

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ
КАФЕДРА ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКИ ЯДЕРНЫХ
РЕАКТОРОВ

ОДОБРЕНО УМС ИЯФИТ

Протокол № 01/08/24-573.1

от 30.08.2024 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
ТЕОРИЯ ПЕРЕНОСА НЕЙТРОНОВ

Направление подготовки
(специальность)

[1] 14.04.02 Ядерные физика и технологии

Семестр	Трудоемкость, кред.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	В форме практической подготовки/ В	СРС, час.	КСР, час.	Форма(ы) контроля, экз./зач./КР/КП
1	4	144	16	16	0		76	0	Э
Итого	4	144	16	16	0	0	76	0	

АННОТАЦИЯ

Изучаются основные процессы взаимодействия нейтронов с веществом, теория диффузии и замедления нейтронов, основы термализации и многогрупповое приближение для описания нейтронного поля. Формулируется газокинетическое уравнение переноса нейтронов в интегро-дифференциальной (уравнение Больцмана) и интегральной формах. Обсуждаются основные приближения различных моделей описания распределения нейтронов в средах.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения учебной дисциплины теория переноса нейтронов является ввод студентов в круг понятий, представлений и моделей, используемых в задачах нейтронной физики и физики реакторов, подготовить их к изучению физической теории реакторов, методов экспериментального и расчетного исследования нейтронных полей и их характеристик.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Содержание программы «теория переноса нейтронов» направлено на формирование базовых знаний в нейтронной физики и физики реактора. Изучение курса требует освоения студентами дисциплин, в которых дают основы математического анализа.

Дисциплина "Теория переноса нейтронов" является базой для изучения курсов "Физическая теория реакторов" и "Экспериментальная реакторная физика". Знание ее материалов необходимо выполнение научно-исследовательской работы, а также при практической работе.

3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
--------------------------------	--

Профессиональные компетенции в соответствии с задачами и объектами (областями знаний) профессиональной деятельности:

Задача профессиональной деятельности (ЗПД)	Объект или область знания	Код и наименование профессиональной компетенции; Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
научно-исследовательский			
проектирование, создание и эксплуатация атомных станций и других ядерных	ядерные реакторы энергетические установки, теплогидравлические и нейтронно-	ПК-32.1 [1] - Способен рассчитывать и измерять физические характеристики ядерных	З-ПК-32.1[1] - знать методы нейтронно-физических и тепло-гидравлических измерений и

энергетических установок, вырабатывающих, преобразующих и использующих тепловую и ядерную энергию	физические процессы в активных зонах ядерных реакторов, тепловые измерения и контроль, теплоносители и материалы ядерных реакторов, ядерный топливный цикл, системы обеспечения безопасности ядерных энергетических установок, системы управления ядерно-физическими установками, программные комплексы и математические модели для теоретического и экспериментального исследования явлений и закономерностей в области теплофизики и энергетики	энергетических установок, проводить гидродинамические и тепловые расчеты в сложных системах <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.028	расчетов; У-ПК-32.1[1] - уметь выполнять нейтронно-физические и тепло-гидравлические измерения в реакторной установке; В-ПК-32.1[1] - владеть прикладным программным обеспечением
проектирование, создание и эксплуатация атомных станций и других ядерных энергетических установок, вырабатывающих, преобразующих и использующих тепловую и ядерную энергию	ядерные реакторы энергетические установки, теплогидравлические и нейтронно-физические процессы в активных зонах ядерных реакторов, тепловые измерения и контроль, теплоносители и материалы ядерных реакторов, ядерный топливный цикл, системы обеспечения безопасности ядерных энергетических установок, системы управления ядерно-физическими установками, программные комплексы и математические модели для теоретического и	ПК-4 [1] - Способен самостоятельно выполнять экспериментальные и теоретические исследования для решения научных и производственных задач <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.028	3-ПК-4[1] - Знать: цели и задачи проводимых исследований; основные методы и средства проведения экспериментальных и теоретических исследований; методы и средства математической обработки результатов экспериментальных данных ; У-ПК-4[1] - Уметь: применять методы проведения экспериментов; использовать математические методы обработки результатов исследований и их обобщения; оформлять

	экспериментального исследования явлений и закономерностей в области теплофизики и энергетики		результаты научно-исследовательских работ; В-ПК-4[1] - Владеть: навыками самостоятельного выполнения экспериментальных и теоретических исследования для решения научных и производственных задач
производственно-технологический			
анализ режимов эксплуатации активных зон реакторных установок для контроля соответствия их состояния эксплуатационным пределам и условиям безопасной эксплуатации. Контроль технического состояния оборудования, арматуры, трубопроводов. Обеспечение работы оборудования в соответствии с требованиями регламентов, инструкций по эксплуатации и правил безопасности. Контроль параметров активной зоны реактора на соответствие их пределам и условиям безопасной эксплуатации. Эксплуатация систем и оборудования реакторной установки.	Основы ядерной физики, теплотехники, электротехники, механики и водоподготовки. Общие технические характеристики, нормы оценки технического состояния оборудования АЭС. Виды и конструктивные особенности основного оборудования АЭС, принцип работы основного и вспомогательного оборудования	ПК-32.2 [1] - Способен выбирать обоснованные критерии безопасной работы и оценивать риски при эксплуатации ядерно-энергетических установок <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.028	З-ПК-32.2[1] - знать правила охраны труда и культуру безопасности; У-ПК-32.2[1] - уметь обеспечивать безопасную эксплуатацию систем и оборудования; В-ПК-32.2[1] - владеть методами и приемами безопасного выполнения работ с соблюдением требований охраны труда и инструкций по безопасности
проектный			

проектирование, создание и эксплуатация атомных станций и других ядерных энергетических установок, вырабатывающих, преобразующих и использующих тепловую и ядерную энергию	ядерные реакторы энергетические установки, теплогидравлические и нейтронно-физические процессы в активных зонах ядерных реакторов, тепловые измерения и контроль, теплоносители и материалы ядерных реакторов, ядерный топливный цикл, системы обеспечения безопасности ядерных энергетических установок, системы управления ядерно-физическими установками, программные комплексы и математические модели для теоретического и экспериментального исследования явлений и закономерностей в области теплофизики и энергетики	ПК-5 [1] - Способен проводить расчет и проектирование физических установок и приборов с использованием современных информационных технологий <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.078	3-ПК-5[1] - Знать основные физические законы и стандартные прикладные пакеты используемые при моделировании физических процессов и установок ; У-ПК-5[1] - Уметь применять стандартные прикладные пакеты используемые при моделировании физических процессов и установок; В-ПК-5[1] - Владеть стандартными прикладными пакетами используемыми при моделировании физических процессов и установок
--	--	--	--

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Разделы учебной дисциплины, их объем, сроки изучения и формы контроля:

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практ. (семинары) / Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	<i>1 Семестр</i>						
1	Часть 1	1-8	8/8/0		25	КИ-8	3-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4, 3-ПК-5, У-ПК-5, В-ПК-5, 3-ПК-32.1, У-ПК-32.1,

							В-ПК-32.1, 3-ПК-32.2, У-ПК-32.2, В-ПК-32.2
2	Часть 2	9-16	8/8/0		25	КИ-16	3-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4, 3-ПК-5, У-ПК-5, В-ПК-5, 3-ПК-32.1, У-ПК-32.1, В-ПК-32.1, 3-ПК-32.2, У-ПК-32.2, В-ПК-32.2
	<i>Итого за 1 Семестр</i>		16/16/0		50		
	Контрольные мероприятия за 1 Семестр				50	Э	3-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4, 3-ПК-5, У-ПК-5, В-ПК-5, 3-ПК-32.1, У-ПК-32.1, В-ПК-32.1, 3-ПК-32.2, У-ПК-32.2, В-ПК-32.2

* – сокращенное наименование формы контроля

** – сумма максимальных баллов должна быть равна 100 за семестр, включая зачет и (или) экзамен

Сокращение наименований форм текущего контроля и аттестации разделов:

Обозначение	Полное наименование
КИ	Контроль по итогам
Э	Экзамен

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>1 Семестр</i>	16	16	0
1-8	Часть 1	8	8	0
1 - 2	Введение. Взаимодействие нейтронов с веществом. Предмет теории переноса нейтронов. Источники нейтронов. Основные процессы и особенности взаимодействия нейтронов с веществом. Реакции нейтронов с ядрами среды. Понятие микроскопического и	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0

	макроскопического сечений взаимодействия нейтронов. Длина свободного пробега.			
3 - 4	Диффузия моноэнергетических нейтронов. Нейтрон в фазовом пространстве. Нейтронное поле. Понятие плотности потока, плотности полного и односторонних токов нейтронов. Диффузия моноэнергетических нейтронов в среде покоящихся ядер как модель переноса нейтронов. Балансное уравнение скоростей процессов. Закон Фика (без вывода). Коэффициент диффузии, транспортное сечение и транспортная длина свободного пробега, длина диффузии. Уравнение диффузии моноэнергетических нейтронов. Условия однозначного выбора решений уравнения диффузии в физических задачах. Фундаментальные решения уравнения диффузии в плоской, цилиндрической и сферической геометриях. Диффузионные функции влияния и принцип суперпозиции источников. Альбеда. Постановка граничных условий с помощью альбеда.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
5 - 6	Замедление нейтронов в непоглощающих средах. Микроскопическое сечение упругого рассеяния. Кинематика замедления. Закон упругого рассеяния. Средняя потеря энергии при рассеянии, среднелогарифмическая потеря энергии, средний косинус угла рассеяния. Летаргия. Уравнение замедления. Плотность столкновений, плотность рассеяния, плотность замедления. Замедление на водороде. Замедление на тяжелых ядрах: функция Плачека (без вывода), асимптотическое распределение замедляющихся нейтронов (спектр Ферми).	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
7 - 8	Замедление нейтронов в поглощающих средах. Микроскопическое сечение поглощения. Резонансы в сечениях взаимодействия. Формула Брейта-Вигнера. Доплер-эффект. Замедление на водороде при наличии поглощения. Вероятность избежать резонансного поглощения на узком изолированном резонансе при замедлении на водороде. Замедление на ядрах с $A \approx 1$ (асимптотическая область энергии) при наличии поглощения. Вероятность избежать резонансного поглощения на узком изолированном резонансе при замедлении на ядрах с $A \approx 1$. Приближение бесконечной массы поглотителя. Поглощение на серии узких изолированных резонансов в асимптотической области энергий. Эффективный и истинный резонансный интеграл.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
9-16	Часть 2	8	8	0
9 - 10	Диффузионно-возрастное приближение. Балансное уравнение скоростей процессов. Диффузионно-возрастное приближение. Уравнение возраста, основные приближения и границы применимости. Условия однозначного выбора решений уравнения возраста в физических задачах. Возраст нейтронов. Связь возраста нейтронов с временем замедления. Элементарная форма уравнения возраста. Фундаментальные решения уравнения	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0

	возраста. Особенности пространственного распределения замедляющихся нейтронов в водородосодержащих средах.			
11 - 12	Термализация нейтронов. Особенности взаимодействия нейтронов с веществом в области энергий ниже 1эВ. Закон рассеяния в случае учета теплового движения ядер. Уравнение переноса с учетом эффектов термализации. Спектр Максвелла. Эффективная температура нейтронного газа. Усреднение сечений в области термализации.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
13 - 14	Многогрупповое приближение. Уравнение диффузии в многогрупповом приближении. Технология получения групповых констант.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
15 - 16	Газокинетическое уравнение переноса нейтронов. Уравнение баланса скоростей процессов в фазовом объеме. Интегро-дифференциальное уравнение Больцмана. Уравнение диффузии моноэнергетических нейтронов как частный случай уравнения Больцмана. Интегральная форма газокинетического уравнения. Уравнение Пайерлса.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0

Сокращенные наименования онлайн опций:

Обозначение	Полное наименование
ЭК	Электронный курс
ПМ	Полнотекстовый материал
ПЛ	Полнотекстовые лекции
ВМ	Видео-материалы
АМ	Аудио-материалы
Прз	Презентации
Т	Тесты
ЭСМ	Электронные справочные материалы
ИС	Интерактивный сайт

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Предусматривается широкое использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий (компьютерных презентаций, разбора конкретных ситуаций по теме, проведения дискуссий) в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков студентов.

6. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения представлена в следующей таблице:

Компетенция	Индикаторы освоения	Аттестационное мероприятие (КП 1)
ПК-32.1	З-ПК-32.1	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-32.1	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-32.1	Э, КИ-8, КИ-16
ПК-32.2	З-ПК-32.2	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-32.2	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-32.2	Э, КИ-8, КИ-16
ПК-4	З-ПК-4	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-4	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-4	Э, КИ-8, КИ-16
ПК-5	З-ПК-5	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-5	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-5	Э, КИ-8, КИ-16

Шкалы оценки образовательных достижений

Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

Сумма баллов	Оценка по 4-ех балльной шкале	Оценка ECTS	Требования к уровню освоению учебной дисциплины
90-100	5 – <i>«отлично»</i>	A	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы.
85-89	4 – <i>«хорошо»</i>	B	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
75-84		C	
70-74		D	
65-69	3 – <i>«удовлетворительно»</i>	E	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.
60-64			
Ниже 60	2 – <i>«неудовлетворительно»</i>	F	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится

			студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.
--	--	--	---

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ L24 A Primer on Scientific Programming with Python : , Langtangen, Hans Petter. , Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2016
2. ЭИ С50 Диффузия и замедление нейтронов в неразмножающих средах : лабораторный практикум, Смирнов В.Е., Москва: МИФИ, 2008
3. ЭИ К85 Теория переноса нейтронов : учебное пособие для вузов, Юрова Л.Н., Крючков Э.Ф., Москва: МИФИ, 2007
4. ЭИ С12 Физическая теория ядерных реакторов Ч.1 Однородная размножающая среда и теория гетерогенных структур, Савандер В.И., : МИФИ, 2007
5. ЭИ С12 Физическая теория ядерных реакторов Ч.2 Теория возмущений и медленные нестационарные процессы, Савандер В.И., Москва: НИЯУ МИФИ, 2013

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 621.039 Х94 Диффузия и замедление нейтронов в неразмножающих средах : Учеб. пособие, Кашутин А.А., Хромов В.В., М.: МИФИ, 1982
2. 539.1 Ю78 Нейтронные эффективные сечения : Учеб. пособие, Юрова Л.Н., М.: МИФИ, 1986
3. 621.039 Б43 Теория ядерных реакторов : , Белл Д., Глесстон С., М.: Атомиздат, 1974

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

<https://online.mephi.ru/>

<http://library.mephi.ru/>

8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ

Поскольку количество лекционных часов ограничено, то освоение данного курса предполагает, что много времени студент будет уделять самостоятельной работе. Для эффективной подготовки к экзамену сформирован пакет учебно-методических материалов, который включает:

1. Методические указания для данного курса;
2. Список основных понятий и определений (к экзамену необходимо свободно ориентироваться в них);
3. Список вопросов к экзамену;
4. Описание курса с кратким содержанием по каждому экзаменационному вопросу;
5. Учебное пособие по данному курсу для углубленной подготовки по некоторым вопросам;
6. Индивидуальное домашнее задание

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

В качестве литературы лектору, а также преподавателям, ведущим практические занятия, рекомендуется использовать учебные пособия, методические и справочные материалы.

Кроме того, рекомендуется скачать мультимедийный курс по физике реакторов, который распространяется свободно через МАГАТЭ CLP4NET: <http://bit.do/NuclearReactorPhysics>. Часть разделов данного курса посвящена темам Теории переноса нейтронов.

Для данного направления курс является основным, а также служит теоретической базой для изучения других основных курсов, таких как Физическая теория реакторов и Экспериментальная реакторная физика. Главной задачей курса является введение студентов в круг понятий, представлений и моделей, используемых в задачах нейтронной физики и физики реакторов, подготовить их к изучению физической теории реакторов, методов экспериментального и расчетного исследования нейтронных полей и их характеристик.

В начале курса необходимо подробно рассмотреть различные виды взаимодействия нейтрона с ядром. Далее уделять внимание на освоение студентами основных понятий нейтронной физики, таких как поток нейтронов, микро- и макроскопические сечения, длина диффузии, возраст, и т.д., а также уделять особое внимание на усвоение закономерностей формирования нейтронных полей в различных средах на основе классических представлений о диффузии, замедлении и термализации нейтронов, а также на знание границ применимости этих моделей и возможных путей их уточнения.

Во время занятий уделить особое место способностям студентов применять те или иные приближения для решения практических нейтронно-физических задач.

Автор(ы):

Волков Юрий Николаевич

