

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

ИНСТИТУТ ЛАЗЕРНЫХ И ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

КАФЕДРА ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ

ОДОБРЕНО УМС ЛАПЛАЗ

Протокол № 1/08-577

от 29.08.2024 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ

Направление подготовки  
(специальность)

[1] 03.03.01 Прикладные математика и физика

Семестр	Трудоемкость, кред.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	В форме практической подготовки/ В	СРС, час.	КСР, час.	Форма(ы) контроля, экз./зач./КР/КП
5	3	108	16	32	48		12	0	3
Итого	3	108	16	32	48	0	12	0	

## АННОТАЦИЯ

Цель курса – научить студентов численным методам математического анализа, используемым для проведения численных расчетов на компьютерах, развить и утвердить умение работать на РС для получения решений физических задач, сформировать отношение к числовым результатам и точности расчетов, объединить аналитические и численные методы в целях достижения решения любых возникающих задач разделов теоретической физики.

### 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель курса – научить студентов численным методам математического анализа, используемым для проведения численных расчетов на компьютерах, развить и утвердить умение работать на РС для получения решений физических задач, сформировать отношение к числовым результатам и точности расчетов, объединить аналитические и численные методы в целях достижения решения любых возникающих задач разделов теоретической физики.

### 2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Знания, полученные при изучении курса необходимы для выполнения научно-исследовательской работы, освоения курсов интегрированным средам математического моделирования, вычислительным методам в проблеме многих тел, многих специализированных дисциплин по вычислительной теоретической физике, изучаемых студентами на старших курсах.

### 3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
--------------------------------	--

Профессиональные компетенции в соответствии с задачами и объектами (областями знаний) профессиональной деятельности:

Задача профессиональной деятельности (ЗПД)	Объект или область знания	Код и наименование профессиональной компетенции; Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
научно-исследовательский			
сбор и обработка научной и аналитической информации с использованием современных	природные и социальные явления и процессы, объекты техники, технологии и производства,	ПК-3 [1] - Способен применять численные методы решения дифференциальных и интегральных уравнений для	З-ПК-3[1] - Знать численные методы решения дифференциальных и интегральных уравнений для

программ, средств и методов вычислительной математики, компьютерных и информационных технологий участие в проведении теоретических исследований, построении физических, математических и компьютерных моделей изучаемых процессов и явлений, в проведении аналитических исследований в предметной области по профилю специализации;	модели, методы и средства фундаментальных и прикладных исследований и разработок в области математики, физики и других естественных и социально-экономических наук по профилям предметной деятельности в науке, технике, технологиях, а также в сферах наукоемкого производства, управления и бизнеса.	различных физико-технических задач  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	различных физико-технических задач. ; У-ПК-3[1] - Уметь применять численные методы решения дифференциальных и интегральных уравнений для различных физико-технических задач.; В-ПК-3[1] - Владеть навыками решения дифференциальных и интегральных уравнений численными методами для физико-технических задач.
производственно-технологический			
участие в разработке и реализации проектов исследовательской и инновационной направленности в команде исполнителей	природные и социальные явления и процессы, объекты техники, технологии и производства, модели, методы и средства фундаментальных и прикладных исследований и разработок в области математики, физики и других естественных и социально-экономических наук по профилям предметной деятельности в науке, технике, технологиях, а также в сферах наукоемкого производства, управления и бизнеса.	ПК-9 [1] - Способен к математическому и компьютерному моделированию объектов, систем, процессов и явлений в избранной предметной области  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.008	3-ПК-9[1] - Знать основные методы и принципы математического и компьютерного моделирования объектов, систем, процессов и явлений в избранной предметной области, методы построения математических моделей типовых профессиональных задач, способы нахождения решений математических моделей и содержательной интерпретации полученных результатов. ; У-ПК-9[1] - Уметь использовать математическое и компьютерное моделирование для описания свойств и характеристик

			<p>объектов, систем, процессов и явлений в избранной предметной области, профессионально интерпретировать смысл полученного результата.;</p> <p>В-ПК-9[1] - Владеть методами математического и компьютерного моделирования объектов, систем, процессов и явлений в избранной предметной области и содержательной интерпретации полученных результатов.</p>
--	--	--	--

#### 4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	Задачи воспитания (код)	Воспитательный потенциал дисциплин
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование творческого инженерного/профессионального мышления, навыков организации коллективной проектной деятельности (В22)	<p>1.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для развития навыков коммуникации, командной работы и лидерства, творческого инженерного мышления, стремления следовать в профессиональной деятельности нормам поведения, обеспечивающим нравственный характер трудовой деятельности и неслужебного поведения, ответственности за принятые решения через подготовку групповых курсовых работ и практических заданий, решение кейсов, прохождение практик и подготовку ВКР.</p> <p>2.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для: - формирования производственного коллективизма в ходе</p>

		совместного решения как модельных, так и практических задач, а также путем подкрепление рационально-технологических навыков взаимодействия в проектной деятельности эмоциональным эффектом успешного взаимодействия, ощущением роста общей эффективности при распределении проектных задач в соответствии с сильными компетентностными и эмоциональными свойствами членов проектной группы.
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование культуры информационной безопасности (В23)	Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования базовых навыков информационной безопасности через изучение последствий халатного отношения к работе с информационными системами, базами данных (включая персональные данные), приемах и методах злоумышленников, потенциальном уроне пользователям.

## 5. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Разделы учебной дисциплины, их объем, сроки изучения и формы контроля:

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практи. (семинары) / Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	<i>5 Семестр</i>						
1	Часть 1	1-8	8/16/24		25	КИ-8	3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, 3-ПК-9, У-ПК-9,

							В-ПК-9
2	Часть 2	9-16	8/16/24		25	КИ-16	3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, 3-ПК-9, У-ПК-9, В-ПК-9
	<i>Итого за 5 Семестр</i>		16/32/48		50		
	<b>Контрольные мероприятия за 5 Семестр</b>				50	3	3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, 3-ПК-9, У-ПК-9, В-ПК-9

\* – сокращенное наименование формы контроля

\*\* – сумма максимальных баллов должна быть равна 100 за семестр, включая зачет и (или) экзамен

Сокращение наименований форм текущего контроля и аттестации разделов:

Обозначение	Полное наименование
КИ	Контроль по итогам
З	Зачет

## КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>5 Семестр</i>	16	32	48
<b>1-8</b>	<b>Часть 1</b>	8	16	24
1 - 8	<b>Часть 1</b> Организационные вопросы Действительные числа. Числа с плавающей запятой. Порядок и мантисса. Максимальный порядок. Машинный ноль. Комплексные числа. Двойная точность. Целые числа. Холерические постоянные. Язык FORTRAN. Организация библиотек. Организация файлов. Операторы ввода-вывода, на экран, в файл. Библиотека стандартных программ. Интерполяция по Лагранжу. Построение полиномов. Линейная и квадратичная интерполяции. Численное дифференцирование. Первые и вторые производные на равномерной сетке. Полиномы различных степеней. Ошибки численного дифференцирования. кубические сплайн функции. Сплайн интерполяция. Численное интегрирование. Определенные и неопределенные интегралы. Гладкие функции. Формулы Ньютона-Котеса (трапеции, Симпсона, 3/8...). Ошибки интегрирования. Алгебраическая точность. Интегрирование по методу Гаусса по n точкам (Гаусс-Лежандр). Алгебраическая точность. Ошибки интегрирования. Прагматические ошибки методов	Всего аудиторных часов		
		8	16	24
		Онлайн		
		0	0	0

	<p>интегрирования. Варьирование шага, числа точек разбиения, степени полинома. Интегрирование с весовой функцией. Произвольная весовая функция. Методы аналогичные методам Ньютона-Котеса и Гаусса. Часто встречающиеся весовые функции. Методы Гаусс-Лежандра, Гаусс-Лагерра, Гаусс-Эрмита, Гаусс-Чебышева. Рекомендации. Замена переменных. Изменение масштаба. Разбиение интеграла. Вычитательные процедуры. Многократные интегралы с использованием методов Ньютона-Котеса и Гаусса. Совокупность интегралов. Сведение интегрирования к решению дифференциальных уравнений. Обязательное тестирование программ. Интегрирование с помощью числовых рядов. На 5 семестре опущен метод Филона для быстро осциллирующих функций и метод Монте-Карло. Задача вычисления потенциала заряда с произвольной плотностью. Сферические функции. Сводка формул по свойствам сферических функций. Логика вычислений потенциала заряда с произвольной плотностью (интеграл Пуассона, разложение плотности и кулоновского взаимодействия по сферическим гармоникам, вычисление парциальных вкладов гармоник в потенциал заряда). Задания на дом и для численных расчетов. Изолированный корень. Графический метод. Метод деления пополам. Линейная интерполяция (метод хорд, метод секущих, метод Вигстейна). Параболическая интерполяция. Метод касательных (метод Ньютона-Рафсона). Проблема стартовой точки. Обобщение метода Ньютона на систему двух уравнений. Случай почти равных корней. Позже на 12 неделе, нахождение корней методами оптимизации. Дифференциальные уравнения. Методы Эйлера. Метод Рунге-Кутты 2-го порядка (РК-2), соответствие с рядом Тейлора. Алгебраическая точность. Оценка ошибок. Прагматические ошибки. Свободный параметр в схеме РК-2, его значения для устойчивости. Метод Рунге-Кутты 4-го порядка (РК-4). Схемы РК-4. Алгебраическая точность. Оценки ошибок. Свободные параметры. Соответствие с интегрирование по Симпсону. Прагматические ошибки. Самостартующие методы. Скорость счета. Многошаговые методы. Схемы Р-С (Предиктор-Корректор, прогноза-коррекции). Явные и неявные схемы. Метод Адамса 4-го порядка. Метод Нумерова для линейных уравнений второго порядка. Старт многошаговых методов. Оценка ошибок. Прагматические ошибки. Задача решения одномерного уравнения Шредингера в дифференциальном виде. Постулирование вида уравнения. Задача нахождения собственных функций и собственных значений уравнения, нормирование решений. Граничные или асимптотические решения. Различный вид трансцендентных уравнений для нахождения собственных значений. Непрерывность функций и их производных. Непрерывность</p>			
--	---	--	--	--

	логарифмических производных. Нули вронскиана. Место сшивки левых и правых решений и независимость собственных значений от места сшивки. Задания на дом и для численных расчетов на РС. Краевая задача для линейного дифференциального уравнения 2-го порядка. Метод стрельбы. Сведение к двум задачам Коши. Сведение к системе линейных уравнений. Метод исключения по Гауссу. Метод прогонки при различных интерполяциях. Квадратичная интерполяция. Тридиагональная матрица. Схемы метода прогонки. Системы линейных уравнений. Обусловленность. Число обусловленности. Метод исключения по Гауссу. Метод итераций Гаусса-Зейделя. Типовые задачи математики, соответствующие распространенным физическим задачам с гладкими решениями. Нахождение собственных значений и собственных векторов. Обращение матриц общего вида. Программа для метода Воеводина. Различные библиотечные программы. Промежуточный зачет с оценкой по итогам выполнения текущих домашних заданий, выполнения лабораторных работ в дисплейном классе, учет посещаемости.			
9-16	<b>Часть 2</b>	8	16	24
9 - 16	<b>Часть 2</b>	Всего аудиторных часов		
		8	16	24
		Онлайн		
		0	0	0
	Проблемы устойчивости и обратная связь. Различные типы «сбоев» и генерация фундаментальных решений. Простые примеры. Устойчивость на примере неопределенных интегралов. Обратные связи в разностных схемах (интеграл и дифференциальное уравнение). Обратная связь в радиотехнике. Исследование однородного разностного уравнения для линейного дифференциального уравнения 1-го порядка на устойчивость. Определение границ устойчивости, границ шума, допустимых ошибок. Выбор схем РК-4 и Адамса-4, устойчивых, малошумящих, с малой ошибкой. Неустойчивость алгоритмов вычислений. Множество числа с плавающей запятой. Существование машинного нуля (обрезание мантиссы). Систематические «ошибки». Пример ошибок округления. Неустойчивость алгоритма вычислений по рекуррентным формулам. Пример чувствительности корней полиномов высокой степени относительно малых вариаций значений коэффициентов. «Проблема» решения произвольного квадратного уравнения на множестве чисел с плавающей запятой. Задача решения одномерного уравнения Шредингера в матричном виде. Запись уравнения Шредингера ( $H=T+U+V$ ) в матричном виде базиса ( $H_0=T+U$ ). Обрезание базиса. Задача нахождения собственных функций и собственных значений уравнения, нормирование решений. Анализ решений для низколежащих и высоколежащих состояний. Влияние обрезания. Влияние координатной зависимости			



	<p>возмущающего поля, влияние силы поля.</p> <p>Квазиклассические оценки матричных элементов.</p> <p>Комбинирующие уровни. Сравнение с решением уравнения в дифференциальном виде. Задания на дом и для численных расчетов на РС. Передаточная функция различных разностных схем. Разложение Фурье в курсах теоретической физики. Передаточная функция, фурье-образ, свертка. Дискретизация вычислений. Передаточные функции схем дифференцирования и интегрирования (трапеций, Симпсона, 3/8). Функции искажений. Частота наложения. Интегрирование экспериментальных или табличных данных. Сглаживающие фильтры. Задача решения уравнения Шредингера в интегральном виде. Оптимизация. Минимизация многомерной функции. Решение систем нелинейных уравнений. Нахождение корней функции. Метод скорейшего спуска (градиентный метод). Симплекс метода (метод деформируемого многогранника). Программы. Локальные и глобальные минимумы. Медленносходящиеся алгоритмы. Ситуация типа «овраг» и ее разрешение. Книга Химмельблау. Задача решения уравнения Шредингера вариационным методом Ритца. Проблемы интерполяции. Виды интерполирующих функций. Полиномиальная интерполяция. Аппроксимационная теорема Вейерштрасса. Теорема Фабера. Опасность глобальных подгонок. Метод наименьших квадратов (МНК). Метод перевала. Среднее значение для независимых данных, событий. Проведение подходящего многочлена в задаче интерполяции с помощью МНК. Линейная задача. Определитель Гильберта, проблема устойчивости подгонки параметров от числа параметров. Нелинейная задача. МНК как метод интерполяции. Целевая функция. Выбор класса подгоночных функций и числа подгоночных параметров. Учет ошибок и разброса данных (экспериментальных, табличных). Критерий совпадающих моментов. Использование МНК для задач теоретической физики. Экономизация. Многочлены Чебышева. Определения. Явный вид. Свойства полиномов и тригонометрических функций. Рекуррентные соотношения. Прямое и обратное представления. Теорема Чебышева. Применение к задаче интерполяции. Принцип минимакса. Интегрирование по Гауссу-Чебышеву. Экономизация. Идеи и примеры. Метод Ланцоша для линейных дифференциальных уравнений 1-го порядка. Обзор прочитанных материалов 5 семестра, увязка с материалами следующих семестров.</p> <p>ЛИТЕРАТУРА ОСНОВНАЯ 1.518Б48 Березин И.С., Жидков Н.П. Методы вычислений, тома 1 и 2, ФМЛ, 19622.*518Х37 Хемминг Р.В. Численные методы Наука-1972* Книги находятся в читальных залах</p>			
--	--	--	--	--

Сокращенные наименования онлайн опций:

Обозначение	Полное наименование
ЭК	Электронный курс
ПМ	Полнотекстовый материал
ПЛ	Полнотекстовые лекции
ВМ	Видео-материалы
АМ	Аудио-материалы
Прз	Презентации
Т	Тесты
ЭСМ	Электронные справочные материалы
ИС	Интерактивный сайт

## ТЕМЫ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Недели	Темы занятий / Содержание
	<i>5 Семестр</i>
	<p><b>Часть 1</b></p> <p>Организационные вопросы. Действительные числа. Числа с плавающей запятой. Порядок и мантисса. Максимальный порядок. Машинный ноль. Комплексные числа. Двойная точность. Целые числа. Холерические постоянные. Язык FORTRAN. Организация библиотек. Организация файлов. Операторы ввода-вывода, на экран, в файл. Библиотека стандартных программ. Интерполяция по Лагранжу. Построение полиномов. Линейная и квадратичная интерполяции. Численное дифференцирование. Первые и вторые производные на равномерной сетке. Полиномы различных степеней. Ошибки численного дифференцирования. кубические сплайн функции. Сплайн интерполяция. Численное интегрирование. Определенные и неопределенные интегралы. Гладкие функции. Формулы Ньютона-Котеса (трапеции, Симпсона, <math>3/8...</math>). Ошибки интегрирования. Алгебраическая точность. Интегрирование по методу Гаусса по <math>n</math> точкам (Гаусс-Лежандр). Алгебраическая точность. Ошибки интегрирования. Прагматические ошибки методов интегрирования. Варьирование шага, числа точек разбиения, степени полинома. Интегрирование с весовой функцией. Произвольная весовая функция. Методы аналогичные методам Ньютона-Котеса и Гаусса. Часто встречающиеся весовые функции. Методы Гаусс-Лежандра, Гаусс-Лагерра, Гаусс-Эрмита, Гаусс-Чебышева. Рекомендации. Замена переменных. Изменение масштаба. Разбиение интеграла. Вычитательные процедуры. Многократные интегралы с использованием методов Ньютона-Котеса и Гаусса. Совокупность интегралов. Сведение интегрирования к решению дифференциальных уравнений. Обязательное тестирование программ. Интегрирование с помощью числовых рядов. На 5 семестре опущен метод Филона для быстро осциллирующих функций и метод Монте-Карло. Задача вычисления потенциала заряда с произвольной плотностью. Сферические функции. Сводка формул по свойствам сферических функций. Логика вычислений потенциала заряда с произвольной плотностью (интеграл Пуассона, разложение плотности и кулоновского взаимодействия по сферическим гармоникам, вычисление парциальных вкладов гармоник в потенциал заряда). Задания на дом и для численных расчетов. Изолированный корень. Графический метод. Метод деления пополам. Линейная интерполяция (метод хорд, метод секущих, метод Вигстейна). Параболическая интерполяция. Метод касательных (метод Ньютона-Рафсона). Проблема стартовой точки. Обобщение метода Ньютона на систему двух уравнений. Случай почти равных корней. Позже на 12 неделе, нахождение корней методами оптимизации. Дифференциальные уравнения. Методы Эйлера. Метод Рунге-Кутты 2-го порядка (РК-2), соответствие с рядом Тейлора. Алгебраическая точность. Оценка ошибок. Прагматические ошибки. Свободный параметр в схеме РК-2, его значения для устойчивости. Метод Рунге-Кутты 4-го</p>

	<p>порядка (РК-4). Схемы РК-4. Алгебраическая точность. Оценки ошибок. Свободные параметры. Соответствие с интегрирование по Симпсону. Прагматические ошибки. Самостартующие методы. Скорость счета. Многошаговые методы. Схемы Р-С (Предиктор-Корректор, прогноза-коррекции). Явные и неявные схемы. Метод Адамса 4-го порядка. Метод Нумерова для линейных уравнений второго порядка. Старт многошаговых методов. Оценка ошибок. Прагматические ошибки. Задача решения одномерного уравнения Шредингера в дифференциальном виде. Постулирование вида уравнения. Задача нахождения собственных функций и собственных значений уравнения, нормирование решений. Граничные или асимптотические решения. Различный вид трансцендентных уравнений для нахождения собственных значений. Непрерывность функций и их производных. Непрерывность логарифмических производных. Нули вронскиана. Место сшивки левых и правых решений и независимость собственных значений от места сшивки. Задания на дом и для численных расчетов на РС. Краевая задача для линейного дифференциального уравнения 2-го порядка. Метод стрельбы. Сведение к двум задачам Коши. Сведение к системе линейных уравнений. Метод исключения по Гауссу. Метод прогонки при различных интерполяциях. Квадратичная интерполяция. Тридиагональная матрица. Схемы метода прогонки. Системы линейных уравнений. Обусловленность. Число обусловленности. Метод исключения по Гауссу. Метод итераций Гаусса-Зейделя. Типовые задачи математики, соответствующие распространенным физическим задачам с гладкими решениями. Нахождение собственных значений и собственных векторов. Обращение матриц общего вида. Программа для метода Воеводина. Различные библиотечные программы. Промежуточный зачет с оценкой по итогам выполнения текущих домашних заданий, выполнения лабораторных работ в дисплейном классе, учет посещаемости.</p>
	<p><b>Часть 2</b></p> <p>Проблемы устойчивости и обратная связь. Различные типы «сбоев» и генерация фундаментальных решений. Простые примеры. Устойчивость на примере неопределенных интегралов. Обратные связи в разностных схемах (интеграл и дифференциальное уравнение). Обратная связь в радиотехнике. Исследование однородного разностного уравнения для линейного дифференциального уравнения 1-го порядка на устойчивость. Определение границ устойчивости, границ шума, допустимых ошибок. Выбор схем РК-4 и Адамса-4, устойчивых, малошумящих, с малой ошибкой. Неустойчивость алгоритмов вычислений. Множество числа с плавающей запятой. Существование машинного нуля (обрезание мантиссы). Систематические «ошибки». Пример ошибок округления. Неустойчивость алгоритма вычислений по рекуррентным формулам. Пример чувствительности корню полиномов высокой степени относительно малых вариаций значений коэффициентов. «Проблема» решения произвольного квадратного уравнения на множестве чисел с плавающей запятой. Задача решения одномерного уравнения Шредингера в матричном виде. Запись уравнения Шредингера (<math>H=T+U+V</math>) в матричном виде базиса (<math>H_0=T+U</math>). Обрезание базиса. Задача нахождения собственных функций и собственных значений уравнения, нормирование решений. Анализ решений для низколежащих и высоколежащих состояний. Влияние обрезания. Влияние координатной зависимости возмущающего поля, влияние силы поля. Квазиклассические оценки матричных элементов. Комбинирующие уровни. Сравнение с решением уравнения в дифференциальном виде. Задания на дом и для численных расчетов на РС. Передаточная функция различных разностных схем. Разложение Фурье в курсах теоретической физики. Передаточная функция, фурье-образ, свертка. Дискретизация вычислений. Передаточные функции схем дифференцирования и интегрирования (трапеций, Симпсона, 3/8). Функции искажений. Частота наложения. Интегрирование экспериментальных или табличных</p>

	<p>данных. Сглаживающие фильтры. Задача решения уравнения Шредингера в интегральном виде. Оптимизация. Минимизация многомерной функции. Решение систем нелинейных уравнений. Нахождение корней функции. Метод скорейшего спуска (градиентный метод). Симплекс методы (метод деформируемого многогранника). Программы. Локальные и глобальные минимумы. Медленносходящиеся алгоритмы. Ситуация типа «овраг» и ее разрешение. Книга Химмельблау. Задача решения уравнения Шредингера вариационным методом Ритца. Проблемы интерполяции. Виды интерполирующих функций. Полиномиальная интерполяция. Аппроксимационная теорема Вейерштрасса. Теорема Фабера. Опасность глобальных подгонок. Метод наименьших квадратов (МНК). Метод перевала. Среднее значение для независимых данных, событий. Проведение подходящего многочлена в задаче интерполяции с помощью МНК. Линейная задача. Определитель Гильберта, проблема устойчивости подгонки параметров от числа параметров. Нелинейная задача. МНК как метод интерполяции. Целевая функция. Выбор класса подгоночных функций и числа подгоночных параметров. Учет ошибок и разброса данных (экспериментальных, табличных). Критерий совпадающих моментов. Использование МНК для задач теоретической физики. Экономизация. Многочлены Чебышева. Определения. Явный вид. Свойства полиномов и тригонометрических функций. Рекуррентные соотношения. Прямое и обратное представления. Теорема Чебышева. Применение к задаче интерполяции. Принцип минимакса. Интегрирование по Гауссу-Чебышеву. Экономизация. Идеи и примеры. Метод Ланцоша для линейных дифференциальных уравнений 1-го порядка. Обзор прочитанных материалов 5 семестра, увязка с материалами следующих семестров. ЛИТЕРАТУРА ОСНОВНАЯ 1.518Б48 Березин И.С., Жидков Н.П. Методы вычислений, тома 1 и 2, ФМЛ, 1962. *518Х37 Хемминг Р.В. Численные методы Наука-1972 *Книги находятся в читальных залах</p>
--	---

## 6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В курсе используются традиционные образовательные технологии: лекции, включая разбор наиболее важных задач и примеров, лабораторные работы в специализированных компьютерных классах.

## 7. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения представлена в следующей таблице:

Компетенция	Индикаторы освоения	Аттестационное мероприятие (КП 1)
ПК-3	З-ПК-3	З, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-3	З, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-3	З, КИ-8, КИ-16
ПК-9	З-ПК-9	З, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-9	З, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-9	З, КИ-8, КИ-16

## Шкалы оценки образовательных достижений

Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

Сумма баллов	Оценка по 4-ех балльной шкале	Оценка ECTS	Требования к уровню освоению учебной дисциплины
90-100	5 – «отлично»	A	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы.
85-89	4 – «хорошо»	B	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
75-84		C	
70-74		D	
65-69	3 – «удовлетворительно»	E	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.
60-64			
Ниже 60	2 – «неудовлетворительно»	F	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

## 8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

### ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 519 С17 Введение в численные методы : учебное пособие для вузов, Самарский А.А., Санкт-Петербург [и др.]: Лань, 2009
2. 519 С17 Задачи и упражнения по численным методам : , Самарский А.А., Вабищевич П.Н., Самарская Е.А., М.: УРСС, 2003

3. 519 В31 Основы численных методов : учебник для вузов, Вержбицкий В.М., Москва: Высшая школа, 2009
4. 530 Л22 Теоретическая физика Т.3 Квантовая механика. Нерелятивистская теория, Ландау Л.Д., Москва: Физматлит, 2024
5. 53 Л22 Теоретическая физика Т.5 Статистическая физика. Ч.1, Ландау Л.Д., Москва: Физматлит, 2005
6. ЭИ Р28 Численные методы. Компьютерный практикум : учебно-методическое пособие для вузов, Рашиков В.И., Москва: НИЯУ МИФИ, 2010

#### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 519 В67 Численные ряды : учеб. пособие, Волков Е.А., СПб [и др.]: Лань, 2004

#### ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

#### LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

<https://online.mephi.ru/>

<http://library.mephi.ru/>

### **9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

### **10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ**

Методические рекомендации по освоению теоретического материала

Для успешного изучения курса необходимо придерживаться определенной методики занятий. Основное условие успеха — систематические занятия.

Для успешного освоения теоретической части курса необходимо регулярно посещать лекции и вести конспект. После каждой лекции следует внимательно разбирать лекционный материал, причём при необходимости следует проделывать некоторые дополнительные выкладки, если такие были оставлены лектором для самостоятельной работы. Перед началом каждой лекции имеет смысл просмотреть конспект, чтобы усвоение нового материала проходило лучше, так как в большинстве случаев изложение опирается на материал, прочитанный на предыдущих занятиях.

Для полного освоения курса недостаточно изучать лишь лекционный материал. В ходе освоения курса следует читать книги, предложенные в списке литературы по курсу. Настоятельно рекомендуется также использовать литературу, обозначенную как «дополнительная», а также самостоятельно или с помощью преподавателя искать и другие источники. При работе с литературой следует проделывать все или хотя бы основные выкладки.

Важно осознавать, что только самостоятельно проделанные выкладки приводят к пониманию материала.

Методические рекомендации для подготовки к семинарским занятиям и решению задач

Программа курса и семестровый календарный план составлены так, что темы семинарских занятий следуют за темами лекций. И программа курса, и семестровый календарный план доступны каждому студенту на сайте учебного управления университета. Подготовиться к очередному семинарскому занятию - это, прежде всего, проработать лекционный материал, согласно методическим рекомендациям. Все невыясненные вопросы теории можно (и нужно) задать преподавателю в начале семинарского занятия. На семинаре, как правило, разбираются вопросы и качественные задачи, дающие возможность более глубоко постичь изучаемый раздел курса. Кроме того, на семинаре учат правильно ставить и решать задачи, анализировать решение задач. По пройденной на семинаре теме даются задачи для самостоятельного (домашнего) решения. Усвоение курса во многом зависит от осмысленного выполнения домашнего задания, вдумчивого решения большого количества задач.

При решении задач целесообразно руководствоваться следующими правилами:

1. Прежде всего нужно хорошо вникнуть в условие задачи, записать кратко ее условие.
2. Следует прикинуть, какие основные законы и уравнения и в каких приближениях следует использовать и записать их, после чего попытаться решить.
3. Задача должна быть сначала решена в максимально общем виде.
4. Получив решение в общем виде, нужно проверить, правильную ли оно имеет размерность.
5. Если это возможно, исследовать поведение решения в предельных случаях и изобразить характер изучаемой зависимости графически.
6. Если возможно, при получении того или иного результата, следует указать границы его применимости.

Решение задачи принесет наибольшую пользу только в том случае, когда обучающийся решит ее самостоятельно. Решить задачу без помощи часто не всегда удастся, но тем не менее попытки найти решение развивают мышление и укрепляют волю. Необходимо понимать, что для некоторых задач не удастся быстро найти решение, ведь решение задач относится к научной деятельности, которая предполагает творческий подход и длительное время обдумывания.

Из сказанного вытекает, что решение задач ни в коем случае не следует откладывать на последний вечер перед занятиями, как, к сожалению, нередко поступают студенты. В этом случае более сложные и притом наиболее содержательные и полезные задачи заведомо не могут быть решены.

В рекомендуемых сборниках задач, в разделе, который следует за ответами, содержатся указания к решению более трудных задач. Обращаться к ним нужно лишь после того, как несколько попыток решить задачу не приведут к успеху.

Методические рекомендации для подготовки к контрольным и проверочным работам

Контрольные работы проводятся для проверки качества усвоения материала и выполнения домашних заданий студентами. Они основываются строго на пройденном материале и не выходят за рамки излагаемого курса. Своевременное изучение лекционных материалов и выполнение домашних заданий гарантирует успешное выполнение контрольных и проверочных работ. При подготовке следует руководствоваться общепринятыми установками, т.е. повторить изученный материал, запомнить основные идеи, принципы и результаты курса. Не следует пытаться «вызубрить» материал, достаточно понять и запомнить

логику вывода тех или иных результатов и решения задач и осознать их физический и математический смысл. При выполнении контрольной или проверочной работы необходимо записывать все основные шаги при решении задачи, не «перескакивая» к какому-то промежуточному или окончательному результату без каких-либо на то физических или математических обоснований.

Работа должна быть записана так, чтобы была понятна логика решения задач, при этом строгих правил оформления задач нет. Окончательный ответ необходимо выделить каким-либо способом так, чтобы проверяющему было понятно, что это и есть ответ к задаче.

## **11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ**

Проведение практических занятий и выполнение самостоятельных работ

Студенты должны, используя полученный на лекциях материал, научиться решать задачи по курсу.

Следует использовать различные приемы вовлечения студентов в процесс освоения учебного материала:

- опрос студентов по содержанию прочитанных лекций;
- вызов студентов к доске для решения текущих задач;
- самостоятельное решение задачи со сверкой промежуточных и конечного результатов решения;
- показ преподавателем на доске решения типовых задач;
- самостоятельная работа над заданиями.

Организация контроля

Контроль знаний осуществляется путем проведения контрольных или самостоятельных работ с последующей проверкой.

На каждом семинаре выдается домашнее задание, которое обязательно проверяется в индивидуальном порядке. Также в курсе может быть выдано т.н. большое домашнее задание. Большие домашние задания (БДЗ) предназначены для самостоятельной работы студентов с последующей проверкой преподавателем. Как правило, сдача БДЗ проходит в виде устной защиты в середине или в конце учебного семестра, но форма и время проверки может быть изменена на усмотрение преподавателя.

На основании этих результатов выставляется внутрисеместровый зачет.

Проведение зачетов и экзаменов

Для допуска к зачету или экзамену необходимо иметь положительные оценки по каждой теме. Во время зачета студент получает индивидуальный билет и готовит ответы на вопросы по курсу.

Автор(ы):

Сафонов Илья Витальевич

Рецензент(ы):



Корнеев Ф.А.