

Динамика разлёта двухкомпонентного квазиодномерного бозе-эйнштейновского конденсата: фазовая диаграмма, автомодельные решения и дисперсионные ударные волны

С. К. Иванов^{1,2}, А. М. Камчатнов²

¹Московский физико-технический институт (государственный университет), Москва, 117303

²Институт спектроскопии РАН, Москва, Троицк, 108840

Динамика бозе-эйнштейновского конденсата является предметом активных современных исследований. К настоящему времени выполнено множество экспериментальных и теоретических работ по изучению солитонов, вихрей, дисперсионных ударных волн и других структур, которые определяют характерные черты поведения конденсата в различных экспериментальных условиях. Одной из основных задач, относящихся к этому направлению исследований, является изучение динамики разлёта конденсата после выключения ловушки, удерживающего этот конденсат, поскольку во многих экспериментах результаты фиксируются после разлёта конденсата до состояния, когда размеры облака достаточно велики для проведения измерений (см., например, эксперименты [1, 2]). Теоретически эта проблема была исследована для конденсата, состоящего из одной компоненты, и было найдено хорошее согласие между теорией и экспериментом. Однако ситуация существенно меняется для случая конденсата, состоящего из нескольких компонент, когда, например, конденсируются атомы двух разных видов, двух разных изотопов одного вида атомов или одного вида атомов в двух разных квантовых состояниях таких, что разность энергий уровней этих состояний много меньше температуры конденсата. В частности, в двухкомпонентных конденсатах необходимо различать случаи относительно сильного взаимного отталкивания компонент, когда они не смешиваются, и относительно слабого взаимного отталкивания, когда они смешиваются, то есть занимают один и тот же объём. Это различие фазовых состояний конденсата существенным образом влияет на динамику конденсата, в том числе и на динамику его разлёта. До сих пор эта динамика была исследована недостаточно полно. В статье [3] были получены некоторые частные результаты, иллюстрирующие различие между случаями разлёта однокомпонентного и двухкомпонентного конденсата, однако в этой статье автор использовал преимущественно численные методы. В настоящем докладе будет показано, что имеются интересные ситуации, когда можно провести полное аналитическое исследование в рамках гидродинамического приближения, использованного ранее в однокомпонентном случае. Сравнение с численными расчётами показывает, что хотя на промежуточных стадиях процесса разлёта дисперсионные эффекты могут играть некоторую роль, тем не менее на асимптотической стадии, наиболее интересной для эксперимента, дисперсионные эффекты становятся чрезвычайно малыми и ими можно пренебречь. Существенную роль в таких благоприятных для аналитической теории случаях играет предположение об автомодельном характере эволюции

профилей плотностей и скоростей компонент. Однако будет показано, что это предположение не вполне адекватно описывает динамику, когда начальное состояние конденсатов перед их освобождением из ловушки находится вблизи границы фазового перехода между смешиванием и несмешиванием компонент, и в этом случае задача требует численного решения. Тем не менее даже в случае несмешивающихся компонент можно выделить характерный случай, когда одну из компонент можно рассматривать как поршень,двигающий другую компоненту. Для такой идеализированной ситуации разлёт конденсата сопровождается образованием дисперсионной ударной волны в одной компоненте и волны разрежения в другой компоненте. Развита для этого случая теория хорошо согласуется с численными результатами. Результаты работы позволяют предсказать характерные черты явления в зависимости от параметров конденсата.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант 16-01-00398.

Список литературы

- [1] Andrews M. R., Mewes M.-O., van Druten N. J., Durfee D. S., Kurn D. M., Ketterle W. Direct, nondestructive observation of a Bose condensate // *Science*. 1996. Vol. 273. No. 5271. P. 84-87.
- [2] Ernst U., Schuster J., Schreck F., Marte A., Kuhn A., Rempe G. Free expansion of a Bose–Einstein condensate from an Ioffe–Pritchard magnetic trap // *Appl. Phys. B*. 1998. 67. P. 719–722.
- [3] Quach James Q. Beats and Expansion of Two-Component Bose-Einstein Condensates in the Thomas-Fermi Limit // *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* 2014. Vol. 47. 215007.