

## 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**

Явление крипа магнитного потока в высокотемпературных сверхпроводниках (ВТСП) посвящено огромное количество экспериментальных и теоретических работ, поскольку это явление накладывает ограничения на практическое использование ВТСП материалов. Однако, имеются лишь единичные публикации, касающиеся методов замедления и подавления крипа. Диссертация М.С. Захарова восполняет этот пробел. Проведены интересные наглядные опыты, которые позволяют понять многие особенности эффектов крипа потока в плавленых текстурированных образцах  $YBa_2Cu_3O_7$  при температуре жидкого азота, в частности, различие скорости релаксации между свободной левитацией и механически ограниченной. Исследование возможностей влиять на скорость сильной магнитной релаксации в ВТСП важно для понимания физической природы этого явления, а также имеет исключительное значение для использования ВТСП в качестве функциональных материалов.

### **Научная новизна**

Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения. Во введении дана общая характеристика работы, обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задача работы и 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. Судя по содержанию и изложению этих первых двух разделов диссертации, автор хорошо знаком с существующим состоянием предмета исследования и обладает необходимым запасом знаний для правильной и адекватной формулировки целей исследования.

Оригинальные результаты, полученные автором, представлены в главах 2-4. Известно, что массивные ВТСП наиболее перспективны для использования в источниках сильного магнитного поля, захватываемого сверхпроводником, и в системах левитации. Магнитная релаксация должна приводить в первом случае к снижению индукции поля источника, а во втором – к уменьшению подъемной силы. Диссертантом были

исследованы оба случая и получены весьма нетривиальные результаты, среди которых можно выделить следующие:

- Изучен новый эффект воздействия внешнего неоднородного магнитного поля на скорость крипа захваченного потока. Магнитную релаксацию в сверхпроводнике можно замедлить или ускорить в зависимости от направления внешнего поля. Показано, что частным случаем воздействия неоднородного поля является известный эффект подавления релаксации в сверхпроводнике при его сближении с ферромагнетиком.

- Выполнено численное моделирование поведения намагниченного сверхпроводника, помещенного в слабые неоднородные внешние поля, создаваемые разными источниками. Результаты расчетов позволяют судить о направлении сил, действующих на вихри, в частности, подтверждают гипотезу о встречных силах Лоренца, замедляющих движение вихрей.

- Впервые экспериментально установлено, что релаксация подъемной силы в системе сверхпроводник/магнит отсутствует в случае реальной левитации, т.е. когда объект левитации опирается лишь на магнитное поле. Подъемная сила начинает уменьшаться со временем только при ограничении подвижности объекта левитации, т.е. когда на левитирующий сверхпроводник или магнит наложена механическая связь, например, в случае прямого измерения подъемной силы.

Достоинство выполненной работы состоит в том, что используются фактически прямые измерения: распределение магнитной индукции на поверхности образца непосредственно измеряются с помощью микродатчиков Холла, непосредственные измерения высоты левитации образца и т.д., что дает однозначную интерпретацию полученных результатов. Выполненные численные расчеты удачно дополняют экспериментальные исследования.

#### **Достоверность полученных результатов**

Достоверность результатов, полученных в диссертационной работе, доложенных на международных конференциях и опубликованных в ведущих зарубежных научных журналах, входящих в перечень ВАК, определяется использованием широко применяемых надежных экспериментальных методов, воспроизводимостью результатов при повторных измерениях, согласием полученных данных с результатами численных расчетов, а также с экспериментальными данными, известными из литературы.

#### **Практическая ценность полученных результатов**

Результаты, полученные автором, могут быть использованы при разработке сверхпроводниковых технологий, в частности, источников сильного магнитного поля и систем левитации. Диссертация написана хорошим, ясным языком. Все разделы логически связаны, основные положения изложены сжато и убедительно.

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

По тексту диссертации у меня есть следующие вопросы (замечания):

1. Название и текст (выводы, заключение) диссертации сформулированы автором как характерные для ВТСП в целом. Работа же выполнена на плавленых текстурированных образцах  $YBa_2Cu_3O_7$  при температуре жидкого азота. Хотя это наиболее вероятные в настоящее время состав и температура эксплуатации будущих сверхпроводящих технологий, не очевидна универсальность наблюдаемых автором эффектов, также как и причин их возникновения: как будут, например, выглядеть релаксационные процессы при другой температуре, в образцах другого состава и другой кристаллической структуры. На мой взгляд, крайне полезно было бы провести аналогичные эксперименты на образцах других ВТСП, в том числе и монокристаллах.
2. Автором исследован масштаб временной релаксации до 1.5 часов. Неясно, сохранится ли отсутствие временной релаксации при свободной левитации в масштабе времени хотя бы десятки часов.
3. Сближение намагниченного сверхпроводника с ферромагнетиком резко замедляет магнитную релаксацию. Зависит ли величина эффекта от толщины ферромагнетика?
4. В главе 3 вводятся в рассмотрение магнитные силы, действующие на концы вихрей. Каков порядок этих сил, как они соотносятся с силами Лоренца?
5. В диссертации установлено, что в области устойчивой левитации подъемная сила не изменяется со временем, т.е. затухание сверхтоков отсутствует. Существует ли магнитная релаксация в области неустойчивости?

Диссертация заметно бы выиграла, если бы автор включил в текст и обсудил ответы на эти вопросы. Отмеченные вопросы (замечания), тем не менее, не отражаются на общей положительной оценке работы. В целом работа, несомненно, заслуживает одобрения, написана грамотно с привлечением достаточного количества иллюстративного материала и является законченным научным исследованием в области физики магнитных явлений, выполненным автором самостоятельно на высоком научном уровне. Автор работы проявил себя как эрудированный, способный к экспериментальным исследованиям и обобщению полученных результатов в рамках современных теоретических моделей.

Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 01.04.11 – Физика магнитных явлений. Основные результаты диссертации опубликованы в ведущих зарубежных журналах.

Диссертация Захарова М.С., представленная на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.11 – Физика магнитных явлений, соответствует установленным требованиям п. 9 Положения о порядке

присуждения ученых степеней, а ее автор, Захаров Максим Сергеевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по этой специальности.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Член-корреспондент РАН, доктор  
физико-математических наук,  
профессор, главный научный  
сотрудник лаборатории нейтронных  
исследований вещества ИФМ УрО РАН  
Гощицкий Борис Николаевич

Б.Н. Гощицкий

" 26 " августа 2015 года

Адрес: Лаборатория нейтронных исследований вещества, ФГБУН Институт физики металлов им. М.Н. Михеева УрО РАН, 620990, г. Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, 18  
Телефон: (343) 374-02-30  
e-mail: [bng@imp.uran.ru](mailto:bng@imp.uran.ru)

