



**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
"Национальный исследовательский университет  
"Высшая школа экономики"**

Факультет физики

**Рабочая программа дисциплины  
Вычислительная физика**

для направления 03.03.02 «Физика»,  
бакалавриат

Разработчики программы

д.ф.-м.н., профессор, В.Ю. Попов, vuporov@hse.ru

Е.А. Буровский, Ph.D., eburovski@hse.ru

к.ф.-м.н. К.С. Тихонов, ktikhonov@hse.ru

Одобрена на заседании Факультета физики

Декан Факультета физики Трунин М.Р.

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 г.

Утверждена Академическим советом образовательной программы

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 г., № протокола \_\_\_\_\_

Академический руководитель

образовательной программы Трунин М.Р.

Москва, 2018

*Настоящая программа не может быть использована другими подразделениями  
университета и другими вузами без разрешения подразделения-разработчика  
программы.*

## 1 Область применения и нормативные ссылки

Настоящая программа учебной дисциплины устанавливает минимальные требования к образовательным результатам и результатам обучения студента и определяет содержание и виды учебных занятий и отчетности.

Программа предназначена для преподавателей, ведущих данную дисциплину, учебных ассистентов и студентов направления 03.03.02 «Физика» подготовки бакалавров.

Программа учебной дисциплины разработана в соответствии с:

- Образовательным стандартом НИУ ВШЭ 03.03.02 «Физика» по подготовке бакалавров;
- Учебным планом университета по образовательной программе 03.03.02 «Физика» подготовки бакалавров, утвержденным в 2018 г.

## 2 Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины "Вычислительная физика" являются:

- формирование у студентов профессиональных компетенций, связанных с использованием современных теоретических концепций в области вычислительной физики;
- развитие умений, основанных на полученных теоретических знаниях и практических навыках, позволяющих на творческом уровне создавать и применять физико-математические модели и численные методы для решения фундаментальных и прикладных физических задач, исследования и моделирования физических процессов и систем;
- получение студентами навыков самостоятельной исследовательской работы, предполагающей изучение специфических алгоритмов, инструментов и средств, необходимых для решения фундаментальных и прикладных физических задач, исследования и моделирования физических процессов и систем;
- получение практических навыков анализа, обработки и использования экспериментальных и наблюдательных данных для решения фундаментальных и прикладных физических задач, исследования и моделирования физических процессов и систем.

## 3 Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

Код по ФГОС/ НИУ	Компетенция	Дескрипторы-показатели достижения компетенций	Способы формирования
ПК-2	Способен ставить, формализовать и решать задачи, системно анализировать	РБ/СД – ставит, формализует и решает задачи связанные с примене-	Лекции, семинары, индивидуальные задания, домашние работы по приме-

	научные проблемы, генерировать новые идеи и создавать новое знание;	ниями вычислительных методов в физике	нению вычислительных методов для решения физических задач
ПК-12	Способен анализировать полученные в ходе научно-исследовательской работы данные и делать научные выводы (заключения);	РБ – знает физические процессы и явления, лежащие в основе математических и численных моделей физики, что позволяет анализировать результаты, полученные в ходе вычислительных экспериментов и делать научные выводы (заключения)	Лекции, семинары, индивидуальные задания, домашние работы по анализу и интерпретации результатов вычислительных экспериментов с физической точки зрения

#### 4 Место дисциплины в структуре образовательной программы

Настоящая дисциплина относится к базовой профильной части профессионального цикла дисциплин студентов, обучающихся на по направлению 03.03.02 «Физика» подготовки бакалавров. В соответствии с рабочим учебным планом по направлению «Физика» дисциплина «Вычислительная физика» читается студентам первого и второго годов обучения в бакалавриате в 3-4 модулях.

Трудоемкость курса – 5 з.е.

Общее количество часов – 190

Количество аудиторных часов 120, в том числе: 60 часов лекций, 60 часов практических занятий.

Количество часов самостоятельной работы – 70.

Контроль:

1-й курс: 1 домашняя работа в конце 3-го модуля, 1 контрольная работа (решения задач на пройденные темы) в конце 4-го модуля, прием экзамена в устной форме после 4-го модуля

2-й курс:

1 домашняя работа в конце 1-го модуля, 1 контрольная работа (решения задач на пройденные темы) в конце 2-го модуля, прием экзамена в устной форме после 2-го модуля

1 домашняя работа в конце 3-го модуля, 1 контрольная работа (решения задач на пройденные темы) в конце 4-го модуля, прием экзамена в устной форме после 4-го модуля

Изучение данной дисциплины базируется на знаниях, полученных студентами при освоении учебных дисциплин:

- Математический анализ
- Линейная алгебра
- Дифференциальные уравнения
- Элементы математического аппарата физики
- Механика
- Термодинамика и молекулярная физика

- Оптика
- Информатика

Основные положения дисциплины должны быть использованы в дальнейшем при изучении дисциплин:

- Математическая физика
- Аналитическая механика
- Аналитические приближенные методы

Все физические дисциплины на 2-4 курсах

## 5 Тематический план учебной дисциплины

№	Название раздела	Всего часов	Аудиторные часы		Самостоятельная работа
			Лекции	Семинары	
	<b>1-й курс</b>				
1	Введение в Linux.	8	2	2	4
2	Понятие о машинной архитектуре и вычислениях с конечной точностью.	8	2	2	4
3	Скриптовые языки и введение в язык Python.	8	2	2	4
4	Численное интегрирование и дифференцирование	8	2	2	4
5	Численные методы поиска корней линейных и нелинейных уравнений и систем	10	3	3	4
6	Численные методы поиска экстремумов.	9	3	2	4
7	Задачи интерполяции, экстраполяции. Основы обработки экспериментальных данных.	8	2	2	4
8	Работа в системе Mathematica.	8	2	2	4
9	Решение обыкновенных дифференциальных уравнений и систем обыкновенных дифференциальных уравнений в Python и Mathematica.	9	2	3	4
	<b>Итого 1-й курс:</b>	<b>76</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>36</b>

№	Название раздела	Всего часов	Аудиторные часы		Самостоятельная работа
			Лекции	Семинары	
	<b>2-й курс</b>				
10	Квадратурные формулы численного интегрирования, интегрирование быстроосциллирующих функций, вычисление кратных и несобственных интегралов	11	4	4	3
11	Основные алгоритмы решения задач линейной алгебры. Численные методы нахождения собственных векторов и собственных значений	14	5	5	4
12	Градиентные методы оптимизации. Методы минимизации функционалов.	11	4	4	3
13	Численные методы решения задачи Коши для обыкновенных дифференциальных уравнений	14	5	5	4
14	Элементы теории разностных схем.	16	6	6	4
15	Методы численного решения интегральных уравнений	12	4	4	4
16	МГД моделирование	12	4	4	4
17	Кинетическое моделирование.	12	4	4	4
18	Моделирование случайных процессов	12	4	4	4
	<b>Итого 2-й курс:</b>	<b>114</b>	<b>40</b>	<b>40</b>	<b>34</b>
	<b>Итого :</b>	<b>190</b>	<b>60</b>	<b>60</b>	<b>70</b>

## Формы контроля знаний студентов:

Тип контроля	Форма контроля	модули		Параметры
		3	4	
1-й курс		3	4	
Промежуточный	Домашние задания.	до 18 июня		Выполнение заданий на компьютере и сдача отчетов.
Промежуточный	Контрольная работа.		10-18 июня	Выполнение задания на компьютере и сдача отчета.
Итоговый	Экзамен		19-30 июня	Устный экзамен 60 мин
2-й курс		3	4	
Промежуточный	Домашние задания.	до 18 июня		Выполнение заданий на компьютере и сдача отчетов.
Промежуточный	Контрольная работа.		10-18 июня	Выполнение задания на компьютере и сдача отчета.
Итоговый	Экзамен		19-30 июня	Устный экзамен 60 мин

## 6 Критерии оценки знаний, навыков

Оценки по всем формам контроля выставляются по 10-ти балльной шкале.

**Промежуточный контроль** предусматривает

1-й курс: домашние задания, выполняемые в 3-4 модулях и 1 письменную контрольную работу, выполняемых в 4-м модуле.

2-й курс: домашние задания, выполняемые в 3-4 модулях и 1 письменную контрольную работу, выполняемых в 4-м модуле.

**Домашнее задание** включает разработку, кодирование, тестирование и отладку программ реализации задания. Домашнее задание выдается студентам дистанционно. По домашнему заданию оформляется отчет в электронном виде. В установленный срок студент представляет архив, содержащий полностью оформленный отчет и программу решения контрольного домашнего задания. Оценка за домашнее задание выставляется с учетом полноты выполнения задания и оформления результатов.

**Самостоятельная работа** студентов предполагает выполнение заданий к семинарам и лекциям, посещение семинаров и лекций и активная работа на семинарах и лекциях. Задания к семинарам сдаются студентами в указанный срок в электронном виде.

**Итоговый контроль:** экзамены в конце 4-го модуля на первом курсе и в конце 4-го модулей на 2-м курсе. Проводится в устной форме в компьютерном классе. Экзамен состоит из двух частей:

- теоретической, проводится в форме устной беседы по тематике дисциплины (30 мин.);
- в билете на экзамене содержатся 2 устных вопроса и 1 практическая задача.

Финальная оценка за работу в семестре равна  $S = 0.2R + 0.6D + 0.2K$ , где R- накопленная оценка за работу на лекциях и семинарах, D- накопленная оценка за домашнюю работу, K- оценка за контрольную работу.

Итоговая оценка за курс равна  $F = 0.7S + 0.3E$ , где E - оценка за устный экзамен. Студенты, у которых  $S = 10$ , освобождаются от устного экзамена и получают итоговую оценку 10. Студенты с оценкой  $S = 9$  или  $S = 8$  могут либо получить эту оценку без экзамена, либо сдавать экзамен.

Итоговая оценка за дисциплину равна  $0.5F_1 + 0.5F_2$ , где F1- итоговая оценка за 1-й курс, F2- за второй.

## 7 Содержание дисциплины

**Тема 1. Введение в Linux.** Сеанс работы в Linux. Терминал и командная строка. Структура файловой системы. Работа с файловой системой. Доступ процессов к файлам и каталогам. Работа с текстовыми данными. Возможности командной оболочки. Текстовые редакторы.

### Основная литература:

1. Эндрю Таненбаум, Х. Бос, Современные операционные системы. СПб., Изд. Питер, 2017
2. Костромин В.А. Основы работы в ОС Linux (2-е изд.) М.: НОУ «Интуит», 2016.
3. Мультимедийная презентация для проведения лекционных занятий по теме 1.

### Дополнительная литература:

1. М.Уэлш и др. Руководство по установке и использованию системы Linux. Пер. с англ., М., IPLabs, Институт логики, 2000 г.
2. Олаф Кирх. Linux для профессионалов. Руководство администратора сети. СПб., Изд. Питер, 2000
3. А. Пасечник. Red Hat 6.2 Linux. Учебный курс. СПб., Изд. Питер, , 2000

**Тема 2. Понятие о машинной архитектуре и вычислениях с конечной точностью.** Архитектура вычислительных машин. Правила приближенных вычислений. Значащие цифры. Действия над приближенными числами. Вычислительные алгоритмы. Погрешности вычислений на компьютерах.

### Основная литература:

1. Кнутт Д., Искусство программирования, Москва, Вильямс, 2015 г.
2. Таненбаум Э., Остин Т. Архитектура компьютера, 6 издание, СПб, Питер, 2015 г.

3. Мультимедийная презентация для проведения лекционных занятий по теме 2.

**Дополнительная литература:**

1. Андреева Е.В., Босова Л.Л., Фалина И.Н. Математические основы информатики. – М.:Бином, 2007.
2. Кузнецов О. П., Адельсон-Вельский Г. М. Дискретная математика для инженера. – М.: Энергоатомиздат, 1988.

**Тема 3. Скриптовые языки и введение в язык Python.** Программа на Python. Основные алгоритмические конструкции. Встроенные типы данных. Выражения. Имена. Операции с векторами и матрицы, покомпонентные операции. Введение в стандартную библиотеку numpy.

**Основная литература:**

1. Марк Лутц. Python. Карманный справочник. – Вильямс, 2015.
2. Landau R. H. et al. Computational Physics: Problem Solving with Python. – John Wiley & Sons, 2015.
3. Мультимедийная презентация для проведения лекционных занятий по теме 3.

**Дополнительная литература:**

1. Марк Лутц. Изучаем Python. 4-е издание. – Пер. с англ. – СПб.: Символ-Плюс, 2011.
2. Марк Лутц. Программирование на Python, том I, 4-е издание. – Пер. с англ. – СПб.:Символ-Плюс, 2011.
3. Марк Лутц. Программирование на Python, том II, 4-е издание. – Пер. с англ. – СПб.:Символ-Плюс, 2011.
4. <http://www.swaroopch.com/notes/python/>
5. <http://pythontutor.ru/>
6. Jake VanderPlas, A Whirlwind tour of Python, O'Reilly Media, 2016.

**Тема 4. Численное интегрирование и дифференцирование.** Постановка задачи численного дифференцирования. Односторонние и центральные разностные схемы. Оценка погрешности численного дифференцирования. Выбор оптимального шага разностной схемы.

Постановка задачи численного интегрирования. Формулы Ньютона-Котеса. Формулы прямоугольников. Формула трапеций. Формула Симпсона.

**Основная литература:**

1. Н. Н. Калиткин, Е.А.Альшина. Численные методы : в 2 кн. Кн. 1. Численный анализ: учебник для студ. учреждений высш. проф. образования/ М. : Издательский центр «Академия», 2013.
2. Н. Н. Калиткин, П. В. Корякин. Численные методы : в 2 кн. Кн. 2. Методы математической физики: учебник для студ. учреждений высш. проф. образования/ М. : Издательский центр «Академия», 2013.



3. Landau R. H. et al. Computational Physics: Problem Solving with Python. – John Wiley & Sons, 2015.
4. Мультимедийная презентация для проведения лекционных занятий по теме 4.

**Дополнительная литература:**

1. Gautschi W. Numerical analysis. – Springer Science & Business Media, 2011.
2. Федоренко Р. П. Введение в вычислительную физику //М.: изд-во МФТИ. – 1994. – Т. 4.

**Тема 5. Численные методы поиска корней линейных и нелинейных уравнений и систем.** Метод деления пополам. Метод Ньютона: теоретические основы. Визуализация метода Ньютона. Метод секущих, метод парабол и простых итераций. Нахождение всех корней уравнения. Прямые методы решения СЛАУ: метод Крамера, метод обратной матрицы, метод Гаусса.

**Основная литература:**

1. Н. Н. Калиткин, Е.А.Альшина. Численные методы : в 2 кн. Кн. 1. Численный анализ: учебник для студ. учреждений высш. проф. образования/ М. : Издательский центр «Академия», 2013.
2. Н. Н. Калиткин, П. В. Корякин. Численные методы : в 2 кн. Кн. 2. Методы математической физики: учебник для студ. учреждений высш. проф. образования/ М. : Издательский центр «Академия», 2013.
3. Landau R. H. et al. Computational Physics: Problem Solving with Python. – John Wiley & Sons, 2015.
4. Мультимедийная презентация для проведения лекционных занятий по теме 5.

**Дополнительная литература:**

1. Gautschi W. Numerical analysis. – Springer Science & Business Media, 2011.
2. Федоренко Р. П. Введение в вычислительную физику //М.: изд-во МФТИ. – 1994. – Т. 4.

**Тема 6. Численные методы поиска экстремумов:**

Постановка задачи. Минимум функции одного переменного. Метод золотого сечения. Метод парабол. Минимум функции многих переменных. Квадратичная функция, ее свойства. Рельеф поверхности уровня. Спуск по координатам.

**Основная литература:**

1. Н. Н. Калиткин, Е.А.Альшина. Численные методы : в 2 кн. Кн. 1. Численный анализ: учебник для студ. учреждений высш. проф. образования/ М. : Издательский центр «Академия», 2013.
2. Н. Н. Калиткин, П. В. Корякин. Численные методы : в 2 кн. Кн. 2. Методы математической физики: учебник для студ. учреждений высш. проф. образования/ М. : Издательский центр «Академия», 2013.
3. Landau R. H. et al. Computational Physics: Problem Solving with Python. – John Wiley & Sons, 2015.
4. Мультимедийная презентация для проведения лекционных занятий по теме 6.

#### **Дополнительная литература:**

1. Gautschi W. Numerical analysis. – Springer Science & Business Media, 2011.
2. Федоренко Р. П. Введение в вычислительную физику //М.: изд-во МФТИ. – 1994. – Т. 4.
3. J. R. Shewchuk, An Introduction to the Conjugate Gradient Method Without the Agonizing Pain, 1994. <http://www.cs.cmu.edu/~jrs/jrspapers.html>

#### **Тема 7. Задачи интерполяции, экстраполяции. Основы обработки экспериментальных данных.**

Постановка задачи. Полиномиальная интерполяция. Интерполяционный многочлен Лагранжа. Интерполяционный многочлен Ньютона. Сплайн-интерполяция. Среднеквадратичная аппроксимация. Метод наименьших квадратов.

#### **Основная литература:**

1. Н. Н. Калиткин, Е.А.Альшина. Численные методы : в 2 кн. Кн. 1. Численный анализ: учебник для студ. учреждений высш. проф. образования/ М. : Издательский центр «Академия», 2013.
2. Н. Н. Калиткин, П. В. Корякин. Численные методы : в 2 кн. Кн. 2. Методы математической физики: учебник для студ. учреждений высш. проф. образования/ М. : Издательский центр «Академия», 2013.
3. Landau R. H. et al. Computational Physics: Problem Solving with Python. – John Wiley & Sons, 2015.
4. Мультимедийная презентация для проведения лекционных занятий по теме 7.

#### **Дополнительная литература:**

1. Gautschi W. Numerical analysis. – Springer Science & Business Media, 2011.

2. Федоренко Р. П. Введение в вычислительную физику //М.: изд-во МФТИ. – 1994. – Т. 4.

**Тема 8. Работа в системе Mathematica.** Численные данные, выражения. Работа со списками, векторами и матрицами. Случайные числа. Символьные вычисления. Построение графиков.

**Основная литература:**

1. Стехина К.Н., Тумаков Д.Н. Решение дифференциальных уравнений. в пакете Mathematica. Учебное пособие. КАЗАНЬ 2014
2. В.З. Аладьев, Д.С. Гринь "Расширение функциональной среды системы Mathematica" / Монография / Херсон: Олди-Плюс, 2012.
3. В.З. Аладьев, В.К. Бойко, Е.А. Ровба "Программирование в пакетах Maple и Mathematica: Сравнительный аспект" / Монография / Гродно: Гродненский Госуниверситет, 2011.
4. Глушко В.П., Глушко А.В. Курс уравнений математической физики с использованием пакета Mathematica. Теория и технология решения задач. Санкт-Петербург: Лань, 2010.
5. Дьяконов В. П. Mathematica 5/6/7. Полное руководство. - М.: ДМК Пресс, 2010.
6. Mangano S. Mathematica Cookbook. O'Reilly 2010.
7. Мультимедийная презентация для проведения лекционных занятий по теме 8.

**Дополнительная литература:**

1. Мостовской А.П. . Численные методы и система Mathematica: Учебное пособие для специальности Прикладная математика и информатика- Мурманск: 2009.
2. Чарльз Генри Эдвардс , Дэвид Э. Пенни. Дифференциальные уравнения и краевые задачи: моделирование и вычисление с помощью Mathematica, Maple и MATLAB. 3-е издание. Киев.: Диалектика-Вильямс, 2007
3. Половко А.М. Mathematica для студента.-СПб.: БХП – Петербург, 2007
4. Воробьев Е. М. Введение в систему символьных, графических и численных расчетов «Математика». М.:Диалог-МИФИ. 2005.
5. [http://atomas.ru/mat/Book\\_Mat/](http://atomas.ru/mat/Book_Mat/)
6. [http://clubmt.ru/Book\\_Mat/GL10/Index9.htm](http://clubmt.ru/Book_Mat/GL10/Index9.htm)
7. [http://megadmin.ru/math/Book\\_Matematica/GL4/Index8.htm](http://megadmin.ru/math/Book_Matematica/GL4/Index8.htm)

**Тема 9. Решение обыкновенных дифференциальных уравнений и систем обыкновенных дифференциальных уравнений в Python и Mathematica.** Численное интегрирование обыкновенных дифференциальных уравнений. Метод Эйлера. Анализ сходимости улучшенного метода Эйлера.

### **Основная литература:**

1. Стехина К.Н., Тумаков Д.Н. Решение дифференциальных уравнений. в пакете Mathematica. Учебное пособие. КАЗАНЬ 2014
2. Landau R. H. et al. Computational Physics: Problem Solving with Python. – John Wiley & Sons, 2015.
3. Н. Н. Калиткин, Е.А.Альшина. Численные методы : в 2 кн. Кн. 1. Численный анализ: учебник для студ. учреждений высш. проф. образования/ М. : Издательский центр «Академия», 2013.
4. Н. Н. Калиткин, П. В. Корякин. Численные методы : в 2 кн. Кн. 2. Методы математической физики: учебник для студ. учреждений высш. проф. образования/ М. : Издательский центр «Академия», 2013.
5. Мультимедийная презентация для проведения лекционных занятий по теме 9.

### **Дополнительная литература:**

1. Gautschi W. Numerical analysis. – Springer Science & Business Media, 2011.
2. Федоренко Р. П. Введение в вычислительную физику //М.: изд-во МФТИ. – 1994. – Т. 4.
3. Чарльз Генри Эдвардс , Дэвид Э. Пенни. Дифференциальные уравнения и краевые задачи: моделирование и вычисление с помощью Mathematica, Maple и MATLAB. 3-е издание. Киев.: Диалектика-Вильямс, 2007

**Тема 10.** Квадратурные формулы численного интегрирования, интегрирование быстроосциллирующих функций. Системы ортогональных многочленов. Квадратурные формулы Гаусса. Метод Монте-Карло. Численные методы вычисления кратных и несобственных интегралов.

### **Основная литература:**

1. Н. Н. Калиткин, Е.А.Альшина. Численные методы : в 2 кн. Кн. 1. Численный анализ: учебник для студ. учреждений высш. проф. образования/ М. : Издательский центр «Академия», 2013.
2. Н. Н. Калиткин, П. В. Корякин. Численные методы : в 2 кн. Кн. 2. Методы математической физики: учебник для студ. учреждений высш. проф. образования/ М. : Издательский центр «Академия», 2013.
3. Landau R. H. et al. Computational Physics: Problem Solving with Python. – John Wiley & Sons, 2015.

4. Мультимедийные презентации для проведения лекционных занятий по теме 10.

**Дополнительная литература:**

5. Gautschi W. Numerical analysis. – Springer Science & Business Media, 2011.
6. Федоренко Р. П. Введение в вычислительную физику //М.: изд-во МФТИ. – 1994. – Т. 4.

**Тема 11.** Основные алгоритмы решения задач линейной алгебры. Численные методы нахождения собственных векторов и собственных значений.

Метод прогонки решения СЛАУ ленточного вида. Матричная прогонка. Итерационные одношаговые методы решения СЛАУ. Метод простой итерации; методы Зейделя, верхней релаксации, Якоби. Алгебраическая проблема собственных значений. Простейшие методы. Нахождение собственных значений методом интерполяции. 3-х диагональные матрицы. Метод обратной итерации нахождения собственного вектора. Итерационный метод вращений Якоби нахождения собственных векторов и собственных значений симметричной вещественной матрицы.

**Основная литература:**

1. Н. Н. Калиткин, Е.А.Альшина. Численные методы : в 2 кн. Кн. 1. Численный анализ: учебник для студ. учреждений высш. проф. образования/ М. : Издательский центр «Академия», 2013.
2. Н. Н. Калиткин, П. В. Корякин. Численные методы : в 2 кн. Кн. 2. Методы математической физики: учебник для студ. учреждений высш. проф. образования/ М. : Издательский центр «Академия», 2013.
3. Landau R. H. et al. Computational Physics: Problem Solving with Python. – John Wiley & Sons, 2015.
4. Мультимедийные презентации для проведения лекционных занятий по теме 11.

**Тема 12.** Градиентные методы оптимизации. Методы минимизации функционалов.

Градиентные методы. Наискорейший спуск. Методы второго порядка. Сопряженные направления, их свойства. Метод сопряженных градиентов. Задача на минимум функционала. Постановка задачи. Метод пробных функций. Метод Рунге.

**Основная литература:**

1. Н. Н. Калиткин, Е.А.Альшина. Численные методы : в 2 кн. Кн. 1. Численный анализ: учебник для студ. учреждений высш. проф. образования/ М. : Издательский центр «Академия», 2013.
2. Н. Н. Калиткин, П. В. Корякин. Численные методы : в 2 кн. Кн. 2. Методы математической физики: учебник для студ. учреждений высш. проф. образования/ М. : Издательский центр «Академия», 2013.
3. Landau R. H. et al. Computational Physics: Problem Solving with Python. – John Wiley & Sons, 2015.
4. Мультимедийные презентации для проведения лекционных занятий по теме 12.

**Дополнительная литература:**

5. Gautschi W. Numerical analysis. – Springer Science & Business Media, 2011.
6. Федоренко Р. П. Введение в вычислительную физику //М.: изд-во МФТИ. – 1994. – Т. 4.
7. J. R. Shewchuk, An Introduction to the Conjugate Gradient Method Without the Agonizing Pain, 1994. <http://www.cs.cmu.edu/~jrs/jrspapers.html>

**Тема 13.** Численные методы решения задачи Коши для обыкновенных дифференциальных уравнений.

Методы Рунге-Кутты. Методы решения жестких систем. Метод Розенброка.

**Основная литература:**

1. Стехина К.Н., Тумаков Д.Н. Решение дифференциальных уравнений. в пакете Mathematica. Учебное пособие. КАЗАНЬ 2014
2. Landau R. H. et al. Computational Physics: Problem Solving with Python. – John Wiley & Sons, 2015.
3. Н. Н. Калиткин, Е.А.Альшина. Численные методы : в 2 кн. Кн. 1. Численный анализ: учебник для студ. учреждений высш. проф. образования/ М. : Издательский центр «Академия», 2013.
4. Н. Н. Калиткин, П. В. Корякин. Численные методы : в 2 кн. Кн. 2. Методы математической физики: учебник для студ. учреждений высш. проф. образования/ М. : Издательский центр «Академия», 2013.
5. Мультимедийные презентации для проведения лекционных занятий по теме 13.

**Дополнительная литература:**

6. Gautschi W. Numerical analysis. – Springer Science & Business Media, 2011.
7. Федоренко Р. П. Введение в вычислительную физику //М.: изд-во МФТИ. – 1994. – Т. 4.
8. Чарльз Генри Эдвардс , Дэвид Э. Пенни. Дифференциальные уравнения и краевые задачи: моделирование и вычисление с помощью Mathematica, Maple и MATLAB. 3-е издание. Киев.: Диалектика-Вильямс, 2007
9. Хайрер Э., Нёрсетт С., Ваннер Г. Решение обыкновенных дифференциальных уравнений. нежесткие задачи. М.: Мир, 1990.
10. Хайрер Э., Ваннер Г. Решение обыкновенных дифференциальных уравнений: Жесткие и дифференциально-алгебраические задачи. М.: Мир, 1999.

#### **Тема 14.** Элементы теории разностных схем.

Постановка задачи. Невязка разностной схемы. Аппроксимация. Устойчивость двухслойных разностных схем. Достаточные признаки устойчивости линейных разностных схем по входным данным. Сходимость и порядок точности разностной схемы. Методы построения разностных схем. Консервативные схемы. Интегро-интерполяционный метод (метод баланса) построения разностных схем. Разностная схема для одномерного уравнения теплопроводности в ограниченной области. Явная и неявная схемы. Схема с весами. Шаблон. Аппроксимация. Устойчивость в чебышевской норме. Сходимость. Методы нахождения сеточного решения. Разностная схема для уравнения колебаний на отрезке. Устойчивость. Метод гармоник исследования устойчивости разностной схемы. Экономичные разностные схемы для многомерных задач математической физики. Продольно-поперечная разностная схема для уравнения теплопроводности.

#### **Основная литература:**

1. Landau R. H. et al. Computational Physics: Problem Solving with Python. – John Wiley & Sons, 2015.
2. Н. Н. Калиткин, Е.А.Альшина. Численные методы : в 2 кн. Кн. 1. Численный анализ: учебник для студ. учреждений высш. проф. образования/ М. : Издательский центр «Академия», 2013.
3. Н. Н. Калиткин, П. В. Корякин. Численные методы : в 2 кн. Кн. 2. Методы математической физики: учебник для студ. учреждений высш. проф. образования/ М. : Издательский центр «Академия», 2013.

4. Мультимедийные презентации для проведения лекционных занятий по теме 14.

**Дополнительная литература:**

5. Gautschi W. Numerical analysis. – Springer Science & Business Media, 2011.
6. Федоренко Р. П. Введение в вычислительную физику //М.: изд-во МФТИ. – 1994. – Т. 4.
7. Чарльз Генри Эдвардс , Дэвид Э. Пенни. Дифференциальные уравнения и краевые задачи: моделирование и вычисление с помощью Mathematica, Maple и MATLAB. 3-е издание. Киев.: Диалектика-Вильямс, 2007

**Тема 15.** Методы решения интегральных уравнений. Метод квадратур. Метод вырожденных ядер. Метод простой итерации. Метод наименьших квадратов. Метод Галеркина — Петрова. Метод Бубнова — Галеркина. Метод моментов. Метод коллокации. Метод Рунге. Метод следов. Метод Келлога.

**Основная литература:**

1. Landau R. H. et al. Computational Physics: Problem Solving with Python. – John Wiley & Sons, 2015.
2. Н. Н. Калиткин, Е.А.Альшина. Численные методы : в 2 кн. Кн. 1. Численный анализ: учебник для студ. учреждений высш. проф. образования/ М. : Издательский центр «Академия», 2013.
3. Н. Н. Калиткин, П. В. Корякин. Численные методы : в 2 кн. Кн. 2. Методы математической физики: учебник для студ. учреждений высш. проф. образования/ М. : Издательский центр «Академия», 2013.
4. Мультимедийные презентации для проведения лекционных занятий по теме 15.

**Тема 16.** МГД моделирование. Уравнения магнитной гидродинамики (МГД). Численные алгоритмы решения уравнений в частных производных. Система одномерных квазилинейных уравнений МГД в лагранжевых координатах. Схема Лакса. Моделирование процессов пересоединения. Двумерная МГД модель. Схема Лакса-Вендрофа.

**Основная литература:**

1. Landau R. H. et al. Computational Physics: Problem Solving with Python. – John Wiley & Sons, 2015.
2. Н. Н. Калиткин, Е.А.Альшина. Численные методы : в 2 кн. Кн. 1. Численный анализ: учебник для студ. учреждений высш. проф. образования/ М. : Издательский центр «Академия», 2013.



3. Н. Н. Калиткин, П. В. Корякин. Численные методы : в 2 кн. Кн. 2. Методы математической физики: учебник для студ. учреждений высш. проф. образования/ М. : Издательский центр «Академия», 2013.
4. Мультимедийные презентации для проведения лекционных занятий по теме 16.

**Дополнительная литература:**

5. Цветков И.В. Применение численных методов для моделирования процессов в плазме: учебное пособие. М.: МИФИ, 2007
6. Прист Э., Форбс Т. Магнитное пересоединение: магнитогидродинамическая теория и приложения / Пер. с англ. под ред. В.Д. Кузнецова, А.Г. Франк. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005.
7. Ю.Н. Днестровский, Д.П. Костомаров. Математическое моделирование плазмы. М.: Наука, 1993.
8. Ч.Бэдсел, А. Ленгдон. Физика плазмы и численное моделирование. М.: Наука, 1989.
9. Space Plasma Simulation. Книжная серия Lecture Notes in Physics. Издатель Springer Berlin / Heidelberg. ISSN 1616-6361. Том 615/2003.
10. А.А. Самарский, А.В. Гулин. Численные методы. М.: Наука, 1989.
11. А.А. Самарский. Введение в численные методы. М.: Наука, 1992.
12. Заславский Г. М., Сагдеев Р. З. Введение в нелинейную физику: От маятника до турбулентности и хаоса. М.: Наука. 1988.
13. Березин Ю.А., Федорук М.П. Моделирование нестационарных плазменных процессов. Новосибирск: Наука, 1993.
14. Кирьянов Д.В., Кирьянова Е.Н. Вычислительная физика. М.: Полибук Мультимедиа, 2006.
15. Арцимович Л. А., Сагдеев Р. З. Физика плазмы для физиков. М.: Атомиздат, 1979 год.
16. Олдер Б., Фернбах С., Ротенберг М. Вычислительные методы в физике плазмы. М.: Мир, 1974.

**Тема 17.** Кинетическое моделирование. Кинетические модели плазмы. Метод частиц в динамике разреженной плазмы. Методы восстановления плотности заряда и тока. Модели крупных частиц. Моделирование динамики заряженных частиц в электрических и магнитных полях.. Модели начального распределения частиц.

**Основная литература:**

1. Landau R. H. et al. Computational Physics: Problem Solving with Python. – John Wiley & Sons, 2015.

2. Н. Н. Калиткин, Е.А.Альшина. Численные методы : в 2 кн. Кн. 1. Численный анализ: учебник для студ. учреждений высш. проф. образования/ М. : Издательский центр «Академия», 2013.
3. Н. Н. Калиткин, П. В. Корякин. Численные методы : в 2 кн. Кн. 2. Методы математической физики: учебник для студ. учреждений высш. проф. образования/ М. : Издательский центр «Академия», 2013.
4. Мультимедийные презентации для проведения лекционных занятий по теме 17.

**Дополнительная литература:**

5. Цветков И.В. Применение численных методов для моделирования процессов в плазме: учебное пособие. М.: МИФИ, 2007
6. Ю.Н. Днестровский, Д.П. Костомаров. Математическое моделирование плазмы. М.: Наука, 1993.
7. Ч.Бэдсел, А. Ленгдон. Физика плазмы и численное моделирование. М.: Наука, 1989.
8. Space Plasma Simulation. Книжная серия Lecture Notes in Physics. Издатель Springer Berlin / Heidelberg. ISSN 1616-6361. Том 615/2003.
9. А.А. Самарский, А.В. Гулин. Численные методы. М.: Наука, 1989.
10. А.А. Самарский. Введение в численные методы. М.: Наука, 1992.
11. Заславский Г. М., Сагдеев Р. З. Введение в нелинейную физику: От маятника до турбулентности и хаоса. М.: Наука. 1988.
12. Березин Ю.А., Федорук М.П. Моделирование нестационарных плазменных процессов. Новосибирск: Наука, 1993.
13. Кирьянов Д.В., Кирьянова Е.Н. Вычислительная физика. М.: Полибук Мультимедиа, 2006.
14. Арцимович Л. А., Сагдеев Р. З. Физика плазмы для физиков. М.: Атомиздат, 1979 год.
15. Олдер Б., Фернбах С., Ротенберг М. Вычислительные методы в физике плазмы. М.: Мир, 1974.

**Тема 18.** Моделирование случайных процессов. Случайность и имитация случайности. Случайные числа и генераторы псевдослучайных чисел. Понятие статистического моделирования. Схема проведения вычислений в статистическом моделировании. Метод статистических испытаний (методы Монте-Карло). Примеры применения методов Монте-Карло.

**Основная литература:**

1. Landau R. H. et al. Computational Physics: Problem Solving with Python. – John Wiley & Sons, 2015.

2. Н. Н. Калиткин, Е.А.Альшина. Численные методы : в 2 кн. Кн. 1. Численный анализ: учебник для студ. учреждений высш. проф. образования/ М. : Издательский центр «Академия», 2013.
3. Н. Н. Калиткин, П. В. Корякин. Численные методы : в 2 кн. Кн. 2. Методы математической физики: учебник для студ. учреждений высш. проф. образования/ М. : Издательский центр «Академия», 2013.
4. Мультимедийные презентации для проведения лекционных занятий по теме 18.

**Дополнительная литература:**

5. Биндер К., Хеерман Д. В., Задков В. Н. Моделирование методом Монте-Карло в статистической физике. – М. : Наука, 1995.
6. Федоренко Р. П. Введение в вычислительную физику //М.: изд-во МФТИ. – 1994. – Т. 4.
7. Gautschi W. Numerical analysis. – Springer Science & Business Media, 2011.
8. Хеерман Д.В. Методы компьютерного эксперимента в теоретической физике. М.: Наука, 1990.
9. Метод молекулярной динамики в физической химии. Под ред. Ю.К. Товбина. М.: Наука, 1996.
10. Frenkel D., Smit B. Understanding Molecular Simulation. From Algorithms to Applications. San Diego, Academic Press, 2002.
11. Allen M.P., Tildesley D.J. Computer Simulation of Liquids, Oxford, Oxford University Press, 1990.

## 7.2. Содержание практических занятий

**Раздел 1.** Linux-подобные операционные системы. Терминал и командная строка. Структура файловой системы. Работа с файлами и папками. Системы контроля версий.

**Разделы 2-3.** Основы языка Python. Особенности машинной арифметики. Программирование вычислений: точность, устойчивость, обусловленность вычислительных алгоритмов. Требования и приемы оформления программного кода: документирование, ясность и читаемость программного кода, стилистика. Использование среды разработки Jupyter Notebook.

**Раздел 4.** Численное дифференцирование. Построение конечно-разностных схем численного дифференцирования. Центральные и односторонние схемы. Построение схем высших порядков. Численное интегрирование. Простейшие схемы Ньютона-Котеса. Понятие о квадратурных формулах Гаусса.

**Раздел 5.** Решение нелинейных уравнений: метод Ньютона, метод простой итерации. Приведение уравнения к виду, удобному для итераций. Решение систем линейных уравнений методами. Метод Гаусса и LU-разложение матрицы левой части. Метод Зейделя. Использование библиотеки numpy.

**Раздел 6.** Поиск экстремумов функций. Минимизация квадратичной формы. Связь с задачей решения системы линейных уравнений. Метод деформируемого многогранника. Координатный и наискорейший спуск. Метод сопряженных направлений.

**Раздел 7.** Задачи интерполяции, экстраполяции. Задача интерполяции. Локальная и глобальная интерполяция. Кусочно-линейная интерполяция. Кусочно-квадратичная интерполяция. Многочлен Лагранжа. Многочлен Ньютона. Экстраполяция Ричардсона, оценки по Рунге и Эйткену, вычисление интегралов с заданной точностью. Постановка задачи метода наименьших квадратов. Линейная задача наименьших квадратов. Нелинейная задача наименьших квадратов. Способы оценки погрешностей, в т.ч. стохастические.

**Раздел 8.** Работа в системе Mathematica. Численные данные, выражения. Работа со списками, векторами и матрицами. Случайные числа. Символьные вычисления. Построение графиков.

**Раздел 9.** Численное интегрирование обыкновенных дифференциальных уравнений. Метод Эйлера. Сопряжение программ на языке Python с компилируемым кодом. Язык Cython. Моделирование задач механики.

**Раздел 10.** Квадратурные формулы численного интегрирования, интегрирование быстроосциллирующих функций. Квадратурные формулы Гаусса. Метод Монте-Карло. Численные методы вычисления кратных и несобственных интегралов.

**Раздел 11.** Метод прогонки решения СЛАУ ленточного вида. Матричная прогонка. Итерационные одношаговые методы решения СЛАУ. Метод простой итерации; методы Зейделя, верхней релаксации, Якоби.

Алгебраическая проблема собственных значений. Простейшие методы. Нахождение собственных значений методом интерполяции. 3-х диагональные матрицы. Метод обратной итерации нахождения собственного вектора. Итерационный метод вращений Якоби нахождения собственных векторов и собственных значений симметричной вещественной матрицы. Матричные разложения. Введение в BLAS/LAPACK. Численные методы решения задач линейной оптимизации.

**Раздел 12.** Градиентные методы. Наискорейший спуск. Методы второго порядка. Сопряженные направления, их свойства. Метод сопряженных градиентов. Задача на минимум функционала. Постановка задачи. Метод пробных функций. Метод Рунге.

**Раздел 13.** Численные методы решения задачи Коши для обыкновенных дифференциальных уравнений. Методы Рунге-Кутты. Методы решения жестких систем. Метод Розенброка.

**Раздел 14.** Постановка задачи. Невязка разностной схемы. Аппроксимация. Устойчивость двухслойных разностных схем. Достаточные признаки устойчивости линейных разностных схем по входным данным. Сходимость и порядок точности разностной схемы. Методы построения разностных схем. Консервативные схемы. Интегро-интерполяционный метод (метод баланса) построения разностных схем. Разностная схема для одномерного уравнения теплопроводности в ограниченной области. Явная и неявная схемы. Схема с весами. Шаблон. Аппроксимация. Устойчивость в чебышевской норме. Сходимость. Методы нахождения сеточного решения. Разностная схема для уравнения колебаний на отрезке. Устойчивость. Метод гармоник исследования устойчивости разностной схемы. Экономичные разностные схемы для многомерных задач математической физики. Продольно-поперечная разностная схема для уравнения теплопроводности.

**Раздел 15.** Методы решения интегральных уравнений. Метод квадратур. Метод вырожденных ядер. Метод простой итерации. Метод наименьших квадратов. Метод Галеркина — Петрова. Метод Бубнова — Галеркина. Метод моментов. Метод коллокации. Метод Рунге. Метод следов. Метод Келлога.

**Раздел 16.** Полная система уравнений нерелятивистской МГД проводящей жидкости. Бездиссипативное приближение. Вывод уравнений МГД из уравнений Максвелла и Навье-Стокса. Конечно-разностные аппроксимации. Разностные схемы для линейного одномерного уравнения переноса. Спектральный метод анализа устойчивости разностной схемы. Переход от эйлеровых координат к лагранжевым. Разностные схемы на сдвинутых сетках. Система одномерных квазилинейных уравнений МГД в лагранжевых координатах. Схема Лакса. Условие устойчивости Куранта. Моделирование двумерных плоских течений плазмы. Течение плазмы в окрестности нейтрального слоя в приближении одножидкостной МГД с учетом конечной проводимости плазмы. Дивергентный вид уравнений МГД. Конечно-разностные алгоритмы. Численные артефакты. Схема Лакса-

Вендрофа для уравнения в дивергентной форме. Схема Мак-Кормака второго порядка аппроксимации.

**Раздел 17.** Основные понятия метода крупных частиц. Функция распределения точечных частиц. Метод листов. Функция распределения для частиц конечного размера. Плотности заряда и тока. Ядра преобразования. Сеточные ядра. Модель NGR. Модель PIC. Модель CIC. Единое описание моделей PIC и CIC в одномерном случае. Система уравнений для моментов функции распределения. Аппроксимация сил. Схема мультипольного разложения. Дискретное преобразование Фурье. Численные методы интегрирования уравнений движения. Пространственное распределение. Распределение частиц по скоростям. Дебаевское распределение. Спокойный старт. Пучковая неустойчивость.

**Раздел 18.** Случайность и имитация случайности. Случайные числа и генераторы псевдослучайных чисел. Понятие статистического моделирования. Схема проведения вычислений в статистическом моделировании. Метод статистических испытаний (методы Монте-Карло). Примеры применения методов Монте-Карло. Моделирование случайных процессов. Моделирование броуновского движения. Задача о случайном блуждании частицы. Моделирование одномерного случайного блуждания. Моделирование случайного блуждания в пространстве двух и трех измерений.

## **8 Образовательные технологии**

Выполнение заданий, предлагаемых на практических занятиях, предполагает, в том числе, и самостоятельное изучение материала, связанного с темой лекции. Работа на практических занятиях (ПР) предполагает самостоятельную разработку программ и проведение вычислительных экспериментов с их использованием.

## **9 Оценочные средства для текущего контроля и аттестации студента**

### **9.1. Домашнее задание и контрольная работа.**

1. Составить программу нахождения корней квадратного уравнения. Предусмотреть корректную работу алгоритма в предельных случаях коэффициентов, существенно отличающихся по абсолютной величине.
2. Построить одностороннюю трехточечную схему вычисления первой производной с квадратичной точностью. Вычислить производную функции  $f(x) = x^2 \ln x$  в точках  $x=1$  и  $x=0$ . Проверить шкалирование результатов с шагом дифференцирования. Объяснить полученные результаты.
3. Вычислить момент инерции плоской фигуры, заданной согласно индивидуальному варианту.
4. Составить программу нахождения корней нелинейного уравнения согласно индивидуальному варианту.

5. Составить программу, реализующую LU-разложение квадратной невырожденной матрицы. Найти решение системы линейных уравнений согласно индивидуальному варианту.
6. Составить программу нахождения экстремума заданной функции  $N$  переменных.
7. Построить изотерму газа Ван-дер-Ваальса в координатах давление-объем с учетом конструкции Максвелла.
8. Для заданного индивидуальным вариантом набора экспериментальных данных найти наилучшее среднеквадратичное приближение в заданном классе функций. Провести анализ погрешностей результатов.
9. Составить программу, моделирующую заданную в индивидуальном варианте механическую систему. Предусмотреть контроль точности решения.

### 9.1 Вопросы для оценки качества освоения дисциплины

#### Примеры вопросов, задач, заданий для зачета или экзамена.

1. Правила приближенных вычислений. Значащие цифры. Действия над приближенными числами. Погрешности вычислений на компьютерах.
2. Постановка задачи численного дифференцирования. Конечно-разностные схемы. Численное дифференцирование на основе интерполяционных формул Ньютона.
3. Постановка задачи численного дифференцирования. Конечно-разностные схемы. Оценка погрешности численного дифференцирования с помощью многочлена Лагранжа.
4. Постановка задачи численного интегрирования. Квадратурные формулы Ньютона-Котеса. Формулы прямоугольников. Формула трапеций. Формула Симпсона.
5. Постановка задачи численного интегрирования. Квадратурные формулы Гаусса.
6. Постановка задачи численного метода поиска корня нелинейного уравнения. Метод деления пополам. Метод Ньютона. Оценка скорости сходимости.
7. Постановка задачи численного метода поиска корня нелинейного уравнения. Методы секущих и парабол. Геометрическая интерпретация. Метод простой итерации. Условия сходимости.
8. Прямые методы решения систем линейных уравнений. Метод Крамера, метод Гаусса, их алгоритмическая сложность. Связь метода Гаусса и LU разложения матрицы левой части.
9. Итерационные методы решения систем линейных уравнений: методы простой итерации, Якоби, Гаусса – Зейделя.
10. Численные методы поиска экстремумов: методы покоординатного спуска, градиентного спуска. Метод сопряженных направлений.

11. Постановка задачи поиска экстремумов функций. Метод деформируемого многогранника.
12. Статистическая обработка экспериментальных данных. Регрессионный анализ. Метод наименьших квадратов (МНК).
13. Статистическая обработка экспериментальных данных. Дисперсионный анализ. Корреляционный анализ.
14. Численное интегрирование обыкновенных дифференциальных уравнений. Построение разностных схем. Явный и неявный метод Эйлера. Анализ сходимости.
15. Численное интегрирование обыкновенных дифференциальных уравнений. Построение разностных схем. Методы Рунге-Кутты. Анализ сходимости.
16. **Язык программирования C/C++**. Переменные и типы данных. Конструкция ветвления. Циклы. Массивы. Функции. Указатели. Динамические массивы. Структуры, классы.
17. Задачи интерполяции, экстраполяции. Задача интерполяции. Локальная и глобальная интерполяция.
18. Кусочно-линейная интерполяция. Кусочно-квадратичная интерполяция.
19. Многочлен Лагранжа. Многочлен Ньютона.
20. Экстраполяция Ричардсона, оценки по Рунге и Эйткену.
21. Вычисление интегралов с заданной точностью.
22. Случайные числа и генераторы псевдослучайных чисел. Понятие статистического моделирования.
23. Схема проведения вычислений в статистическом моделировании. Метод статистических испытаний (методы Монте-Карло). Примеры применения методов Монте-Карло.
24. Вычисление интегралов методом Монте-Карло и анализ погрешности.
25. Основные алгоритмы линейной алгебры и их свойства. Прямые и итеративные алгоритмы. Матричные разложения.
26. Методы вычисления собственных векторов и собственных значений.
27. Задача о случайном блуждании частицы. Моделирование одномерного случайного блуждания. Моделирование случайного блуждания в пространстве двух и трех измерений.
28. Численное интегрирование обыкновенных дифференциальных уравнений.
29. Метод Эйлера. Анализ сходимости улучшенного метода Эйлера.
30. Методы Рунге-Кутты.
31. Численные методы решения краевых задач.
32. Метод стрельбы.
33. Метод прогонки.
34. Численные методы решения начально-краевых задач для параболических уравнений. Разностные схемы для уравнения теплопроводности. Консервативные разностные схемы. Разностные схемы для численного решения не-



- линейного уравнения теплопроводности. Разностные схемы для численного решения многомерного уравнения теплопроводности.
35. Численные методы решения начально-краевых задач для гиперболических уравнений. Прямые методы характеристик. Сеточно-характеристические методы. Методы сквозного счета. Консервативные методы. Искусственная вязкость. Монотонные методы. Адаптивные схемы.
  36. Численные методы решения краевых задач для эллиптических уравнений. Принцип максимума. Метод установления решения эллиптических задач. Обоснование метода. Численная реализация.
  37. Методы решения интегральных уравнений. Метод квадратур. Метод вырожденных ядер. Метод простой итерации. Метод наименьших квадратов. Метод Галеркина — Петрова. Метод Бубнова — Галеркина. Метод моментов. Метод коллокации. Метод Рунге. Метод следов. Метод Келлога.

## **10 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### **10.1 Основная литература**

1. Landau R. H. et al. Computational Physics: Problem Solving with Python. – John Wiley & Sons, 2015.
2. Эндрю Таненбаум, Х. Бос, Современные операционные системы. СПб., Изд. Питер, 2017
7. Кнут Д., Искусство программирования, Москва, Вильямс, 2015 г.
3. Таненбаум Э., Остин Т. Архитектура компьютера, 6 издание, СПб, Питер, 2014 г.
4. Н. Н. Калиткин, Е.А.Альшина. Численные методы : в 2 кн. Кн. 1. Численный анализ: учебник для студ. учреждений высш. проф. образования/ М. : Издательский центр «Академия», 2013.
5. Н. Н. Калиткин, П. В. Корякин. Численные методы : в 2 кн. Кн. 2. Методы математической физики: учебник для студ. учреждений высш. проф. образования/ М. : Издательский центр «Академия», 2013.

### **10.2 Дополнительная литература**

1. В.З. Аладьев, Д.С. Гринь "Расширение функциональной среды системы Mathematica" / Монография / Херсон: Олди-Плюс, 2012.
2. В.З. Аладьев, В.К. Бойко, Е.А. Ровба "Программирование в пакетах Maple и Mathematica: Сравнительный аспект" / Монография / Гродно: Гродненский Госуниверситет, 2011.
3. М.Уэлш и др. Руководство по установке и использованию системы Linux. Пер. с англ., М., IPLabs, Институт логики, 2000 г.

4. Костромин В.А. Основы работы в ОС Linux (2-е изд.) М.: НОУ «Интуит», 2016.
5. Стехина К.Н., Тумаков Д.Н. Решение дифференциальных уравнений в пакете Mathematica. Учебное пособие. КАЗАНЬ 2014
6. Марк Лутц. Python. Карманный справочник. – Вильямс, 2015.
7. Олаф Кирх. Linux для профессионалов. Руководство администратора сети. СПб., Изд. Питер, 2000
8. А. Пасечник. Red Hat 6.2 Linux. Учебный курс. СПб., Изд. Питер, , 2000
9. Глушко В.П., Глушко А.В. Курс уравнений математической физики с использованием пакета Mathematica. Теория и технология решения задач. Санкт-Петербург: Лань, 2010.
10. Дьяконов В. П. Mathematica 5/6/7. Полное руководство. - М.: ДМК Пресс, 2010.
11. Mangano S. Mathematica Cookbook. O'Reilly 2010.
12. Пеньков, В.Б. Компьютерное моделирование основных задач классической механики: учеб. пособие / Л.В. Саталкина, Д.А. Иванычев, В.Б. Пеньков. — Липецк: ЛГТУ, 2013
13. Кузнецов О. П., Адельсон-Вельский Г. М. Дискретная математика для инженера. – М.: Энергоатомиздат, 1988.
14. Марк Лутц. Изучаем Python. 4-е издание. – Пер. с англ. – СПб.: Символ-Плюс, 2011.
15. Марк Лутц. Программирование на Python, том I, 4-е издание. – Пер. с англ. – СПб.: Символ-Плюс, 2011.
16. Марк Лутц. Программирование на Python, том II, 4-е издание. – Пер. с англ. – СПб.: Символ-Плюс, 2011.
17. Федоренко Р. П. Введение в вычислительную физику // М.: изд-во МФТИ. – 1994. – Т. 4.
18. Чарльз Генри Эдвардс, Дэвид Э. Пенни. Дифференциальные уравнения и краевые задачи: моделирование и вычисление с помощью Mathematica, Maple и MATLAB. 3-е издание. Киев.: Диалектика-Вильямс, 2007
19. Половко А.М. Mathematica для студента. -СПб.: БХП – Петербург, 2007
20. Gautschi W. Numerical analysis. – Springer Science & Business Media, 2011.

### 10.3 Справочники, словари, энциклопедии

Абрамович М., Стегун И. Справочник по специальным функциям. М.: Наука, 1979.

- <http://dlmf.nist.gov> - NIST Digital Library of Mathematical Functions

#### **10.4 Программные средства**

Практические занятия проводятся в компьютерных классах с выходом в Интернет и доступом к ресурсам электронной библиотеки (<http://library.hse.ru/e-resources/e-resources.htm>) НИУ ВШЭ.

Предусматривается наличие у каждого студента рабочего места. Практическая работа ориентирована на использование современных интегрированных инструментальных сред разработки.

Используемое программное обеспечение:

- ОС Windows и Linux (dual boot)
- Microsoft Office Professional 2007-2010 (или, более поздние версии),
- дистрибутив Anaconda Python или аналогичный,
- Jupyter Notebook (входит в состав дистрибутива Anaconda)
- Microsoft Visual Studio C++ 2015 (Windows), gcc (Linux)
- Wolfram Mathematica.

Использование в качестве основной другой среды разработки возможно по согласованию с преподавателями, проводящими занятия в учебных подгруппах. Во всех подгруппах используется единая среда разработки в течение всего учебного года.

#### **10.5 Дистанционная поддержка дисциплины**

Дистанционная поддержка дисциплины обеспечивается использованием LMS. В разделе дисциплины размещаются дополнительные материалы, связанные с лекциями, практическими занятиями, материалы для самоподготовки, проекты, оценки текущего и итогового контроля.

### **11 Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Проектор (лекционные и практические занятия), классы для практических занятий, оснащенные компьютерами с необходимым ПО.