

А. ГРУДИНИНА, М. ПОСАЖЕНКОВ, Н. ВОРОНОВА
Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, Москва, Россия

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНСТАНТЫ ТУННЕЛИРОВАНИЯ НА ДЕФЕКТЕ ДЛЯ БОЗЕ-КОНДЕНСАТОВ В ГЕОМЕТРИИ РАЗОРВАННОГО КОЛЬЦА

Работа посвящена оценке константы туннелирования для кольцевых бозе-конденсатов с барьером в рамках формализма энергетического функционала Гросса–Питаевского. Получены аналитические выражения в предельных случаях узкого и широкого барьеров. Для оценки константы туннелирования проводится фитирование численной зависимости значения энергетического функционала от разности фазы на барьере с помощью параметров потенциала вида «стиральной доски».

A. GRUDININA, M. POSAZHENKOV, N. VORONOVA
National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute), Moscow, Russia

TUNNELING CONSTANTS FOR SPLIT RING-SHAPED BOSE CONDENSATES WITH A DEFECT

We estimate the tunneling constants for a ring-shaped Bose condensate depending on barrier geometry, employing the Gross–Pitaevskii energy functional formalism. Analytical limiting cases of thin and wide barriers are studied. The tunneling constants are further obtained from fitting the numerically obtained dependencies of the functional value on the barrier phase difference with the parameters of «washboard-like» potential.

В работе изучается количественная зависимость константы (энергии) туннелирования квазиодномерных бозе-конденсатов в геометрии разорванного кольца E_{tun} в потенциале вида $E_{kin}(\Delta\phi)^2 - E_{tun} \cos \Delta\phi$, где $\Delta\phi$ – разность фазы на барьере (т.е. потенциал вида «стиральной доски»), от параметров барьера. Потенциал вида «стиральной доски» позволяет описывать состояние системы с точки зрения положения в минимумах энергетического функционала в конфигурационном пространстве.

Рассмотрены аналитические предельные случаи, а именно: (1) случай узкого барьера ширины d меньше длины залечивания ξ , так что волновая функция конденсата не успевает измениться на масштабах d , а барьер можно считать дельта-функционным; и (2) случай широкого барьера, когда его ширина много больше длины залечивания, что позволяет рассматривать область под барьером в квазиклассическом пределе. Подобная классификация барьеров применялась при изучении одномерной сверхтекучей жидкости при обтекании препятствия [1].

В случае узких барьеров $d < \xi$ найдено аналитическое решение уравнения Гросса–Питаевского с периодическими граничными условиями (похожий случай был исследован в [2,3] в контексте стабильности решений для цепочек холодных атомов). Проведен анализ характерных масштабов энергии поляритонной системы в уравнении Гросса–Питаевского, и показано, что (i) в квазиодномерной задаче доминирующим слагаемым будет нелинейное слагаемое, и (ii) величина E_{tun} зависит от разности фазы на барьере и числа намотки фазы на кольце n и имеет вид $E_{tun} \sim \left[\frac{2\hbar^2}{mR^2} + 2(\alpha - g) \frac{\xi^2}{R^2} \frac{2\pi n - \Delta\phi}{(2\pi)^2} \right]$, где R – радиус кольца, m – масса частицы, α – высота дельта-барьера, g – характерный масштаб нелинейности.

В случае широких барьеров была проведена шивка нелинейной конденсатной волновой функции в пределе Томаса–Ферми вне барьера и квазиклассической волновой функции под барьером, как было предложено в работе [4] для случая стандартного двухъямного потенциала. Подобное рассмотрение позволяет учесть нелинейность задачи в подбарьерных волновых функциях, а энергия туннелирования будет определяться перекрытием хвостов волновой функции под прямоугольным барьером высоты U_0 : $E_{tun} \sim \left[\frac{\hbar^2}{2mR^2} \frac{(2\pi n - \Delta\phi)^2}{(2\pi)^2} + U_0 - \mu \right] \int_{\theta_1}^{\theta_2} d\theta \Psi_L(\theta) \Psi_R(\theta)$, где вид волновой функции под барьером слева (справа) $\Psi_{L(R)}(\theta)$ дается громоздкими выражениями, полученными из шивки, $\theta_{1,2}$ – положение границ барьера, μ – химический потенциал.

Работа поддержана Российским Научным Фондом, грант No. 24–22–00426 (<https://rscf.ru/project/24-22-00426/>).

Список литературы

1. J. Huynh, M. Albert, and P.-E. Larre, Phys. Rev. A 105, 023305 (2022)
2. Axel Perez-Obiol and Taksu Cheon, Phys. Rev. E 101, 022212 (2020)
3. Axel Perez-Obiol, Juan Polo, and Taksu Cheon, Phys. Rev. A 102, 063302 (2020)
4. F. Dalfovo, L. Pitaevskii, and S. Stringari, Phys. Rev. A 54, 4213 (1996)