

МИНОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

УТВЕРЖДАЮ

Декан физико-технического факультета
Профессор

_____ Э.Р. Шрагер

"_____" _____ 2016 г.

Рабочая программа дисциплины
Методы параллельных вычислений

Направление подготовки
16.04.01- Техническая физика

Профиль подготовки
Макрокинетика горения высокоэнергетических материалов

Квалификация (степень) выпускника
Магистр

Форма обучения
Очная

Томск–2016

1. Код и наименование дисциплины

16.04.01 - Техническая физика. Методы параллельных вычислений.

2. Место дисциплины в структуре ООП магистратуры

Относится к вариативной части ООП, курсы по выбору студента.

3. Год/годы и семестр/семестры обучения.

1 год обучения, 1 семестр

4. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия (если есть).

Дисциплина «Методы параллельных вычислений» опирается на ООП бакалавриата Техническая физика.

Дисциплина «Методы параллельных вычислений» опирается на дисциплины «Информационные технологии», «Линейная алгебра», «Приближенные вычисления».

Для изучения и понимания материала данной дисциплины обучающийся должен знать информатику, алгоритмические языки и программирование, основы математического анализа и линейной алгебры, численные методы технической физики.

5. Общая трудоемкость дисциплины (модуля) составляет 3 зачетных единицы, 108 часа, из которых 34 часа составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (12 часов – занятия лекционного типа, 4 часа – занятия семинарского типа, 18 часов лабораторные работы), 74 часа составляет самостоятельная работа обучающегося.

6. Формат обучения (отметить, если дисциплина или часть ее реализуется в форме электронного (дистанционного) обучения).

7. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (заполняется в соответствии с картами компетенций)

способностью критически анализировать современные проблемы технической физики, ставить задачи и разрабатывать программу исследования, выбирать адекватные способы и методы решения экспериментальных и теоретических задач, интерпретировать, представлять и применять полученные результаты (ПК-5).

Формируемые компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)
ПК-5, I уровень Способность критически анализировать современные проблемы технической физики, ставить задачи и разрабатывать программу исследования, выбирать адекватные способы и методы решения экспериментальных и теоретических задач, интерпретировать, представлять и применять полученные результаты	Владеть: Системами и технологиями разработки и использования параллельных программ на параллельных системах с распределенной и разделенной памятью. _____ В (ПК-5) –I Уметь: Разрабатывать _____ вычислительные алгоритмы и параллельные программы для вычислительных систем с распределенной памятью, применять методы параллельных вычислений для решения дифференциальных уравнений в частных производных. _____ У (ПК-5) –I Знать: Принципы разработки параллельных алгоритмов и программ, основные

	параллельные численные алгоритмы для решения типовых задач вычислительной математики.
	3 (ПК-5) –I

8. Содержание дисциплины (модуля) и структура учебных видов деятельности

Наименование разделов и тем	Всего (час.)	Контактная работа (час.)			Самостоятельная работа (час.)
		Лекции	Семинары и практические занятия	Лабораторные работы	
Введение. Основные понятия методов параллельных вычислений.	42	4	4	0	34
Параллельное программирование с использованием интерфейса передачи сообщений MPI.	34	4	0	10	20
Методы параллельных вычислений для решения дифференциальных уравнений в частных производных.	32	4	0	8	20
Итого	108	12	4	18	74

Предмет и задачи курса. Основные понятия методов параллельных вычислений. Цели и задачи параллельной обработки данных, принципы построения параллельных вычислительных систем, основы анализа параллельных вычислений, принципы разработки параллельных алгоритмов и программ, основные параллельные численные алгоритмы для решения типовых задач вычислительной математики.

Параллельное программирование с использованием интерфейса передачи сообщений MPI. Место MPI в иерархии средств параллельного программирования. Правила работы с MPI. Решения некоторых типовых задач, стоящих перед системой связи. Функции пересылки данных. Коллективы ветвей. Коммуникаторы. Типы данных в MPI. Сравнение с PVM и SHM. Программное обеспечение, существующее между программистом и MPI.

Описание MPI. Краткие характеристики. Соглашения о терминах. Категории функций: блокирующие, локальные, коллективные. Принятая в MPI нотация записи. MPI для Фортрана и С. Обрамляющие функции. Начало и завершение. Связь "точка-точка" (простейший набор). Создание и использование собственных типов данных

Коллективные функции. Точки синхронизации (барьеры). Функции коллективного обмена данными. Распределенные операции.

Коммуникаторы, группы и области связи. Создание коммуникаторов и групп.

Методы параллельных вычислений для решения дифференциальных уравнений в частных производных. Итерационные методы решения СЛАУ. Метод Якоби. Синхронные и асинхронные методы. Метод Гаусса-Зейделя. Метод верхней релаксации. Уравнения в частных производных. Метод декомпозиции области. Решение двумерной задачи Дирихле для уравнения Пуассона в прямоугольнике. Явный метод решения одномерного уравнения теплопроводности.

9. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю) и методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модулю).

а) основная литература:

1. Старченко А.В., Берцун В.Н. Методы параллельных вычислений: Учебник. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2013. – 223 с.

2. В.Н. Дацюк, А.А. Букатов, А.И. Жегуло. МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ по курсу "Многопроцессорные системы и параллельное программирование" // <http://rsusu1.rnd.runnet.ru/tutor/method>

3. Абрамов А.Г. Вычисления на многопроцессорных компьютерах. Параллельные вычисления на основе технологии OpenMP: Учебное пособие. - СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. - 150 с.

б) дополнительная литература:

1. Гергель В.П., Стронгин Р.Г. (2003, 2 изд.). Основы параллельных вычислений для многопроцессорных вычислительных систем. - Н.Новгород, ННГУ.

2. Воеводин В.В., Воеводин Вл.В. (2002). Параллельные вычисления. – СПб.: [БХВ-Петербург](#).

3. Немнюгин С., Стесик О. (2002). Параллельное программирование для многопроцессорных вычислительных систем – СПб.: БХВ-Петербург

4. Голуб Дж., Ван Лоун Ч. Матричные вычисления. М: Мир, 1999.

5. Дж.Ортега. Введение в параллельные и векторные методы решения линейных систем.

6. А.Хоор. Взаимодействующие последовательные процессы- М.:Мир. -1986. - 310с.

7. Фадеева В.Н., Фадеев Д.К. Параллельные вычисления в линейной алгебре. М.: Наука, 1990.

8. Четверушкин Б.Н. Кинетически-согласованные схемы в газовой динамике Новая модель вязкого газа, алгоритмы, параллельная реализация, приложения М. Издательство Московского университета. 1999.

в) программное обеспечение

Программное обеспечение – лицензионное программное обеспечение, установленное на вычислительном кластере ТГУ «СКИФ Cyberia» - трансляторы с языков программирования, система программирования MPI.

г) интернет-ресурсы:

1. Информационный сервер по параллельным вычислениям НИВЦ МГУ <http://www.parallel.ru>

2. Раздел MPI на сервере NetLib <http://www.netlib.org/mpi>

3. <http://www.lib.tsu.ru/> – Научная библиотека ТГУ

4. <http://elibrary.ru/> – Научная электронная библиотека

Темы для рефератов и выступлений на семинарах:

1. События и процессы, протоколы процессов, операции над протоколами. Взаимодействие и параллелизм.

2. Критические ситуации в системах с конкурентными процессами.

3. Математическая теория детерминированных процессов.

4. Недетерминизм. Взаимодействия между процессами.

5. Особенности языков параллельного программирования.

6. Синхронизация процессов с помощью элементарных приемов нижнего уровня.
7. Аппаратные неделимые операции "Блокировка памяти", "Проверить и установить".
8. Алгоритм Деккера.
9. Семафоры общие и двоичные. Операции над семафорами P, V.
8. Задача "Поставщик-потребитель".
9. Синхронизация процессов с помощью приемов верхнего уровня.
10. Монитор Хоара.
11. Структура и основные подпрограммы библиотеки ScaLAPACK. Примеры использования пакета ScaLAPACK для решения задач линейной алгебры на многопроцессорных вычислительных системах с распределенной памятью.
12. Структура и основные подпрограммы библиотеки PBLAS. Примеры использования пакета PBLAS для решения задач линейной алгебры на многопроцессорных вычислительных системах с распределенной памятью.

Лабораторные работы по курсу.

1. Правила работы с MPI Утилиты построения и запуска MPI-приложений.
2. Структура MPI-программы. Пример Fortran и C-версии параллельной MPI-программы «Hello Word»
3. Основные операции передачи данных
4. Коллективные функции MPI
5. Решение двумерной задачи Дирихле для уравнения Пуассона в прямоугольнике.
6. Явный метод решения одномерного уравнения теплопроводности.

Самостоятельная (внеаудиторная) работа студентов состоит:

- в изучении теоретических разделов курса
- в подготовке к семинарским занятиям и написании рефератов
- в подготовке к выполнению индивидуальных лабораторных заданий по курсу

10. Форма промежуточной аттестации и фонд оценочных средств, включающий:

- Перечень компетенций выпускников образовательной программы, в формировании которых участвует дисциплина (модуль), и их карты (*карты компетенций приводятся целиком вместе с критериями оценивания*).

способностью критически анализировать современные проблемы технической физики, ставить задачи и разрабатывать программу исследования, выбирать адекватные способы и методы решения экспериментальных и теоретических задач, интерпретировать, представлять и применять полученные результаты (ПК-5).

КАРТА КОМПЕТЕНЦИИ

КОМПЕТЕНЦИЯ: ПК-5. Способность критически анализировать современные проблемы технической физики, ставить задачи и разрабатывать программу исследования, выбирать адекватные способы и методы решения экспериментальных и теоретических задач, интерпретировать, представлять и применять полученные результаты.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОМПЕТЕНЦИИ

– профессиональная компетенция выпускника образовательной программы по направлению подготовки высшего образования Техническая физика, уровень ВО Магистратура

Для освоения компетенции обучающийся должен знать информатику, алгоритмические языки и программирование, основы математического анализа и линейной алгебры, численные методы технической физики.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИИ И КРИТЕРИИ ИХ ОЦЕНИВАНИЯ

Уровень освоения компетенции*	Планируемые результаты обучения** (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения				
		1	2	3	4	5
ПК-5, I уровень	Владеть: Системами и технологиями разработки и использования параллельных программ на параллельных системах с распределенной и разделенной памятью. В (ПК-5) –I	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение навыков	В целом успешное, но не систематическое применение навыков	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков	Успешное и систематическое применение навыков
	Уметь: Разрабатывать вычислительные алгоритмы и параллельные программы для вычислительных систем с распределенной памятью, применять методы параллельных вычислений для решения дифференциальных уравнений в частных производных. У (ПК-5) –I	Отсутствие умений	Частично освоенное умение	В целом успешно, но не систематическое	В целом успешные, но содержащие отдельные пробелы	Сформированное умение
	Знать: Принципы разработки параллельных алгоритмов и программ, основные параллельные численные алгоритмы для решения типовых задач вычислительной математики. З (ПК-5) –I	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания	Сформированные систематические знания

- Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения, характеризующих этапы формирования компетенций (знания, умения, навыки и (или) опыт деятельности) должны соответствовать указанным в п. 6 настоящего документа и соответствовать картам компетенций)

*Контрольные вопросы по курсу **Методы параллельных вычислений***

1. В чем заключаются основные способы достижения параллелизма?
2. В чем могут состоять различия параллельных вычислительных систем?
3. Что положено в основу классификация Флинна?
4. В чем состоит принцип разделения многопроцессорных систем на мультипроцессоры и мультикомпьютеры?
5. Какие классы систем известны для мультипроцессоров?
6. В чем состоят положительные и отрицательные стороны симметричных мультипроцессоров?
7. Какие классы систем известны для мультикомпьютеров?
8. В чем состоят положительные и отрицательные стороны кластерных систем?
9. Какие топологии сетей передачи данных наиболее широко используются при построении многопроцессорных систем?
10. В чем состоят особенности сетей передачи данных для кластеров?
11. Каковы основные характеристики сетей передачи данных?
12. Какие системные платформы могут быть использованы для построения кластеров?
13. Какой минимальный набор средств является достаточным для организации параллельных вычислений в системах с распределенной памятью?
14. В чем состоит важность стандартизации средств передачи сообщений?
15. Что следует понимать под параллельной программой?
16. В чем различие понятий процесса и процессора?
17. Какой минимальный набор функций MPI позволяет начать разработку параллельных программ?
18. Как описываются передаваемые сообщения?
19. Как можно организовать прием сообщений от конкретных процессов?
20. Как определить время выполнения MPI программы?
21. В чем различие парных и коллективных операций передачи данных?
22. Какая функция MPI обеспечивает передачу данных от одного процесса всем процессам?
23. Что понимается под операцией редукции?
24. В каких ситуациях следует применять барьерную синхронизацию?
25. Какие режимы передачи данных поддерживаются в MPI?
26. Как организуется неблокирующий обмен данными в MPI?
27. В чем состоит понятие тупика? В каких ситуациях функция одновременного выполнения передачи и приема гарантирует отсутствие тупиковых ситуаций?
28. Какие коллективные операции передачи данных предусмотрены в MPI?
29. Что понимается под производным типом данных в MPI?
30. Какие способы конструирования типов имеются в MPI?

31. В каких ситуациях может быть полезна упаковка и распаковка данных?
32. Что понимается в MPI под коммуникатором?
33. Для чего может потребоваться создание новых коммуникаторов?
34. Что понимается в MPI под виртуальной топологией?
35. Какие виды топологий предусмотрены в MPI?
36. Для чего может оказаться полезным использование виртуальных топологий?
37. В чем состоят особенности разработки параллельных программ с использованием MPI на алгоритмическом языке Fortran?
38. Какие основные дополнительные возможности предусмотрены в стандарте MPI-2?
39. В чем состоят исходные предположения для возможности применения рассмотренной в разделе методики разработки параллельных алгоритмов?
40. Каковы основные этапы проектирования и разработки методов параллельных вычислений?
41. Как определяется модель "подзадачи-сообщения"?
42. Как определяется модель "процессы-каналы"?
43. Какие основные требования должны быть обеспечены при разработке параллельных алгоритмов?
44. В чем состоят основные действия на этапе выделения подзадач?
45. Каковы основные действия на этапе определения информационных зависимостей?
46. В чем состоят основные действия на этапе масштабирования имеющегося набора подзадач?
47. В чем состоят основные действия на этапе распределения подзадач по процессорам вычислительной системы?
48. Как происходит динамическое управление распределением вычислительной нагрузки при помощи схемы "менеджер - исполнитель"?
49. Какой метод параллельных вычислений был разработан для решения гравитационной задачи N тел?
50. Какой способ выполнения операции обобщенного сбора данных является более эффективным?
51. Назовите основные способы распределения элементов матрицы между процессорами вычислительной системы.
52. В чем состоит постановка задачи умножения матрицы на вектор?
53. Какова вычислительная сложность последовательного алгоритма умножения матрицы на вектор?
54. Почему при разработке параллельных алгоритмов умножения матрицы на вектор допустимо дублировать вектор-операнд на все процессоры?
55. Какие подходы могут быть предложены для разработки параллельных алгоритмов умножения матрицы на вектор?
56. Представьте общие схемы рассмотренных параллельных алгоритмов умножения матрицы на вектор.
57. Проведите анализ и получите показатели эффективности для одного из рассмотренных алгоритмов.
58. Какой из представленных алгоритмов умножения матрицы на вектор обладает лучшими показателями ускорения и эффективности?
59. Может ли использование циклической схемы разделения данных повлиять на время работы каждого из представленных алгоритмов?

60. Какие информационные взаимодействия выполняются для алгоритмов при ленточной схеме разделения данных? В чем различие необходимых операций передачи данным при разделении матрицы по строкам и столбцам?
61. Какие информационные взаимодействия выполняются для блочного алгоритма умножения матрицы на вектор?
62. Какая топология коммуникационной сети является целесообразной для каждого из рассмотренных алгоритмов?
63. Дайте общую характеристику программной реализации алгоритма умножения матрицы на вектор при разделении данных по строкам. В чем могут состоять различия в программной реализации других рассмотренных алгоритмов?
64. Какие функции библиотеки MPI оказались необходимыми при программной реализации алгоритмов?
65. Что представляет собой система линейных уравнений? Какие типы систем вам известны? Какие методы могут быть использованы для решения систем разных типов?
66. В чем состоит постановка задачи решения системы линейных уравнений?
67. В чем идея параллельной реализации метода Гаусса?
68. Какие информационные взаимодействия имеются между базовыми подзадачами для параллельного варианта метода Гаусса?
69. Какие показатели эффективности для параллельного варианта метода Гаусса?
70. В чем состоит схема программной реализации параллельного варианта метода Гаусса?
71. В чем состоит идея параллельной реализации метода сопряженных градиентов?
72. Какой из алгоритмов обладает большей коммуникационной сложностью?
73. Как определяется задача Дирихле для уравнения Пуассона?
74. Как метод конечных разностей применяется для решения задачи Дирихле?
75. Какие способы определяют организацию параллельных вычислений для сеточных методов на многопроцессорных вычислительных системах с общей памятью?
76. В чем состоит проблема синхронизации параллельных вычислений?
77. Как характеризуется поведение параллельных участков программы, которое именуется состязанием потоков (*race condition*)?
78. В чем состоит проблема взаимоблокировки?
79. Какой метод гарантирует однозначность результатов сеточных методов независимо от способа распараллеливания, но требует использования большого дополнительного объема памяти?
80. Как изменяется объем вычислений при применении методов волновой обработки данных?
81. Что такое фрагментирование (*chunking*)?
82. Как повысить эффективность методов волновой обработки данных?
83. Как очередь заданий позволяет балансировать нагрузку процессорам?
84. Какие проблемы приходится решать при организации параллельных вычислений на системах с распределенной памятью?
85. Какие механизмы могут быть задействованы для передачи данных?
86. Каким образом организация множественной волны вычислений позволяет повысить эффективность волновых вычислений в системах с распределенной памятью?

На основе содержания курса, по каждому из разделов сформулированы вопросы,

обсуждаемые в ходе работы с преподавателем. Круг вопросов может выходить за рамки содержания данной дисциплины и касается изложения курсов, перечисленных в разделе 8 настоящей программы. Уровень подготовки обучающегося и его оценка выявляются в результате собеседований. Самостоятельная работа студентов опирается на ряд учебных пособий. В основе итоговой оценки лежит качество освоения разделов дисциплины с учётом степени активности каждого слушателя в ходе проведения семинаров и лабораторных работ.

11. Ресурсное обеспечение:

При освоении данной дисциплины используются учебные аудитории, компьютерные классы физико-технического факультета, удаленные ресурсы кластера ТГУ и информационные ресурсы Научной библиотеки ТГУ.

12. Язык преподавания.

Русский

13. Преподаватель (преподаватели).

Автор _____ С.В. Тимченко

Рецензент (ы) _____

Программа одобрена на заседании Ученого совета физико-технического факультета ТГУ от 21 апреля 2016 года, протокол № 44.