

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук Баулина Романа Алексеевича на тему: «Поляризационные эффекты в мёссбауэровской и рентгеновской резонансной магнитной рефлектометрии магнитных многослойных структур» по специальности 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния»

Диссертационная работа Баулина Р.А. посвящена экспериментальным и теоретическим исследованиям магнитной структуры пленок и многослойных объектов на микроскопическом уровне самыми новейшими физическими методами, а именно, с использованием синхротронного излучения (СИ) и синхротронного источника мёссбауэровского излучения (СМИ). Реализуемый в диссертационной работе подход позволяют развивать новые методы исследования магнитных материалов, недоступные в традиционном подходе (использование рентгеновских трубок и лабораторных мёссбауэровских источников), в частности, метод мёссбауэровской рефлектометрии, реализуемой на источнике СИ. Сказанное, учитывая фундаментальную и прикладную важность исследований магнитной структуры конденсированных сред, определяет актуальность и научную значимость темы диссертационной работы. Здесь уместно напомнить, что основы исследовательского подхода, развиваемого в диссертационной работе, закладывались отечественными физиками, а именно, группой Складневского в Курчатовском Институте, группой Кузьмина в МГУ и группой Лабущкина во ВНИИФТРИ, еще в 60е годы минувшего века. Так что представленную к защите работу следует рассматривать как развитие традиционно отечественной области физических исследований.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав и выводов.

Во **введении** сформулирована актуальность работы, проблемы, стоящие перед диссертантом, цели и задачи работы, а также положения, выносимые на защиту.

Первая глава представляет собой литературный обзор. Описываются поляризационные эффекты в рентгеновских экспериментах (нерезонансное и резонансное рассеяние, эффекты линейного и кругового дихроизма) и в мёссбауэровской спектроскопии (рассматриваются эксперименты с применением поляризационного анализа на лабораторных мёссбауэровских источниках, а также эксперименты с использованием источников синхротронного излучения). Отмечается, что важным преимуществом применения СИ является возможность работать с линейно поляризованным излучением, что существенно расширяет возможности исследований. В рентгеновских экспериментах поляризационный анализ рассеянного излучения используется достаточно давно, что же касается мёссбауэровских исследований, то поляризационный анализ применялся в очень редких работах и только в геометрии на прохождение.

Вторая глава посвящена мёссбауэровской рефлектометрии с использованием Синхротронного Мёссбауэровского Источника (СМИ). Кратко излагается теория мёссбауэровской рефлектометрии, которая осуществляется при малых углах рассеяния СИ вблизи угла полного внешнего отражения. Важное отличие экспериментов с СИ по сравнению с измерениями на радиоактивных источниках состоит в практически 100% поляризации падающего излучения. Эта особенность радикально меняет привычную форму мёссбауэровских спектров в магнитоупорядоченных образцах: было продемонстрировано в теоретических расчетах и подтверждено экспериментально, что в зависимости от направления намагниченности для эффекта Мёссбауэра на железе в пленке можно вместо 6 линий в спектре получать 4 или 2 линии. Проведенные экспериментальные исследования многослойных структур Fe/Cr с различным типом магнитного межслойного упорядочения (ферромагнитного, антиферромагнитного,

спирального) показали высокую чувствительность метода ядерно-резонансной рефлектометрии в спектральных измерениях к распределению направления магнитных моментов по глубине образца.

В третьей главе рассмотрен новый подход в мёссбауэровской рефлектометрии, использующий селекцию отраженного излучения по поляризации. Проведено теоретическое моделирование угловых кривых ядерно-резонансного отражения и мёссбауэровских спектров для $\pi \rightarrow \pi'$ и $\pi \rightarrow \sigma'$ поляризации. Обсуждаются преимущества поляризационного анализа в сравнении с традиционным подходом с отсутствием селекцию отраженного излучения по поляризации. Предлагается использовать поляризационный анализ для расшифровки мёссбауэровских спектров при плохом разрешении индивидуальных линий спектра, поскольку при применении поляриметрии возможно подавление отдельных линий в мёссбауэровском спектре. Еще одним выявленном существенным преимуществом поляризационных измерений является возможность подавить интерференцию между электронным и ядерно-резонансными каналами рассеяния. В этой же главе описывается первые сделанные эксперименты по поляризационному анализу в мёссбауэровской и рентгеновской резонансной магнитной рефлектометрии. Экспериментально обнаружен пик рассеяния вблизи критического угла рассеяния для поляризации, ортогональной к поляризации падающего излучения как для мёссбауэровского, так и для рентгеновского резонансного рассеяния.

В четвертой главе описывается мёссбауэровская рефлектометрия на изотопе ^{161}Dy . Дана общая характеристика особенностей мёссбауэровских исследований на ^{161}Dy . В настоящее время синхротронные мёссбауэровские измерения в «классической» спектральной реализации возможны только для железосодержащих материалов, поэтому ядерно-резонансные эксперименты на других мёссбауэровских изотопах, включая диспрозий, выполняются во временном варианте измерения. В главе теоретически рассматривается влияние ориентации сверхтонкого поля на временные изменения

интенсивности рассеяния, а также влияние магнитной периодичности на угловые зависимости ядерно-резонансного отражения. Экспериментальные измерения были проведены на многослойном периодическом образце Dy/Gd с естественным содержанием изотопа ^{161}Dy (18.9%). По временным измерениям ядерно-резонансного отражения была восстановлена зависимость величины сверхтонкого поля от температуры, а по наличию дополнительного магнитного максимума на угловых зависимостях ядерного резонансного рассеяния сделано заключение о существовании периодической магнитной структуры в исследованной сверхрешетке, магнитный период которой не соизмерим с ее химическим периодом.

Переходя к оценке диссертации в целом, следует констатировать, что Баулин Р.А. выполнил завершенное оригинальное исследование на современном научном уровне, которое, в частности, позволило объяснить новый экспериментально обнаруженный в его работе эффект, существования максимума в ядерном и рентгеновском резонансном рассеянии, с изменением поляризации на ортогональную исходной, при угле рассеяния, совпадающем с критическим углом полного внешнего отражения.

Основными результатами диссертации следует считать:

1. Обнаружение пика в ядерном резонансном рассеянии при угле рассеяния, совпадающем критическим углом полного внешнего отражения для отраженного излучения с линейной поляризацией, ортогональной к поляризации падающего излучения.

2. Обнаружение пика в рентгеновском резонансном рассеянии при угле рассеяния, совпадающем критическим углом полного внешнего отражения для отраженного излучения с линейной поляризацией, ортогональной к поляризации падающего излучения.

3. Выполнение первого эксперимента по ядерно-резонансной рефлектометрии с возбуждением мёссбауэровского уровня 25.651кэВ на

изотопе ^{161}Dy и обнаружение в многослойной пленке $[\text{Dy/Gd}]_{20}$ периодической магнитной структуры, магнитный период которой несоизмерим с химическим периодом сверхрешетки.

Следует специально отметить, что большинство экспериментальных измерений было выполнено на европейском источнике СИ в Гренобле с использованием уникального устройства, синхротронного мёссбауэровского источника (СМИ).

Достоверность основных результатов диссертации не вызывает сомнений, так как они получены путем применения надежно зарекомендовавших себя ультра-современных экспериментальных методик, а также подтверждаются строгостью использованных теоретических методов. Основные оригинальные результаты диссертации опубликованы в авторитетных отечественных и зарубежных журналах и доложены на ряде международных и российских конференциях. В пользу достоверности и новизны результатов говорит также то, что соавторами многих публикаций соискателя являются самые авторитетные специалисты, основоположники развиваемой соискателем области исследований.

По диссертации необходимо сделать следующие замечания:

К сожалению, в диссертации отсутствует ряд ссылок на ранние отечественные работы по мёссбауровской дифракции, в том числе книги, которые следует рассматривать как пролог к современным исследованиям мёссбауровской дифракции и резонансной дифракции рентгеновского излучения. Так отсутствует ссылка даже на монографию научного руководителя М.А.Андреева, Р.Н.Кузьмин, «Мёссбауровская гамма-оптика», Из-во МГУ, 1982г., а также на монографию В.А.Белякова

«Дифракционная оптика периодических сред сложной структуры», М, Наука, 1988г, к тому же переведенную на английский язык.

Другое замечание того же духа состоит в том, что соискатель называет синхротронный мёссбауэровский источник (недавнее уникальное достижение отечественных исследователей в области измерительных устройств) прозаичным термином ядерный монохроматор.

На стр. 8 диссертации утверждается «Для обработки экспериментальных данных автор выполнил разработку и модернизацию вычислительных программ и проводил численное моделирование». Что касается численного моделирования, то его результаты представлены в тексте диссертации, а вот о модернизацию вычислительных программ следовало бы сказать детально, что конкретно сделано , а не так, как на стр. 64 «пакет программ REFTIM [104].....превратился в REFSPC ».

На стр. 62 имеется ошибочное утверждение. «Резонансные ядра в разных окружениях переходят в магнитоупорядоченное состояние при разных температурах и величинах полей». При температурах, при которых проводились измерения, никакого упорядочения ядерных моментов нет.

По поводу оформления диссертации и некоторых шероховатостей ее языка претензий нет. Число опечаток и описок, которые, есть в тексте диссертации, не превышает разумного предела, чтобы заслуживать их конкретное упоминание в отзыве. К сожалению, в тексте диссертации отсутствует рисунок 4.4.4.

Автореферат точно соответствует основному содержанию диссертации.

Указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования в целом. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова к работам представленным на соискание ученой степени кандидата наук.

Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 01.04.07 – «физика конденсированного состояния» (по физико-математическим наукам), удовлетворяет критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова, а также оформлена согласно п. 3.1 этого Положения. Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

Таким образом, соискатель Баулин Роман Алексеевич безусловно заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния».

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук,
старший научный сотрудник
Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт теоретической физики им. Л.Д. Ландау Российской академии наук

БЕЛЯКОВ Владимир Алексеевич

подпись

Дата подписания

04.10.19

Подпись Белякова В.А. удостоверяю

Ученый секретарь ИТФ им. Ландау РАН, к.х.н.

С.А. Крашаков
Крашаков С.А.

Контактные данные:

Специальность, по которой официальным оппонентом
защищена диссертация:

01.04.02 – теоретическая физика

Адрес места работы:

142432, (Субъект) г. Черноголовка, просп. Академика Семенова, д. 1-А
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теоретической физики им. Л.Д. Ландау Российской академии наук.

Тел.: 7(495) 7029317; e-mail: office@itp.ac.ru