

**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Московский физико-технический институт  
(национальный исследовательский университет)»**

**УТВЕРЖДЕНО**

**и.о. директора физтех-школы  
физики и исследований им.  
Ландау**

**А.А. Воронов**

**Рабочая программа дисциплины (модуля)**

<b>по дисциплине:</b>	Вычислительная физика
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра проблем физики и астрофизики
<b>курс:</b>	3
<b>квалификация:</b>	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 5 (осенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 15 час.

семинары: 15 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 15 час.

Всего часов: 45, всего зач. ед.: 1

Программу составил: О.В. Иванов, канд. физ.-мат. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры проблем физики и астрофизики 19.05.2020

## Аннотация

Курс направлен на формирование знаний о постановке и решении вычислительных задач, формирование представлений о современных методах вычислительной физики, а также развитие навыков, необходимых для реализации полученных знаний.

### 1. Цели и задачи

#### Цель дисциплины

Формирование знаний о постановке и решении вычислительных задач, формирование представлений о современных методах вычислительной физики, а также развитие навыков, необходимых для реализации полученных знаний.

#### Задачи дисциплины

Формирование знаний и умений, необходимых для решения широкого круга задач вычислительной физики.

### 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
	ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
	ОПК-1.3 Способен определять границы применимости полученных результатов
ОПК-5 Способен участвовать в проведении фундаментальных и прикладных исследований и разработок, самостоятельно осваивать новые теоретические, в том числе, математические методы исследований, и работать на современной экспериментальной научно-исследовательской, измерительно-аналитической и технологической аппаратуре	ОПК-5.1 Способен решать поставленные задачи в области теоретических и экспериментальных исследований и разработок
ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики
ПК-3 Способен выбирать и применять подходящее оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области	ПК-3.2 Знает области и критерии применимости используемых теоретических подходов и умение оценивать точность приближенных аналитических методов вычислений
ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.1 Знает численные порядки величин, характерных для соответствующей профессиональной области

### 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- ☐ Методы решения дифференциальных уравнений;
- ☐ Дискретное вейвлет-преобразование, дискретное Фурье-преобразование;
- ☐ Методы численного интегрирования, метод Монте-Карло;
- ☐ Методы вычислительной линейной алгебры.

уметь:

- ☐ Производить быстрое Фурье-преобразование и вейвлет-преобразование;
- ☐ Выбирать подходящий для решения задачи базис;
- ☐ Производить матричные вычисления.

владеть:

- ☐ Методами численного решения уравнений и других вычислительных задач.

#### 4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

##### 4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Выработка полезных навыков.	2	1		1
2	Алгоритмы на графах.	1	2		1
3	Геометрические алгоритмы.	2	1		1
4	Вейвлеты.	1	2		2
5	Быстрое преобразование Фурье.	2	1		2
6	Вычислительная линейная алгебра.	1	2		2
7	Численное интегрирование.	2	2		2
8	Дифференциальные уравнения.	2	2		2
9	Метод Монте-Карло.	2	2		2
Итого часов		15	15		15
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		45 час., 1 зач.ед.			

##### 4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 5 (Осенний)

###### 1. Выработка полезных навыков.

Постановка вычислительной задачи. Как правильно организовать решение задачи. Структурирование и написание программы, предоставление её в читаемом виде. Анализ алгоритмов, оптимизация. SVG. Особенности языка C++.

###### 2. Алгоритмы на графах.

Поиск по графу. Анализ структуры графа: выделение его связных частей, вычисление путей между вершинами. Задача построения минимального связного графа с заданными вершинами.

###### 3. Геометрические алгоритмы.

Кривые, заданные на дискретном наборе точек, их аппроксимация. Проблема разделения двух множеств точек на плоскости. Триангулированные поверхности. Grid generation.

###### 4. Вейвлеты.

Ортогональные вейвлеты с компактным носителем, их построение. Кратномасштабный анализ. Дискретное вейвлет-преобразование. Представление операторов в вейвлет-базисе. Поведение вейвлет-коэффициентов. Сжатие данных с помощью вейвлетов.

#### 5. Быстрое преобразование Фурье.

Умножение фурье-образов. Решение дифференциальных уравнений в ЧП с помощью быстрого преобразования Фурье.

#### 6. Вычислительная линейная алгебра.

Решение систем линейных уравнений. QR-разложение. Вычисление собственных значений. Сравнение линейных подпространств. SVD.

#### 7. Численное интегрирование.

Простые методы численного интегрирования. Метод Монте-Карло. Скорость сходимости в многомерном случае. Метод Коробова.

#### 8. Дифференциальные уравнения.

Граничные условия. Постановка задачи в неограниченной области. Полиномы Чебышёва. Выбор подходящего базиса функций. Представление операторов в различных базисах, приведение их к удобному виду. Сильно нелинейная задача с периодическим потенциалом.

#### 9. Метод Монте-Карло.

Когда стоит применять метод Монте-Карло? Примеры. Генерация случайного события, соответствующего особенностям моделируемого процесса.

### **5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)**

Учебная аудитория, оснащенная доской, мультимедиапроектором и экраном.

### **6. Перечень рекомендуемой литературы**

#### Основная литература

1. Матричные вычисления [Текст] = Matrix Computations : [учеб. пособие для вузов] / Дж. Голуб, Ч. Ван Лоун ; пер. с англ. Ю. М. Нечепуренко и др. ; под ред. В. В. Воеводина .— М. : Мир, 1999 .— 548 с.
2. Хокни Р., Иствуд Дж. Численное моделирование методом частиц (М.,:Мир, 1987)

#### Дополнительная литература

1. Л.В.Келдыш, Диаграммная техника для неравновесных процессов, ЖЭТФ. 47, 1515 (1964).
2. J.Rammer, H.Smith Quantum field theoretical methods in transport theory of metals, Rev.Mod.Phys. 58, 323 (1986).

### **7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)**

[www.arXiv.org](http://www.arXiv.org)

### **8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)**

На лекционных занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций.

В процессе самостоятельной работы обучающихся возможно использование таких программных средств, как Mathlab и др.

## **9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)**

Студент, изучающий дисциплину, должен с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике.

В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения дисциплины, уметь применять полученные знания для решения различных задач.

Успешное освоение курса требует:

- посещения всех занятий, предусмотренных учебным планом по дисциплине;
- ведения конспекта занятий;
- напряжённой самостоятельной работы студента.

Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала, подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения;
- решение задач, предлагаемых студентам на занятиях;
- подготовку к дифференцированному зачету.

Показателем владения материалом служит умение без конспекта отвечать на вопросы по темам дисциплины.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями к преподавателю.

Возможен промежуточный контроль знаний студентов в виде решения задач в соответствии с тематикой занятий.

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

**по направлению:** Прикладные математика и физика  
**профиль подготовки:** Общая и прикладная физика  
Физтех-школа физики и исследований им. Ландау  
кафедра проблем физики и астрофизики  
**курс:** 3  
**квалификация:** бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 5 (осенний) - Дифференцированный зачет

**Разработчик:** О.В. Иванов, канд. физ.-мат. наук

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
	ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
	ОПК-1.3 Способен определять границы применимости полученных результатов
ОПК-5 Способен участвовать в проведении фундаментальных и прикладных исследований и разработок, самостоятельно осваивать новые теоретические, в том числе, математические методы исследований, и работать на современной экспериментальной научно-исследовательской, измерительно-аналитической и технологической аппаратуре	ОПК-5.1 Способен решать поставленные задачи в области теоретических и экспериментальных исследований и разработок
ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики
ПК-3 Способен выбирать и применять подходящее оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области	ПК-3.2 Знает области и критерии применимости используемых теоретических подходов и умение оценивать точность приближенных аналитических методов вычислений
ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.1 Знает численные порядки величин, характерных для соответствующей профессиональной области

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Вычислительная физика» обучающийся должен:

### знать:

- ☐ Методы решения дифференциальных уравнений;
- ☐ Дискретное вейвлет-преобразование, дискретное Фурье-преобразование;
- ☐ Методы численного интегрирования, метод Монте-Карло;
- ☐ Методы вычислительной линейной алгебры.

### уметь:

- ☐ Производить быстрое Фурье-преобразование и вейвлет-преобразование;
- ☐ Выбирать подходящий для решения задачи базис;
- ☐ Производить матричные вычисления.

### владеть:

- ☐ Методами численного решения уравнений и других вычислительных задач.

## 3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

Не предусмотрено.

## 4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

- 1) Алгоритм построения границы минимального выпуклого многоугольника, содержащего заданные точки.

- 2) Выделение связанных частей графа. Нахождение наиболее короткого пути по графу между двумя точками.
- 3) Ортогональные вейвлет-базисы. Вейвлеты Добеши, их построение.
- 4) Представление операторов в вейвлет-базисе.
- 5) Быстрое преобразование Фурье. Как избежать потери данных при перемножении двух рядов Фурье?
- 6) Решение дифференциальных уравнений в частных производных с помощью быстрого преобразования Фурье и с помощью систем ортогональных полиномов.
- 7) Нахождение нескольких наибольших собственных значений матрицы и линейных подпространств, соответствующих им, с помощью SVD – разложения.
- 8) Моделирование процессов с помощью метода Монте-Карло. Интегрирование методом Монте-Карло.
- 9) Граничные условия. Постановка задачи в неограниченной области. Полиномы Чебышёва. Выбор подходящего базиса функций.
- 10) Представление операторов в различных базисах, приведение их к удобному виду. Сильно нелинейная задача с периодическим потенциалом.

#### Критерии оценивания

Оценка "отлично" (10 баллов) выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка "отлично" (9 баллов) выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка "отлично" (8 баллов) выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочётами.

Оценка "хорошо" (7 баллов) выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка "хорошо" (6 баллов) выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка "хорошо" (5 баллов) выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка "удовлетворительно" (4 балла) выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка "удовлетворительно" (3 балла) выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка "неудовлетворительно" (2 балла) выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка "неудовлетворительно" (1 балл) выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.



## **5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**

При проведении устного дифференцированного зачета обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку. Опрос обучающегося по билету на устном дифференцированном зачёте не должен превышать одного астрономического часа.