

## Отзыв

на автореферат диссертационной работы Шавкина Сергея Викторовича «Исследование электродинамики ниобий-титановых сверхпроводников с сильной анизотропией пиннинга в широком диапазоне магнитных полей», представленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – «Физика конденсированного состояния».

В автореферате диссертационной работы Шавкина С.В. представлены результаты комплексного теоретического и экспериментального исследования электродинамики сверхпроводников с высокой плотностью критического тока, к которым в первую очередь относятся известные металлические сплавы ниобий-титан, интерметаллид ниобий-олово, а также высокотемпературные сверхпроводники (ВТСП). Все эти материалы обладают более-менее выраженной анизотропией критического тока, связанной как с процессом изготовления, так и с внутренней анизотропией физических свойств, в случае ВТСП. Важнейшая прикладная характеристика сверхпроводящих материалов – плотность критического тока — определяется способностью вихревой решетки закрепляться на структурных дефектах, именуемой пиннингом вихрей. Изучение анизотропного пиннинга является актуальной проблемой, важной для практического применения.

В своей работе автор рассмотрел связь анизотропии критического тока, с особенностями формирования вихревой решетки, намеренно избегая усложнений, связанных с анизотропией характеристик сверхпроводящего состояния, присущей ВТСП. В качестве объекта экспериментального исследования была выбрана лента из изотропного (кубического) ниобий-титанового сплава НТ-50 (состав Nb-50вес.%Ti), в которой анизотропия пиннинга задавалась холодной прокаткой. Для объяснения результатов экспериментов предложен и развит оригинальный метод анализа взаимодействия вихревой решетки с системой центров пиннинга в рамках макроскопического представления об обобщенной потенциальной яме, ширина и глубина которой зависят от направления силы Лоренца и магнитной индукции в материале сверхпроводника. Данный метод позволяет рассчитать важную характеристику анизотропного пиннинга - локальную плотность силы пиннинга. Автор описал предположения, лежащие в основе развитой модели и ее ограничения, и показал, что экспериментально наблюдаемое явление «направляемого движения магнитного потока», заключающееся в появлении поперечной компоненты электрического поля, в отличие от эффекта Холла, являющейся четной по отношению к инверсии магнитного поля, может быть не только объяснено, но и количественно описано в рамках предложенной модели.

Методическая постановка и проведение экспериментальной проверки предложенной модели свидетельствуют о высоком профессионализме автора. В работе представлены исчерпывающие сведения о микроструктурном состоянии материала ленты НТ-50 и показано, что различие в распределение плотности границ зерен в направлениях вдоль и поперек



прокатки и направлении нормали к плоскости ленты является источником анизотропии пиннинга. Убедительно доказано, что для предложенная модель дает хорошее согласование с полученными экспериментальными данными.

Разработки модели, описывающей анизотропию пиннинга, и подтверждение ее адекватности на результатах экспериментальных исследований, выполненных дополняющими друг друга методами, составляют научную новизну диссертационной работы. Ее практическая ценность заключается в обосновании возможности проведения на основе предложенной модели инженерных расчетов электродинамических параметров сверхпроводящих проводов и лент, что может быть использовано при проектировании обмоток сверхпроводящих магнитов со сложной конфигурацией поля.

Материалы автореферата отражают большой личный вклад автора в выполненные исследования. Он предложил математическое описание феноменологической модели анизотропного пиннинга и ее следствий, выполнил расчеты параметров модели для сверхпроводящей ленты НТ-50, разработал и создал систему регистрации двумерных вольт-амперных характеристик и электромагнитную систему для стенда регистрации магнитооптических изображений, выполнил эксперименты и обработал экспериментальные данные по электродинамическим, магнитным и магнитооптическим характеристикам ленты НТ-50, предложил оригинальные модели для объяснения наблюдаемых явлений. Все это свидетельствует о высоком уровне знаний автора и разносторонности его практической экспериментальной подготовки.

В качестве замечания следует отметить отсутствие в автореферате обсуждения возможного применения развитой модели для анализа ВТСП материалов. Правильный выбор объекта исследования позволил нивелировать влияние анизотропии сверхпроводника на изученную проблему, однако предложенный феноменологический подход, видимо, дает возможность учитывать и этот фактор, поэтому мнение автора о работах в данном направлении было бы весьма ценным.

Указанное замечание не влияет на общее положительное впечатление от диссертационной работы, которая представляет собой законченный цикл взаимосвязанных теоретических и экспериментальных работ. Считаю, что работа достойна высокой оценки, а её автор, Шавкин Сергей Викторович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 -«Физика конденсированного состояния».

Доцент кафедры

Физики твердого тела и наносистем

Национального исследовательского  
ядерного университета «МИФИ», к.ф.-м.н.

115409, Москва, Каширское ш. 31, НИЯУ МИФИ

[AVKuznetsov@mephi.ru](mailto:AVKuznetsov@mephi.ru)

тел. +7 (495) 788 56 99, доб. 8194

А.В. Кузнецов

25.10.2021

