

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу  
**Абдулвахидова Башира Камалудиновича «Фазовые переходы, динамика  
решетки и электрофизические свойства  $\text{PbMnVO}_3$  (В - Nb, Ta) и  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$   
в композиции с  $\text{PbTiO}_3$ », представленную на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук по специальности  
2.6.6. Нанотехнологии и наноматериалы (физико-математические науки)**

Диссертационная работа Абдулвахидова Башира Камалудиновича посвящена исследованию методов получения, структуры и физических свойств сложных оксидных соединений на основе свинца, марганца, ниобия, тантала и титаната свинца, а также их композитов с ферритом кобальта. Исследование мультиферроиков, сочетающих сегнетоэлектрические и магнитные свойства, является крайне актуальным в связи с их потенциальным применением в устройствах спинтроники, датчиках, энергонезависимой памяти и других современных технологиях. Особое внимание уделено наноструктурированным материалам, что соответствует современным тенденциям в материаловедении.

Исследование мультиферроиков и сегнетоэлектриков, обладающих одновременно электрическими и магнитными свойствами, является одной из ключевых задач современного материаловедения. Диссертация посвящена изучению сложных составов на основе свинца, марганца, ниобия, тантала и кобальта, что соответствует мировым тенденциям поиска новых функциональных материалов. Работа сочетает фундаментальные и прикладные аспекты. В частности, в настоящее время наблюдается рост интереса к мультиферроикам и сегнеторелаксорам как перспективным материалам для электроники, сенсорики, энергоэффективных устройств. В настоящее время системы типа  $\text{PbMn}_{1/3}\text{Nb}_{2/3}\text{O}_3$  (PMnN),  $\text{PbMn}_{1/3}\text{Ta}_{2/3}\text{O}_3$  (PMnT) и их твердые растворы с  $\text{PbTiO}_3$  являются недостаточно изученными. Таким образом,

данное исследование посвящено работе над **актуальной и практически важной задачей**.

Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, заключения и списка использованной литературы. Объем диссертации составляет 194 страниц, в том числе 72 рисунка, 5 приложений, 20 таблиц, 19 страниц списка литературы и 3 страницы списка авторских публикаций.

Во введении обосновывается актуальность темы исследования, сформулированы основные цели, задачи работы, научные положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** приведен обзор литературы по трем классам составных частей ферроупорядоченных систем, даны определения и описаны эмпирические признаки их разделения по классам. Акцентировано внимание на структурных особенностях и физических свойствах классических СМ, мультиферроиков, а также шпинелевых композитов.

**Вторая глава** посвящена описанию методики получения образцов, измерительной аппаратуре, методике проведения измерений, электронной микроскопии и рентгеноспектральной характеристики керамических образцов и их наноструктурированию.

**Третья глава** посвящена изучению кристаллической структуры составов  $(1-x)\text{PMnN-xPbO}$ ,  $(1-x)\text{PMnT-xPbO}$  и  $(1-x)\text{CFO-xPbO}$  макро- и наномасштабов рентгенодифрактометрическим методом.

**Четвертая глава** посвящена изучению физических свойств составов  $(1-x)\text{PMnN-xPbO}$ ,  $(1-x)\text{PMnTO-xPbO}$  и  $(1-x)\text{CFO-xPbO}$ , сопровождающихся диссипацией электрической энергии.

В **пятой главе** представлены результаты изучения динамики кристаллической решетки  $(1-x)\text{PMnN-xPbO}$ ,  $(1-x)\text{PMnT-xPbO}$  и  $(1-x)\text{CFO-xPbO}$  методами оптической, инфракрасной и рамановской спектроскопии.

Автором проведена масштабная экспериментальная работа, включающая: оптимизирован двухстадийный синтез монофазного  $\text{PbMn}_{1/3}\text{Nb}_{2/3}\text{O}_3$ , получены наноматериалы методом механоактивации под

высоким давлением, выявлено наличие магнитодиэлектрического эффекта и колоссального магнитосопротивления (до 225%) в системе CFO–PTO, определена ширина запрещенной зоны ( $E_g$ ) для всех систем, выявлена сложная магнитная структура композитов, включая образование гексаферрита  $PbFe_{12}O_{19}$  в системе CFO–PTO.

Среди целого ряда новых и практически важных результатов, впервые полученных автором диссертации, в первую очередь, можно отметить следующие **наиболее важные результаты**:

- Оптимизированы методики получения беспримесных твердых растворов  $PbMn_{1/3}Nb_{2/3}O_3$  и их композиций с  $PbTiO_3$ .
- Обнаружена морфотропная область ( $0.15 \leq x \leq 0.25$ ) в системе  $(1-x)PbMn_{1/3}Nb_{2/3}O_3-xPbTiO_3$ , где сосуществуют тетрагональная ( $P4mm$ ) и ромбоэдрическая ( $R3m$ ) фазы.
- Показано, что совместный синтез  $CoFe_2O_4$  и  $PbTiO_3$  приводит к образованию дополнительных фаз (гексаферрит свинца, дефектные твердые растворы).
- Выявлено релаксорное поведение диэлектрической проницаемости в  $PbMn_{1/3}Nb_{2/3}O_3$  и его подавление при введении  $PbTiO_3$ .
- Обнаружены аномалии в температурных зависимостях магнитной восприимчивости, связанные с магнитоэлектрическим взаимодействием.
- Исследованы ИК- и Рамановские спектры, что позволило связать изменения в колебательных модах с фазовыми переходами и размерными эффектами.

**Достоверность и практическая** значимость диссертационного исследования подтверждаются применением комплекса современных методов исследования: рентгеноструктурный анализ, электронная микроскопия, ИК- и Рамановская спектроскопия, диэлектрические, импедансные и магнитные измерения, корректной обработкой данных (аппроксимация по Фогелю-

Фульчеру, анализ по Ритвельду, моделирование эквивалентных схем), а также согласованностью результатов, полученных разными методами.

Основные результаты опубликованы в рецензируемых журналах.

При прочтении диссертации возникло несколько **замечаний**.

1. В литературном обзоре заявлено, что составы  $\text{PbMn}_{1/3}\text{Ta}_{2/3}\text{O}_3$  (PMnT) практически не изучены из-за сложности синтеза. Однако в дальнейшем тексте показано, что автору не удалось получить монофазный PMnT ни колумбитным методом, ни из смеси оксидов. Это некое противоречие, так как объект, объявленный основным для исследования, не был синтезирован в чистом виде. Поэтому это должно быть указано более четко в выводах и обсуждении результатов, с указанием, что дальнейшее изучение велось для гетерофазных систем на основе PMnT.

2. Автор обнаружил колоссальное магнитосопротивление в системе  $(1-x)\text{CFO-xPbO}$ . Было бы желательно привести более строгое объяснение природы магнитосопротивления в данном соединении, а также отразить данный результат в выводах или заключении диссертации.

3. Заключение 1 и 2 к диссертации имеют общий характер, и их можно было объединить, с уточнением характера «коррелированной связи между структурой и физическими свойствами».

4. В диссертации не обнаружил описание метода измерения импеданса или ссылки на литературу. Не приведены подробности эксперимента по измерению импеданса.

**В заключении** следует отметить, что сделанные замечания имеют частный характер и не снижают общей положительной оценки работы. Основные защищаемые положения диссертации обоснованы, характеризуются научной новизной и практической значимостью.

Все вышеизложенное позволяет с полным основанием считать, что представленная к защите диссертационная работа Абдулвахидова Б. К. выполнена на высоком научном уровне и полностью отвечает критериям раздела 2 Положения о присуждении ученых степеней в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Южный Федеральный Университет», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а соискатель Абдулвахидов Башир Камалудинович заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 2.6.6. Нанотехнологии и наноматериалы (физико-математические науки).

*Согласен на обработку моих персональных данных.*

10.08.2025 г.

Алиев Ахмед Магомедович,  
кандидат физико-математических наук  
(специальность 01.04.07 – физика конденсированного состояния),  
Ведущий научный сотрудник,

Лаборатория физики низких температур и магнетизма Института физики им. Х. И. Амирханова  
– обособленного подразделения Федерального государственного бюджетного учреждения науки  
Дагестанского федерального исследовательского центра Российской академии наук,

**официальный оппонент**

(Адрес: 367000, г. Махачкала, ул. М. Гаджиева, д. 45.,  
тел.: +7-988-299-40-96, e-mail: lowtemp@mail.ru)

Подпись Алиева Ахмеда Магомедовича заверяю

Главный ученый секретарь ДФИЦ РАН,

к.ф.-м.н.

10.08.2025г



Ибаев Ж.Г.