

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

Андрющенко Владимира Андреевича

**«ПРОЦЕССЫ РЕКОННЕКЦИЙ И СТОХАСТИЧЕСКАЯ
ДИНАМИКА КВАНТОВАННЫХ ВИХРЕВЫХ НИТЕЙ
В СВЕРХТЕКУЧЕМ ГЕЛИИ»,**

представленную на соискание ученой степени кандидата

физико–математических наук по специальности

01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы

Проблема исследования турбулентных явлений в самых различных их проявлениях в настоящее время является одной из наиболее интригующих и востребованных научных задач. Проблемы нелинейного движения объектов в разномасштабных задачах в средах с диссипацией и дисперсией, начиная от протекания жидкости в микроскопических капиллярах и кончая движением общепланетных вихрей с масштабами тысячи и сотни тысяч километров требуют понимания процессов рождения вихрей, их динамику и их диссипацию. В качестве моделирующей среды возможно применение сверхтекучей жидкости, на вихревую систему которой накладываются упрощающие ограничения в виде квантования потоков сверхтекучей компоненты. Все это определяет **актуальность и востребованность** нашего понимания турбулентных процессов в таких простейших ограничениях. Вихревые явления в сверхтекучем гелии-4 (в отношении к данной диссертации) являются необычайно благодатной темой для исследования, принимая во внимание большое количество как экспериментальных результатов, с которыми можно сравнивать расчетные выкладки, так и активную работу теоретиков и расчетчиков, с подходами и результатами которых можно сопоставлять полученные в диссертации результаты расчетов и модельные подходы. Для турбулентных процессов в сверхтекучем гелии характерны, с одной стороны, наличие взаимодействия сверхтекучей и нормальной компонент, обеспечивающее возможность возникновения перекачки энергии из сверхтекучей компоненты в

нормальную, с другой стороны, на сверхтекучую компоненту накладываются инвариантные упрощения. В этом достаточно испаханном поле исследований сверхтекучего гелия Андрющенко Владимиру Андреевичу удалось найти свою нишу. Рассматриваемая диссертация посвящена численному исследованию вихревых систем в сверхтекучем гелии-4, в том числе нахождению их спектральных характеристик, и обсуждению полученных результатов.

Структура диссертационной работы достаточно традиционна и состоит из введения, трех основных частей, заключения и библиографического списка, состоящего из 109 наименований. Объем представленной диссертации составляет 106 страниц, включая 31 рисунок и 2 таблицы.

Введение содержит обоснование актуальности диссертационной работы, определение целей и задач диссертации, научную новизну и практическую значимость решаемых в работе задач.

Первая глава диссертационной работы посвящена детальному изучению влияния нормальной компоненты сверхтекучего гелия на динамику вихревых нитей перед реконнекциями при различных начальных конфигурациях вихревых петель. В первых пунктах главы приводится постановка задачи и краткий литературный обзор, касающийся исследуемой системы, описывается метод вихревой нити и соответствующие ему уравнения движения (используемые при моделировании), а также детально описывается вычислительная схема и результаты ее тестирования. Далее приводятся результаты, характеризующие динамику сближения вихревых нитей перед их реконнекцией: зависимость минимального расстояния между вихревыми нитями от времени, скорость ближайших элементов вихревых нитей, оценки времени жизни вихревых петель и др. Отдельно рассматривается и подробно описывается геометрическая конфигурация вихревых непосредственно перед реконнекцией.

Одна из задач, рассмотренных в первой главе диссертации, является проблема реконнекции вихревых петель, приводящих к уменьшению размера вихрей и перекачки энергии в вихри малого размера. Интересный расчетный результат получен для изменения минимального расстояния

между соседними вихрями при реконнекции в виде универсальной зависимости от времени при сближении частей соседних вихрей ближе $0.08 R_0$ вне зависимости от температуры жидкости. Это явно указывает на превосходство гидродинамических сил влияния вихревых потоков на движение вихря (приближение вихрей при реконнекции) по сравнению с вязкостными взаимодействиями вихрей с ротонной системой. Было бы полезно провести энергетические оценки таких взаимодействий. Еще одно замечание по приведенным в диссертации результатам. Непонятно почему на графике расчетному времени $t=0$ соответствует расстояние в $0.2-0.4 R_0$, хотя при постановке задачи начальное расстояние между центрами вихрей для угла 0 градусов было указано как $2.1-2.5 R_0$.

В качестве дополнительного замечания по построению диссертации: для прикладного и педагогического использования, было бы более полезно формулировать основные исходные данные счетной задачи в разделе, где описываются основные полученные результаты и проводится их обсуждение. Например, при описании расчетов сближения вихревых колец и минимального расстояния их при реконнекции в разделе «вычислительная схема» приводятся исходные данные для расчетов в виде радиуса вихревых колец $R_0 \sim 10^{-7} - 10^{-5}$ м и расстояние между центрами колец $\Delta = 2.1-2.5 R_0$, в то время как при обсуждении полученных результатов Δ рассматривается уже в $2.1-2.5 \cdot 10^{-5}$ м. Вызывает удивление полученная автором в расчетах временная зависимость на начальных временных отрезках, когда по времени расстояние между точками соседних вихрей начинает увеличиваться, что отличается от полученных в эксперименте данных. Хотелось бы получить физическое объяснение такого различия.

Вторая глава посвящена численному моделированию динамики вихревого клубка в противотоке нормальной и сверхтекучей компонент гелия. Первые пункты главы посвящены: общей постановке задачи, рассмотрению математической модели системы, включая процессы реконнекции и уравнение движения вихревой нити, а также описанию численной реализации алгоритма реконнекций и оптимизации вычислительной схемы. В следующем пункте главы приводятся некоторые

важные свойства вихревого клубка, полученные при моделировании, и их сопоставление с существующими аналитическими и численными результатами. Однако стоит заметить, что в данной главе диссертант обратил существенное внимание на вычислительные детали процесса реконнекции, в то время как стоило более детально разобраться с физическими особенностями столкновения вихрей. Физически понятно, что два вихря с однонаправленными векторами циркуляции даже при выполнении условий, указанных на рис.2.2 не дадут топологию рис. 2.3.

Один из интересных научных результатов, полученных в этом разделе – зависимость количества процессов реконнекции от плотности вихрей. При обсуждении полученных результатов хотелось бы понять физическую причину такого нетривиального поведения:

$$dN_r/dt = C\kappa L^{5/2}.$$

В третьей главе изучаются спектральные характеристики полей скорости, создаваемые различными конфигурациями квантовых вихрей. В первом пункте третьей главы работы приводится постановка задачи и обсуждается ее актуальность. Во втором пункте, рассматривается аналитический подход для изучения хаотической вихревой петли и спектров полей скорости, индуцируемых ей. Выводится формула для энергии потока, индуцируемого хаотической вихревой петлей, находятся соответствующие спектры энергии. Далее, на основе метода структурных функций исследуются энергетические спектры полей скорости, индуцируемых различными вихревыми конфигурациями, а именно: кинками (пирамидальными структурами образуемыми ближайшими элементами вихревых нитей) перед реконнекцией, вихревыми петлями перед реконнекцией, вихревыми клубками в противотоке нормальной и сверхтекучей компонент гелия при различных температурах.

В ходе прочтения диссертации возникает вопрос, имеющий принципиальное значение для понимания процессов эволюции вихревого клубка - это поведение двух вихрей после реконнекции, как разбегаются вновь созданные вихревые образования. Эксперименты группы Lathrop D.P. показывают, что после реконнекции ближайшие точки просто отпрыгивают

друг от друга. Эти задачи можно сформулировать уже в качестве продолжения расчетной деятельности диссертанта и его руководителей.

Можно отметить наличие описок в тексте диссертации, таких, например, как «реонекция - реоннексия» (стр. 20, стр. 42 дважды), что только свидетельствует о внимательном прочтении диссертации оппонентом, но не как не сказывается на научную ценность и аккуратность полученных автором результатов.

Научная новизна диссертации определяется большим количеством полученных впервые расчетных результатов и их теоретическим осмыслением. Научная **достоверность** полученных результатов подтверждается сравнением с известными экспериментальными данными, а также сравнением с результатами расчетных экспериментов других научных групп.

Практическая значимость диссертационной работы определяется возможностью применения полученных в ней результатов для понимания: процессов вихреобразования в сверхтекучем гелии, взаимодействия вихрей, процессов теплопередачи для охлаждения криогенных устройств.

Результаты диссертационной работы могут быть использованы в научных исследованиях квантовой гидродинамики, при конструировании приборов с использованием сверхтекучего гелия в качестве охлаждающей среды в институтах Российской академии наук – ИТФ РАН им. Ландау, ИХФ РАН, ИФТТ РАН, ИПТМ РАН, ИФМ РАН, ИПФ РАН, в высших учебных заведениях, таких как МГУ, Санкт-Петербургском ГУ, МФТИ, МИФИ.

Работа Андрющенко В.А. прошла достаточную предварительную апробацию на представительных и компетентных всероссийских и международных конференциях, основные результаты диссертации опубликованы в 7 статьях входящих в Перечень журналов и изданий, утвержденных ВАК и в 9 тезисах конференций. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

По актуальности темы, объему и достоверности полученных результатов, глубине и значимости выводов диссертация **АНДРЮЩЕНКО**

Владимира Андреевича «ПРОЦЕССЫ РЕКОННЕКЦИЙ И СТОХАСТИЧЕСКАЯ ДИНАМИКА КВАНТОВАННЫХ ВИХРЕВЫХ НИТЕЙ В СВЕРХТЕКУЧЕМ ГЕЛИИ» отвечает всем критериям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, установленным в Постановлении Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 «О порядке присуждения ученых степеней». Она содержит новые научные результаты и представляет собой выполненную научно-исследовательскую работу, свидетельствующую о надлежащей квалификации автора. Не вызывает сомнения то, что ее автор, Андрющенко В.А., заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы.

Официальный оппонент

д.ф.-м.н., Директор ИФТТ РАН



Левченко

Александр Алексеевич

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Институт физики твердого тела РАН

Сайт: www.issp.ac.ru

Адрес: 142432, Московская обл., г. Черноголовка, ул. Академика Осипяна 2

Телефон: (496) 522-23-44

E-mail: levch@issp.ac.ru

Подпись Левченко А.А. заверяю

Ученый секретарь ИФТТ РАН

доктор физико-математических наук



Абросимова Г.Е.