

ГОУ ВПО РОССИЙСКО-АРМЯНСКИЙ (СЛАВЯНСКИЙ) УНИВЕРСИТЕТ

Составлен в соответствии с
государственными требованиями к минимуму
содержания и уровню подготовки
выпускников по направлению 11.03.04
Электроника и нанoeлектроника и
Положением «Об УМКД РАУ».

УТВЕРЖДАЮ:



Инженерно-физический институт

Кафедра: Общей физики и квантовых наноструктур

Автор(ы): к.ф.-м.н., Э. А. Газазян

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС

Дисциплина: Б1.В.12 «Структуры данных и алгоритмы (Python)»

Направление: 11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника»

Профиль: Квантовая информатика

ЕРЕВАН

1. Аннотация

На этом курсе будем обсуждать взаимосвязь между структурами данных и алгоритмами в контексте квантовой физики, что предоставляет студентам уникальную возможность понять, как принципы квантовой физики могут быть применены для решения сложных вычислительных задач. В квантовой физике изучается поведение частиц на квантовом уровне с использованием квантовой механики, в отличие от классической физики. Современные компьютеры позволяют осуществлять квантовые вычисления, что открывает новые перспективы для решения сложных задач и оптимизации алгоритмов.

В этом модуле студенты познакомятся с основными понятиями квантовой физики и ее отличиями от классической физики. Особое внимание уделяется квантовым битам (кьюбитам) и квантовым регистрам, специальным структурам данных для квантовых вычислений. Также будут изучены основные алгоритмы квантовых вычислений, такие как алгоритм Шора для факторизации больших чисел и алгоритм Гровера для поиска в неупорядоченных базах данных.

Студенты также получают представление о том, как квантовые вычисления отличаются от классических и какие у них преимущества и ограничения. Они смогут изучить примеры реальных квантовых алгоритмов, используемых в современных исследованиях и технологиях. Кроме того, модуль предоставит студентам понимание важности структур данных в квантовых вычислениях, так как эффективность квантовых алгоритмов часто зависит от способности представления и обработки данных на квантовом уровне.

2. Взаимосвязь с другими дисциплинами специальности:

Квантовая информатика, Квантовое программирование (QISKET), Машинное обучение, Программирование в физике, Функциональное программирование (Phyton & Wolfram).

3. Требования к исходным уровням знаний и умений студентов

Знать:

Основы программирования, механика.

Уметь:

Программировать на любом текстовом редакторе

Владеть:

Основами информатики. Стандартные языки программирования.

4. Цель и задачи дисциплины

Цель и задачи дисциплины "Структуры данных и алгоритмы" в квантовой физике состоит в том, чтобы предоставить студентам углубленное понимание взаимосвязи между структурами данных, алгоритмами и квантовой физикой, а также обучить их применять квантовые вычисления для решения сложных проблем.

5. Требования к уровню освоения содержания дисциплины

В результате изучения дисциплины студент должен:

- **Знать:** Основные принципы квантовой физики и ее отличия от классической физики. Также студент должен обладать знаниями о квантовых битах (Qbit) и

квантовых регистрах, а также понимать основные квантовые алгоритмы, их применения и эффективность в решении сложных задач.

- **Уметь:** применять принципы квантовой физики для разработки и реализации квантовых алгоритмов, а также оценивать их эффективность в решении сложных вычислительных задач.
- **Владеть:** концепциями и особенностями структур данных, специально разработанными для квантовых вычислений, таких как квантовые биты и квантовые регистры.

6. Трудоемкости дисциплины и видов учебной работы по учебному плану

Виды учебной работы	Всего (ак. час)
<i>Общая трудоемкость изучения дисциплины, в т.ч.:</i>	252/7 кр.
1. Аудиторные занятия, в т. ч.:	68
1.1. Лекционные занятия	34
1.2. Семинарские занятия	-
1.3. Практические занятия	34
1.4. Лабораторные работы	-
2. Самостоятельная работа, в т. ч.:	148
2.1. Контактная самостоятельная работа	-
2.2. Бесконтактная самостоятельная работа	148
<i>Итоговый контроль</i>	<i>Экзамен</i>
	36

7. 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	0,5		
Тест								
Курсовая работа								
Лабораторные работы								
Письменные домашние задания	0	0	1					
Эссе								
Семинар	0	0	0					
Веса результирующих оценок текущих контролей в итоговых оценках соответствующих промежуточных контролей				0	0	0,5		
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								1
Вес оценки экзамена/зачета в результирующей оценке итогового контроля								0
	$\Sigma=0$	$\Sigma=0$	$\Sigma=1$	$\Sigma=0$	$\Sigma=0$	$\Sigma=1$	$\Sigma=1$	$\Sigma=1$

8. Содержание дисциплины

8.1 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
Раздел 1. Начало квантовой механики	34	18		16	
<i>Введение</i>		1			
<i>Тема 1. Начало Кв. мех.</i>		2		3	
<i>Тема 2. Сфера Блоха</i>		3		3	
<i>Тема 3. Квантовая запутанность и суперпозиция</i>		4		2	
<i>Тема 4. Эксперимент Штерна-Герлаха</i>		4		2	
<i>Тема 5. Quantum gate (theory)</i>		1		3	
<i>Тема 6. Квантовое туннелирование</i>		3		3	
Раздел 2. Структуры данных и алгоритмы	34	16		18	
<i>Тема 1. Алгоритм Гровера</i>		3		3	
<i>Тема 2. Алгоритм Шора</i>		4		3	
<i>Тема 3. Квантовая криптография</i>		3		3	
<i>Тема 4. Самостоятельная работа</i>		1		3	
<i>Тема 5. Quantum Gate (Modeling)</i>		3		3	
<i>Тема 6. Quantum Gate (Programming)</i>		3		3	
ИТОГО	68	34	-	34	-

8.2 Содержание разделов и тем дисциплины

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ФИЗИКА

МОДУЛЬ 1

Раздел 1. Начало квантовой механики

Введение

Знакомства с “Структуры данных и алгоритмы”. Основные принципы.

Тема 1. Начало квантовой механики

"Начало квантовой механики" – это важный курс в области физики, который изучает основы квантовой теории. Он предназначен для студентов, желающих понять микромир и поведение частиц на атомарном уровне. Студенты научатся работать с математическими инструментами, такими как векторные пространства, операторы и уравнения Шредингера. Они изучат основные принципы квантовой механики, включая принцип суперпозиции, измерения и свойства квантовых систем. Курс также затронет основные темы, такие как атомы, молекулы и квантовые явления в кристаллах.

Тема 2. Сфера Блоха

Сфера Блоха – это графическое представление для описания квантового состояния электрона в кристаллических материалах, таких как полупроводники. Это понятие играет важную роль в теории твердого тела и квантовой механике электронов в кристаллических решетках. Сфера Блоха представляет собой геометрическую сферу, где каждая точка на поверхности сферы соответствует одному

определенному квантовому состоянию электрона в кристаллической или атомной структуре. Электроны в кристаллической или атомной структуре могут находиться в различных состояниях, которые характеризуются своими квантовыми числами (например, квантовыми числами спина и орбитального момента). Эти состояния формируют энергетические зоны в структуре атома. В сфере Блоха ключевым является понятие квазиимпульса, который представляет собой волновой вектор электрона в кристаллической структуре. Он может принимать различные значения в пределах определенных зон энергии, определяя разрешенные энергетические состояния электрона. Используя сферу Блоха, студенты могут наглядно представить квантовые состояния электрона. Это позволяет более глубоко изучать электронные свойства твердых материалов и их поведение в различных условиях.

Тема 3. Квантовая запутанность и суперпозиция:

Квантовая суперпозиция означает, что квантовый кубит может существовать одновременно в нескольких состояниях. В отличие от классических битов, которые могут быть только 0 или 1, квантовые кубиты могут находиться в суперпозиции состояний 0 и 1 с определенными вероятностями. Это основополагающее свойство квантовых систем и играет важную роль в квантовых алгоритмах, позволяя обрабатывать информацию более эффективно.

Квантовая запутанность (Quantum Entanglement) — это квантовое явление, при котором две или более квантовые частицы становятся так тесно связанными, что состояние одной частицы немедленно определяет состояние другой, независимо от их расстояния.

Тема 4. Эксперимент Штерна-Герлаха

Этот эксперимент стал первым доказательством квантовых свойств момента импульса и спинов частиц, а также подтвердил идеи о дискретных квантовых состояниях и квантовых числах. Он играл ключевую роль в формировании квантовой механики и стал одним из фундаментальных экспериментов, которые изменили наше понимание микромира.

Тема 5. Quantum gate (theory)

Квантовые ворота — это элементы квантовых вычислительных систем, аналогичные классическим логическим гейтам, используемым в цифровых компьютерах. Однако, в отличие от классических гейтов, квантовые ворота оперируют с кубитами (квантовыми битами), которые могут находиться в суперпозиции состояний благодаря явлениям квантовой механики. Квантовые ворота являются фундаментальными строительными блоками квантовых компьютеров и квантовых вычислительных алгоритмов. Они представляют собой ключевую часть квантовой обработки информации и играют решающую роль в развитии квантовых технологий, которые могут решать определенные задачи существенно быстрее, чем классические компьютеры.

Тема 6. Квантовое туннелирование

В классической механике частица должна обладать достаточной энергией, чтобы преодолеть барьер. В квантовой механике же, из-за принципа неопределенности Гейзенберга, у частицы есть определенная вероятность проникнуть через барьер, даже если её энергия ниже высоты барьера. Квантовое туннелирование — это квантовое явление, когда частица, обладающая волновыми свойствами, проникает через потенциальный барьер, который классически было бы невозможно преодолеть.

Раздел 2. Структуры данных и алгоритмы

Тема 1. Алгоритм Гровера

Алгоритм Гровера использует квантовые ворота для усиления амплитуды искомого элемента и последующего измерения, что приводит к увеличению вероятности его обнаружения. Этот алгоритм является одним из первых и наиболее известных квантовых алгоритмов, и он демонстрирует значительное преимущество квантовой обработки информации в сравнении с классическими методами поиска.

Тема 2. Алгоритм Шора

Алгоритм Шора использует квантовые ворота и принципы квантовой механики для разложения большого числа на простые множители. Этот алгоритм имеет огромное значение для криптографии, так как многие современные криптографические системы базируются на сложности факторизации больших чисел. Его разработка подчеркивает потенциальную силу квантовых вычислений и возможность решения сложных задач, которые выходят за рамки возможностей классических компьютеров.

Тема 3. квантовой криптографии

Один из наиболее известных протоколов квантовой криптографии — это квантовый ключевой распределитель (Quantum Key Distribution, QKD). В QKD две стороны, обычно называемые Алиса и Боб, создают общий секретный ключ с помощью квантовой коммуникации. Квантовые состояния, передаваемые между Алисой и Бобом, используются для генерации случайных битов, которые затем становятся секретным ключом для шифрования и дешифрования сообщений.

Тема 4. Самостоятельная работа

Проводить обзор исследований и экспериментов, которые помогли сформировать квантовую механику, такие как эксперименты Штерна-Герлаха, эксперимент двойной щели и другие важные эксперименты.

Тема 5. Quantum Gate (modeling)

Некоторые из основных типов квантовых ворот:

Квантовые ворота Уолша-Адамара (Hadamard gate): Применение данного ворота к кубиту приводит к созданию суперпозиции состояний 0 и 1, что является важной операцией во многих квантовых алгоритмах.

Квантовые ворота Паули (Pauli gates): Включают X, Y и Z-ворота. Они осуществляют повороты состояния кубита вокруг осей X, Y и Z соответственно.

CNOT-ворота (Controlled-NOT gate): Этот ворот контролирует состояние одного кубита и, в зависимости от состояния второго кубита, применяет операцию NOT к целевому кубиту.

Toffoli-ворота, известен как CCNOT-ворота (Controlled-Controlled-NOT gate). Это трехкубитный ворот, который применяет операцию NOT к третьему кубиту в зависимости от состояний первых двух кубитов.

Тема 6. Quantum Gate (Programming)

Знакомства с IBM quantum, имплементация: NOT Gate, CNOT gate, H-Gate, ...

8.3 Вопросы для экзамена

1. Toffoli-ворота
2. CNOT
3. H-Gate
4. Квантовые ворота Паули
5. **квантовой криптографии**
6. **Алгоритм Шора**
7. **Алгоритм Гровера**
8. **Фредкин** -ворота
9. **Алгоритм Шора**
10. **Сфера Блоха**

11. Two level system

12. Уравнения Шредингера

9.1. Рекомендуемая литература

а) Основная литература

1. Rubin H. Landau, Manuel Jose Paez, Christian C. Bordeianu, “Computational Physics”, Problem Solving with Computers, 2007
2. John Patrick Flynt Danny Kodicek, Mathematics and Physics for Programmers Second Edition, 2012
3. Konstantinos N. Anagnostopoulos, COMPUTATIONAL PHYSICS, 2016
4. <https://quantum-computing.ibm.com/>

9.2. Программные средства освоения дисциплины

Python, VS Code, Google Colab

9.3. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Компьютеры, проектор.