Белорусский государственный университет

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе и
образовательным инновациям
_____ О.И. Чуприс
«14» _____ 2019 г.

Регистрационный № УД-7193/уч.

Физика вычислительных технологий

**Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине для специальности:**

1-31 80 20 Прикладная физика

профилизация
Физическая информатика

2019 г.

Учебная программа составлена на основе ОСВО 1-31 80 20-2019 и учебного плана №G31-096/уч. от 11.04.2019

СОСТАВИТЕЛИ:

А.А. Афоненко, профессор кафедры квантовой радиофизики и оптоэлектроники, факультета радиофизики и компьютерных технологий, д-р физ.-мат. наук, доцент;

А.А. Рыжевич, доцент кафедры квантовой радиофизики и оптоэлектроники, факультета радиофизики и компьютерных технологий, канд. физ.-мат. наук, доцент

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

С. И. Чубаров, доцент кафедры информационных технологий в образовании БГПУ им. М. Танка, к.ф.-м.н., доцент

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой квантовой радиофизики и оптоэлектроники (протокол № 12 от 24.06.2019);

Научно-методическим Советом БГУ

(протокол № 5 от 28.06.2019)

Зав.кафедрой_____ _____ М.М. Кугейко

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Цели и задачи учебной дисциплины

Цель учебной дисциплины – формирование у студентов понятий и представлений о различных вычислительных технологиях, в особенности перспективных квантовых технологиях.

Задачи учебной дисциплины:

1. обучить студентов фундаментальным принципам действия аналоговых и цифровых вычислителей, включая квантовые компьютеры;
2. дать навыки математического моделирования систем, функционирующих по принципам квантовой механики;
3. ознакомить студентов с современными достижениями в области вычислительных технологий.

Место учебной дисциплины в системе подготовки специалиста с высшим образованием (магистра).

Учебная дисциплина относится к модулю «**Физика обработки, хранения и передачи информации»** компонента учреждения высшего образования.

Связи с другими учебными дисциплинами, включая учебные дисциплины компонента учреждения высшего образования, дисциплины специализации и др.:

Материал курса опирается на сведения, полученные ранее учебных дисциплинах компонента учреждения высшего образования: «Оптика», «Атомная и ядерная физика», «Квантовая механика», «Электродинамика», «Квантовая радиофизика».

Требования к компетенциям

Освоение учебной дисциплины «Физика вычислительных технологий» должно обеспечить формирование следующих специализированных компетенций:

СК-1: Владеть методами и технологиями проведения вычислительных операций на основе систем и процессов различной физической природы, включая электронные цифровые и аналоговые, оптические и квантовые вычисления.

В результате освоения учебной дисциплины студент должен:

знать: физические принципы действия аналоговых и цифровых, вычислителей, основы квантовых вычислений и квантовой передачи информации, примеры практической различных вычислительных технологий;

уметь: разрабатывать физические и математические модели устройств, которые используют принципы квантовой механики;

владеть: теоретическими знаниями в области квантовой физики и практическими навыками моделирования квантовых эффектов для решения прикладных задач.

Структура учебной дисциплины

Дисциплина изучается в 1 семестре. Всего на изучение учебной дисциплины «Физика вычислительных технологий» отведено:

– для очной формы получения высшего образования – 90 часов, в том числе 54 аудиторных часа, из них: лекции – 18 часов, лабораторные занятия – 36 часов.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 3 зачетные единицы.

Форма текущей аттестации по учебной дисциплине – экзамен.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Тема 1. Понятие вычислительных технологий.

Аналоговые и цифровые вычисления. Эволюция электронно-вычислительных машин. Архитектура фон Неймана. Прогресс технологических процессов, миниатюризация размеров транзисторов и увеличение плотности размещения элементов. Закон Мура. Оптические вычисления. Квантовые вычисления. Перспективы и проблемы развития различных вычислительных технологий.

Тема 2. Аналоговые и цифровые вычисления.

Принцип действия аналоговых вычислителей. Механические, пневматические, гидравлические, электрические аналоговые вычислительные машины. Базовые элементы. Реализация операций суммирования, вычитания, интегрирования, дифференцирования и масштабирования с помощью операционных усилителей. Принцип действия цифровых вычислителей. Логические элементы. Реализация логических элементов с использованием биполярных и полевых транзисторов. Полупроводниковые технологии построения интегральных микросхем (ТТЛ, ЭСЛ, КМДП и др.).

Тема 3. Оптические вычисления.

Родственные технологии и компоненты. Аналоговые оптические и оптоэлектронные процессоры. Реализация Фурье преобразования, свертки и корреляции с помощью линз и голограмм. Реализация умножения вектора на матрицу с помощью пространственных оптических модуляторов. Использование винтовых дислокаций волнового фронта (оптических вихрей), их линейных и нелинейных преобразований в процессах оптической обработки информации. Цифровые оптические процессоры. Оптический транзистор. Оптоэлектронные логические ячейки на основе бистабильных лазерных излучателей. Полностью оптические логические ячейки на основе нелинейных оптических эффектов. Преимущества и недостатки оптических технологий.

Тема 4. Классические и квантовые системы.

Корпускулярно-волновой дуализм. Гипотеза де Бройля. Применение формулы де Бройля для задач квантовой механики. Применение эффектов размерного квантования в технике: дисплей на квантовых точках (QLED), квантоворазмерные лазеры, коллоидные наночастицы.

Тема 5. Статистическая интерпретация квантовой механики.

Эксперимент Штерна-Герлаха. Спин электрона. Волновая функция: определение и физический смысл. Принцип суперпозиции состояний. Уравнение Шредингера. Примеры точно решаемых задач квантовой механики: прямоугольная потенциальная яма, гармонический осциллятор, частица в кулоновском поле. Соотношению неопределённостей Гейзенберга. Запутанные состояния. Парадокс Эйнштейна – Подольского – Розена.

Тема 6. Квантовые коммуникации.

Квантование электромагнитного поля. Фотон. Использование поляризации фотонов для кодирования/декодирования сообщений. Неравенства Белла. Квантовая телепортация. Квантовая криптография.

Тема 7. Квантовые вычисления.

Квантовые биты (кубиты). Сфера Блоха для описания состояний кубита. Однокубитовые преобразования, вентили, задаваемые матрицами Паули. Преобразования Адамара. Общий вид однокубитового преобразования. Условные квантовые преобразования. Управляемое НЕ (CNOT). Вентиль Тоффоли.

Тема 8. Квантовые алгоритмы.

Квантовый параллелизм. Квантовое преобразование Фурье. Квантовый алгоритм поиска в неструктурированной базе данных (алгоритм Гровера). Факторизация чисел (квантовый алгоритм Шора).

Тема 9. Физическая реализация квантовых вычислений.

Осцилляции Раби. Фотоны в резонаторах. Ионные системы. Сверхпроводящие цепи. ЯМР-ячейки. Поляризационные состояния фотона. Процессы декогерентизации состояний. Квантовые ошибки.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Дневная (вечерняя) форма получения образования

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов						Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное	Количество часов УСР	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Понятие вычислительных технологий.	2						Устный опрос Дискуссии
2	Аналоговые и цифровые вычисления.	2						Устный опрос Дискуссии
3	Оптические вычисления.	2			16			Устный опрос, отчет по лабораторной работе
4	Классические и квантовые системы.	2						Устный опрос Дискуссии
5	Статистическая интерпретация квантовой механики.	2			6			Устный опрос, отчет по лабораторной работе
6	Квантовые коммуникации.	2						Устный опрос Дискуссии
7	Квантовые вычисления.	2			6			Устный опрос, отчет по лабораторной работе
8	Квантовые алгоритмы.	2						Устный опрос Дискуссии
9	Физическая реализация квантовых вычислений.	2			6			Тест, отчет по лабораторной работе

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Перечень основной литературы

1. В.И. Емельянов, Ю.В. Владимирова. Квантовая физика. Биты и кубиты / Учебное пособие. – М.: Физический факультет МГУ, 2012. – 176 с.
2. Квантовые вычисления за и против. Под редакцией В.А. Садовничего. – Ижевск: Издательский дом «Удмурский университет», 1999. – 212 с.
3. М. Нильсен, И. Чанг. Квантовые вычисления и квантовая информация: Пер. с англ. – М.: Мир, 2006. – 824 с.
4. К.А. Валиев, А.А. Кокин. Квантовые компьютеры: надежда и реальность. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. – 352 с.

Перечень дополнительной литературы

1. П. А. Белов, В. Г. Беспалов, В. Н. Васильев, С. А. Козлов, А. В. Павлов, К. Р. Симовский, Ю. А. Шполянский. Оптические процессоры: достижения и новые идеи. // В кн.: Проблемы когерентной и нелинейной оптики. – СПб, 2006. – С. 6–36.
2. Рыжевич, А.А. Закономерности преобразования конических лазерных пучков в двуосном кристалле / А.А. Рыжевич, С.В. Солоневич, Н.А. Хило, И.В. Балыкин // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. фіз.-мат. навук. – 2016. – № 1. – С. 107–116.
3. Хило, Н.А. Преобразование порядка бесселевых световых пучков в одноосных кристаллах / Н.А. Хило, А.А. Рыжевич, Е.С. Петрова // Квантовая электроника. – 2001. – Т. 31, № 1. – С. 85–89.
4. Квантовый компьютер и квантовые вычисления. Под редакцией В.А. Садовничего. – Ижевск: Ижевская республиканская типография, 1999. – 288 с.

Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой оценки

Итоговая оценка формируется в соответствии со следующими документами:

1. «Об утверждении правил проведения аттестации студентов, курсантов, слушателей при освоении содержания образовательных программ высшего образования». Постановление Министерства образования Республики Беларусь от 29 мая 2012 г. № 53.

2. «Положение о рейтинговой системе оценки знаний по дисциплине в Белорусском государственном университете». Приказ ректора БГУ от 18.08.2015 № 382-ОД.

3. «Критерии оценки знаний и компетенций студентов по десятибалльной шкале». Письмо Министерства образования Республики Беларусь №09-10/53-ПО от 28.05.2013г. Оценка за ответы на лекциях (опрос) включает в себя полноту ответа, наличие аргументов, примеров из практики и т.д.

Оценка за ответы на лекциях (опрос) включает в себя полноту ответа, наличие аргументов, примеров из практики, участие в дискуссии и т.д.

Формой текущей аттестации по дисциплине учебным планом предусмотрен экзамен.

При формировании итоговой оценки используется рейтинговая оценка знаний студента, дающая возможность проследить и оценить динамику процесса достижения целей обучения. Рейтинговая оценка предусматривает использование весовых коэффициентов для текущего контроля знаний и текущей аттестации студентов по дисциплине.

Формирование оценки за текущую успеваемость:

- ответы на лекциях (опрос) – 10 %;
- выполнение лабораторных работ – 30 %;
- выполнение теста – 60 %.

Рейтинговая оценка по дисциплине рассчитывается на основе оценки текущей успеваемости и экзаменационной оценки с учетом их весовых коэффициентов Вес оценка по текущей успеваемости составляет 40 %, экзаменационная оценка – 60 %.

Примерная тематика лабораторных занятий

1. Расчет энергий и волновых функций квантоворазмерных структур.
2. Элементарные квантовые алгоритмы.
3. Моделирование однокубитовых преобразований при резонансном воздействии на двухуровневую квантовую систему.
4. Формирование и исследование свойств лазерного светового пучка лагерр-гауссова типа с винтовой дислокацией волнового фронта.
5. Формирование и исследование свойств лазерного бесселева светового пучка с винтовой дислокацией волнового фронта.

Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины (эвристический, проективный, практико-ориентированный)

При организации образовательного процесса используется ***метод учебной дискуссии,*** который предполагает участие студентов в целенаправленном обмене мнениями, идеями для предъявления и/или согласования существующих позиций по определенной проблеме.

Использование метода обеспечивает появление нового уровня понимания изучаемой темы, применение знаний (теорий, концепций) при решении проблем, определение способов их решения.

Методические рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся, кроме подготовки к экзамену, подготовка к зачету

При изучении учебной дисциплины рекомендуется использовать следующие формы самостоятельной работы: – поиск (подбор) и обзор литературы и электронных источников по индивидуально заданной проблеме курса.

Реферат должен содержать следующие обязательные разделы:

- постановка задачи или проблемы и пути ее решения;
- историю исследования со ссылками на литературные источники;
- современное состояние проблемы;
- выводы.

По содержанию реферата должна быть

- подготовлена презентация для публичной защиты;
- подготовлены вопросы к аудитории по представленному материалу для выяснения усвоения основных положений доклада.

Темы реферативных работ

1. Оптический компьютер: перспективы реализации.
2. Экспериментальные методы получения запутанных состояний.
3. Квантовый компьютер: перспективы реализации.
4. Классические и квантовые алгоритмы.
5. Квантовая телепортация и ее экспериментальная реализация.
6. Квантовая криптография.

Примерный перечень вопросов к экзамену

1. Аналоговые вычисления. Принцип действия. Механические, пневматические, гидравлические, электрические аналоговые вычислительные машины. Базовые элементы. Характеристики аналоговых вычислительных машин. Применение.
2. Аналоговые вычисления. Реализация операций суммирования, интегрирования, дифференцирования и масштабирования с помощью операционных усилителей.
3. Цифровые вычисления. Логические элементы. Реализация логических элементов с использованием биполярных и полевых транзисторов.
4. Цифровые вычисления. Полупроводниковые технологии построения интегральных микросхем (ТТЛ, ЭСЛ, КМДП и др.). Закон Мура.
5. Аналоговые оптические и оптоэлектронные процессоры. Реализация Фурье преобразования, свертки и корреляции с помощью линз и голограмм. Реализация умножения вектора на матрицу с помощью пространственных оптических модуляторов.
6. Цифровые оптические процессоры. Оптический транзистор. Оптоэлектронные логические ячейки на основе бистабильных лазерных излучателей. Полностью оптические логические ячейки на основе нелинейных оптических эффектов.

7. Классические и квантовые системы. Корпускулярно-волновой дуализм. Гипотеза де Бройля. Применение формулы де Бройля для задач квантовой механики.
8. Применение эффектов размерного квантования в технике: дисплей на квантовых точках (QLED), квантоворазмерные лазеры, коллоидные наночастицы.
9. Статистическая интерпретация квантовой механики. Эксперимент Штерна-Герлаха. Спин электрона. Волновая функция: определение и физический смысл. Принцип суперпозиции состояний.
10. Уравнение Шредингера. Примеры точно решаемых задач квантовой механики: прямоугольная потенциальная яма, гармонический осциллятор, частица в кулоновском поле.
11. Соотношению неопределённостей Гейзенберга. Запутанные состояния. Парадокс Эйнштейна – Подольского – Розена.
12. Квантование электромагнитного поля. Фотон. Использование поляризации фотонов для кодирования/декодирования сообщений.
13. Квантовая телепортация. Неравенства Белла. Квантовая криптография.
14. Квантовые вычисления. Квантовые биты (кубиты). Сфера Блоха для описания состояний кубита. Однокубитовые преобразования, вентили, задаваемые матрицами Паули. Преобразования Адамара. Общий вид однокубитового преобразования.
15. Квантовые вычисления. Условные квантовые преобразования. Управляемое НЕ (CNOT). Вентиль Тоффоли.
16. Квантовые алгоритмы. Квантовый параллелизм. Квантовое преобразование Фурье.
17. Квантовые алгоритмы. Квантовый параллелизм. Квантовый алгоритм поиска в неструктурированной базе данных (алгоритм Гровера).
18. Квантовые алгоритмы. Квантовый параллелизм. Факторизация чисел (квантовый алгоритм Шора).
19. Осцилляции Раби.
20. Физическая реализация квантовых вычислений. Фотоны в резонаторах.
21. Физическая реализация квантовых вычислений. Ионные системы.
22. Физическая реализация квантовых вычислений. Сверхпроводящие цепи.
23. Физическая реализация квантовых вычислений. ЯМР-ячейки.
24. Физическая реализация квантовых вычислений. Поляризационные состояния фотона.
25. Процессы декогерентизации состояний. Квантовые ошибки.

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

Название учебной дисциплины, с которой требуется	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с

согласование		дисциплине	указанием даты и номера протокола)
Обработка и анализ оптической информации	Квантовой радиофизики и оптоэлектроники	Предложений об изменениях в содержании учебной программы нет	Изменения не требуются, протокол №12 от 24.06.2019.
Лазерные информационно-измерительные системы	Квантовой радиофизики и оптоэлектроники	Предложений об изменениях в содержании учебной программы нет	Изменения не требуются, протокол №12 от 24.06.2019.

ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ ПО ИЗУЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ

на _____/_____ учебный год

№ п/п	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры
_____ (протокол № ____ от _____ 201_ г.)

Заведующий кафедрой
_____ _____ _____

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета
_____ _____ _____