

РЕЦЕНЗИЯ

на дисертация

за получаване на научна степен „Доктор“

в професионалната научна област 4.1. Физически науки (Физика на атомите и молекулите)

по процедура за защита във Физически факултет

на Софийски университет „Св. Климент Охридски“

Рецензията е подготвена от доц. д-р Боян Тонев Торосов, Институт по физика на твърдото тяло „Георги Наджаков“, Българска академия на науките, като член на научното жури съгласно Заповед № РД 38-498 / 24.07.2025 г. на ректора на Софийския университет.

Заглавие на дисертацията: Ефекти от формата на импулса при динамиката на кубити: изследване на квантов контрол върху квантови процесори на IBM

Автор на дисертацията: Иво С. Михов

I. Общо описание на представените материали

1. Описание на представените документи

Кандидатът Иво С. Михов е представил дисертация и автореферат. Налице са и допълнителни документи (като автобиография, диплома за магистърска степен, декларация за авторство, копия на публикации и наукометрична справка), подкрепящи постиженията на кандидата. Представените от кандидата документи за участие в защитата съответстват на изискванията на Закона за развитието на академичния състав в Република България (ЗРАСРБ), Правилника за неговото прилагане и Правилника за условията и реда за придобиване на научни степени и заемане на академични длъжности в СУ „Св. Климент Охридски“.

2. Информация за кандидата

Иво Михов завършва магистърска степен по физика в университета в Манчестър през 2020 г. След това работи като специалист по обработка на данни (data scientist) до 2022 г., когато започва докторантурата си в Софийския университет „Св. Климент Охридски“ в групата по „Квантова оптика и квантова информация“ с научен ръководител проф. Николай В. Витанов. Научните му изследвания по време на докторантурата са посветени на теоретичното и експериментално изследване на техники за квантов контрол, със специален фокус върху ефектите от формата на импулси върху динамиката на свръхпроводникови кубити, използвайки облачно базираните квантови процесори на IBM.

3. Общо описание на научните постижения на кандидата

Основният фокус на дисертацията е разработването, анализът и експерименталната демонстрация на усъвършенствани методи за квантов контрол, базирани на формата на импулсите. Изследването проучва как специално проектирани електромагнитни импулси могат да бъдат използвани за манипулиране на квантови системи с безпрецедентна точност, като по този начин се адресират ключови предизвикателства в съвременните квантови изчисления. Дисертацията се основава на пет научни публикации, три от които са публикувани във водещи рецензирани списания с висок импакт фактор като Physical Review Letters и Physical Review A. Като първи автор на всички посочени публикации е видно, че приносът на кандидата е централен и съществен. Поради това дисертационният труд и свързаните с него публикации значително надхвърлят минималните национални изисквания за придобиване на научната степен „доктор“. Представената дисертация не повтаря трудове от предишни процедури, а декларацията за оригиналност потвърждава автентичността на работата.

4. Анализ на основните научни и приложни постижения на кандидата, както е видно от документите за участие в процедурата

Основните научни и приложни приноси на този дисертационен труд са в областта на квантовия контрол, с директни приложения в квантовите изчисления, квантовата спектроскопия и метрологията. Трудът систематично изследва как времевата форма на управляващия импулс може да бъде проектирана за постигане на нови и силно желани резултати в динамиката на кубита.

Дисертацията е логически структурирана в осем глави:

Глави 1, 2 и 3 служат като подробно въведение в областта. Глава 1 мотивира изследването, като го контекстуализира в по-широкия пейзаж на квантовите

изчисления. Глави 2 и 3 предоставят обширен и добре написан литературен обзор и теоретична основа, обхващащи точно-решими квантови модели, усъвършенствани техники за контрол чрез проектиране на формата на импулса (DRAG, композитни импулси), теорията на системи с две нива, адиабатната еволюция и физиката на свръхпроводниковите кубити.

Глава 4 описва подробно експерименталната методология, като се фокусира върху използването на облачната платформа на IBM Quantum и библиотеката Qiskit Pulse за контрол на ниско ниво на свръхпроводникови трансмон кубити.

Глава 5 представя фундаментално изследване на ефектите от различни често срещани импулсни форми с крайна продължителност. Кандидатът експериментално валидира аналитични модели за няколко импулсни форми (на Раби, Розен-Зенер, Демков и др.), демонстрирайки 4-7 пъти подобрене в точността на калибриране на резонансната честота в сравнение със стандартните методи. Значителен принос в тази глава е извеждането и проверката на два нови аналитични модела за гладки импулси с крайна продължителност.

Глава 6 съдържа някои от най-новите и впечатляващи резултати в дисертацията. Тук кандидатът представя първата по рода си експериментална демонстрация на мощностно стесняване – явление, което преобръща вековната парадигма за мощностното разширяване в спектроскопията. Чрез използване на импулси от Лоренцовото семейство се постига десетократно свиване на спектралната линия. За да се допълни „инструментариумът за манипулиране на спектрални линии“, трудът също така въвежда и демонстрира мощностно свръхразширяване, постигайки 3.5-кратно увеличение на ширината на спектралната линия в сравнение със стандартния модел на Раби.

Глава 7 въвежда и експериментално валидира концепцията за изовероятностни модели. Използвайки еквивалентността на Делос-Торсън, кандидатът показва как различни двойки форми на честотата на Раби и детюнинга могат да доведат до идентични вероятности за преход. Тази мощна концепция е демонстрирана за три класа модели (LZ, АЕН и „полу“-АЕН) на квантов процесор на IBM, подчертавайки нова степен на свобода при проектирането на квантови операции.

Глава 8 предоставя кратко заключение, обобщаващо ключовите резултати и обсъждащо потенциалното въздействие и бъдещите насоки за изследвания.

Приносите, представени в тази дисертация, представляват значително обогатяване на съществуващите знания в областта на квантовия контрол. Трудът елегантно

преодолява пропастта между сложната теория и реалното експериментално приложение върху най-съвременния квантов хардуер.

5. Критични забележки и препоръки

Дисертацията е изключително добре написана, ясна и добре структурирана. Теоретичните изводи са строги, а експерименталните резултати са представени ясно и са убедително анализирани. Въвеждащите глави са особено похвални заради своята педагогическа стойност, правейки сложната тема достъпна за по-широка аудитория. Визуалното представяне, включително форматирането на фигури и уравнения, е на много високо ниво.

Имам следните въпроси и теми за дискусия, целящи да проучат допълнително значението на този отличен труд:

- Изследването използва в голяма степен свръхпроводникови трансмон кубити на IBM. Как ключовите открития, по-специално явленията на мощностно стесняване и свръхразширяване, биха могли да се пренесат към други платформи за квантови изчисления като уловени йони или фотонни системи, които притежават различни шумови характеристики и парадигми на контрол?
- В Глава 6 се отбелязва, че експерименталната демонстрация на мощностното стесняване е в крайна сметка ограничена от артефакти, породени от отрязването на импулса. Бихте ли могли да доразвиете идеята за потенциални алтернативни експериментални стратегии или по-сложни протоколи за формата на импулсите, които биха могли допълнително да смекчат тези артефакти и да позволят наблюдението на още по-драматичното стесняване, предвидено от теорията?
- Концепцията за изовероятностни модели в Глава 7 е много елегантна. В дисертацията се отбелязва, че ефектите на изтичане са предизвикали асиметрия в някои от експериментите с модела „полу“-AEN ($hAEN$). Бихте ли могли да обсъдите как тези изовероятностни класове могат да бъдат разширени, за да отчитат изрично или активно да минимизират изтичането към по-високи енергийни нива?
- От практическа гледна точка дисертацията анализира голямо разнообразие от импулсни форми. За разработчик на квантови алгоритми или експериментатор, какъв би бил процесът на вземане на решение за избор на една импулсна форма пред друга за конкретна задача (напр. гейт с висока

точност спрямо спектроскопско измерване)? Може ли от този труд да се изведе проста евристика или дърво на решенията?

Тези въпроси имат за цел да стимулират дискусия и не омаловажават цялостното изключително качество на дисертационния труд.

6. Лични впечатления за кандидата

Имах възможността да следя развитието на кандидата по време на неговата докторантура. Впечатленията ми са, че Иво Михов е силно мотивиран, креативен и изключително продуктивен млад учен. Качеството и обемът на неговите изследвания, публикувани във водещи международни списания, говорят за дълбокото му разбиране на темата и за способността му за самостоятелна и новаторска научна работа.

7. Заключение

След запознаване с представената дисертация, автореферата и другите материали и въз основа на анализа на тяхното значение и съдържанието в техните изследвания и приноси, потвърждавам, че научните постижения в дисертацията отговарят на изискванията на Закона за развитие на академичния състав в Република България и съответните правилници на Софийски университет "Св. Климент Охридски" за придобиване на научната степен "доктор". По-специално, кандидатът надхвърля минималните национални изисквания в професионалната област и не е установено плагиатство в дисертацията, автореферата и научните статии, представени на конкурса.

Давам **положителна** оценка за дисертацията.

II. ОБЩО ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Въз основа на гореизложеното, препоръчвам на научното жури да присъди образователната и научна степен "доктор" в професионалната област 4.1 Физически науки на Иво С. Михов.

8 септември 2025 г.

Подпис на рецензента: 

(доц. д-р Боян Торосов)