

Утверждено решением Ученого Совета
физического факультета МГУ

От 2021г.

Декан физического факультета МГУ

профессор Н.Н.Сысоев

Государственный экзамен по физике
Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова
Магистерская программа
«Квантовые вычисления»

Билет №1

1. Геометрическая и математическая интерпретации следовой метрики.
2. Алгоритм Гровера для поиска в неструктурированной базе данных.
3. Связь статистики фотоотчетов со статистикой фотонов при квантовом и полуклассическом подходах в теории детектирования оптических полей.

Билет №2

1. Составные квантовые системы. Тензорное произведение пространств состояний. Матрица плотности. Структура множества матриц плотности. Разложение Шмидта. Очищение квантового состояния (матрицы плотности).
2. Взаимодействие двухуровневой системы с квантованным электромагнитным полем. Спонтанное излучение. Формула Вайскопфа-Вигнера. Оптические уравнения Блоха
3. Гейтовая модель квантовых вычислений – одно- и двухкубитные вентили, условные вентили, описание измерений.

Билет №3

1. Универсальные наборы квантовых вентилей.
2. Приготовление перепутанных состояний света в процессе спонтанного параметрического рассеяния света: перепутывание по поляризации, пространству и по частоте-времени.
3. Интерпретация следового расстояния и фиделити, связь с вероятностью угадывания.

Билет №4

1. Измерение пары однофотонных кубитов в базисе белловских состояний. Протокол обмена перепутанностью. Условное приготовление перепутанных состояний однофотонных кубитов. Условная реализация двухкубитных вентилей на оптической платформе.
2. Томография квантовых состояний с использованием адаптивной стратегии. Томография квантовых состояний с использованием машинного обучения.
3. Термодинамика лазерного охлаждения. Уравнение Фоккера-Планка для диффузии импульса, его стационарное решение, эффективная температура.

Билет №5

1. Двухмодовый однофотонный кубит: поляризационное, пространственное и временное кодирование. Приготовление, преобразование и измерение.

2. Квантовое преобразование Фурье и алгоритм оценки фазы.
3. Оптическая дипольная ловушка. Форма потенциала и световые сдвиги для двухуровневого атома, скорость рассеяния фотонов. Потенциал дипольной ловушки для многоуровневого атома на примере 87Rb , зависимость от поляризации.

Билет № 6

1. Критерии сепарабельности. Состояние Вернера. Примеры.
2. Квантовые коды коррекции ошибок. Девятикубитный код Шора.
3. Функции Вигнера, Хусими и Глаубера-Судоршана, их характеристические функции, связь между ними.

Билет №7

1. Квантование электромагнитного поля в вакууме: разложение по модам, обобщенные координаты (квадратуры), операторы рождения и уничтожения фотонов. Физический смысл квадратур поля для бегущей и для стоячей волны. Способ их измерения. Соотношение неопределенностей для квадратур.
2. Физические модели квантовых вычислений: линейно-оптические квантовые вычисления.
3. Свойства энтропии фон Неймана квантовой системы и составных квантовых систем. Фундаментальная граница информации Холево для квантового ансамбля.

Билет №8

1. Физические модели квантовых вычислений: холодные нейтральные атомы.
2. Супероператор – вполне положительное отображение матриц плотности. Представление Крауса. Представление супероператора через совместную эволюцию составной квантовой системы. Связь представления Крауса с POVM.
3. Базис фоковских состояний света. Базис квадратурных состояний света. Когерентные состояния света.

Билет № 9

1. Квантовое описание светоделителя: преобразование фоковских и когерентных состояний. Преобразование функций распределения по когерентным состояниям. Описание потерь. Изменение функций распределения по когерентным состояниям под действием потерь, Гамильтониан светоделителя. Реализация операторов рождения, уничтожения и сдвига с помощью светоделителя.
2. Физические модели квантовых вычислений: ионы в ловушках.
3. Примеры источников неклассического света.

Билет № 10

1. Основные информационные протоколы – квантовая телепортация, сверхплотное кодирование, квантовое распределение ключей.
2. Квантовые вычисления, устойчивые к ошибкам: основные понятия, пороговая теорема.
3. Обобщенные неортогональные измерения, положительно-значные операторные меры (POVM). Измерения с определенным исходом. Связь неортогональных измерений с составными системами.

Билет № 11

1. Базис фоковских состояний. Понятие неразличимости. Эффект Хонга-Оу-Мандела. N-портовый интерферометр. Имманант, перманент и детерминант матрицы. Преобразование входного фоковского состояния линейным интерферометром, связь коэффициентов выходного состояния в фоковском базисе и перманентов матрицы. Постселекция выходных состояний.
2. Протоколы квантовой криптографии. BB84, E91.
3. Методы симуляции квантовых алгоритмов.

Билет №12

1. Основные свойства ридберговских атомов. Диполь-дипольное взаимодействие ридберговских атомов. Ридберговская блокада.
2. Функции Вигнера, Хусими и Глаубера-Судоршана, их характеристические функции, связь между ними.
3. Когерентные состояния, основные свойства. Преобразование когерентных состояний на линейных оптических элементах (светоделитель, канал с потерями, интерферометр Маха-Цандера, детектирование).

Билет № 13

1. Энтропийные соотношения неопределенности
2. Кластерная модель линейно-оптических квантовых вычислений.
3. Теорема о запрете клонирования (no cloning). Протокол квантовой телепортации. Телепортация в системе тождественных частиц.

Билет № 14

1. Задача boson sampling.

2. Парадокс ЭПР и неравенства Белла.
3. Модель источника фотонов. Современные источники фотонов. Примеры. Принципы работы.

Билет №15

1. Модель детектора фотонов. Учет конечной квантовой эффективности. Учет временных характеристик детектора. Детектор с разрешением по числу фотонов. Типы современных детекторов одиночных фотонов.
2. Метод максимального правдоподобия и информационная матрица Фишера. Неравенство Рао-Крамера.
3. Когерентные состояния, основные свойства. Преобразование когерентных состояний на линейных оптических элементах (светоделитель, канал с потерями, интерферометр Маха-Цандера, детектирование).

Билет № 16

1. Меры близости квантовых состояний. Следовое расстояние, свойства. Фиделити, свойства. Связь фиделити и следового расстояния.
2. Классы сложности BQP и BPP. Квантовый алгоритм решения СЛАУ. Ограничения использования. Методы оптимизации работы квантового алгоритма решения СЛАУ.
3. Приготовление перепутанных состояний света в процессе спонтанного параметрического рассеяния света: перепутывание по поляризации, пространству и по частоте-времени.

Билет № 17

1. Классы сложности BQP и BPP. Классические случайные блуждания. Проблема необратимости и ее решение, переход к квантовому случаю.
2. Квантование электромагнитного поля в вакууме: разложение по модам, обобщенные координаты (квадратуры), операторы рождения и уничтожения фотонов. Физический смысл квадратур поля для бегущей и для стоячей волны. Способ их измерения. Соотношение неопределенностей для квадратур.
3. Точность восстановления квантовых состояний. Универсальное распределение для точности восстановления квантовых состояний.

Билет № 18

1. Способы визуализации квантовых состояний света. Измерение квадратурных наблюдаемых в условиях конечной квантовой эффективности детекторов фотонов. Дробное преобразование Фурье.

2. Спонтанное параметрическое рассеяние света. Пространственный спектр СПР. Частотно-временной спектр СПР

3. Основные понятия классической теории информации. Энтропия Шеннона, условная энтропия, взаимная информация, свойства. Понятие типичных последовательностей, теорема об асимптотической равномерности.