

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Абгаряна Ваагна Саркисовича «Квантовая запутанность в спин-1 малочастичных кластерах и одномерных цепочках», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 — теоретическая физика

Диссертация В.С. Абгаряна посвящена теоретическому исследованию квантового запутывания и корреляций в многочастичных спин-1 модельных системах и кластерах, а также анализу взаимосвязи степени запутанности с изменением параметров порядка системы при переходах, аналогичных квантовым фазовым переходам.

**Актуальность темы диссертации** несомненна ввиду того, что в настоящее время исследование составных многокомпонентных квантовых систем вызывает большой интерес. Одной из важнейших характеристик таких систем является квантовая запутанность, которая во многом определяет их свойства и динамику и лежит в основе многих наблюдаемых физических эффектов. Использование квантовых запутанных состояний является очень перспективным для решения целого ряда важных практических задач: передача и хранение квантовой информации, создание квантовых логических алгоритмов, квантовая криптография и томография др. Спиновые многочастичные системы и кластеры открывают новые возможности для отмеченных практических приложений, поэтому анализ статистических закономерностей и поведения таких объектов в конечных интервалах температур представляет собой важную для исследования область, многие задачи в которой, еще не решены.

Диссертация состоит из Введения, трех глав и Заключения. Во введении обосновывается актуальность исследований, обсуждается физический смысл понятия квантовой запутанности и ее роли в многочастичных системах, формулируются цель и задачи работы. Первая глава диссертации посвящена анализу квантовой запутанности двух- и трехчастичных спиновых кластеров. В начале главы дается математическое определение и обсуждаются различные количественные меры запутанности смешанных состояний составных квантовых систем. В данной главе также представлены оригинальные результаты по исследованию квантовой запутанности в двух- и трехчастичных кластерах частиц со спином 1 в условиях одноосной одноионной анизотропии и в присутствии однородного магнитного поля. Количественной характеристикой, определяющей степень квантовой запутанности системы, выбрана так называемая “negativity” («отрицательность»). Проведен детальный анализ влияния различных взаимодействий, характеризующих систему (включая внешнее магнитное поле), на степень запутанности. Важным и новым результатом, полученным в данной главе, является обнаруженная скоррелированность зависимостей квантовой запутанности в системе и измеряемых величин (магнитной восприимчивости и числа частиц) от «интенсивности» взаимодействий, определяющих гамильтониан спинового кластера. Продемонстрировано, что изменение и резкие «скачки» параметров порядка, характеризующие переходы в системе, аналогичные квантовым фазовым переходам, неизменно сопровождаются соответствующим изменением степени запутанности. Более того, обнаружено, что степень квантовой запутанности фактически может служить индикатором именно квантовых фазовых переходов. Таким образом, можно ожидать, что и для бесконечных систем изменение квантовой запутанности при варьировании параметров системы даст качественное описание ее поведения при квантовых фазовых переходах.



Во второй главе исследуются магнитные свойства и изменение квантовой запутанности в квазиодномерной смешанной модели Изинга – Гейзенберга для частиц со спинами  $\frac{1}{2}$  и 1 в «даймонд-цепочке». Рассмотренная система характеризуется богатой фазовой диаграммой, что представляет большое поле для исследований. Получено точное решение задачи о нахождении спектра и собственных функций системы трансфер-матричным методом. Показано, что существует, по крайней мере, две наблюдаемые – квадрупольный и магнитный момент (намагниченность), и детально исследовано поведение этих характеристик при различных параметрах системы. Впервые в точном решении проанализирована зависимость намагниченности от магнитного поля и обнаружены все промежуточные магнитные плато, предсказываемые правилом Ошикавы-Яманаки-Афлека, что является важным и приоритетным результатом. Кроме того для данной системы впервые рассчитана квантовая запутанность и выявлено соответствие между переходами с изменением запутанности системы и скачками намагниченности. Важно отметить, что рассмотренная модель для частиц с целым и полуцелым спинами может быть использована для описания магнитных свойств ряда существующих металлоорганических соединений, которые представляют практический интерес с точки зрения контролируемого возбуждения и управления спиновыми волнами.

Третья глава диссертации посвящена теоретическому исследованию магнитных свойств и квантовой запутанности в симметричной модели Изинга – Гейзенберга в алмазной решетке для частиц с единичным спином. В рамках точного решения стационарной задачи получены собственные состояния и энергии системы, впервые выявлены условия формирования магнитных плато и плато квадрупольного момента изинговской подрешетки. Впервые для такой системы в трансфер-матричном подходе вычислена квантовая запутанность для различных состояний системы и проанализирована ее эволюция при переходах между существующими фазами как при нулевой, так и при конечных температурах. Важным результатом данной главы является обнаружение так называемого «теплого» запутанного состояния, когда увеличение температуры в интервале малых значений повышает запутанность системы за счет тепловой досягаемости возбужденных запутанных собственных состояний. Еще одним ярким и перспективным результатом, полученным в данной главе, является успешное применение разработанной модели для описания фазовой диаграммы основного состояния недавно синтезированного гомометаллического соединения, которое представляет собой молекулярную магнитную структуру с особыми магнитными свойствами.

Таким образом, в диссертации получен целый ряд важных приоритетных результатов, **новизна** и высокая **научная значимость** которых, не вызывает сомнений. **Достоверность** полученных результатов подтверждается, прежде всего, грамотной формулировкой и корректным решением поставленных задач, а также совпадением с известными более частными модельными решениями. **Практическая значимость** диссертационной работы состоит в возможности обобщения и применения развитых подходов к реальным спиновым системам как при нулевой, так и при конечных температурах. Кроме того обнаруженное соответствие между квантовой запутанностью и параметрами порядка дает возможность предсказания условий для реализации квантовых фазовых переходов и максимальной квантовой запутанности в реальных системах. По материалам диссертации опубликованы 4 статьи в рецензируемых научных журналах из



перечня рецензируемых изданий, рекомендованных ВАК. Результаты работы докладывались на научных семинарах и международных научных конференциях.

Однако, диссертационная работа не свободна от недостатков:

1. Было бы полезно сделать более полный и детальный обзор научной литературы по теме диссертации и выделить его в отдельную главу.
2. При исследовании трехчастичных спиновых кластеров анализировалось только двухчастичное перепутывание, в то время как трехчастичные корреляции также могут иметь существенное значение, особенно при переходах, аналогичных фазовым.
3. Более того, представляет интерес не только вычисление количественной степени перепутанности системы, но и нахождение различных корреляционных характеристик, которые дали бы дополнительную информацию о свойствах системы в различных фазах.
4. В случае «даймонд-цепочек» представляется важным ввести коллективные моды, аналогичные модам Шмидта, и провести анализ свойств и квантовой запутанности системы в терминах этих мод.

Приведенные замечания не умаляют отмеченных выше достоинств диссертации В.С. Абгаряна и не снижают научной значимости полученных в ней результатов.

Автореферат диссертации правильно и полно отражает ее содержание.

Диссертационная работа Абгаряна В.С. является законченной научно-исследовательской работой, которая выполнена на высоком научном уровне, содержит новые решения актуальных задач и представляет собой важный вклад в физику многочастичных запутанных спиновых систем. По значимости и актуальности полученных результатов диссертационная работа Абгаряна В.С. удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям, а ее автор Абгарян В.С., несомненно, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 – теоретическая физика.

Официальный оппонент  
доктор физ.-мат. наук, профессор кафедры  
атомной физики, физики плазмы и микроэлектроники  
физического факультета  
Московского государственного университета  
имени М.В. Ломоносова  
Адрес: 119991, г. Москва, Ленинские Горы, д.1  
Эл. почта: ovtikhonova@mail.ru,  
раб. тел. +7(495) 939-49-54

О.В. Тихонова

03.03.2016



Подпись профессора О.В. Тихоновой удостоверяю.  
Декан физического факультета  
МГУ имени М.В. Ломоносова  
профессор



Н.Н. Сысоев