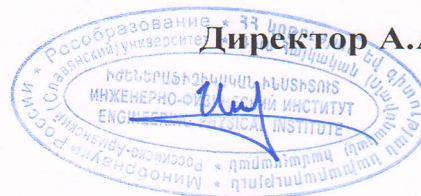


**ГОУ ВПО РОССИЙСКО-АРМЯНСКИЙ
(СЛАВЯНСКИЙ) УНИВЕРСИТЕТ**

Составлен в соответствии с государственными требованиями к минимуму содержания и уровню подготовки выпускников по направлению 11.04.04 Электроника и нанoeлектроника и Положением «Об УМКД РАУ».

УТВЕРЖДАЮ:



Директор А.А. Саркисян

21.07. 2023г.

Инженерно-Физический институт

Кафедра: Квантовая и оптическая электроника

Автор: канд. физ.-мат. наук Газазян Эмиль Альфредович

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС

Дисциплина: Б1.В.ДВ.02.01 «Элементы квантовой и оптической информатики»

Направление: 11.04.04 «Электроника и нанoeлектроника»

**Основная образовательная программа магистратуры:
«Квантовая оптическая электроника»**

ЕРЕВАН 2023

1. Аннотация

В курсе излагаются основные физические идеи квантовой информатики. Возникшая на стыке квантовой механики, теории информации и теории вычислений квантовая информатика представляет собой новую и интенсивно развивающуюся область науки. Одним из перспективных направлений в экспериментальной реализации квантового компьютера является использование современных нанотехнологий, что делает этот курс актуальным для студентов РАО. Курс предназначен для студентов - будущих физиков-экспериментаторов и инженеров-физиков, и имеет целью дать им необходимый для того минимум начальных сведений по квантовой оптике и квантовой информатике. Курс содержит изложение физических основ современных информационных технологий, принципов квантовых вычислений, квантовой телепортации и квантовой криптографии как с теоретической, так и с экспериментальной точек зрения, а также отражает современные международные достижения в этой стремительно развивающейся области.

Цель преподавания дисциплин:

Целью курса является ознакомление студентов с физическими основами современных квантовых информационных технологий и новейших достижений в этой области науки.. Подготовка будущих специалистов в области микро- и наноэлектроники с необходимым багажом теоретических и прикладных знаний.

Учебная задача: Задачи курса состоят в ознакомлении студентов с основами классических и квантовых вычислений, новыми возможностями обработки, хранения и передачи информации, а также современными протоколами защиты информации.

Основные методы проведения занятий, лекции, семинары, самостоятельная работа.

Список литературы: содержит 12 наименований монографий и обзоров российских и зарубежных авторов; этот список поможет студентам освоить и создать свой профессиональный исследовательский инструментарий и обеспечит целостность обучения.

Краткое содержание курса: Проблемы классических вычислений. Современное понятие информации, мера информации, принцип Ландауера. Элементарные логические операторы. Обратимые операторы. Универсальный набор. Оператор Тоффоли. Запись чисел в регистр. Простейший сумматор. Аксиомы квантовой механики. Основы квантовой оптики. Понятие о вторичном квантовании. Экспериментальная реализация оптических логических элементов. Парадокс ЭПР перепутанные состояния, функции Белла. Квантовые биты. Квантовый параллелизм, алгоритм Дойча. Квантовые алгоритмы. Кодирование информации. Криптография с закрытым и открытым ключом.. Квантовое распределение ключей и его безопасность. Современные достижения квантовой криптографии. Протокол квантовой телепортации.

2. Требования к исходным уровням знаний и умений студентов

Знать: основы линейной алгебры, основы квантовой механики.

Уметь: работать с векторами и матрицами; решать простейшие задачи квантовой механики

Владеть: базовыми знаниями по электродинамике, квантовой механике, теории вероятности.

3. Цель и задачи дисциплины

Основная цель изучаемой дисциплины — ознакомление студентов с физическими явлениями, лежащими в основе современных протоколов квантовой информатики. Подготовка будущих специалистов в области квантовой электроники с необходимым багажом теоретических и прикладных знаний и дальнейшему изучению специальной литературы по отдельным вопросам данной отрасли.

4. Требования к уровню освоения содержания дисциплины

В результате изучения дисциплины студент должен:

Знать: принципы работы классических вычислительных машин и квантовых вычислительных машин

Уметь: решать простейшие задачи в области квантовой информатики

Владеть: современным понятием информации, новыми идеями и методами квантовой криптографии, квантовой телепортации и квантовых вычислений

5. Трудоемкости дисциплины и видов учебной работы по учебному плану

Виды учебной работы	Всего (ак. час)
<i>Общая трудоемкость изучения дисциплины, в т.ч.:</i>	108(Зкр)
1. Аудиторные занятия, в т. ч.:	34
1.1. Лекционные занятия	-
1.2. Семинарские занятия	-
1.3. Практические занятия	34
1.4. Лабораторные работы	-
2. Самостоятельная работа, в т. ч.:	74
2.1. Контактная самостоятельная работа	-
2.2. Бесконтактная самостоятельная работа	74
<i>Итоговый контроль</i>	<i>Зачет</i>

6. Распределение весов по формам контроля

Веса и формы контролей	Вес форм текущих контролей в результирующей оценке текущего контроля			Вес форм промежуточных контролей и результирующей оценки текущего контроля в итоговой оценке промежуточного контроля			Вес итоговых оценок промежуточных контролей в результирующей оценке промежуточного контроля	Вес результирующей оценки промежуточных контролей и оценки итогового контроля в результирующей оценке итогового контроля
	M1	M2	M3	M1	M2	M3		
Вид учебной работы/ контроля								
Контрольная работа				0	0	0,4		
Тест								
Курсовая работа								
Лабораторные работы								
Письменные домашние задания	0	0	0,5					
Эссе								
Семинар	0	0	0,5					
Веса результирующих оценок текущих контролей в итоговых оценках соответствующих промежуточных контролей				0	0	0,6		
Вес итоговой оценки 1-го промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей							0	
Вес итоговой оценки 2-го промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей							0	
Вес итоговой оценки 3-го промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей							1	
Вес результирующей оценки промежуточных контролей в результирующей оценке итогового контроля								0
Вес оценки экзамена/зачета в результирующей оценке итогового контроля								1
	∑=0	∑=0	∑=1	∑=0	∑=0	∑=1	∑=1	∑=1

7. Содержание дисциплины

7.1 Тематический план и трудоемкости аудиторных занятий

Разделы и темы дисциплины	Всего (ак. часов)	Лекционные занятия (ак. часов)	Семинарские занятия (ак. часов)	Практические занятия (ак. часов)	Лабораторные работы (ак. часов)
1	2	3	4	5	6
МОДУЛЬ 1. Оптическая и квантовая информатика					
Раздел 1. Оптическая информатика	12	-	-	12	-
<i>Тема 1.1. Классическая информатика</i>	2	-	-	2	-
<i>Тема 1.2. Классическая теория вычислений</i>	2	-	-	2	-
<i>Тема 1.3. Аксиомы квантовой механики</i>	4	-	-	4	-
<i>Тема 1.4. Запись и воспроизведение оптической информации</i>	2	-	-	2	-
<i>Тема 1.5. Экспериментальная реализация оптических логических элементов</i>	2	-	-	2	-
Раздел 2. Квантовая информатика	14	-	-	14	-
<i>Тема 2.1. Элементы квантовой оптики</i>	2	-	-	2	-
<i>Тема 2.2. Квантовая информация</i>	2	-	-	2	-
<i>Тема 2.3. Квантовые логические операторы</i>	4	-	-	4	-
<i>Тема 2.4. Квантовая криптография.</i>	3	-	-	3	-
<i>Тема 2.5. Квантовая телепортация</i>	3	-	-	3	-
Итого	26			26	

7.2 Содержание разделов и тем дисциплины

МОДУЛЬ 1.

Раздел 1. Оптическая информатика

Тема 1.1 Классическая информатика

История квантовой информации. Проблемы классических вычислений. Задача коммивояжера. Современное понятие информации, мера информации, бит, теорема кодирования, условная и взаимная энтропия, принцип Ландауера ([1], п.1.1.1; [2], Глава1; [5], Введение; [9], п.1.1)

Тема 1.2 Классическая теория вычислений

Элементарные логические операторы. Обратимые операторы. Универсальный набор. Оператор Тоффоли. Запись чисел в регистр. Простейший сумматор. ([2] п.п.2.1-2.4; ([1] п.3.1.2)

Тема 1.3 Аксиомы квантовой механики

Пространство состояний, уравнение Шредингера, собственные состояния и собственные значения, разложения по базису, унитарные преобразования, квантовые измерения, спектральная теорема, матрицы Паули, принцип неопределенности Гейзенберга. ([1], п.п.2.2-2.5)

Тема 1.4 Запись и воспроизведение оптической информации

Формирование темного состояния в трехуровневой системе, электромагнитно индуцированная прозрачность; поляритоны темного состояния. запись оптической информации, хранение и воспроизведение оптической информации, проблемы декогерентности, современные экспериментальные данные ([6], п.п.5.5-5.6); ([12], п.п.3D, 4B)

Тема 1.5 Экспериментальная реализация оптических логических элементов

Контролируемый перенос атомных населенностей в трехуровневой системе, сумматор на основе адиабатического переноса населенностей, экспериментальная реализация универсального обратимого оптического оператора Тоффоли.

Раздел 2. Квантовая информатика

Тема 2.1 Элементы квантовой оптики

Квантование свободного электромагнитного поля. Фоковские состояния. Когерентные и сжатые состояния поля. Гамильтониан взаимодействия атома с полем. ([4], п.п.1.1, 2.2, 2.3, 6.1,6.2)

Тема 2.2 Квантовая информация

Понятие о матрице плотности. Квантовая энтропия, теорема о неклонировании квантовых состояний. Парадокс ЭПР, функции Белла, частично перепутанное состояние ([2] п.п. 4.1, 4.2, 4.7, 4.8, 4.10)

Тема 2.3 Квантовые логические операторы

Квантовые биты. Квантовый параллелизм, алгоритм Дойча. Квантовые алгоритмы, универсальные квантовые элементы, конечный набор универсальных операций, модель квантовых схем вычислений ([1] п.п. 1.2, 1.4, 4.1, 4.5, 4.6)

Тема 2.4 Квантовая криптография

Кодирование информации. Интерферометр Маха-Цандера. Криптография с закрытым ключом. Криптография с закрытым ключом, одноразовый блокнот. Криптография с открытым ключом. Квантовое распределение ключей и его безопасность. Современные достижения квантовой криптографии. ([1] п. 12.6; [3] п.п. 2.2, 2.6; [7] п. 4)

Тема 2.5 Квантовая телепортация

Протокол квантовой телепортации. Источники перепутанных фотонов. Эксперименты по квантовой телепортации. Обмен перепутыванием. Квантовый телефонный коммутатор. ([3] п.п. 3.4-3.8; [7] п. 3)

7.3 Вопросы

1. Современное понятие информации, мера информации, бит информации.
2. Условная и взаимная энтропия, принцип Ландауэра.
3. Элементарные логические операторы. Универсальный набор.
4. Оператор Тоффли.
5. Простейший сумматор.
6. Формирование темного состояния в трехуровневой системе.
7. Запись оптической информации, хранение и воспроизведение оптической информации.
8. Проблемы декогерентности.
9. Квантование свободного электромагнитного поля. Фоковские состояния. Когерентные и сжатые состояния поля.
10. Функции Белла.
11. Квантовая энтропия.
12. Парадокс ЭПР, частично перепутанное состояние.
13. Теорема о неклонировании квантовых состояний.
14. Квантовые биты.
15. Квантовый параллелизм.
16. Алгоритм Дойча.
17. Квантовые алгоритмы, универсальные квантовые элементы.
18. Конечный набор универсальных операций, модель квантовых схем вычислений.
19. Кодирование информации. Интерферометр Маха-Цандера.
20. Квантовое распределение ключей и его безопасность.
21. Современные достижения квантовой криптографии.
22. Протокол квантовой телепортации. Эксперименты по квантовой телепортации.

8. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

8.1. Рекомендуемая литература

а) Основная литература

1. М.А.Нилсен, И.Л.Чанг, Квантовые вычисления и квантовая информация, М.:Мир,2006
2. В.Н. Горбачев, А.И.Жилиба, «Физические основы современных информационных процессов», Санкт-Петербург, 2001.
3. Д.Баумейстер, А.Экерт, А.Цайлингер «Физика квантовой информации» М.: Постмаркет,2002
4. М.О.Скалли, М.С.Зубайри, «Квантовая оптика», М.:Физматлит, 2006
5. Тер-Микаелян М.Л., Простейшие атомные системы в резонансных лазерных полях, УФН, 167, в.12, 1997
6. Валиев К.А, Кокин А.А., « Квантовый компьютер: надежды и реальность», Ижевск, 2001.

б) Дополнительная литература

7. С.Я.Килин, «Квантовая информация», УФН, 169, 507, 1999.
8. Р.Фейман, «Лекции по физике», т.9, Квантовая физика, М: Мир,1978.
9. Дж.Прескилл, «Квантовая информация и квантовые вычисления», Москва-Ижевск,2008
10. С.А.Чивилихин, «Квантовая информатика» Санкт-Петербург, 2009
11. К.Коэн-Таннуджи, Б.Диу, Ф.Лалоз, «Квантовая механика», Екатеринбург, 2000
12. M.Fleischhauer, A.Imamoglu, J.Marangos, “Electromagnetically induced transparency: Optics in coherent media”, Reviews of Modern Phys.,v.77, p.633, 2005

8.2. Программные средства освоения дисциплины

MS, POWERPOINT

8.3. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Компьютер, проектор. Электронные файлы основной и дополнительной литературы