

УДК 535.8

СУПЕРПОЗИЦИОННЫЕ СОСТОЯНИЯ СВЕТЛЫХ СОЛИТОНОВ ДЛЯ КВАНТОВОЙ МЕТРОЛОГИИ В ПРИСУТСТВИИ ПОТЕРЬ

Царёв Д.В. (Университет ИТМО), Нго Т.В. (Университет ИТМО)

Научный руководитель – д.ф.-м.н. Алоджанц А.П.
(Университет ИТМО)

Работа посвящена изучению проблемы диссипации в системе двух связанных светлых солитонов Бозе-Эйнштейновского конденсата (БЭК). Показано, что такие солитоны могут формировать суперпозицию запутанных фоковских состояний, близкую к $N00N$ -состоянию, однако более устойчивую к потерям нескольких частиц. Полученные результаты открывают широкие возможности для квантовой метрологии в неидеальных системах, допускающих потери.

Введение. Квантовая метрология – наука об измерении физических параметров с максимальной точностью, ограниченной лишь квантовыми флуктуациями, – остается в фокусе внимания научного сообщества, как в России, так и за рубежом. Стандартный квантовый предел, ограничивающий точность традиционной интерферометрии с когерентными источниками значением $\Delta\varphi \geq N^{-1/2}$ (N – число частиц, участвующих в измерении) может быть преодолен с помощью существенно неклассических состояний, таких как сжатые или запутанные. Особое место среди них занимает так называемое $N00N$ -состояние, поскольку оно позволяет на любом двумодовом устройстве (интерферометре, литографе, гироскопе и др.) достичь предел Гейзенберга $\Delta\varphi = N^{-1}$ – максимальную точность измерения линейного фазового параметра. Проблема заключается в получении $N00N$ -состояний с числом частиц $N > 5$, а также в чрезвычайной их чувствительности к потерям: при потере единственной частицы $N00N$ -состояние коллапсирует и становится непригодным для метрологии. Ранее нами был предложен способ получения мезоскопических ($N \leq 10^3$) $N00N$ -состояний на основе связанных светлых солитонов БЭК. Строго говоря, данные состояния являются суперпозицией запутанных фоковских состояний с сильно выраженной $N00N$ -компонентой. Данное обстоятельство способствует большей устойчивости данных состояний к диссипации, позволяя избежать полного коллапса при потере нескольких частиц. Проблема диссипации была изучена отдельно, методом фиктивных делителей пучков. Также была оценена точность измерения фазового сдвига в плечах интерферометра φ через оценку квантовой информации Фишера.

Основная часть. Объектом изучения является W -потенциал, сформированный двумя асимметричными ловушками, в которые помещен Бозе-конденсат притягивающихся частиц, после чего в ловушках формируются два туннельно-связанных солитона. Ранее была разработана квантовая модель такой системы, названной Солитонными Джозефсоновскими контактами. Был продемонстрирован квантовый фазовый переход от «сверхтекучего» состояния к состоянию «изолятора Мотта», характеризующегося формированием $N00N$ -состояния солитонов. Однако, вблизи фазового перехода это состояние содержит небольшие компоненты запутанных фоковских состояний вида $|N-1,1\rangle + |1,N-1\rangle$ и подобных. Это обстоятельство должно обеспечить дополнительную устойчивость состояния к потерям нескольких частиц, тогда как близость состояния к $N00N$ обеспечивает точность квантовой метрологии на уровне предела Гейзенберга, что было показано в наших предыдущих работах.

Для изучения проблемы потерь частиц использовался метод фиктивных делителей пучков. Он заключается в добавлении в интерферометрическую схему двух фиктивных светоделителей, призванных моделировать два процесса: с одной стороны, через них небольшое число частиц покидает систему, с другой стороны, через открытый порт светоделителя в систему подмешиваются вакуумные шумы, что ухудшает точность

метрологии. Были получены выражения для основного состояния солитонов в зависимости от прозрачности делителей пучков. Показано, что с ростом потерь запутанные компоненты состояния стремительно исчезают, а сами $N00N$ -компоненты испытывают уширение. Были получены оценки квантовой информации Фишера для таких состояний. Показано, что в присутствии потерь частиц состояние солитонов вблизи фазового перехода обеспечивает лучшую точность интерферометрии, чем $N00N$ -состояния, позволяя преодолеть стандартный квантовый предел.

Выводы. Работа является продолжением исследования запутанных состояний светлых квантовых солитонов. Разработанная ранее квантовая модель была дополнена методом фиктивных делителей пучков для учёта небольших потерь частиц. Было показано что запутанные мезоскопические состояния светлых солитонов не только позволяют достичь предел Гейзенберга в рамках линейной квантовой метрологии и преодолеть его методами нелинейной метрологии. Они также оказались более устойчивыми к потерям нескольких частиц, что открывает большие перспективы для их экспериментальной реализации.

Царёв Д.В.

Подпись

Алоджанц А.П.

Подпись