

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

**УТВЕРЖДЕНО**

**Проректор по учебной работе и  
довузовской подготовке**

**А.А. Воронов**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Многопоточные вычисления на основе технологий CUDA и OpenCL
<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: А.М. Казённов, ассистент

Программа обсуждена на заседании кафедры информатики и вычислительной математики 06.02.2020

## Аннотация

В рамках данного курса студенты освоят архитектуру GPU, познакомятся с программными моделями CUDA и OpenCL, глубже разберутся с понятиями глобальная и разделяемая память, текстурная память, получают практику разработки программ с использованием указанных технологий.

### 1. Цели и задачи

#### Цель дисциплины

Формирование базовых знаний по технологиям CUDA и OpenCL и применение их в естественно-научных и иных практических задачах.

#### Задачи дисциплины

- Формирование у обучающихся базовых знаний по CUDA;
- формирование у обучающихся базовых знаний по OpenCL;
- формирование умений и навыков применять полученные знания для решения практических 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) 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	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

работать на современной экспериментальной научно-исследовательской, измерительно-аналитической и технологической аппаратуре	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-1.7 Способен оценивать требуемые ресурсы (материальные и временные) для планирования и проведения научного эксперимента
	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-1.8 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-3.2 Знает области и критерии применимости используемых теоретических подходов и умение оценивать точность приближенных аналитических методов вычислений
	ПК-3.3 Умеет производить оценку точности численных методов, используемых на ЭВМ, вычислительной сложности используемых алгоритмов и объема требуемых вычислительных ресурсов
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:

- Основные термины курса;
- различие в устройстве центрального процессора и графического ускорителя;
- особенности программной модели CUDA;
- дополнительные возможности компилятора NVCC;
- различия между всеми типами памяти графического ускорителя.

уметь:

- Компилировать код на CUDA с помощью компилятора NVCC;
- преобразовывать последовательный код в параллельный на CUDA ;
- оценивать возможность использования различных типов памяти;
- оптимизировать код, используя особенности аппаратного устройства графического ускорителя.

владеть:

- Навыками работы в операционной системе Linux;
- навыками работы с компилятором NVCC;
- культурой постановки, анализа и решения математических и прикладных задач, требующих для своего решения использования параллельных вычислений на CUDA;
- расширением языка C.

### 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	Введение в курс			8	8
2	Архитектура CPU и GPU			8	8
3	Аппаратная реализация единой архитектуры			8	8
4	Программная модель CUDA			8	8
5	Программная модель OpenCL			8	16
6	Модель памяти GPU			8	16
7	Оптимизация основных алгоритмов			4	12
8	Текстурная память GPU			4	12
9	Практическое применение			4	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. Введение в курс

История развития вычислительных систем. Основная терминология курса. Типы параллелизма. Обоснование необходимости использования распределенных вычислительных систем. Критерии применимости параллельных вычислений. Примеры применения параллельных вычислений. Различные типы параллельных систем. Классическая и гибридная схема. Кластеры и суперкомпьютеры на гибридной схеме.

##### 2. Архитектура CPU и GPU

Сравнение классической архитектуры Intel и AMD. Принципиальное отличие классической и GPU архитектуры. Необходимые шаги к единой архитектуре вычислительных устройств. Сравнительные характеристики чипов G 280, G 295, G 480, NVIDIA.

##### 3. Аппаратная реализация единой архитектуры

Объединённая архитектура графических процессоров. Основные составные элементы аппаратной реализации GPU. Преимущества унифицированной архитектуры. Составные части аппаратной реализации: TPC, SM, SP. Буфер инструкций SM. Регистровый файл SM. Конвейеры исполнения команд. Ветвление внутри варпа.

##### 4. Программная модель CUDA

Основные модификаторы языка C. Введение в особенности программирования под GPU. Понятия Thread, Warp, Block и Grid. Программный стек CUDA. Описание пользовательского интерфейса разработчика, основные компоненты. Команды работы с памятью. Пример вызова CUDA.

## 5. Программная модель OpenCL

Понятия Host и Device. Платформы OpenCL, контекст и очередь исполнения. Сборка и запуск ядер на устройствах.

## 6. Модель памяти GPU

Глобальная, константная, текстурная, локальная, разделяемая и регистровая память. Особенности использования каждого типа памяти. Размещение различных данных в различной памяти. Сравнения производительности глобальной и текстурной памяти на задачах произвольного чтения. Характерные размеры каждой памяти на примере чипа G200. Когерентное общение с глобальной памятью.

## 7. Оптимизация основных алгоритмов

Использование Scan, Reduce, Histogram, Bitonic sort.

## 8. Текстурная память GPU

Использование текстурной памяти. Способы размещения данных в текстурной памяти. Использование аппаратной интерполяции. Отличия модели исполнения, работы с текстурами, сборки и компиляции программ OpenCL от CUDA. Постановка практических заданий.

## 9. Практическое применение

Постановка и разбор проектных заданий. Консультации по проектам. Прием заданий и проектов.

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

Учебная аудитория, оснащенная мультимедиа проектором и экраном.

## **6.Перечень рекомендуемой литературы**

### Основная литература

1. Параллельные вычисления на GPU. Архитектура и программная модель CUDA [Текст] : учеб. пособие для вузов / А. В. Боресков [и др.] ; Моск. гос. ун-т им. М. В. Ломоносова .— М. : Изд-во Моск. ун-та, 2012 .— 336 с.

### Дополнительная литература

1. Последовательно-параллельные вычисления [Текст] / Е. Валях ; пер. с англ. И. А. Николаева, А. М. Степанова .— М. : Мир, 1985 .— 456 с.

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

<http://www.hpc.mipt.ru>

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

На занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию экрана.

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

Студент, изучающий курс основы технологии CUDA, 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 и понятия, навыки программирования на технологии CUDA.

Успешное освоение курса требует напряжённой самостоятельной работы студента. В программе курса приведено минимально необходимое время для работы студента над темой. Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение и конспектирование рекомендованной литературы,
- проработку учебного материала (по конспектам лекций, учебной и научной литературе), подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения, доказательство отдельных утверждений, свойств;
- решение задач, предлагаемых студентам на практических занятиях и в качестве курсового задания,
- подготовку к практическим занятиям, дифференцированному зачёту.

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

Показателем владения материалом служит умение решать задачи. Для формирования умения применять теоретические знания на практике студенту необходимо решать, как можно больше задач. При решении задач каждое действие необходимо аргументировать, ссылаясь на известные теоретические сведения.

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

**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:** А.М. Казённов, ассистент

# 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-1.7 Способен оценивать требуемые ресурсы (материальные и временные) для планирования и проведения научного эксперимента
	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-1.8 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-3.2 Знает области и критерии применимости используемых теоретических подходов и умение оценивать точность приближенных аналитических методов вычислений
	ПК-3.3 Умеет производить оценку точности численных методов, используемых на ЭВМ, вычислительной сложности используемых алгоритмов и объема требуемых вычислительных ресурсов
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 «Многопоточные вычисления на основе технологий CUDA и OpenCL» обучающийся должен:

### знать:

- Основные термины курса;
- различие в устройстве центрального процессора и графического ускорителя;
- особенности программной модели CUDA;
- дополнительные возможности компилятора NVCC;
- различия между всеми типами памяти графического ускорителя.

### уметь:

- Компилировать код на CUDA с помощью компилятора NVCC;
- преобразовывать последовательный код в параллельный на CUDA ;
- оценивать возможность использования различных типов памяти;
- оптимизировать код, используя особенности аппаратного устройства графического ускорителя.

### владеть:

- Навыками работы в операционной системе Linux;
- навыками работы с компилятором NVCC;
- культурой постановки, анализа и решения математических и прикладных задач, требующих для своего решения использования параллельных вычислений на CUDA;
- расширением языка C.

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

Перечень контрольных вопросов для текущего контроля:

1. Чем отличается графический ускоритель от центрального процессора
2. Принципиальное различие различных поколений и версий графических ускорителей
3. Принципиальная схема устройства графического ускорителя
4. Различие в типах памяти графического ускорителя
5. Критерии использования различных типов памяти
6. Правила чтения из глобальной памяти
7. Правила работы с разделяемой памятью
8. Правила работы с текстурной памятью
9. Дан код, найти возможность оптимизации
10. Дан код, найти ошибку

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

1. Модификация параллельной программы расчета числа  $\pi$  на CUDA
2. Модификация параллельной программы перемножения матриц на CUDA с использованием разделяемой памяти
3. Реализация параллельной программы на CUDA с использованием текстурной памяти
4. Реализация большого проекта по клеточным автоматам
5. Глобальная, константная, текстурная, локальная, разделяемая и регистровая память. Особенности использования каждого типа памяти. Размещение различных данных в различной памяти
6. Решить двумерную сеточную итерационную задачу
7. Понятия Thread, Warp, Block и Grid. Команды работы с памятью
8. Реализация программы с использованием Scan
9. Реализация программы с использованием Reduce
10. Реализация программы с использованием Histogram
11. Реализация программы с использованием Bitonic sort
12. Написать код, моделирующий клеточный автомат "Жизнь"

#### Критерии оценивания

- 10 - Сданы все задания, реализован самостоятельный проект, преподавателю не удалось найти недостатки в коде
- 9 - Сданы все задания, реализован самостоятельный проект, преподавателю удалось найти недостатки в коде, которые были исправлены студентом
- 8 - Сданы все задания, реализован самостоятельный проект, преподавателю удалось найти недостатки в коде, которые не были исправлены студентом
- 7 - Сданы все задания, проект не реализован. Студент ответил на все контрольные вопросы
- 6 - Сданы все задания, проект не реализован. Студент ответил на некоторые контрольные вопросы
- 5 - Сданы все задания, проект не реализован. Студент не ответил на все контрольные вопросы
- 4 - Сдано одно из заданий. Студент ответил на некоторые контрольные вопросы
- 3 - Сдано одно из заданий. Студент не ответил на контрольные вопросы
- 2 - Не сдано ни одно из заданий
- 1 - Не сдано ни одно из заданий. Студент не посещал занятия

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

При проведении дифференцированного зачёта обучающемуся предоставляется на подготовку не менее 30 минут и не более 60 минут. Опрос обучающегося по билету на устном дифференцированном зачёте не должен превышать одного астрономического часа. Во время проведения дифференцированного зачета обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, а также справочной и рекомендованной литературой.