

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

Антропова Николая Олеговича «**Кристаллическая структура и магнитное упорядочение в сверхрешетках Dy/Gd**», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.11 – физика магнитных явлений

### **Актуальность темы диссертации**

Исследованиям сверхрешеток на основе 3-d и 4-f металлов уделяется значительное внимание. Это связано с проявлением в них ряда слабо изученных особенностей физических свойств редкоземельных сверхрешеток, обусловленных существованием различных магнитных структур и сильной зависимости их свойств от температуры.

К дополнительными факторам, определяющим разнообразие свойств таких искусственных наноматериалов, относятся: влияние на магнитный порядок толщины слоев редкоземельных металлов, магнитные свойства соседних слоев в наноструктуре, состояние межслойных границ, а также атомная структура.

Важным аспектом также является ограниченное число доступных экспериментальных методов, позволяющих получать информацию о типе магнитной структуры в образцах с тонкими слоями РЗ металлов. Указанные сложности и ограничения объясняют относительно небольшое число публикаций, касающихся исследований редкоземельных сверхрешеток. Диссертация Н.О. Антропова посвящена вопросам получения тонких пленок диспрозия и сверхрешеток Dy/Gd с высоким совершенством кристаллической структуры, полученных посредством метода магнетронного распыления, а также исследованию их магнитных свойств и кристаллической и магнитной структуры с использованием установок синхротронного и нейтронного излучения. Особое внимание в работе уделено отработке технологии получения образцов с монокристаллическим состоянием слоев и экспериментальным методикам, применяемым для получения информации о магнитном состоянии изучаемых объектов. Данное направление исследований, несомненно, является актуальным. Важность таких работ связана, в частности, с необходимостью получения информации о магнитном состоянии в нанослоях

диспрозия, который в объемном состоянии, обладает хиральным магнитным упорядочением.

### **Структура и основное содержание работы**

Диссертация изложена на 107 страницах. Состоит из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений, условных обозначений и списка литературы. Список литературы включает 102 наименований. Материал изложен четко и последовательно, логично распределен по главам.

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, показана научная новизна, сформулирована цель работы и положения, выносимые на защиту. **Первая глава** представляет собой достаточно полный обзор литературы, отражающий современное состояние исследований в области многослойных структур на основе Dy и Gd. **Во второй** главе описаны современные методы, которые использовались диссертантом в настоящей работе для исследований кристаллической структуры и магнитных свойств образцов. **Третья глава** посвящена вопросу изготовления образцов, их рентгеноструктурной аттестации и изучению кристаллической структуры. Экспериментальному доказательству формирования псевдо-монокристаллических слоев в сверхрешетках Dy/Gd. **В четвертой главе** описаны исследования магнитной структуры с помощью SQUID- магнитометрии, XMCD измерений и рефлектометрии поляризованных нейтронов. **В заключении** перечислены основные результаты, полученные в работе. Выводы, представленные в заключении, согласуются с **положениями, выносимыми на защиту**, и отвечают **целям и задачам** данной диссертационной работы.

### **Научная новизна результатов диссертационной работы**

Экспериментально получены новые факты о магнитном упорядочении в слоях Dy и Gd. Дано обоснование полученных экспериментальных данных с привлечением ранее полученных другими авторами результатов. Впервые установлено, что при низких температурах в слоях Dy толщиной от 1.5 до 18 нм, в температурном интервале от 10 до 170 К, в внешнем магнитном поле 100 Э формируется веерное магнитное упорядочение, которое когерентно распространяется по всей сверхрешетке. При толщинах слоев Dy

более 1.5 нм в сверхрешетках Dy/Gd происходит подавление перехода в ферромагнитное состояние при низких температурах.

### **Достоверность результатов и обоснованность выводов**

Достоверность полученных в работе результатов не вызывает сомнений, так как в работе были использованы аттестованные образцы и современные апробированные экспериментальные методики. Основные результаты диссертации докладывались на 5 международных и всероссийских конференциях, опубликованы в 3 научных статьях, входящих в перечень ВАК.

### **Практическая значимость полученных результатов**

Сверхрешетки Dy/Gd имеют ряд уникальных магнитных свойств, которые не проявляются в объемных материалах. Научные результаты, полученные в рамках данной работы, могут способствовать развитию дальнейшего исследования сверхрешеток Dy/Gd, которые могут быть использованы для создания новых материалов наноспинтроники.

#### **Замечания по диссертационной работе:**

Учитывая большое количество экспериментальных исследований, в диссертационной работе нет теоретического обоснования возникновения веерного магнитного упорядочения в слоях Dy, в сверхрешетках Dy/Gd.

Диссертант допустил некоторые неточности в тексте диссертации, вот некоторые из них:

Стр. 13: “несоизмеримые” значения вместо “несоизмеренные”;

Стр. 25: “дифракционные профили”, вместо “зависимость интенсивности рассеяния”;

Стр. 26: Условие Вульфа-Брэгга записано в приближённой форме, но это не оговаривается.

Стр. 47. “Нейтрон обладает внутренним магнитным моментом”, вместо нейтрон имеет магнитный момент. Далее диссертант при описании взаимодействия поляризованного нейтрона с веществом несколько запутался относительно взаимодействия нейтрона со средой и ядром в атоме.

Стр. 52. Спин-флиппер Мезея, вместо спин-флиппер.

Стр. 56. Взаимодействие фотона с “оператором” электрического диполя, вместо взаимодействие с электрическим диполем.

### **Заключение (выводы о работе)**

Имеющиеся недостатки носят в основном редакционный характер и не умаляют полученные результаты. Диссертационная работа выполнена на высоком научном уровне и несомненно заслуживает положительной оценки. **Личный вклад автора** заключается в выполнении основного объема экспериментальных исследований, представленных в диссертационной работе, с последующей их обработкой и интерпретацией. Н. О. Антропов проделал большую работу по освоению различных методов исследований. Диссертант исследовал в большом температурном диапазоне характер магнитного упорядочения в сверхрешетках Dy/Gd. В результате, ему удалось получить важные экспериментальные данные по структуре и магнитным свойствам сверхрешеток Dy/Gd. Так, впервые наблюдалось зависящее от толщины слоя Dy подавление перехода из антиферромагнитного состояния в ферромагнитное. Также впервые для данных структур наблюдалось веерное распределение намагниченности. Результаты работы будут использованы в дальнейших исследованиях и разработках элементов спинтроники. Автореферат в полной мере отражает содержание диссертации.

**Профиль диссертации соответствует** пункту 2 "Экспериментальные исследования магнитных свойств и состояний веществ различными методами, установление взаимосвязи этих свойств и состояний с химическим составом и структурным состоянием, выявление закономерностей их изменения под влиянием различных внешних воздействий" и пункту 3 "Исследование изменений различных физических свойств вещества, связанных с изменением их магнитных состояний и магнитных свойств" **паспорта специальности 01.04.11 – Физика магнитных явлений**, а сама работа по своему научному уровню, знанию и достоверности новых результатов полностью соответствует требованиям ВАК РФ, предъявленным к кандидатским диссертациям и удовлетворяет требования п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. №842. Н.О. Антропов заслуживает присуждения ему степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.11 – физика магнитных явлений.

начальник группы №1 (спектрометр РЕМУР)  
в секторе Нейтронной оптики №2  
Лаборатории нейтронной физики имени И.М. Франка  
Объединенного института ядерных исследований,  
доктор физ.-мат. наук

Ю. В. Никитенко

« 20 » ноября 2018 г.

Почтовый адрес: 141980, Московская область, г. Дубна, ул. Жолио-Кюри, д.6  
Тел.: +7 (496) 216-51-55  
E-mail: nikiten(at)nf.jinr.ru

Ученый секретарь ЛНФ ОИЯИ,  
кандидат физ.-мат. наук

Худоба Д.

*С отзывом ознакомлен.*

*25.11.18. Аграпов И.О.*

## **Сведения об официальном оппоненте**

ФИО: Никитенко Юрий Васильевич

Ученая степень, звание: доктор физико-математических наук, доцент, специальность 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Полное наименование организации: Международная межправительственная организация Объединенный институт ядерных исследований, Лаборатория нейтронной физики имени И.М. Франка

Должность: начальник группы №1 (спектрометр РЕМУР), сектор Нейтронной оптики №2, отдел НЭОНИКС

Почтовый адрес: 141980, Московская область, г. Дубна, ул. Жолио-Кюри, д.6

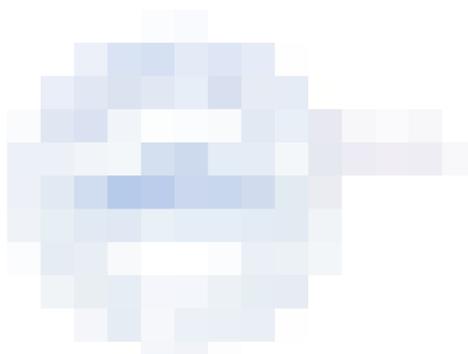
Тел.: +7 (496) 216-51-55

E-mail: [nikiten\(at\)nf.jinr.ru](mailto:nikiten(at)nf.jinr.ru)

## **Публикации в сфере исследований, которым посвящена диссертация**

1. Yu. V. Nikitenko, V. K. Ignatovich, S. V. Kozhevnikov, A. V. Petrenko / Two-mirror spin-wave neutron interferometer // Journal of Surface Investigation. X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques Vol.10 pp. 992–1000 (2016).
2. Yu. V. Nikitenko / Grazing incidence spin-echo neutron spectrometer // Journal of Surface Investigation. X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques Vol.10 pp. 169–176 (2016).
3. Yu. V. Nikitenko / Magnetic Layer in Neutron Wave Resonator // Physics Procedia Vol.42 pp. 89-98 (2013).

Ученый секретарь ЛНФ ОИЯИ,  
кандидат физ.-мат. наук



Худоба Д.