

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского»
Программа повышение конкурентоспособности ННГУ им. Н.И. Лобачевского
Стратегическая инициатива 7 «Достижение лидирующих позиций в области суперкомпьютерных технологий и высокопроизводительных вычислений»

Радиофизический факультет
Кафедра электроники
Кафедра радиотехники

УТВЕРЖДАЮ
Декан радиофизического факультета

_____ В.В.Матросов
« » _____ 2014 г.

Рабочая программа дисциплины

«Физическая электроника»

Направление подготовки -090302-

«Информационная безопасность телекоммуникационных систем»

Профиль подготовки (специализация)

Общий профиль
Профессиональный
Вариативная часть

Квалификация (степень) выпускника - бакалавр

Форма обучения - очная

Нижегород

2014 год

1. Цели освоения дисциплины

Цель преподавания дисциплины является формирование у студентов современного представления об основных принципах функционирования классических вакуумных и полупроводниковых приборов, а также современных приборах наноэлектроники и мощных СВЧ и КВЧ вакуумных приборах. Формируется современное представление об основных методах формирования активной среды в виде электронного пучка для мощных источников когерентного электромагнитного излучения, включая теорию эмиссии электронов из твердого тела, о процессах взаимодействия активной среды с электромагнитными полями в классических приборах вакуумной электроники (клистронах, ЛБВ, магнетронах) и современных приборах СВЧ электроники в мазерах на циклотронном резонансе. Рассмотрены классические полупроводниковые приборы – диоды на основе p-n перехода и барьера Шоттки, а также полевые и биполярные транзисторы, принципы функционирования оптоэлектронных приборов. Рассматриваются процессы, происходящие в гетеропереходах, и объясняются основные причины преимущества приборов на основе наногетероструктурных переходов перед классическими приборами.

2. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина даёт студентам представление об устройствах, на основе которых строятся передающие и приёмные устройства в канале связи. К ним относятся аналоговые и цифро-аналоговые функциональные узлы на сосредоточенных элементах, включая малосигнальные усилители напряжения на полевых и биполярных транзисторах, апериодические (широкополосные) и частотно-избирательные усилители переменного тока, одноконтурные и дифференциальные усилители постоянного тока, интегральные дифференциальные (операционные) усилители, инструментальные интегральные схемы (компараторы и перемножители напряжений, смесители, цифро-аналоговые и аналого-цифровые преобразователи) и функциональные узлы на основе операционных усилителей и перемножителей (смесителей), системы синхронизации. Приобретение знаний и умений обеспечиваются в соответствии с государственным образовательным стандартом, содействует формированию профессионального воззрения на уровень и тенденции развития информационных технологий и приобретения навыков системного подхода к решению сложных алгоритмических задач, связанных с созданием. Дисциплина изучается в 6 и 7 семестре. Программа лекционного курса опирается на знания, которые студенты должны иметь в результате изучения содержания модулей «Общая физика» (дисциплин «Механика»,

«Молекулярная физика», «Электричество и магнетизм», «Оптика») и «Математика» (дисциплин «Математический анализ», «Дифференциальные и интегральные уравнения», «Аналитическая геометрия», «Линейная алгебра», «Векторный и тензорный анализ») из базовой части математического и естественно-научного цикла, а также дисциплин «Статистическая физика», «Квантовая физика» из базовой части профессионального цикла.

Для освоения дисциплины студент **должен обладать способностями**: *работать самостоятельно и в коллективе (ОК-6), овладеть базовыми знаниями в областях математики и естественных наук, а также использовать их в профессиональной деятельности в учебном процессе (ОК-8), самостоятельно приобретать новые знания, применяя современные информационные технологии (ОК-10).*

3. Требования к результатам освоения дисциплины

В результате освоения дисциплины «Введение в радиационную физику твердого тела и радиационные технологии электроники» формируются следующие компетенции:

- способность собирать, обобщать и интерпретировать с использованием современных информационных технологий информацию, необходимую для формирования суждений по соответствующим специальным и научным проблемам (ОК-11);
- способность к правильному использованию общенаучной и специальной терминологии (ОК-12);
- способность использовать базовые теоретические знания для решения профессиональных задач (ПК-1);
- способность к профессиональному развитию и саморазвитию в области радиофизики и электроники (ПК-6).

В процессе изучения дисциплины студенты должны знать:

- зонную теорию твердого тела и статистику электронов в полупроводниках, включая основные особенности наногетеропереходов;
- различные виды электронной эмиссии и методы их теоретического описания
- теорию переноса электронов в полупроводниках включая нестационарные и неравновесные процессы в коротких нанометровых структурах;
- теорию функционирования рп-переходов и контактов металл-полупроводник;
- теорию полевых и биполярных транзисторов включая особенности транзисторов на наногетероструктурах;
- методы управления и модуляции интенсивными электронными потоками;
- принципы эффективного энергообмена электронных потоков с электромагнитными полями;

- устройство и основные характеристики основных электровакуумных приборов: клистронов, ЛБВ и магнетронов;

4. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц (180 часов). Процесс обучения включает в себя два вида учебной работы, экзамен и зачёт в качестве вида итогового контроля (Таблица 1).

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры	
		6	7
Общая трудоёмкость дисциплины	180	6	7
Аудиторные занятия	170	51	51
Лекции	102	34	34
Практические занятия (ПЗ)	-	-	-
Семинары (С)	-	-	-
Лабораторные работы (ЛР)	68	17	17
Другие виды аудиторных занятий	-	-	-
Самостоятельная работа	130	40	40
Курсовой проект (работа)	-	-	-
Расчетно-графическая работа	-	-	-
Реферат	-	-	-
Другие виды самостоятельной работы	-	-	-
Вид итогового контроля (зачет, экзамен)	экзамен	зачет	экзамен

Разделы дисциплины и виды занятий (Таблица 2)

Часть I. Вакуумная электроника

№п/п	Раздел дисциплины	Лекции	ПЗ (или С)	ЛР
1	Введение.	1		
2	Общие вопросы эмиссионной электроники. Термоэлектронная эмиссия. Полевая эмиссия. Вторичная электронная эмиссия. Фотоэлектронная эмиссия	3		5
3	Вопросы теории движения электронов в электрическом и магнитном статических полях	3		5

4	Приборы со статическим управлением потоками электронов	3		7
5	Основные понятия электроники СВЧ	6		
6	Клистроны	4		
7	Лампа бегущей волны типа О	4		
8	ЛБВ М типа. Магнетрон	4		
9	Мазеры на свободных электронах	4		
10	Вакуумная микроэлектроника СВЧ	2		

Часть II. Твердотельная электроника

№п/п	Раздел дисциплины	Лекции	ПЗ (или С)	ЛР
1	Кристаллическая структура твердого тела.	3		1
2	Колебания кристаллической решетки	3		1
3	Зонная структура твердых тел	3		2
4	Статистика электронов в твердом теле	3		2
5	Перенос и рассеяние носителей в однородных полупроводниках	2		2
6	Неравновесные явления в полупроводниках	2		
7	Процессы переноса в неоднородных полупроводниках	2		2
8	Теория рп и гетеро- переходов	2		5
9	Явления на резкой границе раздела материалов	2		
10	Оптоэлектроника	4		
11	Биполярный и гетеробиполярный транзисторы	2		2
12	Полевые и гетерополевые транзисторы	2		
13	Методы параллельных вычислений и их применение для анализа полупроводниковых приборов	4		

5.2. Содержание разделов дисциплины

Часть I. Вакуумная электроника

Раздел 1. Введение

Области применения мощного электромагнитного излучения. Типичная блок-схема мощных источников электромагнитного излучения. Предмет и структура курса.

Раздел 2. Общие вопросы эмиссионной электроники

Классификация электронной эмиссии. Работа выхода электронов из твердого тела. Профиль потенциального барьера. Теория термоэлектронной эмиссии из твердого тела. Механизм действия пленочного катода. L-катод. Оксидный катод. Эффект Шотки. Прохождение электронов сквозь потенциальный барьер на поверхности твердого тела. Свойства и применение автоэлектронных катодов. Зависимость коэффициента вторичной эмиссии от энергии и угла падения первичных электронов. Распределение вторичных электронов по энергиям. Особенности вторичной эмиссии из полупроводников и диэлектриков. Основные законы внешнего фотоэффекта (законы Столетова и Эйнштейна). Спектральные фотоэлектрические характеристики металлов. Плотность тока фотоэмиссии. Фотоэлектронная эмиссия диэлектриков и полупроводников. Сурьмяноцезиевый фотокатод

Раздел 3. Теория движения электронов в электрическом и магнитном статических полях

Интеграл энергии, замедление. Движение в однородном электрическом поле, однородном магнитном поле и движение в скрещенных полях, Дрейфовая скорость. Электростатическое отклоняющее устройство. Магнитное отклоняющее устройство. Электронный прожектор (островковый эффект). Интенсивные электронные потоки. Уравнения движения в электромагнитном поле. Интеграл энергии, замедление. Плоский идеализированный диод (закон 'трёх вторых'). Формирование ленточных электронных пучков. Пушка Пирса.

Раздел 4. Приборы со статическим управлением потоками электронов

Электронные лампы с сеточным управлением. Триод. Устройство и принцип действия. ВАХ триода. Токораспределение в триоде. Статические параметры триода. Усилительный каскад на триоде. Недостатки триодов. Устройство многосеточных ламп. Недостатки приборов со статическим управлением на высоких частотах. Теорема о полном токе. Теорема Шокли-Рамо

Проводимость электронного промежутка на СВЧ. Монотрон.

Раздел 5. Основные понятия электроники СВЧ

Принципы отбора энергии от потока электронов в электронных приборах СВЧ. Статическое и динамическое управление электронным потоком. Скоростная модуляция электронного потока. Уравнение скоростной модуляции.

Раздел 6. Клистроны

Двухрезонаторный пролетный клистрон. Устройство и принцип действия. Пространственно-временная диаграмма. Параметр группировки. Конвекционный и наведенный токи в пролетном клистроне. Мощность и КПД клистрона. Принцип работы многорезонаторного клистрона. Генераторы на клистромах.

Раздел 7. Лампа бегущей волны типа О

Принцип действия ЛБВ-О. Общие свойства электродинамических систем. Электродинамические системы ЛБВ. Свойства периодических замедляющих систем. Пространственные гармоники. Фазовая скорость пространственной гармоники. Распределение электрического поля гармоники. Дисперсионная характеристика. Устройство ЛБВ. Линейная теория ЛБВ. Дисперсионное уравнение ЛБВ. Параметры дисперсионного уравнения. Свойства корней дисперсионного уравнения. Коэффициент усиления ЛБВ. Зависимость коэффициента полезного действия ЛБВ от параметров дисперсионного уравнения. Особенности миллиметровых ЛБВ.

Раздел 8. Лампа бегущей волны типа М. Магнетрон

Устройство. Группировка в ЛБВ-М. Коэффициент полезного действия. Линейная теория ЛБВ-М. Коэффициент усиления. Статический режим работы магнетрона. Теорема Буша. Электронное облако в негенерирующем магнетроне. Колебательные системы магнетронов. Виды колебаний колебательной системы магнетрона, π -вид колебаний. Группировка электронов и КПД магнетрона.

Раздел 9. Мазеры на свободных электронах

Классические электроны-осцилляторы и электронные мазеры. Принцип работы МЦР. Оценки оптимальных параметров. Устройство и работа гиротрона.

10. Вакуумная микроэлектроника СВЧ.

Сравнительная характеристика вакуумных и полупроводниковых приборов СВЧ. Конструкция и параметры решетки автоэмиссионных катодов на основе катодов Спиндта. Дiod и триод с катодом Спиндта. Устройство и принцип работы клистрода. Особенности устройства и работы ЛБВ О и М типов с катодами Спиндта.

Часть II. Твердотельная электроника

Раздел 1. Кристаллическая структура твердого тела

Кристаллическая решетка. Элементарная ячейка. Прямая и обратная решетка. Ячейка

Вигнера-Зейтца.

Раздел 2. Колебания кристаллической решетки

Колебания простой и сложной цепочки атомов. Акустические и оптические фононы. Продольные и поперечные колебания. Законы дисперсии для трехмерной решетки.

Раздел 3. Зонная структура твердых тел

Уравнение Шредингера для периодического потенциала. Теорема Блоха. Зоны Бриллюэна. Модель Кронига-Пенни. Закон дисперсии. Зонная структура полупроводников Si, Ge, GaAs. Движение свободных носителей. Эффективная масса носителей. Электроны и дырки в полупроводниках.

Раздел 4. Статистика электронов в твердом теле

Заселение состояний электронами. Уровень Ферми. Типы твердых тел: металлы, диэлектрики, полупроводники. Зависимость концентрации носителей и уровня Ферми от температуры в собственных полупроводниках, в примесных полупроводниках, в компенсированных полупроводниках. Собственная проводимость. Область истощения примесей. Примесная проводимость. Основные и неосновные носители заряда. Способы управления проводимостью в полупроводниках.

Раздел 5. Перенос и рассеяние носителей в однородных полупроводниках

Кинетическое уравнение Больцмана. Механизмы рассеяния: примесное рассеяние, рассеяние на акустических и оптических фононах, рассеяние на дефектах, электрон-электронное рассеяние. Описание движения носителей в слабых полях. Подвижность носителей.

Раздел 6. Неравновесные явления в полупроводниках

Разогрев электронного газа в полупроводниках. Время релаксации импульса и энергии. Фотоионизация и фотопроводимость. Механизмы рекомбинации носителей. Время жизни фотовозбужденных носителей.

Раздел 7. Процессы переноса в неоднородных полупроводниках

Диффузия свободных носителей заряда. Ток диффузии. Ток дрейфа. Возникновение внутреннего поля в неоднородном полупроводнике. Соотношения Эйнштейна. Система уравнений для описания потенциалов, полей и токов. Максвелловская релаксация основных

носителей. Время жизни и диффузионная длина неосновных носителей заряда.

Раздел 8. Теория р-п перехода

Резкий и диффузный р-п переходы. Распределение заряда, структура поля и потенциала в переходе. Распределение концентрации основных и неосновных носителей. Переход в состояние равновесия. Обедненный слой. Диод под внешним напряжением. Вольт-амперные характеристики. Барьерная емкость перехода и сопротивление базы. Пробой р-п перехода.

Раздел 9. Явления на резкой границе раздела материалов

Контакт металл-полупроводник. Барьер Шоттки. Омический контакт. Структура металл-диэлектрик-полупроводник. Структура металл-окисел-полупроводник. Гетеропереход.

Раздел 10. Оптоэлектроника

Фотодетекторы. Полупроводниковые лазеры. Солнечные батареи

Раздел 11. Биполярный и гетеробиполярный транзисторы

Типы транзисторов. Теория работы транзистора. Токи созданные основными и неосновными носителями. Вольт-амперные характеристики. Модель Эберса-Молла. Параметры для описания транзисторов. Принципы работы гетеробиполярного транзистора, зонная диаграмма и эквивалентная схема. Преимущества гетеробиполярного транзистора перед биполярным.

Раздел 12. Полевые и гетерополевые транзисторы

Эффект поля. Распределение потенциала и поля в полевом транзисторе с управляющим р-п переходом или барьером Шоттки. Расчет статических вольт-амперных характеристик и высокочастотные свойства транзистора. Принцип работы МДП полевого транзистора. Распределение потенциала и поля в приборе. Преимущества гетерополевого транзистора перед другими видами полевых транзисторов.

Раздел 13. Методы параллельных вычислений и их применение для анализа полупроводниковых приборов

Цели и задачи методов параллельных вычислений. Возможности математических моделей и преимущества использования параллельных вычислений при проведении анализа полупроводниковых приборов. Подходы к проведению моделирования и особенности про-

граммной реализации. Пример моделирования процесса ионной имплантации и определения основных параметров полупроводниковой структуры и приборов на ее основе.

Лабораторный практикум

Вакуумная электроника

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование лабораторной работы
1.	2, 3	Исследование влияния пространственного заряда на прохождение тока в диоде
2.	4	Исследование принципов статического управления электронным потоком в триоде

Твердотельная электроника

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование лабораторной работы
1.	1, 2, 3, 4, 5	Измерение ширины запрещенной зоны полупроводников
2.	7, 8	Измерение статических характеристик полупроводникового диода
3.	12	Измерение статических характеристик полевого и биполярного транзисторов

6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.

Вакуумная электроника

1. Работа выхода электронов из твердого тела. Профиль потенциального барьера.
2. Теория термоэлектронной эмиссии из твердого тела.
3. Эффект Шоттки. Автоэлектронная эмиссия. Взрывная эмиссия.
4. Зависимость коэффициента вторичной эмиссии от энергии и угла падения первичных электронов.
5. Основные законы внешнего фотоэффекта.
6. Интеграл энергии, замедление.
7. Движение в однородном электрическом поле, однородном магнитном поле и движение в скрещенных полях. Дрейфовая скорость.
8. Электростатическое и магнитное отклоняющие устройства. Электронный прожектор

(островковый эффект).

9. Формирование ленточных электронных пучков Пушка Пирса.
10. Плоский идеализированный диод (закон 'трёх вторых').
11. Вольтамперные характеристики триода.
12. Усилительный каскад на триоде.
13. Недостатки приборов со статическим управлением на высоких частотах.
14. Инерция электронов. Наведенные токи в цепях электродов.
15. Принципы отбора энергии от электронного потока в электронных приборах СВЧ.
16. Уравнение скоростной модуляции.
17. Пространственно-временная диаграмма пролетного клистрона.
18. Принцип работы многорезонаторного клистрона.
19. Принцип действия ЛБВ-О.
20. Пространственные гармоники.
21. Зависимость коэффициента полезного действия ЛБВ от параметров дисперсионного уравнения.
22. Устройство ЛБВ-М. Группировка электронов в ЛБВ-М.
23. Виды колебаний колебательной системы магнетрона, π -вид колебаний.
24. Принцип работы МЦР.
25. Конструкция и параметры решетки автоэмиссионных катодов на основе катодов Спиндта.

Твердотельная электроника

1. Каковы особенности кристаллической структуры твердых тел и правила построения ячейки Вигнера-Зейтца?
2. Каковы причины возникновения зонной структуры твердых тел?
3. Каковы причины использования понятия эффективная масса электронов и дырок в полупроводниках?
4. Что такое уровень Ферми, собственная и примесная проводимость, основные и неосновные носители заряда?
5. В чем отличие акустических и оптических фононов, продольных и поперечных колебаний цепочек атомов кристаллической решетки?
6. Каковы механизмы рассеяния электронов?
7. Что такое подвижность носителей заряда?
8. Что такое разогрев электронного газа в полупроводниках и каковы времена релаксации импульса и энергии электронов?

9. В чем смысл явлений фотоионизации и фотопроводимости и что характеризуют понятия: время жизни и диффузионная длина неосновных носителей заряда?
10. Каковы механизмы рекомбинации носителей?
11. В чем отличие диффузионного и дрейфового тока электронов и дырок?
12. Какова система уравнений для описания потенциалов, полей и токов в полупроводниках?..
13. Какова зонная диаграмма p-n перехода в состоянии равновесия и под внешним напряжением? Объяснить причины возникновения нелинейной вольт-амперной характеристики перехода.
14. Каковы физические процессы, приводящие к возникновению потенциального барьера на границе раздела металл-полупроводник и в гетеропереходе?
15. Объяснить принципы работы биполярного и гетробиполярного транзисторов.
16. Объяснить принципы работы полевого транзистора с управляющим переходом, барьером Шоттки и МДП затвором.
17. В чем преимущество гетерополевых транзисторов перед полевыми?

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

1. Гапонов В.И. "Электроника" Часть 1 Физматгиз М. 1960
2. Гапонов В.И. "Электроника" Часть 2 Физматгиз М. 1960
3. Жеребцов И.И. Электроника. Энергоатомиздат. М.: 1990.
4. Электронные приборы. / Под ред. Г.Г. Шишкина. 4-е изд. М : Энергоатомиздат, 1989. 496 с.
5. Добрецов Л.Н., Гомоюнова М.В. Эмиссионная электроника. Наука. М.:1966.
6. Сушков А.Д. Вакуумная электроника. 2009 г.
7. Царев Б.М. Расчет и конструирование электронных ламп. Энергия. 1967.
8. Мюллер Р.Б. Введение в физику сильноточных пучков заряженных частиц. Мир., М.: 1984.
9. Соболева Н.А., Берковский А.Г. и др. Фотоэлектронные приборы. Наука. М.: 1963.
10. Бродский Л.Н., Гуревич Ю.Я. Теория электронной эмиссии из металлов. Наука., М.: 1963.
11. Власов В.Ф. Электронные и ионные приборы. Связьиздат., М., 1960.
12. Орешкин П.Т. "Физика полупроводников и диэлектриков" Высш.школа М. 1977
13. Овечкин Ю.А. "Полупроводниковые приборы" Высш. школа М.1986
14. Степаненко И.П. "Основы микроэлектроники" Сов. радио М. 1980

15. Степаненко И.П. "Основы теории транзисторных схем" Энергия. М. 1977
16. Митрофанов О.В., Симонов Б.М., Коледов Л.А. "Физические основы функционирования изделий микроэлектроники" Микроэлектроника. Высшая школа, М., 1987
17. Пасынков В.В., Чиркин Л.К., Шинков А.П., "Полупроводниковые приборы" Высшая школа, М., 1981
18. Тугов Н.М., Глебов Б.А., Чарыков Н.А. "Полупроводниковые приборы" Энергоатомиздат, М., 1990
19. Федотов Я.А. "Основы физики полупроводниковых приборов" Сов.Радио М. 1969
20. Зи С. "Физика полупроводниковых приборов" т. 1, т. 2, Мир. М., 1984
21. Кремлев В.Я. "Физико-топологическое моделирование структур элементов БИС" Высшая школа, М., 1990
22. Пожела Ю., Юцене В. "Физика сверхбыстродействующих транзисторов" Мокслас, Вильнюс, 1985
23. Киттель Ч. "Элементарная физика твердого тела" Наука М. 1965
24. Займан Дж. "Принципы теории твердого тела" Мир, М., 1966
25. Епифанов Г.И. «Физика твердого тела» Высшая школа, М., 1965
26. Алексенко А.Г., Шагурин А.А. Микросхемотехника: Учебное пособие для вузов – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1990. – 496 с.
27. Степаненко И.П. Основы теории транзисторов и транзисторных схем. – Изд. 4-е, перераб. и доп. – М.: Энергия, 1977. – 672 с.
28. Степаненко И.П. Основы микроэлектроники. – М.: Сов. радио, 1980. – 424 с.
29. Орлов И.Я. Курс лекций по основам радиоэлектроники: Учебное пособие / Н.Новгород: Издательство ННГУ, 2005. – 168 с.
30. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника. – М.: Мир, 1982. – 512 с.
31. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы: Учеб. для вузов по специальности «Радиотехника». – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1988. – 448 с.
32. Манаев Е.И. Основы радиоэлектроники: Учеб. пособие для вузов. – М.: Радио и связь, 1985. – 504 с.
33. Аваев Н.А. и др. Основы микроэлектроники: Учеб. пособие для вузов / Н.А. Аваев, Ю.В. Наумов, В.Т. Фролкин. – М.: Радио и связь, 1991. – 288 с.
34. Первачев С.В. Радиоавтоматика: Учебник для вузов. – М.: Радио и связь, 1982. – 296 с.
35. Боресков А.В., Харламов А.А. Основы работы с технологией CUDA. – М.: ДМК Пресс, 2010. – 232 с.
36. Сандерс Д., Кэндрот Э. Технология CUDA в примерах: введение в программирование графических процессоров. – М.: ДМК Пресс, 2011. – 232 Боресков А.В., Харламов А.А.,

Марковский А.А., Микушин Д.Н., Мортиков Е.В., Мыльцев А.А., Сахарных Н.А., Фролов В.А. Параллельные вычисления на GPU. Архитектура и программная модель CUDA. – М.: МГУ, 2012. – 336 с.

37. Воеводин В.В. Вычислительная математика и структура алгоритмов. – М.: МГУ, 2010. – 168 с.

38. Гергель В.П. Высокопроизводительные вычисления для многопроцессорных многоядерных систем. – М.: МГУ, 2010. – 544 с.

39. Корняков К.В., Кустикова В.Д., Мееров И.Б., Сиднев А.А., Сысоев А.В., Шишков А.В. Инструменты параллельного программирования в системах с общей памятью. – М.: МГУ, 2010. – 272 с.

40. Линева А.В., Боголепов Д.К., Бахраков С.И. Технологии параллельного программирования для процессоров новых архитектур – М.: МГУ, 2010. – 160 с.

41. Боресков А.В., Харламов А.А. Основы работы с технологией CUDA. – М.: ДМК Пресс, 2011. – 232 с.

42. Сандерс Дж., Кэндрот Э. Технология CUDA в примерах: Введение в программирование графических процессоров. – М.: ДМК Пресс, 2011. – 232 с.

43. Гречников Е.А., Михайлов С.В., Нестеренко Ю.В., Поповян И.А. Вычислительно сложные задачи теории чисел. – М.: МГУ, 2012. – 312 с.

44. Боресков А.В., Харламов А.А., Марковский Н.Д., Микушин Д.Н., Мортиков Е.В., Мыльцев А.А., Сахарных Н.А., Фролов В.А. Параллельные вычисления на GPU. Архитектура и программная модель CUDA. – М.: МГУ, 2012. – 336 с.

45. Гергель В.П. Современные языки и технологии параллельного программирования. – М.: МГУ, 2012. – 408 с.

46. Антонов А.С. Технологии параллельного программирования MPI и OpenMP. – М.: МГУ, 2012. – 344 с.

47. Лыкосов В.Н., Глазунов А.В., Кулямин Д.В., Мортиков Е.В., Степаненко В.М. Суперкомпьютерное моделирование в физике климатической системы. – М.: МГУ, 2012. – 408 с.

48. Якововский М.В. Введение в параллельные методы решения задач. – М.: МГУ, 2013. – 328 с.

49. Стронгин Р.Г., Гергель В.П., Гришагин В.А., Баркалов К.А. Параллельные вычисления в задачах глобальной оптимизации – М.: МГУ, 2013. – 280 с.

50. Рутм Г., Фатика М. CUDA Fortran для ученых и инженеров. – М.: ДМК Пресс, 2014. – 364 с.

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Не предусмотрено.

Программа составлена в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования по направлению 011800 «Радиофизика»

Автор _____ С.В.Оболенский

Рецензент _____

Заведующий кафедрой _____ С.В. Оболенский

Программа одобрена на заседании кафедры от _____ 2014 года, протокол № _____