

СТЕНОГРАММА

заседания диссертационного совета

Д.002.204.01 от 20 декабря 2016 г.

Защита диссертации

на соискание ученой степени

кандидата физико-математических наук

Мищенко Ильи Никитича

Председатель совета – академик РАН Орликовский А.А.

Зам. председателя – член-корреспондент РАН Лукичев В.Ф.

Ученый секретарь – к.ф.-м.н. Вьюрков В.В.

Заседание диссертационного совета Д.002.204.01 по присуждению ученых степеней при  
Федеральном государственном бюджетном учреждении науки  
Физико-технологическом институте Российской академии наук (ФТИАН РАН)  
от 20 декабря 2016 г.

Председатель на заседании – д.ф.-м.н., член-корреспондент РАН Лукичев В.Ф.  
Ученый секретарь – к.ф.-м.н. Вьюрков В.В.

Присутствуют следующие члены диссертационного совета:

|                      |           |             |
|----------------------|-----------|-------------|
| 1. Лукичев В.Ф.      | д.ф.-м.н. | 05.27.01 фм |
| 2. Вьюрков В.В.      | к.ф.-м.н. | 01.04.10 фм |
| 3. Богданов Ю.И.     | д.ф.-м.н. | 05.27.01 фм |
| 4. Валеев А.С.       | д.т.н.    | 05.27.01 т  |
| 5. Кокин А.А.        | д.ф.-м.н. | 05.27.01 фм |
| 6. Кривоспицкий А.Д. | д.т.н.    | 05.27.01 т  |
| 7. Маишев Ю.П.       | д.т.н.    | 05.27.01 т  |
| 8. Махвиладзе Т.М.   | д.ф.-м.н. | 05.27.01 фм |
| 9. Мордвинцев В.М.   | д.ф.-м.н. | 05.27.01 т  |
| 10. Рудаков В.И.     | д.ф.-м.н. | 05.27.01 т  |
| 11. Рудый А.С.       | д.ф.-м.н. | 05.27.01 фм |
| 12. Сарычев М.Е.     | д.ф.-м.н. | 05.27.01 фм |
| 13. Хренов Г.Ю.      | д.ф.-м.н. | 05.27.01 фм |
| 14. Чуев М.А.        | д.ф.-м.н. | 05.27.01 фм |

**Председатель В.Ф. Лукичев (открытие):** Продолжим нашу работу. Мищенко Илья Никитич «Развитие многоуровневых моделей магнитной динамики однодоменных частиц для описания кривых намагничивания и мёссбауэровских спектров магнитных наноматериалов», специальность 05.27.01 – наша, диссертация на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук. Работа выполнена в нашем институте ФТИАН. Научный руководитель Чуев Михаил Александрович, доктор физ.-мат. наук, заведующий лабораторией физики поверхности микрорелектронных структур Физико-технологического института Российской академии наук. Официальные оппоненты: Любутин Игорь Савельевич, доктор физ.-мат. наук, профессор, зав. отделом ядерных методов и магнитных структур Института кристаллографии им. А.В. Шубникова Российской академии наук, и Киселёва Татьяна Юрьевна, кандидат физ.-мат. наук, доцент кафедры физики твёрдого тела физфака Московского государственного университета им. Ломоносова. Ведущая организация: Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Физико-технологический факультет, кафедра прикладной ядерной физики. Начинаем.

**Ученый секретарь дисс. совета В.В. Вьюрков (знакомство):** Некоторые данные диссертанта. Закончил МГУ им. Ломоносова в 2012 году, поступил в аспирантуру ФТИАН, закончил аспирантуру в 2016 году. С 2012 г. работает во ФТИАН, с 2013 г. – в должности младшего научного сотрудника. Результаты диссертации были рассмотрены на научном семинаре нашего института «Перспективные технологии и устройства микро- и нанорелектроники» и были одобрены и рекомендованы к защите. Выписка заседания прилагается. Позже результаты рассматривались комиссией и была рекомендована названная ведущая организация и оппоненты. С остальными документами я ознакомлю позже, в соответствие со сценарием. Слово предоставляется диссертанту.

**Председатель В.Ф. Лукичев:** Пожалуйста. 20 минут.

*(Мищенко И.Н. излагает содержание диссертационной работы)*

**Председатель В.Ф. Лукичев (предлагает задать вопросы диссертанту):** Вопросы, пожалуйста.

**Вьюрков В.В., к.ф.-м.н., секретарь дисс. совета:** Пожалуйста. Вопросы могут задавать все присутствующие.

**Любутин И.С., д.ф.-м.н., официальный оппонент:** Поясните, пожалуйста: в  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  есть точка Морина. Во-первых, проявляется ли она в наночастицах и как влияет на характер мёссбауэровских спектров, потому что выше и ниже неё либо есть слабый ферромагнетизм, либо он исчезает.

**Мищенко И.Н.:** В малых частицах, в отличие от объёмных материалов, её нет.

**Любутин И.С., д.ф.-м.н., официальный оппонент:** При какой температуре? Может, просто температура сдвигается? В объёмном материале она при комнате...

**Мищенко И.Н.:** Нет, были работы, в которых показывается, что этот эффект исчезает с уменьшением размера частиц.

**Лукичёв В.Ф., д.ф.-м.н, председатель:** Ещё вопросы, пожалуйста.

**Богданов Ю.И., д.ф.-м.н., член дисс. совета:** Вы говорите, что, наряду с прецессионными, есть и нутационные эффекты. А проявляются ли они как-нибудь в мёссбауэровских спектрах? Можно ли их разделить?

**Мищенко И.Н.:** Проявляются следующим образом. Вот описание данных в ферромагнитной модели с дополнительным вкладом слабомагнитных состояний. Это принесённый вклад, не укладывающийся в модель, и описание несогласованное. Вклад низкоэнергетичных нутаций близок к описанию в ферромагнитной модели, показанному здесь зелёной линией, а высокоэнергетичные нутации дают тот самый вклад слабомагнитных состояний, который удаётся согласованно описать в единой модели антиферромагнитных частиц.

**Богданов Ю.И., д.ф.-м.н., член дисс. совета:** Прецессия низкочастотная, а нутации более высокочастотны?..

**Мищенко И.Н.:** Нутации более высокочастотны, да.

**Богданов Ю.И., д.ф.-м.н., член дисс. совета:** А нутацию от шума Вы как отделяете?..

**Мищенко И.Н.:** Нутации – это и есть шум.

**Богданов Ю.И., д.ф.-м.н., член дисс. совета:** Но у Вас же воспроизводимые результаты...

**Мищенко И.Н.:** Нутации – это тепловые возбуждения. Это возможные движения магнитных моментов антиферромагнитной частицы, которые возбуждаются наряду с основным состоянием при повышении температуры. Основное состояние в антиферромагнетике – это противоположная ориентация двух магнитных моментов вдоль лёгкой оси. Когда температура повышается, начинают возбуждаться другие состояния, и вопрос как раз в том, что это за состояния и как их описать. Если мы остаёмся в рамках макроскопического представления, то такими движениями будет набор нутационных орбит – одновременные колебания по полярному и азимутальному углу, зависящие от двух параметров: энергии моментов и их суммарной проекции на лёгкую ось. Это двухпараметрическое множество и будет определять спектр возбуждений

антиферромагнитной частицы. И это как раз основной теоретический результат. Не мой, правда...

**Лукичёв В.Ф., д.ф.-м.н., председатель:** Хорошо, ещё вопросы...

**Богданов Ю.И., д.ф.-м.н., член дисс. совета:** Можно ещё такой вопрос: вы говорите о квантовых моделях для наночастиц – макроскопических объектов? Поясните, пожалуйста.

**Мищенко И.Н.:** Вы правы, на квантовом языке мы описываем макроскопические объекты. Естественно, при этом мы находимся в классическом пределе и квантовая механика просто представляет более простой (или другой) путь расчёта тех макроскопических характеристик, которым могут быть найдены при непрерывном описании. Однако в принципе модель позволяет рассматривать и квантовые эффекты. Но для наших систем (даже для частиц 3 нм – это сотни и тысячи атомов) они не проявляются. Но если бы у нас были кластеры...

**Богданов Ю.И., д.ф.-м.н., член дисс. совета:** Квантовые эффекты непосредственно не удаётся наблюдать?

**Мищенко И.Н.:** Для рассматриваемых систем – нет, поскольку квантовая модель даёт те же результаты, что и макроскопическая. Но такие эффекты можно рассчитать. В антиферромагнитных частицах наблюдается скейлинг – количество уровней, попадающих в макроскопический барьер, зависит от двух параметров: отношения энергии анизотропии частицы к обмену и от спина частиц. И для любого спина можно подобрать такое малое отношение анизотропии к обмену, чтобы квантовые эффекты наблюдались. С другой стороны, если фиксировать отношение  $K$  к  $A$ , то Вы всегда можете подобрать такой спин, что выйдете на макроскопику. Здесь мы имеем дело с макроскопическим пределом.

**Лукичёв В.Ф., д.ф.-м.н., председатель:** Хорошо, ещё вопросы...

**Богданов Ю.И., д.ф.-м.н., член дисс. совета:** Скажите, пожалуйста, у Вас – вероятности, но у матрицы плотности есть недиагональные элементы, когерентность... В своих расчётах Вы как-то учитываете эволюцию недиагональных элементов? И ещё, сопутствующий вопрос: рассматриваемый Вами формализм супероператоров, механизмы релаксации относятся к наночастице в целом, или к отдельным атомам, отдельным спинам?..

**Мищенко И.Н.:** Давайте сначала с первым вопросом. Так, я уже забыл начало...

**Богданов Ю.И., д.ф.-м.н., член дисс. совета:** Недиagonalные элементы матрицы плотности...

**Мищенко И.Н.:** А да! Дело в том, что мы не рассматриваем динамику квантово-механической задачи, мы рассматриваем квантовую статистику и потому ограничиваемся

расчетом только средних значений. Поэтому никакой динамики волновых функций мы не рассматриваем. Что касается... Вторая часть вопроса?..

**Богданов Ю.И., д.ф.-м.н., член дисс. совета:** Ну, хорошо, спасибо!

**Мищенко И.Н.:** Извиняюсь!..

**Лукичёв В.Ф., д.ф.-м.н., председатель:** Ну, хорошо, будет ещё возможность выступить с дискуссией. У меня вопрос: то, что в  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  квазиклассика и квантовая механика дают одно и то же, как раз и есть следствие того, о чём Вы сейчас говорили?..

**Мищенко И.Н.:** Да, это проявление макроскопического предела квантово-механической модели. Это важный результат. Он не сразу получился. Мы к нему долго шли.

**Вьюрков В.В., к.ф.-м.н., секретарь дисс. совета:** А по какому параметру?..

**Мищенко И.Н.:** По спине... по макроспину.

**Вьюрков В.В., к.ф.-м.н., секретарь дисс. совета:** Но обычно совпадает, когда очень густые уровни...

**Мищенко И.Н.:** Да, именно так и есть. Это одно и то же. Вы увеличиваете спин, густота уровней повышается, и Вы автоматически переходите к макроскопике, к непрерывному распределению физических величин.

**Вьюрков В.В., к.ф.-м.н., секретарь дисс. совета:** Хорошо, но эти расчёты показывают, что можно использовать континуальную модель, она ведь более простая?.. Почему Вы всё-таки привлекаете квантовую модель? В данном случае преимуществ не видно...

**Мищенко И.Н.:** Потому что это интересно. Потому что всегда интересно понять, как соотносятся два взгляда на мир. Есть квантовый взгляд, есть макроскопический, они оказываются эквивалентными. И это очень хорошо.

**Вьюрков В.В., к.ф.-м.н., секретарь дисс. совета:** А удалось выявить какие-то случаи, например, по размеру частиц, когда квантовый подход оказывается принципиально важным?

**Мищенко И.Н.:** Тут мы ещё раз возвращаемся к вопросу о дискретности уровней. Вы понижаете спин... если Вы работаете с кластерами в 30 атомов, то квантовые эффекты будут. Причём в антиферромагнитной модели, несмотря на огромную густоту уровней по сравнению с ферромагнетиком, классический предел вырабатывается намного позже, чем для ферромагнитной частицы, как это ни странно. Нужны очень большие величины спинов, чтобы согласовать две модели [квантовую и континуальную антиферромагнитные].

**Лукичёв В.Ф., д.ф.-м.н., председатель:** Хорошо! Вопросов больше нет?.. Продолжим. Владимир Владимирович?..

**Вьюрков В.В., к.ф.-м.н., секретарь дисс. совета:** Поступаем согласно сценарию. Сейчас слово предоставляется научному руководителю. В принципе, это по желанию, но Михаила Александровича всегда приятно послушать.

**Чуев М.А., д.ф.-м.н., член дисс. совета, научный руководитель (*выступление научного руководителя*):** Спасибо! Я не буду говорить про работу, поскольку это ваша задача (и моя – как члена совета) обсуждать работу как таковую, я про Илью скажу. ... (*Отзыв научного руководителя прилагается*) Я доволен, что такой у нас с ним союз получился, и сегодняшнее выступление – это результат этой деятельности, призываю голосовать «за».

**Вьюрков В.В., к.ф.-м.н., секретарь дисс. совета:** Спасибо! Далее рассмотрим некоторые материалы. Главный документ, который был представлен в диссертационный совет, – заключение по кандидатской диссертации Мищенко Ильи Никитича, оформленное в виде выписки из протокола заседания семинара «Перспективные технологии и устройства микро- и наноэлектроники» в Физико-технологическом институте. Отзыв положительный. В нём отмечены все необходимые достоинства работы: это актуальность темы, научная новизна, достоверность полученных результатов, подтверждены положения, выносимые на защиту, показана практическая значимость работы, отмечен личный вклад автора и рассмотрена полнота изложения материала в печати. Заключение состоит в том, что диссертация рекомендована к защите. Выписка из протокола составлена учёным секретарём семинара, старшим научным сотрудником, кандидатом физ.-мат. наук Мяконьких и утверждена директором Физико-технологического института Лукичёвым.

Далее мы рассматриваем отзывы, поступившие на автореферат и диссертацию, прежде всего, – ведущей организации. В качестве ведущей организации выступил Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ». Отзыв составлен доктором физ.-мат. наук, профессором кафедры прикладной ядерной физики Филипповым и утверждён ректором МИФИ, доктором физ.-мат. наук, профессором Стрихановым. Отзыв положительный, отмечены необходимые свойства диссертации: актуальность, перспективность, возможность применения в дальнейших исследованиях, достоверность результатов, подтверждён личный вклад автора и приведены некоторые замечания, на которых мы и остановимся. Замечаний много, их восемь штук, так что аудитории придётся набраться терпения...

Вот такие недостатки усмотрела ведущая организация: на стр. 7 автореферата в подписи к рис.1 выражение «в поле её собственной магнитной анизотропии» не отражает сути явления, а в выражении «распределение относительной величины сверхтонкого поля

на атомных ядрах в результате прецессионного движения магнитных моментов частиц» не указано, от чего зависит распределение. Это, видимо, по оформлению...

**Мищенко И.Н.:** Не совсем... В «поле собственной магнитной анизотропии» понимается взятый с обратным знаком градиент энергии, как общее определение поля, а что касается распределения некоторой физической величины, то, по определению, это есть плотность вероятности для системы оказаться в состоянии с заданным значением распределённой величины, поэтому, распределение поля есть функция поля.

**Вьюрков В.В., к.ф.-м.н., секретарь дисс. совета:** Хорошо! Второе замечание: как в тексте диссертации, так и в тексте автореферата используются упрощенные выражения, например, вместо общепринятого определения «ось легкого намагничивания» автор использует выражение «легкая ось».

**Мищенко И.Н.:** Да, грешен!

**Вьюрков В.В., к.ф.-м.н., секретарь дисс. совета:** Так, третье замечание: На стр.8 автореферата в разделе 1.7 выражение «которые сводятся к линейно-алгебраическим операциям с блочно-трёхдиагональной матрицей системы в расширенном пространстве электронных и ядерных переменных» может относиться как к операторам, так и к выражениям, автор не уточняет.

**Мищенко И.Н.:** Оно относится к выражениям, следовало уточнить.

**Вьюрков В.В., к.ф.-м.н., секретарь дисс. совета:** Хорошо! Опять: на некой странице автореферата, на неких страницах диссертации подписи к рисункам написаны выражениями, которые усложняют понимание сути явления. Это тоже оформление. Ну что диссертант может сказать, кроме как признать свою вину?..

Так, опять, на странице такой-то пропущены слова «энергия бóльшая», а на странице такой-то строки дублируются. Тоже по оформлению.

**Мищенко И.Н.:** Да, конвертер в pdf подвёл.

**Вьюрков В.В., к.ф.-м.н., секретарь дисс. совета:** Главу 3 следовало бы дополнить вводным разделом, поясняющим суть рассматриваемой физической задачи, для облегчения восприятия последующего математического изложения.

**Мищенко И.Н.:** Да, я согласен. Я распределил обзор по всей главе, что не очень хорошо. В дальнейшем надо учесть.

**Вьюрков В.В., к.ф.-м.н., секретарь дисс. совета:** Так, здесь перемешаны замечания по оформлению и по сути диссертации. По оформлению: Термины «ультратонкий» и «мелкодисперсный» порошок не соответствуют общепринятой терминологии.



**Мищенко И.Н.:** Да, я чересчур вольно обращался с некоторыми словами. Надо быть аккуратнее.

**Вьюрков В.В., к.ф.-м.н., секретарь дисс. совета:** Ну как Маяковский! Не показана связь магнитной структуры с атомно-кристаллической. Не проведено сравнение метода оценки размеров наночастиц по начальному наклону их равновесных кривых намагничивания, который обосновывает автор, с другими методами определения размеров частиц.

**Мищенко И.Н.:** По первой части: связь магнитной структуры с кристаллической. Она, действительно, рассматривается очень поверхностно просто потому, что основной вклад в анизотропию для малых частиц даёт форма, а не устройство кристаллической структуры, и именно этот вклад мы, как правило, считаем основным.

Что касается сравнения с другими методами, то это вопрос очень общий. Имеется в виду начальный участок равновесной кривой намагничивания. Дело в том, что это не я определяю размер по форме [кривой], а с начала [XX] века, когда формула Ланжевена была выведена им для парамагнитных ионов, эта форма кривой применялась для описания совершенно разных типов материалов, в том числе магнитных наночастиц, обладающих собственной магнитной анизотропией. Я же показал, что сама магнитная анизотропия в случае малых полей, действительно, не играет существенной роли и поэтому, в принципе, на начальном участке можно основываться на формуле Ланжевена, хотя дальше отличия становятся существенными.

Что же касается согласования с другими экспериментальными методами, например, микроскопическими, то это вопрос очень большой и широко обсуждаемый в литературе: почему данные магнитометрических измерений не всегда согласуются с данными микроскопии, и вопрос этот выходит далеко за рамки моей диссертации.

**Вьюрков В.В., к.ф.-м.н., секретарь дисс. совета:** Согласны?.. Это было последнее замечание. В целом, конечно, отзыв хвалебный и рекомендовано поддержать эту работу на защите.

Поступили отзывы на автореферат. Я начну с отзыва иностранного, не часто они у нас бывают... В данном случае: Европейский Центр Синхротронных Исследований, сотрудник Центра Александр Чумаков прислал отзыв. Отзыв положительный, замечаний не содержит.

Следующий отзыв поступил от доктора химических наук, профессора химического факультета МГУ Перфильева. Отзыв положительный, замечаний не содержит.

Поступил отзыв от профессора кафедры аналитической химии Санкт-петербургского государственного университета, доктора физико-математических наук Семёнова. Тоже отзыв положительный и замечаний не содержит.

Отзыв от доктора физико-математических наук, ведущего научного сотрудника Института физики твёрдого тела Седых содержит некоторые замечания. (Отзыв положительный.) Первое замечание такое: в автореферате в разделе 2.1 дано описание нестандартной магнитной динамики ферромагнитных частиц во внешнем поле. Хорошо бы указать в автореферате, в чём выражается эта нестандартность и чем она вызвана.

**Мищенко И.Н.:** Я уже упоминал в докладе, что нестандартность связана в первую очередь с тем, что скорость прецессии магнитного момента магнитоанизотропной наночастицы в поле зависит от положения этого момента на орбите, то есть, меняется вдоль траектории, что не позволяет использовать стандартное распределение Гиббса для описания термодинамики таких систем. Необходимо явно учитывать изменение скорости вращения вдоль прецессионных орбит. Я не написал об этом в автореферате, потому что основной моей целью была квантовая модель.

**Вьюрков В.В., к.ф.-м.н., секретарь дисс. совета:** Спасибо! Второе замечание: в работе предложена и разработана методика диагностики магнитных наноматериалов на основании температурных и полевых зависимостей их мёссбауэровских спектров, что позволило определить разброс частиц по размерам. Хорошо было бы определить этот разброс прямым электрон-микроскопическим методом (ТЕМ) и сравнить экспериментальные данные с данными предложенной автором модели.

**Мищенко И.Н.:** Да, этот вопрос уже поднимался здесь. Конечно, если бы у нас были исходные данные по электронной микроскопии, мы бы это сделали. Но таких данных у нас, к сожалению, не было. А вопрос согласования «магнитометрических» и, скажем, «электронно-микроскопических» размеров, как я уже говорил, очень большой, и я не претендую в данной работе на его полное решение. Хотя, конечно, сравнение бы мы провели, если бы данные были.

**Вьюрков В.В., к.ф.-м.н., секретарь дисс. совета:** Итак, мы рассмотрели отзыв ведущей организации, отзывы на автореферат, теперь можем переходить к отзывам оппонентов.

**Лукичёв В.Ф., д.ф.-м.н., председатель:** У нас первый оппонент – Любутин Игорь Савельевич, доктор физ.-мат. наук, профессор, заведующий Отделом ядерных методов и магнитных структур Института кристаллографии имени Шубникова. Пожалуйста.

**Любутин И.С., д.ф.-м.н., официальный оппонент (выступление официального оппонента):** Спасибо! ... (*Отзыв официального оппонента прилагается*) Вот основные

результаты работы. У меня есть несколько замечаний: по-видимому, описанные в работе модели (трактовки мессбауэровских спектров) в большинстве случаев относятся к диэлектрическим магнетикам, в которых магнитный момент локализован. В «тяжелофермионном» соединении  $\text{CePdSn}$  магнитное поле на ядре диамагнитного олова индуцируется спин-поляризованными делокализованными электронами. Вероятно, физика релаксации этих процессов отличается от ситуации в материалах с железом? Кроме того, не совсем понятно как тут проявляется понятие однодоменности наночастиц.

Второе замечание: с точки зрения терминологии неясен переход от «спина» к «магнитному моменту» и наоборот. При сопоставлении квантовой и классической моделей автор употребляет такие выражения как «макроспины», «большие спины магнитных подрешеток». Необходимо более четкое определение этих понятий. Чем отличаются «большие спины» от магнитных моментов подрешеток?

Третье: для более четкой последовательности изложения материала, решение задачи на собственные значения релаксационной матрицы, построенное в первой главе, стоило обобщить на случай наличия внешнего магнитного поля, как во второй главе.

Дальше по мелочи: подписи к рисункам, заимствованным из других работ, не содержат ссылок на эти работы.

Дальше: в целом диссертация и автореферат написаны хорошим языком, однако имеются немногочисленные опечатки, неточности и жаргонные выражения («микромагнитные вычисления», «тяжелофермионное соединение»), в некоторых формулах нет пояснений к приведенным индексам.

Сделанные замечания в большей части носят характер пожеланий и не влияют на общую высокую оценку диссертации. Полученные в работе результаты следует считать достоверными, а выводы диссертации достаточно обоснованы и обладают новизной.

Заключение. По моему мнению, диссертационная работа И.Н. Мищенко удовлетворяет всем требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Автореферат и публикации по теме диссертационной работы полностью отражают ее содержание.

Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой содержится решение ряда актуальных и задач физики приборов на квантовых эффектах. С помощью новой методики диагностики магнитных частиц и кластеров нанометровых размеров впервые исследованы магнитные флуктуации в ряде соединений, представлены убедительные свидетельства фазы гематита в наночастицах оксида железа. Полученные новые результаты представляются вполне надежными и

достоверными и могут быть учтены при разработке новых устройств и приборов сверхвысокочастотной радиотехники и нанoeлектроники.

Считаю, что в своей работе И.Н. Мищенко проявил широкую эрудицию в нескольких научных направлениях, получил интересные как в научном, так и в прикладном отношении результаты, а также сделал по ним обоснованные выводы. Содержание работы и форма её представления соответствуют требованиям ВАК, пунктов таких-то, а её автор Мищенко Илья Никитич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физ.-мат. наук по специальности 05.27.01 – Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах.

Всё!

**Лукичёв В.Ф., д.ф.-м.н, председатель:** Спасибо! Ответьте, пожалуйста, на замечания.

**Мищенко И.Н.:** Да! Что касается CePdSn, то, возможно, что делокализованные электроны влияют на поле на ядре атома олова. Но мы этот механизм не рассматриваем, а связываем магнитный момент на ядре немагнитного олова с магнитными атомами церия. И, соответственно, те релаксационные явления, которые мы восстанавливаем (описываем) по температурной эволюции мёсбауэровских данных, мы связываем с флуктуациями магнитных моментов именно [атомов] церия, связанными при низких температурах в антиферромагнитные домены. А при высоких – либо между ними есть сильная связь через РККИ-взаимодействие, либо (при совсем высокой температуре, близкой к комнатной) она разрушается совсем и мы имеем изолированные магнитные атомы, уже практически не участвующие в коллективных процессах. Это что касается первого замечания.

Второе замечание – по поводу смешения понятия «спина» и «магнитного момента». Действительно, есть эта проблема, я её так и не сумел преодолеть в своей диссертации. Ясно, что спин – это механический момент, а магнитный момент – это магнитный момент, связаны они через гиромангнитное отношение жёстко. При этом теорию удобнее писать с точки зрения спинов, а на практике проявляется магнитный момент, и эту нестыковку я не прописал...

**Любутин И.С., д.ф.-м.н., официальный оппонент:** Да, но спиновый магнитный момент – это тоже понятие понятное (понятно сформулированное). Но спиновый магнитный момент – это одно, а общий магнитный момент, намагниченность – это другое. Как связан магнитный момент частицы со спином атома железа? Я это имел в виду.

**Мищенко И.Н.:** А!.. Теперь понял... Имеется в виду суммарный спин всей частицы. Поскольку в ферромагнетике, помимо магнитного дипольного взаимодействия

существует ещё обменное взаимодействие между атомами, то это сильное обменное взаимодействие связывает атомы так, что все атомы [(атомные моменты)] «смотрят» практически в одном направлении. Небольшое рассогласование связано с температурным спадом намагниченности, тем не менее, в среднем, все [атомные] моменты «смотрят» в одном направлении.

**Любутин И.С., д.ф.-м.н., официальный оппонент:** Что такое «большой спин»?

**Мищенко И.Н.:** Это суммарный магнитный [(– механический)] момент всей частицы, который состоит из [моментов] отдельных атомов, жёстко или более-менее жёстко связанных между собой.

**Богданов Ю.И., д.ф.-м.н., член дисс. совета:** Он в сотни раз превышает [моменты отдельных атомов], да?

**Мищенко И.Н.:** В сотни, тысячи, миллионы...

**Любутин И.С., д.ф.-м.н., официальный оппонент:** Но квантовая механика распространяется на эти «большие спины», или это уже классика?

**Мищенко И.Н.:** Распространяется. Смысл вот в чём. С одной стороны, это макроскопическая система, которую можно описывать классически. Но то же самое можно сделать квантово-механически. При этом, если Ваша частица, скажем, миллион атомов, то не надо брать миллион, возьмите пятьдесят и получите тот же самый результат, как для миллиона.

**Любутин И.С., д.ф.-м.н., официальный оппонент:** Ну, слава Богу, если так получается! Только надо отчёт себе в этом отдавать...

**Мищенко И.Н.:** Безусловно! Всегда, когда я работаю с такими системами, я убеждаюсь, что по спине я вышел на макроскопический предел; что увеличение спина, скажем, от пятидесяти до ста не влияет на результаты расчёта. Только в этом пределе я провожу расчёты.

**Лукичёв В.Ф., д.ф.-м.н, председатель:** Так! Вы удовлетворены ответом?.. Ещё какие замечания?

**Мищенко И.Н.:** Так, третье замечание (абсолютно верное), что вот это рассмотрение [на слайде] следовало провести при наличии внешнего поля. Просто, когда ставилась эта задача, я ещё не работал с полем, и поэтому решал задачу без поля. А это, конечно, надо сделать, и это будет иметь большое значение, особенно для описания динамических процессов в системах таких частиц, например, петель гистерезиса. Так что я обязательно займусь этим попозже.

Так, все, в общем-то. Четвёртое, пятое замечания – я согласен.

**Лукичёв В.Ф., д.ф.-м.н, председатель:** Так, всё!.. Спасибо!

У нас второй оппонент – Киселёва Татьяна Юрьевна, кандидат физ.-мат. наук, доцент кафедры физики твёрдого тела физфака МГУ им. Ломоносова. Пожалуйста!

**Киселёва Т.Ю., к.ф.-м.н., официальный оппонент (*выступление официального оппонента*):** Уважаемый председатель, уважаемые члены диссертационного совета, разрешите, прежде всего, сказать, что было очень приятно оппонировать диссертацию выпускника Физического факультета Московского университета, который столь активно и продуктивно продолжает свою жизнь в науке. ... (*Отзыв официального оппонента прилагается*) Я, как оппонент, сделала по работе несколько замечаний, часть из которых уже прозвучала в отзывах предыдущего оппонента и ведущей организации, озвучу свои.

В литературном обзоре при осуждении свойств наночастиц не указано, о каких размерах идёт речь и что понимается под понятием «наночастица». Однако известно, что для железосодержащих частиц размеры однодоменности могут быть разные в зависимости от состава.

Второе – не обсуждаются возможные зернограничные или поверхностные эффекты, их возможное влияние на форму мёссбауэровских спектров.

Третье – модельные расчёты проводятся автором для простых однофазных и бездефектных систем частиц. Полезным было бы обсуждение эффектов, привносимых наличием фазовой гетерогенности, неоднородности по составу, предложить пути дальнейшего развития защищаемых положений.

В литературном обзоре обсуждаются имеющиеся к настоящему времени физические модели интерпретации мёссбауэровских спектров наномангнетиков с указанием фамилий зарубежных авторов, которыми они и названы. Однако, мне кажется, было бы важным указать известных отечественных учёных, заложивших основы теоретического описания наноструктурированных материалов и, в частности, тех моделей, которые используются в расчётах. (Впрочем, я вижу, что при подготовке доклада Илья учёл это замечание.)

Считаю, как экспериментатор, что необходимо указывать, кем были синтезированы исследуемые соединения или источник их происхождения. (Для людей, которые это делают, это очень важно и нужно.)

Как я уже говорила, технически диссертация прекрасно оформлена, написана грамотно и аккуратно. Однако в тексте встречаются жаргонизмы. Например: «ультратонкий порошок оксида железа», «датчики взаимодействия», «Кондо-соединение», «снос в направлении локальных минимумов». Кроме того, в ряде предложений встречаются формулировки без указаний ссылок на источники информации: «хорошо

известной многоуровневой модели», «недавно разработанные модели». В тексте встречается также ряд опечаток, которые отмечены в отзыве.

Отсутствие списка сокращений затрудняет восприятие текста.

Наконец, хотелось бы также видеть в работе освещение вклада диссертанта в копилку интеллектуальных продуктов – программ аналитической обработки мёссбауэровских спектров – в виде их названий, ссылок на информационный ресурс, где они расположены, или на патент, если он имеется. (Для людей, работающих в области мёссбауэровской спектроскопии, всегда полезно знать, какую информацию можно получить из их данных.)

Указанные замечания не снижают общей высокой оценки диссертации. Представленная работа Мищенко Ильи Никитича по объему, актуальности и практической значимости полностью отвечает требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации и постановлению Правительства Российской Федерации «О порядке присуждения ученых степеней», а её автор, Мищенко Илья Никитич, заслуживает присуждения искомой степени кандидата физ.-мат. наук по специальности 05.27.01.

Оппонент Киселёва Татьяна Юрьевна.

**Лукичёв В.Ф., д.ф.-м.н, председатель:** Спасибо! Ответьте, пожалуйста.

**Мищенко И.Н.:** Я в целом согласен с замечаниями. Выделю только то, что касается неописания ряда эффектов, таких как влияние зернограничного слоя и так далее. Это всё намного более сложные эффекты, которые, конечно, стоит учитывать, но только после того как построена полноценная количественная теория самой однодоменной наночастицы (остова), а уже потом учитывать поверхность, дефекты и так далее.

А что касается моих [интеллектуальных] продуктов, то они расположены на компьютерах моей лаборатории, их названия имеют значение только для меня, а патента, к сожалению, пока нет (хотя очень хотелось бы), но это требует огромной дополнительной работы. Пожалуй, всё.

**Лукичёв В.Ф., д.ф.-м.н, председатель:** Хорошо. Спасибо! Мне, как выпускнику физфака, было приятно Вас обоих слушать. Теперь дискуссия.

**Вьюрков В.В., к.ф.-м.н., секретарь дисс. совета:** Да, теперь дискуссия общая: имеет право выступить любой присутствующий в зале.

**Чувев М.А., д.ф.-м.н., член дисс. совета, научный руководитель:** Ну, давай, я! (Для затравки.) Я молчал по поводу работы. Но на два замечания за Илью я отвечаю.

Квантовая механика, Володь [**Вьюрков В.В., к.ф.-м.н., секретарь дисс. совета**], всегда удобнее для расчётов. (В такой постановке, Юр [**Богданов Ю.И., д.ф.-м.н., член**

**дисс. совета]**, когда не надо считать траекторий: там есть такие же уравнения движения, но здесь они не нужны.) Почему? Потому что частоты высокие по сравнению с [обратным] временем жизни «мёссбауэра». А тогда средние автоматически получаются, не надо думать ни о плотности состояний, ни о чём [другом].

А второе замечание по поводу [квантовых эффектов]. Опять же, Илья работал с многоуровневыми моделями и ему на весь остальной эксперимент «плевать». Юр [Богданов Ю.И., д.ф.-м.н., член дисс. совета], есть квантовые эффекты. Собственно, вся антиферромагнитная тематика у меня началась с того, что я описывал квантовые эффекты, которые наблюдались в мёссбауэровской спектроскопии в чистом виде. Ну а Илья работал уже с материалами, где всё континуально. Всё!

**Лукичёв В.Ф., д.ф.-м.н, председатель:** Спасибо! Кто ещё?..

**Поликарпов М.А., д.ф.-м.н., НИЦ КИ:** Поликарпов Михаил Алексеевич, доктор физ.-мат. наук, НИЦ «Курчатовский институт». С Ильёй мы работали с самого начала, взявши его студентом–дипломником. И [вот] что я хотел в его работе отметить.

Во-первых, за каждой главой, за каждым элементом, за каждым графиком стоит реальная экспериментальная задача. Илья большой [(абстрактной)] теории не создавал, он всегда работал с экспериментаторами, он никогда не умствовал. Поэтому вопрос, грубо говоря, какая там [модель] – квантовая теория или классическое приближение – перед Ильёй, как правило, не стоял (просто не было времени). Задача была быстро описать экспериментальные данные, извлечь параметры и двигаться дальше, и он с этим справлялся.

Ещё один момент, который здесь не прозвучал, но который очень важен. Описание мёссбауэровских спектров магнитных частиц и кривых намагничивания – это история, которая длится лет пятьдесят (может быть, сорок), и, в принципе, все картинки очень похожи. И Илья не отметил то новое, что возникло в результате этой [(его)] работы. На мой взгляд, это первый случай использования теории в практических целях.

Илья очень мало говорил об основной задаче, которую мы решали с ним, – это задача о биодegradации магнитных наночастиц. Обычно исследователь берёт частицы, измеряет и оправдывает свою теорию, подгоняя расчёт под эксперимент. В нашем случае мы не знаем, что происходит. Это, действительно, очень сильная физиологическая задача. Наночастицы живут в организме максимум 3 месяца, через 3 месяца они превращаются в железосодержащие белки, они перестают быть. И проследить, что происходит с ними на этом пути невозможно: нельзя извлечь их на этой стадии и посмотреть, что там находится. Единственное, что у нас было, – это мёссбауэровские спектры органов животных после введения [наночастиц в организм] и их кривые намагничивания. И, по существу, эту



информацию проверить ничем [другим] мы не могли. И оказалось, что, действительно, можно извлекать из этих данных физические параметры и строить по ним физиологические кривые с развёрткой по времени. То есть это первый случай, когда те «умствования», которые начались, наверное, с Афанасьева, были применены на практике. Так что работа очень актуальная и именно благодаря Илье во многом сделанная.

Среди списка статей, которые приводились (16 статей), есть экспериментальные. В них всегда много соавторов (физиологи, цитологи). Но среди них есть несколько, где Илья по праву должен быть ключевым автором. Это те работы, где были неудачные экспериментальные моменты, где мы думали, что что-то не получилось, а он умудрялся «вытащить» из них физику. То есть, мыслит он как физик, и поэтому я предлагаю поддержать его как кандидата, и очень благодарен ему за его вклад в нашу работу. Спасибо!

**Лукичёв В.Ф., д.ф.-м.н, председатель:** Спасибо! Ещё кто-нибудь хочет выступить?..

**Богданов Ю.И., д.ф.-м.н., член дисс. совета:** Я тоже хочу добавить (в том числе, и как выпускник физфака) и хочу, прежде всего, присоединиться к мнению, которое уже высказала Татьяна Юрьевна и также Игорь Савельевич. Я имею в виду то обстоятельство, что Илье очень посчастливилось быть воспитанником научной школы, научного коллектива, который возглавляет Михаил Александрович Чуев. И выступление самого Михаила Александровича подтвердило, что, по мнению научного руководителя, питомец оказался достойным. Также хочу отметить, что Илья хорошо держался, выступал, отвечал на вопросы достаточно уверенно. И, что мне особенно импонирует, чувствуется его внутренняя заинтересованность в науке, в процессе научного творчества, поэтому я с удовольствием присоединяюсь к высказанному неоднократно мнению и предлагаю поддержать данную работу.

**Лукичёв В.Ф., д.ф.-м.н, председатель:** Спасибо! Кто ещё хочет выступить?.. Ну, я хотел, но не буду. И думаю, мы на этом завершим дискуссию. И что у нас теперь?..

**Вьюрков В.В., к.ф.-м.н., секретарь дисс. совета:** Теперь заключительное слово диссертанта.

**Мищенко И.Н.:** В заключении я хотел бы поблагодарить тех людей, с которыми мне довелось работать, тех, кто шли впереди меня, прокладывая мне дорогу. Это мои коллеги-экспериментаторы, на данных которых я практикуюсь и упражняюсь и пытаюсь строить свою физику: это Габбасов Рауль Рамилевич и его научный руководитель Валерий Михайлович Черепанов. Особенно мне хочется отметить вклад Михаила Алексеевича Поликарпова, чьи научные идеи и неустанная настойчивость зачастую

делают невозможное возможным и позволяют такие задачи рассматривать и решать, которые без него, без его таланта было бы даже помыслить себе невозможно.

Конечно, мне хочется поблагодарить моих оппонентов: Игоря Савельевича Любутина и Татьяну Юрьевну Киселёву, которые взяли на себя большой труд по ознакомлению с работой и по её оценке, а также формулировке возможных путей развития, того, куда стоит стремиться дальше.

Я хочу и считаю своим долгом здесь вспомнить Александра Александровича Орликовского, к сожалению, ушедшего от нас в этом году. Несмотря на то, что мы мало с ним контактировали по моей работе, я всегда чувствовал его живой интерес к тому, что я делаю, ко мне лично, и это было очень важно, особенно на этапе становления.

Конечно, я хочу поблагодарить Михаила Александровича Чуева, моего научного руководителя. Как уже говорилось, мне повезло попасть в уникальную среду. Мне кажется, что в Михаиле Александровиче я нашёл тот идеал учёного, который был во мне ещё со школьных лет. Того человека, который глубоко понимает единство теории и эксперимента, который легко оперирует математическим инструментарием и понятиями и при этом его идеи остаются очень прозрачными и очень ясными. И при этом [он] человек, который всегда готов то, что знает, дать другому, поделиться с другим. Это очень редко встречается, мне кажется.

И конечно, членов совета за их труд по оценке моей работы.

**Лукичёв В.Ф., д.ф.-м.н., председатель:** Спасибо!

**Вьюрков В.В., к.ф.-м.н., секретарь дисс. совета:** Спасибо! Тогда приступаем к голосованию. Вначале выборы счётной комиссии. Поскольку прежний состав счётной комиссии (на предыдущей защите) выступил замечательно, я не вижу смысла его менять: Богданов, Чуев и Маишев. Кто за это предложение?.. Все. Хорошо! Тогда объявляется перерыв на голосование.

**Счетная комиссия приступает к работе.**

**Председатель счетной комиссии Ю.И. Богданов (зачитывает результат голосования):** Разрешите зачитать протокол заседания счётной комиссии. Присутствовало на заседании 14 членов совета, в том числе по профилю диссертации 7. Было роздано 14 бюллетеней, осталось не роздано 6 бюллетеней. Вскрытие урны показало, что в урне оказалось 14 бюллетеней. «За» – 14, «против» – нет, недействительных нет.

**Лукичёв В.Ф., д.ф.-м.н., председатель:** Голосуем за протокол. Единогласно. Можем поздравить!

**Аплодисменты в зале.**

**Вьюрков В.В., к.ф.-м.н., секретарь дисс. совета:** Теперь обсуждаем проект заключения. У меня есть замечания, касающиеся личного вклада диссертанта. На мой взгляд, вклад изложен излишне скромно: «проведение расчётов», «разработка программного комплекса», «обработка данных»... Наверное, по поводу данных – «интерпретация данных».

**Лукичёв В.Ф., д.ф.-м.н., председатель:** Вот то, о чём говорил Игорь Савельевич, об актуальности, – на первое место.

**Вьюрков В.В., к.ф.-м.н., секретарь дисс. совета:** Потом, наверное, «разработка физических моделей». «Разработка программного комплекса» или «проведение расчётов» – это тоже должно присутствовать. Но, всё-таки, программы Ваши, в разработке моделей участвовали...

Так, ещё замечания?..

**Маишев Ю.П., д.т.н., член дисс. совета:** По практическому применению то, что говорили, выделить.

**Вьюрков В.В., к.ф.-м.н., секретарь дисс. совета:** Так, Илья, отметить практическое применение. Но это несущественные замечания.

**Лукичёв В.Ф., д.ф.-м.н., председатель:** Да, и я предлагаю принять этот проект за основу, которая потом будет доработана. Кто за такое предложение? Единогласно. Ещё раз поздравим!

**Аплодисменты в зале.**

Зам. председателя диссертационного совета,

член-корр. РАН

Ученый секретарь диссертационного совета,

к.ф.-м.н.



Лукичев В.Ф.

Вьюрков В.В.

20.12.2016