ОТЗЫВ

председателя диссертационного совета Голубевой Татьяны Юрьевны на диссертацию **Масалаевой Натальи Игоревны** на тему «**Неклассические состояния света и ансамбля холодных атомов: получение и использование для квантовых вычислений и симуляций**», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.6. Оптика.

Изучение неклассических состояний света и вещества является активно развивающимся направлением современных исследований. Интерес к таким состояниям вызван возможностям и перспективами, которые они открывают в различных областях науки, включая квантовую коммуникацию и квантовые вычисления. Перепутанные состояний света и вещества, полученные с помощью вынужденного комбинационного рассеяния света, лежат в основе широко известного DLCZ-протокола, позволяющего организовать линию квантовой передачи данных. Помещая атомный ансамбль в оптический резонатор, можно добиться более сильного взаимодействия между светом и веществом, что существенно влияет на эффективность всего процесса. Кроме этого, такие системы могут выступать в качестве квантовых симуляторов, где в роли переносчика взаимодействия между частицами выступает поле моды резонатора. Применение негауссовых состояний света в задачах квантовых вычислений и информации является необходимым элементом протокола квантовой коррекции ошибок в конечном счете влияет на масштабируемостью системы. По этой причине представленная диссертационная работа Масалаевой Н.И., посвященная проблемам получения и применения неклассических состояний, несомненно, является **актуальной**.

Среди наиболее интересных и значимых новых результатов, полученных в работе, отмечу следующие:

1. В задаче генерации перепутанного состояния между атомным ансамблем и модой резонатора найдено оптимальное соотношение между длительностью сгенерированного светового сигнала и временем жизни поля внутри резонатора для минимизации негативного влияния сопутствующих нелинейных эффектов.
   Следует отметить, что эта задача решена без использования стандартного приближения плохого резонатора, что позволяет генерировать более короткие импульсы и увеличить скорость работы всего протокола.

2. Предложена схема, позволяющая симулировать различные дальнодействующие спиновые гамильтонианы, за счет взаимодействий, индуцированных полем моды резонатора.

3. Предложен новый метод генерации квантовых состояний света с негауссовой статистикой, основанный на процедуре перепутывания с

последующим измерением. Такой метод позволяет генерировать не только хорошо известные состояния типа кота Шредингера, но и более широкий класс негауссовых состояний с несвязной конфигурацией фазового портрета.

Приведена оценка возникающих деформаций в процессе получения негауссовых состояний света типа состояний кота Шредингера с использованием негауссового ресурсного состояния. Найдены оптимальные значения параметров схемы, позволяющие избежать нежелательных деформаций.

Результаты, полученные в диссертации, **надежно обоснованы**, их **достоверность** обусловлена корректным применением адекватных методов современной теоретической и математической физики. Результаты работы неоднократно апробированы на представительных международных и российских конференциях, опубликованы в рецензируемых высокорейтинговых научных журналах.

Научная и практическая ценность работы состоит в том, что в диссертации предлагаются новые теоретические способы получения и использования неклассических состояний света и вещества, а также обсуждаются реальные экспериментальные условия, которые позволяют существенно повысить эффективность рассматриваемых процессов.

Диссертация не лишена недостатков. В качестве замечаний отмечу следующие:

1. Обсуждение в разделе 2.5 свойств перепутывания между вытекающим световым полем и коллективным спином атомного ансамбля, заканчивается на уровне операторных величин, формулированием критерия Дуана. За рамками обсуждения остается вопрос, какой эксперимент для выявления этого перепутывания предполагается. Создается впечатление незавершенности обсуждения, т.к. вопрос о наблюдении чрезвычайно важен в таких задачах.
2. После выражения (2.64) делается предположение о фазе когерентности атомного ансамбля. В тексте данное предположение ничем не подкреплено и не обосновывается. Хотелось бы понимать, что физически стоит за этим предположением.
3. В конце раздела 2.6 сформулировано утверждение, что для обсуждаемых сжатых состояний «возможно добиться необходимой степени сжатия … за счет мощности управляющего поля». Очевидно, что существует ограничение на мощность управляющего поля, при которой рассматриваемые приближения справедливы. Было бы полезно привести оценки максимального достижимого сжатия и указать какие факторы (физические процессы) являются существенно лимитирующими для получения высокого сжатия.

4. Рассуждение, приведенное в разделе 4.2 позволяет сделать вывод, что чем меньшую величину нелинейности мы используем, тем большее расстояние между копиями входного состояния можем получить. В работе не проанализированы предельные случаи низких значений коэффициента кубической нелинейности. Также желательно было бы дать пояснения и результата, представленного на рис. 4.3, где с уменьшением нелинейности нарастает значение фазы тета. Опять же встает вопрос о переходе к предельно низким значениям коэффициента кубической нелинейности.
5. Метод приготовления негауссовых состояний, предлагаемый в главе 4, является вероятностным. Поэтому одной из важных характеристик процесса создания тех или иных состояний этим методом является вероятность реализации измерения. К сожалению, оценки вероятности полностью отсутствуют в работе.

Отмеченные замечания не снижают научной ценности и значимости диссертации.

На основании вышеизложенного, я считаю, что диссертация Масалаевой Натальи Игоревны на тему: «Неклассические состояния света и ансамбля холодных атомов: получение и использование для квантовых вычислений и симуляций» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 19.11.2021 № 11181/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», соискатель Масалаева Наталья Игоревна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.6. Оптика. Пункты 9 и 11 указанного Порядка диссертантом не нарушены.

Председатель диссертационного совета

д. ф.-м. н., доцент, профессор Голубева Татьяна Юрьевна

25 марта 2022 г.