

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию С. В. Тарасова
«Автомодельность термодинамических и статистических величин в
критической области бозе-эйнштейновской конденсации идеального газа в
мезоскопических системах»
на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук на
стыке специальностей 01.04.03 – радиофизика и 01.04.07 – физика
конденсированного состояния.

Актуальность работы

Диссертационная работа посвящена развитию теории бозе-эйнштейновской конденсации атомов («бозе-газа») в различных (оптических, магнито-оптических) ловушках. Как хорошо известно, бозе-эйнштейновская конденсация может происходить в многочастичных системах бозонов, когда де-бройлевская длина волны начинает превосходить среднее межчастичное расстояние. Конденсация сопровождается появлением макроскопического числа атомов в основном состоянии системы. Ранее конденсация атомов рубидия и натрия наблюдалась в магнитных ловушках, современные эксперименты с магнито-оптическими ловушками типично оперируют числами атомов порядка тысяч и миллионов. В последнее время активно изучается бозе-конденсация и в других средах – так, в недавних работах сообщалось о бозе-эйнштейновской конденсации фотонов, а в чуть более ранних работах – магнонов. Сказанное свидетельствует об актуальности темы, затронутой в диссертационной работе С. В. Тарасова, а изучаемые в работе проблемы находятся на переднем крае развития физики конденсированных систем и лазерной физики.

В конечных системах, например, в атомных ядрах, полупроводниковых квантовых точках или магнито-оптических ловушках, задача усложняется, поскольку для выяснения характера фазового перехода необходимо рассматривать поведение конечного числа бозонов в потенциальном поле

частиц, способно заметно изменить термодинамические характеристики системы вблизи критической точки. Диссертант также рассматривает модельные потенциалы, на основе которых можно пытаться экспериментально обнаружить данный эффект.

Наконец, диссертационная работа содержит прямое сравнение моделей большого канонического и канонического ансамблей в критической области конечной бозе-системы и уточняет широко известное утверждение об эквивалентности описаний в термодинамическом пределе, где относительная ширина критической области исчезающе мала. Именно, показано, что оба ансамбля приводят к автомодельной структуре с разными критическими функциями, но к одинаковому скейлингу статистики и термодинамики в области фазового перехода. При этом асимптотики автомодельных кривых для средней энергии, теплоемкости и прочих термодинамических величин, сформированных надконденсатными атомами, вдали от критической точки совпадают.

Полученные новые аналитические результаты сравниваются с известными ранее аналитическими результатами (например, для скачков термодинамических характеристик в критической точке, установленными при анализе системы в термодинамическом пределе, или для статистических характеристик конденсата при температуре заметно ниже критической, найденными на основе асимптотической модели «демона Максвелла»). Также проводится сравнение с результатами прямого численного моделирования бозе-конденсации идеального газа, которое базируется на строгих рекуррентных соотношениях для статистической суммы в рамках канонического ансамбля и не использует методы Монте-Карло. Таким образом, выдвигаемые в диссертационной работе научные положения надежно подтверждены.

ловушки. Сутью диссертационной работы является развитие методов, позволяющих для случая идеального газа, помещенного в ловушку с произвольным удерживающим профилем, явно учесть тот факт, что число частиц в системе задано и фиксировано, и применение этих методов для описания бозе-конденсации в критической области параметров системы, то есть в окрестности критической точки фазового перехода. Указанная область параметров представляет наибольшую сложность для исследования ввиду больших флуктуаций параметра порядка, что делает невозможным решение задачи стандартными методами типа теории возмещения или теории Ландау.

Основные результаты диссертационной работы

Автору впервые в рамках канонического ансамбля удалось обнаружить важные закономерности поведения статистических и термодинамических величин газа атомов в оптических ловушках от параметров в критической области, когда распределение характерных величин имеет близкий к автомодельному характер. При этом конкретный вид автомодельных зависимостей термодинамических функций определяется геометрическими свойствами удерживающего потенциала оптической ловушки. Разработанные диссертантом методы позволили ему получить выражения, плавным образом описывающие зависимость параметра порядка и термодинамических характеристик идеального бозе-газа в непосредственной окрестности критической точки для систем произвольного размера и с произвольным числом атомов.

Интересным новым результатом является то, что для широкого набора ловушек (для которых энергетическая спектральная плотность состояний растет достаточно медленно) автомодельные зависимости в статистике и термодинамике оказались чувствительными к неглубоким изменениям удерживающего потенциала. В частности, это означает, что изменение граничных условий, наложенных на волновую функцию удерживаемых

Научная и практическая значимость

Практическим выходом работы могут служить результаты о влиянии формы потенциала ловушки и граничных условий на свойства термодинамических функций в окрестности фазового перехода. В указанной постановке результаты работы, на мой взгляд, представляют интерес для экспериментаторов, которые занимаются управлением процессом конденсации атомов в ловушках с помощью оптических полей.

Полученные в работе С. В. Тарасова результаты являются *новыми* и в совокупности решают ряд принципиальных вопросов теории открытых неравновесных систем. Результаты работы, думаю, найдут применение в дальнейшем развитии в соответствующих лабораториях, в частности, в Институте физики микроструктур РАН (Нижний Новгород), Институте физики полупроводников РАН (Новосибирск), Физико-техническом институте им. А.Ф. Иоффе РАН (С.-Петербург), Институте радиотехники и электроники РАН (Москва) и могут служить основой для дальнейшего развития.

Вопросы и замечания

Работа С. В. Тарасова оформлена безупречно и соответствует всем требованиям, предъявляемым к диссертациям. При чтении работы у меня возникли следующие только общие *вопросы и замечания*:

- 1) Предшествующее формуле (1.3), неравенство содержащее оператор числа частиц \hat{n} , может вызвать недоразумение, поскольку оператор числа частиц сравнивается с числовой величиной.
- 2) В главе 4 речь идет о влиянии граничных условий на теплоемкость невзаимодействующих атомов, локализованных в оптической ловушке. Понятно, что для тяжелых атомов глубина проникновения в подбарьерную область, определяемую потенциалом конфайнмента,

мала. Видимо, более важным является вопрос о влиянии формы ловушки, которая может обуславливать сложную статистику уровней (при «неразделяющихся» переменных для двух- и трехмерных потенциалов).

- 3) Автору стоило подробней обсудить реализуемость различных ловушек лазерными полями.
- 4) Для реализации «проектируемых» ловушек полезно было бы обсудить классы требуемых потенциалов с точки зрения обратной задачи квантовой механики, которая позволяет предсказывать вид потенциала, порождающего заданный спектр.

Указанные недостатки не являются существенными и не влияют на общую положительную оценку рецензируемой работы.

Заключение

В целом, несмотря на отмеченные недостатки, диссертация представляет собой законченную научно-исследовательскую работу, выполненную на актуальную тему. Работа представляет собой самостоятельный и законченный научно-исследовательский труд. Структура и содержание диссертации соответствуют целям и задачам исследования.

Диссертация С. В. Тарасова является законченной, корректно оформленной и четко изложенной научной работой. С учетом предмета исследования и примененных методов анализа, содержание работы соответствует стыку специальностей 01.04.03 – «радиофизика» и 01.04.07 – «физика конденсированного состояния». Основные результаты опубликованы в 6 статьях, 2 трудах конференций и 5 тезисах докладов конференций, и эти показатели соответствуют требованиям ВАК к защите кандидатских диссертаций. Автореферат соответствует содержанию диссертационной работы. Основополагающий личный вклад диссертанта сомнений не вызывает и подтверждается, в том числе, наличием публикаций без соавторов по теме диссертации.

Обобщая вышесказанное, я заключаю, что диссертационная работа «Автомодельность термодинамических и статистических величин в критической области бозе-эйнштейновской конденсации идеального газа в мезоскопических системах» отвечает критериям «Положения о присуждении ученых степеней» (раздел II Постановления Правительства РФ от 24.09.2013 №842), а ее автор, Тарасов Сергей Владимирович, достоин присвоения ученой степени кандидата физико-математических наук на стыке специальностей 01.04.03 – радиофизика и 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Официальный оппонент,

и.о. заведующего кафедрой теоретической физики,

доктор физ.-мат. наук, профессор,

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный университет имени Н. И. Лобачевского» (ННГУ).

14 июня 2016

Аркадий Михайлович Сатанин

603950, г. Нижний Новгород, просп. Гагарина, 23, корп.3

Тел.: +7 (831) 465-62-55, e-mail: sarkady@mail.ru

“Отзыв А.М.Сатанина заверяю”

Ученый секретарь Нижегородского
государственного университета



Л.Ю. Черноморская