

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт физики твёрдого тела Российской академии наук

На правах рукописи

**Филатов Сергей Васильевич**

**НЕЛИНЕЙНЫЕ ВОЛНОВЫЕ И ВИХРЕВЫЕ  
ДВИЖЕНИЯ НА ПОВЕРХНОСТИ ЖИДКОСТИ**

**РЕЗЮМЕ**

диссертации на соискание учёной степени  
кандидата физических наук

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институт физики твёрдого тела Российской академии наук.

**Научный руководитель:** Левченко Александр Алексеевич, доктор физико-математических наук, доцент, директор федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт физики твёрдого тела Российской академии наук

# ТЕМА ДИССЕРТАЦИИ

Турбулентной системой называется сильно возбужденная система со многими степенями свободы и направленным потоком энергии в пространстве степеней свободы. Волновая турбулентность наряду с вихревой турбулентностью играет значительную роль во многих процессах, происходящих как на Земле, так и во Вселенной. Она является объектом интенсивных исследований во многих явлениях: волновых и вихревых процессах на поверхности океана, в атмосфере, в плазме и др. Турбулентные вихревые процессы играют значительную роль в определении погодных и климатических явлений.

Несмотря на то, что турбулентные волновые и вихревые системы изучаются многими исследователями в течение нескольких последних десятилетий, сложность исследуемых объектов и многообразие возникающих эффектов оставляют открытыми многие вопросы, в частности, вопросы касающиеся взаимодействия систем, передачи и диссипации энергии. В данной работе представлено исследование диссипации энергии в слаботурбулентной системе капиллярных волн на поверхностях воды и жидкого водорода и исследования вихревого движения, возникающего как результат слабонелинейного взаимодействия волн на поверхности воды.

**Целями** данной работы является:

1. Исследование особенностей распределения энергии в диссипативной области стационарных турбулентных спектров в системе волн на поверхности жидкости.
2. Исследование положения края инерционного интервала турбулентного каскада в системе волн на поверхности жидкости.
3. Исследование процессов генерации вихревого движения волнами на поверхности и в объеме жидкости.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие **задачи**:

1. Создание экспериментальных установок для исследования генерации вихревого движения в системе капиллярных волн и в системе гравитационных волн.
2. Исследование распределения энергии в высокочастотной области турбулентного каскада в системе капиллярных волн на поверхности жидкого водорода при разных характеристиках возбуждения волн.
3. Исследование распределения энергии в высокочастотной области турбулентного каскада в системе капиллярных волн на поверхности воды при разных спектральных характеристиках возбуждения волн.
4. Исследование распределения энергии в высокочастотной области турбулентного каскада в системе капиллярных волн на поверхности воды в экспериментальных ячейках различной геометрии.
5. Исследование условий формирования вихревого движения волновой системой на поверхности воды.
6. Исследование формирования вихревой системы при разных условиях возбуждения поверхностных волн.

**Научная новизна:**

1. Впервые экспериментально наблюден «квазипланковский» спектр в системе капиллярных волн на поверхности жидкого водорода.
2. Впервые экспериментально наблюден новый механизм формирования вихревого движения нелинейными волнами на поверхности жидкости.
3. Экспериментально исследовано формирование вихревого движения волнами на поверхности жидкости при различных условиях возбуждения.

**Практическая значимость**

В данной работе экспериментально исследовано распределение энергии в диссипативной области турбулентного каскада в системе волн на поверхности воды и на заряженной поверхности жидкого водорода, а также экспериментально обнаружен и исследован новый механизм генерации вихревых движений нелинейным взаимодействием неколлинеарных волн на поверхности жидкости. Знание о механизмах диссипации энергии в турбулентности, а так же передачи энергии из волновой системы в вихревую важно для понимания многих прикладных и фундамен-

тальных задач, в частности понимания нелинейного переноса энергии на поверхности Мирового океана; динамики крупномасштабных планетарных атмосферных вихрей.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Впервые экспериментально наблюден «квазипланковский» спектр в турбулентном каскаде энергии в системе капиллярных волн на поверхности жидкого водорода.
2. Экспериментально наблюдается степенная зависимость характерной частоты экспоненциального спада энергии в диссипативной области турбулентного каскада в системе капиллярных волн на поверхности жидкого водорода от амплитуды широкополосной накачки.
3. Экспериментально показано, что при возбуждении турбулентного состояния на поверхности воды монохроматической или широкополосной накачкой характерная частота высокочастотного края инерционного интервала и характерная частота экспоненциального затухания энергии в диссипативной области повышаются с ростом амплитуды накачки по степенному закону.
4. Экспериментально показано, что возникновение вихревого движения на поверхности жидкости происходит в результате взаимодействия нелинейных волн, распространяющихся под углом друг к другу.
5. Экспериментально исследован процесс формирования вихревого движения двумя перпендикулярными стоячими волнами как в случае капиллярных, так и в случае гравитационных волн на поверхности воды.
6. Экспериментально измерена зависимость амплитуды вихревого движения от амплитуды и относительной фазы двух перпендикулярных стоячих волн.

**Личный вклад.** Все экспериментальные данные представленные в диссертационной работе были получены при непосредственном участии автора данной работы. Диссертационная работа выполнена в лаборатории квантовых кристаллов ИФТТ РАН в период с 2009 по 2019 г.

## ПУБЛИКАЦИИ И АПРОБАЦИЯ РАБОТЫ

Главный автор Филатов Сергей Васильевич, кроме статей JETP Letters 2011, JETP Letters 2012, UFN 2012

### Публикации повышенного уровня

1. S.V. Filatov, V.M. Parfenyev, S.S. Vergeles, M.Yu. Brazhnikov, A.A. Levchenko, V.V. Lebedev, "Nonlinear Generation of Vorticity by Surface Waves", Physical Review Letters, **116**, 054501 (2016), doi: 10.1103/PhysRevLett.116.054501

### Публикации стандартного уровня

1. M.Yu. Brazhnikov, L.V. Abdurakhimov, S.V. Filatov, A.A. Levchenko, "Quasi-Planck" spectra of capillary turbulence on the surface of liquid hydrogen, JETP Lett. 2011.V. 93. P. 34., doi: 10.1134/S0021364011010024
2. L.V. Abdurakhimov, M.Yu. Brazhnikov, A.A. Levchenko, I.A. Remizov, S.V. Filatov, Turbulent Capillary Cascade near the Edge of the Inertial Range on the Surface of a Quantum Liquid, JETP Letters, Vol. **95**, No. 12, pp. 670–679. (2012) doi:10.1134/S0021364012120028
3. Л.В. Абдурахимов, М.Ю. Бражников, А.А. Левченко, И.А. Ремизов, С.В. Филатов, "Кинетическая и дискретная турбулентность на поверхности квантовой жидкости", УФН, том **182**, 8, с. 879 (2012), doi: <https://doi.org/10.3367/UFN.0182.201208i.0879>
4. С.В. Филатов, М.Ю. Бражников, А.А. Левченко, "Метод пространственной регистрации волн на поверхности прозрачной жидкости", ПТЭ, **1**, с. 107-112, (2014), doi: 10.7868/S0032816214010236
5. С.В. Филатов, М.Ю. Бражников, А.А. Левченко, "Формирование вихревого течения волнами на поверхности жидкости", Письма в ЖЭТФ, том **102**, вып. 7, с. 486-490 (2015), doi: 10.7868/S0370274X15190066

6. С.В. Филатов, М.Ю. Бражников, А.А. Левченко, А.М. Лихтер, "Турбулентность в системе капиллярных волн на поверхности воды", Поверхность, **10**, с. 69-76 (2016), doi: 10.7868/S0207352816100073
7. С.В. Филатов, С.А. Алиев, А.А. Левченко, Д.А. Храмов, "Генерация вихрей гравитационными волнами на поверхности воды", Письма в ЖЭТФ, том **104**, вып. 10, с. 714-720 (2016), doi: 10.7868/S0370274X16220094

#### **Доклады на конференциях и семинарах**

Основные результаты диссертационной работы доложены на следующих конференциях

1. XXIV научная сессия Совета РАН по нелинейной динамике (Москва, Россия, 2015)
2. Научная школа "Нелинейные волны 2016"(Нижний Новгород, Россия, 2016)
3. VIII-th International Conference "SOLITONS, COLLAPSES AND TURBULENCE: Achievements, Developments and Perspectives"(SCT-17) in honor of Evgeny Kuznetsov's 70th birthday (Черноголовка, Россия, 2017)
4. The 11th International Conference on Cryocrystals and Quantum Crystals (Finland, Turku, 2016)
5. Научная школа "Нелинейные волны 2018"(Нижний Новгород, Россия, 2018)
6. 12th International Conference on Cryocrystals and Quantum Crystals(Poland, Wroclaw, 2018)

## **СОДЕРЖАНИЕ И СТРУКТУРА РАБОТЫ**

Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения. Полный объем диссертации составляет 82 страницы, включая 44 рисунка. Список литературы содержит 49 наименования.

В **общей характеристике работы** приводятся подтверждения актуальности темы диссертации, формулируются цели работы и положения, выносимые на защиту, описывается структура работы.

Во **введении** приводится обзор научной литературы по изучаемой проблеме.

**Первая глава** посвящена экспериментальному изучению особенностей распределения энергии в диссипативной области стационарного турбулентного спектра в системе капиллярных волн на поверхности жидкого водорода. В ней описана экспериментальная установка, обсуждаются экспериментальные результаты.

Во **второй главе** приводятся результаты экспериментального изучения особенностей распределения энергии в диссипативной области стационарного турбулентного спектра в системе капиллярных волн на поверхности воды, а также положению высокочастотной границы инерционного интервала в зависимости от амплитуды и типа накачки.

**Третья глава** посвящена исследованию генерации вихревого движения из-за взаимодействия нелинейных капиллярных волн, распространяющихся под углом друг к другу, на поверхности воды.

**Четвертая глава** посвящена экспериментальному исследованию генерации вихревого движения из-за взаимодействия нелинейных гравитационных волн, распространяющихся под углом друг к другу, на поверхности воды.

**Пятая глава** посвящена экспериментальному исследованию проникновению сгенерированной взаимодействием нелинейных волн решетки вихрей в объем жидкости.

**Заключение** содержит перечисление основных результатов работы.