

Відгук

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Майзеліса Захара Олександровича

«Поширення, взаємодія і декогеренція мод у нелінійних квантових системах», яка представлена на здобуття наукового ступеню доктора фізико-математичних наук за спеціальністю **01.04.02 – «теоретична фізика»**

Дисертаційна робота З.О. Майзеліса присвячена детальному теоретичному опису поширення, взаємодії та затухання мод різної природи у широкому колі випадків. Вивчено різні класичні та квантові системи у лінійних та нелінійних наближеннях при врахуванні взаємодії з зовнішнім термостатом, джерелами адитивних та фазових шумів, одно- та двовимірних кристалічних системах, сильно анізотропних надпровідникових пластинах. Таким чином, тема дисертаційної роботи З.О. Майзеліса є безсумнівно **актуальною**. Варто відмітити, що дисертант зробив доповідь за матеріалами дисертації на семінарі нашого відділу Надпровідних і мезоскопічних структур у Фізико-технічному інституті низьких температур ім. Б.І. Веркіна НАН України, та співробітники відділу дали високу оцінку актуальності, новизні та рівню дисертації.

Актуальність досліджень дисертаційної роботи З.О. Майзеліса підтверджується також тим, що вони є складовою частиною наступних проектів, які виконувались у відділі радіофізики твердого тіла Інституту радіофізики та електроніки ім. О.Я. Усикова НАН України: трьох науково-дослідних робіт Відділення фізики та астрономії НАН України (номера державної реєстрації 0106U011978, 0112U000211 та 0117U004038 з термінами виконання 2007 – 2011 рр., 2012 – 2016 рр. та 2017 – 2021 рр.), цільової програми НАН України (номер державної реєстрації 0110U005642, термін виконання 2010 – 2014 рр.) та проекту Державного фонду фундаментальних досліджень України (номер державної реєстрації 0113U006217, термін виконання – 2013 р.), в яких дисертант виступав в ролі виконавця.

Дисертаційна робота складається з шести розділів. Розглянемо основні результати у відповідній послідовності.

Перший розділ оглядовий на тему опису лінійних та нелінійних мод у різних квантових системах. Досить детально і акуратно описано, що вже було зроблено і зрозуміло, і які є актуальні питання. Обговорюється модель Томонага-Латтінжера, ефект Казіміра, теорія опису одношарового графену, джозефсонівські моди в шаруватих надпровідниках та ін. Таким чином, стає зрозумілою мотивація

досліджень, а також наводиться теоретичний фундамент для подальшого опису квантових наносистем з урахуванням зовнішнього дисипативного оточення.

Другий розділ, на мій погляд, є дуже показовим для оцінювання рівня дисертації: в ньому автор детально і послідовно наводить теоретичний опис для загального опису динаміки квантових мод за наявності частотного шуму, обговорює різні теоретичні аспекти та результати загального характеру, показує кількісне узгодження з сучасним експериментом, та робить висновки на випадок інших систем. Спочатку виводиться рівняння руху для комплексної амплітуди моди, обчислюються корелятори координати, проводиться квантування для опису квантового осцилятора, показано як по кореляторам визначати характеристики для різних видів шуму, враховано нелінійність. І далі наведено результати конкретних реалістичних обчислень для випадку мікромеханічного торсіонного осцилятора, де показано дуже вразливе узгодження теорії з експериментом. Зроблено висновки про можливість застосування даного методу аналізу шуму для опису інших систем.

Третій розділ присвячено коливанням в квантових і класичних системах коли може бути мультистабільність її станів. Досліджено як коливання в класичній системі з квантованою амплітудою на прикладі маятника Дубошинського, так і у суттєво квантовій системі. Важливо, що фактично вивчаються гібридні системи, що складаються з осцилятора та квантової підсистеми. Розглянуто різні випадки: адіабатичний ліміт, напівкласичне наближення, можливість неадіабатичних перемикань між стабільними станами. Розглянуто важливий для квантових технологій випадок, коли квантова підсистема – це кубіт.

В **четвертому** розділі вивчається дуже цікаве явище – ефект Казиміра. Розглянуто два випадки – для металевої наноплівки і масивної металевої кулі в контакті з масивною пластиною. Ці прості геометрії дозволяють отримати низку красивих аналітичних виразів. Наведено дуже детальний аналіз реалістичної експериментальної постановки в умовах спектроскопії в порожнистому волокні, де здобуто вразливе співузгодження між експериментом та теорією. Пояснено, що урахування цього ефекту є дуже важливим для сучасних та перспективних наносистем.

У наступному, **п'ятому**, розділі досліджено електронні моди у одно- та двовимірних системах. Такі системи охоплюють такі важливі теоретичні моделі як вігнерівський кристал та застосовні до таких важливих практичних матеріалів як графен. Дуже детально досліджено різні можливі випадки для зіткнення плазмонів: попарні зіткнення, із зміною їх числа, та як це впливає на теплопровідність вігнерівського кристалу та встановлення термічної рівноваги в системі.

В шостому розділі автор досліджує електромагнітні хвилі у шаруватих надпровідниках. Такі моделі важливі, оскільки описують високотемпературні надпровідники. Розглянуто напівнескінченні зразки та пластини кінцевої товщини. Побудовано та проаналізовано дисперсійні криві для різних випадків розповсюдження хвиль в пластинах, а також досліджено локалізовані хвилі. З боку можливих практичних застосувань важливо що ці хвилі належать до терагерцового діапазону, тому важливо, що автор розвиває їхню теорію з урахуванням впливу зовнішнього магнітного поля, резонансного поглинання та реалістичного згасання.

Таким чином, в дисертаційній роботі З.О. Майзеліса шляхом аналітичного і чисельного розв'язання рівнянь теоретичної фізики, що описують моди коливань у класичних та квантових випадках в лінійних та нелінійних наближеннях з урахуванням дисипативного оточення отримано ряд нових цікавих результатів та розроблено нові методи теоретичного дослідження. Дисертація повністю відповідає спеціальності 01.04.02 — «теоретична фізика».

На мою думку, найбільш вражаючими є наукові результати, що отримані у дисертації, для опису таких різнопланових систем як одно- та двовимірних кристалічних систем, вігнерівські кристали, графен, сильно анізотропних надпровідникових пластин. Таким чином, отримані у дисертації результати та розроблені методи мають практичне значення. Загалом дослідження дисертаційної роботи доповнюють і розширюють існуючі уявлення про поширення, взаємодію та затухання хвиль різного походження, але в єдиному контексті, що підтверджує також фундаментальне теоретичне значення отриманих результатів.

Обґрунтованість та достовірність отриманих в дисертації теоретичних результатів забезпечується застосуванням сучасних надійно апробованих методів теоретичної фізики конденсованого стану, а також підтверджується ретельно зробленими викладками, наведеними у тексті. В рамках застосованих модельних припущень наукові положення, висновки, сформульовані у дисертації, є цілком обґрунтованими. Аналітичні результати доповнюються і підтверджуються чисельними розрахунками. Варто підкреслити, що автор віртуозно застосовує різні аналітичні та численні методи теоретичної фізики для вирішення квантового кінетичного рівняння для матриці щільності відкритої системи, системи зв'язаних калібрувально-інваріантних синусоїдальних рівнянь Гордона, кінетичного рівняння Больцмана.

Вважаю за доцільне ознайомити з науковими результатами дисертаційної роботи З.О. Майзеліса 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), Інститут металофізики

ім. Г.В. Курдюмова НАН України (м. Київ), 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) Розділ 3.1 побудовано на використанні рівняння Ліндблада для матриці густини станів, при цьому дворівнева система знаходиться під дією змінних у часі полів. Водночас дуже важливою і часто обговорюваною є проблема переходу до адабатичного базису, і лише після цього використання рівняння Ліндблада. Це може призводити до якісно інших результатів. А отже вибір між цими двома підходами є важливим з практичної точки зору. Тому вважаю, що обговорення цього додало б цінності отриманим результатам.
- 2) Дослідження мультистабільності проведено для однокубітної системи. Водночас декілька разів у тексті дисертації згадується «малокубітні» системи. Нажаль, залишається незрозумілим, які саме результати і як можуть бути застосовані до систем з декількома кубітами. Це може бути важливим для аналізу мультистабільності стану сплутаних кубітів.
- 3) При аналізі динаміки маятника Дубошинського згадується про можливість апроксимації поля котушки функцією Хевісайда. Але не уточнюється межі застосування цього наближення і не указано, яким чином можна впевнитися у справедливості такого наближення.
- 4) В декількох випадках викладання починається з рівняння або гамільтоніана без пояснення звідки це береться. Наприклад, в главі 3 в рівнянні (3.1) наводиться гамільтоніан квантової дворівневої системи і фундаментальної моди резонатора, але немає пояснень, і лишається здогадуватись: які саме системи описуються таким гамільтоніаном, в яких наближеннях можна використовувати цей підхід, де гамільтоніан взаємодії підсистем.

Однак зазначені зауваження не впливають істотно на отримані автором дисертації результати і на загальну високу оцінку роботи. Дисертація прекрасно структурована і написана доброю науковою мовою. Основні результати опубліковані в 14 статтях, більшість з яких у таких відомих профільних журналах як Nature Comm., Phys. Rev. Lett., Phys. Rev. B, Phys. Rev. A, Europhys. Lett. Новизна та наукове значення отриманих результатів не викликають сумнівів. Опубліковані роботи й автореферат повно і вірно відбивають зміст і висновки дисертаційної роботи, а також особистий внесок здобувача. Дисертація З.О. Майзеліса є закінченою науковою роботою, в якій отримані нові науково-обґрунтовані результати, що в сукупності вирішують важливу наукову проблему теоретичної фізики конденсованого стану, а саме: систематично побудовано або

узагальнено теоретичні підходи для опису динаміки мод у лінійних та нелінійних квантових системах із скінченною кількістю ступенів вільності при врахуванні взаємодії з зовнішнім термостатом, джерелами шумів, і досліджено ефекти, викликані цими модами.

Вважаю, що, враховуючи актуальність обраної теми, новизну та наукову значимість отриманих результатів, достовірність і обґрунтованість висновків, дисертація «Поширення, взаємодія і декогеренція мод у нелінійних квантових системах» повністю задовольняє вимогам, що ставляться до докторських дисертацій МОН України, зокрема пунктам 9, 10 та 12 “Порядку присудження наукових ступенів”, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 № 567, а автор дисертації Майзеліс Захар Олександрович, поза сумнівом, заслуговує на присудження наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.02 – теоретична фізика.

Офіційний опонент
доктор фізико-математичних наук,
старший науковий співробітник,
завідувач відділу
надпровідних і мезоскопічних структур
Фізико-технічного інституту низьких температур
ім. Б.І. Веркіна НАН України


С.М. Шевченко

«Підпис С.М. Шевченка засвідчую.»

Вчений секретар ФІТІП ім. Б.І. Веркіна
НАН України
кандидат фізико-математичних наук





О.М. Калиненко