

ОТЗЫВ

официального оппонента

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

Механика квантованных вихрей в жидком гелии и, в частности, процессы квантовой турбулентности, на протяжении многих лет служат предметом многочисленных теоретических и экспериментальных исследований. С физической точки зрения эта среда представляет собой единственный пример, в которой квантовые эффекты проявляются на макроскопическом уровне, доступном для экспериментального исследования. В теоретические исследования вовлечены отдельные ученые и группы самого высокого научного потенциала в силу того, что прогресс в этой области может привести к продвижению в астрофизике, физике полимеров и жидких кристаллов, а также в других, возможно неожиданных в настоящее время, научных направлениях.

Вместе с тем можно констатировать, что из-за сложности явлений, протекающих на субатомных масштабах, до настоящего времени в исследованиях гидромеханики жидкого гелия преобладают полуэмпирические модели, а экспериментальные данные недостаточно полны и порой противоречивы. При этом большое значение приобретают численное моделирование и дальнейшие адекватные оценки фундаментальных процессов в сверхтекучем гелии, таких как детали процесса перезамыкания (реконнекции) вихревых линий, турбулизация систем квантованных вихрей с образованием вихревых «клубков», генерация характерных энергетических спектров. Именно эти аспекты динамики квантованных вихрей исследуются в диссертации В.А. Андрющенко. Таким образом полученные в ней результаты лежат в русле современных работ в этой области и несомненно актуальны.

Основные результаты диссертации можно охарактеризовать следующим образом. В первой главе приведены результаты численного моделирования динамики вихревых нитей в процессе реконнекции. При этом использовался «микроскопический» подход, в котором прослеживается детальная динамика вихревых нитей. Расчеты велись в кубической области с периодическими условиями на гранях на основе полного интеграла Био-Савара. Установлено, что эволюцию минимального расстояния между элементами реконнектирующих нитей можно разбить на три характерных временных интервала. Результаты расчетов в некотором диапазоне температур подтвердили известные зависимости минимального расстояния от времени до акта реконнекции, полученные ранее в расчетах и экспериментах, что позволило объяснить имевшее место противоречие между ними.

Другим результатом первой главы является детальное моделирование геометрической конфигурации вихревых нитей непосредственно перед реконнекцией. Показано, что в процессе эволюции ближайшие элементы

вихревых нитей выходят из плоскости петли, образуя пирамидальную структуру – “кинк”. При этом данная структура не меняется со временем и не зависит от температуры, что объясняется доминирующим взаимным влиянием петель, начиная с некоторого расстояния между ними.

Замечания к первой главе состоят в следующем. На графиках зависимостей $\delta(t)$ не выделены границы установленных характерных временных интервалов. Основное описание численного алгоритма, от точности которого зависят результаты расчетов, безосновательно перенесено во вторую главу. Приведенный единичный результат теста, моделирующий динамику одиночного вихревого кольца, не является показательным.

Во второй главе приведены результаты моделирования сверхтекучей турбулентности в противотоке нормальной и сверхтекучей компонент гелия при периодических граничных условиях. В расчетах прослеживалась стохастизация системы вихревых колец вплоть до выхода образующегося вихревого клубка на квазистационарный режим. В квазистационарном состоянии получена зависимость плотности вихревого клубка от скорости противотока, согласующаяся с экспериментальным результатом Вайнена. Установлена также зависимость скорости реконнекций от плотности вихревых нитей, которая качественно согласуется с теоретической оценкой Немировского.

Основной недостаток этой главы заключается во фрагментарности изложения численной схемы, на основе которой получены результаты первой, второй и частично третьей глав. В частности, остаются «за кадром», например, детали моделирования «кинков» в первой главе, фиксация пересечения вихревых нитей в трехмерном пространстве или вклад ошибок округления в процесс стохастизации вихрей с выходом на стационарное состояние, рассматриваемые во второй и третьей главах.

В третьей главе проведено асимптотическое изучение спектральных характеристик полей скорости, создаваемых одиночной хаотической вихревой петлей, подчиняющейся различным статистическим моделям. Методом структурной функции найдены энергетические спектры полей скорости, индуцированных реконнектирующими вихревыми нитями, а также спектры энергии полей скорости, создаваемых вихревыми клубками в противотоке при различных температурах. Полученные здесь результаты значительно дополняют данные по спектральным характеристикам сверхтекучей турбулентности.

В качестве замечания к главе следует указать, что характер степенных зависимостей спектров фиксируется в работе в лучшем случае в диапазоне одной декады волновых чисел (пространственных размеров), хотя, как известно, для установления универсального закона необходим интервал до трех декад. Отдельно надо отметить мало объяснимое желание диссертанта

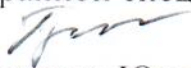
обнаружить здесь спектр колмогоровского типа $E \sim k^{-5/3}$, который не имеет в данном случае разумного физического объяснения.

Основные результаты диссертации опубликованы в авторитетных международных и российских периодических изданиях, в том числе входящих в рекомендательный список ВАК, докладывались на всероссийских и международных конференциях, что свидетельствует о достаточной апробации результатов, вошедших в диссертационную работу. Автореферат дает адекватное представление о содержании диссертации.

Оценивая диссертационную работу В.А. Андриющенко в целом, надо констатировать, что сделанные замечания и не отмеченные в отзыве более мелкие недочеты, не снижают положительной оценки научных результатов диссертации. Диссертация представляет собой законченное научное исследование, в котором выполнено численное моделирование и асимптотические оценки деталей процесса перезамыкания (реконнекции) вихревых линий, турбулизации систем квантованных вихрей с образованием вихревых «клубков», генерации характерных энергетических спектров. Полученные результаты обладают необходимой новизной и дополняют наши представления о сверхтекучей турбулентности в зависимости от температуры, скорости противотока нормальной и сверхтекучей компонент, начального распределения завихренности.

Таким образом, диссертационная работа В.А. Андриющенко удовлетворяет требованиям ВАК России, предъявляемым к кандидатским диссертациям по специальности 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы.

Считаю, что Владимир Андреевич Андриющенко заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по избранной специальности.



/Ю.Н. Григорьев/

Григорьев Юрий Николаевич,
главный научный сотрудник,

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт
вычислительных технологий Российской академии наук (ИВТ СО РАН),

630090, г. Новосибирск, пр. академика Лаврентьева, 6,

Тел.: (383) 330-87-45, e-mail: grigor@ict.nsc.ru.

Доктор физико-математических наук, профессор,

01.02.05 – «Механика жидкостей, газа и плазмы».

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт
вычислительных технологий Российской академии наук (ИВТ СО РАН),

630090, г. Новосибирск, пр. академика Лаврентьева, 6,

Тел.: +7383 330-87-85, e-mail: as@ict.nsc.ru.

Подпись Григорьева Юрия Николаевича заверяю.

Ученый секретарь ИВТ СО РАН

к.ф.-м.н.



/А.А. Редюк/