

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Фадеева Максима Сергеевича "Мессбауэровские исследования железосодержащих нанотрубок и наночастиц", представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – "Физика конденсированного состояния".

Прогресс технологий биомедицины, энергетики, фотокатализа и других интенсивно развивающихся областей в значительной степени зависит от создания новых функциональных наноматериалов, полезные характеристики которых (магнитные и транспортные и др. свойства) определяются их наноструктурным состоянием и пониженной размерностью. Мессбауэровская спектроскопия дает уникальную, комплексную информацию об интегральных и локальных структурно-фазовых и магнитных характеристиках, о валентном и спиновом состоянии резонансных атомов. Для железосодержащих наноструктур, исследованных в настоящей работе, такие сведения чрезвычайно необходимы на всех этапах их разработки. В этой связи, *актуальность* задач, решаемых в диссертационной работе Фадеева М.С., не вызывает сомнений. Большой круг объектов исследования (Fe-Co и Fe-Ni нанотрубки в широком диапазоне концентраций Ni и Co; наночастицы Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@Au и Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> с различной модификацией поверхности; наночастицы гематита  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> после разных доз облучения; наночастицы Fe-Ni/Fe-Ni-O, подвергнутые термическому отжигу), а также оригинальность модели, разработанной для анализа экспериментальных данных, определяют *новизну* полученных в работе результатов.

*Надежность* и *достоверность* результатов и сформулированных на их основе положений обеспечены применением дополнительных методов исследования, современных математических и программных средств анализа данных, внутренней согласованностью и непротиворечивостью сведениям, имеющимся для подобных объектов в научной литературе.

Результаты экспериментальных исследований железосодержащих нанотрубок и наночастиц представляют интерес для теоретического изучения физических механизмов формирования сверхтонких взаимодействий в наноматериалах с выраженной морфологической анизотропией и наночастицах типа «ядро-оболочка». Комплекс полученных экспериментальных данных является *практически значимым* для разработки и совершенствования технологий биомедицинских материалов тераностики. Развитая и использованная в работе модель, учитывающая

многоуровневую суперпарамагнитную релаксацию для атомов Fe в различных структурных и зарядовых состояниях, актуальна и востребована учеными, использующими методы мессбауэровской спектроскопии, а также специалистами в области физики конденсированного состояния, физики магнитных явлений и материаловедения.

Результаты работы прошли многократную апробацию на отечественных и международных научных конференциях различного уровня, опубликованы в ведущих международных и российских периодических рецензируемых изданиях.

Автореферат диссертации "Мессбауэровские исследования железосодержащих нанотрубок и наночастиц" написан понятным научным языком, хорошо отражает содержание работы, которая удовлетворяет всем критериям, определенным Положением о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М. В. Ломоносова. Считаю, что ее автор, Фадеев Максим Сергеевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – «Физика конденсированного состояния».

*доктор физ.-мат. наук (специальность 01.04.11 – Физика магнитных явлений), ст.н.с., заведующий кафедрой физики твердого тела Института физики, ФГАОУ ВО "Казанский (Приволжский) федеральный университет"*

*Воронина Елена Валентиновна*

*7 апреля 2023 г.*

Адрес: 420008, Казань, ул. Кремлевская, 18.

тел.: +7(843)233-74-68

[Elena.Voronina@kpfu.ru](mailto:Elena.Voronina@kpfu.ru)

Подпись сотрудника КФУ Ворониной Е.В. удостоверяю