

Белорусский государственный университет
УО «Международный государственный экологический институт имени
А.Д.Сахарова» Белорусского государственного университета

УТВЕРЖДАЮ

Директор
Международный
государственный
экологический институт
имени А.Д.Сахарова» БГУ



С.А.Маскевич

16.07.2018

Рег. № 677-18/42.

КИНЕТИКА И ДИНАМИКА ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ

Учебная программа учреждения высшего образования по учебной
дисциплине для специальности

1-100 01 01 «Ядерная и радиационная безопасность»

Учебная программа составлена на основе образовательного стандарта для специальности 1-100 01 01 Ядерная и радиационная безопасность (ОСВО 1-100 01 01-2013) и учебного плана специальности 1-100 01 01 Ядерная и радиационная безопасность № 46-14/уч.

СОСТАВИТЕЛЬ:

А.И.Тимощенко, доцент кафедры ядерной и радиационной безопасности учреждения образования «Международный государственный экологический институт имени А.Д.Сахарова» Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук, доцент.

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

В.В.Тихомиров, профессор кафедры ядерной физики Белорусского государственного университета, доктор физико-математических наук, доцент.

С.А.Кутень, заведующий лабораторией теоретической физики и моделирования ядерных процессов научно-исследовательского учреждения «Институт ядерных проблем» Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой ядерной и радиационной безопасности учреждения образования «Международный государственный экологический институт им. А.Д.Сахарова» Белорусского государственного университета

(протокол № 5 от 15.12.2017).

Научно-методическим советом учреждения образования «Международный государственный экологический институт имени А.Д.Сахарова» Белорусского государственного университета

(протокол № 4 от 16.01.2018).

I. ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Изучение дисциплины «Кинетика и динамика ядерных реакторов» призвана заложить глубокие теоретические основы для последующего применения полученных студентами в ходе ее изучения знаний и навыков при решении задач обеспечения ядерной безопасности объектов, на которых происходит обращение с делящимися ядерными материалами. Эта дисциплина является одной из основных дисциплин специальности 1-100 01 01 «Ядерная и радиационная безопасность». Основными дисциплинами цикла общепрофессиональных и специальных дисциплин, необходимыми для освоения дисциплины являются: «Физика», «Физика ядра и ионизирующего излучения», «Нейтронная физика», «Ядерные реакторы и атомные станции», «Радиохимия». В ней используются сведения из дисциплины «Материаловедение и технологии конструкционных материалов» (в части, касающейся радиационных свойств материалов). Расчётные методы, применяемые в дисциплине, основаны на знаниях и навыках, полученных студентами при изучении таких дисциплин, как «Математический анализ», «Аналитическая геометрия и высшая алгебра», «Теория вероятностей и математическая статистика», «Тензорный анализ и компьютерная геометрия», «Дифференциальные и интегральные уравнения», «Методы математической физики», «Теоретическая механика», «Механика сплошной среды».

Концептуальную основу дисциплины «Кинетика и динамика ядерных реакторов» составляют:

- механизмы образования нейтронов деления, в том числе, запаздывающих нейтронов деления;
- уравнения переноса нейтронов в активной зоне ядерного реактора;
- основные понятия и величины, применяемые в физике ядерных реакторов.

Поэтому дисциплина «Кинетика и динамика ядерных реакторов» имеет тесные межпредметные связи с другими дисциплинами учебного плана и носит теоретический и прикладной характер.

Целью изучения данной дисциплины является освоение студентами знаний и получение навыков по расчету нейтронно-физических характеристик ядерных реакторов, важных для управления ими.

Важнейшие **задачи** дисциплины состоят в следующем:

- формирование системных знаний студентов в области нейтронной кинетики и динамики ядерных реакторов;
- привитие и закрепление базовых навыков решения типовых задач нейтронной кинетики и динамики ядерных реакторов.

Перед преподавателем ставятся следующие задачи:

- изложить важнейшие методы описания кинетики ядерных реакторов от простейших моделей точечного реактора до уравнений переноса нейтронов в активных зонах с распределенными в пространстве параметрами;

- сформировать понимание у обучающихся смысла эффективных величин, таких как эффективный коэффициент размножения нейтронов, эффективная доля запаздывающих нейтронов, используемых в уравнениях точечной кинетики;

- дать теоретический задел для понимания обучающимися путей и методов управления реактивностью ядерных реакторов и связанных с этим вопросов оценки безопасности ядерных реакторов;

- ознакомить обучаемых с основными приемами и инструментами решения простейших модельных задач кинетики и динамики ядерных реакторов;

- способствовать развитию научного мировоззрения обучающихся.

Из множества эффективных педагогических методик и технологий, которые способствуют вовлечению студентов в поиск и управление знаниями, приобретению опыта самостоятельного решения разнообразных задач, следует выделить:

- технологии проблемно-модульного обучения;

- технологии научно-исследовательской деятельности;

- проектные технологии;

- проблемно-ориентированный междисциплинарный подход;

- интенсивное обучение;

- моделирование проблемных ситуаций и их решение.

Для формирования современных социально-профессиональных компетенций выпускника в практику проведения занятий целесообразно внедрять методики активного обучения и дискуссионные формы.

В результате усвоения дисциплины обучающийся должен в соответствии с требованиями образовательного стандарта специальности 1-100 01 01 «Ядерная и радиационная безопасность»

знать:

- нейтронно-физические явления в активной зоне ядерного реактора;
- основные явления кинетики и динамики ядерных реакторов;
- уравнения кинетики и динамики ядерных реакторов;
- основные особенности методов аналитического решения уравнений кинетики ядерных реакторов;
- виды обратных связей в ядерном реакторе и физические основы их возникновения;
- эффекты реактивности и их описание;

уметь:

- составлять нестационарное уравнение переноса нейтронов и объяснять смысл его слагаемых;
- находить информацию о сечениях основных нейтронно-физических процессов в ядерных реакторах;

- использовать формулу обратных часов для анализа работы активной зоны ядерного реактора;
- составлять и анализировать уравнения кинетики для важнейших радионуклидов в активной зоне ядерного реактора; определять реактивность при различных режимах работы реактора;

владеть:

- основными методами нахождения решений уравнений кинетики для точечного реактора;
- методами типовых расчетов коэффициента размножения нейтронов и реактивности реакторов на тепловых нейтронах;
- методами оценки степени выгорания ядерного топлива в активной зоне.

Освоение дисциплины направлено на **формирование следующих компетенций:**

Владеть и уметь применять базовые научно-теоретические знания для решения теоретических и практических задач в области ядерной и радиационной безопасности.

Владеть системным и сравнительным анализом.

Владеть исследовательскими навыками.

Уметь работать самостоятельно.

Быть способным порождать новые идеи (обладать креативностью).

Владеть междисциплинарным подходом при решении проблем.

Обладать навыками устной и письменной коммуникации.

Уметь учиться, повышать свою квалификацию в течение всей жизни.

Обладать качествами гражданственности.

Быть способным к социальному взаимодействию.

Обладать способностью к межличностным коммуникациям.

Владеть навыками здоровьесбережения.

Быть способным к критике и самокритике.

Уметь работать в команде.

Самостоятельно приобретать и использовать в практической деятельности новые знания и умения, в том числе в новых областях знаний, непосредственно не связанных со сферой деятельности.

Применять знания теоретических и экспериментальных основ физики, методов исследования, методов измерения физических величин, методов планирования, организации и ведения производственно-технической и экспериментальной работы в области ядерной и радиационной безопасности.

Пользоваться компьютерными методами сбора, хранения и обработки информации, профессиональными программными комплексами, технической и патентной литературой.

Разрабатывать планы ввода в эксплуатацию и вывода из эксплуатации ядерных и радиационно опасных объектов и установок.

Использовать новейшие открытия в естествознании, методы научного анализа, физические основы современных технологий, оборудование и аппаратуру в исследовательской работе в области ядерной и радиационной безопасности и ядерных технологий в целом.

Использовать общепринятые модели процессов в реакторах, в технологическом оборудовании и конструкционных материалах атомной станции, в источниках ионизирующего излучения, оценивать с их помощью состав и характеристики выбросов в окружающую среду, степень приближения к критическим значениям параметров работы реактора или другого источника ионизирующего излучения, степень риска возникновения инцидента или аварии;

Обрабатывать результаты наблюдений и экспериментов и анализировать их.

Составлять планы и программы исследований и разработок, работать с научной литературой, готовить обзоры, рефераты.

Составлять документацию (графики работ, инструкции, планы, заявки, деловые письма и т.п.), а также отчетную документацию по установленным формам.

Взаимодействовать со специалистами смежных профилей.

Готовить доклады, материалы к презентациям.

Пользоваться глобальными информационными ресурсами.

Владеть современными средствами телекоммуникаций.

Осуществлять поиск, систематизацию и анализ информации по перспективам развития отрасли, инновационным технологиям, проектам и решениям.

Самостоятельная работа обучающихся по дисциплине включает в себя повторение теоретического материала, закрепление его при выполнении расчётных заданий, подготовку к контрольным работам, подготовку к зачету по практическим занятиям и к экзамену по дисциплине.

Программа рассчитана на 140 часов, из которых 68 часов отводится на аудиторные занятия. На лекции отводится 40 часов, на практические занятия – 28 часов.

Промежуточный контроль знаний рекомендуется осуществлять путём проведения 2 контрольных работ по практическим занятиям.

Форма текущей аттестации по дисциплине – зачет по практическим занятиям и экзамен в 8 семестре.

Форма получения высшего образования – очная.

2. СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Тема 1. Введение. Основные понятия кинетики активной зоны ядерного реактора

Цели и задачи дисциплины. Реакции деления тяжелых ядер нейтронами. Среднее число нейтронов, выделяющееся в процессе деления. Энергетический спектр нейтронов деления. Продукты деления. Распределение энергии деления. Цепные реакции деления. Поколения нейтронов деления. Коэффициент размножения. Режимы реакций деления. Критические размер и масса. Реактивность. Радиационный захват нейтронов и другие конкурирующие процессы. Доля актов деления. Число вторичных нейтронов, приводящих к делению, отнесенное к одному акту захвата нейтрона.

Взаимодействие нейтронов с веществом активной зоны. Сечения взаимодействия. Зависимость дифференциального сечения деления тяжелых ядер с нейтронами от их энергии. Анизотропия испускания нейтронов. Потери кинетической энергии нейтронами в замедлителе. Моделирование поведения дифференциальных сечений в зависимости от энергий и направлений движения нейтронов, рассеянных или образовавшихся в среде. Быстрые, промежуточные и медленные реакции деления. Формула четырех сомножителей для медленных реакций деления. Общие условия управления цепной реакцией деления.

Тема 2. Модель точечного реактора

Элементарное уравнение кинетики нейтронов в реакторе: «холодный реактор» на мгновенных нейтронах с гомогенной активной зоной. Мгновенные нейтроны деления. Среднее время жизни мгновенных нейтронов в быстрых и медленных реакциях деления. Среднее эффективное время жизни нейтронов. Период реактора. Время удвоения. Запаздывающие нейтроны. Ядра-предшественники. Группы запаздывающих нейтронов. Коэффициент ценности запаздывающих нейтронов. Среднее по группам время жизни запаздывающих нейтронов.

Система уравнений кинетики для гомогенной активной зоны «холодного реактора» с учетом запаздывающих нейтронов, сведенных в одну группу. Стационарный режим. Нестационарный режим. Факторы, позволяющие управлять цепной реакцией деления. Единицы измерения реактивности: доллар, цент. Учет различий между группами запаздывающих нейтронов. Уравнение Нордхейма (формула «обратных часов»). Стационарный режим. Установившийся период реактора. Переходные периоды реактора. Кинетика подкритического реактора. Подкритический коэффициент размножения (умножение), подкритичность.

Тема 3. Обратные связи в реакторе. Эффекты реактивности

Температурные обратные связи в реакторе. Ядерный, плотностной и объемный температурные коэффициенты реактивности. Мощностной коэффициент реактивности. Доплеровский коэффициент реактивности. Другие коэффициенты реактивности для различных типов реакторов. Запас реактивности и его составляющие. Гомогенное и негетогенное размещение поглотителей. Методы компенсации реактивности.

Ступенчатый скачок реактивности. Переходный процесс при мгновенной надкритичности. Отрицательный скачок реактивности. Изменение реактивности по линейному закону – приближенные решения. Вывод реактора на критический режим. Адиабатическая модель реактора.

Тема 4. Изменение элементного состава активной зоны ядерного реактора во времени

Выгорание ядерного топлива. Дифференциальное уравнение выгорания для точечного реактора. Приближение малого выгорания. Глубина выгорания. Степень выгорания и ее связь с глубиной выгорания. Приближение большого выгорания.

Воспроизводство вторичного ядерного топлива. Уран-плутониевый цикл. Равновесная концентрация изотопов плутония. Коэффициент воспроизводства ядерного топлива.

Шлакование реактора. Классификация шлаков по группам.

Особенности суммарной радиоактивности осколков деления и их средние сечения поглощения нейтронов. Основные изотопы, имеющие высокое сечение захвата нейтронов («яды»). Отравление ксеноном. Стационарный случай. Нестационарное отравление ксеноном. Отравление ксеноном после останова реактора. «Йодная яма». Отравление ксеноном при частичном снижении мощности. Отравление ксеноном при повышении мощности. Ксеноновые колебания. Отравление самарием. Стационарный случай. Нестационарное отравление самарием. Прометиевый провал. Нептуниевый эффект.

Выгорающие и слабовыгорающие поглотители нейтронов. Запас реактивности и его изменение во времени. Кампания ядерного реактора.

Тема 5. Уравнения переноса для мгновенных нейтронов и общие свойства его решений применительно к кинетике активной зоны ядерного реактора

Распределения плотности, мощности флюэнса и плотности тока нейтронов по энергиям нейтронов и направлениям их движения. Интегральные величины. Математическое моделирование источников нейтронов в активной зоне реактора.

Составление уравнения переноса нейтронов в ядерном реакторе для мгновенных нейтронов. Интегральная форма уравнения переноса. Общие свойства решений нестационарного уравнения переноса для мгновенных нейтронов (спектр оператора переноса, условие критичности, эффективный коэффициент размножения). Граничные условия. Стационарный случай. Понятие о скейлинге поля нейтронов.

Общая характеристика методов решений уравнения переноса. Одногрупповое приближение. Многогрупповые методы. P_N -приближение и S_N -приближение. Вариационные методы. Метод Монте-Карло.

Одногрупповое (односкоростное) приближение. Модель неограниченного в пространстве одномерного движения нейтронов. Решение уравнения переноса методом разделения переменных, с помощью преобразования Фурье, с помощью сферических гармоник. Континуум сингулярных решений. Бесконечная среда с плоским источником. Точечный и распределенные источники.

Тема 6. Уравнение переноса с учетом запаздывающих нейтронов в активной зоне ядерного реактора. Предельный переход к модели точечного реактора

Составление уравнений переноса нейтронов в ядерном реакторе с учетом запаздывающих нейтронов. Сопряженное уравнение переноса нейтронов. Сопряженная функция. Функция ценности нейтронов.

Вывод уравнений для модели точечной активной зоны из уравнений переноса с учетом запаздывающих нейтронов. Эффективный коэффициент размножения и доля запаздывающих нейтронов.

Тема 7. Уравнение переноса нейтронов в активной зоне ядерного реактора в диффузионном приближении

Диффузионное приближение в уравнении переноса нейтронов в активной зоне. Случай мгновенных нейтронов. Учет запаздывающих нейтронов. Стационарный случай. Уравнение Пайерлса. Соотношения взаимности. Длина диффузии. Длина релаксации. Учет анизотропного рассеяния. Метод сферических гармоник. Вероятность избежать столкновения. Метод хорд. Замедление нейтронов. Уравнение переноса в возрастном приближении.

Тема 8. Некоторые задачи кинетики активной зоны ядерного реактора

Теория поглощающего стержня. Эффективный радиус и форма поглощающих стержней. Интерференция поглощающих стержней. Борное регулирование.

Трансмутация радиоактивных отходов.

Физика неустранимых отрицательных свойств ядерной технологии производства электрической и тепловой энергии.

3. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

№ п/ п	Название темы	Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Кол-во часов	Литература	Формы контроля знаний
1	2	3	4	5	6			
1	Тема 1. Введение. Основные понятия кинетики активной зоны ядерного реактора.	6						
1.1	Цели и задачи дисциплины. Реакции деления тяжелых ядер нейтронами. Среднее число нейтронов, выделяющееся в процессе деления. Энергетический спектр нейтронов деления. Продукты деления. Распределение энергии деления. Цепные реакции деления. Поколения нейтронов деления. Коэффициент размножения. Режимы реакций деления. Критические размер и масса. Реактивность.	2					[1-7]	1,2
1.2	Взаимодействие нейтронов с веществом активной зоны. Сечения взаимодействия. Радиационный захват нейтронов и другие конкурирующие процессы. Доля актов деления. Число вторичных нейтронов, приводящих к делению, отнесенное к одному акту захвата нейтрона. Зависимость дифференциального сечения деления тяжелых ядер с нейтронами от их энергии. Анизотропия испускания нейтронов. Потери кинетической энергии нейтронами в замедлителе. Моделирование поведения дифференциальных сечений в зависимости от энергий и направлений движения нейтронов, рассеянных или образовавшихся в среде. Быстрые, промежуточные и медленные реакции деления. Формула четырех сомножителей для медленных реакций деления. Общие условия управления цепной реакцией деления.	4					[1-7]	1,2
2	Тема 2. Модель точечного реактора.	4	2					
2.1.	Элементарное уравнение кинетики нейтронов в реакторе: «холодный реактор» на мгновенных нейтронах с гомогенной активной зоной. Мгновенные нейтроны деления. Среднее время жизни мгновенных нейтронов в быстрых и медленных реакциях деления. Среднее эффективное время жизни нейтронов. Период реактора. Время удвоения. Запаздывающие нейтроны. Ядра-предшественники. Группы запаздывающих нейтронов. Коэффициент ценности запаздывающих нейтронов. Среднее по группам время жизни запаздывающих нейтронов.	2					[1-9]	1,2
2.2	Система уравнений кинетики для гомогенной активной зоны «холодного реактора» с учетом запаздывающих нейтронов, сведенных в одну группу. Стационарный режим. Нестационарный режим. Факторы, позволяющие управлять цепной реакцией деления. Единицы измерения реактивности: доллар, цент. Учет различий между группами	2	6				[1-9]	1,2

№ п/п	Название темы	Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Кол-во часов УСР	Литература	Формы контроля знаний
	запаздывающих нейтронов. Уравнение Нордхейма (формула «обратных часов»). Стационарный режим. Установившийся период реактора. Переходные периоды реактора. Кинетика подкритического реактора. Подкритический коэффициент размножения (умножение), подкритичность.							
3	Тема 3. Обратные связи в реакторе. Эффекты реактивности.	2	6					
3.1	Температурные обратные связи в реакторе. Ядерный, плотностной и объемный температурные коэффициенты реактивности. Мощностной коэффициент реактивности. Доплеровский коэффициент реактивности. Другие коэффициенты реактивности для различных типов реакторов. Запас реактивности и его составляющие. Гомогенное и неомогенное размещение поглотителей. Методы компенсации реактивности. Ступенчатый скачок реактивности. Переходный процесс при мгновенной надкритичности. Отрицательный скачок реактивности. Изменение реактивности по линейному закону – приближенные решения. Вывод реактора на критический режим. Адиабатическая модель реактора.	2	6	-	-	-	[3], [7],[8]; [1д],[2д]	1,2
4.	Тема 4. Изменение элементного состава активной зоны ядерного реактора во времени.	8	4					
4.1	Выгорание ядерного топлива. Дифференциальное уравнение выгорания для точечного реактора. Воспроизводство вторичного ядерного топлива. Уран-плутониевый цикл. Равновесная концентрация изотопов плутония. Коэффициент воспроизводства ядерного топлива. Шлакование реактора. Классификация шлаков по группам.	2	2				[3],[5],[7] [1д],[2д]	1,2
4.2	Особенности суммарной радиоактивности осколков деления и их средние сечения поглощения нейтронов. Основные изотопы, имеющие высокое сечение захвата нейтронов («яды»). Оравление ксеноном. Стационарный случай. Нестационарное оравление ксеноном. Оравление ксеноном после останова реактора. «Йодная яма». Оравление ксеноном при частичном снижении мощности. Оравление ксеноном при повышении мощности. Ксеноновые колебания.	2	2				[3],[5],[7] [1д],[2д]	1,2
4.3	Оравление самарием. Стационарный случай. Нестационарное оравление самарием. Прометиевый провал. Неутруниевый эффект.	2					[3],[5],[7] [1д],[2д]	1,2
4.4	Выгорающие и слабовыгорающие поглотители нейтронов. Запас реактивности и его изменение во времени. Кампания ядерного реактора.	2					[3],[5],[7] [1д],[2д]	1,2
	Контрольная работа по темам 2 – 4		2				[1-9] [1д,2д]	3
5.	Тема 5. Уравнения переноса для мгновенных нейтронов и общие свойства его	8	6					

№ п/п	Название темы	Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Кол-во часов УСП	Литература	Формы контроля знаний
	решений применительно к кинетике активной зоны ядерного реактора.							
5.1	Распределение плотности, мощности флюэнса и плотности тока нейтронов по энергиям нейтронов и направлениям их движения. Интегральные величины. Математическое моделирование источников нейтронов в активной зоне реактора. Составление уравнения переноса нейтронов в ядерном реакторе для мгновенных нейтронов. Интегральная форма уравнения переноса.	2					[2,3,6,10]	1,2
5.2	Общие свойства решений уравнений переноса мгновенных нейтронов. (спектр оператора переноса, условие критичности, эффективный коэффициент размножения). Граничные условия. Стационарный случай. Понятие о скейлинге поля нейтронов.	2					[2,3,6,10]	1,2
5.3	Общая характеристика методов решений уравнения переноса. Одногрупповое приближение. Многогрупповые методы. P_N -приближение и S_N -приближение. Вариационные методы. Метод Монте-Карло.	2					[2,3,6,10]	1,2
5.4	Одногрупповое (односкоростное) приближение. Модель неограниченного в пространстве одномерного движения нейтронов. Решение уравнения переноса методом разделения переменных и с помощью преобразования Фурье. Континуум сингулярных решений. Решение односкоростного уравнения переноса. Бесконечная среда с плоским источником. Точечный и распределенные источники. Решение односкоростного уравнения переноса методом сферических гармоник.	2	6				[2, 6]	1,2
6.	Тема 6. Уравнение переноса с учетом запаздывающих нейтронов в активной зоне ядерного реактора. Предельный переход к модели точечного реактора.	6						1,2
6.1	Составление уравнений переноса нейтронов в ядерном реакторе с учетом запаздывающих нейтронов.	2					[2,3,6,10]	1,2
6.2	Сопряженное уравнение переноса нейтронов. Сопряженная функция. Функция ценности нейтронов.	2					[2,3,6,10]	1,2
6.3	Вывод уравнений для модели точечной активной зоны из уравнений переноса с учетом запаздывающих нейтронов. Эффективные коэффициенты размножения и доля запаздывающих нейтронов.	2					[2,3,6,10]	1,2
7.	Тема 7. Уравнение переноса нейтронов в активной зоне ядерного реактора в диффузионном приближении.	4	4					
7.1	Диффузионное приближение в уравнении переноса нейтронов в активной зоне. Случай мгновенных нейтронов. Учет запаздывающих нейтронов. Стационарный случай. Уравнение Пайерлса. Соотношения взаимности. Длина диффузии. Длина релаксации. Учет анизотропного рассеяния. Метод сферических гармоник. Вероятность избежать	2	4				[2,3,6,10]	1,2

№ п/ п	Название темы	Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторны е занятия	Кол-во часов УСР	Литература	Формы контроля знаний
	столкновения. Метод хорд.							
7.2	Замедление нейтронов. Уравнение переноса в возрастном приближении.	2					[2,3,6,10]	1,2
	Контрольная работа, темы 5,7		2					3
8.	Тема 8. Некоторые задачи кинетики активной зоны ядерного реактора.	2	2					
8.1	Теория поглощающего стержня. Эффективный радиус и форма поглощающих стержней. Интерференция поглощающих стержней. Борное регулирование. Трансмутация радиоактивных отходов. Физика неустраиваемых отрицательных свойств ядерной технологии производства электрической и тепловой энергии.	2	2				[7,9]	1,2
	Всего	40	28					зачет, экзамен

4. Информационно-методическая часть

Основная литература

1. Окунев В.С. Основы прикладной ядерной физики и введение в теорию ядерных реакторов. – М.: Изд-во МГТЦУ им. Н.Э.Баумана, 2015. – 464 с.
2. Белл Д., Глесстон С. Теория ядерных реакторов. – М., Атомиздат, 1974. – 494 с.
3. Казанский Ю.А. Кинетика ядерных реакторов.– Обнинск: ИАТЭ, 2003. – 96 с.
4. Копосов Е.Б. Кинетика ядерных реакторов. – М.: МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2005. – 68 с.
5. Широков С.В. Физика ядерных реакторов. – Минск: Изд. “Вышейшая школа”, 2011. – 349 с.
6. Кипин Дж. Физические основы кинетики ядерных реакторов: Пер. с англ. – М.: Атомиздат, 1965. – 428 с.
7. Г. Г. Бартоломей, Г. А. Бать, В. Д. Байбаков, М. С. Алхутов. Основы теории и методы расчета ядерных энергетических реакторов. Изд 2-е., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 512 с.
8. Ильченко А.Г. Переходные и нестационарные процессы в ядерных реакторах: Уч.пособие. – Иваново.: Иван. гос.энерг.ун-т .2000 – 116 с.
9. Дементьев Б.А. Кинетика и регулирование ядерных реакторов: Учеб.пособие для вузов.- 2-е изд., перераб. И доп.- М.: Энергоатомиздат, 1986.- 272 с.
10. Крючков Э.Ф., Юрова Л.Н. Теория переноса нейтронов. – М.: МИФИ, 2007. – 272 с.

Дополнительная литература

11. Вейнберг А., Вигнер Е. Физическая теория ядерных реакторов. – М.: Изд-во Иностран. Лит. 1961. – 725 С.
12. Климов А.Н. Ядерная физика и ядерные реакторы. – М.: Энергоатомиздат, 1985.
13. Галанин А.Д. Введение в теорию ядерных реакторов на тепловых нейтронах. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 536 с.
14. Казанский Ю.А., Матусевич Е.С. Экспериментальная физика реакторов. М., Энергоатомиздат, 1994.
15. Владимиров В.И. Практические задачи по эксплуатации ядерных реакторов. – М.: Энергоиздат, 4-е изд. перераб. и доп.– М.: Энергоиздат, 1986. – 304 с.
16. Фейнберг С.М., Шихов С.Б., Троянский В.Б. Теория ядерных реакторов. Т. 1. Элементарная теория реакторов. – М.: Атомиздат, 1978. – 400 с.
17. Шихов С.Б., Троянский В.Б. Теория ядерных реакторов. Т. 2. Газокинетическая теория.. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 368 с.

18. Савандер В.И., Увакин М.А. Физическая теория ядерных реакторов. Часть 1. Однородная размножающая среда и теория гетерогенных структур: Учебное пособие. М.: МИФИ, 2007. – 200 С.
19. Савандер В.И., Увакин М.А. Физическая теория ядерных реакторов. Ч. 2. Теория ценности нейтронов и кинетика ядерного реактора: Учебное пособие. М.: МИФИ, 2008. – 114 с.

Перечень тем для практических занятий

Тема 2. Модель точечного реактора

Система уравнений кинетики для гомогенной активной зоны «холодного реактора» с учетом запаздывающих нейтронов.

Тема 3. Обратные связи в реакторе. Эффекты реактивности

Переходные процессы в реакторе при возмущении по реактивности с учетом температурных обратных связей. Переходный процесс при мгновенной надкритичности.

Поведение холодного точечного реактора при отрицательном скачке реактивности. Связь мощности реактора с его установившимся периодом при отрицательной реактивности.

Изменение реактивности по линейному закону. Приближенные решения.

Тема 4. Изменение элементного состава активной зоны ядерного реактора во времени

Приближение малого выгорания. Глубина выгорания. Степень выгорания и ее связь с глубиной выгорания. Приближение большого выгорания.

Отравление ксеноном. «Йодная яма». Отравление ксеноном при частичном снижении мощности. Отравление ксеноном при повышении мощности. Ксеноновые колебания.

Тема 5. Уравнения переноса для мгновенных нейтронов и общие свойства его решений применительно к кинетике активной зоны ядерного реактора

Бесконечная однородная размножающая среда с равномерно распределенным плоским источником. Решение односкоростного уравнения переноса методом разделения переменных.

Бесконечная однородная размножающая среда с равномерно распределенным плоским источником. Решение односкоростного уравнения

переноса с помощью преобразования Фурье. Континуум сингулярных решений.

Решение односкоростного уравнения переноса методом сферических гармоник.

Тема 7. Уравнение переноса нейтронов в активной зоне ядерного реактора в диффузионном приближении

Односкоростное одномерное уравнение переноса в диффузионном приближении. Учет анизотропного рассеяния. Метод сферических гармоник.

Односкоростное одномерное уравнение переноса в диффузионном приближении для критической пластины.

Односкоростное одномерное уравнение переноса в диффузионном приближении. Учет анизотропного рассеяния. Метод сферических гармоник.

Тема 8. Некоторые задачи кинетики активной зоны ядерного реактора

Теория поглощающего стержня. Эффективный радиус и форма поглощающих стержней. Интерференция поглощающих стержней. Борное регулирование.

Наименования и виды методических средств:

№ п / п	Наименование	Вид
1.	Задания к практическим занятиям	Электронный документ
2.	Презентации лекций	Электронный документ

Формы контроля знаний:

№ п / п	Форма
1.	Выборочный контроль на лекциях
2.	Проверка конспектов лекций студентов
3.	Проведение контрольных работ в группе

5. 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 программы с другими дисциплинами специальности не требуется			

Учебную программу разработал:
доцент кафедры ядерной и радиационной безопасности

_____ А.И. Тимошенко

6. Дополнения и изменения к учебной программе на ____ / ____ учебный год

№ п / п	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры ядерной и радиационной безопасности (протокол № 5 от 15.12.2017).

Заведующий кафедрой

к.ф.-м.н., доцент _____ О.В.Гусакова

УТВЕРЖДЕНО

Декан факультета мониторинга окружающей среды

к.б.н., доцент _____ В.В. Журавков

