Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«ДАГЕСТАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Физический факультет

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Численные методы в физике

Кафедра Общей и теоретической физики
Физического факультета

Образовательная программа
03.04.02 «ФИЗИКА»

Профиль подготовки
Физика плазмы
Физика наносистем

Уровень высшего образования – ***Магистр***

Форма обучения – ***очная***

Махачкала 2021 год

Рабочая программа дисциплины «Численные методы в физике» составлена в 2021 году в соответствии с требованиями ФГОС ВО- магистратура по направлению подготовки 03.04.02 «Физика» от «7» августа 2020г. № 914

Разработчик(и): кафедра Общей и теоретической физики, к.ф.-м.н., доцент Магомедов М.А.

Рабочая программа дисциплины одобрена:
на заседании кафедры общей и теоретической физики от «03» марта 2021 г., протокол № 6

Зав. кафедрой Муртазаев А.К.

На заседании Методической комиссии Физического факультета от « 30» июня 2021 г., протокол №10

Председатель Мурлиева Ж.Х.

Рабочая программа дисциплины согласована с учебно-методическим управлением « 09» июля 2021 г.

Начальник УМУ ______________. Гасангаджиева А.Г

Аннотация рабочей программы дисциплины

Дисциплина «**Численные методы в физике**» входит в ***вариативную*** обязательную часть образовательной программы ***магистратуры*** по направлению 03.04.02 «Физика».

Дисциплина реализуется на физическом факультете кафедрой Общей и теоретической физики.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с основами вычислительной физики, методами вычислительной физики, способами математического моделирования.

Дисциплина нацелена на формирование следующих компенсаций выпускника:
универсальных – УК-1
профессиональных – ПК-4.

Преподавание дисциплины предусматривает проведение следующих видов учебных занятий: лекции, практические занятия, самостоятельная работа.
Рабочая программа дисциплины предусматривает проведение следующих видов контроля успеваемости в форме контрольная работа и промежуточный контроль в форме зачета.

Объем дисциплины **3** зачетных единиц, в том числе в академических часах по видам учебных занятий – 108 часа.

<table>
<tr><th rowspan="5">Семестр</th><th colspan="8">Учебные занятия</th><th rowspan="5">Форма промежуточной аттестации (зачет, дифференцированный зачет, экзамен</th></tr>
<tr><th colspan="8">в том числе</th></tr>
<tr><th colspan="7">Контактная работа обучающихся с преподавателем</th><th rowspan="3">СРС, в том числе экзамен</th></tr>
<tr><th rowspan="2">Всего</th><th rowspan="2">Всего</th><th colspan="5">из них</th></tr>
<tr><th>Лекции</th><th>Лабораторные занятия</th><th>Практические занятия</th><th>КСР</th><th>консультации</th></tr>
<tr><td>9</td><td>108</td><td>32</td><td>16</td><td></td><td>16</td><td></td><td></td><td>76</td><td>зачет</td></tr>
</table>

1. Цели освоения дисциплины.

Целью освоения дисциплины "Численные методы" является знакомство студентов с основными численными методами и реализующими их алгоритмами, а также подготовка студентов к решению практических задач с использованием численных методов.

Ускорение научно-технического процесса, проникновение ЭВМ во все сферы деятельности человека, повышение роли ЭВМ в фундаментальных и прикладных исследованиях связи с необходимостью широкого использования математических моделей и компьютерного моделирования.

Таким образом, дисциплина «**Численные методы в физике**» имеет целью:

- Ознакомить студентов с методами вычислительной физики;
- научить студентов разработке математических моделей физических объектов и магнитных материалов;
- дать навыки постановки численного эксперимента;
- ознакомить с методами обработки и интерпретации результатов компьютерного моделирования.

В курсе излагаются основы вычислительной физики, методы вычислительной физики и способы их математического моделирования.

Курс включает лекционные и практические занятия.

2. Место дисциплины в структуре ОПОП магистратуры.

Дисциплина «**Численные методы в физике**» входит в базовый компонент цикла естественнонаучных и математических (ЕН и М) дисциплин и является обязательной для изучения.

Для изучения дисциплины «**Численные методы в физике**» студент должен знать: первоначальные знания из курсов математического анализа, линейной алгебры, обыкновенных дифференциальных уравнений, уравнений математической физики. Знания и умения, практические навыки, приобретенные студентами в результате изучения дисциплины, будут использоваться при изучении курсов математического моделирования, вычислительного практикума, при выполнении курсовых и дипломных работ, связанных с математическим моделированием и обработкой наборов данных, решением конкретных задач из механики, физики и т.п.

3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (перечень планируемых результатов обучения).

Код компетенции из ФГОС ВО	Наименование компетенции из ФГОС ВО	Планируемые результаты обучения
УК-1	Способность осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий.	**Знать**: методы системного и критического анализа; **Уметь**: применять методы системного подхода и критического анализа проблемных ситуаций; **Владеть:** методологией системного и критического анализа проблемных ситуаций.
ПК-4	Способность планировать работу и выбирать адекватные методы решения научно-исследовательских задача выбранной области физики и смежных с физикой науках	**Знает:** теоретические и экспериментальные основы современных методов исследований изучаемых процессов и явлений. **Умеет:** самостоятельно ставить задачу и решать ее; использовать достижения современных информационно-коммуникационных технологий для выполнения экспериментальных и теоретических исследований; анализировать и интерпретировать результаты эксперимента на основе современных теоретических моделей; правильно организовать и планировать эксперимент; правильно применять различные теоретические модели для анализа результатов эксперимента. **Владеет:** основами современных методов экспериментальных исследований в данной области науки; основами теоретических разработок в своей области исследований; адекватными методами планирования и решения научно-исследовательских задач в выбранной области физики и смежных с физикой науках; - навыками сбора, обработки, анализа и систематизации информации по теме исследования; - владеет логикой научного исследования, терминологическим аппаратом научного исследования в выбранной области физики и смежных с физикой науках; - современной аппаратурой и информационными технологиями для применения и внедрения результатов научной деятельности

4. Объем, структура и содержание дисциплины.

4.1. Объем дисциплины составляет _3_зачетных единиц,_
____108_кадемических часов.

4.2. Структура дисциплины.

№ п/п	Разделы и темы дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Самостоятельная работа	Формы текущего контроля успеваемости *(по неделям семестра)* Форма промежуточной аттестации *(по семестрам)*
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Контроль самост. раб.		
	Модуль 1.								
1.	Численные методы в физике: основные понятия, постановка задачи.	9		2				8	Проверка домашнего задания, самостоятельная работа
2.	Приближение функций. Интерполяция функций. Подбор эмпирических формул. Линейная и квадратичная интерполяция. Интерполяционный многочлен Лагранжа.	9		2	2			8	Проверка домашнего задания, самостоятельная работа
3.	Приближение функций. Аппроксимация функций. Метод наименьших квадратов.	9			2			10	Проверка домашнего задания, самостоятельная работа
	ВСЕГО ЗА МОДУЛЬ 1.			**4**	**4**			**26**	
	Модуль 2.								
4.	Методы численного интегрирования. Методы прямоугольников, трапеций. Метод Симпсона.	9		2	2			6	Проверка домашнего задания, самостоятельная работа
5.	Методы численного интегрирования. Метод Монте-Карло.	9		2	2			6	Проверка домашнего задания,

									самостоятельная работа
6.	Численные методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений.	9		2	2			6	Проверка домашнего задания, самостоятельная работа
7.	Решение дифференциальных уравнений второго порядка.	9			2			4	Проверка домашнего задания, самостоятельная работа
	ВСЕГО ЗА МОДУЛЬ 2.			**6**	**8**			**22**	
	Модуль 3.								
8.	Численные методы решения нелинейных уравнений.	9		2	2			8	Проверка домашнего задания, самостоятельная работа
9.	Численные методы минимизации. Нахождение экстремумов функций.	9		2	1			8	Проверка домашнего задания, самостоятельная работа
10.	Численные методы минимизации функций многих переменных. Симплексный метод.	9		2	1			10	Проверка домашнего задания, самостоятельная работа
	ВСЕГО ЗА МОДУЛЬ 3.			**6**	**4**			**26**	
	ИТОГО:			**16**	**16**			**76**	

4.3. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам).

Модуль 1.

Тема 1. Численные методы в физике: основные понятия, постановка задачи.

Основные этапы численного решения задачи на ЭВМ Решение прикладных задач математической физики с использованием ЭВМ можно разбить на несколько этапов:

1) Физическая постановка задачи. На этом этапе осуществляется физическая постановка задачи и намечается путь ее решения.

2) Математическое моделирование. На этом этапе строится или выбирается математическая модель, описывающая соответствующую физическую задачу. Модель должна адекватно описывать основные законы физического процесса.

3) Выбор численного метода. Для решения задачи необходимо найти численный метод, позволяющий свести ее к некоторому вычислительному алгоритму.

4) Разработка алгоритма решения задачи. Алгоритм решения задачи записывается как последовательность логических и арифметических операций. Алгоритм можно представить в виде блок-схемы или стилизованной диаграммы.

5) Составление программы. Программа, реализующая алгоритм решения задачи, записывается на одном из языков программирования высокого уровня (это зависит от математического обеспечения ВЦ, где предполагается решение задачи).

6) Отладка программы. Отладка программы состоит из 2-х этапов: тестирование и исправление ошибок.

7) Счет по отлаженной программе. На этом этапе готовятся исходные данные для рассчитываемых вариантов, и осуществляется счет по отлаженной программе.

8) Анализ результатов счета. Полученные с помощью ЭВМ результаты численного счета анализируются, сравниваются с экспериментальными данными, и оформляется соответствующая научно-техническая документация.

9) Внедрение полученных результатов.

Погрешности вычислений.

Отклонение истинного решения от приближенного назовем погрешностью. Существуют четыре источника погрешностей, возникающих в результате численного решения задачи.

Математическая модель. Погрешность математической модели связана с ее приближенным описанием реального объекта. Например, если при моделировании экономической системы не учитывать инфляции, а считать цены постоянными, трудно рассчитывать на достоверность результатов.

Погрешность математической модели называется неустранимой. Будем в дальнейшем предполагать, что математическая модель фиксирована и ее погрешность учитывать не будем.

Исходные данные. Исходные данные как правило содержат погрешности, так как они либо неточно измерены, либо являются результатом решения некоторых вспомогательных задач. Например, масса снаряда, производительность оборудования, предполагаемая цена товара и др. Во многих физических и технических задачах погрешность измерений составляет 1 – 10%. Погрешность исходных данных так же, как и погрешность математической модели, считается неустранимой.

Погрешность метода. Применяемые для решения задачи методы как правило являются приближенными. Например, заменяют интеграл суммой, функцию – многочленом, производную – разностью и т. д. Погрешность метода необходимо определять для конкретного метода. Обычно ее можно оценить и проконтролировать. Следует выбирать погрешность метода так, чтобы она была не более чем на порядок меньше неустранимой погрешности. Большая погрешность снижает точность решения, а меньшая требует значительного увеличения объема вычислений.

Вычислительная погрешность. Погрешность округления возникает из-за того, что вычисления производятся с конечным числом значащих цифр (для современных ЭВМ это, в зависимости от используемых переменных, составляет 10 – 18 знаков). Округление производят по следующему правилу: если в старшем из отбрасываемых разрядов стоит цифра меньше пяти, то содержимое сохраняемых разрядов не изменяется; в противном случае в младший сохраняемый разряд добавляется единица с тем же знаком, что и у самого числа. При решении больших задач производятся миллиарды вычислений, но так как погрешности имеют разные знаки, то они частично взаимокомпенсируются.

Вычислительные методы. Под вычислительными методами понимают методы, которые используются для преобразования задач к виду, удобному для реализации на ЭВМ. Рассмотрим два класса вычислительных методов, которые часто используются на практике.

Прямые методы. Метод решения задачи называется прямым, если он позволяет получить решение после выполнения конечного числа элементарных операций.

Итерационные методы. Суть итерационных методов состоит в построении последовательных приближений к решению задачи. Вначале выбирают одно или несколько начальных приближений, а затем последовательно, используя найденные ранее приближения и однотипную процедуру расчета, строят новые приближения. В результате такого итерационного процесса можно теоретически построить бесконечную последовательность приближений к решению. Если эта последовательность сходится (что бывает не всегда), то говорят, что итерационный метод сходится. Отдельный шаг итерационного процесса называется итерацией.

Тема 2. Приближение функций. Интерполяция функций. Подбор эмпирических формул. Линейная и квадратичная интерполяция. Интерполяционный многочлен Лагранжа.

Задача приближения (аппроксимации) функций заключается в том, чтобы для данной функции построить другую, отличную от нее функцию, значения которой достаточно близки к значениям данной функции. Такая задача возникает на практике достаточно часто. Укажем наиболее типичные случаи.

1. Функция задана таблицей в конечном множестве точек, а вычисления нужно произвести в других точках.
2. Функция задана аналитически, но ее вычисление по формуле затруднительно.

При решении задачи поиска приближенной функции возникают следующие проблемы:

1. Необходимо выбрать вид приближенной функции. Для приближения широко используются многочлены, тригонометрические функции, показательные функции и т. д.
2. Необходимо выбрать критерий близости исходной и приближенной функции. Это может быть требование совпадения обеих функций в узловых точках (задача интерполяции), минимизация среднеквадратического уклонения (метод наименьших квадратов) и др.
3. Необходимо указать правило (алгоритм), позволяющее с заданной точностью найти приближение функции.

Классический подход к решению задачи построения приближающей функции основывается на требовании строгого совпадения значений $f(x)$ и $F(x)$ в точках $x_i (i = 1, 2, 3, \ldots, n)$, т.е.

$$F(x_1) = y_1,\ F(x_2) = y_2,\ \ \ldots,\ \ F(x_n) = y_n.$$

В этом случае нахождение приближенной функции называют ***интерполяцией*** (или *интерполированием*), а точки $x_1, x_2, \ldots, x_n$ – *узлами интерполяции*.

Тема 3. Приближение функций. Аппроксимация функций. Метод наименьших квадратов.

Пусть в результате измерений в процессе опыта получено табличное задание некоторой функции *f(x),* выражающей связь между двумя географическими параметрами:

x	x_1	x_2	…	x_n
$f(x)$	y_1	y_2	…	y_n

Конечно, можно найти формулу, выражающую эту зависимость аналитически, применив метод интерполяции. Однако, совпадение значений полученного аналитического задания функции в узлах интерполяции с имеющимися эмпирическими данными часто может вовсе не означать совпадение характеров поведения исходной и интерполирующей функции на всем интервале наблюдения. Кроме того, табличная зависимость показателей всегда получается в результате измерений различными приборами, имеющими определенную и не всегда достаточно малую погрешность измерения. Требование точного совпадения значений приближающей и приближаемой функций в узлах является тем более неоправданным, если значения функции $f(x)$, полученные в результате измерений уже сами являются приближенными.

Задача аппроксимации функции одной переменной с самого начала обязательно учитывает характер поведения исходной функции на всем интервале наблюдений.

На практике вид приближающей функции чаще всего определяют путем сравнения вида приближенно построенного графика функции y = f(x) с графиками известных исследователю функций, заданных аналитически (чаще всего простых по виду элементарных функций). А именно, по таблице экспериментальных данных строится точечный график f(x), затем проводится плавная кривая, по возможности наилучшим образом отражающая характер расположения точек. По полученной таким образом кривой на качественном уровне устанавливается вид приближающей функции.

Метод наименьших квадратов.

Через имеющееся ―облако‖ точек всегда можно попытаться провести линию установленного вида, которая является наилучшей в определенном смысле среди всех линий данного вида, то есть ―ближайшей‖ к точкам наблюдений по их совокупности. Для этого определим вначале понятие близости линии к некоторому множеству точек на плоскости. Меры такой близости могут быть различными. Однако, любая разумная мера должна быть, очевидно, связана с расстоянием от точек наблюдения до рассматриваемой линии (задаваемой уравнением $y=F(x)$).

Предположим, что приближающая функция $F(x)$ в точках $x_1, x_2, ..., x_n$ имеет значения $y_1, y_2, ..., y_n$. Часто в качестве критерия близости используется минимум суммы квадратов разностей наблюдений зависимой переменной y_i и теоретических, рассчитанных по уравнению регрессии значений $\underline{y}_i$. Здесь считается, что y_i и x_i – известные данные наблюдений, а F - уравнение линии регрессии с неизвестными параметрами (формулы для их вычисления будут приведены ниже). Метод оценивания параметров приближающей функции, минимизирующий сумму квадратов отклонений наблюдений зависимой переменной от значений искомой функции, называется ***методом наименьших квадратов (МНК)*** или **Least Squares Method (LS)**.

Модуль 2.

Тема 4. Методы численного интегрирования. Методы прямоугольников, трапеций. Метод Симпсона. Метод Монте-Карло.

При решении многих задач в различных областях физики сталкиваются с вычислением интегралов. Пусть требуется вычислить определенный интеграл:

$$J=\int_a^b f(x)dx. \tag{4.1}$$

Если функция $f(x)$ непрерывна на отрезке $[a, b]$, то интеграл (4.1) существует и может быть вычислен по формуле Ньютона-Лейбница

$$J=\int_a^b f(x)dx=F(b)-F(a). \tag{4.2}$$

Однако далеко не всегда удается выразить первообразную $F(x)$ через элементарные функции. Также часто подынтегральная функция бывает задана не аналитически, а таблично или в виде ряда. В этих случаях применяется приближенное численное интегрирование. Многие методы численного интегрирования достаточно просты, легко могут быть реализованы на ЭВМ и позволяют вычислить значение интеграла с любой наперед заданной точностью.

Основная идея численного интегрирования заложена в определении интеграла как предела интегральной суммы:

$$J=\int_a^b f(x)dx=\lim_{\Delta x\to 0}\sum_{i=0}^{n-1} f(\xi_i)\Delta x. \tag{4.3}$$

где $\Delta x=(b-a)/n$, $\xi_i\in[x_i,x_{i+1}]$.

Рассмотрим некоторые наиболее популярные численные методы вычисления определенных интегралов.

Метод прямоугольников. Метод прямоугольников основана на замене подынтегральной функции f(x) кусочно-постоянной функцией.

Метод трапеций. Формула трапеций аналогична формуле прямоугольников, но в отличие от нее подынтегральная функция $f(x)$ на каждом интервале $[x_i,x_{i+1}]$ заменяется отрезком прямой

Метод Симпсона (формула парабол). Эта формула впервые была предложена английским математиком Симпсоном и обладает более высокой точностью по сравнению с другими рассмотренными нами методами. Формула Симпсона основана на замене подынтегральной функции $f(x)$ на отрезке $[a, b]$ дугой параболы

Таким образом, обобщая перечисленные методы, приведем все формулы в единой таблице:

Метод	$h = (b - a)/n$
Прямоугольников	$S = h\sum_{i=0}^{n-1} f(a + ih)$
	$S = h\sum_{i=0}^{n-1} f(a + ih + h)$
	$S = h\sum_{i=0}^{n-1} f(a + ih + 0.5h)$
Трапеций	$S = h\left\{0.5\left[f(a) + f(b)\right] + \sum_{i=1}^{n-1} f(a + ih)\right\}$
Симпсона	$S = \frac{h}{6}\left\{ f(a) + f(b) + 4f(b - 0.5h) + \sum_{i=1}^{n-1}\left[2f(a + ih) + 4f(a + ih - 0.5h)\right] \right\}$

Тема 5. Методы численного интегрирования. Методы прямоугольников, трапеций. Метод Симпсона. Метод Монте-Карло.

Метод Монте-Карло. В математике методами Монте-Карло принято называть численные методы, использующие случайные величины. Отметим, что методы Монте-Карло широко используются не только при вычислении определенных интегралов, но и при моделировании различных систем во многих областях науки.

Для вычисления интегралов методом Монте-Карло существует два универсальных простейших способа. Универсальными эти способы считаются потому, что они не накладывают на функцию никаких требований (гладкости, монотонности и пр.), а потому применимы для любых функций.

- **Первый** способ основан на нахождении среднего значения подынтегральной функции на области интегрирования;
- **второй** – на геометрической интерпретации интеграла как площади (или объема, если интеграл многомерный).

Тема 6. Численные методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений.

В данной теме будут рассмотрены различные методы численного решения дифференциальных уравнений. Рассмотрим задачу Коши

$$\begin{cases} y' = f(x, y) \\ y(x_0) = y_0 \end{cases}. \tag{6.1}$$

При определенных ограничениях, наложенных на функцию f(x, y) (будем предполагать, что эти условия выполняются), задача (5.1) имеет единственное решение.

При численном решении задачи (5.1) требуется определить значение неизвестной функции y(x) в некоторой точке b. Для решения поставленной задачи интервал [a, b] (будем предполагать, что x0 = a) разбивают на n частей с точками разбиения x1, x2, x3, …, xn = b. Затем по приближенным формулам последовательно вычисляют значения y1 = y(x1), y2 = y(x2), y3 = y(x3), …, yn = y(xn). Множество {xi} называют сеткой интегрирования, точки xi – узлами сетки:

$$x_i = a + ih \ , \tag{6.2}$$

где h – шаг интегрирования, определяемый по формуле

$$h = (b - a)/n. \tag{6.3}$$

Большинство приближенных методов решения дифференциальных уравнений основаны на представлении уравнения (5.1) в виде $dy = f(x, y)dx$, и последующем его интегрировании в пределах от xi до xi+1:

$$y_{i+1} - y_i = \int_{x_i}^{x_{i+1}} f(x, y)dx \ , \tag{6.4}$$

или

$$y_{i+1} = y_i + \int_{x_i}^{x_{i+1}} f(x, y)dx \ . \tag{6.5}$$

Формула (5.5) является исходным для большинства методов. Сами методы в основном отличаются по дополнительным предположениям, которые принимаются при вычислении приращения, заданного в правой части (5.5) в виде определенного интеграла.

Метод Эйлера

В методе Эйлера интеграл $\int_{x_i}^{x_{i+1}} f(x,y)dx$ в правой части формулы (6.5) вычисляется с помощью формулы левых прямоугольников:

$$\int_{x_i}^{x_{i+1}} f(x, y)dx = \int_{x_i}^{x_{i+1}} f(x_i, y_i)dx = hf(x_i, y_i). \tag{6.6}$$

Таким образом, формула (5.4) теперь примет вид:

$$y_{i+1} = y_i + hf\left(x_i, y_i\right). \tag{6.7}$$

Модифицированный метод Эйлера

Более точным является модифицированный метод Эйлера, в котором используется следующая формула:

$$y_{i+1} = y_i + hf\left\{x_i + \frac{h}{2}, y_i + \frac{h}{2} f\left(x_i, y_i\right)\right\}. \tag{6.8}$$

Таблица 5.1. Формулы численного решения ОДУ.

Метод	
	$h = (\mathrm{b} - a)/n$, $x_i = a + ih$, $x_{i+1} = x_i + h$
Эйлера	$y_{i+1} = y_i + hf\left(x_i\right)$
Эйлера модифицированный	$y_{i+1} = y_i + hf\left(x_i + 0.5h\right)$
Эйлера-Коши	$y_{i+1} = y_i + 0.5h\left[f\left(x_i\right) + f\left(x_i + h\right)\right]$
Рунге-Кутты 2	$k_1 = f\left(x_i\right)$ $k_2 = f\left(x_i + h\right)$ $y_{i+1} = y_i + 0.5h\left(k_1 + k_2\right)$
Рунге-Кутты 3	$k_1 = f\left(x_i\right)$ $k_2 = f\left(x_i + 0.5h\right)$ $k_3 = f\left(x_i + h\right)$ $y_{i+1} = y_i + h\left(k_1 + 4k_2 + k_3\right)/6$
Рунге-Кутты 4	$k_1 = f\left(x_i\right)$ $k_2 = k_3 = f\left(x_i + 0.5h\right)$ $k_4 = f\left(x_i + h\right)$ $y_{i+1} = y_i + h\left(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4\right)/6$

Тема 7. Решение дифференциальных уравнений второго порядка.

Данная тема является продолжением предыдущей и рассматривает методы численного решения дифференциальных уравнений второго порядка.

Пусть дано дифференциальное уравнение второго порядка в форме задачи Коши:

$$\begin{cases} y' = f(x, y, y') \\ y'(x_0) = y'_0 \\ y(x_0) = y_0 \end{cases} . \qquad (7.1)$$

Для численного интегрирования задачи (6.1) его следует сначала преобразовать к нормальной системе второго порядка. Для этого введем следующие обозначения:

$$y' = f_1(x, y, y'), \qquad (7.2)$$

и получим в общем виде систему уравнений (задачу Коши):

$$\begin{cases} y' = f(x, y, y') \\ y' = f_1(x, y, y') \end{cases} \qquad (7.3)$$

при:

$$\begin{cases} y'(x_0) = y'_0 \\ y(x_0) = y_0 \end{cases} . \qquad (7.4)$$

Таким образом, все рассмотренные в предыдущей работе численные методы решения дифференциальных уравнений первого порядка могут быть применены и для решения дифференциальных уравнений второго порядка.

Модуль 3.

Тема 8. Численные методы решения нелинейных уравнений.

Пусть дано уравнение

$$f(x)=0, \qquad (8.1)$$

где функция $f(x)$ определена и непрерывна на интервале $a \le x \le b$.

Функцию f(x) называют алгебраической функцией, если для получения значения функции по данному x необходимо выполнить арифметические операции и возведение в степень с рациональным показателем. Функцию f(x) называют трансцендентной, если она содержит логарифмическую, показательную, тригонометрические, обратные тригонометрические и другие функции. Если в уравнение (7.1) входят только алгебраические функции, то уравнение называют алгебраическим. Если в записи уравнения (7.1) содержится трансцендентная функция, то уравнение называют трансцендентным.

Корнем уравнения (7.1) или нулем функции $f(x)$ называется всякое значение ξ, обращающее функцию $f(x)$ в нуль, то есть такое, что $f(\xi) = 0$,. Предположим, что уравнение (7.1) имеет лишь ***изолированные*** корни, то есть для каждого корня существует окрестность, не содержащая других корней этого уравнения.

В общем случае задача нахождения всех или некоторых корней уравнения (7.1) распадается на три подзадачи:

1. определение количества, характера и расположения корней;
2. нахождение приближенных значений корней;
3. выбор интересующих корней и нахождение их с заданной точностью.

Будем считать, что уравнение (7.1) имеет только действительные корни. Тогда нахождение корней с заданной точностью необходимо проводить в два этапа:

1. отделение корней, т.е. нахождение достаточно малых промежутков, в которых содержится один и только один корень данного уравнения;
2. уточнение приближенных корней, т.е. нахождение корней с заданной точностью.

Процесс отделения корней можно проводить различными способами. Широко используемые способы отделения корней – графический и аналитический (табличный).

Предположим, что мы отделили корни уравнения (7.1). Для уточнения корней используются различные приближенные методы (метод половинного деления (бисекции), метод хорд, метод Ньютона (касательных), метод секущих, метод итераций).

Тема 9. Численные методы минимизации. Нахождение экстремумов функций.

При решении различных физических задач часто сталкиваются с необходимостью нахождения минимального или максимального значения некоторой функции $y = f(x)$. Так как простой заменой функции $f(x)$ на $-f(x)$ задача нахождения максимума может быть заменена задачей нахождения минимума то достаточно рассмотреть случай поиска минимума функции. Для решения данной задачи аналитически часто вычисляют производную $f'(x)$ от исходной функции и находят решение уравнения $f'(x) = 0$. В этом случае задача сводится к предыдущей. В большинстве случаев из-за сложности исходной функции задача не подается аналитическому решению.

Таким образом, задачей данной темы является нахождение минимумов (или максимумов) функции $f(x)$ на некотором интервале $[a, b]$.

Точка минимума ξ называется **локальной**, если существует окрестность этой точки δ, для которой выполняется условие:

$$f(\xi) \le f(x), \quad \forall x \in [\xi-\delta, \xi+\delta], \quad x \in [\xi-\delta, \xi+\delta]. \tag{9.1}$$

Точка минимума ξ называется **глобальной**, если для нее выполняется условие:

$$f(\xi) \le f(x), \quad \forall x \in [\xi-\delta, \xi+\delta]. \quad x \in [a, b]. \tag{9.2}$$

Если вместо знака неравенства или равенства стоит просто знак неравенства, то говорят, что ξ является точкой строгого **локального** или **глобального** минимума. На рисунке 8.1. точки ξ_1, ξ_2, ξ_3, ξ_4 и ξ_5 являются точками локального минимума, а точка ξ_2 является к тому же и точкой глобального минимума на интервале $[a, b]$.

При нахождении минимума функции, как и при решении нелинейных уравнений, вначале следует провести локализацию, т.е. определить отрезок локализации $[a, b]$, на котором существует только одна точка локального минимума, а затем приступить к этапу итерационного уточнения.

Общего алгоритма определения отрезка локализации не существует, поэтому для каждой отдельной задачи проводят ее предварительный анализ, либо вычисляют на основе такой же задачи, решенной ранее.

Одним из самых простых способов локализации минимума является метод сеток. Он заключается в следующем:

На отрезке $[a, b]$ строится равномерная сетка из n точек с координатами $x_0, x_1, \ldots, x_n$. При этом координаты точек вычисляются по формуле:

$$x_i = a + ih, \qquad i = 0, 1, 2, \ldots n \tag{9.3}$$

где $h = (b-a)/n$.

Вычисляются значения функции в узлах $f(x_i)$. Если для какой-то точки выполняется условие:

$$f(x_{i-1}) > f(x_i) < f(x_{i+1}), \qquad i = 1, 2, \ldots, n-1 \tag{9.4}$$

то на интервале $[x_{i-1}, x_{i+1}]$ находится локальный минимум.

Если условие (8.4) выполнится для нескольких точек, то на интервале будут располагаться несколько локальных минимумов. В этом случае следует провести процедуру уточнение для каждой отдельной области локализации. Вследствие чего мы найдем несколько локальных минимумов $\xi_1, \xi_2, \ldots \xi_n$.

Если в задаче требуется найти также и точку глобального минимума, то среди найденных значений локального минимума надо найти наименьшее.

Методы итерационного уточнения условно делятся на три группы:

1. К первой группе относятся методы, основанные на вычислении значений лишь самой функции $f(x)$ (**методы нулевого порядка**);
2. Вторую группу составляют методы, основанные на вычислении значений как самой функции $f(x)$, так и ее первой производной $f'(x)$ (**методы первого порядка**);
3. Третью группу составляют методы, использующие значения функции, ее первой и второй производной $f'(x)$ и $f''(x)$ (**методы второго порядка**).

При нахождении минимумов функции $f(x)$ будем предполагать, что функция на отрезке $[a, b]$ непрерывна и является унимодальной. Пусть функция $f(x)$ определена на отрезке локализации $[a, b]$ с одной точкой локального минимума ξ. Если слева от точки минимума функция строго убывает, а справа строго возрастает, т.е. выполняется условие:

$$\begin{cases} f(x_i) > f(x_j), & при \quad a \le x_i < x_j \le \xi \\ f(x_i) < f(x_j), & при \quad \xi \le x_i < x_j \le b \end{cases}, \qquad (9.5)$$

то такая функция называется унимодальной.

Рассмотрим некоторые методы решения задачи минимизации более подробно. При этом будем рассматривать только методы нулевого порядка. К ним относятся:

- Метод сеток (оптимально пассивный поиск);
- Алгоритм Свенна;
- Метод деления отрезка пополам (дихотомии);
- Метод золотого сечения.

Тема 10. Численные методы минимизации функций многих переменных. Симплексный метод.

Правильным симплексом в пространстве E_n называется множество из $n+1$ равноудаленных друг от друга точек (вершин симплекса). При этом отрезок, соединяющий две вершины, называется ребром симплекса.

В пространстве E_2 (на плоскости) правильным симплексом является совокупность вершин равностороннего треугольника, в E_3 (в трехмерной системе координат) – правильного тетраэдра. Если x^0 – одна из вершин правильного симплекса в E_n то координаты остальных n вершин $x^1,\ldots,x^n$ можно найти по формулам:

$$x_j^i = \begin{cases} x_j^1 + d_1, & i \ne j, \\ x_j^1 + d_2, & i = j, \end{cases} \qquad (10.1)$$

где

$$d_1 = \frac{\sqrt{n+1}-1}{n\sqrt{2}}\, l, \qquad d_2 = \frac{\sqrt{n+1}+n-1}{n\sqrt{2}}\, l, \qquad l \text{ – длина ребра.}$$

Например, в случае двумерной системы симплекс будет представлять собой три точки с координатами:

$$\begin{array}{ll} x_0 & y_0 \\ x_1 = x_0 + \dfrac{\sqrt{3}+1}{2\sqrt{2}}\, l & y_1 = y_0 + \dfrac{\sqrt{3}-1}{2\sqrt{2}}\, l \\ x_2 = x_0 + \dfrac{\sqrt{3}-1}{2\sqrt{2}}\, l & y_2 = y_0 + \dfrac{\sqrt{3}+1}{2\sqrt{2}}\, l \end{array} \qquad (10.2)$$

В случае трехмерной системы четыре точки:

$$\begin{array}{lll} x_0 & y_0 & z_0 \\ x_1 = x_0 + \dfrac{4}{3\sqrt{2}}\, l & y_1 = y_0 + \dfrac{1}{3\sqrt{2}}\, l & z_1 = z_0 + \dfrac{1}{3\sqrt{2}}\, l \\ x_2 = x_0 + \dfrac{1}{3\sqrt{2}}\, l & y_2 = y_0 + \dfrac{4}{3\sqrt{2}}\, l & z_2 = z_0 + \dfrac{1}{3\sqrt{2}}\, l \\ x_3 = x_0 + \dfrac{1}{3\sqrt{2}}\, l & y_3 = y_0 + \dfrac{1}{3\sqrt{2}}\, l & z_3 = z_0 + \dfrac{4}{3\sqrt{2}}\, l \end{array}, \qquad (10.3)$$

Вершину $\boldsymbol{x}^0$ симплекса, построенного по формулам (8.16) и (8.17), часто называют базовой.

В алгоритме симплексного метода используется следующее важное свойство правильного симплекса. По известному симплексу можно построить новый симплекс отражением какой-либо вершины, например $\boldsymbol{x}^k$, симметрично относительно центра тяжести $\boldsymbol{x}^c$ остальных вершин симплекса.

Новая вершина находится по формуле:

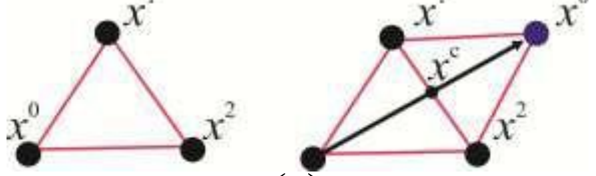
$$\bar{x}^k = 2x^c - x^k, \qquad (10.4)$$

где

$$x^c = \frac{1}{n}\sum_{i \neq k} x_i .$$

В результате получается новый правильный симплекс с тем же ребром и вершинами $\{\bar{x}^k,\ x^i\}$, $i = 0, \ldots, n$, $i \neq k$. Таким образом, происходит перемещение симплекса в пространстве E_n.

На рисунке представлена иллюстрация этого свойства симплекса в пространстве E_2.



Поиск точки минимума функции $f(x)$ с помощью правильных симплексов производят следующим образом. На каждой итерации сравниваются значения $f(x)$ в вершинах симплекса. Затем проводят описанную выше процедуру отражения для той вершины, в которой $f(x)$ принимает наибольшее значение.

Если в отраженной вершине получается меньшее значение функции, то переходят к новому симплексу. В противном случае выполняют еще одну попытку отражения для вершины со следующим по величине значением $f(x)$. Если и она не приводит к уменьшению функции, то сокращают длину ребра симплекса, например, вдвое и строят новый симплекс с этим ребром.

В качестве базовой выбирают ту вершину x^0 старого симплекса, в которой функция принимает минимальное значение. Поиск точки минимума $f(x)$ заканчивают, когда либо ребро симплекса, либо разность между значениями функции в вершинах симплекса становятся достаточно малыми.

5. Образовательные технологии

При изучении дисциплины «**Численные методы в физике**» применяются следующие информационные технологии: активные и интерактивные формы, лекции, практические занятия, контрольные работы, коллоквиумы, зачеты и экзамены, компьютеры. В течение семестра студенты решают задачи, указанные преподавателем, к каждому семинару. В семестре проводятся контрольные работы (на семинарах). Зачет выставляется после решения всех задач контрольных работ, выполнения домашних и самостоятельных работ.

При проведении занятий используются компьютерные классы, оснащенные современной компьютерной техникой. При изложении теоретического материала используется лекционный зал, оснащенный мультимедиа проекционным оборудованием и интерактивной доской.

По всему лекционному материалу подготовлен конспект лекций в электронной форме и на бумажном носителе, большая часть теоретического материала излагается с применением слайдов (презентаций) в программе **PowerPoint**, а также с использованием интерактивных досок.

Обучающие и контролирующие модули внедрены в учебный процесс и размещены на Образовательном сервере Даггосуниверситета (http://edu.icc.dgu.ru), к которым студенты имеют свободный доступ.

В рамках практических занятий используется умение студентов производить расчеты с помощью средств вычислительной техники. Это позволяет существенно приблизить уровень статистической культуры обработки результатов измерений в практикуме к современным стандартам, принятым в науке и производственной деятельности. На этих занятиях студенты закрепляют навыки, опыт общения с ЭВМ и использования статистических методов обработки результатов наблюдений, что совершенно необходимо для работы в специальных учебных и производственных лабораториях

Для подготовки к практическим (семинарским) занятиям изданы учебно-методические пособия, которые в сочетании с внеаудиторной работой способствуют формированию и развития профессиональных навыков обучающихся.

Электронный учебник. Имеются и используются в учебном процессе электронные учебники по дисциплине «**Численные методы в физике**». Электронный учебник предназначен для самостоятельного изучения теоретического материала курса и построен на гипертекстовой основе, позволяющей работать по индивидуальной образовательной траектории. Гипертекстовая структура позволяет обучающемуся определить не только оптимальную траекторию изучения материала, но и удобный темп работы, и способ изложения материала.

Компьютерная тестирующая система. Разработана и внедрена в учебный процесс компьютерная тестирующая система, которая обеспечивает, с одной стороны, возможность самоконтроля для обучаемого, а с другой стороны используется для текущего или итогового контроля знаний студентов.

Презентация. Разработан электронный курс лекций по всем темам, с использованием электронных презентаций. Что улучшает восприятие материала, повышает мотивацию познавательной деятельности и способствует творческому характеру обучения.

Учебно-исследовательская работа. В процессе изучения дисциплины используется данная форма практической самостоятельной работы студента, позволяющая студентам изучать научно-техническую информацию по заданной теме, моделировать процессы, проводить расчеты по разработанному алгоритму с применением ЭВМ и сертифицированного программного обеспечения, участвовать в экспериментах, анализировать и обрабатывать полученные результаты. Результаты исследований представляются на научно-практических конференциях.

Для усвоения дисциплины используются электронные базы учебно-методических ресурсов, электронные библиотеки.

Удельный вес занятий, проводимых в интерактивных формах, с использованием современных компьютерных средств обучения и демонстрации в учебном процессе составляет не менее 40% лекционных занятий.

6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов.

В течение семестра студенты выполняют:

- домашние задания, выполнение которых контролируется и при необходимости обсуждается на практических занятиях;
- промежуточные контрольные работы во время практических занятий для выявления степени усвоения пройденного материала;
- выполнение итоговой контрольной работы по практическим занятиям, охватывающие базовые вопросы курса: в конце семестра.

Итоговый контроль: зачет в конце семестра, включающий проверку теоретических знаний и умение решения задач по всему пройденному материалу**.**

6.1 Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов.

Виды и порядок выполнения самостоятельной работы:

1. Изучение рекомендованной литературы
2. Поиск в Интернете дополнительного материала
3. Подготовка реферата (до 5 страниц), презентации и доклада (10-15 минут)
4. Подготовка к зачету.

Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов:

Виды и порядок выполнения самостоятельной работы:

№ п/п	Вид самостоятельной работы	Вид контроля	Учебно-методич. обеспечение
1.	Подготовка реферата (до 5 страниц), презентации и доклада (10-15 минут)	Прием реферата, презентации, доклада и оценка качества их исполнения на мини-конференции.	См. разделы 6.1, 6.2 и 7 данного документа
2.	Подготовка к зачету	Промежуточная аттестация в форме зачета.	См. разделы 6.3, 6.4 и 7 данного документа

1. Текущий контроль: Прием реферата, презентации, доклада и оценка качества их исполнения на мини-конференции.
2. Промежуточная аттестация в форме зачета.

Текущий контроль успеваемости осуществляется непрерывно, на протяжении всего курса. Прежде всего, это устный опрос по ходу лекции, выполняемый для оперативной активизации внимания студентов и оценки их уровня восприятия. Результаты устного опроса учитываются при выборе экзаменационного вопроса. Примерно с пятой недели семестра – в форме контроля самостоятельной работы по подготовке рефератов, содержание которых будет представлено публично на мини-конференции и сопровождено презентацией и небольшими тезисами в электронной форме.

Выбор темы реферата согласуется с лектором.

Практикуется два типа тем – самостоятельное изучение конкретной проблемы или ознакомление с учебным дистанционным курсом по теме курса. Результаты самостоятельной работы играют роль допуска к экзамену.

Промежуточная аттестация:

Для допуска к зачету надлежит сделать сообщение на мини-конференции, представить презентацию и собственно текст реферата.

Зачет проходит в устной форме в виде ответов на билеты и, если понадобится, то на дополнительные контрольные вопросы, которые задает экзаменатор при необходимости уточнить оценку.

- Оценка «отлично» ставится за уверенное владение материалом курса и демонстрацию способности самостоятельно анализировать вопросы применения и развития современных ИТ.
- Оценка «хорошо» ставится при полном выполнении требований к прохождению курса и умении ориентироваться в изученном материале.
- Оценка «удовлетворительно» ставится при достаточном выполнении требований к прохождению курса и владении конкретными знаниями по программе курса.
- Оценка «неудовлетворительно» ставится, если требования к прохождению курса не выполнены и студент не может показать владение материалом курса.

6.2 Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине.

Тематика рефератов ежегодно подвергается пересмотру и обновлению соответственно появлению новых перспективных средств и методов работы с информацией. Предлагается следующий список рефератов, который может быть расширен и уточнен при обсуждении и конкретизации со студентами.

6.3. Примеры тем рефератов.

- Метод наименьших квадратов.
- Интерполяционный многочлен Лагранжа.
- Численное интегрирование методом Монте-Карло.
- Методы Рунге-Кутта для решения дифференциальных уравнений.
- Решение дифференциальных уравнений второго порядка методом Рунге-Кутта.
- Численные методы решения нелинейных уравнений.
- Минимизация функций многих переменных. Современные методы.

6.4. Рекомендации к последовательности выполнения реферата.

А) Изучение проблемы по материалам, доступным в Интернете:

1. Согласовать название сообщения.
2. Написать тезисы реферата по теме.
3. Выразить, чем интересна выбранная тема в наши дни.
4. Подготовить презентацию по выбранной теме.
5. Сделать сообщение на мини-конференции.

Б) Ознакомление с заданным дистанционным курсом:

1. Представить основные идеи заданного курса.
2. Описать достоинства и недостатки материала, изложенного в данном курсе.
3. Написать отзыв на данный курс.
4. Сформулировать рекомендации по применению данного курса.
5. Сделать сообщение о содержании курса на мини-конференции.

7. Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.

7.1. Типовые контрольные задания

1. Численные методы в физике. Постановка задачи. Корректность задачи.
2. Погрешности вычислений. Абсолютная и относительная погрешность.
3. Приближение функций. Интерполяция функций. Подбор эмпирических формул.
4. Квадратичная интерполяция.
5. Интерполяционный многочлен Лагранжа.
6. Аппроксимация функций. Метод наименьших квадратов.
7. Методы численного интегрирования.
8. Метод прямоугольников.
9. Метод трапеций.
10. Метод Симпсона.
11. Методы численного интегрирования. Метод Монте-Карло.
12. Численные методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений.
13. Решение дифференциальных уравнений второго порядка.
14. Методы Рунге-Кутта для решения дифференциальных уравнений.
15. Численные методы решения нелинейных уравнений.
16. Метод Ньютона (касательных). Метод секущих.
17. Численные методы минимизации. Нахождение экстремумов функций.
18. Нахождение экстремумов функций. Алгоритм Свена. Метод золотого сечения.
19. Численные методы минимизации функций многих переменных. Симплексные методы.
20. Симплексный метод Нелдера-Мида.

7.2. Методические материалы, определяющие процедуру оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.

Общий результат выводится как интегральная оценка, складывающая из текущего контроля -60% и промежуточного контроля -40%.

Текущий контроль по дисциплине включает:

- посещение занятий -10 баллов,
- участие на практических занятиях -20баллов,
- выполнение лабораторных заданий -20баллов,
- выполнение домашних (аудиторных) контрольных работ -10 баллов.

Промежуточный контроль по дисциплине включает:

- устный опрос -20баллов,
- письменная контрольная работа – 10 баллов,
- тестирование -10 баллов

8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины.

а) основная литература:

1. Зализняк В.Е. Основы научных вычислений. Введение в численные методы для физиков и инженеров [Электронный ресурс] / В.Е. Зализняк. — Электрон. текстовые данные. — Москва, Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, Ижевский институт компьютерных исследований, 2006. — 264 с. — 5-93972-482-5. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/16588.html
2. Ильина В.А. Численные методы для физиков-теоретиков. Часть 2 [Электронный ресурс] / В.А. Ильина, П.К. Силаев. — Электрон. текстовые данные. — Москва, Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, Ижевский институт компьютерных исследований, 2004. — 118 с. — 5-93972-320-9. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/16660.html

б) дополнительная литература:

1. Бахвалов Н.С., Жидков Н.П., Кобельков Г.Г. Численные методы. 8-е изд. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2000. – 624с.
2. Лобанов А.И., Петров И.Б. Вычислительные методы для анализа моделей сложных динамических систем. Часть 1. – М.: МФТИ, 2000. – 168с.
3. Косарев В.И. 12 лекций по вычислительной математике. 2 изд. – М.: Изд-во МФТИ, 2000. – 224с.
4. К. Биндер. Методы Монте-Карло в статистической физике. М. 1982 г.
5. В.М. Замалин и другие. Методы Монте-Карло в статистической термодинамике. М. 1977 г.
6. Эксперимент на дисплее. Серия –Кибернетика – неограниченные возможности и возможные ограничения‖. М. 1989 г.
7. Магомедов М.А., Муртазаев А.К., Хизриев К.Ш. Численные методы в физике. Учебно-методическое пособие. – Махачкала: 2007. – 50с.
8. Муртазаев А.К., Магомедов Г.М., Рамазанов М.К., Магомедов М.А., Методы численного эксперимента в физике. Учебное пособие. – Махачкала: 2009. – 58с.
9. Х. Гулд, Я. Тобочник. Компьютерное моделирование в физике. М. 1990 г. т. 1-2;
10. К. Биндер, Д.В. Хеерман. Моделирование методом Монте-Карло в статистической физике. М. 1995г.
11. Д.В. Хеерман. Методы компьютерного эксперимента в теоретической физике. М. 1990 г.
12. С. Кунин. Вычислительная физика М. 1992 г.
13. Демидович Б.П., Марон И.А. Основы вычислительной математики. М.: Наука, 1970.
14. Турчак Л.И. Основы численных методов. М.: Наука, 1987. 320с.

15. Рябенький В.С. Введение в вычислительную математику. – М/: Наука-Физматлит, 1994. – 335с. 2-е изд. М: Физматлит, 2000. – 296 с.
16. Федоренко Р.П. Введение в вычислительную физику. – М.: Изд-во МФТИ, 1994. – 528 с.
17. Самарский А.А., Гулин А.В. Численные методы. – М.: Наука, 1989.
18. Марчук Г.И. Методы вычислительной математики. – М.: Наука, 1989. – 608с.
19. Киреев В.И., Пантелеев А.В. Численные методы в примерах и задачах. М.: Изд-во МАИ, 2000.
20. Каханер Д., Моулер К., Нэш С. Численные методы и программное обеспечение. – М.: Мир, 1998. – 575с.

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

1. ЭБС IPRbooks: http://www.iprbookshop.ru/
   Лицензионный договор № 2693/17от 02.10.2017г. об оказании услуг по предоставлению доступа. Дост*уп открыт с с 02.10.2017 г. до 02.10.2018 по подписке(доступ будет продлен)*
2. Электронно-библиотечная сист*ема* «Университетская библиотека онлайн» www.biblioclub.ru договор № 55_02/16 от 30.03.2016 г. об оказании информационных услуг.(доступ продлен до сентября 2019 года).
3. Доступ к электронной библиотеки на http://elibrary.ru основании лицензионного соглашения между ФГБОУ ВПО ДГУ и «ООО» «Научная Электронная библиотека» от 15.10.2003. (Раз в 5 лет обновляется лицензионное соглашение)
4. Национальная электронная библиотека https://нэб.рф/. Договор №101/НЭБ/101/НЭБ/1597 от 1.08.2017г. Договор действует в течении 1 года с момента его подписания.
5. Федеральный портал «Российское образование» http://www.edu.ru/ (единое окно доступа к образовательным ресурсам).
6. Федеральное хранилище «Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов» http://school-collection.edu.ru/
7. Российский портал «Открытого образования» http://www.openet.edu.ru
8. Сайт образовательных ресурсов Даггосуниверситета http://edu.icc.dgu.ru
9. Информационные ресурсы научной библиотеки Даггосуниверситета http://elib.dgu.ru (доступ через платформу Научной электронной библиотеки elibrary.ru).
10. Федеральный центр образовательного законодательства http://www.lexed.ru
11. http://www.phys.msu.ru/rus/library/resources-online/ - электронные учебные пособия, изданные преподавателями физического факультета МГУ.
12. http://www.phys.spbu.ru/library/ - электронные учебные пособия, изданные преподавателями физического факультета Санкт-

Петербургского госуниверситета.

13. **Springer.** Доступ ДГУ предоставлен согласно договору № 582-13SP подписанный Министерством образования и науки предоставлен по контракту 2017-2018 г.г., подписанный ГПНТБ с организациями-победителями конкурса. http://link.springer.com. Доступ предоставлен на неограниченный срок
14. **SCOPUS** https://www.scopus.com Доступ предоставлен согласно сублицензионному договору №Scopus/73 от 08 августа 2017г. подписанный Министерством образования и науки предоставлен по контракту 2017-2018 г.г., подписанный ГПНТБ с организациями-победителями конкурса. Договор действует с момента подписания по **31.12.2017г.**
15. **Web of Science** - webofknowledge.com Доступ предоставлен согласно сублицензионному договору № WoS/280 от 01 апреля 2017г. подписанный Министерством образования и науки предоставлен по контракту 2017-2018 г.г., подписанный ГПНТБ с организациями-победителями конкурса Договор действует с момента подписания по 30.03.2017г.
16. **«Pro Quest Dissertation Theses Global» (PQDT Global). -** база данных зарубежных –диссертации. Доступ продлен согласно сублицензионному договору № ProQuest/73 от 01 апреля 2017 года http://search.proquest.com/. Договор действует с момента подписания по **31.12.2017г.**
17. **Sage** - мультидисциплинарная полнотекстовая база данных. Доступ продлен на основании сублицензионного договора № **Sage/73 от 09.01.2017** http://online.sagepub.com/ Договор действует с момента подписания по 31.12.2017г.
18. **American Chemical Society.** Доступ продлен на основании сублицензионного договора **№ACS/73 от 09.01.2017 г.** pubs.acs.org Договор действует с момента подписания по 31.12.2017г.
19. **Science (академическому журналу The American Association for the Advancement of Science (AAAS)** http://www.sciencemag.org/. Доступ продлен на основании сублицензионного договора № 01.08.2017г. Договор действует с момента подписания по 31.12.2017г.

1. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.

Самостоятельная работа студентов реализуется в виде:

- подготовки к контрольным работам;
- подготовки к семинарским (практическим) занятиям;
- выполнения индивидуальных заданий по основным темам дисциплины;
- написание рефератов по проблемам дисциплины "Физика фазовых переходов и критических явлений".
- обязательное посещение лекций ведущего преподавателя;
- лекции – основное методическое руководство при изучении дисциплины, наиболее оптимальным образом структурированное и скорректированное

на современный материал;
- в лекции глубоко и подробно, аргументировано и методологически строго рассматриваются главные проблемы темы;
- в лекции даются необходимые разные подходы к исследуемым проблемам;
- подготовку и активную работу на лабораторных занятиях;
- подготовка к лабораторным занятиям включает проработку материалов лекций, рекомендованной учебной литературы.

10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем.

Образовательные технологии, применяемые на практических и лабораторных занятиях:

1. Технология активного (контекстного) обучения (коллективная работа малыми группами – исследовательская игра: группа разбивается на подгруппы, в каждой из которых назначается руководитель (определяет цели и задачи, назначает ответственных за отдельные задачи, координирует работу и представляет общее решение задачи) и исполнители (решают отдельные задачи);
2. Технология деловой игры (имитационная соревновательная игра: малые группы получают одинаковое задание, распределяются по ролям (руководитель, ответственные исполнители) и выполняют его на скорость и качество, которое оценивается преподавателем);
3. Технология интерактивного обучения (мозговой штурм: группа получает задание, далее предлагается высказывать как можно большее количество вариантов решения, затем из общего числа высказанных идей отбирают наиболее удачные, которые могут быть использованы на практике).

11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине.

Для материально-технического обеспечения дисциплины **«Численные методы в физике»** используется:

компьютерные классы физического факультета.