

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)»**

УТВЕРЖДЕНО

**Директор физтех-школы
прикладной математики и
информатики**

А.М. Райгородский

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Численное моделирование неравновесного переноса частиц
по направлению:	Информатика и вычислительная техника
профиль подготовки:	Прикладная математика и информатика Физтех-школа Прикладной Математики и Информатики кафедра математического моделирования и прикладной математики
курс:	1
квалификация:	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 1 (осенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 45 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 15 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 60 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 135, всего зач. ед.: 3

Количество контрольных работ, заданий: 2

Программу составил: А.В. Шильков, канд. физ.-мат. наук, доцент

Программа обсуждена на заседании кафедры математического моделирования и прикладной математики
02.04.2024

Аннотация

Цель курса лекций - состоит в изучении практических подходов в компьютерном моделировании кинетических процессов переноса частиц, импульса и энергии в объектах, далеких от равновесия. Эти процессы описываются кинетическими уравнениями. Применение численных методов нахождения решений кинетических уравнений связано как с их сложностью, так и с невозможностью поставить натурный эксперимент над объектом - опасность эксперимента, уникальность, дороговизна объекта, отсутствие измерительной аппаратуры, необходимость проведения серии опытов для выбора оптимальной конструкции и др. Численное моделирование показало свою высокую продуктивность во второй половине 20-го века в Американском и Советском атомных проектах в части расчетов КПД ядерных и термоядерных изделий, и в ракетно-космических программах. С тех пор оно прочно вошло в арсенал средств исследований природы наряду с теорией и экспериментом. В предлагаемом курсе мы ограничимся рассмотрением кинетических процессов, протекающих в газовой фазе вещества при относительно высокой плотности выделяемой и переносимой энергии, где накоплен значительный опыт численного моделирования. Это проблемы теплопереноса и динамики разреженного газа (уравнение Больцмана для молекул), проблемы переноса солнечного и инфракрасного излучений в атмосферах Земли и планет в целях исследований климата, дистанционной диагностики и защиты объектов (уравнение переноса излучения), проблемы высвобождения ядерной энергии в ядерных реакторах (уравнение переноса нейтронов), проблемы генерации высокотемпературной излучающей плазмы для инерционного термоядерного синтеза и источников ультрафиолетового излучения (радиационно-столкновительная модель плазмы многозарядных ионов).

В первой части курса основное внимание уделяется вопросам построения математических моделей и подготовки вычислительного эксперимента. Поясняются физические закономерности кинетических явлений, требования к точности численного решения и типичные функционалы от решения; приводятся постановки математических задач – системы уравнений и граничных условий, поясняются схемы вывода уравнений и вычисления кинетических коэффициентов; дается информация об исходных данных для моделирования, о доступных банках данных, содержащих уравнения состояния материалов и сечения взаимодействия частиц с веществом; обсуждаются приемы и различные приближения, приводящие к снижению вычислительных затрат и увеличению контроля над результатами расчетов.

Во второй части курса излагаются численные методы решения кинетических уравнений переноса нейтральных частиц. Обсуждаются базовые элементы численного метода. Далее каждый из элементов рассматривается более подробно. Выводятся и поясняются альтернативные формы записи (следствия) исходных уравнений, которые используются при построении дискретных схем – систем алгебраических уравнений, аппроксимирующих кинетические уравнения. Поясняется схема простых итераций для нахождения решения, заданного неявным образом. Излагаются методы дискретизации по энергии частиц, способы представления угловой зависимости функции распределения и интеграла столкновений, вопросы применения квадратурных и кубатурных формул, методы расчета пространственно-углового распределения частиц: P_n-метод (метод сферических гармоник), S_n-метод, методы длинных и коротких характеристик. Излагаются прямые и не прямые численные алгоритмы разрешения систем алгебраических уравнений, возникающих в результате дискретизации уравнений математической модели. Также, дается обзор методов ускорения сходимости итераций с пояснением их достоинств и недостатков.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

- ознакомление студентов с методом компьютерного моделирования сложных физических и технических объектов, протекающих в них кинетических процессов и способов преодоления возникающих на этом пути трудностей.

Задачи дисциплины

- демонстрация потенциальных возможностей вычислительного эксперимента для решения прикладных научно-технических проблем;
- приобретение знаний и навыков численного исследования кинетических процессов в ядерных и термоядерных устройствах;
- формирование навыков по разработке собственных математических моделей, постановке задач и проведению численных расчетов в рамках выпускных работ на степень магистра.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области информатики и вычислительной техники	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания и новые научные принципы и методы исследований в области информатики и вычислительной техники
	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности
	ОПК-1.3 Понимает междисциплинарные связи в области информатики и вычислительной техники и способен их применять при решении задач профессиональной деятельности
ПК-2 Понимает и способен применить в научно-исследовательской и прикладной деятельности основные законы естествознания, современный математический аппарат и алгоритмы, современные информационно-коммуникационные технологии	ПК-2.1 Знает основы научно-исследовательской деятельности в области информационных технологий, владеет знанием основ философии и методологии науки; знанием методов научных исследований и навыками их проведения
	ПК-2.2 Умеет применять полученные знания в области фундаментальных научных основ теории информации и решать стандартные задачи в собственной научно-исследовательской деятельности
	ПК-2.3 Имеет практический опыт научно-исследовательской деятельности в области информационно-коммуникационных технологий
	ПК-2.4 Владеет методами и алгоритмами решения задач цифровой обработки сигналов, использования сети Интернет, аннотирования, реферирования, библиографического поиска, опыт работы с научными источниками
ПК-3 Владеет навыками участия в научных дискуссиях, выступления с сообщениями и докладами устного, письменного и виртуального (размещение в информационных сетях) характера, представления материалов собственных исследований	ПК-3.1 Знает основы ведения научной дискуссии и формы устного научного высказывания
	ПК-3.2 Умеет вести корректную дискуссию в области информационных технологий задавать вопросы и отвечать на поставленные вопросы по теме научной работы
	ПК-3.3 Имеет практический опыт участия в научных студенческих конференциях, очных, виртуальных, заочных обсуждениях научных проблем в области информационных технологий
ПК-1 Готов к включению в профессиональное сообщество; способен проводить под научным руководством локальные исследования на основе существующих методов в конкретной области профессиональной деятельности	ПК-1.1 Знает принципы построения научной работы, методы сбора и анализа полученного материала, способы аргументации; владеет навыками подготовки научных обзоров, публикаций, рефератов и библиографий по тематике проводимых исследований на русском и английском языке
	ПК-1.2 Умеет решать научные задачи с пониманием существующих подходов к верификации моделей программного обеспечения в связи с поставленной целью и в соответствии с выбранной методикой
	ПК-1.3 Имеет практический опыт выступлений и научной аргументации при анализе объекта научной и профессиональной деятельности

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны знать:

- фундаментальные понятия, методы, теории кинетических процессов при высоких плотностях энергии;
- особенности проведения вычислительного эксперимента над моделью объекта, способы верификации результатов моделирования;
- постановки типичных задач, основные свойства полной математической модели и приближенных упрощенных моделей;
- базовый набор численных методов и вычислительных алгоритмов для получения численных решений типовых прикладных кинетических задач;
- современные проблемы и тенденции развития моделей, методов и банков данных о свойствах материалов соответствующих направлений вычислительной физики.

уметь:

- понять поставленную задачу;
- использовать свои знания для решения задач;
- оценивать корректность математических моделей, их полноту и сложность (учитываемые физические процессы, точность и трудоемкость описания);
- оценивать необходимость и достаточность применения моделей различной степени сложности для численного моделирования объекта в заданном диапазоне изменения параметров;
- оценивать необходимость и достаточность применения моделей различной степени сложности для численных методов и алгоритмов нахождения численного решения уравнений математической модели;
- оценивать необходимость и достаточность применения моделей различной степени сложности для пакетов программного обеспечения, находящихся в свободном доступе;
- точно представить физические и математические знания в данной предметной области в устной и письменной форме.

владеть:

- навыками освоения и анализа большого объема новой информации;
- навыками самостоятельной работы;
- предметными понятиями и терминами кинетической теории, численных методов и моделирования;
- типичными примерами постановки, анализа и решения сложных математических и прикладных задач с помощью компьютерного моделирования.

4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Знакомство с кинетическими уравнениями. Функции распределения частиц.	3	3		5
2	Применение кинетических уравнений. Случай малых отклонения от равновесия. Вычисление кинетических коэффициентов	3	1		5
3	Сильные отклонения от равновесия. Вычислительный эксперимент.	3	1		5
4	Примеры расчетов неравновесного переноса частиц для решения научных и технических проблем.	3	1		5

5	Перенос солнечного и теплового излучения в атмосферах планет.	3	1		5
6	Проблемы радиационной газовой динамики и радиационной кинетики плазмы.	3	1		5
7	Базовые элементы численных методов решения кинетических уравнений.	2	1		5
8	Формы записи кинетических уравнений и граничных условий. Задачи с пространственной симметрией.	2	1		5
9	Методы осреднения кинетических уравнений по энергии частиц.	2	1		5
10	Методы представления угловой зависимости функции распределения.	2	1		5
11	Методы пространственно-углового расчета распределения частиц.	2	1		5
12	Методы ускорения сходимости итераций.	2	2		5
Итого часов		30	15		60
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		135 час., 3 зач.ед.			

4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 1 (Осенний)

1. Знакомство с кинетическими уравнениями. Функции распределения частиц.

Равновесные и неравновесные распределения. Термодинамическое и химическое равновесие. Равновесные распределения Максвелла-Больцмана, Ферми-Дирака, Бозе-Эйнштейна и Планка. Соотношения Саха.

Общая структура кинетических уравнений. Замены независимых переменных. Инвариантность величин при преобразованиях Галилея и преобразованиях Лоренца. Элементы теории парных столкновений (реакций) частиц.

Кинетические уравнения для нейтральных частиц. Уравнение Больцмана. Уравнение переноса нейтронов. Уравнение переноса излучения (фотонов).

Кинетические уравнения для заряженных частиц. Уравнение Власова. Уравнение Фоккера-Планка. Столкновительный интеграл Ландау. Столкновительный интеграл Компанейца.

2. Применение кинетических уравнений. Случай малых отклонения от равновесия. Вычисление кинетических коэффициентов

Моменты функции распределения. Система уравнений для моментов. Вывод уравнений газовой динамики и термодинамики. Вычисление кинетических коэффициентов. Приближение Чепмена-Энскога, приближение Грэда.

3. Сильные отклонения от равновесия. Вычислительный эксперимент.

Основные вехи овладения ядерной энергией. Зарождение вычислительной физики в Американском и Советском атомных проектах.

Вычислительный эксперимент как инструмент исследования сложных объектов. Этапы вычислительного эксперимента.

4. Примеры расчетов неравновесного переноса частиц для решения научных и технических проблем.

Проблемы динамики разреженного газа. Взаимодействие молекул. Постановка задач. Условия на границе разреженный газ – твердое тело. Кинетически согласованные схемы газовой динамики.

Проблемы использования ядерной энергии. Источники нейтронов. Спектр энергий нейтронов и взаимодействия нейтронов с веществом. Библиотеки ядерных данных. Расчет нейтронных полей для моделирования работы ядерных устройств и защиты от излучений. Уравнения для моментов нейтронного поля. Задача на поиск критического размера ядерных устройств. Задача расчета динамики ядерного реактора. Теория возмущений и уравнения точечной кинетики реактора. Расчет кампании реактора. Задачи нейтронной диагностики объектов.

5. Перенос солнечного и теплового излучения в атмосферах планет.

Источники атмосферной радиации. Взаимодействия излучения с простыми молекулами и аэрозолями. Библиотеки данных о параметрах колебательно-вращательных переходов молекул. Сборка коэффициентов поглощения и испускания излучения. Проблема моделирования общей циркуляции атмосферы и климата. Проблема дистанционной диагностики атмосферы. Постановки задач.

6. Проблемы радиационной газовой динамики и радиационной кинетики плазмы.

Взаимодействие высокочастотного излучения (фотонов) с атомами и ионами, сечения электронных переходов с участием фотонов, коэффициенты Эйнштейна. Интеграл столкновений фотонов с веществом в различных приближениях. Сечения безизлучательных переходов.

Система уравнений радиационной газовой динамики. Основные функционалы поля излучения. Постановка задач. Упрощающие приближения. Приближение серой материи. Планковский и Росселандов средние коэффициенты. Приближение оптически тонкого тела. Приближение лучистой теплопроводности. Приближение диффузии излучения. Приближение вперед-назад.

Радиационно-столкновительная модель плазмы. Энергетические подсистемы. Одножидкостная двухтемпературная модель для электронов и ионов. Скорости релаксационных процессов. Система уравнений и граничных условий. Приближенные модели. Объединение квантовых состояний ионов. Корональное приближение. Уравнения Бибермана-Холстейна для переноса радиационного возбуждения в неперекрывающихся линиях. Приближение вероятности вылета фотонов из объема.

Задача о сильном взрыве. Перенос излучения на фронте сильной ударной волны. Генерация излучающей плазмы. Перенос излучения в атмосферах звезд.

7. Базовые элементы численных методов решения кинетических уравнений.

Математическая модель. Детерминистические численные методы и метод статистических испытаний (метод Монте-Карло). Применение итераций. Дискретизация уравнений, конечно-разностные и точные схемы. Прямые численные алгоритмы: алгоритм бегущего счета для решения задачи Коши, алгоритм прогонки для решения одномерных краевых задач. Непрямые итерационные алгоритмы для решения систем линейных уравнений.

Разработка, тестирование и использование компьютерных программ. Оформление и публикация результатов численного моделирования.

8. Формы записи кинетических уравнений и граничных условий. Задачи с пространственной симметрией.

Характеристическая форма записи кинетических уравнений. Система четно-нечетных уравнений. Граничные условия. Сведение интегро-дифференциальных кинетических уравнений к интегральным уравнениям на лучах-характеристиках. Интегральные уравнения по объему тела, уравнение Пайерлса.

Уравнения анизотропной диффузии частиц. P_n-метод (метод сферических гармоник). Приближение изотропной диффузии частиц.

Плоская, сферическая и цилиндрическая задачи (1D). Задача для тела вращения (2D). Особенности функции распределения. Эффект луча.

9. Методы осреднения кинетических уравнений по энергии частиц.

Многогрупповое приближение. Метод Бондаренко (метод факторов резонансной самоэкранировки).

Метод функций пропускания. Метод суммы экспонент.

Метод лебеговского осреднения. Метод спектральных моментов.

10. Методы представления угловой зависимости функции распределения.

Разложения функции распределения и интеграла столкновений в ряды Фурье по полиномам Лежандра, сферическим гармоникам и сферическим тензорам.

Применение квадратурных и кубатурных формул. Квадратурные формулы Гаусса.

11. Методы расчета пространственно-углового распределения частиц.

Метод дискретных ординат Вика-Чандрасекхара, S_n – метод Карлсона. Конечно-разностные и конечно-элементные схемы.

Методы длинных и коротких характеристик. Точные схемы. Точная схема Владимирова. Точная схема для четно-нечетных уравнений переноса. Методы коротких характеристик.

12. Методы ускорения сходимости итераций.

KP1-метод Лебедева. Синтетические методы. Методы ребаланса. Метод квазидиффузии Гольдина.

Итерационный метод поколений нейтронов для решения многогрупповой критической задачи ядерного реактора.

5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Необходимое оборудование для лекций: компьютер и мультимедийное оборудование (проектор, звуковая система).

6.Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Лекции по теории переноса нейтронов [Текст] / В. В. Смелов - М.Атомиздат,1978
2. Теория ядерных реакторов [Текст]/Д. Белл, С. Глесстон , пер. с англ. под ред. В. Н. Артамкина, Nuclear reactor theory, -М., Атомиздат, 1974
3. Математическое моделирование задач динамики излучающего газа [Текст]/Б. Н. Четверушкин, -М., Наука, 1985

Дополнительная литература

1. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений [Текст]/Я. Б. Зельдович, Ю. П. Райзер, -М., Наука, 1966
2. Звездные атмосферы [Текст]. В 2 ч. Ч. 2 =Stellar atmospheres, / Д. Михалас ; пер. с англ. С. И. Грачева, Д. И. Нагирнева под ред. В. В. Иванова, М., Мир, 1982

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

<http://keldysh.ru/e-biblio/>

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

Не требуется.

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Студент, изучающий дисциплину, должен с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике.

В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения, понятия, аксиомы, методы доказательств.

Успешное освоение курса требует напряжённой самостоятельной работы студента. В программе курса приведено минимально необходимое время для работы студента над темой. Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение и конспектирование рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала (по конспектам лекций, учебной и научной литературе), подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения, доказательство отдельных утверждений, свойств;
- выполнение упражнений, предлагаемых студентам на занятиях;
- подготовку к экзамену.

Руководство самостоятельной работой, а так же ее контроль осуществляется в форме индивидуальных консультаций.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями к лектору или преподавателю, ведущему практические занятия.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Информатика и вычислительная техника
профиль подготовки:	Прикладная математика и информатика Физтех-школа Прикладной Математики и Информатики кафедра математического моделирования и прикладной математики
курс:	<u>1</u>
квалификация:	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 1 (осенний) - Экзамен

Разработчик: А.В. Шильков, канд. физ.-мат. наук, доцент

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области информатики и вычислительной техники	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания и новые научные принципы и методы исследований в области информатики и вычислительной техники
	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности
	ОПК-1.3 Понимает междисциплинарные связи в области информатики и вычислительной техники и способен их применять при решении задач профессиональной деятельности
ПК-2 Понимает и способен применить в научно-исследовательской и прикладной деятельности основные законы естествознания, современный математический аппарат и алгоритмы, современные информационно-коммуникационные технологии	ПК-2.1 Знает основы научно-исследовательской деятельности в области информационных технологий, владеет знанием основ философии и методологии науки; знанием методов научных исследований и навыками их проведения
	ПК-2.2 Умеет применять полученные знания в области фундаментальных научных основ теории информации и решать стандартные задачи в собственной научно-исследовательской деятельности
	ПК-2.3 Имеет практический опыт научно-исследовательской деятельности в области информационно-коммуникационных технологий
	ПК-2.4 Владеет методами и алгоритмами решения задач цифровой обработки сигналов, использования сети Интернет, аннотирования, реферирования, библиографического поиска, опыт работы с научными источниками
ПК-3 Владеет навыками участия в научных дискуссиях, выступления с сообщениями и докладами устного, письменного и виртуального (размещение в информационных сетях) характера, представления материалов собственных исследований	ПК-3.1 Знает основы ведения научной дискуссии и формы устного научного высказывания
	ПК-3.2 Умеет вести корректную дискуссию в области информационных технологий задавать вопросы и отвечать на поставленные вопросы по теме научной работы
	ПК-3.3 Имеет практический опыт участия в научных студенческих конференциях, очных, виртуальных, заочных обсуждениях научных проблем в области информационных технологий
ПК-1 Готов к включению в профессиональное сообщество; способен проводить под научным руководством локальные исследования на основе существующих методов в конкретной области профессиональной деятельности	ПК-1.1 Знает принципы построения научной работы, методы сбора и анализа полученного материала, способы аргументации; владеет навыками подготовки научных обзоров, публикаций, рефератов и библиографий по тематике проводимых исследований на русском и английском языке
	ПК-1.2 Умеет решать научные задачи с пониманием существующих подходов к верификации моделей программного обеспечения в связи с поставленной целью и в соответствии с выбранной методикой
	ПК-1.3 Имеет практический опыт выступлений и научной аргументации при анализе объекта научной и профессиональной деятельности

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Численное моделирование неравновесного переноса частиц» обучающийся должен:

знать:

- фундаментальные понятия, методы, теории кинетических процессов при высоких плотностях энергии;
- особенности проведения вычислительного эксперимента над моделью объекта, способы верификации результатов моделирования;
- постановки типичных задач, основные свойства полной математической модели и приближенных упрощенных моделей;
- базовый набор численных методов и вычислительных алгоритмов для получения численных решений типовых прикладных кинетических задач;
- современные проблемы и тенденции развития моделей, методов и банков данных о свойствах материалов соответствующих направлений вычислительной физики.

уметь:

- понять поставленную задачу;
- использовать свои знания для решения задач;
- оценивать корректность математических моделей, их полноту и сложность (учитываемые физические процессы, точность и трудоемкость описания);
- оценивать необходимость и достаточность применения моделей различной степени сложности для численного моделирования объекта в заданном диапазоне изменения параметров;
- оценивать необходимость и достаточность применения моделей различной степени сложности для численных методов и алгоритмов нахождения численного решения уравнений математической модели;
- оценивать необходимость и достаточность применения моделей различной степени сложности для пакетов программного обеспечения, находящихся в свободном доступе;
- точно представить физические и математические знания в данной предметной области в устной и письменной форме.

владеть:

- навыками освоения и анализа большого объема новой информации;
- навыками самостоятельной работы;
- предметными понятиями и терминами кинетической теории, численных методов и моделирования;
- типичными примерами постановки, анализа и решения сложных математических и прикладных задач с помощью компьютерного моделирования.

3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

С целью контроля освоения обучающимися учебного материала проводится устный опрос в начале занятия по теме прошлой лекции или в конце занятия по пройденной теме.

4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

1. Моменты функции распределения.
2. Вывод уравнений газовой динамики и термодинамики.
3. Вычисление кинетических коэффициентов.
4. Приближение Чепмена-Энскога, приближение Грэда.
5. Вычислительный эксперимент как инструмент исследования сложных объектов.
6. Этапы вычислительного эксперимента.
7. Проблемы использования ядерной энергии.
8. Источники нейтронов.
9. Спектр энергий нейтронов и взаимодействия нейтронов с веществом.
10. Библиотеки ядерных данных.
11. Расчет нейтронных полей для моделирования работы ядерных устройств и защиты от излучений.
12. Уравнения для моментов нейтронного поля.

13. Задача на поиск критического размера ядерных устройств.
14. Задача расчета динамики ядерного реактора.
15. Теория возмущений и уравнения точечной кинетики реактора.
16. Расчет кампании реактора.
17. Задачи нейтронной диагностики объектов.
18. Разработка, тестирование и использование компьютерных программ. Оформление и публикация результатов численного моделирования.
19. Характеристическая форма записи кинетических уравнений.
20. Система четно-нечетных уравнений. Граничные условия.
21. Сведение интегро-дифференциальных кинетических уравнений к интегральным уравнениям на лучах-характеристиках.
22. Интегральные уравнения по объему тела, уравнение Пайерлса.
23. Уравнения анизотропной диффузии частиц.
24. Рп-метод (метод сферических гармоник). Приближение изотропной диффузии частиц.
25. Плоская, сферическая и цилиндрическая задачи (1D). Задача для тела вращения (2D).
26. Особенности функции распределения. Эффект луча.
27. Многогрупповое приближение. Метод Бондаренко (метод факторов резонансной самоэкранировки).
28. Метод функций пропускания. Метод суммы экспонент.
29. Метод лебеговского осреднения. Метод спектральных моментов.
30. Разложения функции распределения и интеграла столкновений в ряды Фурье по полиномам Лежандра, сферическим гармоникам и сферическим тензорам.
31. Применение квадратурных и кубатурных формул. Квадратурные формулы Гаусса.
32. Метод дискретных ординат Вика-Чандрасекхара, S_n – метод Карлсона. Конечно-разностные и конечно-элементные схемы.
33. Методы длинных и коротких характеристик. Точные схемы.
34. Точная схема Владимирова.
35. Точная схема для четно-нечетных уравнений переноса.
36. Методы коротких характеристик.
37. КР1-метод Лебедева. Синтетические методы.
38. Методы ребаланса.
39. Метод квазидиффузии Гольдина.

Пример билета:

Билет №1

1. Столбчатый интеграл Ландау.
2. Точная схема для четно-нечетных уравнений переноса.

Билет №2

1. Задачи нейтронной диагностики объектов.
2. КР1-метод Лебедева. Синтетические методы.

Критерии оценивания

Отлично (10) - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Отлично (9) - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Отлично (8) - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

Хорошо (7) - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Хорошо (6) - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Хорошо (5) - выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Удовлетворительно (4) - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Удовлетворительно (3) - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Неудовлетворительно (2) - выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Неудовлетворительно (1) - выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Во время проведения экзамена обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, а также справочной литературой, вычислительной техникой, конспектами лекций.

Экзамен проводится путем организации специального опроса, проводимого в устной форме.