

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

**ГРИЦЕНКА Івана Анатолійовича «Режими ламінарної та турбулентної течії гелію та його ізотопічного розчину при наднизьких температурах»**, що подана на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.09 – фізика низьких температур

Відомо, що подібність характеристик течії класичної та квантової рідини дозволяє проводити аналогії між ними. Це є однією з причин, що протягом останнього десятиліття надплинний гелій залишається одними з найбільш привабливих об'єктів досліджень сучасної фізики низьких температур.

З пониженням температури під час ламінарної течії надплинного гелію розсіювання енергії за рахунок в'язкого тертя змінюється балістичним розсіюванням теплових збуджень. В цьому випадку з'являються відмінні від звичайної в'язкості дисипативні процеси, які не вивчені в повній мірі для джерела монохроматичного випромінювання.

У той же час можливість взаємного розчинення  $^3\text{He}$  в  $^4\text{He}$  дозволяє отримати розчин ізотопів гелію з унікальними характеристиками: наприклад, це може впливати на перехід до турбулентної течії.

Питання, пов'язані з природою дисипації енергії течію чистого гелію та розчинів ізотопів гелію залишаються з'ясованою не до кінця. Тому, проведення систематичних досліджень дисипації енергії надплинним гелієм, вивчення характеру переходу між ламінарною та турбулентною течією є своєчасними і актуальними для фізики низьких температур і гідродинаміки в цілому.

Дослідженню подібних явищ і присвячена робота І. А. Гриценка. Важливість їх вивчення для кращого розуміння природи макроскопічних квантових явищ обумовлює **актуальність вибраної теми дисертації**.

**Важливість та актуальність** розглянутих в дисертації проблем підтверджується також тим, що роботи, які лягли в основу дисертації, були виконані згідно з науковими планами ФТІНТ ім. Б.І. Веркіна НАН України за наступними темами: «Нові ефекти в квантових рідинах та кристалах при низьких та наднизьких температурах» (номер державної реєстрації 0106U002557, термін виконання 2006 – 2010 рр.) та «Об'ємні та поверхневі наносистеми в квантових рідинах та кристалах» (номер державної реєстрації 0110U007894, термін виконання 2011 – 2015 рр.). 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 рр.).

Предметом дослідження дисертаційної роботи І. А. Гриценка було обрано дисипацію енергії при ламінарній течії гелію та особливості переходу між ламінарною та турбулентною течіями в чистому гелії та концентрованому розчині його ізотопів в температурному інтервалі від 4 К до 0,1 К. Успішне виконання поставлених завдань було досягнуто за рахунок використання оригінального рефрижератора розчинення, спеціальних експериментальних комірок та низькочастотної резонансної методики експерименту. Безумовно, **дисертація І. А. Гриценка повністю відповідає спеціальності 01.04.09 - фізика низьких температур.**

**Мету дисертаційної роботи якою є експериментальне виявлення особливостей процесів дисипації енергії в нормальному та надплинному гелії при переході від ламінарної до турбулентної течії рідкого гелію та вплив на такі процеси домішок  $^3\text{He}$  та джерела монохроматичного випромінювання (осцилюючого кварцового камертону) при наднизьких температурах - можна вважати досягнутою в межах поставлених автором задач.**

Представлена **дисертація складається** зі вступу, п'яти розділів, три з яких присвячені оригінальним дослідженням, з інформативних малюнків та висновків. Список використаних джерел досить повністю відображає володіння дисертантом інформації по вибраному напрямку своєї роботи. Всі розділи дисертації логічно пов'язані між собою.

У першому розділі описані проведені раніше дослідження в'язкості гелію і результати вимірювання швидкості першого і другого звуків в  $^4\text{He}$ . Наведено огляд робіт зі створення і вивчення течії гелію і його розчинів методом осцилюючого тіла, зокрема кварцовим камертоном.

Другий розділ містить опис роботи осцилюючого кварцового камертона, наведені параметри використаних в експериментах камертонів і експериментальних комірок, а також методики отримання наднизької температури. Наведено опис методики вимірювання, збору і запису даних.

У третьому розділі наведено оригінальні результати по експериментальному вивченню розсіювання енергії камертоном. Описано отримання універсальної температурної залежності коефіцієнта питомого опору для різних осцилюючих тіл в надплинному  $^4\text{He}$  в гідродинамічному і балістичному режимах течії. Проаналізовано результати вперше проведених вимірювань акустичного випромінювання камертоном за допомогою датчиків першого звуку при



наднизьких температурах. Наведено результати, щодо визначення можливих механізмів розсіювання енергії осцилюючим камертоном. Узагальнено результати про вплив температури, тиску та резонансної частоти коливання кварцового камертона на дисипацію енергії.

Четвертий розділ присвячено вивченню переходу до турбулентного режиму течії в надплинному  $^4\text{He}$ . Описано вплив тиску і температури на величину критичної швидкості переходу в надплинному  $^4\text{He}$ .

П'ятий розділ містить результати проведених досліджень переходу від ламінарної до турбулентної течії в надплинному  $^4\text{He}$  при додаванні до нього домішки  $^3\text{He}$ . Наведено опис експериментально виміряної температурної залежності критичної швидкості переходу розчину та порівняння її з такою ж залежністю для чистого  $^4\text{He}$ .

**Новизна одержаних наукових результатів.** Всі положення і результати, які сформульовані у пункті «наукова новизна», є новими і базуються на своєчасно опублікованих автором наукових працях в провідних фахових вітчизняних та закордонних виданнях.

Не повторюючи висновків роботи, я хотів би відзначити декілька цікавих і важливих результатів рецензованої дисертації:

1. Автором вперше визначено вплив тиску, температури та акустичного випромінювання на величину критичної швидкості переходу до турбулентної течії чистому гелію при наднизьких температурах. Показано, що з зростанням інтенсивності акустичного випромінювання зростає величина критичної швидкості переходу до турбулентної течії.
2. Дисертантом вперше проведено пряму реєстрацію інтенсивності першого звуку, який генерований джерелом монохроматичного випромінювання в гелію при наднизьких температурах.
3. Автором вперше виявлено, що додавання домішки ізотопу  $^3\text{He}$  до чистого  $^4\text{He}$  підвищує величину критичної швидкості переходу до турбулентної течії майже на порядок, порівняно з чистим гелієм. Крім того, показано, що температурна залежність критичної швидкості у такому випадку носить немонотонний характер.

Слід зазначити, що всі результати роботи І. А. Гриценка базуються на експериментах, виконаних надійними фізичними методами; отримані результати добре узгоджуються між собою, а також з результатами відповідних літературних даних, що дозволяє дати чітку та однозначну відповідь про **обґрунтовність**



**наукових положень** та приведених висновків дисертаційної роботи, а також їх **достовірність**.

**Наукове та практичне значення отриманих результатів** полягає у встановленні впливу зовнішніх факторів, а саме акустичного випромінювання, на реєстрацію величини швидкості переходу від ламінарної до турбулентної течії надплинного гелію. Удосконалення існуючої методики осцилюючого кварцового камертона відкриває експериментаторам нові можливості в дослідженнях особливостей течії квантових рідин при наднизьких температурах.

Матеріали дисертації І.А.Гриценка **достатньо повно розкриті** в 6 наукових статтях. Відмічу, що результати досліджень були обговорені у вигляді усних доповідей на 17 профільних конференціях, які дали позитивний відгук на проведену роботу.

Дисертація добре написана і оформлена відповідно стандартів. Але вона не є вільною від недоліків:

1. Із опису роботи кварцового камертону (розділ 2) залишається незрозумілим питання про те, на якій резонансній моді проходили всі дослідження в квантових рідинах.
2. При аналізі одержаної автором емпіричної залежності, що описує гідродинамічний та балістичний режими (формула 3.11), було б доцільним ретельно проаналізувати характер цієї залежності, оскільки саме тут можуть бути укладені якісь фізичні особливості.
3. На багатьох експериментальних графіках не вказано довірчий інтервал (Рис. 2.7, 3.12 на інш.), що ускладнює аналіз цих графіків.

Хочу відзначити, що вказані недоліки не відносяться до положень пункту «новизна», і тому, вважаю, **що дисертація може розглядатися як завершений науково-кваліфікаційний труд** з досить вагомими результатами в області фізики низьких температур. В дисертації вирішено важливу задачу фізики низьких температур, а саме: експериментально виявлено особливості процесів дисипації енергії в нормальному та надплинному гелії при переході від ламінарної до турбулентної течії рідкого гелію та вплив на такі процеси домішок  $^3\text{He}$  та джерела монохроматичного випромінювання при наднизьких температурах.

Вважаю, що за актуальністю вибраного напрямку роботи, обсягом виконаних досліджень, рівнем і кількістю наукових публікацій, новизною та практичною цінністю отриманих результатів дисертаційна робота І. А. Гриценка «Режими ламінарної та турбулентної течії гелію та його ізотопічного розчину при наднизьких температурах» **задовольняє** всім вимогам, які ставляться МОН

України до кандидатських дисертацій, зокрема пп. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів» а автор роботи, Гриценко Іван Анатолійович, **заслуговує** присудження йому наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.09 – фізика низьких температур.

Офіційний опонент:

член-кореспондент НАН України,  
доктор фізико-математичних наук,  
професор, завідувач відділу радіоспектроскопії  
Інституту радіофізики та електроніки  
ім. О.Я. Усикова НАН України

С.І. Тарапов

Підпис

члена-кореспондента НАН України,  
доктора фізико-математичних наук,  
професора, завідувача відділу радіоспектроскопії  
Інституту радіофізики та електроніки  
ім. О.Я. Усикова НАН України С.І. Тарапова засвідчую:

Вчений секретар  
Інституту радіофізики та електроніки  
ім. О.Я. Усикова НАН України,  
кандидат фізико-математичних наук



І.Є. Почаніна