

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Ордена Трудового Красного знамени
Институт солнечно-земной физики
Сибирского отделения Российской академии наук
(ИСЗФ СО РАН)

УТВЕРЖДАЮ:

Директор ИСЗФ СО РАН

чл.-корр. РАН _____ А.В. Медведев

«11» мая 2023 г.

Рабочая программа дисциплины

Б1.В.8 Численное моделирование

Направление подготовки **03.04.02 Физика**

Направленность (профиль): **Физика солнечно-земных связей**

Квалификация выпускника: **МАГИСТР**

Тип профессиональной деятельности: **научно-исследовательский,
педагогический**

Форма обучения: **очная**

Иркутск 2023

Рабочая программа составлена на основании Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 03.04.02 Физика (уровень магистратуры), утвержденного приказом Минобрнауки России от 7.08.2020 № 914

РАБОЧУЮ ПРОГРАММУ разработал кандидат физико-математических наук	В.В. Анненков
---------------------------------------------------------------------	---------------

1. Место и роль дисциплины (модуля) в структуре ОПОП

Дисциплина «Численное моделирование» относится к вариативной части Блока 1 основной образовательной программы по направленности (профилю) подготовки «Физика солнечно-земных связей» направления подготовки 03.04.02 «Физика».

Предшествующие дисциплины, на которые данная дисциплина опираются: "Введение в физику плазмы", "Компьютерные технологии", "Вопросы математической физики".

Последующие дисциплины, для которых освоение данной дисциплины необходимо: Математические методы обработки экспериментальных данных.

2. Цели и задачи дисциплины (модуля)

Целью дисциплины «Численное моделирование» является ознакомление студентов с различными подходами к численному моделированию плазмы, а также обучение основам разработки многопоточных приложений для решения практических задач физики плазмы и астрофизики.

Задачами дисциплины «Численное моделирование» является:

- Изучение наиболее распространённых подходов к численному моделированию динамики плазмы;
- Освоение базовых методов разработки многопоточных приложений с использованием наиболее распространённых библиотек;
- Получение практических навыков в создании и использовании программных комплексов для численного моделирования плазмы.

3. Требования к результатам освоения дисциплины (модуля)

Процесс изучения дисциплины «Численное моделирование» направлен на формирование следующих компетенций в соответствии с ОПОП по направлению подготовки Физика:

Компетенции	Индикаторы достижения компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине
УК-1 Способен осуществлять критический анализ ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	ИД 1. Критически анализирует проблемную ситуацию как систему, выявляет ее отдельные составляющие и связи между ними	Знать: основные численные методы, применяемые в физике; Уметь: определять необходимые для решения конкретной задачи методы численного моделирования Владеть: навыками самостоятельной работы с учебной литературой по численным методам

	<p>ИД 3. Разрабатывает стратегию действий, направленных на решение проблемной ситуации</p>	<p>Знать: современные подходы к разработке высокопроизводительных вычислительных программных комплексов.</p> <p>Уметь: самостоятельно разрабатывать программные комплексы для численного моделирования различных физических процессов.</p> <p>Владеть: навыками выбора пути разработки вычислительных программных комплексов</p>
<p>ПКА-2 Способен проводить научные исследования в области физики солнечно-земных связей, используя необходимые знания теоретических и экспериментальных разделов физики</p>	<p>ИД 2. Использует информационные ресурсы, научную, опытно-экспериментальную, наблюдательную и приборную базы при проведении научных исследований и реализации научных проектов в области физики солнечно-земных связей.</p>	<p>Знать: основные информационные ресурсы по тематике проводимых исследований</p> <p>Уметь: находить информацию в основных информационных ресурсах по тематике проводимых исследований</p> <p>Владеть: навыками анализа информации из основных информационных ресурсов по тематике проводимых исследований</p>
	<p>ИД 3. Использует современные теоретические и экспериментальные методы, включая методы обработки и анализа данных, при проведении научных исследований и реализации научных проектов в области физики солнечно-земных связей</p>	<p>Знать: область применимости различных численных методов в задачах физики солнечно-земных связей.</p> <p>Уметь: самостоятельно определять наиболее адекватные задаче методы численного моделирования;</p> <p>Владеть: основной терминологией и понятийным аппаратом численных методов; навыками визуализации результатов численного моделирования</p>

4. Объем дисциплины (модуля) и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетные единицы, 108 часов.

Вид учебной работы	Всего часов / зачетных единиц
Аудиторные занятия (всего)	
В том числе:	
Лекции	18/0,5
Лабораторные работы	
Практические занятия	36/1
Самостоятельная работа (всего)	18/0,5
Вид промежуточной аттестации (экзамен)	36/1
Контактная работа (всего)	54/1,5
Общая трудоёмкость (часы/зачетные единицы)	108/3

5. Содержание дисциплины

5.1. Содержание разделов и темы дисциплины

Раздел 1. Основы разработки высокопроизводительных вычислительных комплексов

Тема 1. Введение в численное моделирование

Тема 2. Основы параллельного программирования

Раздел 2. Базовые методы численного моделирования

Тема 1. Численное решение обыкновенных дифференциальных уравнений

Тема 2. Метод Монте-Карло

Раздел 3. Численное моделирование с использованием сеточных методов

Тема 1. Газодинамика, ч. 1

Тема 2. Газодинамика, ч. 2

Тема 3. Магнитогидродинамика

Раздел 4. Метод частиц в ячейках

Тема 1. Базовые алгоритмы моделирования

Тема 2. Численные неустойчивости и методы борьбы с ними

5.2. Разделы дисциплины (модуля) и виды занятий

№ п/п	Раздел	Всего часов	Аудиторные занятия				СРС
			Лекции	Лаб. занятия	Практические занятия	Семинары	
1	Основы разработки высокопроизводительных вычислительных комплексов	16	4		8		4
2	Базовые методы численного моделирования	16	4		8		4
3	Численное моделирование с использованием	24	6		12		6

№ п/п	Раздел	Всего часов	Аудиторные занятия				СРС
			Лекции	Лаб. занятия	Практические занятия	Семинары	
	сеточных методов						
4	Метод частиц в ячейках	16	4		8		4
5	Экзамен	36					
Итого (часы)		108	18		36		18
Итого (з.е.)		3	0,5		1		0,5

5.3. Разделы и темы дисциплины (модуля) и междисциплинарные связи

№ п/п	Наименование обеспечиваемых (последующих) дисциплин и практик	№ № разделов и/или тем данной дисциплины, необходимых для изучения обеспечиваемых (последующих) дисциплин
1	Производственная практика (Научно-исследовательская работа)	1-4

5.4. Перечень лекционных занятий

№ п/п	№ раздела и темы дисциплины (модуля)	Наименование используемых технологий	Трудоемкость (часы)	Оценочные средства
1.	Раздел 1. Тема 1. Введение в численное моделирование	Презентация	2	Посещаемость, устный опрос
2.	Раздел 1. Тема 2. Основы параллельного программирования	Презентация	2	Посещаемость, устный опрос
3.	Раздел 2. Тема 1 Численное решение обыкновенных дифференциальных уравнений	Презентация	2	Посещаемость, устный опрос
4.	Раздел 2. Тема 2. Метод Монте-Карло	Презентация	2	Посещаемость, устный опрос
5.	Раздел 3. Тема 1. Гидрогазодинамика, ч. 1	Презентация	2	Посещаемость, устный опрос
6.	Раздел 3. Тема 2. Гидрогазодинамика, ч. 2	Презентация	2	Посещаемость, устный опрос
7.	Раздел 3. Тема 3. Магнитогазодинамика	Презентация	2	Посещаемость, устный опрос

8.	Раздел 4. Тема 1. Базовые алгоритмы моделирования	Презентация	2	Посещаемость, устный опрос
9.	Раздел 4. Тема 2. Численные неустойчивости и методы борьбы с ними	Презентация	2	Посещаемость, устный опрос

5.5. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ

№ п/п	№ раздела и темы дисциплины (модуля)	Наименование семинаров, практических и лабораторных работ	Трудоемкость (часы)	Оценочные средства
1.	Раздел 1. Тема 1.	Численное интегрирование	2	Решение предложенных преподавателем задач
2.	Раздел 1. Тема 1.	Численное решение дисперсионного уравнения плазмы методом Ньютона	2	Проверка правильности численного решения сравнением с аналитической теорией
3.	Раздел 1. Тема 2.	Параллельное программирование с использованием библиотеки openMP и MPI	2	Измерение эффективности распараллеливания предложенных преподавателем задач
4.	Раздел 1. Тема 2.	Обработка и визуализация результатов моделирования	2	Представление преподавателю результатов визуализации данных моделирования
5.	Раздел 2. Тема 1.	Моделирование динамики нерелятивистской заряженной частицы во внешнем электромагнитном поле	2	Проверка правильности численного решения сравнением с аналитической теорией
6.	Раздел 2. Тема 1.	Решение уравнения теплопроводности.	2	Проверка правильности численного решения сравнением с аналитической теорией
7.	Раздел 2. Тема 2.	Динамика нейтрального газа в 2D пространстве	2	Представление преподавателю результатов визуализации данных моделирования

8.	Раздел 2. Тема 2.	Реализация столкновений частиц при помощи прямого Монте-Карло моделирования.	2	Проверка правильности численного решения сравнением с аналитической теорией
9.	Раздел 3. Тема 1.	Гидрогазодинамическое моделирование одного сорта частиц.	2	Решение предложенных преподавателем задач
10.	Раздел 3. Тема 1.	Моделирование распространения звуковых колебаний.	2	Решение предложенных преподавателем задач
11.	Раздел 3. Тема 2.	Гидрогазодинамическое моделирование нескольких сортов частиц.	2	Решение предложенных преподавателем задач
12.	Раздел 3. Тема 2.	Моделирование неустойчивости Рэлея-Тейлора.	2	Решение предложенных преподавателем задач
13.	Раздел 3. Тема 3.	Моделирование многокомпонентной плазмы методом МГД;	4	Решение предложенных преподавателем задач
14.	Раздел 4. Тема 1.	Моделирование многокомпонентной плазмы методом частиц в ячейках.	4	Решение предложенных преподавателем задач
15.	Раздел 4. Тема 2.	Моделирование двухпоточковой неустойчивости электронного пучка в плазме;	4	Решение предложенных преподавателем задач

5.6. Тематика заданий для самостоятельной работы

Раздел	Тема	Вид самостоятельной работы	Задание	Рекомендуемая литература	Кол-во часов
1.	Основы разработки высокопроизводительных вычислительных комплексов	Решение задач	Исследовать точность численного интегрирования в зависимости от числа итераций; Построить зависимость показателя преломления плазмы от	Основная литература 1-4	2

			частоты для волн, распространяющиеся вдоль магнитного поля в холодной замагниченной плазмы.		
2.	Базовые методы численного моделирования	Решение задач	Загрузить в собственный git-репозиторий имеющиеся программы; Визуализировать полученные ранее результаты при помощи библиотеки matplotlib в "пригодном для печати" качестве.	Основная литература 1-4	2
3.	Базовые методы численного моделирования	Решение задач	Исследовать дрейф заряженной частицы в скрещенных электрическом и магнитном поле; Реализовать градиент магнитного поля перпендикулярно его направлению. Оценить скорость градиентного дрейфа и сравнить с аналитическим результатом; Сравнить устойчивость явной и неявной схем решения уравнения теплопроводности.	Основная литература 1-4	2
4.	Базовые методы численного моделирования	Исследование физического процесса	Исследовать процесс выравнивания температуры двухкомпонентного газа; Изучить зависимость точности моделирования от временного шага алгоритма и размера ячеек.	Основная литература 1-4	2

5.	Численное моделирование использованием сеточных методов	с	Исследование физического процесса	Исследовать поведения модели от амплитуды колебаний и шага вычислительной сетки; Промоделировать всплывание пузырька газа в жидкости.	Основная литература 1-4	2
6.	Численное моделирование использованием сеточных методов	с	Исследование физического процесса	Исследовать неустойчивости Рэля-Тейлора при различных параметрах.	Основная литература 1-4	2
7.	Численное моделирование использованием сеточных методов	с	Решение задач	Промоделировать неустойчивости Рэля-Тейлора в магнитном поле.	Основная литература 1-4	2
8.	Метод частиц в ячейках	в	Решение задач	Промоделировать плазменные колебания.	Основная литература 1-4	2
9.	Метод частиц в ячейках	в	Решение задач	Промоделировать взаимодействие электромагнитной волны с плазменным столбом, окружённом вакуумом; Исследовать зависимости доли прошедшего излучения от частоты волны и амплитуды внешнего магнитного поля.	Основная литература 1-4	2

5.7. Методические указания по организации самостоятельной работы обучающихся

Внеаудиторная работа состоит в использовании разработанных на практических занятиях программ для исследования различных специфических режимов рассматриваемых физических систем. Результаты проведённого моделирования выкладываются обучающимися в сетевой git-репозиторий и, при необходимости, обсуждаются на практических занятиях.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

6.1. Основная литература

№ п/п	Автор, название, место издания, издательство, год издания учебной и учебно-методической литературы	Количество экземпляров
-------	----------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------

1	Физика плазмы и численное моделирование : пер. с англ. / Ч. Бэдсел, А. Ленгдон. - М. : Энергоатомиздат, 1989. - 455 с.	http://irbis.iszf.irk.ru неограниченный доступ
2	Физика плазмы для физиков / Л. А. Арцимович, Р. З. Сагдеев. - М.: Атомиздат, 1979. - 317 с.	http://irbis.iszf.irk.ru неограниченный доступ
3	Котельников, И. А. Лекции по физике плазмы. Том 1. Основы физики плазмы / И. А. Котельников. — 5-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2023. — 400 с. — ISBN 978-5-507-46437-1. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/310163	ЭБС Лань https://e.lanbook.com неограниченный доступ
4	Петров, И. Б. Вычислительная математика для физиков : учебное пособие / И. Б. Петров. — Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2021. — 376 с. — ISBN 978-5-9221-1887-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/181215	ЭБС Лань https://e.lanbook.com неограниченный доступ

6.2. Дополнительная литература

№ п/п	Автор, название, место издания, издательство, год издания учебной и учебно-методической литературы	Количество экземпляров
1	Вычислительные методы в физике плазмы: пер. с англ. / Д. Доусон [и др.]. - М. : Мир, 1974. - 514 с.	2

6.3. Профессиональные базы данных, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине:

- <https://webofknowledge.com/>
- <https://www.scopus.com/>
- <https://www.elibrary.ru/>

6.4. Информационные справочные системы, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине:

- Информационно-справочная информация в библиотеке ИСЗФ СО РАН <http://irbis.iszf.irk.ru>
- образовательные интернет-порталы;
- информационно-телекоммуникационная сеть Интернет.

6.5. Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимые для освоения дисциплины:

- Веб-сервис для хостинга проектов и их совместной разработки <https://bitbucket.org>

6.6. Программное обеспечение

Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, в том числе отечественного производства используемое при осуществлении образовательного процесса по дисциплине:

- Операционная система Ubuntu 18.04 (свободно распространяемое ПО)
- Офисный пакет Libre Office (свободно распространяемое ПО)
- 7-Zip (свободно распространяемое ПО)
- Adobe Acrobat Reader DC (свободно распространяемое ПО)
- Mozilla Firefox 1 (свободно распространяемое ПО)
- VLC Mediaplayer (свободно распространяемое ПО)
- K-Lite Codec Pack (свободно распространяемое ПО)
- Дистрибутив Python Anaconda (свободно распространяемое ПО)
- Набор компиляторов GCC (свободно распространяемое ПО)
- Операционная система Microsoft Windows 10 Pro
- Система ВКС VideoMost Proton

7. Образовательные технологии

- Интерактивные лекции
- Практические занятия
- Самостоятельная работа

В учебном процессе используются как активные, так интерактивные формы проведения занятий.

Интерактивные формы включают в себя:

- Лекции;
- Практические занятия

Аудиторные занятия проводятся в интерактивной форме с использованием мультимедийного обеспечения (ноутбук, проектор). Презентации позволяют качественно иллюстрировать аудиторные занятия схемами, формулами, чертежами, рисунками и структурировать материал занятия. Электронная презентация позволяет отобразить процессы в динамике, что улучшает восприятие материала.

Самостоятельная работа включает в себя:

- самостоятельное развитие программ численного моделирования, разработанных в рамках практических занятий
- исследование различных физических процессов с помощью численного моделирования и сравнение получаемых результатов с выводами, доступными в основной и дополнительной литературе;

При необходимости, в процессе работы над заданием, студент может получить индивидуальную консультацию у преподавателя.

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

<p>Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, курсового проектирования, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации</p>	<p>Аудитория укомплектована специализированной мебелью на 30 посадочных мест, оснащена оборудованием и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории:</p> <ul style="list-style-type: none">• доска магнитно-маркерная Branberg• экран для проектора Projecta• проектор BenQ MH733 1920 x 1080• ноутбук ASUS L1500CDA Windows 10 Pro• колонки Electro Voice EV-6.2T
<p>Учебная аудитория для групповых и индивидуальных консультаций и самостоятельной работы</p>	<p>Аудитория укомплектована специализированной мебелью на 7 посадочных мест, оснащена компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа к электронной информационно-образовательной среде:</p> <ul style="list-style-type: none">• персональные компьютеры Неттоп Think Center Lenovo M710Q• мониторы IIYAMA PL2283H, Dell CRHX9K2• доска магнитно-маркерная Branberg• экран для проектора Projecta• проектор BenQ MH733 1920 x 1080