

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

УТВЕРЖДЕНО

**Директор физтех-школы
аэрокосмических технологий
С.С. Негодяев**

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Вычисления на графических процессорах
по направлению:	Техническая физика
профиль подготовки:	Техническая физика космических летательных аппаратов Физтех-школа Аэрокосмических Технологий центр образовательных программ ФАКТ
курс:	4
квалификация:	бакалавр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

7 (осенний) - Дифференцированный зачет

8 (весенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 0 час.

семинары: 60 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 30 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составил: Д.А. Петров, преподаватель

Программа обсуждена на заседании центра образовательных программ ФАКТ 02.12.2024

Аннотация

Курс «Вычисления на графических процессорах» посвящён рассмотрению теоретических и практических аспектов организации вычислений на графических процессорах. В этом курсе, вычисления организуются для ускорения решения задачи распространения электромагнитного излучения в приближении геометрической оптики. Задача решается интегрированием методом Монте-Карло в многомерных пространствах путей распространения света. Такая постановка достаточно проста в реализации на графическом процессоре, чтобы её мог реализовать начинающий. Кроме этого, глубина изложения теории распространения излучения и аспектов организации вычислений может свободно варьироваться по ходу курса.

В течение первой половины курса, студенты погружаются в задачу распространения излучения, формируют инструменты для решения задачи, а потом с их помощью задачу решают.

В течение второй половины курса, студенты знакомятся с программными интерфейсами для взаимодействия с графическими процессорами, знакомятся с особенностями архитектуры графических процессоров и следующими из них ограничениями и принципами организации вычислений. Далее, студенты переносят свой работающий код с центрального процессора на графический.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

- получение навыков организации вычислений на графических процессорах на примере задачи распространения электромагнитного излучения.

Задачи дисциплины

- приобретение специфических знаний об архитектуре и устройстве графических процессоров, а также особенностях реализации с их помощью численного решения вычислительно трудоёмких задач;
- освоение на базовом уровне программных интерфейсов для работы с графическими процессорами;
- освоение принципов и особенностей переноса программного кода, написанного под центральный процессор, на графический процессор;
- освоение работы с иерархическими ускоряющими структурами на примере ускорения поиска пересечения луча со сценой;
- приобретение фундаментальных знаний о численном взятии интегралов в нетривиальных многомерных пространствах с помощью метода Монте-Карло;
- приобретение фундаментальных знаний о радиометрических величинах и уравнениях.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-2 Способен применять методы математического анализа, математического моделирования и оптимизации для решения задач, возникающих в ходе профессиональной деятельности	ОПК-2.1 Знаком с основными методами математического анализа, математического моделирования и оптимизации
	ОПК-2.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
	ОПК-2.3 Способен определять границы применимости полученных результатов
ОПК-3 Способен осуществлять теоретические и экспериментальные исследования в избранной области технической физики, учитывать современные тенденции развития технической физики в своей профессиональной деятельности	ОПК-3.1 Способен проводить анализ проблем и задач, возникающих в избранной области технической физики
	ОПК-3.2 Способен решать поставленные задачи в области теоретических и экспериментальных исследований
ОПК-5 Способен самостоятельно работать в средах современных операционных систем, наиболее распространённых на рынке	ОПК-5.2 Способен выбирать наиболее подходящее программное обеспечение для решения конкретных задач

наиболее распространенных прикладных программ и программ компьютерной графики

ОПК-5.3 Умеет применять прикладное программное обеспечение для решения научных задач в профессиональной области

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- особенности архитектуры графических ускорителей и следующую из них специфику организации вычислений;
- достоинства и недостатки существующих программных интерфейсов взаимодействия с графическими ускорителями.

уметь:

- пользоваться программными интерфейсами OpenGL и Vulkan для организации вычислений на графических процессорах;
- переносить код, написанный под центральный процессор, на графический процессор.

владеть:

- математическим аппаратом, необходимым для решения задач методом Монте-Карло;
- понятийным аппаратом, используемым в науке и промышленности, связанным с программированием под графические процессоры.

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	Поиск пересечения луча с геометрическими примитивами		2		3
2	Поиск пересечения луча с множеством объектов		6		2
3	Радиометрические величины и уравнения		2		2
4	Модели рассеяния электромагнитного излучения на поверхности		6		3
5	Метод Монте-Карло		2		3
6	Применение метода Монте-Карло к задаче расчёта освещения. Трассировка путей		12		2
7	Основы программного интерфейса OpenGL		14		8
8	Основы программного интерфейса Vulkan		16		7
Итого часов			60		30
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		90 час., 2 зач.ед.			

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

Семестр: 7 (Осенний)

1. Поиск пересечения луча с геометрическими примитивами

Пересечение луча со сферой, цилиндром, треугольником и параллелепипедом. Ненадёжность наивных алгоритмов, «водонепроницаемые» алгоритмы для треугольника и параллелепипеда.

2. Поиск пересечения луча с множеством объектов

Двоичные деревья с явной и неявной топологией. Иерархии ограничивающих объёмов (Bounding Volume Hierarchy). Сборка сбалансированной неявной двоичной иерархии объёмов, её обход со стеком и без стека.

3. Радиометрические величины и уравнения

Фазовое пространство траекторий фотонов. Фотонные события – эмиссия, рассеяние, поглощение. Мера энергии на пространствах фотонных событий, радиометрические величины как соответствующие им производные Радона-Никодима. Пространство лучей, мера пучка лучей, геометрический фактор и его сохранение.

4. Модели рассеяния электромагнитного излучения на поверхности

Двунаправленная функция рассеяния. Модель Кука-Торранса. Рекурсивная форма уравнения переноса света. Датчики и измерения. Пространство путей, мера множества путей, формулировки уравнения переноса света в трёхточечном виде и в пространстве путей.

5. Метод Монте-Карло

Метод Монте-Карло, скорость его сходимости. Стратегии выбора распределения случайных величин для ускорения сходимости: выборка по значимости, стратифицированная выборка.

6. Применение метода Монте-Карло к задаче расчёта освещения. Трассировка путей

Трассировка путей. Генерация направления луча согласно функции рассеяния, согласно направлению на источник света и их комбинирование для генерации пути. Расчёт плотности вероятности для сгенерированного пути, формулировка уравнения переноса света в пространстве путей через метод Монте-Карло.

Семестр: 8 (Весенний)

7. Основы программного интерфейса OpenGL

Введение в программный интерфейс OpenGL. Графический конвейер: растеризация и шейдеры. Проективное пространство RP^3 , однородные координаты, матрица камеры и перспективной проекции. Отрисовка вращающегося куба.

Отрисовка полноэкранного прямоугольника, генерация первичных лучей. Передача данных на графический процессор через буферы и текстуры. Генерация случайных чисел. Реорганизация кода трассировщика лучей под архитектуру графического процессора.

8. Основы программного интерфейса Vulkan

Введение в Vulkan, его достоинства и недостатки по сравнению с другими способами взаимодействия с графическими ускорителями. Устройства, семейства очередей, буферы, сэмплы, дескрипторы ресурсов. Реализация, упрощение и оптимизация расчёта переноса света на GPU через вычислительный конвейер, передача данных с центрального процессора на графический и наоборот, её синхронизация.

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

6.Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Оптика, Электронная версия печатной публикации / Г. С. Ландсберг. — Москва, Физматлит, 2021
2. Метод Монте-Карло и смежные вопросы [Текст]/С. М. Ермаков, -М., Наука, 1975

Фонд литературы кафедры:

1. E. Veach. Robust Monte Carlo Methods for Light Transport Simulation. – 1998.

Дополнительная литература

1. Оптика [Текст]/А. Зоммерфельд , -М., Изд-во иностр. лит-ры, 1953

Фонд литературы кафедры:

1. Wright R.S., Haemel N., Sellers G., Lipchak B. OpenGL SuperBible: Comprehensive Tutorial and Reference. 5th Edition. – 2010.
2. Шикин А. В., Боресков А. В. Компьютерная графика. Полигональные модели. - М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2001.

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

- <http://lib.mipt.ru/> – электронная библиотека Физтеха
- <http://www.edu.ru> – федеральный портал «Российское образование»
- <http://elibrary.ru> –электронная библиотека

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

C++, OpenGL, Vulkan, интернет-ресурсы.

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

Семинарские занятия сопровождаются домашними заданиями (самостоятельной работой), в процессе выполнения которых студент совершенствует способность создания программного кода, а также закрепляет знания, полученные на семинарах.

Семинары включают в себя реализацию и исследование алгоритмов, обсужденных на предыдущих занятиях.

Самостоятельная работа включает в себя:

- ознакомление с актуальной научной литературой;
- решение задач при выполнении домашних заданий;
- чтение рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала (по конспектам занятий, учебной литературе).

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляет преподаватель путем проверки домашних заданий и проведения индивидуальных консультаций.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Техническая физика
профиль подготовки:	Техническая физика космических летательных аппаратов Физтех-школа Аэрокосмических Технологий центр образовательных программ ФАКТ
курс:	<u>4</u>
квалификация:	бакалавр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

- 7 (осенний) - Дифференцированный зачет
- 8 (весенний) - Дифференцированный зачет

Разработчик: Д.А. Петров, преподаватель

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-2 Способен применять методы математического анализа, математического моделирования и оптимизации для решения задач, возникающих в ходе профессиональной деятельности	ОПК-2.1 Знаком с основными методами математического анализа, математического моделирования и оптимизации
	ОПК-2.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
	ОПК-2.3 Способен определять границы применимости полученных результатов
ОПК-3 Способен осуществлять теоретические и экспериментальные исследования в избранной области технической физики, учитывать современные тенденции развития технической физики в своей профессиональной деятельности	ОПК-3.1 Способен проводить анализ проблем и задач, возникающих в избранной области технической физики
	ОПК-3.2 Способен решать поставленные задачи в области теоретических и экспериментальных исследований
ОПК-5 Способен самостоятельно работать в средах современных операционных систем, наиболее распространенных прикладных программ и программ компьютерной графики	ОПК-5.2 Способен выбирать наиболее подходящее программное обеспечение для решения конкретных задач
	ОПК-5.3 Умеет применять прикладное программное обеспечение для решения научных задач в профессиональной области

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Вычисления на графических процессорах» обучающийся должен:

знать:

- особенности архитектуры графических ускорителей и следующую из них специфику организации вычислений;
- достоинства и недостатки существующих программных интерфейсов взаимодействия с графическими ускорителями.

уметь:

- пользоваться программными интерфейсами OpenGL и Vulkan для организации вычислений на графических процессорах;
- переносить код, написанный под центральный процессор, на графический процессор.

владеть:

- математическим аппаратом, необходимым для решения задач методом Монте-Карло;
- понятийным аппаратом, используемым в науке и промышленности, связанным с программированием под графические процессоры.

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

Текущий контроль осуществляется в форме защиты домашних работ. Итоговая оценка выставляется с учетом выполнения домашних работ и устной беседы по программе курса.

Домашние работы:

Задание № 1.1

Реализация поиска пересечения луча с геометрическим примитивом.

Задание № 1.2

Реализация сборки иерархии ограничивающих объемов из множества объемов. Реализация обхода иерархии для ускорения поиска пересечения луча с объектами иерархии.

Задание № 1.3

Реализация вычисления двунаправленной функции рассеяния по модели Кука-Торранса и выбора случайного направления, взвешенного по распределению микрофасеток.

Задание № 1.4

Реализация расчёта рассеяния света на поверхности методом Монте-Карло.

Задание № 1.5

Реализация алгоритма трассировки путей.

Задание № 2.1

Отрисовка треугольника с помощью OpenGL.

Задание № 2.2

Отрисовка вращающегося куба с помощью OpenGL.

Задание № 2.3

Перенос трассировщика путей на фрагментные шейдеры.

Задание № 2.4

Реализация элементарного трассировщика лучей через вычислительный конвейер Vulkan.

Задача № 2.5

Перенос трассировщика путей на вычислительный конвейер Vulkan.

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

Промежуточная аттестация по дисциплине «Вычисления на графических процессорах» проводится в форме дифференцированного зачета в обоих семестрах 4 курса.

Примеры вопросов для дифференцированного зачета:

1. Дать сравнительный анализ существующих программных интерфейсов для взаимодействия с графическими процессорами.
2. Рассказать об ускорении поиска пересечения лучом с множеством объектов с помощью иерархии ограничивающих объёмов. Указать асимптотику сборки и обхода иерархии, указать достоинства и недостатки сборки иерархии методом выбора среднего.
3. Выписать уравнение переноса света и описать, как его можно решить с помощью метода Монте-Карло.
4. Реализовать отрисовку сферы через фрагментный шейдер.
5. Реализовать сборку иерархии ограничивающих объёмов из множества объёмов.
6. Реализовать расчёт рассеяния света на поверхности методом Монте-Карло.
7. Отрисовать вращающийся куб с помощью OpenGL.
8. Перенести трассировщик путей на фрагментные шейдеры.
9. Реализовать элементарный трассировщик лучей через вычислительный конвейер Vulkan.
10. Реализовать вычисление двунаправленной функции рассеяния по модели Кука-Торранса и выбора случайного направления, взвешенного по распределению микрофасеток.

Критерии оценивания

оценка «отлично (10)» выставляется студенту, показавшему систематизированные, знания учебной программы дисциплины при выполнении домашних заданий и ответе на вопросы по программе дисциплины;

оценка «отлично (9)» выставляется студенту, показавшему систематизированные, знания учебной программы дисциплины при выполнении домашних заданий и ответе на вопросы по программе дисциплины;

оценка «отлично (8)» выставляется студенту, показавшему систематизированные, знания учебной программы дисциплины при выполнении домашних заданий и ответе на вопросы по программе дисциплины, но допускает при этом небольшие неточности;

оценка «хорошо (7)» выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, демонстрирует умение применять полученные знания на практике при выполнении домашних заданий, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности;

оценка «хорошо (6)» выставляется студенту, если он знает материал экзаменационного билета, по существу излагает его, демонстрирует умение применять полученные знания на практике при выполнении домашних заданий, но допускает в ответе или в решении задач много неточностей;

оценка «хорошо (5)» выставляется студенту, если он знает материал экзаменационного билета, излагает его, демонстрирует умение применять полученные знания на практике при выполнении домашних заданий, не допускает в ответе грубых ошибок;

оценка «удовлетворительно (4)» выставляется студенту, если во время ответа, при выполнении домашних заданий он показал фрагментарный, характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, но при этом он владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения;

оценка «удовлетворительно (3)» выставляется студенту, если во время ответа, при выполнении домашних заданий он показал разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушение логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации;

оценка «неудовлетворительно (2-1)» выставляется студенту, если во время ответа он показал, что не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных понятий дисциплины и не умеет использовать полученные знания при решении типовых практических задач или не выполнил какое-либо из домашних заданий.

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

При проведении устного дифференцированного зачёта обучающемуся выдается билет и предоставляется 60 минут на подготовку. Опрос обучающегося по билету не должен превышать двух астрономических часов. Во время проведения дифференцированного зачёта при подготовке ответов на билеты, обучающиеся могут пользоваться любыми источниками информации.