

## Отзыв

официального оппонента, доктора физико-математических наук, профессора Гагика Юрьевича Крючкяна о диссертации Абгаряна Ваагна Саркисовича «Квантовая запутанность в спин-1 малочастичных кластерах и одномерных цепочках», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 - теоретическая физика.

В 1994 году Казуо Хидой было предсказано существование плато на  $1/3$  значения насыщения для тримерированной спиновой цепочки Гейзенберга с ферромагнитно-ферромагнитно-антиферромагнитным взаимодействием. Начиная с этой новаторской работы, магнитные плато стали предметом интенсивных исследований.

Другим интересным аспектом квантовых спиновых цепочек, находящемся в центре внимания научного сообщества, является их склонность к проявлению неклассических корреляций в виде квантовой запутанности. При запутывании отдельных степеней свободы в таких системах единственным возможным полным является рассмотрение системы как единой и целой. При этом изучение этого явления представляет не только фундаментальный интерес, но и открывает прикладные возможности в таких направлениях современной науки, как квантовая телепортация, квантовая информатика и квантовые компьютеры. Внимание к изучению запутанности именно в таких системах вызвано, в частности, тем, что в числе первых возможных реализаций квантовых двоичных и троичных битов рассматриваются именно спиновые степени свободы. В связи с этим, к примеру, важным становится знание методов контроля степени запутанности внешними физическими факторами, такими как магнитное поле.

Следует также отметить возможность применения запутанности как меры чисто квантовых корреляций для более детального понимания механизмов квантовых фазовых переходов.

Диссертация В.С. Абгаряна посвящена изучению квантовой запутанности между спин-1 степенями свободы в малочастичных кластерах и одномерных спиновых цепочках.

В работе проводится подробное изучение структуры основного состояния рассматриваемых моделей путем расчета измеряемых величин - намагниченности и квадрупольного момента. Далее, приводятся результаты расчетов количественной характеристики квантовой запутанности на основе анализа отрицательности собственных значений матрицы плотности.

Одна из изучаемых в работе моделей - спин-1 модель Изинга-Гейзенберга на даймонд-цепочке - при отдельных значениях, входящих в модель параметров в случае введения одно-ионной анизотропии, качественно описывает процесс намагничивания никель содержащего соединения.

### Общая характеристика работы

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка цитируемой литературы. В списке цитируемой литературы перечислено 118 библиографических ссылок, в том числе работы самого автора диссертации. Объем диссертации составляет 91 страницу.

Во введении обосновывается актуальность проводимых в работе исследований, приведены постановка общей цели и задач исследования диссертации и приведено краткое содержание работы.

В первой главе изучается модель Гейзенберга для двух- и трехчастичных кластеров, включающая билинейное и биквадратное взаимодействия, эффекты внешнего магнитного поля и одноосную одно-ионную анизотропию. Для изучаемой модели построена фазовая диаграмма основного состояния и проведен расчет измеряемых величин и отрицательности. Здесь уместно обратить внимание на присутствие плато отрицательности в зависимости от коэффициента билинейного взаимодействия при низких температурах и на отличие зависимости отрицательности от одно-ионной анизотропии в ферромагнитном и антиферромагнитном случаях для двух- и трехчастичных кластеров. Сравнение фазовых диаграмм основного состояния и квантовой запутанности указывает на существование качественно отличающихся по изменению квантовой запутанности переходов, индуцированных изменениями внешних параметров.

Во второй главе изучается спин-1/2-1 смешанная модель Изинга-Гейзенберга на даймонд-цепочке. Приводится точное решение модели трансфер-матричным методом. Обнаружено существование двух промежуточных плато намагниченности на  $1/5$  и  $3/5$  значения насыщения и плато квадрупольного момента на  $1/2$  значения насыщения в антиферромагнитном случае. Здесь расчет квантовой запутанности проводится в кластерном подходе, что оправдано кластеризацией основного состояния модели при нулевой температуре. Показано, что переходы, вызванные переориентацией изинговских спинов, не меняют квантовую запутанность. В зависимости от биквадратного взаимодействия и от одно-ионной анизотропии существует два или три режима запутанности, притом зависимость отрицательности от одно-ионной анизотропии платообразная.

В третьей главе изучается спин-1 модель Изинга-Гейзенберга на даймонд-цепочке. После приведения точного решения излагается более последовательный трансфер-матричный метод редукции матрицы плотности и расчета отрицательности. Построена подробная фазовая диаграмма основного состояния и приведены аналитические выражения для запутанности. Доказано, что введение одно-ионной анизотропии обогащает фазовую диаграмму основного состояния и приводит к возникновению магнитных плато. Модель проявляет магнитные плато на  $0$ ,  $1/3$  и  $2/3$  значения насыщения. Здесь также обсуждается специальный случай параметризации модели, при котором удается качественно описать процесс намагничивания отдельного соединения.

Показано, что в основном состоянии модели эффекты запутанности имеют место лишь в отсутствие одно-ионной анизотропии. Интересно, что, несмотря на уменьшение запутанности основного состояния, при введении одно-ионной анизотропии пороговая температура исчезновения запутанности может повышаться с ростом анизотропии.

В заключении излагаются основные результаты диссертационной работы.

**Научная новизна и достоверность результатов.** В диссертации проведен всесторонний анализ запутанности в спин-1 системах, взаимодействующих по общему виду гамильтониана, включающего магнитное поле, одно-ионную анизотропию, билинейное и биквадратное взаимодействия. Исследована эволюция квантовой запутанности для различных переходов, происходящих при нулевой температуре. Достоверность

полученных результатов обеспечивается применением общепринятых и надежных методов теоретической и математической физики.

**Основные результаты диссертации опубликованы** в 4 статьях автора в журналах из перечня рецензируемых научных журналов и изданий, рекомендованных ВАК РФ.

**Содержание автореферата** правильно отражает содержание диссертации. Полученные результаты прошли апробацию на семинарах и международных конференциях.

При оценке диссертационной работы следует отметить следующие замечания:

- Во введении диссертации обзор современной литературы приводится весьма кратко и в схематичной форме.
- При нулевой температуре существенным является также вклад квантовых флуктуаций и квантового шума системы, которые могут уменьшить степень квантовой запутанности. Интересно было бы оценить эти эффекты.
- При рассмотрении трехчастичных кластеров интересно было бы рассмотреть не только запутанность между соседними спиновыми степенями свободы, но и отдельно взятого спина с подсистемой двух других спинов.

Тем не менее уверен что вышеперечисленные замечания не снижают научной ценности диссертационной работы. Считаю, что представленная диссертационная работа «Квантовая запутанность в спин-1 малочастичных кластерах и одномерных цепочках» удовлетворяет требованиям, предъявляемым ВАК РФ к кандидатским диссертациям, а сам соискатель В.С. Абгарян заслуживает присвоения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 - теоретическая физика.

**Официальный оппонент:**

Профессор кафедры теоретической физики Ереванского Государственного Университета, доктор физико-математических наук, член-корреспондент Национальной академии наук Армении

Крючкян Гагик Юрьевич  
0025, Армения, Ереван,  
А.Манукяна 1, ЕГУ  
e-mail: [kryuchkyan@ysu.am](mailto:kryuchkyan@ysu.am)



05.01.2016

Подпись Г.Ю. Крючкяна заверяю, декан физического факультета ЕГУ, профессор, член-корреспондент Национальной академии наук Армении,

Авагян Р. М.

