

**ДИНАМИКА СВЯЗАННЫХ СОЛИТОНОВ
КОНДЕНСАТА БОЗЕ-ЭЙНШТЕЙНА
В СИЛЬНО АСИММЕТРИЧНОЙ ЛОВУШКЕ**

Нго В.Т.¹

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

¹Университет ИТМО, факультет лазерной фотоники и оптоэлектроники

В работе исследуется динамика двух связанных солитонов Бозе-Эйнштейновского конденсата (БЭК), помещенного в сильно вытянутую (сигарообразную) ловушку. С помощью вариационного метода были найдены уравнения динамики основных параметров солитонов – разности населенностей и разности фаз. Получены фазовые диаграммы при различных значениях расстояния между солитонами. Выявлены и проанализированы различные режимы динамики связанных солитонов.

Ключевые слова: Бозе-Эйнштейновский конденсат, солитоны, вариационный подход

Введение. С развитием науки и техники возрастают требования к точности измерительных приборов. В этой связи развитие получила квантовая метрология – наука об измерении физических величин с максимально возможной точностью на уровне фундаментальных квантовых ограничений. Кроме того в рамках самой квантовой метрологии растет интерес к светлым материально-волновым солитонам БЭК – устойчивым пространственным структурам, формирующимся вследствие нелинейного взаимодействия притягивающихся частиц. Недавно было показано, что на основе светлых солитонов БЭК возможно формирование запутанных состояний применимых для задач квантовой метрологии. Однако до сих пор исследовались туннельно-связанные солитоны БЭК в W -потенциале. В данной работе предлагается иной подход: два солитона формируются в одной сильно вытянутой ловушке. В этом случае обмен частиц между солитонами носит нелинейный характер и связан с перекрытием волновых функций солитонов. Такой подход позволяет исследовать столкновение и интерференцию солитонов, что может быть в дальнейшем применено в квантовой метрологии и квантовой информации. При этом W -потенциал используется лишь на первом этапе для формирования двух солитонов, после чего он отключается, и солитоны свободно эволюционируют.

Основная часть. Рассмотрим сильно асимметричную ловушку. В ловушке создается W -потенциал, в который помещается идеальный конденсат Бозе-Эйнштейна притягивающихся частиц (например, конденсат ${}^7\text{Li}$). Конденсат в каждом из минимумов W -потенциала описывается уравнением Гросса-Питаевского, имеющим солитонные решения $\Psi_{1,2}$. Эти решения используются далее в качестве вариационного анзаца $\Psi = \Psi_1 + \Psi_2$ с нормировкой на число частиц N . Усредняя Гамильтониан системы при выключенном W -потенциале, можно получить функцию Лагранжа, из которой после подстановки солитонного анзаца и интегрирования по всему пространству получается эффективный Лагранжиан. Далее с помощью уравнения Эйлера-Лагранжа были получены уравнения динамики двух основных параметров солитонов: разности населенностей (амплитуд) солитонов $z = (N_2 - N_1)/(N_2 + N_1)$, где $N_{1,2}$ – населенности солитонов, и разности фаз $\theta = \theta_2 - \theta_1$. На основе данных уравнений были построены фазовые диаграммы $z - \theta$ с целью исследовать различные динамические режимы. При этом основным управляющим параметром является расстояние между солитонами, Δ . Были выявлены три основных режима динамики. Первый режим характеризуется амплитудно-фазовыми осцилляциями, при этом в обмен вовлечены все N частиц солитонов. Второй режим – режим самозахвата, также характеризуется амплитудно-фазовыми осцилляциями, однако при этом z не меняет своего знака. Это означает, что часть частиц не участвует в обмене, оказываясь

«захваченной» одним из солитонов. Наконец, третий режим – режим бегущей фазы, характерен в большей степени предельно большого расстояния между солитонами, когда вследствие слабого обменного взаимодействия между солитонами разность населенностей практически не меняется.

Выводы. Разработка квантовой модели в рамках вариационного подхода и анализ динамических режимов связанных солитонов БЭК в сильно асимметричной ловушке является первым необходимым шагом в исследовании данной системы. Нелинейный характер взаимодействия солитонов, помещенных в одну ловушку, а также возможность их столкновения и интерференции представляют большой интерес. Дальнейшая работа будет связана с изучением формирования запутанных состояний связанных солитонов и разработкой методов их применения в квантовой метрологии и квантовой информации.

Нго Т.В.

Подпись

Алоджанц А.П.

Подпись