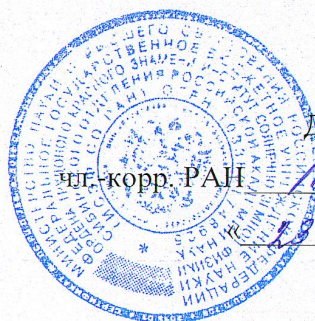


Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Ордена Трудового Красного знамени
Институт солнечно-земной физики
Сибирского отделения Российской академии наук
(ИСЗФ СО РАН)



УТВЕРЖДАЮ:

Директор ИСЗФ СО РАН
пл. корр. РАН А.В. Медведев

« 15 » марта 2022 г.

Рабочая программа дисциплины

Б1.В.ОД.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 2022

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» входит в вариативную часть Блока 1 «Дисциплины по выбору» основной образовательной программы по направленности (профилю) подготовки «Физика солнечно-земных связей» направления подготовки 03.04.02 «Физика».

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

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 ООП 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;
	ИД 3. Разрабатывает стратегию действий, направленных на решение проблемной ситуации	<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>
ПКА-2. Способен проводить научные исследования в области физики солнечно-земных связей, используя необходимые знания теоретических и экспериментальных разделов физики	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>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>
	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>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
Лабораторные работы	
Практические занятия	36
Самостоятельная работа (всего)	18
Вид промежуточной аттестации (экзамен)	36
Контактная работа (всего)	54
Общая трудоёмкость (часы/зачетные единицы)	108

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

№	Раздел	Всего часов	Аудиторные занятия				СРС
			Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Семинары	
1	Основы разработки высокопроизводительных вычислительных комплексов	16	4		8		4
2	Базовые методы численного моделирования	16	4		8		4

№	Раздел	Всего часов	Аудиторные занятия				СРС
			Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Семинары	
3	Численное моделирование с использованием сеточных методов	24	6		12		6
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	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	2	3	4	5
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	Презентация	2	Посещаемость, устный

	Монте-Карло			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. Магнитогидродинамика	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 Рэля-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	Количество часов
1,	Основы разработки высокопроизводительных вычислительных	Решение задач	Исследовать точность численного интегрирования в зависимости от числа итераций;	Основная литература 1-4	2

	комплексов		Построить зависимость показателя преломления плазмы от 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 с использованием сеточных методов	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 с	Исследование физического	Исследовать неустойчивости Рэлея-	Основная литература	2

	использованием сеточных методов	процесса	Тейлора при различных параметрах.	1-4	
7.	Численное моделирование с использованием сеточных методов	Решение задач	Промоделировать неустойчивости Рэлея-Тейлора в магнитном поле.	Основная литература 1-4	2
8.	Метод частиц в ячейках	Решение задач	Промоделировать плазменные колебания.	Основная литература 1-4	2
9.	Метод частиц в ячейках	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

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. : ил. - Б. ц.	1
2. Физика плазмы для физиков / Л. А. Арцимович, Р. З. Сагдеев. - М. : Атомиздат, 1979. - 317 с. : ил. - Б. ц.	2
3. Лекции по физике плазмы : учеб. пособие / И. А. Котельников . - М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. - 384 с. : ил. - Библиогр.: с.373-381 . - ISBN 978-5-9963-1158-3	1
4. Численные методы в физике плазмы : [Сборник статей] / АН СССР. Ин-т прикл. математики ; Отв. ред. А. А. Самарский. - М. : Наука, 1977. - 264 с. : ил. - Б. ц.	1

6.2. Дополнительная литература

Автор, название, место издания, издательство, год издания учебной и учебно-методической литературы	Количество экземпляров
5. Вычислительные методы в физике плазмы : пер. с англ. / Д. Доусон [и др.]. - М. : Мир, 1974. - 514 с. : ил. - Б. ц..	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

Программное обеспечение, используемое при осуществлении образовательного процесса по дисциплине:

№	Наименование программного продукта	Кол -во	Обоснование для пользования ПО (Лицензия, Договор, счёт, акт или иное)	Дата выдачи лицензии	Срок действия права пользования
1	Microsoft Office 2010 Russian Academic OPEN 1 License No Level	3	Номер Лицензии Microsoft 47790919	30.01.2009	бессрочно
2	Microsoft Windows Professional 7 Russian OPEN 1 License No Level Legalization Get Genuine	5	Номер Лицензии Microsoft 47771806	06.12.2010	бессрочно
3	7-Zip	1	Свободно распространяется на условиях лицензии GNU LGPL		бессрочно

4	Adobe Acrobat Reader DC	1	Лицензионное соглашение на программное обеспечение Adobe.		бессрочно
5	Mozilla Firefox	1	Свободно распространяется на условиях тройной лицензии Mozilla (MPL/GPL/LGPL).		бессрочно
6	VLC Media player	1	Свободно распространяется на условиях лицензии GNU GPL		бессрочно
7	Операционная система Ubuntu	6	свободная лицензия		бессрочно
8	Дистрибутив Python Anaconda	6	свободная лицензия		бессрочно
9	Офисный пакет Libre Office	6	свободная лицензия		бессрочно

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)

Специальные помещения для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа,	Мебелью на 30 посадочных мест, доской меловой, техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории: <ul style="list-style-type: none"> • проектор «Sanyo PROxtra PLC-XU115»,
---	--

<p><i>групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля, для проведения промежуточной аттестации</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • ноутбук « 15,4" Toshiba Satellite» OEM Windows Vista Home Basic • экран Projecta Compact EL 240x240 MWS STD раздвижной, • Усилитель ElectroVoice Q44-II • Звуковой пульт Soundcraft Spirit M4 • колонки ElectroVoice EV-6.2T
<p><i>помещение для самостоятельной работы</i></p>	<p>Мебелью на 6 посадочных мест, Системный блок Intel Pentium 4 630, 3000 MHz (4 шт.); Системный блок OctalCore AMD FX-8350, 4000 MHz (1 шт.), Системный блок QuadCore Intel Core i5-2500, 3700 MHz (1 шт.). Монитор Acer EB222Q (3 шт.); Монитор Philips 223V5 (1 шт.); Монитор Belinea 101725 (1 шт.); Монитор LG E2251 (1 шт.). С неограниченным доступом к сети Интернет и в Электронную информационно-образовательную среду.</p>