



«УТВЕРЖДАЮ»

Директор Института физики микроструктур РАН,

 Красильник З.Ф.

«30» сентября 2016 года

ОТЗЫВ

ведущей организации Института физики микроструктур РАН — филиала
Федерального государственного бюджетного научного учреждения
«Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики
Российской академии наук» (ИПФ РАН) на диссертацию **Камашева Андрея
Андреевича**
«Экспериментальное исследование роли триплетного спаривания в эффекте
сверхпроводящего спинового клапана»,
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-
математических наук по специальности 01.04.11 — физика магнитных
явлений

В диссертации Камашева А.А., представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.11 — «физика магнитных явлений», приведены результаты экспериментальных исследований магнитных и транспортных свойств слоистых структур сверхпроводник – ферромагнетик. Проблема взаимодействия и конкуренции сверхпроводящего спаривания и ферромагнитного упорядочения в таких системах привлекает большое внимание как теоретиков, так и экспериментаторов. Работы по этой тематике постоянно появляются в ведущих физических журналах. Особое внимание уделяется в литературе возможности реализации различных способов управления сверхпроводящим транспортом путем изменения состояния магнитной подсистемы. Одним из перспективных в этом отношении устройств является сверхпроводящий спиновый вентиль или клапан, на исследовании которого в основном сосредоточился автор представленной диссертации. Выбранный объект исследования интересен не только в плане возможных приложений, но также и с точки зрения изучения фундаментальных особенностей сверхпроводящего спаривания, которые проявляются в системах с неоднородным распределением магнитного момента. Здесь **следует особенно подчеркнуть важность и актуальность** полученных автором результатов, относящихся к исследованию триплетных сверхпроводящих корреляций, возникающих в таких структурах. Представленные в диссертации результаты экспериментальных работ представляются важными для подтверждения

сделанных ранее теоретических предсказаний и углубления понимания проблемы взаимодействия сверхпроводимости и магнетизма, опубликованные результаты, безусловно, относятся к «горячей теме» в физике конденсированного состояния.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка цитируемой литературы, состоящего из 112 наименований. Она изложена на 142 страницах, включая 37 рисунков.

Во Введении обосновывается актуальность темы исследования и формулируются цели работы.

Первая глава диссертации содержит подробное описание использованных в работе экспериментальных методик. В частности, автор привел некоторые сведения по технологии изготовления образцов, описание использованной методики СКВИД-измерений магнитных свойств, а также измерений резистивного перехода в сверхпроводящее состояние.

Вторая глава посвящена исследованию проблемы стабильности характеристик изготовленных структур. Здесь очевидным достижением автора является существенное улучшение стабильности сверхпроводящих спиновых клапанов за счет введения дополнительного слоя меди, разделяющего сверхпроводник и слой железа. Кроме того, автор анализирует вопрос подбора оптимальных материалов и их толщин. Автор выполняет также сравнение результатов измерений с теоретической моделью, которая позволяет рассчитать изменение критической температуры сверхпроводящего перехода в рассматриваемых системах в грязном пределе.

В третьей главе описаны экспериментальные свидетельства в пользу возникновения в полученных структурах дальней триплетной компоненты сверхпроводящих корреляций. В частности, автором получена экспериментальная зависимость температуры сверхпроводящего перехода от угла между магнитными моментами различных слоев. Немонотонный характер этой зависимости интерпретирован как свидетельство возникновения дальней триплетных корреляций. Проведено сравнение эксперимента и теории.

В четвертой главе эффект сверхпроводящего спинового вентиля и триплетные корреляции изучены на примере структур, в которых в качестве ферромагнитного материала выбран пермаллой. Исследовано влияние шероховатости сверхпроводящего слоя и изменение угловой зависимости критической температуры от толщины ферромагнитных слоев.

Следует подчеркнуть научную новизну основных результатов диссертации: автором предложена удачная замена ферромагнитного материала с железа (Fe) на пермаллой ($\text{Py} = \text{Ni}_{0.81}\text{Fe}_{0.19}$) в системах $\text{CoO}_x/\text{Py1}/\text{Cu}/\text{Py2}/\text{Cu}/\text{Pb}$, что позволило заметно улучшить характеристики сверхпроводящего спинового вентиля, экспериментально подтверждено

наличие существенного вклада триплетных сверхпроводящих корреляций в характеристики сверхпроводящего спинового вентиля на основе структур $\text{CoO}_x/\text{Py1}/\text{Cu}/\text{Py2}/\text{Cu}/\text{Pb}$.

Достоверность основных выводов, сформулированных диссертантом, обеспечивается правильным выбором необходимых теоретических методов исследования и апробацией работы на Российских и Международных конференциях. Новизна и практическая значимость полученных результатов, подтверждаются достаточным количеством публикаций в ведущих физических журналах.

Вместе с тем по диссертации можно сделать некоторые замечания, которые в основном относятся к предложенной модели структур с дополнительным слоем меди. Автор рассматривает транспорт через границу сверхпроводник – тонкий слой меди – ферромагнетик в приближении эффективной прозрачности всего этого интерфейса. Более детальное описание физики транспорта через такой сложный интерфейс представляется желательным, особенно в свете наблюдения существенного влияния дополнительного слоя на критическую температуру. Вопрос этот относится также и к описанию второго слоя меди (между ферромагнитными слоями): модель и эффективные параметры прозрачности этого слоя просто не указаны.

Приведенные замечания, однако, не снижают общей высокой оценки представленной диссертации. В целом, следует отметить, что диссертационная работа Камашева А.А. демонстрирует высокую квалификацию автора как физика-экспериментатора и является существенным вкладом в развитие физики гибридных сверхпроводящих систем: решена задача стабилизации характеристик системы $\text{CoO}_x/\text{Fe1}/\text{Cu}/\text{Fe2}/\text{Pb}$ путем введения дополнительного слоя меди на границе раздела $\text{Fe2}/\text{Pb}$; исследовано влияние дополнительного слоя меди на магнитные и сверхпроводящие свойства образцов; исследованы особенности работы сверхпроводящего спинового вентиля и триплетные сверхпроводящие корреляции в структурах $\text{CoO}_x/\text{Py1}/\text{Cu}/\text{Py2}/\text{Cu}/\text{Pb}$.

Полученные результаты представляют большой интерес (значимость) и могут быть рекомендованы к использованию в научных коллективах: Институт физики твердого тела РАН (г. Черноголовка), Физико-технический институт им. Иоффе (г. Санкт-Петербург), Институт физики металлов УрО РАН (г. Екатеринбург), Институт физических проблем им. П.Л. Капицы (г. Москва), Московский государственный университет (г. Москва), Институт физики микроструктур РАН (г. Нижний Новгород), Физический Институт им. П.Н. Лебедева РАН (г. Москва) и других научных центрах, занимающихся исследованиями по данной проблеме.

Диссертация и автореферат написаны хорошим и понятным языком. Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

По своему содержанию, объему, достоверности, новизне, практической значимости полученных результатов диссертация Камашева Андрея Андреевича удовлетворяет всем требованиям п.9 Положения ВАК о порядке присуждения степеней, утвержденного постановлением правительства РФ №842 от 24.09.2013, и сам А.А. Камашев, безусловно, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.11 – физика магнитных явлений.

Диссертационная работа была заслушана и обсуждена 6 июня 2016 г. на семинаре по физике твердого тела Института физики микроструктур РАН.

Отзыв рассмотрен и утвержден 30 сентября 2016 г. на заседании № 3 Ученого совета Института физики микроструктур РАН (телефон: 8 (831) 417-94-73, e-mail: director@ipmras.ru, сайт: <http://www.ipmras.ru>).

Текст отзыва составил:

Заведующий лабораторией теории мезоскопических систем ИФМ РАН,

Доктор физико-математических наук Мельников Александр Сергеевич

«30» сентября 2016 года

телефон: +7(910)392-98-60, e-mail: melnikov@ipm.sci-nnov.ru

Почтовый адрес: 603087, Нижегородская область, Кстовский район, д. Афонино, ул. Академическая, д. 7, ИФМ РАН.