

УТВЕРЖДАЮ

Директор федерального государственного
бюджетного учреждения науки

Объединенный институт высоких температур
Российской академии наук (ОИВТ РАН)


«28» ноября 2023 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации

на диссертационную работу Султановой Мадины Рафаиловны

«Нелинейные волновые и вихревые движения на поверхности и в объёме
классической и квантовой жидкости» на соискание учёной степени кандидата
физико-математических наук по специальности 1.3.8 – физика конденсированного
состояния

Диссертационная работа Султановой Мадины Рафаиловны посвящена экспериментальному исследованию волновой и вихревой турбулентности на поверхности жидких водорода и гелия, а также эластической турбулентности неньютоновской полимерной жидкости, вязкость которой зависит от градиента скорости.

Актуальность, теоретическая значимость и практическая ценность представленной работы обусловлены необходимостью развития фундаментальных основ и проведения экспериментальных исследований волновой, вихревой и эластической турбулентности для понимания формирования и эволюции крупномасштабных атмосферных вихревых возмущений, исходя из процессов переноса и диссипации энергии в турбулентных потоках, для решения самых разных современных практических задач, таких как, например, транспортировка на орбиту больших объёмов криогенных жидкостей (использование жидкого водорода как топлива в аэрокосмической технике и жидкого гелия как хладагента в телескопах космического базирования) и перекачка жидкостей, содержащих длинные

полимерные молекулы, в том числе жидких углеводородов, по трубопроводам, различные применения жидкостей с «переключаемой» вязкостью для разработки принципиально новых гидравлических механизмов и микрофлюидных устройств.

Научная новизна работы заключается в следующих результатах:

Впервые в стационарных условиях наблюдался локальный максимум в турбулентном спектре на поверхности жидкого водорода в системе радиальных мод вблизи высокочастотного края прямого турбулентного каскада;

По отклонению дрейфующих в приповерхностном слое электронов впервые показано, что при температуре, близкой к температуре перехода гелия в сверхтекучее состояние, взаимодействие взаимно перпендикулярных волн на поверхности жидкости приводит к образованию вихревых течений;

Впервые экспериментально показано, что взаимодействие двух перпендикулярных стоячих капиллярных волн на поверхности сверхтекучего гелия при температурах вблизи 1.5 К приводит к формированию вблизи поверхности квантовых вихрей, которые эффективно захватывают инжектированные в жидкость электроны;

Предложено использование новой энтропийной характеристики перехода «клубок – нить», происходящего при воздействии продольного гидродинамического потока на полимерный раствор.

Обоснованность и достоверность представленных в диссертации результатов и выводов основаны на использовании современных экспериментальных подходов (в списке публикаций помимо научных статей имеются 2 патента по технике эксперимента), воспроизводимостью полученных результатов и их соответствии современным теоретическим представлениям о волновой и вихревой турбулентности в классической и квантовой жидкости.

Личный вклад автора. Все результаты, представленные в диссертационной работе, были получены при непосредственном участии автора данной работы. Содержание диссертации и основные положения, выносимые на защиту, отражают персональный вклад автора.

Объём и структура работы. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения и списка используемой литературы из 94 источников. Полный объём диссертации составляет 83 страницы, включая 31 рисунок.

Во введении представлены цели и задачи диссертационной работы, обоснованы научная новизна, достоверность и практическая значимость полученных результатов, приведены основные положения, выносимые на защиту, приведены доклады на конференциях и публикации по теме диссертации.

В первой главе кратко изложена ознакомительная информация по модам колебаний поверхности жидкости в квадратной и цилиндрической ячейках, волновой турбулентности и законам дисперсии для капиллярных и гравитационных волн, а также некоторые особенности сверхтекучего гелия и квантовой турбулентности.

Во второй главе описана экспериментальная методика, использованная для исследования волновой турбулентности на поверхности жидкого водорода и представлены полученные результаты. Наблюдаемое формирование локального максимума на высокочастотном краю инерционного интервала турбулентного спектра объясняется возможностью подавления амплитуды волн в диссипативной области вследствие нелинейного нарастания затухания колебаний при повышении их частоты.

Третья глава посвящена исследованию взаимодействия вихревых течений в нормальном и сверхтекучем гелии с инжектированными в жидкий гелий электронами. Представлены экспериментальная установка, схемы измерения тока и управления напряжениями на управляющих электродах и, более подробно, геометрия ячейки с источником электронов, плунжерами, возбуждающими колебания поверхности жидкого гелия, измерительными и управляющими электродами. Представлены и обсуждены результаты исследований влияния на поток электронов в приповерхностном слое жидкого с вихревыми потоками, устанавливающимися на поверхности жидкости при взаимодействии взаимно перпендикулярных волн, и с квантовыми вихрями, формирующимися в сверхтекучем гелии благодаря стационарной решётке областей с противоположно направленной завихренностью.

В четвёртой главе приведены исследования перехода «клубок» - «нить», происходящего в неньютоновских жидкостях при росте градиента скорости в условиях эластической турбулентности, когда наблюдаемые флуктуации потоков существенно превышают уровень тепловых флуктуаций. Для описания перехода

был предложен новый способ, который заключается в расчёте энтропии полимерных молекул как функции локального числа Вайсенберга. Проведено сравнение предложенного энтропийного метода с традиционным.

В заключении сформулированы основные результаты представленной диссертационной работы:

Впервые обнаружено формирование локального максимума в высокочастотной области инерционного интервала стационарного турбулентного спектра колебаний при возбуждении радиальных капиллярных волн на поверхности жидкого водорода в цилиндрической ячейке.

Установлено увлечение электронов, дрейфующих в приповерхностном слое жидкого гелия, с вихревыми стационарными течениями, образующимися в результате взаимодействия взаимно перпендикулярных волн, распространяющимися по поверхности жидкости.

Впервые экспериментально продемонстрировано формирование не только классических вихрей на поверхности, но также и квантовых вихрей в приповерхностном слое сверхтекучего гелия, простирающихся между зонами с противоположной завихренностью. Эти зоны, чередуются как чёрные и белые поля на шахматной доске и образованы стоячими волнами на поверхности жидкости, появляющимися в результате взаимодействия взаимно перпендикулярных волн, генерируемых волнопродукторами (плунжерами).

Предложен новый метод определения перехода «клубок» - «нить» при росте энтропии с 1.75 до 1.95, что также позволяет уточнить область перехода при изменении геометрии молекул полимеров в жидкости по мере роста градиента скорости.

По теме диссертации опубликовано 5 статей в рецензируемых научных журналах, получено 2 патента на изобретения, сделано 14 докладов на научных конференциях.

Автореферат и опубликованные работы достаточно полно отражают результаты и выводы, представленные в диссертации.

Вместе с тем необходимо отметить отдельные недостатки диссертации:

1. Используемые в тексте термины и аббревиатуры не всегда расшифровываются: на странице 40 упоминаются «АЦП» и «PSI», но в работе встречается только

расшифровка «АЦП» на странице 41. Автор многократно прибегает в работе к термину «coil-stretch transition» без какой-либо попытки перевода на язык диссертации, либо использования какого-либо из принятых переводов в русскоязычной литературе. При этом Рисунок 4.1 наглядно демонстрирует происходящий переход от скрученной в клубок структуры к линейной.

2. В описании экспериментальных установок и представлении полученных результатов повсеместно использованы исключительно термины «положительные заряды» и «отрицательные заряды», словно исследования проводились с различными положительными и отрицательными зарядами. Только из ссылок на цитируемую литературу становится понятно, что, например, отрицательным зарядам в представленной работе соответствуют скорее всего только электроны.

3. В тексте 3-й главы диссертации ничего не написано об использовании конфигурации измерительной ячейки, представленной на Рис. 3.2.б – не понятно, для чего эта ячейка приведена в работе. Описание Рисунка 3.6 в тексте мало соответствует тому, что и как изображено на самом рисунке и отмечено в подписи к рисунку. Создаётся впечатление, что автором описана как минимум другая версия этого рисунка.

4. Вывод о том, что «Видно, что характерное время τ_0 уменьшается с ростом частоты и близко по величине к вязкому времени $\tau_{vis.}$ » довольно сомнителен – с учётом приведённых на Рисунке 3.10 величин погрешностей вычисления зависимость τ_0 от k может на самом деле может и не быть монотонной

Все вышеперечисленные замечания не носят принципиального характера, в основном относятся к оформлению и не затрагивают основных результатов диссертационной работы.

Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая полностью соответствует всем квалификационным требованиям, установленным п. 9 Положения о порядке присуждения учёных степеней, утверждённого постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г., а её автор Султанова Мадина Рафаиловна заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – физика конденсированного состояния.

Диссертация заслушана, обсуждена и одобрена на семинаре ОИВТ РАН под руководством академика О.Ф. Петрова 06 ноября 2023 г. (протокол № 23).

Отзыв подготовил

старший научный сотрудник ОИВТ РАН

к.ф.-м.н. _____

Болтнев Роман Евгеньевич

Подпись Р. Е. Болтнева заверяю

Учёный секретарь ОИВТ РАН

д.ф.-м.н. _____



Киверин Алексей Дмитриевич

ФГБУН Объединённый институт высоких температур Российской академии наук
(ОИВТ РАН) 125412, Москва, улица Ижорская, дом 13, стр. 2, тел. 8(495)485-9009,
alexeykiverin@ihed.ras.ru