

Утверждено решением Ученого Совета
физического факультета МГУ
От 25 марта 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 fotoотсчетов 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 ^{87}Rb , 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-Манделя. 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 (светофильтр, 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 (светофильтр, 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 равнораспределенности.

