

**МЕЗОСКОПИЧЕСКИЕ КВАНТОВЫЕ СУПЕРПОЗИЦИОННЫЕ СОСТОЯНИЯ
СОЛИТОНОВ КОНДЕНСАТА БОЗЕ-ЭЙНШТЕЙНА
ДЛЯ КВАНТОВОЙ МЕТРОЛОГИИ**

Царёв Д.В.¹

Научный руководитель – д.ф.м.н. Алоджанц А.П.¹

¹Университет ИТМО, факультет лазерной фотоники и оптоэлектроники

В работе изучается формирование и свойства запутанных суперпозиционных состояний светлых материально-волновых солитонов Бозе-Эйнштейновского конденсата (БЭК) в W -потенциале. Разработана квантовая модель *ab initio*; с помощью т.н. метода мнимого времени показан переход основного состояния солитонов БЭК от атомно-когерентного к запутанному типу состояния Кота Шрёдингера. Данный результат имеет важное значение для квантовой метрологии.

Ключевые слова: Бозе-Эйнштейновский конденсат, солитоны, атомно-когерентное состояние, запутанность, квантовая метрология.

Введение. В последние годы стремительно растет интерес к квантовой метрологии – науке об измерении физических величин с максимально возможной точностью, ограниченной принципом неопределенности. Точность интерферометрии с традиционным когерентным состоянием на входе ограничена стандартным квантовым пределом $\propto N^{-1/2}$, где N – число частиц, участвующих в измерении. Было показано, что с помощью запутанных состояний этот предел точности можно преодолеть и достичь предел Гейзенберга, $\propto N^{-1}$, а также преодолеть этот предел методами нелинейной квантовой метрологии. В последних наших работах для решения данных задач рассматривались туннельно-связанные квантовые материально-волновые солитоны БЭК. Было показано формирование запутанных состояний и их использование в квантовой метрологии. Однако, вариационный подход, который при этом использовался, является приближенным и не позволяет изучить многие квантовые эффекты. Развитием этих работ является разработка квантовой модели *ab initio*, т.е. без использования существенных аппроксимаций. В этом случае возможно изучение энергетических свойств солитонных состояний, а также рассмотрение эффектов декогеренции и диссипации, что невозможно в рамках вариационного подхода.

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. Моделирование таких солитонов начинается с квантования эффективного Гамильтониана, полученного ранее. Процедура квантования заключается в замене населенностей ловушек $N_{a,b}$ операторами $\hat{N}_a = \hat{a}^+ \hat{a}$ и $\hat{N}_b = \hat{b}^+ \hat{b}$ и последующими преобразованиями всех переменных величин Гамильтониана. При этом бозонные операторы уничтожения \hat{a} и \hat{b} , а также их эрмитово-сопряженные выбираются таким образом, чтобы максимально упростить вид квантового Гамильтониана.

Далее с помощью уравнения Шрёдингера находится основное состояние конденсата. При этом удобно воспользоваться т.н. методом мнимого времени. Этот численный метод заключается в замене времени в уравнении Шрёдингера на $\tau = it$, и последующего устремления этой величины в бесконечность. Состояние системы в начальный момент времени можно описать в виде суперпозиции собственных состояний ее Гамильтониана. Тогда в пределе $\tau \rightarrow \infty$ амплитуды собственных состояний убывают, причем тем быстрее, чем больше энергия этих состояний. Если при этом зафиксировать нормировку исходного

состояния, то в пределе $\tau \rightarrow \infty$ любое исходное состояние стремится к основному состоянию системы. Исследование основных состояний системы при различных ее параметрах показало, что в том случае, если туннелирование частиц между ловушками преобладает над притяжением частиц внутри одной ловушки, то основное состояние системы является атомно-когерентным. В противном случае наблюдается запутанное состояние типа Кота Шрёдингера.

Выводы. Данная работа является продолжением исследования запутанных состояний туннельно-связанных солитонов БЭК в W -потенциале. Разработанная квантовая модель продемонстрировала формирование запутанных состояний типа состояний Кота Шрёдингера с большим «размером кота». Данный результат очень важен для квантовой метрологии, поскольку такие состояния позволяют существенно повысить точность прецизионной интерферометрии. Дальнейшие исследования будут посвящены изучению энергетических свойств солитонных состояний, оценке запутанности суперпозиционных состояний солитонов, а также исследованию влияния эффектов декогеренции и диссипации на формирование и устойчивость запутанных состояний солитонов.

Царёв Д.В.

Подпись

Алоджанц А.П.

Подпись