

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

**УТВЕРЖДЕНО**  
**Проректор по учебной работе**

**А.А. Воронов**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Язык Fortran для решения физических задач
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Физика и педагогика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра информатики и вычислительной математики
<b>курс:</b>	2
<b>квалификация:</b>	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 4 (весенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 0 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 60 час.

Самостоятельная работа: 120 час.

Всего часов: 180, всего зач. ед.: 4

Количество контрольных работ, заданий: 4

Программу составил: В.Р. Соловьев, канд. физ.-мат. наук, доцент, доцент

Программа обсуждена на заседании кафедры информатики и вычислительной математики 27.01.2021

## Аннотация

Язык программирования Фортран был специально разработан для численного решения инженерных и физических задач. В этой области применения он активно использовался ранее и продолжает не менее активно использоваться сейчас. Целью курса является изучение программирования на языке Фортран с применением технологии параллельных вычислений в приложении к решению физических задач. На примере задачи о колебаниях математического маятника рассматривается решение задач, сводящихся к системам обыкновенных дифференциальных уравнений, анализируется различие решений линейных и нелинейных задач и переход от устойчивых решений к динамическому хаосу. На примере задачи о диффузии частицы в среде показано использование метода Монте-Карло и применение MPI технологии параллельных вычислений.

### 1. Цели и задачи

#### Цель дисциплины

Целью курса является изучение программирования на языке Фортран с применением технологии параллельных вычислений в приложении к решению физических задач.

#### Задачи дисциплины

- освоение студентами языка программирования Фортран и технологии параллельных вычислений;
- приобретение студентами знаний в области программирования и компьютерного моделирования;
- оказание консультаций и помощи студентам при освоении языка программирования, разработке алгоритмов и написании компьютерных программ;
- приобретение навыков моделирования на компьютере физических задач.

### 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
	УК-1.2 Находит, критически анализирует и выбирает информацию, необходимую для решения поставленной задачи
	УК-1.3 Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивает их преимущества и недостатки
	УК-1.4 Грамотно, логично, аргументированно формирует собственные суждения и оценки
	УК-1.5 Определяет и оценивает практические последствия возможных вариантов решения задачи
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-2 Способен использовать современные информационные технологии и программные средства при решении задач профессиональной деятельности, соблюдая требования информационной безопасности	ОПК-2.1 Способен применять современные вычислительную технику и сервисы сети Интернет в области (сфере) профессиональной деятельности
	ОПК-2.2 Знает и умеет применять численные математические методы и прикладное программное обеспечение для решения научных задач в профессиональной области
ОПК-4 Способен осуществлять сбор и обработку научно-технической и (или)	ОПК-4.1 Владеет методами научного поиска и интеллектуального анализа информации при решении задач профессиональной деятельности

технологической информации для решения фундаментальных и прикладных задач	ОПК-4.2 Знает основные источники научно-технической и (или) технологической информации в области профессиональной деятельности
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
	ОПК-5.2 Обладает способностью к освоению новых знаний на основе изучения литературы, научных статей и других источников
	ОПК-5.3 Способен к профессиональной эксплуатации современной экспериментальной научно-исследовательской (измерительно-аналитической и технологической) аппаратуры
ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.3 Владеет культурой постановки научной задачи и моделирования естественнонаучных объектов и систем
	ПК-1.4 Умеет строить математические модели для описания и исследования процессов и явлений в соответствующих научных областях
	ПК-1.6 Знает основные правила поведения и работы в современной научной лаборатории
	ПК-1.7 Способен оценивать требуемые ресурсы (материальные и временные) для планирования и проведения научного эксперимента
	ПК-1.8 Владеет навыками работы с современными языками программирования и программными пакетами для научных расчетов
ПК-2 Способен анализировать полученные в ходе научно-исследовательской работы данные и делать научные выводы (заключения)	ПК-2.1 Владеет методами статистической обработки и анализа научных данных
	ПК-2.2 Умеет находить ключевые параметры, определяющие изучаемое явление, и производить численные оценки по порядку величины
ПК-3 Способен выбирать и применять подходящее оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области	ПК-3.3 Умеет производить оценку точности численных методов, используемых на ЭВМ, вычислительной сложности используемых алгоритмов и объема требуемых вычислительных ресурсов
	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-4.3 Способен обосновать причинно-следственные отношения используемых понятий и моделей

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

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- принцип построения программы и синтаксис языка Фортран;
- технологию параллельных вычислений MPI;
- простейшие методы численного решения обыкновенных дифференциальных уравнений;
- метод Монте-Карло.

уметь:

- реализовать численный алгоритм решения задачи на языке Фортран;
- графически представить результаты расчета, как с помощью графических библиотек Фортрана, так и с помощью графических пакетов;
- анализировать полученное решение.

владеть:

- теоретическими и практическими знаниями по численной реализации алгоритма решения задачи на языке Фортран.

#### 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	Формирование проекта			4	8
2	Язык Фортран. Решение тестовых задач			18	36
3	Простейшие методы численного решения обыкновенных дифференциальных уравнений			10	20
4	Библиотека IMSL			2	4
5	Графическая визуализация численных результатов			2	4
6	Технология параллельных вычислений MPI			6	12
7	Метод Монте-Карло			2	4
8	Моделирование различных физических процессов методом Монте-Карло с применением параллельных вычислений			16	32
Итого часов				60	120
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		180 час., 4 зач.ед.			

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

Семестр: 4 (Весенний)

###### 1. Формирование проекта

Формирование проекта в операционных системах UNIX и WINDOWS. Командная строка и оболочка Visual Studio. Настройка проекта. Режимы Debug и Release. Поиск ошибки в исполняемом коде

###### 2. Язык Фортран. Решение тестовых задач

Синтаксис, описание переменных, массивы, операторы, подпрограммы и функции. Решение тестовых задач.

###### 3. Простейшие методы численного решения обыкновенных дифференциальных уравнений

Простейшие методы численного решения обыкновенных дифференциальных уравнений. Точность и порядок метода. Методы Эйлера, Эйлера-Крамера, предиктор-корректор. Задача о колебаниях линейного и нелинейного маятника с вынуждающей силой, резонансные кривые, переход в режим динамического хаоса.

#### 4. Библиотека IMSL

Присоединение библиотеки к проекту. Сравнительное решение задачи о нелинейном маятнике методом предиктор-корректор и с помощью библиотечной программы.

#### 5. Графическая визуализация численных результатов

Использование графических библиотек языка Фортран. Графические пакеты обработки и визуализации численных результатов GRAPHER и SURFER.

#### 6. Технология параллельных вычислений MPI

Технология параллельных вычислений MPI. Основные понятия и общие процедуры. Передача и прием сообщений между отдельными процессами. Коллективные взаимодействия процессов. Группы и коммутаторы.

#### 7. Метод Монте-Карло

Суть метода. Датчики случайных чисел. Методы обратного отображения и отбора-отказа. Точность метода.

#### 8. Моделирование различных физических процессов методом Монте-Карло с применением параллельных вычислений

Задача о диффузии частиц, испускаемых точечным источником, вычисление зависимости от времени среднего смещения частиц, сравнение с формулой Эйнштейна. Вычисление функции распределения частиц по пространству и сравнение с точным аналитическим решением.

Задача о пространственно-энергетической релаксации моноэнергетического пучка частиц в среде газовой мишени. Установление равновесного распределения по энергии.

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

Персональный компьютер или ноутбук с установленным компилятором Fortran и сторонними свободно распространяемыми библиотеками.

### 6. Перечень рекомендуемой литературы

#### Основная литература

1. Параллельное программирование с использованием технологии MPI , учебное пособие / А. С. Антонов. — Москва, ИНТУИТ, 2016.— URL: <https://e.lanbook.com/book/100359> (дата обращения: 30.12.2020). - Полный текст (Режим доступа : из сети МФТИ / Удаленный доступ)
2. Компьютерное моделирование в физике [Текст] : в 2 ч. Ч. 1 : [учеб. пособие для вузов] / Х. Гулд, Я. Тобочник ; пер. с англ. А. Н. Полудова, В. А. Панченко .— М. : Мир, 1990 .— 349 с.

#### Дополнительная литература

- 1.

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

Не используются

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

На лабораторных работах используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций.

В процессе самостоятельной работы обучающихся возможно использование таких программных средств, как Microsoft Visual Studio, Grapher, Surfer и др.

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

Обучающийся курсу должен освоить синтаксис языка Фортран и принцип построения программы. Он должен научиться применять полученные знания на практике, реализовывать расчётные алгоритмы в виде программ на языке Фортран. Освоение курса не сводится только к посещению занятий. Основой успешного прохождения курса является самостоятельная работа студента, которая включает в себя:

- проработку примеров программ и аналитических выкладок с занятий;
- выполнение домашних заданий;
- изучение дополнительных материалов по монографиям, статьям и справочникам.

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в форме индивидуальных консультаций.

Показателем владения материалом служит умение решать вычислительные задачи. Для формирования умения применять теоретические знания на практике студенту необходимо самостоятельно решать задачи, писать программы на языке Фортран. При решении задач стоит акцентировать внимание на качестве написанного кода и его наглядности, полном понимании всех этапов решения задачи. Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями к преподавателю.

Выполнение домашних заданий является обязательным. Домашние задания могут быть частично или полностью заменены по решению преподавателя на несколько курсовых проектов. Способ оформления и отправки работ сообщается преподавателем дополнительно.

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

**по направлению:** Прикладные математика и физика  
**профиль подготовки:** Физика и педагогика  
Физтех-школа физики и исследований им. Ландау  
кафедра информатики и вычислительной математики  
**курс:** 2  
**квалификация:** бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 4 (весенний) - Дифференцированный зачет

**Разработчик:** В.Р. Соловьев, канд. физ.-мат. наук, доцент, доцент

# 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
	УК-1.2 Находит, критически анализирует и выбирает информацию, необходимую для решения поставленной задачи
	УК-1.3 Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивает их преимущества и недостатки
	УК-1.4 Грамотно, логично, аргументированно формирует собственные суждения и оценки
	УК-1.5 Определяет и оценивает практические последствия возможных вариантов решения задачи
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-2 Способен использовать современные информационные технологии и программные средства при решении задач профессиональной деятельности, соблюдая требования информационной безопасности	ОПК-2.1 Способен применять современные вычислительную технику и сервисы сети Интернет в области (сфере) профессиональной деятельности
	ОПК-2.2 Знает и умеет применять численные математические методы и прикладное программное обеспечение для решения научных задач в профессиональной области
ОПК-4 Способен осуществлять сбор и обработку научно-технической и (или) технологической информации для решения фундаментальных и прикладных задач	ОПК-4.1 Владеет методами научного поиска и интеллектуального анализа информации при решении задач профессиональной деятельности
	ОПК-4.2 Знает основные источники научно-технической и (или) технологической информации в области профессиональной деятельности
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
	ОПК-5.2 Обладает способностью к освоению новых знаний на основе изучения литературы, научных статей и других источников
	ОПК-5.3 Способен к профессиональной эксплуатации современной экспериментальной научно-исследовательской (измерительно-аналитической и технологической) аппаратуры
ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.3 Владеет культурой постановки научной задачи и моделирования естественнонаучных объектов и систем
	ПК-1.4 Умеет строить математические модели для описания и исследования процессов и явлений в соответствующих научных областях
	ПК-1.6 Знает основные правила поведения и работы в современной научной лаборатории
	ПК-1.7 Способен оценивать требуемые ресурсы (материальные и временные) для планирования и проведения научного эксперимента
	ПК-1.8 Владеет навыками работы с современными языками программирования и программными пакетами для научных расчетов



ПК-2 Способен анализировать полученные в ходе научно-исследовательской работы данные и делать научные выводы (заключения)	ПК-2.1 Владеет методами статистической обработки и анализа научных данных
	ПК-2.2 Умеет находить ключевые параметры, определяющие изучаемое явление, и производить численные оценки по порядку величины
ПК-3 Способен выбирать и применять подходящее оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области	ПК-3.3 Умеет производить оценку точности численных методов, используемых на ЭВМ, вычислительной сложности используемых алгоритмов и объема требуемых вычислительных ресурсов
	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-4.3 Способен обосновать причинно-следственные отношения используемых понятий и моделей

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Язык Fortran для решения физических задач» обучающийся должен:

### знать:

- принцип построения программы и синтаксис языка Фортран;
- технологию параллельных вычислений MPI;
- простейшие методы численного решения обыкновенных дифференциальных уравнений;
- метод Монте-Карло.

### уметь:

- реализовать численный алгоритм решения задачи на языке Фортран;
- графически представить результаты расчета, как с помощью графических библиотек Фортрана, так и с помощью графических пакетов;
- анализировать полученное решение.

### владеть:

- теоретическими и практическими знаниями по численной реализации алгоритма решения задачи на языке Фортран.

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

Примеры контрольных вопросов для текущего контроля освоения материала:

- 1) Как описываются переменные и массивы в языке Фортран?
- 2) Как использовать подпрограммы и функции в языке Фортран?
- 3) Как формируется проект при использовании технологии MPI?
- 4) Чем отличаются методы решения ОДУ Эйлера, Эйлера-Крамера и предиктор-корректор?
- 5) В чем суть метода Монте-Карло?

Примеры упражнений на проверку знаний:

- 1) Напишите программу решения задачи о колебаниях маятника с гармонической вынуждающей силой.
- 2) Постройте резонансные кривые колебаний нелинейного маятника для разных значений амплитуды вынуждающей силы.
- 3) Напишите алгоритм решения задачи о диффузии частицы методом Монте-Карло.

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

Перечень контрольных вопросов:

1. Использование подпрограмм и функций в алгоритме решения системы обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ).
2. Алгоритм решения задачи о колебаниях маятника методами Эйлера, Эйлера-Крамера и предиктор-корректор.
3. Графическое представление решения на фазовой плоскости.
4. Проверка точности решения по закону сохранения энергии.
5. Определение порядка точности метода, используя закон сохранения энергии.
6. Переход от динамического к хаотическому решению в задаче о нелинейном маятнике с колеблющейся точкой подвеса.
7. Суть метода Монте-Карло.
8. Точность метода Монте-Карло.
9. Реализация метода Монте-Карло в MPI технологии параллельных вычислений.
10. Алгоритм решения задачи о диффузии частицы методом Монте-Карло.
11. Численное моделирование пространственного распределения частиц в ходе диффузии.
12. Графическое представление пространственного распределения частиц, сравнение с точным аналитическим решением.

#### Критерии оценивания

Оценка «отлично (10)» выставляется обучающемуся, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания предмета и в ходе беседы верно и детально ответившего на четыре (4) произвольных вопроса из выше приведенного перечня. Детальный ответ предполагает верные ответы на все уточняющие вопросы. Подготовка и успешная защита курсовой работы является преимуществом. Оценка «отлично (9)» выставляется обучающемуся, если в ходе беседы он верно, но не детально ответил на четыре (4) произвольных вопроса из выше приведенного перечня (мог не ответить на некоторые уточняющие вопросы). Подготовка и успешная защита курсовой работы является преимуществом. Оценка «отлично (8)» выставляется обучающемуся, если в ходе беседы он верно, но не детально ответил на четыре (4) произвольных вопроса из выше приведенного перечня (не ответил на все уточняющие вопросы). Оценка «хорошо (7)» выставляется обучающемуся, если в ходе беседы он верно и достаточно детально ответил на три (3) произвольных вопроса из выше приведенного перечня. Детальный ответ предполагает верные ответы на все уточняющие вопросы. Подготовка и успешная защита курсовой работы является преимуществом. Оценка «хорошо (6)» выставляется обучающемуся, если в ходе беседы он верно, но не детально ответил на три (3) произвольных вопроса из выше приведенного перечня (не ответил на некоторые уточняющие вопросы). Подготовка и успешная защита курсовой работы является преимуществом. Оценка «хорошо (5)» выставляется обучающемуся, если в ходе беседы он верно и достаточно детально ответил на два (2) произвольных вопроса из выше приведенного перечня. Детальный ответ предполагает верные ответы на все уточняющие вопросы. Оценка «удовлетворительно (4)» выставляется обучающемуся, если в ходе беседы он верно и достаточно детально ответил на один (1) произвольный вопрос из выше приведенного перечня. Детальный ответ предполагает верные ответы на все уточняющие вопросы. Подготовка и успешная защита курсовой работы является преимуществом. Оценка «удовлетворительно (3)» выставляется обучающемуся, если в ходе беседы он верно, но не детально ответил на один (1) произвольный вопрос из выше приведенного перечня (не ответил на уточняющие вопросы). Оценка «неудовлетворительно (2)» выставляется обучающемуся, если в ходе беседы он не смог ответить ни на один произвольный вопрос из выше приведенного перечня, но смог ответить на наводящие вопросы и вопросы с «подсказками». Оценка «неудовлетворительно (1)» выставляется обучающемуся, если в ходе беседы он не смог ответить ни на один произвольный вопрос из выше приведенного перечня, а так же ни на один наводящий вопрос.

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

Дифференцированный зачет проводится по итогам сдачи практических и теоретических заданий, предусмотренных программой дисциплины, путем организации специального опроса, проводимого в устной форме, а также защиты выпускного проекта.