

РЕЦЕНЗИЯ

на дисертационен труд за придобиване на научна степен „доктор на науките“

**в професионално направление 4.1. Физически науки, по процедура за защита във
Физически факултет (ФзФ) на Софийски университет „Св. Климент Охридски“ (СУ)**

Рецензията е изготвена от доц. дфзн Андон Ангелов Рангелов от Физически факултет на Софийския университет, в качеството му на член на научното жури съгласно Заповед РД 38-249 от 20.05.2022 г. на Ректора на Софийския университет.

Тема на дисертационния труд: “ Критични явления и квантова метрология със силно корелирани квантово-оптични системи”

Автор на дисертацията: доц. д-р Петър Александров Иванов

I. Общо описание на представените материали

1. Данни за представените документи

Кандидатът доц. д-р Петър Александров Иванов е представил дисертационен труд (на английски език) и автореферат (на английски и български език), а също така и задължителните за Физически факултет таблици от Правилника за условията и реда за придобиване на научни степени и заемане на академични длъжности в СУ „Св. Климент Охридски“ (ПУРПНСЗАДСУ). Представени са и 28 на брой други документи, подкрепящи постиженията на кандидата (2 броя дипломи, автобиография, копия на 23 публикации, с които участва в процедурата, списък на забелязаните независими цитирания и декларация за авторство и за оригиналност на резултатите). Прави впечатление, че авторефератът на практика е превод на дисертацията на български език, но в съкратен вариант. Представените по защитата документи от кандидата съответстват на изискванията на ЗРАСРБ, ППЗРАСРБ и ПУРПНСЗАДСУ.

2. Данни за кандидата

От 1998 до 2002 дисертантът е бил студент бакалавърска степен във Физически факултет, Софийски университет "Св. Климент Охридски". През периода 2004г. – 2008г. дисертантът е бил докторант във Физически факултет на СУ. След придобиване на образователната и научна степен „доктор”, в периода 2012г. – 2015г. е бил главен асистент във ФзФ. От юни 2015г. заема академичната длъжност „доцент” в същия факултет. Преподавателската му дейност е свързана с лекции и упражнения по курсовете: Квантова Механика, Методи и приложения на Квантовата Механика, Теоретична Механика, Квантови Фазови Преходи (избираем курс), и Квантови симулации и Квантова

Метрология. Бил е ръководител на един успешно завършил бакалаври по физика и един магистър по физика. Успешното му международно сътрудничество е свързано с изследователски групи от Германия и Испания. Общият брой на статиите на доц. Петър Иванов е 42, привлекли над 500 независими цитирания и формиращи индекс на Хирш $h=12$. В 16 от статии по дисертацията е първи автор. В предоставените материали се забелязва, че доц. Петър Иванов има 7 самостоятелни статии включени в дисертацията.

3. Обща характеристика на научните постижения на кандидата

Съдейки по съдържанието на дисертацията, интересите на доц. Иванов са в областта на квантови фазови преходи, квантова метрология, квантов хаос и термализация, и квантова информация. Научните публикации, включени в дисертационния труд, отговарят на минималните национални изисквания (по чл. 2б, ал. 2 и 3 на ЗРАСРБ) и на допълнителните изисквания на СУ „Св. Климент Охридски“ за придобиване на научната степен „доктор на науките“ по професионално направление 4.1. „Физически науки“. От приложената по-долу таблица става ясно, че тези изисквания са значително надхвърлени.

Група показатели	Показател	Съгласно ПУРПНСЗАДСУ-ФЗФ	За дисертанта, съгласно представения доказателствен материал
		изисквани за „доктор на науките“	
А	1	50т.	50т.
Б	2	100т.	545т.
Г	5+6+... +10	Общо минимум 14 публикации от група I (минимум 100т. от показатели от 5 до 10)	Група I (Q1, Q2) 23 статии 460т. Група II (Q3, Q4) - няма Група III (SJR, без IF) - няма ОБЩО: 460т.
Д	11	Минимум 100 цитирания (т.е. минимум 200т.)	440т.
Допълнително изискване от ФЗФ		Минимум 9 публикации от Група I със съществен принос на кандидата	16 публикации
Допълнително изискване от ФЗФ		Индекс на Хирш $h>6$	$h=12$

Съдейки по таблиците в документите на кандидата, включените в дисертационния труд научни публикации не повтарят такива от предишни процедури за придобиване на научно звание и академична длъжност. Всички статии са публикувани в престижни международни списания след успешни процедури по независими рецензирания. Считаю това за показателно, че публикуваните резултати, както и тези в дисертацията и в автореферата, са оригинални научни приноси на доц. Иванов. С това отхвърлям възможността за плагиатство под каквато и да е форма.

4. Анализ на научните и научно-приложните постижения на кандидата, съдържащи се в материалите за участие в конкурса

Изложението в дисертацията е на английски език, което според мен е правилно с оглед използването на този труд от по-широка научна аудитория. Дисертацията е оформена като обобщение на резултатите от включените в нея статии, които са систематизирани и представени в 12 глави. Основните анализирани проблеми в дисертацията на доц. Иванов са както следва:

Уводната Глава 2 е посветена на основните понятия на йони в капан на Паул. Главите 3, 4, 5, и 6 са посветени на изучаването на критични явления в квантово оптични системи. Предложено е симулирането и изучаването на фазовата диаграма на модела на Джейнс-Къминг-Хъбард с йонен кристал, който описва квантов фазов преход на поларитони между фазата на Мот изолатор и свръх-флуидна фаза.

В глава 4 са предложени модели, в които може да се наблюдава магнитен структурен преход и формирането на спин-фононен кондензат. Те се основават на симетричната връзка на Ян-Телер между локалните напречни фонони и спиновите състояния на йоните в капан на Паул.

Глава 5 е посветена на спин магнетизъм в линеен йонен кристал.

Глава 6 изучава създаването на изкуствено магнитно поле за фотони в непланарен резонатор. Енергетичният спектър на фотоните в резонатора се описва с нива на Ландау. Взаимодействието на фотоните и Ридбергови атоми води до формирането на поларитонно възбуждане, което може да се разглежда като квазичастица. Силното Ридбергово дипол-дипол взаимодействие създава взаимодействие между поларитоните и по този начин и между фотоните в резонатора. Показано е, че наличието на магнитно поле и силно взаимодействие на отблъскване между фотоните може да създаде фотонен аналог на Лафлин състоянията в полу целочисления квантов ефект на Хол.

Наличието на квантов фазов преход води до рязка промяна на основното състояние на системата около точката на преход. От гледна точка на информационната геометрия това означава, че разстоянието между две близки квантови състояние разделени от критична точка може да бъде голямо. Информационната геометрия изучава геометрията на квантовите състояния, които зависят от даден параметър или набор от параметри. Инфинитизимално малкото изменение на параметрите води до различимост между квантовите състояния, което позволява да дефинираме диференциално малко разстояние между тях. В най-общия случай метричният тензор в информационното пространство описва Риманова геометрия. В точката на фазов преход метричният тензор дивергира, което

може да се използва като сигнал за критичност в квантови системи. Различимостта на квантовите състояния и метричния тензор са тясно свързани с квантовата метрология, която изучава прецизността при определянето на неизвестен параметър чрез използването на квантова система. Наистина, колкото повече квантово състояние е чувствително към изменението на даден параметър, толкова по-точно той може да бъде определен. Следователно, метричния тензор и прецизността при измерване са тясно свързани. Като мярка за чувствителност в квантовата метрология се използва квантовата Фишер информация. Статистическата неопределеност при измерването на даден параметър е обратно пропорционална на Фишер информацията. Следователно колкото по-голяма Фишер информация имаме толкова по-точно се определя неизвестният параметър. Може да се покаже, че квантовата Фишер информация е пропорционална на метричния тензор. Тази тясна връзка показва, че свръх прецизна квантова метрология може да се постигне в системи показващи квантов фазов преход.

Глава 7 въвежда основните понятия като разстояние и метричен тензор в параметричното пространство на състоянията. Също така е показана връзката между метричния тензор и квантовата Фишер информация.

В глава 8 е предложена квантова метрология в модела на Дике, който описва квантов фазов преход от втори род между нормална и свръхрадиантна фази. Показано е, че системата е чувствителна към параметри нарушаващи симетрията на модела. Такива параметри могат да бъдат например честотната разлика между лазерната честота и честотата на атомен преход или слаби електрични сили. Наличието на квантов фазов преход води до увеличаване на сигнала, така че неизвестният параметър може да бъде определен с Хайзенбергова прецизност. Моделът на Дике може да бъде реализиран с йони в капан на Паул, където колективните степени на свобода се формират от вътрешните йонни състояния, а бозонната степен на свобода от вибрационната мода.

В глава 9 е предложен квантов сензор на слаби сили с един йон или система от йони в капан на Паул. Показано е, че сили от порядък $10^{-24}N$ могат да бъдат измерени чрез наблюдение на времевите осцилации на спиновите състояния на йона.

В глава 10 е предложена квантова метрология със системи показващи дисипативен фазов преход. Такива фазови преходи могат да бъдат наблюдавани в отворени квантови системи. Балансът между кохерентната и дисипативната динамика води до формирането на неравновесно състояние с матрица на плътност, която може да проявява неаналитично поведение в точката на преход. Забележително, около точката на преход дисипативната система е чувствителна към пертурбации нарушаващи симетрията и. Това позволява да

определим двата параметъра характеризиращи оператора на отместване с голяма точност.

Глава 11 е посветена на оптималното измерване на ниски температури в линеен йонен кристал. След Доплеровото лазерно охлаждане, вибрационното състояние на йоните в капана на Паул е термално с температура от порядък на 100 μ K. Прилагането на лазерно поле свързва трептенията на кристала с колективните спин състояния на йоните, така че информацията за температурата може да бъде прехвърлена върху атомните заселености. Температурата се определя оптимално чрез проективни спин измервания.

Глава 12 свързва наличието на квантов фазов преход с квантовия хаос. Въпреки, че квантовата механика е линейна теория, квантови системи могат да проявяват квантов хаос. Наличието на квантов хаос може да се дефинира чрез статистическото разпределение на енергетичната разлика на нивата или чрез експоненциалното нарастване на неедновременната корелационна функция. Квантовият модел на Раби описва взаимодействието между фотон и спин и може да прояви квантов фазов преход в ефективна термодинамична граница. Показано е, че в свръхрадиантната фаза система проявява квантов хаос и може да достигне до състояние на равновесие, в което спиновите времеви осцилации намаляват.

Резултатите на дисертанта са публикувани в престижни международни списания:

Reviews of Modern Physics (1бр., IF=54), Physical Review Letters (1бр., IF=9.185), Scientific Reports (2бр., IF=4.99), Physical Review Applied (1бр., IF=4.93), New Journal of Physics (1бр., IF=3.73), Physical Review A (9бр., IF=3.14), Entropy (1бр., IF=2.53), Physica Scripta (1бр., IF=2.49), Optics Communications (2бр., IF=2.31), Journal of Physics B (1бр., IF=1.92), Journal of Low Temperature Physics (1бр., IF= 1.57), Physical Review Research (1бр.)

Цитирани над 500 пъти в трудовете на други автори. Импакт факторът на публикациите му е над 120. Съгласно формулираните в ПУРПНСЗАДСУ на ФзФ критерии за съществен принос на дисертанта в публикациите по конкурса, данните на доц. Иванов по този показател са почти два пъти по-високи от минималните изисквани.

Научните приноси на доцент Иванов са убедителни. Те дават принос към обогатяване на съществуващите знания и са с определени перспективи за експериментални проверки.

5. Критични бележки и препоръки

Стилът на дисертацията е много добър, като същото категорично важи за стила на статиите, върху които е базирана дисертацията. Има дребни технически недостатъци и известен брой правописни грешки в автореферата, но те са неизбежни при писането на дисертация. Както дисертацията така и авторефератът имат самостоятелна стойност, но и стойност на материал, който може да бъде предоставян на дипломанти и на докторанти. В този смисъл, коригирането на правописните грешки е препоръчително и аз ще дам на

дисертанта списък с намерените от мен грешки.

Имам и следните въпроса към дисертанта свързани с дисертацията:

1. Когато ползвате Кулоновото взаимодействие в дисертацията вие се ограничавате до определен брой членове във взаимодействието. Какъв ефект предизвикват членовете от по-висок порядък в разложението на Кулоновото взаимодействие? При какви условия тези членове не могат да бъдат пренебрегнати?
2. Какво е условието една квантова система да достигне до равновесие?
3. Като мярка за чувствителност в квантовата метрология използвате квантовата Фишер информация, защо нея а не някоя друга мярка? Има ли други алтернативни мярки, които бихте могли да използвате?

6. Лични впечатления за кандидата

Познавам доц. Иванов още от студентските му години, понеже бяхме колеги в един поток. Още тогава като студенти дисертанта се отличаваеше от останалите колеги със силно желание за нови знания и умения. По-късно като докторанти бяхме заедно в групата на проф. Николай Витанов и тогава оцених и други положителни качества на доц. Иванов а именно да работи в екип и да споделя научен опит. Личните ми впечатления са за един високо мотивиран и способен професионалист, израснал в групата на професор Николай Витанов, но поел по собствен път в науката и ползващ се с уважението на колегията.

7. Заключение

След като се запознах с представените дисертационен труд, автореферат и с другите материали, въз основа на направения анализ на тяхната значимост и съдържащи се в тях научни и научно-приложни приноси, **потвърждавам, че научните постижения отговарят на изискванията** на ЗРАСРБ и Правилника за приложението му и съответния Правилник наСУ „Св. Климент Охридски“ за **придобиване на научната степен „доктор на физическите науки“**. В частност кандидатът значително надхвърля минималните национални изисквания в професионално направление 4.1. Физически науки. Не е установено плагиатство в представените по конкурса дисертационен труд, автореферат и научни трудове. Давам своята **положителна** оценка на дисертационния труд.

II. ОБЩО ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Въз основа на гореизложеното, препоръчвам на научното жури да присъди на доц. д-р Петър Александров Иванов научната степен „доктор на науките“ в професионално направление 4.1. Физически науки.

05.08.2022 г.

Изготвил рецензията:

(доц. дфзн Андон Рангелов)