

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу **Гриценка Івана Анатолійовича**  
“Режими ламінарної та турбулентної течії гелю та його ізотопічного розчину при  
наднизьких температурах”,  
подану на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук  
за спеціальністю 01.04.09 – “фізика низьких температур”

Дисертаційна робота І.А. Гриценко присвячена експериментальному дослідженняю механізмів дисипації енергії при ламінарній течії чистого рідкого гелю та особливостей переходу від ламінарної до турбулентної течії, як в гелії  $^4\text{He}$ , так і в концентрованому розчині  $^4\text{He} - ^3\text{He}$ . Досліджувані в дисертації об'єкти, а саме, рідкий гелій, атоми якого підкоряються статистиці Бозе-Ейнштейна і розчини  $^4\text{He} - ^3\text{He}$ , що є сумішшю бозонів і ферміонів, являються унікальними середовищами, в яких квантово-механічні закономірності проявляються на макроскопічному рівні. Хоча експериментальні дослідження таких об'єктів проводяться вже декілька десятиліть, проте, в цій області залишається багато невирішених проблем і не до кінця зрозумілих явищ. Подальші експерименти в чистому гелії і розчинах його ізотопів також, поза сумнівом, важливі і для повнішого теоретичного розуміння природи квантових рідин і такого незвичайного явища, що проявляється в них, як надплинність.

Для повнішого і усебічного вивчення досліджуваного об'єкту з високою мірою достовірності, важливо його досліджувати різними експериментальними методами. У дисертації використовується своєрідна чутлива методика, ґрунтovanа на використанні осцилюючого кварцового камертона, яка має ряд істотних переваг порівняно з більш традиційними методами. Слід також підкреслити, що у роботі значна увага була приділена такому, малодослідженому до теперішнього часу, питанню як вплив домішок на величину критичної швидкості переходу до турбулентної течії гелю.

Таким чином, використання здобувачем нової чутливої експериментальної методики і підвищена увага до малодосліджених проблем кінетики квантових систем при наднизьких температурах вказує на безперечну **актуальність** досліджень, проведених в дисертації.

Роботи, що лягли в основу дисертації, були виконано згідно з науковими планами ФТІНТ ім. Б.І. Вєркіна НАН України. Робота також частково проводилася в межах проектів Українського науково-технологічного центру (УНТЦ) «Пошук та моделювання нових наносистем у конденсованому гелії» (номер державної реєстрації 0110U004800. термін виконання, 2010-2012 pp.).

У відповідності з метою, яка полягала в експериментальному дослідженні режимів течії рідкого гелю при низьких і наднизьких температурах і встановленні умов переходу

до турбулентної течії у надплинному гелії та ізотопічному розчині гелю вибраної концентрації, в дисертації поставлені та розв'язані наступні задачі:

- досліджено температурну залежність коефіцієнта опору потоку в рідкому  $^4\text{He}$  при ламінарній течії та визначено вплив зовнішніх факторів на коефіцієнт опору при низьких температурах;
- експериментально перевірено наявність випромінювання звуку при використанні методики коливного камертону в квантових рідинах;
- проведено експериментальні дослідження критичної швидкості переходу від ламінарної до турбулентної течії і впливу зовнішніх факторів на такій перехід;
- досліджено вплив на температурну залежність критичної швидкості переходу до турбулентної течії, додавання до чистого  $^4\text{He}$  домішок  $^3\text{He}$ .

**Дисертація складається** зі вступу, п'яти розділів з 54 рисунками, 1 таблицею, висновками та списку використаних літературних джерел з 146 найменувань (на 15 сторінках). Повний обсяг дисертації становить 138 стор.

У **вступі** дано обґрунтування актуальності теми дисертації, визначення мети та основних завдань дослідження, перелік основних нових результатів та оцінка їх значення.

У **першому розділі** проведено огляд літератури за темою дисертації. Проаналізовано літературні дані щодо сучасного стану експериментального вивчення течії надплинного гелю за допомогою занурених тіл різної геометрії. Особлива увага приділена аналізу експериментальних робіт з використанням осцилюючого кварцового камертону, в яких досліжується течія рідкого гелю.

**Другий розділ** дисертації присвячений опису матеріальної бази, розробленої та виготовленої у відділі квантових рідин і кристалів, на якій проводилися дослідження, а саме: рефрижератора розчинення із зовнішнім циклом циркуляції  $^3\text{He}$ . Таке обладнання дозволило проводити унікальні дослідження течії гелю та розчинів його ізотопів при низьких та наднизьких температурах. У цьому ж розділі дисертантом докладно описано вимірювальні комірки та приведено характеристики використаних камертонів.

Наступні три розділи присвячені результатаам проведених оригінальних досліджень. **Розділ третій** присвячений експериментальному вивченю розсіяння енергії камертоном при ламінарній течії. Виміряна температурна залежність коефіцієнта дисипації осцилюючих камертонів в надплинному гелії при ламінарному режимі течії в широкій області температур. Запропоновано емпіричну залежність, яка дозволила описати поведінку питомого коефіцієнта дисипації в дослідженому температурному діапазоні. Уперше, за допомогою датчиків першого звуку, були проведені прямі спостереження і реєстрація акустичного випромінювання, що створюються кварцовим камертоном.

Проведені дослідження дисипації енергії кварцового камертона, що коливається, в широкому діапазоні тисків, частот і температур дозволили зробити висновок, що краще всього поведінка камертона може бути описана у рамках моделі квадрупольного випромінювача.

**У четвертому розділі** досліджено перехід від ламінарної до турбулентної течії в надплинному  $^4\text{He}$ . Проаналізовано вплив розміру камертона, температури і тиску на величину критичної швидкості в чистому  $^4\text{He}$ . Встановлено, що визначальною характеристикою, від якої залежить величина критичної швидкості переходу від ламінарного режиму до турбулентного, являється умова відсутності акустичного випромінювання.

В останньому **п'ятому розділі** наведені результати оригінальних експериментальних досліджень впливу домішок  $^3\text{He}$  на критичну швидкість переходу до турбулентної течії при температурах нижче 2 К. Об'єктом дослідження автор вибрав розчин  $^3\text{He}$  в  $^4\text{He}$  з концентрацією домішок  $^3\text{He}$   $x = 5\%$ , мотивуючи це наявністю великої кількості робіт, які присвячені вивченню розчину з такою концентрацією. Дисертантом показана зміна вигляду амплітудно-частотних характеристик зі зниженням температури, коли їх виявляється неможливим апроксимувати кривою Лоренца. Автором відмічено, що при перевищенні амплітуди сигналу, відбувається перехід до турбулентної течії, при якій генеруються квантовані вихорі. З існуючих літературних джерел випливає, що домішки  $^3\text{He}$  при низьких температурах адсорбуються на корі квантованого вихору, і саме з цим дисертант пов'язує появу зривів на частотних залежностях. В цьому ж розділі приведено результати дослідження критичної швидкості переходу до турбулентної швидкості в 5 % ізотопічному розчині. Було виявлено, що додавання домішки  $^3\text{He}$  до  $^4\text{He}$  підвищує критичну швидкість переходу до турбулентної течії, а температурна залежність цієї швидкості у розчині в такому випадку носить немонотонний характер.

Зміст вступу до дисертації, висновків по роботі, її розділів, а також оформлення дисертації задовольняє вимогам, що висуваються до кандидатських дисертаций.

**Наукова та практична цінність** отриманих результатів обумовлена тим, що вони дають нову інформацію і розширяють уявлення про природу такого складного явища, як турбулентність у квантових, зокрема надплинних, рідинах. Проведені дослідження дозволяють порівняти механізми дисипації енергії в класичних та квантових рідинах в режимі ламінарної течії. Отримані в експериментах здобувача результати щодо умов генерації звуку у гелії осцилюючим кварцовим камертоном можливо використати для удосконалити методик дослідження ламінарної та турбулентної течії квантових рідин з джерелами монохроматичного випромінювання.

**Обґрунтованість та достовірність** отриманих в дисертації результатів, забезпечується тим, що дослідження і висновки здобувача засновані на експериментах, які були виконані з використанням надійних сучасних точних методик. Отримані експериментальні результати добре узгоджуються між собою, а також з результатами теоретичного аналізу та з відповідними літературними даними теоретичних та експериментальних робіт. Все це дає підставу стверджувати, що обґрунтованість наукових положень, висновків дисертації та їх достовірність не викликає сумнівів.

Матеріали дисертації І. А. Гриценка повно викладені в 6 статтях, які були своєчасно опублікованих у провідних фахових вітчизняних та зарубіжних журналах. Крім того, вони доповідались на багатьох вітчизняних і міжнародних наукових конференціях, опубліковані в працях цих конференцій (17 публікацій) та обговорювалися з відомими фахівцями у галузі фізики низьких температур, квантових рідин та кристалів.

#### **Автореферат правильно і повно відбиває зміст дисертації.**

Разом із тим щодо дисертаційної роботи є такі **зауваження**:

- У роботі слід було б більш детально обговорити питання про можливий вплив розміру осцилюючого тіла (камертона) на величину критичної швидкості в надплинному  $^4\text{He}$ .
- Рисунок 4.8, на якому показана залежність величини критичної швидкості від прикладеної потужності, було б краще відобразити в лінійних координатах, або вказати, що ця залежність приведена в масштабі подвійного логарифму.
- Було б доцільно розглянути питання щодо можливого впливу поверхневих хвиль на межі рідкий гелій – пар у комірці.

**Наведені зауваження не змінюють загальну позитивну оцінку дисертації і не беруть під сумнів результати, проведених дослідження.**

**Дисертація є завершеною працею в галузі дослідження** ламінарної та турбулентної течії гелію та його ізотопічного розчину при наднизьких температурах. В дисертації вирішено важливу задачу фізики низьких температур, а саме: експериментально виявлено особливості процесів дисипації енергії у нормальному та надплинному гелії при переході від ламінарної до турбулентної течії рідкого гелію, а також вплив на такі процеси домішок  $^3\text{He}$  та джерел монохроматичного випромінювання при наднизьких температурах.

За актуальністю теми, обсягом виконаних досліджень, рівнем наукових публікацій, новизною та науковою цінністю отриманих результатів дисертаційна робота І.А. Гриценка “Режими ламінарної та турбулентної течії гелію та його ізотопічного розчину при наднизьких температурах” повністю відповідає усім вимогам МОН України щодо

кандидатських дисертацій, зокрема пунктам 9, 11, 12 “Порядку присудження наукових ступенів”. Тема дисертації відповідає спеціальності – “фізики низьких температур”.

Виходячи з усього викладеного вище, вважаю що Гриценко Іван Анатолійович безумовно **заслуговує** присудження йому наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.09 – “фізики низьких температур”.

Офіційний опонент,  
доктор фізико-математичних наук,  
старший науковий співробітник  
Національного наукового центру  
“Харківський фізико-технічний інститут”  
НАН України, завідувач відділу дифузійних  
та електронних явищ у твердих тілах

Ю. М Полуектов

