнение кинетики с учетом запаздывающих нейтронов. Уравнение

обратных часов. Переходные процессы при сообщении реактору положительной и отрицательной реактивности. Малые и большие реактивности.

Тема 9. Эффекты реактивности реактора на тепловых нейтронах

Эффекты и запасы реактивности. Эффект выгорания ядерного топлива. Энерговыработка реактора. Эффект шлакования топлива. Воспроизводство ядерного топлива. Динамика изменения изотопного состава топлива. Коэффициент воспроизводства. Эффект выгорающих поглотителей. Кривая энерговыработки реактора.

Тема 10. Отравление реактора ксеноном и самарием

Уравнения отравления реактора ксеноном. Стационарное отравление. Переотравление реактора ксеноном. «Йодная яма». Потеря реактивности при отравлении реактора ксеноном. Уравнения отравления реактора самарием. Особенности отравления самарием. «Прометиевый провал». Потеря реактивности при отравлении реактора самарием.

Тема 11. Модели динамических процессов в ядерных реакторах

Общий подход к написанию уравнений динамики реакторов. Решения уравнений динамики в приближении модели мгновенного скачка реактивности. Линеаризованные уравнения динамики. Статика и динамика мощностного эффекта реактивности. Ксеноновые колебания. Саморегулирование реактора. Устойчивость реактора. Понятие и условие устойчивости реактора.

Тема 12. Управление реактором

Температурные эффекты реактивности. Управление регулирующими стержнями. Расчет эффективности поглощающих стержней. Дифференциальная и интегральная эффективности поглощающих стержней. Борное регулирование реактора на тепловых нейтронах.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

(для очной (дневной) формы получения образования)

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Форма контроля
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1.	Введение в дисциплину «Физика, кинетика и динамика ядерных реакторов»	2						1,3
2.	Физические основы получения ядерной энергии	4	2					1,2,3, 4
3.	Основы конструкции ядерных реакторов	2						1,2,4
4.	Диффузия нейтронов в ядерном реакторе	4						1 - 4
5.	Замедление нейтронов в ядерном реакторе	6	2					1 -4
6.	Гомогенный реактор на тепловых нейтронах	4	6					1 -4
7.	Гетерогенный реактор на тепловых нейтронах	4	4					1 -4
8.	Кинетика реактора	4	2					1 -4
9.	Эффекты реактивности реактора на тепловых нейтронах	4	4					1-4
10.	Отравление реактора ксеноном и самарием	2	4					1 -4
11.	Модели динамических процессов в ядерных реакторах	2						
12.	Управление реактором	2	4					1 -4
	ИТОГО	40	28					

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Инновационные методы и подходы к преподаванию учебной дисциплины

При организации образовательного процесса по дисциплине «Физика, кинетика и динамика ядерных реакторов» используется подход, предполагающий освоение содержания дисциплины через теоретическую подготовку и решение практических задач. Предполагается также участие студентов в целенаправленном обмене мнениями, идеями для решения поставленных задач. В процессе практических занятий предполагается широкое использование персональной вычислительной техники.

Рекомендуемая литература

Основная

1. Байбаков, В. Д. Физика ядерных реакторов: учеб. пособие. / В. Д. Байбаков. – М. : Издательство МЭИ, 2016. – 420 с. ISBN 978-57046-1793-8.
2. Тошинский, И. Г. Беседы о ядерной энергетике. Физика реакторов и технологий модульных быстрых реакторов с теплоносителем свинец-висмут: для начинающих и не только. / И. Г. Тошинский. – М. : РГ-Пресс, 2019. – 480 с.
3. Баклушин, Р. П. Эксплуатационные режимы АЭС: учеб. пособие / Р. П. Баклушин. – 2-е изд. перераб. и доп. – М. : Изд. Дом МЭИ, 2012. – 532 с. ISBN 978-5-383-00641-2.
4. Владимиров, В. И. Физика ядерных реакторов: Практические задачи по их эксплуатации. Изд. стереотип. – М. – Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2015. – 480 с. ISBN 978-5-397-04741-8.
5. Конструкционные и функциональные материалы ядерных энергетических установок: учеб. пособие. / И.И. Чернов [и др.]. – Минск. – Вышэйшая школа. – 2021. – 239 с. ISBN 978-985-06-3320-0.

Дополнительная

1. Глесстон, С. Основы теории ядерных реакторов / С. Глесстон, М. Эдлунд. — М. : Изд-во Иностранной литературы, 1954. – 458 с.
2. Вейнберг, А. Физическая теория ядерных реакторов / А. Вейнберг, Е. Вигнер. – М. : Изд-во Иностранной литературы, 1961. – 725 с.
3. Групповые константы для расчета ядерных реакторов / А. П. Абагян [и др.]. – М. : Атомиздат, 1964. – 137 с.
4. Саркисов, А. А. Физика переходных процессов в ядерных реакторах / А. А. Саркисов, В. Н. Пучков. – М. : Энергоатомиздат, 1983. – 231 с.
5. Казанский, Ю. А. Экспериментальная физика реакторов / Ю. А. Казанский, Е. С. Матусевич. – М. : Энергоатомиздат, 1994. – 352 с.
6. Казанский, Ю. А. Кинетика ядерных реакторов : учеб. пособие / Ю. А. Казанский. – Обнинск : ИАТЭ, 2003. – 96 с.

- 7.Владимиров, В. И. Практические задачи по эксплуатации ядерных реакторов / В. И. Владимиров. – 4-е изд., перераб. и доп.– М.: Энергоиздат, 1986. – 304 с.
- 8.Белл, Д. Теория ядерных реакторов / Д. Белл, С. Глесстон. – М. : Атомиздат, 1974. – 494 с.
- 9.Ганев, И. Х. Физика и расчет реактора / И. Х. Ганев. – М. : Энергоатомиздат, 1985. – 496 с.
- 10.Основы теории и методы расчета ядерных энергетических реакторов / Г. Г. Бартоломей [и др.]. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 512 с.
- 11.Мерзликин, Г. Я. Основы теории реакторов / Мерзликин Г. Я. – Севастополь : Изд-во СНУЯЭиП, 2011. – 451 с.
- 12.Кипин, Дж. Физические основы кинетики ядерных реакторов: пер. с англ. / Дж. Кипин. – М. : Атомиздат, 1967. – 428 с.
- 13.Хетрик, Д. Динамика ядерных реакторов : пер. с англ. / Д. Хетрик. – М. : Атомиздат, 1975. – 400 с.
- 14.Дементьев, Б. А. Кинетика и регулирование ядерных реакторов: учеб. пособие для вузов / Б. А. Дементьев. – 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Энергоатомиздат, 1986. – 272 с.
- 15.Лебедев, В. А. Ядерные энергетические установки: учеб. пособие / В. А. Лебедев. – СПб. : Издательство «Лань», 2015. – 192 с. ISBN 978-5-8114-1868-8
- 16.Халимончук, В. А. Динамика реакторов с распределенными параметрами - в исследованиях переходных режимов эксплуатации ВВЭР и РБМК / В. А. Халимончук. – К. : Основа, 2008. – 228 с. ISBN 966-02-41-49.
- 17.Климов, А. Н. Ядерная физика и ядерные реакторы: учебник для ВУЗов / А. Н. Климов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 2002. – 464 с. ISBN 5-283-03843-2
- 18.Киевицкая, А. И. Современная атомная энергетика и инновационные ядерные установки: учеб. пособие / А. И. Киевицкая. – Минск: ИВЦ Минфина, 2022. – 92 с. <https://elib.bsu.by/handle/123456789/289089>.
- 19.Киевицкая, А. И. Инновационные ядерные установки для решения проблем современной ядерной энергетики / А. И. Киевицкая. – Минск : ИВЦ Минфина, 2023. – 258 с. Л. 12,84. ISBN 978-985-880-352-0

Формы контроля знаний

№ п / п	Форма
1.	Выборочный контроль на лекциях
2.	Проверка правильности расчетов, выполняемых на практических занятиях
3.	Зачет
4.	Экзамен

Примерный перечень тем практических работ

1. Подготовка микроскопических и макроскопических сечений взаимодействия нейтронов с элементами среды реактора типа ВВЭР.
2. Расчет коэффициента размножения реактора типа ВВЭР-1200. Гомогенная среда активной зоны.
3. Расчет коэффициента размножения реактора типа ВВЭР-1200. Гетерогенная среда активной зоны.
4. Расчет динамики изотопного состава топлива реактора типа ВВЭР-1200.
5. Расчет пространственного распределения плотности потока нейтронов в активной зоне реактора типа ВВЭ-1200.
6. Многогрупповой расчет плотности потока нейтронов и ценности нейтронов.
7. Расчет временного поведения плотности потока нейтронов в активной зоне теплового реактора с учетом запаздывающих нейтронов
8. Расчет параметров ксенонового отравления реактора типа ВВЭР-1200.
9. Расчет параметров самариевого отравления реактора типа ВВЭР-1200.
10. Расчет реактивности для управления мощностью реактора.

Наименования и виды методических средств

№ п / п	Наименование	Вид
1	Презентации	Электронный файл - *.ppt

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ С ДРУГИМИ
ДИСЦИПЛИНАМИ СПЕЦИАЛЬНОСТИ

Название дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы по изучаемой дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Согласование с другими дисциплинами специальности не требуется			