

### Заключение диссертационного совета МГУ.013.3

по диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук

Решение диссертационного совета от «16» мая 2024 г. № 4

О присуждении Мацневу Михаилу Евгеньевичу, гражданину Российской Федерации,  
ученой степени кандидата физико-математических наук

Диссертация «Обработка и анализ мессбауэровских спектров со сложной сверхтонкой магнитной и электрической структурой» по специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния принята к защите диссертационным советом МГУ.013.3 29 февраля 2024 г., протокол № 1.

Соискатель Мацнев Михаил Евгеньевич 1977 года рождения, в 2000 году окончил физический факультет Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова».

Соискатель работает в должности инженера 2 кат. кафедры общей физики физического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова».

Диссертация выполнена на кафедре общей физики физического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова».

Научный руководитель – Русаков Вячеслав Серафимович, доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры общей физики физического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова».

Официальные оппоненты:

Любутин Игорь Савельевич, доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник Лаборатории материалов с сильными электронными корреляциями и экстремальных состояний вещества Отдела кристаллофизики Отделения «Институт кристаллографии им. А.В. Шубникова» Курчатовского комплекса кристаллографии и фотоники,

Гиппиус Андрей Андреевич, доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры физики низких температур и сверхпроводимости физического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова»,

Воронина Елена Валентиновна, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, заведующий кафедрой физики твердого тела Института физики Казанского (Приволжского) федерального университета

дали положительные отзывы на диссертацию.

Соискатель имеет 28 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 16 работ, из них 10 статей, опубликованных в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния. Имеется 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Перечень статей, опубликованных в рецензируемых научных журналах, индексируемых в базах данных Web of Science, Scopus и RSCI:

1. Мацнев М.Е. Диагностика пространственной спин-модулированной структуры методами ядерного магнитного резонанса и мессбауэровской спектроскопии. / Русаков В.С., Покатилов В.С., Сигов А.С., Мацнев М.Е., Губайдулина Т.В. // Письма в ЖЭТФ. – 2014. – Т. 100. № 7. – С. 518-524.

Matsnev M.E. Diagnostics of a Spatial SpinModulated Structure Using Nuclear Magnetic Resonance and Mössbauer Spectroscopy. / Rusakov V.S., Pokatilov V.S., Sigov A.S., Matsnev M.E., Gubaidulina T.V. // JETP Letters. – 2014. – Vol. 100. No. 7. – P. 463-469. SJR=0.389 (Scopus), 0,44 печ. л., вклад автора – 0.3.

2. Matsnev M.  $^{57}\text{Fe}$  Mössbauer study of  $\text{Li}_x\text{Fe}_{1-y}\text{Co}_y\text{PO}_4$  ( $y = 0, 0.1, 0.2$ ) as cathode materials for Li-ion batteries. / Rusakov V., Yaroslavtsev S., Matsnev M., Kulova T., Skundin A., Novikova S., Yaroslavtsev A. // Hyperfine Interactions. – 2014. – Vol. 226. – P. 791-796. SJR=0.331 (Scopus), 0,38 печ. л., вклад автора – 0.1.

3. Matsnev M.E. Mössbauer and magnetic studies of nanocomposites containing iron oxides and humic acids. / Chistyakova N.I., Shapkin A.A, Gubaidulina T.V., Matsnev M.E., Sirazhdinov R.R., Rusakov V.S. // Hyperfine Interactions. – 2014. – Vol. 226. – P. 153-159. SJR=0.331 (Scopus), 0,44 печ. л., вклад автора – 0.1.

4. Мацнев М.Е. Температурные исследования пространственной спин-модулированной структуры мультиферроика  $\text{BiFeO}_3$  методами мессбауэровской спектроскопии. / Русаков В.С., Покатилов В.С., Сигов А.С., Мацнев М.Е., Губайдулина Т.В. // Известия РАН. Серия физическая. – 2015. – Т. 79. № 6. – С. 771-774.

Matsnev M.E. Temperature Investigations of the Spatial Spin\_Modulated Structure of Multiferroic  $\text{BiFeO}_3$  by Means of Mössbauer Spectroscopy. / Rusakov V.S., Pokatilov V.S., Sigov A.S., Matsnev M.E., Gubaidulina T.V. // Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Physics. – 2015. – Vol. 79. No. 6. – P. 708-711. SJR=0.211 (Scopus), 0,25 печ. л., вклад автора – 0.3.

5. Мацнев М.Е. Исследование магнитной структуры мультиферроика  $\text{BiFeO}_3$  методом мессбауэровской спектроскопии. / Русаков В.С., Покатилов В.С., Сигов А.С., Мацнев М.Е., Пятаков А.П. // Доклады Академии наук. – 2018. – Т. 480. № 6. – С. 657-660.

Matsnev M.E. Analysis of the Magnetic Structure of the  $\text{BiFeO}_3$  Multiferroic by Mössbauer Spectroscopy. / Rusakov V.S., Pokatilov V.S., Sigov A.S., Matsnev M.E., Pyatakov A.P. // Doklady Physics. – 2018. – Vol. 63. No. 6. – P. 223-226. SJR=0.28 (Scopus), 0,25 печ. л., вклад автора – 0.3.

6. Мацнев М.Е. Сверхтонкие магнитные поля на ядрах  $^{57}\text{Fe}$  в интерметаллической системе  $\text{Zr}_{1-x}\text{Sc}_x\text{Fe}_2$ . / Русаков В.С., Покатилов В.С., Губайдулина Т.В., Мацнев М.Е. // Физика металлов и металловедение. – 2019. – Т. 120. Вып. 4. – С. 366-371.

Matsnev M.E. Hyperfine Magnetic Fields at the Nuclei of  $^{57}\text{Fe}$  in the Intermetallic System  $\text{Zr}_{1-x}\text{Sc}_x\text{Fe}_2$ . / Rusakov V.S., Pokatilov V.S., Gubaidulina T.V., Matsnev M.E. // Physics of Metals and Metallography. – 2019. – Vol. 120. No. 4. – P. 339-344. SJR=0.35 (Scopus), 0,38 печ. л., вклад автора – 0.3.

7. Мацнев М.Е. Температурные изменения магнитной структуры мультиферроика  $\text{BiFe}_{0.80}\text{Cr}_{0.20}\text{O}_3$ . / Русаков В.С., Покатилов В.С., Сигов А.С., Белик А.А., Мацнев М.Е. // Физика твердого тела. – 2019. – Т. 61. Вып. 6. – С. 1107-1113.

Matsnev M.E. Changes in the Magnetic Structure of Multiferroic  $\text{BiFe}_{0.80}\text{Cr}_{0.20}\text{O}_3$  with Temperature. / Rusakov V.S., Pokatilov V.S., Sigov A.S., Belik A.A., Matsnev M.E. // *Physics of the Solid State*. – 2019. – Vol. 61. No. 6. – P. 1030-1036. SJR=0.23 (Scopus), 0,44 печ. л., вклад автора – 0.2.

8. Matsnev M.E. The effect of temperature on parameters of hyperfine interactions and spatial spin-modulated structure in multiferroic  $\text{BiFeO}_3$ . / Rusakov V.S., Pokatilov V.S., Sigov A.S., Matsnev M.E., Gapochka A.M., Pyatakov A.P. // *Ferroelectrics*. – 2020. – Vol. 569. No. 1. – P. 286-294. SJR=0.23 (Scopus), 0,56 печ. л., вклад автора – 0.3.

9. Matsnev M. Galfenol/polyurethane magnetoactive composites study by small angle scattering of resonant synchrotron radiation. / Zholudev S., Kiseleva T., Chumakov A., Levin E., Rusakov V., Matsnev M., Bessas D., Novakova A. // *Hyperfine Interactions*. – 2021. – Vol. 242. – P. 43(1-12). SJR=0.331 (Scopus), 0,75 печ. л., вклад автора – 0.1.

10. Мацнев М.Е. Создание сложных многокомпонентных моделей мессбауэровских спектров на примере исследования сверхтонких взаимодействий в квазибинарных сплавах со структурой фаз Лавеса. / Мацнев М.Е., Русаков В.С. // *Физика металлов и металловедение*. – 2023. – Т. 124. №3. – С. 292-297.

Matsnev M.E. The Creation of Complex Multi-Component Models of Mössbauer Spectra Based on the Example of a Study of Hyperfine Interactions in Quasi-Binary Alloys with the Laves Phase Structure. / Matsnev M.E., Rusakov V.S. // *Physics of Metals and Metallography*. – 2023. – Vol. 124. No. 3. – P. 279-284. SJR=0.35 (Scopus), 0,38 печ. л., вклад автора – 0.6.

Патенты и свидетельства:

1. Мацнев М.Е., Русаков В.С. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ (SpectrRelax) № 2023664369 от 4 июля 2023 г. Бюл. № 7.

На диссертацию и автореферат поступили 5 дополнительных отзывов, все положительные.

Выбор официальных оппонентов обосновывался их профессиональной квалификацией и наличием публикаций в области физики конденсированного состояния.

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 конденсированного состояния.

Основные результаты работы:

Создана программа SpectrRelax для обработки и анализа мессбауэровских спектров поглощения, рассеяния и конверсионных электронов со сложной сверхтонкой магнитной и электрической структурой для случая изотопов с переходами  $1/2 \leftrightarrow 3/2$ . Отличительные особенности программы SpectrRelax:

- реализация основных методов обработки и анализа спектров с возможностью их комплексного применения;

- многообразие реализованных статических и релаксационных моделей, а также возможность создания новых пользовательских моделей парциальных спектров;

- использование априорной информации и варьирование в широких пределах модельных представлений об объекте исследования;
- задание в виде явных функций произвольных связей между варьируемыми параметрами и ограничений областей их взаимного изменения;
- вычисление и оценка ошибок произвольных математических выражений параметров моделей с использованием мировых и ядерных констант, арифметических операций и элементарных функций;
- вычисление и отображение стандартных отклонений статистических ошибок и матрицы коэффициентов парных корреляций варьируемых параметров, а также ортонормированного базиса и сингулярных значений из процедуры сингулярного разложения;
- возможность обработки и анализа спектроскопической информации не мессбауэровской природы.

Впервые методами мессбауэровской спектроскопии проведены детальные исследования пространственной спин-модулированной структуры (ПСМС) и сверхтонких взаимодействий (СТВ) ядер  $^{57}\text{Fe}$  в мультиферроике  $\text{BiFeO}_3$  в рамках модели ангармонической спиновой модуляции в широком диапазоне температур, включающем температуру магнитного фазового перехода. В результате проведенных исследований получены следующие основные результаты.

1. Установлено, что с повышением температуры при  $\sim 300$  К происходит переход от магнитной анизотропии типа "легкая ось" к магнитной анизотропии типа "легкая плоскость".

2. Во всей температурной области существования ПСМС определен параметр ангармонизма спиновой волны, на основе которого рассчитана температурная зависимость константы магнитной анизотропии.

3. Определены температурные зависимости изотропного и анизотропного сверхтонких магнитных полей в области расположения ядер  $^{57}\text{Fe}$ ; полученные значения анизотропного поля свидетельствуют о сильной анизотропии сверхтонких магнитных взаимодействий, обусловленной анизотропным СТВ ядра  $^{57}\text{Fe}$  с электронной оболочкой собственного атома.

Программа SpectrRelax, созданная для обработки и анализа мессбауэровских спектров со сложной сверхтонкой магнитной и электрической структурой, существенно расширяет экспериментальные возможности мессбауэровской спектроскопии. Как сами методы обработки и анализа, так и методические приемы их практического использования, продемонстрированные в диссертационной работе на примере спектров со сложной сверхтонкой структурой, представляют интерес для физиков-экспериментаторов, использующих спектроскопические методы исследования. В настоящее время программа SpectrRelax успешно используется в 18 научных лабораториях.

Экспериментальные данные, полученные в диссертационной работе в результате мессбауэровских исследований мультиферроика  $\text{BiFeO}_3$ , вносят вклад в развитие физических представлений о пространственной спин-модулированной структуре и сверхтонких электрических и магнитных взаимодействиях, могут служить основой для дальнейших теоретических разработок в области физики твердого тела и дополняют информацию, необходимую для понимания природы свойств мультиферроиков, определяющих их практическое применение.

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. Созданная программа SpectrRelax для обработки и анализа мессбауэровских спектров со сложной сверхтонкой магнитной и электрической структурой, позволяет варьировать в широких пределах модельные представления с использованием априорной информации об объекте исследования и существенно расширяет экспериментальные возможности мессбауэровской спектроскопии.

2. С повышением температуры при  $\sim 300$  К в мультиферроике  $\text{BiFeO}_3$  происходит переход от магнитной анизотропии типа «легкая ось» к магнитной анизотропии типа «легкая плоскость».

3. С повышением температуры параметр ангармонизма ПСМС  $\text{BiFeO}_3$  уменьшается, стремясь к нулю при  $\sim 300$  К, при дальнейшем увеличении температуры параметр ангармонизма увеличивается, а константа магнитной анизотропии во всей температурной области существования ПСМС уменьшается, меняя знак при  $\sim 300$  К.

4. Сверхтонкое анизотропное поле на ядрах  $^{57}\text{Fe}$  в  $\text{BiFeO}_3$  при повышении температуры сначала увеличивается, достигая максимального значения в  $\sim 3,8$  кЭ при  $\sim 300$  К, а затем уменьшается, стремясь к нулю при температуре  $\sim 600$  К; полученные значения анизотропного поля свидетельствуют о сильной анизотропии сверхтонких магнитных взаимодействий, обусловленной анизотропным СТВ ядра  $^{57}\text{Fe}$  с электронной оболочкой собственного атома.

На заседании 16.05.2024г. диссертационный совет принял решение присудить Мацневу Михаилу Евгеньевичу ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 4 доктора наук, участвовавших в заседании, из 18 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 14, против – 1, недействительных бюллетеней – 1.

Председатель  
диссертационного совета МГУ.013.3  
доктор физико-математических наук,  
профессор, академик РАН

А.Р. Хохлов

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

И.А. Малышкина

16 мая 2024 г.