

Белорусский государственный университет



Проректор по учебной работе и
образовательным инновациям

О.И. Чуприс

2019 г.

Регистрационный № УД-6868 /уч.

МЕТОДЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине для специальности:

1-31 80 20 Прикладная физика

Профилизация: Функциональные наноматериалы

2019 г.

Учебная программа составлена на основе ОСВО 1-31 80 20-2019; учебного плана №G31-024/уч от 11.04.2019.

СОСТАВИТЕЛИ:

В.И. Зеленков – доцент кафедры высшей математики и математической физики Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук, доцент.

А.С. Федотов – старший преподаватель кафедры компьютерного моделирования Белорусского государственного университета;

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

В.А. Иванюкович – заведующий кафедрой экологических информационных систем МГЭИ им. А.Д. Сахарова БГУ, кандидат физико-математических наук, доцент;

В.М. Волков – профессор кафедры веб-технологий и компьютерного моделирования БГУ, доктор физико-математических наук, профессор.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой высшей математики и математической физики
(протокол № 10 от 30 мая 2019);

Научно-методическим Советом БГУ
(протокол № 5 от 28 июня 2019)

Заведующая кафедрой  Абрашина-Жадаева Наталья Григорьевна



ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Учебная программа по учебной дисциплине «Математическое моделирование физических процессов» разработана в соответствии с требованиями образовательных стандартов высшего образования по специальности второй ступени: 1-31 80 20 «Прикладная физика».

Данная программа является основным документом, который определяет объем и содержание дисциплины. На ее основе в каждом учебном заведении кафедры имеют право (в соответствии с нормативными документами Министерства образования Республики Беларусь) изменять порядок изучения программного материала, самостоятельно распределять часы на изучение каждой темы.

Цель дисциплины – изучение основных принципов и ознакомление с сущностью современных подходов к математическому моделированию физических процессов, а также демонстрация роли математического и численного моделирования в актуальных научных задачах современных направлений физики.

Задачи, решаемые в процессе изучения дисциплины:

- обучение численным методам решения уравнений математической физики для линейных и нелинейных задач, методам изучения эволюции систем многих тел, способам установления связи между характеристиками отдельных тел и физическими свойствами образуемой ими макросистемы;
- формирование навыков построения математических моделей простых физических явлений, знаний о способах постановки вычислительных экспериментов в соответствии с реальными физическими процессами;
- обучение исследованию математических моделей и оценке границ их применимости;
- изучение основных подходов при выборе (или разработке) алгоритма компьютерной реализации модели.

Место учебной дисциплины в системе подготовки магистра.

Учебная дисциплина относится к циклу государственный компонент, модуль «Математические методы в физике».

Учебная дисциплина «Методы математического моделирования физических процессов» **предполагает наличие** у обучающегося навыков, полученных из следующих курсов: «Дифференциальные и интегральные уравнения», «Методы математической физики», «Основы функционального анализа и теории функций», «Программирование и математическое моделирование». Знания и навыки, приобретенные в ходе изучения дисциплины, будут необходимы при написании дипломных работ и при работе на соответствующих производствах.

В результате изучения дисциплины студент должен:

знать:

– принципы постановки вычислительного эксперимента и методы математического моделирования физических процессов;

уметь:

– выполнять построение моделей физических процессов и явлений;
– проводить анализ математических аспектов и физических характеристик моделируемых систем;

– решать задачи как с использованием интерпретируемых языков высокого уровня (Wolfram, Python), так и высокопроизводительных современных библиотек и пакетов численного анализа

владеть:

– методологией математического моделирования;
– методикой построения математических моделей;
– методами решения и анализа задач в соответствии с целями образовательной программы.

Требования к компетенциям

Освоение учебной дисциплины «Методы математического моделирования физических процессов» должно обеспечить формирование следующих универсальных, углубленных профессиональных и специализированных компетенций.

универсальные компетенции:

УК-3; Быть способным использовать фундаментальные математические знания для анализа, верификации, оценки полноты информации в ходе профессиональной деятельности, при необходимости восполнять и синтезировать недостающую информацию, работать в условиях неопределенности.

углубленные профессиональные компетенции:

УПК-5. Быть способным строить и развивать математические модели физических явлений, реализовывать их с использованием современных информационных технологий, анализировать свой продукт в контексте новейших достижений математического моделирования.

Структура учебной дисциплины

Дисциплина изучается в 1 и 2 семестре. Всего на изучение учебной дисциплины «Методы математического моделирования физических процессов» для очной формы получения высшего образования отведено — 324 часа, в том числе 138 аудиторных часов, из них: лекции – 46 часов, практические занятия – 24 часов, управляемая самостоятельная работа – 16 часов, лабораторные занятия – 52 часа.

Форма текущей аттестации по учебной дисциплине – зачет (6 зачетных единиц), экзамен (3 зачетные единицы).

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Раздел 1. Введение

Тема 1.1. Роль математических моделей в современной физике. Концепции распределенных и параллельных вычислений. Проекты с открытым кодом. Физические модели с использованием нейронных сетей. Направление развития в будущем.

Тема 1.2. Прямые и обратные задачи. Универсальность математических моделей. Подходы к исследованию: метод подобия, метод осреднения, принцип максимума, теоремы сравнения.

Раздел 2. Математические модели сплошной среды

Тема 2.1. Границы применимости приближения сплошной среды в физике. Обобщение теоремы Остроградского-Гаусса. Интегральная и дифференциальная формулировки законов сохранения. Постановка задачи для подходов Эйлера и Лагранжа.

Тема 2.2. Законы сохранения массы, импульса и энергии для сплошной среды. Пассивный транспорт скалярной величины.

Тема 2.3. Переход от непрерывной области к дискретной, конечно-разностная аппроксимация дифференциальных операторов, корректность постановки разностных задач, критерии устойчивости.

Раздел 3. Процессы диффузии и теплопроводности

Тема 3.1. Конечно-разностная формулировка уравнения теплопроводности-диффузии: явная схема, неявная схема, схема Кранка-Николсон, схема Дюфорты-Франкела.

Тема 3.2. Обезразмеривание переменных. Конечно-разностная аппроксимация граничных условий первого, второго и третьего рода. Периодические и симметричные граничные условия.

Тема 3.3. Задача Стефана о фазовом переходе. Однофазная и двухфазная формулировки задачи Стефана. Метод выпрямления фронта. Метод сквозного счета. Метод ловли фронта в узел сетки.

Тема 3.4. Нелинейные и квазилинейные задачи теплопроводности. Решение Кирхгофа. Метод замены переменных и сквозного счета. Тензорные транспортные коэффициенты. Эффективные свойства неоднородной области.

Раздел 4. Молекулярная динамика

Тема 4.1. Компьютерное моделирование систем многих тел. Метод молекулярной динамики. Двух- и многочастичные потенциалы. Потенциалы Леннарда-Джонса, Джугутова, AIREBO. Характерные масштабы и обезразмеривание.

Тема 4.2. Методы интегрирования уравнений движения: скоростной алгоритм Верле и методы Адамса. Система многих тел при постоянной температуре: метод масштабирования скоростей, термостаты Берендсена и Носе-Гувера.

Тема 4.3. Вычисление макроскопических свойств системы многих тел. Функция автокорреляции. Флуктуации энергии и теплоемкость. Коэффициент диффузии. Пространственно-временные корреляционные функции. Сдвиговая вязкость. Современные приложения молекулярной динамики.

Раздел 5. Динамика текучей среды

Тема 5.1. Силы в гидродинамическом потоке. Тензор вязких напряжений для ньютоновской жидкости. Безразмерные параметры и критерии подобия. Завихренность. Сохранение энергии квазиодномерного течения. Адиабатическое и изэнтропийное течения.

Тема 5.2. Уравнения Навье-Стокса для несжимаемой жидкости. Функция тока. Приближение Буссинеска. Граничные условия для давления.

Тема 5.3. Современные приложения математической теории механики жидкости. Понятие о физико-химической гидродинамике, гидродинамике сверхтекучей жидкости, модели горячих носителей заряда в полупроводниках, понятие о микро- и нанофлюидике.

Тема 5.4. Задача об обтекании цилиндра. Основные гидродинамические неустойчивости. Безразмерные критерии для оценки возникновения неустойчивостей

Тема 5.5. Задача Гурса. Физический смысл задачи Гурса.

Тема 5.6. Уравнение Буссинеска для течения подземных вод.

Тема 5.7. Подходы к дискретизации уравнения Навье-Стокса: конечные разности, конечные объемы, конечные элементы.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Дневная форма получения образования с применением дистанционных образовательных технологий

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Введение	4	2		5		2 (ДО)	
1.1	Роль математических моделей в современной физике. Концепции распределенных и параллельных вычислений. Проекты с открытым кодом. Физические модели с использованием нейронных сетей. Направление развития в будущем.	2	2					Устный опрос
1.2	Прямые и обратные задачи. Универсальность математических моделей. Подходы к исследованию: метод подобия, метод осреднения, принцип максимума, теоремы сравнения.	2			5		2 (ДО)	эссе
2	Математические модели	4	4				2	

	сплошной среды							
2.1	Границы применимости приближения сплошной среды в физике. Обобщение теоремы Остроградского-Гаусса. Интегральная и дифференциальная формулировки законов сохранения. Постановка задачи для подходов Эйлера и Лагранжа.	2						Устный опрос
2.2	Законы сохранения массы, импульса и энергии для сплошной среды. Пассивный транспорт скалярной величины.	2	2					Устный опрос
2.3	Переход от непрерывной области к дискретной, конечно-разностная аппроксимация дифференциальных операторов, корректность постановки разностных задач, критерии устойчивости.		2				2	Письменный опрос
3	Процессы диффузии и теплопроводности	8	8		17		4	
3.1	Конечно-разностная формулировка уравнения теплопроводности-диффузии: явная схема, неявная схема, схема Кранка-Николсон, схема Дюфорты-Франкела.		2		5			Отчет
3.2	Конечно-разностная аппроксимация граничных условий первого, второго и третьего рода. Периодические и симметричные граничные условия.	2	2		5			Отчет
3.3	Задача Стефана о фазовом переходе.	2			7		2	Отчет

	Однофазная и двухфазная формулировки задачи Стефана. Метод выпрямления фронта. Метод сквозного счета. Метод ловли фронта в узел сетки.							
3.4	Нелинейные и квазилинейные задачи теплопроводности. Решение Кирхгофа. Метод замены переменных и сквозного счета. Тензорные транспортные коэффициенты. Эффективные свойства неоднородной области.	4	4				2	Тест
4	Молекулярная динамика	10	2		10		2	
4.1	Компьютерное моделирование систем многих тел. Метод молекулярной динамики. Двух- и многочастичные потенциалы. Потенциалы Леннард-Джонса, Джугутова, AIREBO. Характерные масштабы и обезразмеривание.	2						Устный опрос
4.2	Методы интегрирования уравнений движения: скоростной алгоритм Верле и методы Адамса. Система многих тел при постоянной температуре: метод масштабирования скоростей, термостаты Берендсена и Носе-Гувера.	2	2		5			Отчет
4.3	Вычисление макроскопических свойств системы многих тел. Функция автокорреляции. Флуктуации энергии и теплоемкость.	6			5		2	Отчет

	Коэффициент диффузии. Пространственно-временные корреляционные функции. Сдвиговая вязкость. Современные приложения молекулярной динамики.							
5	Динамика текучей среды	20	8		20		6	
5.1	Силы в гидродинамическом потоке. Тензор вязких напряжений для ньютоновской жидкости. Безразмерные параметры и критерии подобия. Завихренность. Сохранение энергии квазиодномерного течения. Адиабатическое и изэнтропийное течения.	4	4					Письменный опрос
5.2	Уравнения Навье-Стокса для несжимаемой жидкости. Функция тока. Приближение Буссинеска. Граничные условия для давления.	2	2					Письменный опрос
5.3	Современные приложения математической теории механики жидкости. Понятие о физико-химической гидродинамике, гидродинамике сверхтекучей жидкости, модели горячих носителей заряда в полупроводниках, понятие о микро- и нанофлюидике.	2						Устный опрос
5.4	Задача об обтекании цилиндра. Основные гидродинамические неустойчивости. Безразмерные критерии для оценки возникновения неустойчивостей	3			5		2	Тест

5.5	Задача Гурса. Физический смысл задачи Гурса.	2			5			Отчет
5.6	Уравнение Буссинеска для течения подземных вод.	2			5			Отчет
5.7	Подходы к дискретизации уравнения Навье-Стокса: конечные разности, конечные объемы, конечные элементы.	5	2		5		4 (ДО)	Отчет. Текущий контроль успеваемости по разделам 2-5 (открытое эвристическое задание)
	ИТОГО	46	24		52		16	

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Перечень основной литературы

1. Самарский А.А., Вабищевич П.Н. Вычислительная теплопередача. – Москва: URSS, 2014. – 784 с.
2. Зельдович Я.Б. Теория ударных волн и введение в газодинамику. – Москва: URSS, 2018. – 200 с.
3. Волков К.Н., Емельянов В.Н. Вычислительные технологии в задачах механики жидкости и газа. – Москва: Физматлит, 2012. – 468 с.
4. Волков К.Н., Емельянов В.Н. Моделирование крупных вихрей в расчетах турбулентных течений. – Москва: Физматлит, 2008. – 368 с.
5. Тихонов, Н. А. Основы математического моделирования: учебное пособие. Части 1—2 // Н. А. Тихонов, М. Г. Токмачев. — Москва: Физический факультет МГУ, 2013. — 175 с.
6. Рапапорт Д. К. Искусство молекулярной динамики. — Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2012. — 632 с.
7. Прандтль Л. Гидроаэромеханика. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2000. – 576 стр. ISBN 5-93972-015-2.
8. Landau R.H., Paez M.J. Computational Problems for Physics: With Guided Solutions Using Python. – Boca Raton: CRC Press, 2018. – 390 p. – ISBN 78-1-1387-0541-8.
9. Gould H., Tobochnik J., Christian W. An introduction to computer simulation methods: Applications to physical systems. – Addison-Wesley, 2007. – 418 p.
10. Samarskii, A.A. Examples of the numerical calculation of temperature waves / A.A. Samarskii, I.M. Sobol' // USSR Comput. Math. Math. Phys. – 1963. – Vol. 3, № 4. – P. 945-970.
11. Simulation of polycrystalline bismuth films Seebeck coefficient based on experimental texture identification / A.S. Fedotov [et al.] // Mater. Chem. Phys. – 2016. – Vol. 177. – P. 413-416.
12. Romanov, O.G. Thermomechanical effect of ultrashort laser pulses on single-dimension metallic nanostructures / O.G. Romanov, G.S. Romanov // Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. – 2014. – Vol. 78, № 12. – P. 1299-1302.
- 13.

Перечень дополнительной литературы

1. Самарский А.А., Михайлов А.П. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры. – Москва: Наука. Физматлит, 1997. – 320 с.
2. Роуч П. Вычислительная гидродинамика. – Москва: Мир, 1980. – 618 с.
3. Самарский А.А., Михайлов А.П. Компьютеры и жизнь: (Математическое моделирование). – Москва: Педагогика, 1987. – 128 с.
4. Takeo K., Kunihiro T. Computational Fluid Dynamics: Incompressible Turbulent Flows – Switzerland: Springer International Publishing, 2017. – 358 p.

5. Abrashina-Zhadaeva, N.G. Finite-difference schemes for a diffusion equation with fractional derivatives in a multidimensional domain / N.G. Abrashina-Zhadaeva, I.A. Timoshchenko // Differ. Equ. – 2013. – Vol. 49, № 7. – P. 789-795.

Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой оценки

Для диагностики компетенций и текущего контроля качества усвоения знаний по дисциплине рекомендуется использовать тесты по разделам дисциплины, эссе, отчеты по лабораторным работам, открытое эвристическое задание, коллоквиум. Контрольные мероприятия проводятся в соответствии с учебно-методической картой дисциплины. В случае неявки на контрольное мероприятие по уважительной причине студент вправе по согласованию с преподавателем выполнить его в дополнительное время. Для студентов, получивших неудовлетворительные оценки за контрольные мероприятия, либо не явившихся по неуважительной причине, по согласованию с преподавателем и с разрешения заведующего кафедрой мероприятие может быть проведено повторно. Предлагается аналогичное домашнее задание, обязательное выполнение которого является необходимым условием для получения зачета и допуска к экзамену.

Формирование оценки за текущую успеваемость:

- устные опросы – 15 %;
- письменные опросы – 10 %;
- тесты – 10 %;
- отчет – 40 %;
- эссе – 15 %;
- открытое эвристическое задание – 10 %.

Рейтинговая оценка по дисциплине рассчитывается на основе оценки текущей успеваемости и экзаменационной оценки с учетом их весовых коэффициентов Вес оценка по текущей успеваемости составляет 50 %, экзаменационная оценка – 50 %.

Тесты проводятся в письменной форме. На выполнение теста отводится 10 мин. Оценка проводится по десятибалльной шкале.

Оценка эссе в конце темы 1 осуществляется по 10-балльной шкале исходя из соображений полноты раскрытия темы, убедительности аргументации и оригинальности изложенных автором мыслей. Положительно оценивается наличие в тексте эссе упоминания в качестве примера собственной научной работы магистранта.

Открытое (эвристическое) задание в конце темы 5 посвящено раскрытию сути проблемы одного из передовых вопросов математического моделирования в физике. Магистрант должен осветить, систематизировать и предложить свою экспертную оценку тех или иных аспектов данного вопроса. В качестве формы ответа предпочтительно записанное видео с загрузкой на образовательный портал БГУ. При оценке открытого (эвристического) задания необходимо учитывать: оригинальность

предложенного решения, исследование различных аспектов изучаемого предмета, интегрирование знаний из различных областей науки, личностную значимость достигнутых результатов.

Отчеты рекомендуется загружать на образовательный портал БГУ. Тесты рекомендуется проводить на образовательном портале БГУ.

Формой текущей аттестации по дисциплине «Методы математического моделирования физических процессов» учебным планом предусмотрены зачет и экзамен.

Оценка текущей успеваемости рассчитывается по 10-балльной шкале как сумма 0,3 среднего арифметического оценок за тесты, 0,3 оценки за коллоквиум и 0,4 среднего арифметического за эссе и открытое (эвристическое) задание.

Текущая аттестация по учебной дисциплине проводится в форме зачета экзамена. Для получения зачета необходимо представить отчеты по всем лабораторным работам, проводившемся в семестре, и успешно сдать эссе и эвристическое задание. К экзамену допускаются студенты, чья оценка текущей успеваемости не менее 4 баллов.

Экзаменационная оценка и оценка текущей успеваемости служат для определения рейтинговой оценки по дисциплине, которая рассчитывается как средневзвешенная оценка текущей успеваемости и экзаменационной оценки. Рекомендуемые весовые коэффициенты для оценки текущей успеваемости — 0,5; для экзаменационной оценки — 0,5.

Примерный перечень заданий для управляемой самостоятельной работы студентов

Тема 1. Введение

Изучение актуальных задач компьютерного моделирования (по областям физики)

(Форма контроля – эссе, размещаемые на образовательном портале)

Тема 2. Математические модели сплошной среды

Вывод интегральных и дифференциальных формулировок законов сохранения, подходящих для математического моделирования дифференциальными уравнениями в частных производных. Изучение конечно-разностных представлений производных и различных форм обозначений. Проверка схемы на устойчивость.

(Форма контроля – отчеты по лабораторным, проводимый на образовательном портале тест)

Тема 3. Процессы диффузии и теплопроводности

Вывод и анализ конечно-разностных формулировок уравнения теплопроводности-диффузии. Вывод и анализ конечно-разностных аппроксимаций заданных граничных условий. Решение квазилинейных задач теплопроводности.

(Форма контроля – отчеты по лабораторным, проводимый на образовательном портале тест)

Тема 4. Молекулярная динамика

Получение выражений для силы взаимодействия из межчастичного потенциала. Расчет автокорреляционных функций для малой системы.

Тензорный межчастичный потенциал.

(Форма контроля – отчеты по лабораторным, проводимый на образовательном портале тест, открытое эвристическое задание)

Тема 5. Динамика текучей среды

Приведение дифференциального уравнения в частных производных к каноническому виду для решения задачи Гурса. Получение формулировки уравнений Навье-Стокса в переменных «функция тока-вихрь».

(Форма контроля – отчеты по лабораторным, проводимый на образовательном портале тест)

Примерная тематика лабораторных занятий

Лабораторная № 1. Система компьютерной алгебры Wolfram Mathematica либо окружение Anaconda интерпретируемого языка программирования Python 3.

Лабораторная № 2. Решение уравнения теплопроводности-диффузии явными методами.

Лабораторная № 3. Решение уравнения теплопроводности-диффузии неявными методами.

Лабораторная № 4. Задача Стефана о фазовом переходе.

Лабораторная № 5. Краевые задачи с условиями на характеристиках.

Лабораторная № 6. Задача о течении подземных вод.

Лабораторная № 7. Уравнения Навье-Стокса в переменных «вихрь-функция тока».

Лабораторная № 8. Уравнения Навье-Стокса в переменных «скорость-давление».

Лабораторная № 9. Моделирование временной эволюции системы многих тел.

Лабораторная № 10. Моделирование коэффициента диффузии системы многих тел.

Примерная тематика практических занятий

Занятие № 1. Анализ публикационной активности в физических журналах, выявление актуальных областей математического моделирования.

Занятие № 2. Вывод законов сохранения массы и импульса в различных системах координат.

Занятие № 3. Дискретные и вариационные формы законов сохранения массы и импульса

Занятие № 4. Вывод и проверка устойчивости разностных схем для уравнения теплопроводности-диффузии.

Занятие № 5. Конечно-разностная аппроксимация граничных условий первого, второго и третьего рода. Периодические и симметричные граничные условия

Занятие № 6. Аналитические решения для нелинейного уравнения теплопроводности. Случай тепловой волны и неподвижного фронта.

Занятие № 7. Тензорные транспортные коэффициенты. Эффективные свойства неоднородной области.

Занятие №8. Движение текучей среды в механике сплошных сред. Критерии подобия при обтекании тел

Занятие №9. Вывод уравнений Навье-Стокса в различных системах координат. Формулировка в переменных «вихрь-функция тока».

Занятие №10. Уравнения Навье-Стокса для энергии. Приближение Буссинеска.

Занятие №11. Преобразования уравнений Навье-Стокса для специальных методов решения в случае турбулентного течения.

Занятие №12. Изучение характерных масштабов физических величин в молекулярной динамике.

Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины

В качестве инновационного подхода рекомендуется использовать элементы эвристического подхода, что обусловлено необходимостью развития креативных навыков обучающихся для разработки оригинальных математических моделей. Для первой темы в качестве формы контроля предложено эссе. Обучающийся согласовывает с преподавателем рассматриваемую в эссе проблему так, чтобы она соответствовала актуальной задаче математического моделирования в области научной работы обучающегося. Открытое (эвристическое) задание в конце темы 5 посвящено раскрытию сути проблемы одного из передовых вопросов математического моделирования в физике. В качестве формы ответа предпочтительно записанное видео с загрузкой на образовательный портал БГУ. При оценке открытого (эвристического) задания необходимо учитывать: оригинальность предложенного решения, исследование различных аспектов изучаемого предмета, интегрирование знаний из различных областей науки, личностную значимость достигнутых результатов.

Примерный перечень вопросов к экзамену/зачету

1. Роль математических моделей в современной физике. Концепции распределенных и параллельных вычислений. Проекты с открытым

- кодом. Физические модели с использованием нейронных сетей.
Направление развития в будущем.
2. Прямые и обратные задачи. Универсальность математических моделей. Подходы к исследованию: метод подобия, метод осреднения, принцип максимума, теоремы сравнения.
 3. Границы применимости приближения сплошной среды в физике. Обобщение теоремы Остроградского-Гаусса. Интегральная и дифференциальная формулировки законов сохранения. Постановка задачи для подходов Эйлера и Лагранжа.
 4. Законы сохранения массы, импульса и энергии для сплошной среды. Пассивный транспорт скалярной величины. 5
 5. Конечно-разностная аппроксимация дифференциальных операторов. Обозначения Самарского. Порядок аппроксимации. Спектральный критерий устойчивости разностной схемы.
 6. Конечно-разностная формулировка уравнения теплопроводности-диффузии: явная схема, неявная схема, схема Кранка-Николсон, схема Дюфорта-Франкела.
 7. Обезразмеривание переменных. Конечно-разностная аппроксимация граничных условий первого, второго и третьего рода. Периодические и симметричные граничные условия.
 8. Задача Стефана о фазовом переходе. Однофазная и двухфазная формулировки задачи Стефана. Метод выпрямления фронта. Метод сквозного счета. Метод ловли фронта в узел сетки.
 9. Нелинейные и квазилинейные задачи теплопроводности. Решение Кирхгофа. Метод замены переменных и сквозного счета. Тензорные транспортные коэффициенты. Эффективные свойства неоднородной области.
 10. Задача Гурса. Физический смысл задачи Гурса.
 11. Уравнение Буссинеска для течения подземных вод.
 12. Уравнения Навье-Стокса для несжимаемой жидкости. Функция тока. Приближение Буссинеска. Граничные условия для давления.
 13. Нелинейность уравнений Навье-Стокса и тензор вязких напряжений для ньютоновской жидкости. Понятие о турбулентном течении. Критерий Рейнольдса.
 14. Квазистационарное движение жидкости и газа. Задача об обтекании цилиндра. Основные гидродинамические неустойчивости. Безразмерные критерии для оценки возникновения неустойчивостей.
 15. Компьютерное моделирование систем многих тел. Метод молекулярной динамики. Двух- и многочастичные потенциалы. Потенциалы Леннард-Джонса, Джугутова, AIREBO. Характерные масштабы и обезразмеривание.
 16. Методы интегрирования уравнений движения тел: скоростной алгоритм Верле и методы Адамса.
 17. Система многих тел при постоянной температуре: метод масштабирования скоростей, термостаты Берендсена и Носе-Гувера.

18.Вычисление макроскопических свойств системы многих тел. Функция автокорреляции. Флуктуации энергии и теплоемкость. Коэффициент диффузии. Пространственно-временные корреляционные функции. Сдвиговая вязкость.

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Приложения функционального анализа и теории групп в физике	кафедра высшей математики и математической физики	Оставить содержание учебной дисциплины без изменения	Рекомендовать к утверждению учебную программу в представленном варианте протокол № 13 от 29.05.2019 г.
Вычислительные методы в физике и физическом эксперименте	кафедра высшей математики и математической физики	Оставить содержание учебной дисциплины без изменения	Рекомендовать к утверждению учебную программу в представленном варианте протокол № 13 от 29.05.2019 г.

**ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ ПО
ИЗУЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

на ____ / ____ учебный год

№ п/п	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры
_____ (протокол № ____ от _____ 201_ г.)

Заведующая кафедрой высшей математики
и математической физики _____ Н.Г. Абрашина-Жадаева

УТВЕРЖДАЮ
Декан физического факультета
к.ф.-м.н., доцент _____ М.С.Тиванов