

Отзыв на автореферат кандидатской диссертации **Салихова Сергея Владимировича** «Закономерности формирования структуры и магнитных свойств наноразмерных и наноструктурированных порошков на основе оксидов железа», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Диссертация Салихова С.В. посвящена созданию и изучению наночастиц на основе магнитных оксидов железа. *Актуальность тематики работы* не вызывает сомнений, поскольку наночастицы на основе магнитных оксидов железа, ввиду их общедоступности, возможности управления их поведением с помощью внешнего магнитного поля, а также относительно низкой токсичности, рассматриваются как весьма перспективные материалы для нового поколения контрастных агентов для магнитно-резонансной томографии (МРТ). При переходе частиц из микро- в наноразмерное состояние существенно меняются их магнитные свойства, возникают интересные научные задачи выяснения структурных свойств частиц в связи с их магнитными свойствами.

Наиболее важными представляются следующие результаты диссертации.

- Показано, что информативность исследования наноматериалов на основе магнетита существенно повышается за счет использования взаимодополняющих методов (рентгеноструктурного анализа, просвечивающей электронной микроскопии, мёссбауэровской, рентгеновской и фотоэлектронной спектроскопии, дифференциальной сканирующей калориметрии, термогравиметрического анализа и измерения магнитных свойств).

Очень интересным оказалось здесь применение редко используемого метода мёссбауэровской спектроскопии. Рентгенофазовый анализ не давал возможности однозначно идентифицировать фазы магнетита и маггемита. В то же время, мёссбауэровские спектры на ядрах ^{57}Fe в решетке магнетита Fe_3O_4 и маггемита $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ существенно отличаются друг от друга. Используя мёссбауэровские спектры, удалось определить полные кристаллохимические формулы нестехиометрического магнетита, а также найти доли двухвалентного железа и вакансий для каждого исследуемого образца. В частности, продемонстрирован «размерный эффект»: при среднем размере частиц около 10 нм их кристаллохимическое состояние близко к маггемиту, а у частиц размером более 60 нм – к магнетиту.

Данные дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) порошков на основе гематита $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ удалось связать со структурными превращениями в порошках. В соответствии с данными рентгеноструктурных и мёссбауэровских исследований высказано обоснованное предположение, что экзотермический максимум в интервале температур 150–305°C с острым максимумом около 253°C связан с кристаллизацией аморфной фазы и трансформацией вюстита в магнетита, а эндотермический в интервале температур 520–655°C – с образованием вюстита.

- Продемонстрировано, что наноструктурированные порошки номинального состава $(90-x)\% \text{Fe}_3\text{O}_4 - 10\% \text{Fe} - x\% \text{Gd}_2\text{O}_3$ ($x = 3, 5$) имеют параметры времен релаксации, в совокупности превосходящие аналогичные параметры для допущенных к клиническому применению образцов контрастных агентов «Феридекс» и Gd(III)-ДТРА. Поэтому полученные нанопорошки могут рассматриваться в качестве потенциальных материалов для визуализации в медицинской МРТ диагностике.

- Для практики важно, что в работе была разработана лабораторная технология получения гибридных материалов на основе оксидов железа, допированных железом и оксидом гадолиния, методом высокоэнергетического измельчения.

Замечания по автореферату. В автореферате указано, что для образцов 2.3, 3.4, 4.3 и 4.4 размер областей когерентного рассеяния (ОКР) оказался меньше среднего размера частиц, рассчитанного по результатам ПЭМ, что, обусловлено блочной структурой указанных порошков. Это заключение соответствует существующим представлениям о соотношении размеров ОКР и частиц. Однако в таблице есть и образцы, где ОКР больше, чем частицы (1.1, 2.1 и 2.2), что не получило объяснений в автореферате. Укладываются ли различия в погрешности измерения, или сказывается характер усреднения размеров ОКР в рентгенодифракционном анализе?

Автореферат изложен грамотным языком и хорошо оформлен. Из погрешностей замечено только, что одна и та же величина (эффективное магнитное поле) обозначена по-разному на стр. 7 ($H_{\text{эфф}}$) и 8 (H_{eff}).

Эти замечания не снижают общего положительного впечатления от автореферата. Видно, что диссертационная работа Салихова Сергея Владимировича «Закономерности формирования структуры и магнитных свойств наноразмерных и наноструктурированных порошков на основе оксидов железа» является законченной научно-квалифицированной работой, содержит новые научные результаты, имеет практическое применение и соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а диссертант Салихов Сергей Владимирович заслуживает

присвоения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности
01.04.07 – физика конденсированного состояния.

27 мая 2016 г.

Дроздов Юрий Николаевич

Доктор физико-математических наук

Ведущий научный сотрудник

Института физики микроструктур РАН – филиала Федерального государственного
бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт
прикладной физики Российской академии наук»

Адрес: 603950 г. Нижний Новгород, ГСП-105

E-mail: drozduy@ipmras.ru

Тел. (831)4179491



Подпись Дроздова Ю.Н.. заверяю:

и.о. Ученого секретаря ИФМ РАН,

кандидат физико-математических наук



Д.М. Гапонова