

## Отзыв официального оппонента

на диссертационную работу Баскакова Арсения Олеговича «Структурные, магнитные и электронные свойства нанокompозитов типа «ядро-оболочка» на основе оксидов и карбидов железа», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Нанокompозиты на основе частиц ядро-оболочка являются активно исследуемым объектом современных нанотехнологий. Этому во многом способствует их полифункциональность, реализуемая за счет разделения функций ядра и оболочки, а также возможность оптимизации их физико-химических свойств. Так, магнитные свойства ядер таких нанокompозитов в значительной степени определяют возможности управления ими магнитным полем внутри организмов, а также возможность их вывода в случае адресной доставки лекарств. Свойства оболочки крайне важны в случае применения таких нанокompозитов в биомедицинских целях: оболочка напрямую влияет на биосовместимость и токсичность таких нанокompозитов. Также, химические свойства оболочки сильно влияют на возможность применения этих нанокompозитов в катализе. Именно физико-химические свойства наночастиц типа ядро-оболочка и исследует А. О. Баскаков в своей диссертационной работе. Таким образом, тема диссертации является актуальной.

Диссертация А.О. Баскакова состоит из введения, пяти глав и заключения, списка цитируемой литературы, состоящего из 135 ссылок. Объем диссертации составляет 135 страниц, включая 41 рисунок и 4 таблицы.

В диссертации с помощью различных методик (таких как рентгеновская дифракция, электронная микроскопия, мессбауэровская и рамановская спектроскопия) исследуются три вида нанокompозитов:  $\text{Fe}_3\text{O}_4@Au$ ,  $\text{Fe}_x\text{O}_y@C$  и  $\text{Fe}_x\text{C}_y@C$ . В соответствии с этим, диссертационную работу Баскакова А.О. можно разделить на три смысловые части. Первая часть посвящена исследованию нанокompозитов типа «ядро-оболочка»  $\text{Fe}_3\text{O}_4@Au$ . С помощью комбинации

различных экспериментальных методик, и, в особенности, благодаря мессбауэровской спектроскопии, диссертанту удалось установить влияние золотой оболочки на магнитные свойства ионов железа в приповерхностных слоях магнетита  $Fe_3O_4$  в ядре нанокompозита. Выводы о влиянии оболочки на свойства приповерхностных слоев магнетитовых наночастиц сделаны за счет сравнения функций распределения сверхтонких магнитных полей, полученных при анализе экспериментально измеренных мессбауэровских спектров от покрытых и непокрытых нанокompозитов.

Вторая часть описывает исследование механизма превращения оксидов железа в ядре нанокompозитов «ядро-оболочка», где оболочкой служит углерод  $Fe_xO_y@C$ . Диссертантом было установлено, что под действием углерода в ядре происходит трансформация магнетита  $Fe_3O_4$  в вюстит  $Fe_{1-x}O$ , причем этот процесс происходит в пределах одной оболочки, а отдельных композитов  $Fe_3O_4@C$  и  $Fe_{1-x}O@C$  не образуется.

В третьей части описаны исследования трансформации кристаллического ферроцена  $Fe(C_5H_5)_2$  в условиях высоких давлений и температур. Установлено, что ферроцен в определенном диапазоне температур превращается в нанокompозиты типа «ядро-оболочка»  $Fe_xC_y@C$ , проходя через промежуточную фазу перенасыщенного углеродом карбида железа  $Fe_{1-x}C_x$ . Благодаря мессбауэровской спектроскопии и другим методам было обнаружено, что под действием высокой температуры в ядре нанокompозита происходит постепенное превращение карбидов железа из  $Fe_7C_3$  в цементит  $Fe_3C$ . Кроме того были исследованы неэквивалентные позиции железа в гексагональном карбиде железа  $Fe_7C_3$ , входящий в состав нанокompозитов  $Fe_xC_y@C$ .

Описанные результаты диссертационной работы представляют высокий научный и практический интерес, поскольку могут быть использованы при синтезе и характеристике нанокompозитов типа «ядро-оболочка». Их научную ценность также подтверждают и публикации в высокорейтинговых журналах.

Баскаков А.О. является автором 5 статей по теме диссертационной работы (с импакт фактором до 4.700; 3 статьи в журналах Q1). Результаты представлены на

шести профильных международных конференциях в виде стендовых и устных докладов. Автореферат корректно и ёмко отражает содержание диссертации.

К диссертационной работе имеется одно замечание.

Термин «наноккомпозит типа «ядро-оболочка», введенный автором для логического объединения всех исследованных им наночастиц  $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{Au}$ ,  $\text{Fe}_x\text{O}_y@\text{C}$  и  $\text{Fe}_x\text{C}_y@\text{C}$  в рамках одной диссертации, представляется неудачным и нарушающим известный принцип «Всё должно быть изложено так просто, как только возможно, но не проще». Этот термин, навязчиво повторяемый автором, наводит читателя на мысль, что можно взять наночастицу, например, на основе магнетита, любого размера, покрыть ее чем-то снаружи, например золотом, и это будет та же наночастица, просто завернутая в новую оболочку. В действительности наночастица, это минимальный устойчивый объект четкой стехиометрии, образовавшийся в результате замыкания химических связей всех атомов на его поверхности, по существу большая молекула, иногда с кристаллическим ядром. Устойчивость такого объекта однозначно определяется соотношением атомов, координированных по «объемному» и по «поверхностному» типу. Добавление в состав атомов нового химического элемента, например золота, может приводить к формированию новой устойчивой комбинации, но уже со своим собственным соотношением поверхность – объем. По существу, это будет совсем другая наночастица. В действительности, автор в предложенную им читателю вульгаризацию сам не верит и постоянно показывает, что особенности свойств исследованных им наночастиц связаны с перестроением связей между атомами. Поэтому представляется, что название диссертации «Структурные, магнитные и электронные свойства наночастиц на основе оксидов и карбидов железа» было бы более точным и менее претенциозным.

Указанное замечание относится только к неудачному выбору названия и не снижает общего высокого научного уровня и ценности работы соискателя. Диссертационную работу можно охарактеризовать как логически целостное и завершенное научное исследование, в рамках которого получен ряд новых результатов, представляющих фундаментальный и практический интерес.

Материал диссертации изложен последовательно, рисунки и графики хорошо иллюстрируют полученные автором результаты. Все результаты, изложенные в диссертации, получены с использованием современных экспериментальных методик.

Таким образом, диссертационная работы А.О. Баскакова является завершенной научно-квалификационной работой, соответствующей всем критериям и требованиям раздела II «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор, Баскаков Арсений Олегович, вполне заслуживает присуждения искомой ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния

Официальный оппонент:

Доктор физико-математических наук  
Заместитель руководителя отдела Фотоники и аддитивных технологий  
Курчатовского комплекса НБИКС-природоподобных технологий Национального  
исследовательского центра «Курчатовский институт»

Поликарпов Михаил Алексеевич

14.08.2019

Адрес: 123182, Россия, г. Москва, пл. Академика Курчатова, д. 1.

Тел.: +7 (499) 196–93–35, E-mail: Polikarpov\_MA@nrcki.ru

Подпись Поликарпова М.А. заверяю

Главный ученый секретарь  
Национального исследовательского центра  
«Курчатовский институт», д.ф.-м.н.



П. А. Форш