

Заключение диссертационного совета МГУ.013.3

по диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук

Решение диссертационного совета от «8» декабря 2022 г. № 22

О присуждении Лазареву Илье Дмитриевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Многочастичная запутанность в многоквантовой спектроскопии ЯМР в твердом теле» по специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния принята к защите диссертационным советом МГУ.013.3(МГУ.01.01) 13 октября 2022 г., протокол № 19.

Соискатель Лазарев Илья Дмитриевич 1996 года рождения, в 2019 году окончил магистратуру факультета фундаментальной физико-химической инженерии Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», в настоящее время обучается в аспирантуре того же ВУЗа (01.10.2019-30.09.2023 г).

Соискатель работает в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки «Федеральный исследовательский центр проблем химической физики и медицинской химии Российской академии наук» младшим научным сотрудником.

Диссертация выполнена в лаборатории спиновой динамики и спинового компьютеринга Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт проблем химической физики Российской академии наук».

Научный руководитель – Фельдман Эдуард Беняминович, доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник теоретического отдела Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр проблем химической физики и медицинской химии Российской академии наук».

Официальные оппоненты:

Ацаркин Вадим Александрович, доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории исследования свойств магнитных и оптических микро- и наноструктур Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук»,

Лундин Андрей Арнольдович, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории теоретической химической физики Федерального государственного

бюджетного учреждения науки «Федеральный Исследовательский Центр химической физики им. Н.Н. Семенова Российской академии наук»,

Погосов Вальтер Валентинович, доктор физико-математических наук, начальник лаборатории физики микро- и наноструктур Федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н.Л. Духова»

дали положительные отзывы на диссертацию.

Соискатель имеет 11 опубликованных работ, все по теме диссертации, из них 5 статей, опубликованных в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния. Все статьи индексируются в базах данных Web of Science, Scopus и РИНЦ.

Перечень основных публикаций:

1. Doronin S.I., Fel'dman E.B., Lazarev I.D. Many-particle entanglement in multiple quantum nuclear-magnetic-resonance spectroscopy // Physical Review A - Atomic, Molecular, and Optical Physics. — 2019. — Vol. 100, N. 2. — P. 022330. (Импакт-фактор – 2.971, Web of Science) (вклад 0.5);

2. Лазарев И.Д., Фельдман Э.Б., Многоспиновая запутанность в многоквантовом ЯМР с дипольным упорядоченным начальным состоянием // Журнал экспериментальной и теоретической физики. — 2020. — Т. 158, N. 5. — С. 832-839;

Lazarev I.D., Fel'dman E.B. Many-spin entanglement in multiple quantum NMR with a dipolar ordered initial state // Journal of Experimental and Theoretical Physics. — 2020. — Vol. 131, no. 5. — P. 723–729. (Импакт-фактор – 1.111, Web of Science) (вклад 0.7);

3. Bochkin G.A., Fel'dman E.B., Kuznetsova E.I., Lazarev I.D., Vasil'ev S.G., Volkov V.I., ^1H NMR in a quasi-one-dimensional zig-zag spin chain of hambergite, $\text{Be}_2\text{BO}_3(\text{OH})$ // Journal of Magnetic Resonance. — 2020. — Vol. 319. — P. 106816. (Импакт-фактор – 2.229, Web of Science) (вклад 0.3);

4. Bochkin G.A., Doronin S.I., Kuznetsova E.I., Lazarev I.D., Fel'dman E.B., Vasil'ev S.G., Many-spin entanglement in zigzag spin chain in multiple quantum NMR // Applied Magnetic Resonance. — 2020. — Vol. 51, no. 7. — P. 667–678. (Импакт-фактор – 0.831, Web of Science) (вклад 0.4);

5. Doronin S.I., Fel'dman E.B., Lazarev I.D. Multiple quantum NMR in solids as a method of determination of Wigner–Yanase skew information // Physics Letters, Section A: General, Atomic and Solid State Physics. — 2021. — Vol. 406. — P. 127458. (Импакт-фактор – 2.707, Web of Science) (вклад 0.5);

На автореферат поступили 2 дополнительных отзыва, оба положительные.

Выбор официальных оппонентов обосновывался тем, что они обладают высокой квалификацией в области физики конденсированного состояния и являются специалистами в областях магнитного резонанса, спиновой динамики и квантовой информатики, а также тем, что они имеют публикации по специальности защищаемой соискателем диссертации. Указанные оппоненты не имеют совместных проектов и публикаций с соискателем.

Диссертационный совет отмечает, что представленная диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук является научно-квалификационной работой, в которой на основании совокупности выполненных автором исследований получены научные результаты и решены научные задачи, имеющие значение для развития физики спиновых систем и методов измерения квантовых информационных величин.

Основные результаты работы:

1. Разработана теория многоквантового ЯМР в системе спинов $s=1/2$ при произвольных температурах. При низких температурах эта теория применена для расчетов многоспиновой запутанности в нанопоре и зигзагообразной цепочке.

2. Исследована температурная зависимость многочастичной запутанности в нанопоре с термодинамическим равновесным зеемановским и дипольным упорядоченным начальными состояниями. С понижением температуры количество запутанных спинов растет. При температуре $T = 6.856 \cdot 10^{-3}$ К ($\beta = 3.5$) почти все спины (до 179 из 201) запутаны.

3. Исследована многочастичная запутанность в квазиодномерных цепочках ядерных спинов в зависимости от параметров цепи и температуры. В однородных цепочках детектируется только парная запутанность, что согласуется с результатами, представленными в литературе. В зигзагообразной цепочке при низких температурах почти все спины запутанны, так же, как и в нанопоре.

4. Предложен метод экспериментального измерения точного значения кривой информации Вигнера-Янасе в рамках многоквантовой спектроскопии ЯМР.

Полученные результаты имеют важное практическое значение. Предложенный метод экспериментального определения величины кривой информации Вигнера-Янасе не только позволяет исследовать многочастичную запутанность методами многоквантовой спектроскопии ЯМР, но и открывает возможность решения широкого класса задач в этой области.

Диссертация представляет собой самостоятельное законченное исследование, обладающее внутренним единством. Положения, выносимые на защиту, содержат новые научные результаты и свидетельствуют о личном вкладе автора в науку:

1. Разработанная теория многоквантового ЯМР позволяет исследовать многочастичную запутанность в системе ядерных спинов при произвольной температуре.
2. С понижением температуры количество запутанных спинов растет и в нанопоре, и в зигзагообразной цепочке.
3. Оценка количества запутанных спинов в однородных цепочках согласуется с результатами, представленными в литературе.
4. Если спиновая система исследуется в многоквантовом эксперименте ЯМР с начальным равновесным термодинамическим состоянием при температуре T , то ее косая информация Вигнера-Янасе равна удвоенному второму моменту распределения интенсивностей многоквантовых когерентностей ЯМР системы, приготовленной при вдвое большей температуре $2T$ в тот же момент времени эволюции.

На заседании 8 декабря 2022 г. диссертационный совет принял решение присудить Лазареву И.Д. ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 14 человек, из них 5 докторов наук по специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния, участвовавших в заседании, из 19 человек, входящих в состав совета, проголосовали: «за» - 14, «против» - 0, недействительных бюллетеней - нет.

Зам. председателя
диссертационного совета МГУ.013.3
доктор физико-математических наук, профессор

А.В. Уваров

Ученый секретарь
диссертационного совета МГУ.013.3
кандидат физико-математических наук, доцент

И.А. Малышкина

08 декабря 2022 г.

Подписи А.Р. Хохлова и И.А. Малышкиной удостоверяю.
Ученый секретарь физического факультета МГУ,
профессор

В.А. Карavaев