

**Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»**

Высшая школа общей и прикладной физики

УТВЕРЖДЕНО
решением ученого совета ННГУ

протокол от
« ____ » _____ 20__ г.

Рабочая программа дисциплины

Численные методы и математическое моделирование

Уровень высшего образования
Бакалавриат

Направление подготовки / специальность
03.03.02 - Физика

Направленность образовательной программы
Фундаментальная физика

Форма обучения
очная

Нижний Новгород

2021 год

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.03, Численные методы и математическое моделирование относится к части ОПОП направления подготовки 03.03.02 Физика, формируемой участниками образовательных отношений.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	
ПК-2: Способен применять в научно-исследовательской деятельности профессиональные знания и умения, полученные при освоении профильных дисциплин	ПК-2.1: Знания: ПК-2.2: Умения: ПК-2.3: Навыки:	ПК-2.1: Знать основные прямые и итерационные методы решения систем линейных алгебраических уравнений; наиболее употребительные методы решения одномерных нелинейных уравнений; простейшие методы оптимизации; основы теории аппроксимации пространств и операторов, начала теории разностных схем; простейшие методы численного интегрирования; основные методы численного решения систем обыкновенных дифференциальных уравнений; методы одномерной интерполяции и восстановления зависимостей. ПК-2.2: Уметь применять указанные выше методы для численного исследования математических моделей физических процессов и систем. ПК-2.3: Владеть навыками решения физических задач с применением методов численного анализа.	Собеседование и задачи (практические задания)

ПК-4: Способен использовать полученные профессиональные знания при реализации научно-исследовательских, научно-инновационных и практических проектов	ПК-4.1: Знания: ПК-4.2: Умения: ПК-4.3: Навыки:	ПК-4.1: Обладать достаточными для при реализации научно-исследовательских, научно-инновационных и практических проектов знаниями в области численных методов ПК-4.2: Уметь применять полученные знания при проведении научных исследований в избранной области. ПК-4.3: Владеть численными методами решения профессиональных задач и использовать их при необходимости при проведении теоретических и/или экспериментальных физических исследований.	Собеседование и задачи (практические задания)
--	---	--	---

3. Структура и содержание дисциплины

3.1. Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость	4
Часов по учебному плану	144
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	32
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	32
- КСР	2
самостоятельная работа	42
Промежуточная аттестация	36 экзамен

3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе	
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них	Самостоятельная работа обучающегося,

		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Всего	часы
	очная	очная	очная	очная	очная	очная
Тема 1. Введение. Цель и содержание курса.	2	1	0	0	1	1
Тема 2. Численные методы линейной алгебры.	9	3	2		5	4
Тема 3. Методы решения спектральных задач.	12	4	4		8	4
Тема 4. Дискретное преобразование Фурье.	8	2	2		4	4
Тема 5. Методы решения нелинейных уравнений и оптимизация.	12	4	4		8	4
Тема 6. Методы интерполяции. Сплайны. Аппроксимация функций. Метод наименьших квадратов.	15	4	6		10	5
Тема 7. Численное интегрирование и дифференцирование.	9	2	2		4	5
Тема 8. Численное интегрирование обыкновенных дифференциальных уравнений. Задача Коши и краевая задача.	13	4	4		8	5
Тема 9. Численное интегрирование уравнения в частных производных. Операторная экспонента. Элементы теории разностных схем.	13	4	4		8	5
Тема 10. Особенности разных типов уравнений в частных производных. Решение интегральных уравнений.	13	4	4		8	5
Аттестация	36					
КСР	2				2	
Итого	144	32	32	0	66	42

Практические занятия (семинарские занятия /лабораторные работы) организуются, в том числе в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

Практическая подготовка предусматривает:

Разбор решения задач различной степени сложности, проведение обсуждения рассматриваемых проблем в свете последних научных достижений в соответствующей области знаний. Студенты работают как индивидуально, так и коллективно.

На проведение практических занятий (семинарских занятий /лабораторных работ) в форме практической подготовки отводится 4 ч.

Практическая подготовка направлена на формирование и развитие:

- практических навыков в соответствии с профилем ОП:

Применение знаний и умений при решении научно-исследовательских задач профессиональной деятельности

- компетенций:

ПК-2: Способен применять в научно-исследовательской деятельности профессиональные знания и умения, полученные при освоении профильных дисциплин;

ПК-4: Способен использовать полученные профессиональные знания при реализации научно-исследовательских, научно-инновационных и практических проектов

Текущий контроль успеваемости реализуется в рамках: занятий семинарского типа, групповых консультаций, индивидуальных консультаций.

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Контрольные вопросы и задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведены в п. 5.2.

5. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю), включающий:

5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	Шкала оценивания сформированности компетенций						
	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено		зачтено				
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможн	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки.	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки.	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки,	Уровень знаний в объеме, превышающем программу

	ость оценить полноту знаний вследствие отказа обучающег ося от ответа	место грубые ошибки.	негрубых ошибки.	Допущено несколько негрубых ошибок	Допущено несколько несущественн ых ошибок	без ошибок.	подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальн ых умений . Невозможн ость оценить наличие умений вследствие отказа обучающег ося от ответа	При решении стандартны х задач не продемонст рированы основные умения. Имели место грубые ошибки.	Продемонст рированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания но не в полном объеме.	Продемонстр ированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продемонстр ированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продемонст рированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несуществе нными недочетами, выполнены все задания в полном объеме.	Продемонст рированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие владения материалом . Невозможн ость оценить наличие навыков вследствие отказа обучающег ося от ответа	При решении стандартны х задач не продемонст рированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.	Имеется минимальн ый набор навыков для решения стандартны х задач с некоторыми недочетами	Продемонстр ированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продемонстр ированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.	Продемонст рированы навыки при решении нестандартн ых задач без ошибок и недочетов.	Продемонст рирован творческий подход к решению нестандартн ых задач

Шкала оценки при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
	Превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне, выше предусмотренного программой
	Отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы

зачтено		одна компетенция сформирована на уровне «отлично»
	Очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо»
	Хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо»
	Удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	Неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»
	Плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения

(согласно оценочным средствам табл.2)

Теоретические вопросы для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины:

1. Численные методы линейной алгебры.
 - a. LU -разложение и метод Гаусса.
 - b. Сложность вычислений и оценки для метода Гаусса.
 - c. Обусловленность и погрешности решения линейных систем.
 - d. Отражения и ортогонально-треугольный метод (вещественный и комплексный случаи).
 - e. Метод простой итерации.
 - f. Метод Гаусса-Зайделя и сходимость для матриц с диагональным преобладанием.
 - g. Задачи на собственные значения. Метод Якоби, сходимость.
 - h. QR -алгоритмы.
2. Дискретное преобразование Фурье.
 - a. Алгоритм быстрого преобразования Фурье.
 - b. Синус и косинус преобразование.
 - c. Применение Фурье преобразования.
 - d. Wavelet преобразование.
3. Нелинейные уравнения и оптимизация.
 - a. Связь методов минимизации и поиска корней.
 - b. Метод деления пополам и метод золотого сечения. Порядок сходимости.
 - c. Метод Ньютона в одно- и многомерном случаях. Условия сходимости.
 - d. Неподвижные точки и принцип сжатых отображений.
 - e. Градиентные методы минимизации: наискорейший спуск.
 - f. Проблема оврагов. Метод переменной метрики.
4. Интерполяция и восстановление зависимостей.
 - a. Интерполяционные формулы Лагранжа и Ньютона.
 - b. Оценка погрешности многочленной интерполяции.
 - c. Проблемы многочленной интерполяции: пример Рунге.

- d. Кусочно-многочленная интерполяция. Сплаины.
 - e. Глобальный сплайн.
 - f. Многомерная интерполяция.
 - g. Рациональная интерполяция.
 - h. Барицентрическая интерполяция.
 - i. Паде аппроксимация.
 - j. Метод наименьших квадратов.
 - k. Линейная аппроксимация. Сглаживание данных.
 - l. Рациональная аппроксимация.
5. Теория аппроксимации.
- a. Аппроксимация функционалов: численное интегрирование.
 - b. Формулы Эйлера-Маклорена.
 - c. Процесс Эйткена.
 - d. Гауссовы квадратуры.
 - e. Вычисление кратных интегралов.
 - f. Аппроксимация операторов: устойчивость и сходимость.
 - g. Аппроксимация дифференциальных операторов.
6. Методы численного интегрирования обыкновенных дифференциальных уравнений.
- a. Методы Рунге-Кутты: общий подход.
 - b. Стандартный метод Рунге-Кутты.
 - c. Оценка погрешности: метод Рунге и вложенные методы.
 - d. Метод Адамса.
 - e. Регуляризация уравнений.
 - f. Метод Пикара.
 - g. Быстрые и медленные движения.
 - h. Краевая задача. Метод стрельбы.
 - i. Метод Галеркина для краевой задачи.
7. Методы численного интегрирования уравнений в частных производных.
- a. Метод операторной экспоненты.
 - b. Метод разностной аппроксимации.
 - c. Интегро-интерполяционный метод.
 - d. Метод неопределенных коэффициентов.
 - e. Метод Эйлера. Устойчивость и критерий Куранта.
 - f. Обратный (неявный) метод Эйлера. Абсолютная устойчивость.
 - g. Метод Кранка-Николсона и аппроксимация экспонент.
 - h. Устойчивость и сходимость схем.
 - i. Интегрирование параболического уравнения.
 - j. Интегрирование уравнения переноса.
 - k. Интегрирование гиперболического уравнения. Схема крест
 - l. Двухслойная акустическая схема.
 - m. Интегрирование уравнений гидродинамики.
 - n. Интегрирование эллиптического уравнения. Метод установления.
 - o. Метод Рунца для эллиптического уравнения.
8. Интегральные уравнения
- a. Разностный метод.
 - b. Метод замены вырожденным ядром.
 - c. Метод Галеркина.
 - d. Регуляризация некорректных интегральных уравнений.

Типовые задачи для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины:

Задача 1.1

Верно ли, что если определитель матрицы мал, то число обусловленности этой матрицы велико?

Задача 1.2

Вывести формулу оптимальной численной оценки производной функции по ее значениям в трех точках.

Задача 2.1

Как зависит ошибка численного решения обыкновенного дифференциального уравнения явным методом Эйлера от времени?

Задача 2.2

Верно ли, что если две матрицы близки, то близки и решения соответствующих линейных систем с одинаковой правой частью?

Задача 2.3

Какие существуют методы вычисления интегралов от быстро осциллирующих функций?

Задача 3.1

Как определить период периодической функции по таблице ее значений с постоянным шагом?

Задача 3.2

Написать программу решения системы телеграфных уравнений на конечном отрезке. Оценить необходимые для достижения заданной точности шаги по времени и координате.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

а) основная литература:

- 1) Н.С.Бахвалов, Н.П.Жидков, Г.М.Кобельков. Численные методы. М.: Наука, 1987.-598 с.-34 экз.
 - 2) А.А.Самарский, А.В.Гулин. Численные методы. М.: Наука, 1989. -429 с. -44 экз.
 - 3) Г.И.Марчук. Методы вычислительной математики. М.: Наука, 1980.-535 с. -49 экз.
 - 4) Н.Н. Калиткин. Численные методы. СПб.: БХВ-Петербург, 2011. – 592 с. – 3 экз.
- Электронный вариант: http://ffmgu.ru/index.php/Файл:Численные_методы_Калиткин_1978.pdf

б) дополнительная литература:

- 1) Н.С.Бахвалов, А.В.Лапин, Е.В.Чижонков, Численные методы в задачах и упражнениях, М.: Бином, 2003. -632 с. -49 экз.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины)

- 1) Учебно-образовательная физико-математическая библиотека EqWorld
<http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/books/Marchuk1977ru.djvu>
- 2) Портал” Наша учеба” Косарев В.И. 12 лекций по вычислительной математике
<http://nashaucheba.ru/v42306/?download=file>

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных программой, оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения: Для проведения лекций и практических занятий требуется типовое оборудование лекционной аудитории.

Для подготовки самостоятельных контрольных работ и для их графического представления (если это необходимо), а также для расширения коммуникационных возможностей студенты имеют возможность работать в компьютерных классах с соответствующим лицензионным программным обеспечением и выходом в Интернет.

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

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению 03.03.02 - Физика.

Автор(ы): А.А. Балакин

Заведующий кафедрой:

Программа одобрена на заседании методической комиссии
ВШОПФ от 30.06.2021, протокол № 3.