

Відгук

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Наумовця Артема Сергійовича

«Опис термодинамічних властивостей кристалів та надплинного гелію з урахуванням зовнішніх полів та взаємодії квазічастинок»,

яку подано на здобуття наукового ступеню кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю **01.04.02 – «теоретична фізика»**

У дисертаційній роботі Наумовця Артема Сергійовича проведено теоретичне дослідження особливостей поширення температурних хвиль у квантових конденсованих середовищах, пов'язаних з нелінійністю розглядуваних явищ. В роботі в квазічастинковому підході побудовано теоретичний опис звукових коливань у газі теплових збуджень у алмазі та надплинному гелії.

Ці, на перший погляд не пов'язані між собою, явища аномально великої теплопровідності деяких кристалів за низьких температур та виникнення електричної напруги у надплинному гелії у нерівноважному стані мають у дисертації єдине трактування з позиції, що розглядає слабозбуджені стани конденсованого середовища як газ елементарних збуджень (квазічастинок). Дослідження термодинамічних властивостей середовища при цьому зводиться до опису динаміки газу квазічастинок, їхньої взаємодії із зовнішніми полями. Пояснення наведених як приклади явищ, становлять безумовний інтерес для фізики низьких температур. Зазначені підходи реалізовані у дисертаційній роботі, що робить її **актуальною**.

Актуальність досліджень, наведених у дисертаційній роботі А.С. Наумовця, підтверджується також тим, що вони є складовою частиною низки наукових проектів, які виконувались в навчально-науковому інституті «Фізико-технічний факультет» Харківського національного університету ім. В.Н. Каразіна відповідно до тематичних планів фундаментальних науково-дослідних робіт з 2012 по 2020 роки.

У першому розділі дисертації дано огляд літератури з досліджень електричних властивостей надплинного гелію. Увагу приділено обговоренню теоретичних робіт, присвячених побудові рівнянь газодинаміки квазічастинок, та самоузгодженому опису взаємодіючих фононів кристалічної ґратки. Сформульовано задачі, які потребують розв'язання.

Розділи 2 – 5 є оригінальними. У другому розділі наведено метод розрахунку та отримані модулі пружності четвертого рангу кристала, що за своїми пружними властивостями еквівалентний до реального. Хоча для подальшого потрібні

коефіцієнти зв'язку зазначених модулів пружності зі згортками тензора модулів пружності кристалу лише кубічної сингонії, коефіцієнти для інших сингоній становлять окремий самостійний інтерес, оскільки розгляд середовища як ізотропного спрощує знаходження оцінок нелінійних ефектів у твердих тілах.

У третьому розділі доведено, що модель самоузгодженого опису газу взаємодіючих фононів пояснює відхилення ізохоричної теплоємності кристалів за високих температур від закону Дюлонга-Пті. Розраховано параметр нелінійності, що характеризує вплив взаємодії фононів на термодинамічні величини, для багатьох речовин з ґраткою кубічної сингонії. Виявлено різний характер поведінки теплоємності за високих температур в залежності від знаку параметра анізотропії. При додатних значеннях параметра анізотропії ізохорична теплоємність уточнюється урахуванням від'ємного лінійного за температурою доданку, тобто її температурна залежність відхиляється від закону Дюлонга-Пті, теплоємність спадає з ростом температури. Для речовин з ґраткою типа алмазу параметр анізотропії виявляється від'ємним, що відповідає лінійному зростанню ізохоричної теплоємності кристала з ростом температури, що збігається з експериментальними вимірами цієї величини.

Четвертий розділ присвячено дослідженню можливості існування незгасаючих теплових хвиль у твердих тілах. Знайдено вікно існування хвиль другого звуку в залежності від трьох параметрів, що характеризують зразок кристала: його лінійний розмір, концентрація ізотопів розглядуваної речовини та температура. Розрахунки верифікуються тим, що вони проведені в двох моделях, Калавея і зведеного ізотропного кристала. Отримані співвідношення характеристик кристала, за яких можливий гідродинамічний перенос тепла, мають практичне значення, бо відкривають можливість побудови додаткового фізичного методу виміру ізотопічного складу речовини.

У п'ятому розділі побудовано систему рівнянь дворідинної гідродинаміки з урахуванням електричного поля. Проаналізовані розв'язки лінеаризованої системи. У припущенні існування дипольного моменту ротона доведено, що при русі надплинної складової ${}^4\text{He}$ стосовно системи квазічастинок надплинного гелію виникає електричне поле. Величина дипольного моменту збігається з даними новітніх експериментів за цією тематикою. Знайдено залежності різниці потенціалів від температури і відносної швидкості руху нормальної і надплинної складових гелію. Виконані чисельні розрахунки коефіцієнтів, які задають зв'язок між термодинамічними величинами гелію, що коливаються при поширенні в ньому теплових хвиль.

Таким чином, в дисертаційній роботі А.С. Наумовця **отримано низку нових вагомих теоретичних результатів**, які мають фундаментальний характер для фізики конденсованого стану, і представляють інтерес для практичних

застосувань. Дисертація відповідає спеціальності 01.04.02 — «теоретична фізика».

Достовірність та обґрунтованість результатів, отриманих в дисертації, забезпечується застосуванням добре перевірених методів теоретичної фізики конденсованого стану. Сформульовані у дисертації припущення в рамках квазічастинкової моделі є цілком обґрунтованими. Аналітичні результати підтверджуються чисельними розрахунками і перевіряються на збіг у граничних випадках із загальновідомими. Автор застосовує метод теорії збурень, метод вторинного квантування, методи електродинаміки суцільних середовищ та тензорного аналізу.

Вважаю за доцільне ознайомити з науковими результатами дисертаційної роботи А.С. Наумовця фахівців таких інститутів НАН України і університетів МОН України, як Інститут фізики НАН України (м. Київ), Інститут теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова НАН України (м. Київ), Київський національний університет ім. Т. Шевченка, Інститут фізики конденсованих систем НАН України (м. Львів), Фізико-технічний інститут низьких температур ім. Б.І. Веркіна НАН України (м. Харків), Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна (м. Харків), Інститут монокристалів НАН України (м. Харків).

По змісту дисертації можна зробити такі **зауваження**:

- 1) В роботі знайдені модулі пружності ізотропного середовища еквівалентного до кристалів багатьох речовин з кубічною ґраткою. Чи для всіх кубічних кристалів можна провести процедуру, наведену у розділі 4, тобто побудувати фононну гідродинаміку і знайти область існування теплових хвиль? Чи залежить застосовність моделі від інших характеристик кристалу, скажімо, від температури Дебая? І чи може бути побудована подібна модель для анізотропних кристалів з іншими типами ґратки?
- 2) У розділі 5 іде мова про електричну поляризацію гелію, що зазвичай є відгуком на зовнішнє електричне поле. В цьому розділі відсутні графіки, які б наглядно прояснили причину виникнення електричної різниці потенціалів у надплинному гелії за відсутності зовнішнього електричного поля.
- 3) Звичайний звук, градієнт температури або тиску у середовищі також призводять до нерівноважності станів системи. Виникає питання, чи передбачає розглянутий у дисертації підхід до опису гідродинаміки надплинного гелію електричні прояви у перерахованих випадках?
- 4) В деяких місцях громіздкі формули треба було б спростити та проаналізувати для деяких граничних випадків. Наприклад, формули (5.64-5.65), які наводять зв'язки електричного поля, температури і тиску у звуковій хвилі, займають цілу

сторінку та мають «чотирьох-поверхневий» вигляд. Для більш глибокого розуміння варто було б ці формули спростити.

У цілому, зазначені зауваження мають рекомендаційний характер і не впливають істотно на отримані автором дисертації результати і на загальну високу оцінку роботи. Дисертація добре структурована і написана якісною науковою мовою. Основні результати опубліковані в 6 статтях, представлені на 8 наукових конференціях і симпозіумах. При цьому значний внесок в роботу належить особисто дисертанту. Новизна та наукове значення отриманих результатів не викликають сумнівів, а опубліковані роботи й автореферат повно і вірно відбивають зміст і висновки дисертаційної роботи, а також особистий внесок здобувача. Дисертація А.С. Наумовця є закінченою науковою роботою, в якій проведено теоретичний опис квантових конденсованих середовищ у квазічастинковому підході на випадок взаємодії квазічастинок із зовнішнім полем, наведено порівняння з існуючими експериментальними даними з поширення теплових хвиль.

Вважаю, що враховуючи актуальність обраної теми, новизну та наукову значимість отриманих результатів, достовірність і обґрунтованість висновків, дисертація «Опис термодинамічних властивостей кристалів та надплинного гелію з урахуванням зовнішніх полів та взаємодії квазічастинок» повністю задовольняє всім вимогам «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24 липня 2013 року (зі змінами, внесеними Постановами КМУ № 656 від 19 серпня 2015 року, № 567 від 27 липня 2016 року), які висуваються до кандидатських дисертацій, зокрема пунктам 9,10,12, а автор дисертації Наумовець Артем Сергійович, безсумнівно, заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.02 – теоретична фізика.

Офіційний опонент

доктор фізико-математичних наук,
професор, член-кореспондент НАН України,
головний науковий співробітник
відділу теоретичної фізики
Інституту радіофізики та електроніки
ім. О.Я. Усикова НАН України

В.О. Ямпольський

В.О. Ямпольський

Підпис головного наукового співробітника ІРЕ ім. О.Я. Усикова НАН України
Ямпольського В.О. засвідчую.



Вчений секретар ІРЕ ім. О.Я. Усикова НАН України,
кандидат фіз.-мат. наук

І.Є. Почаніна