

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу **Захарова Максима Сергеевича** «*Подавление магнитной релаксации в массивных высокотемпературных сверхпроводниках*», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.11 – Физика магнитных явлений.

### Актуальность темы

Практическое использование высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП) является многообещающими для микроэлектроники, медицины, эффективных систем производства, накопления и передачи энергии, однако ограничено как сложностью и высокой стоимостью изготовления и эксплуатации, так и изменением намагниченности во времени, или явлением крипа магнитного потока. Исследованию последнего в ВТСП состава  $YBa_2Cu_3O_{7-x}$  посвящена диссертация Захарова Максима Сергеевича. Проведены интересные опыты, позволяющие оценить как крип магнитного потока, так и релаксацию подъемной силы в случае свободной и механически ограниченной левитации. Все эксперименты проведены в условиях, близких к таковым в технических приложениях ВТСП. Предложены методы уменьшения скорости релаксации магнитного потока, которые могут быть достаточно легко реализованы на практике, что имеет огромное значение для использования ВТСП в качестве функциональных материалов.

### Научная новизна

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка цитированной литературы. Во введении обоснована актуальность работы, приведена общая характеристика работы, сформулированы цель и задачи работы, а также основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе рассмотрены магнитные свойства сверхпроводников второго рода, описан механизм магнитной релаксации и сделан полный обзор известных способов замедления крипа магнитного потока в ВТСП.

Оригинальные результаты представлены в главах 2 – 4. Известно, что массивные ВТСП при температуре кипения жидкого азота в нормальных условиях более перспективны для использования в качестве источников сильного магнитного поля и в системах левитации по сравнению с постоянными магнитами. Магнитная релаксация, характерная для обоих видов источников поля, должна приводить в первом случае к снижению индукции поля источника, а во втором – к уменьшению подъемной силы.

Механизмы подавления релаксации в случае постоянных магнитов хорошо известны и широко применяются на практике. Аналогичные методы применяются для уменьшения крипа потока в ВТСП, однако эти методы ухудшают остаточную индукцию в значительно большей степени, чем в случае постоянных магнитов. Диссертантом были исследованы особенности релаксации намагниченности в ВТСП и предложены оригинальные методы его уменьшения. В диссертации получены нетривиальные результаты, среди которых особо хочется отметить следующие:

- 1) экспериментально показано, что в условиях истинной левитации в системе сверхпроводник – постоянный магнит не наблюдается релаксация силы взаимодействия, однако при жесткой фиксации ВТСП при таких условиях наблюдается снижение силы взаимодействия.
- 2) методами натурального и компьютерного экспериментов исследовано влияние неоднородного магнитного поля на крип магнитного потока. Показано, что неоднородное магнитное поле, созданное катушкой, системой постоянных магнитов или ярмом электромагнита, выступающим в роли замыкающей магнитной цепи, уменьшает крип потока.

Достоинством представленной работы является использование установки, специально разработанной для проведенных экспериментов, что позволяет быть уверенным в правильности и достоверности результатов. Последние получены прямым методом измерения индукции магнитного поля на поверхности образца, что существенно облегчает их корректную интерпретацию. Выполненные численные расчеты органично вписываются в работу и дополняют экспериментальные исследования.

#### **Достоверность полученных результатов**

Достоверность полученных в диссертационной работе результатов определяется использованием надежных экспериментальных методов, воспроизводимостью и повторяемостью результатов, качественным и количественным согласием полученных экспериментальных результатов с результатами численных расчетов, полученных в рамках классической модели Бина, а также с экспериментальными данными, полученными другими исследователями.

### **Практическая ценность полученных результатов**

Результаты, полученные автором, могут быть использованы при разработке и эксплуатации технических устройств, основанных на эффектах сверхпроводимости.

### **Оценка содержания диссертации и её соответствия требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней**

Принципиальных возражений по диссертации нет, но имеются следующие замечания:

1. В работе не указана характеристика груза, использованного в опыте с левитацией, как магнетика, и системы фиксации образца. Если этот груз является ферромагнетиком, то он, намагничиваясь от образца, может создавать неоднородное магнитное поле, подавляющее релаксацию потока в образце. Также не указано изменение момента инерции образца при «навешивании» груза. Последнее должно изменить спектр возможных колебаний образца ВТСП при левитации.
2. Интересно было бы получить зависимость скорости релаксации магнитного потока от расстояния между образцом и ярмом электромагнита.
3. Диссертация заметно бы выиграла, если бы автор провел измерения временной зависимости магнитного момента образца в различных магнитных полях и в интервале температур от 2 до 90 К.

Указанные замечания не снижают общего положительного впечатления от работы, свидетельствующей о высокой профессиональной квалификации соискателя и его широкой научной эрудиции.

Диссертация Захарова М. С. представляет собой законченный научный труд, написанный соискателем самостоятельно хорошим языком на современном научном уровне. Автореферат соответствует материалу диссертации и полностью отражает ее результаты и выводы.

Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 01.04.11 – Физика магнитных явлений п. 2, п. 3. Основные результаты диссертации опубликованы в ведущих рецензируемых зарубежных журналах.

По объему выполненных исследований, актуальности решаемых задач, научной новизне и практической значимости полученных результатов, диссертация Захарова Максима Сергеевича, представленная на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.11 – Физика магнитных явлений, соответствует установленным требованиям ВАК к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по этой специальности.

Кандидат физико-математических наук,  
доцент кафедры магнетизма и магнитных  
наноматериалов института естественных наук  
ФГАОУ ВПО «УрФУ имени  
первого Президента России Б.Н. Ельцина»



Алексей Сергеевич Волегов

«05» октября 2015 года

Адрес: кафедра магнетизма и магнитных наноматериалов, институт естественных наук,  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего  
профессионального образования «Уральский федеральный университет имени первого  
Президента России Б.Н. Ельцина», 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19  
Телефон: (343) 261-68-23  
e-mail: alexey.volegov@urfu.ru