

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт электрофизики
Уральского отделения Российской академии наук
(ИЭФ УрО РАН)

«Утверждаю»
Директор ИЭФ УрО РАН

С.А. Чайковский
«_____» _____ 2022 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
«Компьютерные методы в физике»
Б1.О.3

для обучающихся по образовательным программам высшего образования –
программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в
аспирантуре ИЭФ УрО РАН

Специальность 03.06.01 – «Физика и астрономия»

Екатеринбург
2022

Программу составили:

в.н.с. ИЭФ УрО РАН
д.ф.-м.н., доцент

Болтачёв Г.Ш.

с.н.с. ИЭФ УрО РАН
к.ф.-м.н.

Шмелёв Д.Л.

с.н.с. ИЭФ УрО РАН
к.ф.-м.н.

Павлов Н.С.

СОГЛАСОВАНО:

Зам. директора по НР ИЭФ УрО РАН
д.ф.-м.н.
« ____ » _____ 2022 г.

Болтачев Г.Ш.

Учёный секретарь ИЭФ УрО РАН
к.ф.-м.н.
« ____ » _____ 2022 г.

Кокорина Е.Е.

Рабочая программа утверждена на заседании Учёного совета ИЭФ УрО РАН.
Протокол № 4 от 29.06.2022 г.

Программа составлена с учётом Положения о подготовке научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), утвержденной Постановлением Правительства РФ № 2122 от 30 ноября 2021 г. и на основе Федеральных государственных требований к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре, утверждённых приказом Министерства науки и высшего образования РФ № 951 от 20.10.2021 г. (зарегистрирован Министерством юстиции РФ 23.11.2021 г., регистрационный № 65943).

1. Цели и задачи дисциплины.

- систематизация задач, требующих численного решения, и применяемых методов;

- ознакомление с современными алгоритмами, используемыми для численного анализа физических задач, приобретение навыков использования этих алгоритмов при решении практических задач, в т.ч.:

- 1) знакомство с основными алгоритмами, используемыми для численного решения алгебраических уравнений и систем;

- 2) знакомство с основными алгоритмами, используемыми для численного расчёта определённых и неопределённых интегралов;

- 3) знакомство с основными алгоритмами, используемыми для численного решения обыкновенных дифференциальных уравнений;

- 4) знакомство с основными алгоритмами, используемыми для численного решения дифференциальных уравнений в частных производных.

- подготовка аспирантов к применению полученных знаний при проведении конкретной научно-исследовательской работы.

2. Требования к уровню освоения содержания дисциплины.

В результате изучения дисциплины аспирант должен:

Знать:

- основные алгоритмы, используемые для численного анализа физических задач, их погрешности и быстродействие.

Уметь:

- использовать полученные знания для проведения научно-исследовательской работы по конкретной тематике и обосновывать полученные результаты, анализировать погрешность использованных численных методов.

Владеть:

- навыками использования полученных знаний для проведения научно-исследовательской работы по конкретной тематике.

3. Объём дисциплины и виды учебной работы.

<i>Вид учебной работы</i>	<i>Всего</i>		<i>Период обучения</i>
	<i>часов</i>	<i>ЗЕТ</i>	
Общая трудоёмкость дисциплины	108	3	первый-третий курс
Аудиторные занятия, в т.ч.:			
Лекции	10	0,27	
Практические занятия (ПЗ)	8	0,22	
Самостоятельная работа	72	2	
Контроль самостоятельной работы	18	0,5	

4. Содержание дисциплины.

4.1. Разделы дисциплин и виды занятий

<i>№ п/п</i>	<i>Раздел дисциплины</i>	<i>Лекции</i>	<i>ПЗ</i>	<i>Сам. раб.</i>	<i>Контр. сам. раб.</i>
1	Введение.			2	1
2	Алгебраические уравнения.	1		6	1
3	Системы нелинейных алгебраических уравнений.	1		6	1
4	Системы линейных алгебраических уравнений.	2		6	1
5	Численное интегрирование.	2		8	2
6	Решение обыкновенных дифференциальных уравнений.	2		8	2
7	Дифференциальные уравнения в частных производных.	1		8	1
8	Метод конечных разностей.	0,5		6	2
9	Сходимость разностных схем.	0,5		6	2
10	Численные методы, применяемые в физике плазмы.		2	8	2
11	Параллельные, кластерные вычисления		6	8	3
Всего час.		10	8	72	18

4.2. Содержание разделов дисциплины.

4.2.1. Введение.

Задачи, требующие численного решения. Необходимость использования численных методов. Вычислительный эксперимент: определение и содержание.

4.2.2. Алгебраические уравнения.

Классификация численных методов: прямые и итерационные, этапы итерационного метода. Методы дихотомии, простой итерации, Ньютона–Рафсона. Область сходимости численного итерационного метода.

4.2.3. Системы нелинейных алгебраических уравнений.

Простые итерации. Метод Зейделя. Последовательная верхняя релаксация. Метод Ньютона.

4.2.4. Системы линейных алгебраических уравнений.

Расчёт определителя произвольной квадратной матрицы, метод главного элемента. Прямые методы: обратной матрицы, Крамера, Гаусса, метод прогонки. Число арифметических операций, необходимых для полного решения задачи. Условие преобладания диагональных элементов. Итерационные методы: Якоби, Гаусса–Зейделя.

4.2.5. Численное интегрирование.

Метод прямоугольников. Квадратурная формула, погрешность. Аппроксимация рядом Тейлора. Формулы Ньютона–Котеса: правило трапеций, формула Симпсона, правило трёх восьмых. Метод Чебышева. Метод Лежандра–Гаусса: использование полиномов Лежандра для определения узлов квадратурной формулы, система для определения весовых коэффициентов. Экстраполяционный переход к пределу. Метод Монте-Карло. Интегрирование несобственных интегралов.

4.2.6. Решение обыкновенных дифференциальных уравнений.

Задача Коши и краевая задача. Метод Эйлера: погрешность и «жесткость задачи». Аппроксимация рядом Тейлора. Методы Рунге–Кутты: общая форма записи методов второго порядка, классический «метод Рунге–Кутты». Методы прогноза и коррекции: порядок метода, условие сходимости коррекций, повышение порядка точности. Метод «стрельбы». Проекционные методы: метод Галеркина, метод конечных элементов.

4.2.7. Дифференциальные уравнения в частных производных.

Классификация дифференциальных уравнений в частных производных и методы, используемые для их решения.

4.2.8. Метод конечных разностей.

Основные понятия: сетка, сходимость, условие сходимости. Аппроксимация производных: формулы правой, левой, центральной аппроксимации. Порядок аппроксимации. Схемы аппроксимации дифференциального уравнения теплопроводности: явная, неявная, Кранка–Николсона, Рундсона. Трёхслойные разностные схемы. Метод Либмана.

4.2.9. Сходимость разностных схем.

Понятия согласованности и устойчивости. Типы неустойчивости. Теорема Лакса. Согласованность: погрешность аппроксимации дифференциального уравнения и скорость сходимости численного алгоритма, повышение порядка аппроксимации. Устойчивость: метод дискретных возмущений, метод Неймана. Условие устойчивости явной разностной схемы для уравнения теплопроводности. Устойчивость разностных схем для одномерного волнового уравнения первого порядка: условие Куранта–Фридрихса–Леви, его физический смысл.

4.2.10. Численные методы, применяемые в физике плазмы.

Методы, применяемые для решения уравнений гидродинамического типа. Типичная система уравнений одножидкостной гидродинамики. Простейшая устойчивая явная схема первого порядка с интегрированием против потока.

Метод частицы-в-ячейках, применяемый для решения кинетических уравнений физики плазмы. Типичная схема электростатического метода частицы-в-ячейках. Раздача заряда и интерполяция силы. Методы решения уравнения Пуассона. Методы интегрирования системы движения частиц. Методы Монте-Карло, применяемые для учёта столкновений частиц.

Гибридные методы. Основные принципы построения гибридных методов. Пример простейшего гибридного метода.

4.2.11 Параллельные, кластерные вычисления.

Использование суперкомпьютеров. Основы параллельного программирования.

4.3. Самостоятельная работа аспирантов.

Проработка лекционного материала по конспектам и учебной литературе (72 ч.). Подготовка к контролю по дисциплине (18 ч.).

5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины.

5.1. Рекомендуемая литература.

а) основная литература:

1. Амосов, А.А., Дубинский, Ю.А., Копченова, Н.В. Вычислительные методы для инженеров. (Учебное пособие). – М.: Высшая школа, 1994. – 554 с.
2. Роуч, П. Вычислительная гидродинамика / Перевод с англ. В.А. Гущина и В.Я. Митницкого под ред. П.И. Чушкина. – М.: Мир, 1980.
3. Бэдсел, Ч., Ленгдон, А. Физика плазмы и численное моделирование. – М.: Энергоатомиздат, 1989.
4. Хокни, Р., Иствуд, Дж. Численное моделирование методом частиц. – М.: Мир, 1987.

б) дополнительная литература:

1. Самарский, А.А. Введение в численные методы. – М.: Наука, 1982. – 272 с.
2. Поттер, Д. Вычислительные методы в физике / Перевод с англ. Г.В. Переверзева под ред. Ю.Н. Днестровского. – М.: Мир, 1975.
3. Григорьев, Ю.Н., Вшивков, В.А. Численные методы «Частицы-в-ячейках». – Новосибирск: Наука, 2000.
4. Днестровский, Ю.Н., Костомаров, Д.П. Математическое моделирование плазмы. – М.: Наука, 1982.

в) методическое обеспечение:

<http://iep7.iep.uran.ru/iep/aspir.htm>

5.2. Информационное обеспечение.

№ п/п	Ссылка на информационный ресурс	Наименование разработки в электронной форме	Доступность
	http://elibrary.ru/	Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU	доступ свободный

6. Материально-техническое обеспечение дисциплины.

Для проведения занятий по дисциплине используются: компьютерный класс, аудитория для семинарских занятий ИЭФ УрО РАН, оборудование: оргтехника, проектор.