

УТВЕРЖДАЮ
Директор ФГБУН
Института теплофизики
им. С.С. Кутателадзе СО РАН
академик РАН С.В. Алексеенко



(Signature)

17

» *марта*

2017 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения РАН

Диссертация «Процессы реконнекций и стохастическая динамика квантованных вихревых нитей в сверхтекучем гелии» выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения РАН.

В период подготовки диссертации соискатель Андрющенко Владимир Андреевич работал в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения РАН, лаб. 6.2 в должности ведущего инженера.

В 2008 г. соискатель окончил Новосибирский государственный университет по специальности магистр физики. Справка о сдаче кандидатских экзаменов выдана в 2017 г. Федеральным государственным бюджетным учреждением Институтом теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения РАН.

Научный руководитель: Немировский Сергей Карпович, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук, отдел физической гидродинамики, лаборатория теоретической теплофизики, главный научный сотрудник.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

Цели работы

Изучение свойства вихревого клубка и динамики квантовых вихревых нитей перед реконнекцией, а также определение энергетических спектров полей скорости, соответствующих различным вихревым конфигурациям.

Актуальность темы

диссертации обусловлена фундаментальными научными проблемами теории квантовой турбулентности, а также прикладными проблемами, связанными с теплообменом в системах, функционирующих при температурах ниже 2K . На сегодняшний день, при этих температурах единственным “реальным” хладагентом является сверхтекучий гелий. На гидродинамические и термодинамические процессы в сверхтекучем гелии, в свою очередь, существенно влияет вихревой клубок (совокупность переплетенных квантованных вихревых нитей). Структура вихревого клубка, в значительной степени, определяется динамикой вихревых нитей и процессами реконнекций. Изучение закономерностей, присущих процессам реконнекций, а также определение влияния процессов реконнекций на свойства вихревого клубка являются одними из ключевых задач теории квантовой турбулентности.

Представляемая диссертационная работа посвящена моделированию динамики вихревых нитей перед реконнекциями и в противотоке нормальной и сверхтекучей компонент гелия при различных температурах, а также определению энергетических характеристик соответствующих процессов.

Личный вклад автора

Автор участвовал в разработке, отладке и тестировании программы, используемой для моделирования динамики вихревых нитей. Программа для нахождения энергетического спектра и модули программ для определения скорости сближения и геометрической конфигурации вихревых нитей разработаны и реализованы лично автором. Получение всех численных и аналитических результатов, представляемых в работе, их обработка и подготовка к

публикации проведены лично автором. Общая постановка задач и обсуждение полученных результатов проводилась совместно с соавторами опубликованных работ.

Поставлены и решены следующие задачи:

- Детально изучена динамика квантованных вихревых нитей перед реконнекциями при различных температурах и начальных условиях.
- Проведено моделирование динамики вихревого клубка в противотоке нормальной и сверхтекучей компонент гелия. Изучены важные свойства вихревого клубка.
- Найдены энергетические спектры полей скорости, индуцируемых различными хаотическими вихревыми нитями.
- Найдены энергетические спектры полей скорости, создаваемых реконнектирующими вихревыми нитями.
- Найдены энергетические спектры полей скорости, создаваемых вихревыми клубками при различных температурах и скоростях противотока нормальной и сверхтекучей компонент гелия.

Достоверность полученных результатов

обусловлена использованием проверенных методик аналитического и численного решения физических задач. Алгоритм моделирования, используемый при получении результатов, тестировался на согласование с существующими аналитическими решениями, а также прошел тесты на устойчивость и сходимость. Полученные численные результаты качественно, а в ряде случаев и количественно согласуются с достоверными экспериментальными данными (Vinen W.F., Paoletti M.S. и др.) и известными аналитическими результатами других авторов (Немировский С.К., Tsubota M. и др.).

Научная новизна:

- Впервые детально изучена динамика квантованных вихрей перед реконнекциями при различных температурах. Установлено, что в динамике вихревых нитей перед реконнекцией можно выделить три временных интервала (различных по характеру сближения): универсальный, полуунивер-

сальный и неуниверсальный. Найдена скорость сближения ближайших элементов вихревых нитей в универсальном и полууниверсальном интервалах. Установлены границы между этими интервалами.

- Установлена независимость геометрической конфигурации ближайших элементов вихревых нитей от температуры и начальных условий в универсальном интервале. В случае осуществления реконнекции, сближающиеся участки вихревых нитей переориентируются таким образом, чтобы направление векторов их циркуляции было противоположным.
- Исследована динамика вихревого клубка в рамках метода вихревой нити с применением нового критерия реконнекций, основанного на анализе динамики элементов вихревых нитей. Установлены связи скорости реконнекций с плотностью вихревого клубка и плотности вихревого клубка со скоростью противотока нормальной и сверхтекучей компонент гелия.
- Найдены энергетические спектры полей скорости, индуцируемых хаотическими вихревыми нитями, подчиняющимися различным статистическим моделям.
- Впервые, используя метод корреляционных функций, получены энергетические спектры полей скорости, индуцированных реконнектирующими вихревыми нитями. Установлено, что конфигурации, образуемые ближайшими элементами вихревых нитей перед реконнекцией, создают поля скорости со спектрами близкими к колмогоровскому.
- Найдены энергетические спектры полей скорости, создаваемых вихревыми клубками в противотоке нормальной и сверхтекучей компонент при различных температурах.

Научная и практическая ценность

На основании проведенных исследований сформулированы важные выводы и обобщения, способствующие построению новых моделей теории квантовой турбулентности. Проведенные исследования вносят существенный вклад в понимание как динамики и процессов реконнекций квантовых вихревых нитей при ненулевых температурах, так и влияния квантовых вихрей на

перенос энергии в сверхтекучем гелии. Полученная детальная информация о динамике вихревых нитей перед реконнекцией может быть использована для усовершенствования критериев реконнекции и повышении точности программ, определяющих рабочие режимы криогенных установок.

Основные публикации автора по материалам диссертации

- 1) Немировский С.К., Андриященко В.А. Энергетический спектр поля скорости, индуцируемого фрактальной вихревой нитью в сверхтекучем гелии // Физика низких температур. – 2008. – Т. 34, № 4/5. – С. 373-379.
- 2) Kondavrova L.P., Andryushchenko V.A., Nemirovskii S.K. Numerical simulation of superfluid turbulence under periodic conditions // Journal of Low Temperature Physics. – 2008. – V. 150, Issue 3/4. – P. 415-419.
- 3) Кондаурова Л.П., Андриященко В.А., Немировский С.К. Численное моделирование динамики вихревого клубка в сверхтекучем гелии // Вычислительные технологии. – 2010. – Т. 15, № 2. – С. 41-51.
- 4) Andryushchenko V.A., Kondaurova L.P., Nemirovskii S.K. Dynamics of quantized vortices before reconnection // Journal of Low Temperature Physics. – 2016. – V. 185, Issue 5. – P. 377-383.
- 5) Андриященко В.А., Немировский С.К. Коллапсирующие вихревые нити и спектр квантовой турбулентности // Физика низких температур. – 2017. – Т. 43, № 1. – С. 150-159.
- 6) Андриященко В.А., Кондаурова Л.П. Энергетические спектры квантовой турбулентности при наличии противотока для различных температур // Физика низких температур. – 2017. – Т. 43, № 2. – С. 245-252.
- 7) Andryushchenko V.A., Kondaurova L.P., Nemirovskii S.K. Dynamics of non-planar quantized vortex rings before reconnection at finite temperatures // Journal of Low Temperature Physics. – 2017. – V. 187, Issue 5/6. – P. 523-530.

Апробация работы

проводилась на следующих научных мероприятиях: XII Всероссийская научная конференция студентов физиков (Россия, Новосибирск, 2006 г.); XLIV Международная научная студенческая конференция (Россия, Новосибирск, 2006 г.); Международные конференции по квантовым жидкостям и кристаллам QFS-2007, 2016 (Россия, Казань, 2007 г.; Чехия, Прага, 2016 г.); XXXVII Совещание по физике низких температур (Россия, Казань, 2015 г.); Международная конференция: Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики (Россия, Новосибирск, 2015 г.); Euromech colloquium 581. Dynamics of concentrated vortices (Россия, Новосибирск, 2016 г.); IX Всероссийская конференция: Физика ультрахолодных атомов (Россия, Новосибирск, 2016 г.); XXXIII Сибирский теплофизический семинар (Россия, Новосибирск, 2017 г.).

Решение о рекомендации работы к защите

Диссертация Андриющенко Владимира Андреевича «Процессы реконнекций и стохастическая динамика квантованных вихревых нитей в сверхтекучем гелии» рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы.

Заключение принято на заседании семинара отдела "Физическая гидродинамика" Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения РАН под руководством академика РАН С.В. Алексеенко. На заседании присутствовало 17 человек, в том числе, 10 докторов и 4 кандидата наук. Результаты голосования: «за» – 17 человек, «против» – нет, «воздержалось» – нет, протокол № 1 от «14» марта 2017 г.

Председатель семинара
академик РАН

С.В. Алексеенко

Секретарь семинара
к.т.н.

И.К. Кабардин