

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»
(Новосибирский государственный университет, НГУ)

**Физический факультет
Кафедра высшей математики ФФ**



**Рабочая программа дисциплины
ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ГЛАВЫ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ФИЗИКИ**

направление подготовки: **03.04.02 Физика**
направленности (профили): **все профили подготовки**

Форма обучения
Очная

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Итого	144	32	32		60	18			2	
Всего 144 часа / 4 зачётные единицы, из них: - контактная работа 66 часов										
Компетенции ОПК-3										

Руководитель программы
д.ф.-м.н.

И. Б. Логашенко

Новосибирск, 2022

Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы.	3
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.	3
3. Трудоёмкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу.	3
4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий.	4
5. Перечень учебной литературы.	7
6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся.	7
10. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.	8
11. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.	8
12. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.	8
13. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.	9

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы.

Дисциплина «Дополнительные главы вычислительной физики» имеет своей целью познакомить обучающихся с современными вычислительными методами в применении к различным разделам физики.

Дисциплина нацелена на формирование у обучающегося общепрофессиональной компетенции:

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
ОПК-3. Способен применять знания в области информационных технологий, использовать современные компьютерные сети, программные продукты и ресурсы информационно-телекоммуникационной сети "Интернет" (далее - сеть "Интернет") для решения задач профессиональной деятельности, в том числе находящихся за пределами профильной подготовки.	ОПК - 3.1. Применяет профессионально-профилированные знания в области компьютерных технологий для решения профессиональных задач, в том числе находящихся за пределами профильной подготовки. ОПК - 3.2. Применяет знания в области информационных технологий для решения поставленных задач научных исследований с помощью современной аппаратуры, программных продуктов и ресурсов информационно- телекоммуникационной сети с использованием новейшего российского и зарубежного опыта.	Знать современные методы вычислительной физики для различных приложений. Уметь сделать выбор оптимальных методов вычислительной физики при решении конкретных задач в конкретной области исследований.

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.

Дисциплина «Дополнительные главы вычислительной физики» предназначен для тех студентов, кто стремится узнать о современных вычислительных методах в приложениях к различным разделам физики. Результаты освоения дисциплины могут быть использованы при выполнении научно-исследовательской работы магистрантами.

3. Трудоёмкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу.

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Итого	144	32	32		60	18			2	
Всего 144 часа / 4 зачётные единицы, из них: - контактная работа 66 часов										
Компетенции ОПК-3										

Реализация дисциплины предусматривает практическую подготовку при проведении следующих видов занятий, предусматривающих участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью: лекции, практические занятия, самостоятельная работа студента, дифференцированный зачет.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

- текущий контроль успеваемости: выполнение заданий для самостоятельного решения;
- промежуточная аттестация: дифференцированный зачёт.

Общая трудоемкость рабочей программы дисциплины составляет 4 зачетные единицы.

- занятия лекционного типа – 32 часа;
- практические занятия – 32 часа;
- самостоятельная работа обучающегося в течение семестра, не включая период сессии – 60 часов;
- промежуточная аттестация (дифференцированный зачёт, подготовка к сдаче дифференцированного зачета) – 20 часов.

Объём контактной работы обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа, практические занятия, зачёт) составляет 66 часов.

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

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачётные единицы, 144 академических часа.

№ п/п	Раздел дисциплины	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)
			Всего	Аудиторные часы		Сам. работа во время занятий (не включая период сессии)	
				Лекции	Практические занятия		
1	2	3	4	5	6	7	8
1.	Конечно-разностные методы решения уравнений в частных производных гиперболического, параболического и эллиптического типов	1-2	8	2	2	4	
2.	Схемы приближенной факторизации для решения многомерных задач математической физики	3-4	15	4	4	7	
3.	Методы решения нелинейных уравнений эволюционного типа	5-7	26	6	6	14	.
4.	Введение в вычислительную электродинамику	8-10	30	8	8	14	
5.	Вычислительные методы в физике плазмы	11-13	30	8	8	14	
6.	Основы метода Монте-Карло. Примеры применения этого метода.	14-15	15	4	4	7	
7.	Самостоятельная подготовка обучающегося к дифференцированному зачету	16	18				18
8.	Дифференцированный зачёт	17	2				2
Всего			144	32	32	60	20

Программа и основное содержание лекций (32 часа)

1. Конечно-разностные методы решения уравнений в частных производных гиперболического, параболического и эллиптического типов

Основные понятия теории конечно-разностных схем

Понятия аппроксимации, устойчивости и сходимости. Теорема Лакса. Конечно-разностные аппроксимации. Операции численного дифференцирования и интегрирования как фильтры.

Линейное одномерное уравнение переноса.

Основные разностные схемы. Понятие условной аппроксимации, схема Лакса. Необходимое спектральное условие устойчивости Неймана. Спектральный анализ основных схем. Численная вязкость и численная дисперсия. Монотонность разностных схем, теорема Годунова. Невозрастание полной вариации, TVD схемы.

2. Схемы приближенной факторизации для решения многомерных задач математической физики

Схемы для параболических уравнений.

Линейные одномерные уравнение параболического типа: уравнение теплопроводности, уравнение Шредингера, уравнение Гинзбурга-Ландау. Двухслойная схема с весами Схема Кранка-Николсон и схема повышенного порядка точности. Анализ устойчивости этих схем. Канонические схемы для одномерного уравнения теплопроводности: схема Ричардсона, схема Дюфорта-Франкеля, трехслойная схема с весами. Двухмерное уравнение теплопроводности. Явная схема и схема Кранка-Николсон. Проблемы численной реализации. Схема продольно-поперечной прогонки для двухмерного случая. Схемы для трехмерного уравнения теплопроводности: схема стабилизирующей поправки, схема Яненко, схема предиктор-корректор. Схемы приближенной факторизации, расщепление многомерного оператора. Реализация схем в дробных шагах. Понятие схемы с условной аппроксимацией.

Методы решения эллиптических уравнений.

Типы краевых задач для уравнений эллиптического типа. Методы правой (левой) прогонки и метод циклической прогонки для решения одномерных задач. Итерационные методы: метод простой итерации и метод последовательной верхней релаксации. Схема универсального алгоритма. Схема переменных направлений и явная схема переменных направлений. Метод ускорения итераций. Метод неполной факторизации. Прямые методы. Двухкратное преобразование Фурье. Однократное преобразование Фурье. Периодические граничные условия. Алгоритмы для решения нелинейных уравнений эллиптического типа.

3. Методы решения нелинейных уравнений эволюционного типа

Методы решения интегральных уравнений.

Интегральные уравнения Фредгольма и Вольтерра первого и второго рода. Методы решения интегрального уравнения Фредгольма второго рода: метод последовательных приближений, метод квадратур, метод вырожденных ядер, методы проекционного типа. Интегральное уравнение Фредгольма первого рода, как пример некорректно поставленной задачи. Регуляризация по Тихонову. Методы решения уравнения Вольтерра.

4. Введение в вычислительную электродинамику

Метод конечных разностей для решений уравнений Максвелла.

Нестационарные уравнения Максвелла. Схемы второго порядка аппроксимации на сдвинутых сетках. Одномерный случай. Анализ дисперсионных свойств схемы. Условие устойчивости. Схема для двухмерного случая на примере TM_z -волны. Схема переменных направлений для

трехмерных уравнений Максвелла. Метод конечных разностей для решения волнового уравнения. Трехслойная схема с весами для одномерного и многомерного случаев.

Численные алгоритмы для нелинейных уравнений. Численные алгоритмы для уравнения Кортевега–де Вриза.

Законы сохранения для уравнения КдВ. Решение типа бегущей волны. Фундаментальный солитон. Задача Ферми-Паста-Улама. Численные алгоритмы для решения КдВ: трехслойная явная схема, двухшаговая схема Лакса-Вендроффа, схемы повышенного порядка аппроксимации, ASD-метод. Уравнение Бюргерса, решение типа бегущей волны. Подстановка Хопфа-Коэла для решения уравнения Бюргерса. Конечно-разностная схема для решения уравнения БКдВ.

5. Вычислительные методы в физике плазмы

Введение в метод частиц в динамике разряженной плазмы.

Основные уравнения и общая характеристика метода частиц в плазме. Решение уравнений движения. Нерелятивистское движение частицы в электрическом поле. Нерелятивистское движение частицы в магнитном поле. Релятивистское движение частицы в электрическом и магнитном полях. Восстановление плотности заряда и тока. Ядра и сеточные ядра. Классификация моделей частиц. Аппроксимация сил. Примеры математического моделирования.

Численные алгоритмы для решения нелинейного уравнения Шредингера (НУШ) и уравнения Гинзбурга-Ландау (УГЛ).

Фундаментальный солитон НУШ. Канонические схемы для решения НУШ: трехслойная конечно-разностная схема, явно-неявная схема, схема Кранко-Николсон. Компактные разностные схемы для НУШ и УГЛ. Трехслойные разностные схемы повышенного порядка точности. Компактная разностная схема для НУШ с первой производной по времени. Метод экстраполяции Ричардсона для повышения точности расчетов. Схемы расщепления по физическим процессам для решения НУШ.

Численные алгоритмы метода обратной задачи рассеяния.

Алгоритмы для решения прямой задачи Захарова-Шабата: алгоритм Бофетта-Осборна, метод Абловица-Лэдвика, схемы повышенного порядка точности, конечно-разностные методы. Численные алгоритмы для нахождения дискретных собственных значений. Алгоритмы для восстановления сигнала по непрерывному спектру. Численные методы решения уравнений Гельфанда-Левитана-Марченко (УГЛМ): переход к системе уравнений в частных производных, алгоритм теплицева внутреннего окаймления, обобщенная блочная версия метода теплицева внутреннего окаймления. Метод послойного восстановления сигнала по непрерывному спектру.

6. Основы метода Монте-Карло. Примеры применения этого метода.

Введение в метод Монте Карло.

Основные понятия. Общая схема метода Монте-Карло. Способы получения случайных чисел. Преобразование случайных величин. Разыгрывание дискретной и непрерывной случайных величин. Некоторые примеры применения метода Монте-Карло.

Программа практических занятий (32 часа)

1. Схемы приближенной факторизации.
2. Уравнения газовой динамики.
3. Задачи нелинейной оптики.
4. Задачи квантовой механики.

Самостоятельная работа студентов (78 часов)

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Подготовка к практическим занятиям.	42
Изучение теоретического материала, не освещаемого на лекциях	18
Подготовка к дифференцированному зачету	18

5. Перечень учебной литературы.

1. Вержбицкий В.М. Численные методы. Линейная алгебра и нелинейные уравнения. – М.: Высшая школа, 2005., ISBN 5-329-01110-8 (2 экз.)
2. Ильин В.П. Методы и технологии конечных элементов. – Новосибирск: Изд-во ИВМиМГ СО РАН, 2007., ISBN 978-5-901548-30-1 (12 экз.)
3. Кунин С. Вычислительная физика. – М.: Мир, 1992., ISBN 5-03-00124-8 (1 экз.)
4. Березин Ю.А., Дудникова Г.И., Лисейкина Т.В., Федорук М.П. Моделирование нестационарных плазменных процессов. – Новосибирск: НГУ, 2018., ISBN 978-5-4437-0721-1 (50 экз.)
5. Хакимзянов Г. С., Черный С. Г. Методы вычислений. – Новосибирск: НГУ, 2003. – Ч. 1. (177 экз.)
6. Лебедев А.С., Черный С.Г. Практикум по численному решению уравнений в частных производных: Учеб. пособие. – Новосибирск: НГУ, 2000. (186 экз.)
7. Хакимзянов Г. С., Черный С. Г. Численные методы решения задач для уравнений гиперболического типа. – Новосибирск: НГУ, 2014. – Ч. 4. – 207 с., ISBN 978-5-4437-0265-0 (86 экз.)
8. Хакимзянов Г. С., Черный С. Г. Методы вычислений. – Новосибирск: НГУ, 2008. – Ч. 3., ISBN 978-5-94356-612-7 (86 экз.)
9. Яненко Н.Н. Метод дробных шагов решения задач математической физики. – Новосибирск: Наука, 1967. (17 экз.)
10. Самарский А.А., Вабищевич П.Н., Самарская Е.А. Задачи и упражнения по численным методам: Учеб. пособие. – М.: Эдиториал УРСС, 2000., ISBN 5-8360-0158-8 (1 экз.)
11. Самарский А.А., Николаев Е.С. Методы решения сеточных уравнений. М.: Наука, 1978, 592 с.(90 экз.)

6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся.

Самостоятельная работа студентов поддерживается следующими учебными пособиями:

1. Мушер С.Л. Вычислительный эксперимент и цифровая обработка данных. – Новосибирск: НГУ, 2003.
2. Хокни Р., Иствуд Дж. Численное моделирование методом частиц. – М.: Мир, 1987.
3. Смирнов С.В. Основы вычислительной физики: в 2 ч. – Новосибирск: НГУ, 2017. – Ч. II.
4. Taflove A., Hagness S. C. Computational Electrodynamics: The Finite-Difference Time-Domain Method, 3rd ed. Norwood, MA: Artech House, 2005.
5. Григорьев Ю.Н., Вшивков В.А., Федорук М.П. Численное моделирование методами частиц в ячейках. – Новосибирск: Сибирское издательство РАН. – 2004. – 368 с.
6. Березин Ю.А., Вшивков В.А. Метод частиц в динамике разреженной плазмы. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1980.
7. Соболев И.М. Метод Монте-Карло. М. – «Наука». 1968, 64 с. («Популярные лекции по математике», вып. 46).

8. Михайлов Г.А., Войтишек А.В. Численное статистическое моделирование. Метод Монте-Карло. М.: Академия, 2006.
9. Шарый С.П. Курс вычислительных методов. –Новосибирск: Институт вычислительных технологий СО РАН, 2022.

10. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.

Для освоения дисциплины используются следующие ресурсы:

- электронная информационно-образовательная среда НГУ (ЭИОС);
- образовательные интернет-порталы;
- информационно-телекоммуникационная сеть Интернет.

7.1 Современные профессиональные базы данных

Не используются.

7.2. Информационные справочные системы

Не используются.

11. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.

Для обеспечения реализации дисциплины используется стандартный комплект программного обеспечения (ПО), включающий регулярно обновляемое лицензионное ПО Windows и MS Office.

Использование специализированного программного обеспечения для изучения дисциплины не требуется.

12. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.

Для реализации дисциплины используются специальные помещения:

1. Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, практических занятий, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля, промежуточной и итоговой аттестации.

2. Помещения для самостоятельной работы обучающихся.

Учебные аудитории укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду НГУ.

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине для обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется согласно «Порядку организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в Новосибирском государственном университете».

13. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

10.1 Порядок проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине

Текущий контроль

Текущий контроль успеваемости осуществляется на практических занятиях преподавателем при решении студентом задач, рекомендованных для практических занятий и домашних заданий, обсуждаются идеи и способы решения. В течение семестра студенту необходимо выполнить и защитить индивидуально одно задание по каждой теме.

Промежуточная аттестация

Освоение компетенций оценивается согласно шкале оценки уровня сформированности компетенции. Положительная оценка по дисциплине выставляется в том случае, если заявленная компетенция ОПК-3 сформирована не ниже порогового уровня в части, относящейся к формированию способности использовать специализированные знания в области конструирования и технологического сопровождения производства деталей и узлов.

Промежуточная аттестация проходит в форме дифференцированного зачёта в конце семестра в устной форме. Вопросы к дифференцированному зачету подбираются таким образом, чтобы проверить уровень сформированности компетенции ОПК-3.

Вывод об уровне сформированности компетенций принимается преподавателем. Каждый вопрос на дифференцированном зачёте оценивается от 0 до 5 баллов. Положительная оценка ставится, когда все компетенции освоены не ниже порогового уровня. Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» означают успешное прохождение промежуточной аттестации. Критерии и шкалы оценивания индикаторов достижения результатов обучения отражены в Таблице 10.2.

Соответствие индикаторов и результатов освоения дисциплины

Таблица 10.1

Индикатор	Результат обучения по дисциплине	Оценочные средства
ОПК - 3.1. Применяет профессионально-профилированные знания в области компьютерных технологий для решения профессиональных задач, в том числе находящихся за пределами профильной подготовки.	Знать современные методы вычислительной физики для различных приложений.	Проведение опроса, решение и сдача заданий, дифференцированный зачет.
ОПК - 3.2. Применяет знания в области информационных технологий для решения поставленных задач научных исследований с помощью современной аппаратуры, программных продуктов и ресурсов информационно- телекоммуникационной сети с использованием новейшего российского и зарубежного опыта.	Уметь сделать выбор оптимальных методов вычислительной физики при решении конкретных задач в конкретной области исследований.	Проведение опроса, решение и сдача заданий, дифференцированный зачет.

10.2 Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине «Дополнительные главы вычислительной физики».

Таблица 10.2

Критерии оценивания результатов обучения	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Уровень освоения компетенции			
		Не сформирован (не зачтено)	Пороговый уровень (зачтено)	Базовый уровень (зачтено)	Продвинутый уровень (зачтено)
1	2	3	4	5	6
Полнота знаний	ОПК 3.1	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имеют место грубые ошибки.	Демонстрирует общие знания базовых понятий по темам/разделам дисциплины. Допускается значительное количество негрубых ошибок.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Допускается несколько негрубых/несущественных ошибок. Не отвечает на дополнительные вопросы.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Свободно и аргументированно отвечает на дополнительные вопросы.
Наличие умений	ОПК 3.2	Отсутствие минимальных умений. Не умеет решать стандартные задачи. Имеют место грубые ошибки.	Продемонстрированы частично основные умения. Решены типовые задачи. Допущены негрубые ошибки.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания с негрубыми ошибками или с недочетами.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания в полном объеме без недочетов и ошибок.

10.3 Типовые контрольные задания и материалы, необходимые для оценки результатов обучения

Список вопросов к дифференцированному зачёту

1. Понятие сходимости, аппроксимации и устойчивости. Теорема эквивалентности Лакса.
2. МНК для нахождения разностных производных произвольного порядка. Разностные операции как фильтры, понятие передаточной функции.
3. Схемы для линейного уравнения переноса. Схема с направленными разностями, Лакса-Вендроффа, трехслойная разностная схема.
4. Понятие условной аппроксимации на примере схемы Лакса.
5. Необходимое спектральное условие Неймана. Анализ на устойчивость типичных схем для уравнения переноса с вязкостью
6. Численная вязкость и численная дисперсия. Понятие монотонности. Теорема Годунова. Пример монотонной и немонотонной схемы для линейного уравнения переноса.
7. Схемы для уравнения $u_t = Au_{xx} + f(x, t)$, $A = a + ib$.
Схема с весами. Схемы Кранка-Николсон и компактная разностная схема повышенного порядка точности. Их аппроксимация и устойчивость.
8. Простейшие разностные схемы для уравнения теплопроводности: явная схема, схема Ричардсона, схема Дюфорта-Франкеля. Аппроксимация, устойчивость, сходимость.

9. Разностные схемы для решения двухмерного и трехмерного уравнения теплопроводности: схема продольно-поперечной прогонки, схема дробных шагов Яненко, схема стабилизирующей поправки. Их аппроксимация и устойчивость.
10. Схемы приближенной факторизации, алгоритм их реализации. Понятие полной аппроксимации.
11. Метод правой прогонки для решения трехточечных разностных уравнений. Достаточные условия устойчивости алгоритма. Метод циклической прогонки.
12. Типы краевых задач и методы решения уравнения Пуассона. Итерационные методы: простой итерации, верхней релаксации.
13. Схема универсального алгоритма для решения уравнения Пуассона. Алгоритм продольно-поперечной прогонки и явная схема переменных направлений.
14. Прямые методы для решения уравнения Пуассона.
15. Конечно-разностные схемы для решения уравнений Максвелла. Схемы на сдвинутых сетках. Порядок аппроксимации и устойчивость явных схем. Численные законы дисперсии.
16. Схема переменных направлений для решения трехмерных уравнений Максвелла.
17. Схема с весами для решения одномерного волнового уравнения: порядок аппроксимации и устойчивость.
18. Схема с весами для решения многомерного волнового уравнения. Алгоритм реализации. Порядок аппроксимации и условие устойчивости.
19. Численные алгоритмы для решения КдВ: трехслойная явная схема, двухшаговая схема Лакса-Вендроффа, схемы повышенного порядка аппроксимации, ASD-метод.
20. Компактные разностные схемы для НУШ и УГЛ. Трехслойные разностные схемы повышенного порядка точности.
21. Алгоритмы для решения прямой задачи Захарова-Шабата: алгоритм Бофетта-Осборна, метод Абловица-Лэдика, схемы повышенного порядка точности, конечно-разностные методы.
22. Основные уравнения и общая характеристика метода частиц в плазме. Решение уравнений движения. Восстановление плотности заряда и тока. Аппроксимация сил.
23. Основные понятия и общая схема метода Монте-Карло.

Примерные типы задач для самостоятельного решения

Определить порядок аппроксимации и условие устойчивости (необходимое спектральное условие) схем для линейного уравнения переноса:

$$1. \frac{u_j^{n+1} - u_j^n}{\tau} + c \frac{u_j^n - u_{j-1}^n}{h} = 0,$$

$$2. \frac{u_j^{n+1} - u_j^n}{\tau} + c \frac{u_{j+1}^n - u_{j-1}^n}{2h} = 0,$$

$$3. \frac{u_j^{n+1} - u_j^{n-1}}{2\tau} + c \frac{u_{j+1}^n - u_{j-1}^n}{2h} = 0,$$

$$4. \frac{u_j^{n+1} - u_j^{n-1}}{2\tau} + c \frac{u_{j+1}^n - u_{j-1}^n}{2h} = 0,$$

$$5. \frac{u_j^{n+1} - \frac{1}{2}(u_{j+1}^n + u_{j-1}^n)}{\tau} + c \frac{u_{j+1}^n - u_{j-1}^n}{2h} = 0,$$

$$6. u_j^{n+1} = u_j^n - \frac{c\tau}{2h}(u_{j+1}^n - u_{j-1}^n) + \frac{c^2\tau^2}{2h^2}(u_{j+1}^n - 2u_j^n + u_{j-1}^n).$$

7. Доказать монотонность разностной противопоточной схемы

$$u_j^{n+1} = (1-r)u_j^n + ru_{j-1}^n, r = \frac{c\tau}{h} \leq 1.$$

Определить порядок аппроксимации и условие устойчивости (необходимое спектральное условие) схем для одномерного уравнения теплопроводности:

Схемы с весами $\frac{u_j^{n+1} - u_j^n}{\tau} + A\Lambda_{11}[\sigma u_j^{n+1} + (1-\sigma)u_j^n]$ при:

$$8. \sigma = 0,$$

$$9. \sigma = 1/2,$$

$$10. \sigma = 1,$$

$$11. \sigma = 1/2 - \frac{h^2}{12A\tau};$$

$$12. \text{Ричардсона} \quad \frac{u_j^{n+1} - u_j^{n-1}}{2\tau} = \frac{u_{j+1}^n - 2u_j^n + u_{j-1}^n}{h^2},$$

$$13. \text{Дюфорта-Франкеля} \quad \frac{u_j^{n+1} - u_j^{n-1}}{2\tau} = \frac{u_{j+1}^n - (u_j^{n+1} + u_j^{n-1}) + u_{j-1}^n}{h^2}.$$

14. Трехслойной схемы с весами

$$\frac{u_j^{n+1} - u_j^n}{2\tau} = a\Lambda_{11}[\sigma u_j^{n+1} + (1-2\sigma)u_j^n + \sigma u_j^{n-1}], \sigma \geq 0.$$

Определить порядок аппроксимации и условие устойчивости (необходимое спектральное условие) схем для одномерного линейного уравнения Шредингера

$i \frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}$:

$$15. i \frac{u_j^{n+1} - u_j^n}{\tau} = \frac{u_{j+1}^n - 2u_j^n + u_{j-1}^n}{h^2},$$

$$16. i \frac{u_j^{n+1} - u_j^{n-1}}{2\tau} = \frac{u_{j+1}^n - 2u_j^n + u_{j-1}^n}{h^2},$$

$$17. \quad i \frac{u_j^{n+1} - u_j^n}{\tau} = \frac{1}{2} \frac{u_{j+1}^n - 2u_j^n + u_{j-1}^n}{h^2} + \frac{1}{2} \frac{u_{j+1}^{n+1} - 2u_j^{n+1} + u_{j-1}^{n+1}}{h^2},$$

$$18. \quad i \frac{u_j^{n+1} - u_j^n}{\tau} = \frac{u_{j+1}^{n+1} - 2u_j^{n+1} + u_{j-1}^{n+1}}{h^2}.$$

19. Определить порядок аппроксимации и устойчивости метода продольно-поперечной прогонки

$$\frac{u^{n+1/2} - u^n}{\tau/2} = \Lambda_{11} u^{n+1/2} + \Lambda_{22} u^n, \quad \frac{u^{n+1} - u^{n+1/2}}{\tau/2} = \Lambda_{11} u^{n+1/2} + \Lambda_{22} u^{n+1}.$$

20. Исследовать порядок аппроксимации и условие устойчивости схемы для трехмерного уравнения теплопроводности в дробных шагах

$$\frac{u^{n+1/3} - u^n}{\tau} = \Lambda_{11} \frac{u^{n+1/3} + u^n}{2},$$

$$\frac{u^{n+2/3} - u^{n+1/3}}{\tau} = \Lambda_{22} \frac{u^{n+1/3} + u^{n+2/3}}{2},$$

$$\frac{u^{n+1} - u^{n+2/3}}{\tau} = \Lambda_{22} \frac{u^{n+2/3} + u^{n+1}}{2}.$$

21. Определить порядок аппроксимации и условие устойчивости схемы с весами для волнового

уравнения $\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} : u_{\bar{n},j}^n = c^2 \Lambda_{11} [\sigma u_j^{n+1} + (1 - 2\sigma) u_j^n + \sigma u_j^{n-1}]$.

22. Определить условие устойчивости трехслойной схемы для уравнения КдВ

$$u_j^{n+1} = u_j^{n-1} - (\tau u_j^n / h)(u_{j+1}^n - u_{j-1}^n) - (\beta \tau / h^3)(u_{j+2}^n - 2u_{j+1}^n + 2u_{j-1}^n - u_{j-2}^n).$$

23. Доказать первый глобальный порядок точности схемы расщепления

$$u(t + \tau, x) \approx \exp(\tau \hat{D}) \exp(\tau \hat{N}) u(t, x) \quad \text{для решения уравнения} \quad \frac{\partial u}{\partial t} = (\hat{D} + \hat{N})u.$$

24. Получить схему Абловица-Лэдика для матрицы перехода $T_m(\zeta) = \begin{pmatrix} z & \tau q_m \\ -\sigma \tau q_m^* & z^{-1} \end{pmatrix}$, $z = e^{-i\zeta\tau}$

из решения прямой задачи Захарова-Шабата методом Эйлера.

Оценочные материалы по промежуточной аттестации, предназначенные для проверки соответствия уровня подготовки по дисциплине требованиям СУОС, хранятся на кафедре-разработчике РПД в печатном и электронном виде.

**Лист актуализации рабочей программы
по дисциплине «Дополнительные главы вычислительной физики»
по направлению подготовки 03.04.02 Физика
Профиль: все профили подготовки**

№	Характеристика внесенных изменений (с указанием пунктов документа)	Дата и № протокола Учёного совета ФФ НГУ	Подпись ответственного