

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу **ШЕШИНА** Григорія Олександровича «**КІНЕТИЧНІ ТА ДИНАМІЧНІ ЕФЕКТИ У НАДПЛИННОМУ ГЕЛІЇ ТА ЙОГО ІЗОТОПІЧНИХ РОЗЧИНАХ В УМОВАХ НЕОДНОРІДНОСТІ ТЕМПЕРАТУРИ ТА ТИСКУ**», подану на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.09 – фізика низьких температур

Однією з серйозних проблем при вивченні фізичних властивостей конденсованих середовищ є те, що в реальних експериментальних умовах доводиться мати справу з явищами, що відбуваються при наявності неоднорідності параметрів системи і в умовах її обмеженості. При цьому для описання спостережуваних ефектів необхідно залучати нелінійні рівняння зі складними граничними умовами, що часто робить вкрай складними інтерпретацію отриманих результатів та їх співставлення з наявними теоретичними моделями, сформульованими, як правило, для однорідних середовищ і які базуються на лінеаризованих рівняннях. Крім того слід зазначити, що є широке коло явищ природи, які взагалі не можуть бути описані в рамках лінійного підходу. До таких явищ належить, наприклад, турбулентність, яка досить важко піддається вивченню в сучасній фізиці.

Враховуючи вищесказане, особливо привабливими об'єктами для дослідження слід визнати системи, основні властивості і закономірності яких можуть бути вивчені в досить чистому вигляді. Одним з таких найбільш цікавих об'єктів, серед таких нечисленних систем, слід визнати, перш за все, рідкий гелій, в якому при зниженні температури нижче 2,7 К відбувається перехід в надплинний стан. При цьому виявляється, що, незважаючи на прояв квантовомеханічних закономірностей в макроскопічному масштабі, надплинний гелій є середовищем, максимально зручним для моделювання найрізноманітніших кінетичних процесів, в тому числі, в традиційних класичних системах. Тому немає сумнівів, що дисертаційна робота Г. А. Шешина, виконана в такій актуальній галузі фізики низьких температур, як надплинність квантових рідин (зокрема рідкого гелію), а її результати, без сумніву, сприятимуть прогресу в дослідженнях різноманітних фізичних процесів і в інших конденсованих середовищах. Тому можу вважати, що тема обрана дисертантом є, без сумніву, *актуальною*.

Дисертаційної роботи виконані у відділі фізики квантових рідин і кристалів Фізико-технічного інституту низьких температур ім. Б.І. Веркіна НАН України **відповідно до відомчих тем** «Кінетичні та релаксаційні процеси в квантових рідинах і кристалах при наднизьких температурах»,

номер державної реєстрації 0196U002949; термін виконання 1995 – 1999 рр.; «Дослідження нових квантових систем в рідкому і твердому гелії при наднизьких температурах», номер державної реєстрації 0100U004483; термін виконання 2000 – 2002 рр.; «Неоднорідні і низькорозмірні системи в рідкому і твердому гелії», номер державної реєстрації 0103U000331, термін виконання 2003–2005 рр.; «Нові ефекти в квантових рідинах та кристалах при низьких та наднизьких температурах» номер державної реєстрації 0106U002557, термін виконання 2006 – 2010 рр.; «Об'ємні і поверхневі наносистеми в квантових рідинах і кристалах», номер державної реєстрації 0110U007894, термін виконання 2011 – 2015 рр. Це свідчить про те що *є зв'язок дисертаційної роботи Шешина Г.О. з наукової програмами, планами і темами.*

Дисертація містить сім розділів, зміст яких взаємопов'язаний і які взаємодоповнюють один одного.

Перший розділ є оглядом літературних джерел з експериментальних і теоретичних результатів, отриманих при дослідженнях коефіцієнтів термодифузії, теплопровідності і в'язкості в надплинному ^4He і розчинах ^3He - ^4He . Обґрунтовано необхідність введення коефіцієнта питомого опору для описання дисипативних процесів в гелії, що дозволяє в рамках єдиного підходу описати явища, що відбуваються як в гідродинамічній області, так і в режимі балістичного розсіювання теплових збуджень.

У *другому розділі* розглянуті експериментальні та теоретичні методи дослідження тих властивостей надплинного гелію і його ізотопічних розчинів, які складають зміст дисертаційної роботи, обґрунтовано ефективність описаних методів на прикладі акустичних вимірювань швидкості та поглинання першого звуку в гелії, збудженого в рідині при осциляції кварцового камертона.

Третій розділ роботи присвячений дослідженню розвитку нестабільності в нормальних і надплинних розчинах ^3He - ^4He в результаті дії теплового потоку. При цьому надплинна компонента рідини рухається до нагрівача, а нормальна компонента, яка формується легким ізотопом - до холодної частини експериментального осередку. Це приводить до зміни концентрації розчину і її зростання в холодній верхній частині осередку. Дане явище має супроводжуватися підвищенням механічної стійкості розчину, що і спостерігається для розчину з 5% концентрацією ^3He . У той же час для розчинів з більшою концентрацією легкого ізотопу спостерігається конвекційна нестійкість в умовах їх розшарування.

Рухливість між фазної межі розшарованого розчину ^3He - ^4He досліджена в *четвертому розділі* дисертації акустичним методом. Описано вимірювання температурної залежностей коефіцієнтів проходження і

відбивання звукової хвилі від міжфазної межі. Встановлена температурна залежність коефіцієнта зростання межі і проведено співставлення цієї величини з наявними теоретичними значеннями.

П'ятий і шостий розділи роботи займають в ній центральне місце. Їх змістом є дослідження особливостей збудження турбулентного течії в He II і розчинах ^3He - ^4He . Тут докладно сформульовано і описаний метод кварцового камертона стосовно порушення потоків рідини, створення звукових хвиль і пов'язаного з цим механізму додаткового дисипації кінетичної енергії вагається ніжок камертона. Проведено докладне вивчення переходу від ламінарного до турбулентного режиму течії гелію, досліджено коефіцієнт лобового опору, визначені числа Рейнольдса, пов'язані з явищами, що вивчаються, проведено докладне співставлення досліджуваних явищ в He II і ізотопічних розчинах.

Останній **сьомий розділ** присвячено вивченню двовимірної надплинності, обумовленої взаємодією вихор –антивихор в двовимірній плівці гелію, сконденсованого на проміжні атомні шари дейтероводню на графойлі. Кількість проміжних шарів дейтероводню впливала на сили Ван-дер-Ваальса, які діють з боку графойлу на плівки гелію, що змінювало температуру надплинного переходу. Збільшення кількості шарів призводило до збільшення температури надплинного переходу.

У дисертації вперше отримано цілий ряд нових результатів, що суттєво розширюють існуючі уявлення про кінетичні і динамічні ефекти в надплинному гелії. Ці результати вичерпно сформульовані автором і в тексті дисертації, і в авторефераті. На мою думку, **найбільш цікаві результати**, пов'язані з дослідженнями виникнення і розвитку турбулентної течії в He II і розчинах ^3He - ^4He . Необхідно відзначити, що, незважаючи на великі експериментальні труднощі дослідження такого складного явища, як турбулентність, автору вдалося побудувати досить цілісну картину його реалізації і еволюції в рідкому гелії. Безсумнівно прикрашає роботу вдалий вибір методики кварцового камертона в якості основного інструменту досліджень. Хоча сама по собі ця методика була сформульована ще до початку виконання даної роботи, саме в працях автора дисертації вона була доведена до того ступеня досконалості, який дозволив не тільки отримати первинні експериментальні дані, але і провести їх надійну і обґрунтовану інтерпретацію, яка, в свою чергу, дозволила отримати цілий ряд принципово нових результатів. Так, представляється надзвичайно важливим відкриття режиму течії надплинності, проміжного між ламінарним і турбулентним (Розділ 5). Сильне враження справляють результати розділу 6 з досліджень особливостей турбулентної течії в надплинних розчинах ^3He - ^4He . Як відомо,

структура квантових вихорів в ізотопічному розчині сильно відрізняється від тієї, що має місце в He II, перш за все, через можливість концентрування домішкових атомів ^3He в корі вихору і обмеження довжини вільного пробігу теплових збуджень домішкових атомів. Автор провів докладне порівняння вихорових процесів в розчині і чистому надплинному ^4He і наочно продемонстрував різницю в температурній залежності критичної швидкості переходу від ламінарної до турбулентної течії в обох квантових рідинах.

Концентрування атомів легкого ізотопу гелію в корах квантових вихорів приводить до того, що такі вихори стають зародками нової фази при розшаруванні розчину на фази, збагачені ^3He і ^4He , відповідно. У дисертації вивчені властивості розшарованих розчинів (розділи 3 і 4). Тут, на мій погляд, дуже гідно виглядають результати дослідження дисипації енергії при проходженні звукової хвилі через межу розшарування, отримані в розділі 4 з використанням складних виразів для коефіцієнтів проходження і відображення хвилі на міжфазному кордоні, а також з дослідження конвекційної стійкості розчину при наявності градієнтів температури і концентрації. Надійні результати отримані і в інших розділах роботи, а саме, аналіз методики кварцового камертона і обґрунтування її працездатності (розділ 2), а також дослідження фазового переходу до двовимірної надплинності в атомарних плівках гелію на підкладці з графойла, як чистого, так і покритого шарами дейтероводню (заключний сьомий розділ). При цьому був використаний метод торсіонного осцилятора. З одного боку, розділ 7 стоїть дещо окремо в даній роботі, оскільки тільки в ньому розглядаються питання, пов'язані з надплинністю в системі зі зниженою просторовою розмірністю, тоді як інша частина роботи присвячена тривимірній надплинності. З іншого боку, включення результатів розділу 7 в дану дисертацію можна вважати цілком логічним і обґрунтованим, тому що вони не тільки розширюють уявлення про різноманітні прояви властивостей надплинного руху, але і свідчить про неабияку експериментальну майстерність автора роботи, який прекрасно продемонстрував вміння застосовувати різні методики і інтерпретувати отримані за їх допомогою результати.

Якщо оцінювати дисертаційну роботу в цілому, необхідно відзначити, що в ній отримані **нові важливі результати**, які мають важливе наукове і **практичне значення** для фізики надплинності як важливого розділу фізики низьких температур. Дисертація виконана на високому експериментальному рівні з використанням сучасних методик, які отримали значний розвиток в ході виконання роботи. Робота добре і логічно викладена, добре оформлена і зручна для читання і розуміння. Автореферат роботи адекватно і повно

відображає її зміст, результати досліджень своєчасно і належним чином опубліковані і оприлюднені на престижних міжнародних та вітчизняних конференціях. Можу додати, що *наукові положення, висновки та рекомендації*, сформульовані у дисертації *обґрунтовані*, результати отримані в дисертаційній роботі доповідались на багатьох міжнародних і вітчизняних наукових конференціях та були у *повній мірі викладені* в 25 статтях провідних наукових журналах, таких як «Фізика низьких температур» «Journal of Low Temperature Physics», «Physica B» і «Journal of Molecular Liquids», що також говорить об *достовірності результатів роботи*.

Робота не вільна від деяких недоліків:

1. У дисертаційній роботі, в розділі 5.1.6 йдеться мова про пристіночний шар, в якому може розвиватися турбулентна течія, і є згадка про шорсткість поверхні камертона, що коливається. Але нічого не сказано про вплив співвідношення товщини пристіночного шару та величини шорсткості.

2. У розділі 4 наведені результати вимірювань коефіцієнтів проходження і відбиття акустичної хвилі на межі розшарування надплинного розчину. Одним з факторів, що впливають на величини цих коефіцієнтів, є кут падіння акустичної хвилі. Для максимальної вірогідності вимірювань випромінювач звуку повинен бути паралельним площині межі розшарування. Хоча у розділі наведені дані про відхилення від паралельності і ступінь її впливу на вимірювані величини, але недостатньо описаний спосіб юстировки такої паралельності.

3. У розділі 7 наведені дані щодо вимірювання температури надплинного переходу в двовимірних плівках гелію на шарах дейтероводню. У розділі приведена величина поверхневої щільності повністю заповнених атомарних шарів дейтероводню, але дуже мало сказано про спосіб приготування цих шарів, а також про те, як контролювалася їх якість.

Слід зазначити, що висловлені зауваження не знижують цінності представленої дисертаційної роботи і не впливають на загальну позитивну оцінку роботи.

Дисертаційна робота Шешина Г.О. є завершеною науковою працею, яка виконана на високому науковому рівні. Її зміст повністю розкриває тему дослідження і відповідає спеціальності 01.04.09 – фізика низьких температур. В дисертації вирішено важливу наукову проблему у фізиці низьких температур та гідродинаміці надплинної рідини, а саме: виявлено закономірності кінетичних та динамічних процесів в рідкому гелії та його ізотопічних розчинах під впливом градієнтів температури і тиску та зміни концентрації ізотопу.

Вважаю, що дисертаційна робота Шешина Г.О. «Кінетичні та динамічні ефекти у надплинному гелії та його ізотопічних розчинах в умовах неоднорідності температури та тиску» повністю відповідає вимогам, які МОН України пред'являє до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук. Зокрема, пунктам 9, 10 і 12 «Порядку присудження наукових ступенів». Вважаю, що Григорій Олександрович Шешин цілком заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.09 - фізика низьких температур.

Офіційний опонент:

доктор фізико-математичних наук, професор,
декан фізичного факультету Харківський
національний університет ім. В. Н. Каразіна.

Р. В. Вовк

Підпис проф. Вовка Р. В. засвідчує
Начальник відділу С. Куріш

