

**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)

по дисциплине:	Методы и технологии программирования физических приложений на графических процессорах
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Суперкомпьютерное моделирование ядерных процессов и технологий Физтех-школа природоподобных, плазменных и ядерных технологий им. И.В. Курчатова кафедра моделирования ядерных процессов и технологий
курс:	4
квалификация:	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 7 (осенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 15 час.

семинары: 15 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 30 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составил: Ю.Ю. Клосс, д-р физ.-мат. наук, доцент

Программа обсуждена на заседании кафедры моделирования ядерных процессов и технологий 18.05.2020

Аннотация

Студенты, изучающие курс «Методы и технологии программирования физических приложений на графических процессорах», должны овладеть общим понятийным аппаратом и научиться применять теоретические знания на практике. В результате изучения дисциплины студент должен иметь основные представления об инструментальных средствах разработки на графических процессорах, создавать эффективные вычислительные алгоритмы для моделирования физических процессов, лежащих в основе кинетической теории Больцмана, уметь задавать граничные условия для различных задач кинетической теории, рассчитывать и анализировать газокинетические процессы тепломассопереноса.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

- изложение основ организации параллельных вычислений на вычислительных системах различных архитектур – кластерные вычислительные системы и графические процессоры общего назначения (GPU-GP);
- краткое введение в систему OpenMP;
- изложение технологии программирования MPI и CUDA. Излагаются методы организации параллельных вычислений на конкретных задачах математической физики.

Задачи дисциплины

- формирование базовых знаний в области параллельных вычислений для моделирования и анализа физических процессов переноса излучений и газов на основе решения кинетического уравнения Больцмана;
- обучение студентов основным методам и подходам, используемым для разработки параллельных солверов для решения уравнений математической физики;
- формирование подходов, основанных на различных методах организации параллельных вычислений MPI, CUDA, OpenMP.

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-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-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	ПК-1.3 Владеет культурой постановки научной задачи и моделирования естественнонаучных объектов и систем

предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.8 Владеет навыками работы с современными языками программирования и программными пакетами для научных расчетов
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-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.2 Знает источники происхождения и умеет производить оценку погрешности измерений и достоверности экспериментальных результатов

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- принципы и методы программирования графических процессоров общего назначения, организации параллельных вычислений.

уметь:

- разрабатывать программные коды на графических процессорах для численного решения кинетического уравнения.

владеть:

- методами компьютерного моделирования газокинетических процессов, методами разработки проблемно-моделирующих сред на современных суперкомпьютерных системах.

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	Использование глобальной памяти GPU.	2	2		4
2	Использование системы распараллеливания OpenMP. Методы организации программ на C++ и CUDA.	2	2		4
3	Проведение расчетов на графических картах на платформе Nvidia CUDA.	3	2		5
4	Разделяемая память GPU.	2	2		4
5	Распараллеливание программ с использованием MPI.	2	2		4
6	Распараллеливание разностных схем для схем разного порядка.	2	2		4
7	Создание многопоточных программ с использованием pthreads на языке C++.	2	3		5
Итого часов		15	15		30
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		90 час., 2 зач.ед.			

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

1. Использование глобальной памяти GPU.

Методы согласованного доступа к данным, профилирование программ на GPU и оптимизация. Использование константной памяти.

2. Использование системы распараллеливания OpenMP. Методы организации программ на C++ и CUDA.

Использование системы распараллеливания OpenMP.

Методы организации программ на C++ и CUDA, применение систем сборки.

Основные технологии распараллеливания для научных расчетов.

3. Проведение расчетов на графических картах на платформе Nvidia CUDA.

Проведение расчетов на графических картах на платформе Nvidia CUDA. Отличия расчетов на графических картах от расчетов на CPU. Ограничения на длину числа с плавающей точкой. Ограничение на ветвление. Поиск оптимальной загрузки графического процессора. Различные типы памяти.

4. Разделяемая память GPU.

Разделяемая память GPU, использование разделяемой памяти для оптимизации.

5. Распараллеливание программ с использованием MPI.

Распараллеливание программ с использованием MPI. Методы для передачи данных, методы для синхронизации процесса выполнения между процессами.

6. Распараллеливание разностных схем для схем разного порядка.

Распараллеливание разностных схем для схем 1-го порядка. 2-го порядка. TVD схемы.

7. Создание многопоточных программ с использованием pthreads на языке C++.

Методы синхронизации, блокировки, мьютексы. Основные средства межпроцессного взаимодействия (IPC) – разделяемая память, FIFO, сигналы.

Стратегии разбиения расчетной задачи на части между процессами.

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

Учебная аудитория, оснащенная рабочими станциями, объединенными в сеть.

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Динамика разреженного газа. Кинетическая теория [Текст]/М. Н. Коган, -М., Наука, 1967
2. Теоретическая физика [Текст] : в 10 т. Т. 10 : Физическая кинетика : учеб. пособие для вузов / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц ; под ред. Л. П. Питаевского. — 2-е изд., испр. — М. : Физматлит, 2001, 2002, 2007. — 536 с.

1. Foster, Ian (1995) Designing and Building Parallel Programs (Online) Addison-Wesley ISBN 0-201-57594-9, chapter 8 Message Passing Interface.
2. Gropp, William; Lusk, Ewing; Skjellum, Anthony (1999a). Using MPI, 2nd Edition: Portable Parallel Programming with the Message Passing Interface. Cambridge, MA, USA: MIT Press Scientific And Engineering Computation Series. ISBN 978-0-262-57132-6.

Дополнительная литература

1. Численные методы расчета ядерных реакторов [Текст], монография/Г. И. Марчук, -М., Атомиздат, 1995
2. J. Nickolls et al. "Scalable Programming with CUDA" ACM Queue, vol. 6 no. 2 Mar./Apr. 2008 pp 40-53.
3. Д.Белл, С. Глесстон Теория ядерных реакторов, - М.: Атомиздат, 1974.
4. А.Д.Франк-Каменецкий Моделирование траекторий нейтронов при расчете реакторов методом Монте-Карло, Физика ядерных реакторов, - М.: Атомиздат, 1978г.

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

<https://developer.nvidia.com/category/zone/cuda-zone>

<http://lib.mipt.ru/catalogue/1604/?t=492> – электронная библиотека Физтех

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 обучающиеся используют следующие информационные технологии: GMSH, MPI, OpenGL.

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

Студенты, изучающие курс «Методы и технологии программирования физических приложений на графических процессорах», должны овладеть общим понятийным аппаратом и научиться применять теоретические знания на практике. В результате изучения дисциплины студент должен иметь основные представления об инструментальных средствах разработки на графических процессорах, создавать эффективные вычислительные алгоритмы для моделирования физических процессов, лежащих в основе кинетической теории Больцмана, уметь задавать граничные условия для различных задач кинетической теории, рассчитывать и анализировать газокинетические процессы тепломассопереноса, рассчитывать основные физические характеристики газокинетических процессов, знать области применения компьютерного моделирования к Кнудсеновским микронасосам различного типа. Показателем владения материалом служит умение решать задачи и ориентироваться в круге вопросов, связанных с проблемами оптимизации и профилирования программных кодов. Для формирования умения применять теоретические знания на практике, студенту необходима разработка программ и алгоритмов численного решения уравнения Больцмана.

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 выполнению заданий промежуточной аттестации.

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.

ПРИЛОЖЕНИЕ

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Суперкомпьютерное моделирование ядерных процессов и технологий Физтех-школа природоподобных, плазменных и ядерных технологий им. И.В. Курчатова кафедра моделирования ядерных процессов и технологий
курс:	<u>4</u>
квалификация:	бакалавр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 7 (осенний) - Экзамен	
Разработчик:	Ю.Ю. Клосс, д-р физ.-мат. наук, доцент

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-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-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-1.3 Владеет культурой постановки научной задачи и моделирования естественнонаучных объектов и систем
	ПК-1.8 Владеет навыками работы с современными языками программирования и программными пакетами для научных расчетов
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-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.2 Знает источники происхождения и умеет производить оценку погрешности измерений и достоверности экспериментальных результатов

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Методы и технологии программирования физических приложений на графических процессорах» обучающийся должен:

знать:

- принципы и методы программирования графических процессоров общего назначения, организации параллельных вычислений.

уметь:

- разрабатывать программные коды на графических процессорах для численного решения кинетического уравнения.

владеть:

- методами компьютерного моделирования газокинетических процессов, методами разработки проблемно-моделирующих сред на современных суперкомпьютерных системах.

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

Перечень контрольных вопросов для сдачи экзамена в 7-ом семестре:

1. Основные технологии распараллеливания.
2. Использование системы распараллеливания OpenMP.
3. Создание многопоточных программ с использованием pthreads на языке C++.
4. Методы синхронизации, блокировки, мьютексы.
5. Основные средства межпроцессного взаимодействия (IPC).
6. Распараллеливание программ с использованием MPI.
7. Методы для синхронизации процесса выполнения между процессами.
8. Стратегии разбиения расчетной задачи на части между процессами.
9. Распараллеливание разностных схем для схем разного порядка (1-го порядка. 2-го порядка, TVD схемы).
10. Проведение расчетов на графических картах на платформе Nvidia CUDA.
11. Отличия расчетов на графических картах от расчетов на CPU.
12. Ограничения на длину числе с плавающей точкой.
13. Использование глобальной памяти GPU.
14. Разделяемая память GPU, использование разделяемой памяти для оптимизации.
15. Использование константной памяти.
16. Методы организации программ на C++ и CUDA, применение систем сборки.

Примеры экзаменационных билетов:

Билет 1.

1. Основные технологии распараллеливания.
2. Проведение расчетов на графических картах на платформе Nvidia CUDA.

Билет 2.

1. Использование системы распараллеливания OpenMP.
2. Отличия расчетов на графических картах от расчетов на CPU.

Билет 3.

1. Разделяемая память GPU, использование разделяемой памяти для оптимизации.
2. Использование константной памяти

Билет 4.

1. Отличия расчетов на графических картах от расчетов на CPU.
2. Ограничения на длину числе с плавающей точкой.

Билет 5.

1. Стратегии разбиения расчетной задачи на части между процессами.
2. Распараллеливание разностных схем для схем разного порядка (1-го порядка. 2-го порядка, TVD схемы).

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 оценивания знаний обучающемуся предоставляется время на подготовку на усмотрение экзаменатора. Опрос обучающегося по билету на устном экзамене не должен превышать одного астрономического часа. Оценивание знаний производится в соответствии с вышеуказанными критериями в соответствии с содержанием дисциплины.