

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
ПРЕЦИЗИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Направление подготовки
(специальность)

- [1] 14.03.02 Ядерные физика и технологии
[2] 22.03.01 Материаловедение и технологии
материалов
[3] 14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика

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
7	4	144	32	32	0		44	0	Э
Итого	4	144	32	32	0	0	44	0	

АННОТАЦИЯ

Настоящий курс предполагает прежде всего интерактивную работу студентов в компьютерных классах, так что уже с первой лабораторной работы начинается практическое освоение материала. В лекциях дается физическое обоснование использования метода. Излагаются в минимально необходимом объеме математические сведения. Особое внимание уделено структуре той части файлов оцененных ядерных данных, которая использована в лицензионном пакете программ MSU. Раскрываются особенности алгоритмов метода при расчете задач защиты и задач расчета реактора. Приводится описание метода дискретных ординат, сравнение с которым позволяет глубже понять реальную трудоемкость метода Монте-Карло.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями освоения учебной дисциплины являются овладение студентами физических и математических основ метода Монте-Карло для последующего их использования в более глубоком овладении практической работы с лицензионным пакетом программ MSU при выполнении дипломного проектирования, а также в предстоящей научно-исследовательской или опытно-конструкторской работе.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Последний и завершающий курс минора "Основы прецизионного моделирования в физике ядерных реакторов"

3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
УК-1 [1, 2, 3] – Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	З-УК-1 [1, 2, 3] – Знать: методики сбора и обработки информации; актуальные российские и зарубежные источники информации в сфере профессиональной деятельности; метод системного анализа У-УК-1 [1, 2, 3] – Уметь: применять методики поиска, сбора и обработки информации; осуществлять критический анализ и синтез информации, полученной из разных источников В-УК-1 [1, 2, 3] – Владеть: методами поиска, сбора и обработки, критического анализа и синтеза информации; методикой системного подхода для решения поставленных задач
УК-3 [1, 2, 3] – Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать	З-УК-3 [1, 2, 3] – Знать: основные приемы и нормы социального взаимодействия; основные понятия и методы конфликтологии, технологии межличностной и групповой

свою роль в команде	коммуникации в деловом взаимодействии У-УК-3 [1, 2, 3] – Уметь: устанавливать и поддерживать контакты, обеспечивающие успешную работу в коллективе; применять основные методы и нормы социального взаимодействия для реализации своей роли и взаимодействия внутри команды В-УК-3 [1, 2, 3] – Владеть: простейшими методами и приемами социального взаимодействия и работы в команде
УК-6 [1, 2, 3] – Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни	3-УК-6 [1, 2, 3] – Знать: основные приемы эффективного управления собственным временем; основные методики самоконтроля, саморазвития и самообразования на протяжении всей жизни У-УК-6 [1, 2, 3] – Уметь: эффективно планировать и контролировать собственное время; использовать методы саморегуляции, саморазвития и самообучения В-УК-6 [1, 2, 3] – Владеть: методами управления собственным временем; технологиями приобретения, использования и обновления социо-культурных и профессиональных знаний, умений, и навыков; методиками саморазвития и самообразования в течение всей жизни

4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	Задачи воспитания (код)	Воспитательный потенциал дисциплин
Духовно-нравственное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование этического мышления и профессиональной ответственности ученого (B2)	1. Использование воспитательного потенциала базовых гуманитарных дисциплин. 2. Разработка новых инновационных курсов гуманитарной и междисциплинарной направленности.
Духовно-нравственное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование личностно-центрированного подхода в профессиональной коммуникации, когнитивно-поведенческих и практико-ориентированных навыков, основанных на общероссийских традиционных ценностях (B3)	1. Использование воспитательного потенциала базовых гуманитарных дисциплин. 2. Разработка новых инновационных курсов гуманитарной и междисциплинарной направленности.
Профессиональное и трудовое воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование глубокого понимания социальной роли профессии, позитивной и активной установки на ценности избранной	1.Использование воспитательного потенциала дисциплин естественнонаучного и общепрофессионального модуля для: - формирования позитивного отношения к профессии инженера (конструктора, технолога),

	специальности, ответственного отношения к профессиональной деятельности, труду (B14)	понимания ее социальной значимости и роли в обществе, стремления следовать нормам профессиональной этики посредством контекстного обучения, решения практико-ориентированных ситуационных задач. - формирования устойчивого интереса к профессиональной деятельности, способности критически, самостоятельно мыслить, понимать значимость профессии посредством осознанного выбора тематики проектов, выполнения проектов с последующей публичной презентацией результатов, в том числе обоснованием их социальной и практической значимости; - формирования навыков командной работы, в том числе реализации различных проектных ролей (лидер, исполнитель, аналитик и пр.) посредством выполнения совместных проектов. 2.Использование воспитательного потенциала дисциплины «Экономика и управление в промышленности на основе инновационных подходов к управлению конкурентоспособностью», «Юридические основы профессиональной деятельности» для: - формирования навыков системного видения роли и значимости выбранной профессии в социально-экономических отношениях через контекстное обучение
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование научного мировоззрения, культуры поиска нестандартных научно-технических/практических решений, критического отношения к исследованиям лженаучного толка (B19)	1.Использование воспитательного потенциала дисциплин/практик «Научно-исследовательская работа», «Проектная практика», «Научный семинар» для: - формирования понимания основных принципов и способов научного познания мира, развития исследовательских качеств студентов посредством их вовлечения в исследовательские проекты по областям научных исследований. 2.Использование воспитательного потенциала дисциплин "История науки и

		инженерии", "Критическое мышление и основы научной коммуникации", "Введение в специальность", "Научно-исследовательская работа", "Научный семинар" для: - формирования способности отделять настоящие научные исследования от лженаучных посредством проведения со студентами занятий и регулярных бесед; - формирования критического мышления, умения рассматривать различные исследования с экспертной позиции посредством обсуждения со студентами современных исследований, исторических предпосылок появления тех или иных открытий и теорий.
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование способности и стремления следовать в профессии нормам поведения, обеспечивающим нравственный характер трудовой деятельности и неслужебного поведения (B21)	1.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для развития навыков коммуникации, командной работы и лидерства, творческого инженерного мышления, стремления следовать в профессиональной деятельности нормам поведения, обеспечивающим нравственный характер трудовой деятельности и неслужебного поведения, ответственности за принятые решения через подготовку групповых курсовых работ и практических заданий, решение кейсов, прохождение практик и подготовку ВКР. 2.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для: - формирования производственного коллективизма в ходе совместного решения как модельных, так и практических задач, а также путем подкрепление рационально-технологических навыков взаимодействия в проектной деятельности эмоциональным эффектом успешного взаимодействия, ощущением роста общей эффективности при распределении проектных задач в

		соответствии с сильными компетентностными и эмоциональными свойствами членов проектной группы.
--	--	--

5. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

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

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практи. (семинары)/ Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	<i>7 Семестр</i>						
1	Первый раздел	1-8	16/16/0		25	КИ-8	З-УК-1, У-УК-1, В-УК-1, З-УК-3, У-УК-3, В-УК-3, З-УК-6, У-УК-6, В-УК-6
2	Второй раздел	9-16	16/16/0		25	КИ-16	З-УК-1, У-УК-1, В-УК-1, З-УК-3, У-УК-3, В-УК-3, З-УК-6, У-УК-6, В-УК-6
	<i>Итого за 7 Семестр</i>		32/32/0		50		
	Контрольные мероприятия за 7 Семестр				50	Э	З-УК-1, У-УК-1, В-УК-1, З-УК-3, У-УК-3, В-УК-3, З-УК-6, У-УК-6, В-УК-6

* – 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>7 Семестр</i>	32	32	0
1-8	Первый раздел	16	16	0
1 - 8	Метод Монте-Карло как метод математического моделирования. Введение. Общие положения. Файлы оцененных ядерных данных. Случайные величины. Основные сведения и определения. Математическое ожидание, дисперсия. Нормальные случайные величины. Разыгрывание дискретных случайных величин. Методы разыгрывания непрерывных случайных величин. Примеры разыгрывания случайных величин. Разыгрывание событий при столкновении нейтрона с ядрами среды. Выбор номера нуклида. Разыгрывание типа реакции. Определение углов полета и энергии нейтрона при упругом и неупругом столкновении. Алгоритм простейшей задачи о прохождении нейтронов через плоскую пластину.	Всего аудиторных часов		
		16	16	0
		Онлайн		
		0	0	0
9-16	Второй раздел	16	16	0
9 - 16	Метод дискретных координат. Реализация алгоритма метода в одномерной плоской геометрии. Сравнение результатов с методом Монте-Карло. Метод дискретных координат. Реализация алгоритма метода в одномерной плоской геометрии. Организация итераций по интегралу рассеяния. Критерии окончания итераций. Организация итераций в задачах на собственные значения. Исследование сходимости. Сравнение результатов с методом Монте-Карло.	Всего аудиторных часов		
		16	16	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

6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Предусматривается широкое использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков студентов.

7. 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)
УК-1	З-УК-1	Э, КИ-8, КИ-16
	У-УК-1	Э, КИ-8, КИ-16
	В-УК-1	Э, КИ-8, КИ-16
УК-3	З-УК-3	Э, КИ-8, КИ-16
	У-УК-3	Э, КИ-8, КИ-16
	В-УК-3	Э, КИ-8, КИ-16
УК-6	З-УК-6	Э, КИ-8, КИ-16
	У-УК-6	Э, КИ-8, КИ-16
	В-УК-6	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 – «отлично»	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 – «хорошо»	B	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на
75-84		C	
70-74		D	

			вопрос.
65-69			Оценка «удовлетворительно»
60-64	3 – «удовлетворительно»	Е	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.
Ниже 60	2 – «неудовлетворительно»	Ф	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.

8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

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

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

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ

Овладение студентами физических и математических основ метода Монте-Карло необходимо для последующего их использования в более глубоком овладении практической работы с лицензионным пакетом программ MSU при выполнении дипломного проектирования, а также в предстоящей научно-исследовательской или опытно-конструкторской работе. С самого начала следует достаточно подробно остановиться на том, что в отличие от большинства численных методов в методе Монте-Карло не решается какое-либо уравнение, но

численно моделируется сам физический процесс взаимодействия нейтронов с ядрами среды. Поскольку этот процесс по своей природе носит вероятностный характер, то такое моделирование оказывается естественным. С другой стороны, давая в самом сжатом виде понятия случайных величин, следует учесть, что наибольшие трудности у студентов возникают с проблемой получения конкретных значений этих величин, т.е. с проблемой выборки или, говоря более строго, с разыгрыванием случайных величин. Здесь обязательно надо знать не только формулы, но и обоснование алгоритмов разыгрывания непрерывных и дискретных случайных величин.

Следует обратить внимание на то, что события, носящие вероятностный характер, но описываемые текстуально, всегда можно однозначно связать с соответствующими числами, т.е. эти события связать с дискретной случайной величиной, но не следует пытаться найти математическое ожидание такой величины, это было бы просто бессмысленно.

Важно учесть, что изложение материала проводится в сочетании с проведением лабораторных работ. Это дает возможность более гибкого планирования временных затрат на оба вида занятий. При этом и интерактивная работа за компьютером и контроль самостоятельной работы оказываются еженедельными. Под самостоятельной работой студентов понимается создание алгоритмов, исходных текстовых файлов на языке Фортран и начальная синтаксическая отладка программы. Очень важно самостоятельную работу делать в соответствии с графиком выполнения, который может быть индивидуальным. В плане предусмотрено выполнение домашнего задания по разработке алгоритмов примитивов, используемых в геометрических модулях. Задания индивидуальные и помогают глубже понять все сложности, связанные не только с разработкой, но и с заданием геометрического описания сложных гетерогенных систем. Прием заданий, так же как и первых четырех лабораторных работ позволяет провести промежуточную аттестацию.

Вторая половина семестра отведена на начальное знакомство с возможностями лицензионного пакета программ MSU и порядком задания исходных данных в программе MSU.

11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

Цель курса состоит в том, чтобы подготовить студентов к практическому освоению на ЭВМ численных методов и алгоритмов решения уравнения переноса нейтронов. Необходимо, чтобы будущий специалист мог свободно ориентироваться при выборе и эксплуатации соответствующих пакетов прикладных программ, проводить их модернизацию или создавать новые модули.

Необходимо дать представление о многообразии используемых в теории реакторов методов расчета и дать основные признаки классификация методов численного решения уравнения переноса нейтронов. Нужно дать обоснование метода простых итераций для решения однородного уравнения, степенного метода решения неоднородного уравнения, оценки скорости сходимости степенных методов и распределения собственных чисел для простейших моделей. Познакомить студентов с процессом ортогонализации Шмидта и организации итераций при определении высших гармоник однородного уравнения и в частном случае неоднородного уравнения. Важно, чтобы студенты на практических занятиях реализовали и исследовали сходимость разобранных алгоритмов.

Следует познакомить студентов с принципами построения и структурой конечно-разностных операторов 2-х и 3-х мерного уравнения диффузии, дать общий подход к анализу

сходимости итерационных методов, научить студентов строить конечно-разностные сетки в прямоугольной и гексагональной геометриях. Переходить к системе алгебраических уравнений. Учитывать особенности реализации граничных условий.

Нужно показать студентам отличие принципиальной схемы метода переменных направлений от строгой математической формулировки метода переменных направлений. Необходимо обосновать выбор ускоряющих параметров. Уметь оценивать скорость сходимости и число операций. Сравнить с методом матричной факторизации, формулировать метод простых итераций. Уметь доказывать сходимость метода верхней релаксации.

Особое внимание нужно уделить обоснованию константного обеспечения нейтронно-физических расчетов и векторно-матричному представлению нейтронных и нуклидных полей. В этом разделе нужно дать структурную схему построения библиотеки микроконстант на основе файлов. Типы представления данных и форматы библиотек ENDF/B. Формализм факторов резонансной самоэкранирования сечений и структуру библиотеки БНАБ. Подгрупповое представление сечений. Алгоритмы расчета макроконстант на основе подгрупповых параметров. Комплекс программ NJOY для обработки файлов ENDF/B.

Студентам необходимо дать вывод векторно-матричного представления системы многогрупповых уравнений переноса нейтронов. Указать на взаимодействие нейтронных и нуклидных полей. Дать вывод векторно-матричной записи уравнений нуклидного поля. Подробно остановиться на численных и аналитических методах решения задач выгорания и воспроизводства топлива.

В разделе «Вариационная формулировка задач решения уравнений переноса» необходимо рассмотреть прямые вариационные методы в операторной форме. Для этого необходимо изложить общую постановку вариационной задачи, основные определения Лагранжиана, вариации функции и первой вариационной производной, технику варьирования, простейшие приемы конструирования лагранжианов для однородного и неоднородного уравнений в операторной форме. Функционал энергии для самосопряженных операторов. Функционал среднеквадратичного отклонения. Представление решения и выбор координатных функций. Формулировку уравнений методов Ритца, Галеркина и Петрова-Галеркина.

Вариационно-разностные методы решения и методы конечных (МКЭ) и граничных (МГЭ) элементов решения двумерного уравнения диффузии должны излагаться на основе понятий главных и естественных условиях непрерывности решения и условий на внешних границах. Необходимо дать примеры лагранжианов с естественными граничными условиями и условиями непрерывности тока нейтронов. Простейший вид пробных функций и формулировка уравнений вариационно-разностного метода.

Представление решений в МКЭ должно быть обосновано интерполяцией по Лагранжу и выводом формул для компонент вектор-функций для треугольных и прямоугольных элементов, как основой сохранения непрерывности решений на границах элементов.

Метод Монте-Карло излагается на основе следующих разделов:

Розыгрыwanie дискретных и непрерывных случайных величин на ЭВМ. Простейшая задача о прохождении нейтронов через пластину. Розыгрыwanie столкновений, косинуса угла направления полета нейтронов и пробега нейтрона до столкновения. Метод пакета и метод выравнивания полного сечения. Построение траекторий нейтронов в гетерогенной среде. Локальные оценки потока нейтронов. Особое внимание следует уделить практической реализации метода Монте-Карло в реакторных задачах с процессом итераций по источнику деления.

Автор(ы):

Волков Юрий Николаевич