

РЕЦЕНЗИЯ

на дисертационен труд

за придобиване на образователната и научна степен „доктор”

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, СУ „Св. Климент Охридски“, Физически факултет, в качеството му на член на научното жури съгласно заповед РД 38-498/24.07.2025 на Ректора на Софийския университет.

Тема на дисертационния труд: “ Ефекти на формата на импулса върху динамиката на кубита и отвъд изследване на квантовия контрол в процесори на IBM Quantum ”

Автор на дисертационния труд: Иво Стоянов Михов

I. Общо описание на представените материали

1. Данни за представените документи

Кандидатът Иво Михов е представил дисертационен труд на английски, автореферат на английски и български, автобиография, диплома за завършено висше образование със степен „магистър“, декларация за авторство, заявление за предзащита, авторска справка с приносния характер на трудовете, и отчисляването на кандидата с право на защита, протокол за проверка на оригиналността на дисертационен труд, както и екземпляри от пет публикации залегнали в дисертационния труд (2 Physical Review A, 1 Physical Review Letters и 2 ръкописа от arXiv.org).

Представените по защитата документи от кандидата съответстват на изискванията на ЗРАСРБ, ППЗРАСРБ и Правилника за условията и реда за придобиване на научни степени и заемане на академични длъжности в СУ „Св. Климент Охридски“ (ПУР-ПНСЗАДСУ).

2. Данни за кандидата

Иво Стоянов Михов е роден през 1997 година в гр. София. Завършва Софийската математическа гимназия „Паисий Хилендарски” през 2016 г. От 2016 до 2020 г. е редовен студент в специалност „Физика“ на Университета в Манчестър, Великобритания. Дипломира се през 2020 г. като магистър по физика.

От 2022 до 2025 г. е редовен докторант по професионално направление 4.1 – Физически науки, специалност „Физика на атомите и молекулите“ към катедра „Теоретична физика“, Физически факултет на СУ „Св. Климент Охридски“.

3. Обща характеристика на научните постижения на кандидата

а) научните публикации, включени в дисертационния труд отговарят на минималните национални изисквания (по чл. 2б, ал. 2 и 3 на ЗРАСРБ) и съответно на допълнителните изисквания на ФЗФ на СУ „Св. Климент Охридски“ за придобиване на образователната и научна степен „доктор” в съответната научна област и професионално направление;

б) включените в дисертационния труд научни публикации не повтарят такива от предишни процедури за придобиване на научно звание и академична длъжност;

в) няма доказано по законоустановения ред плагиатство в представените дисертационен труд и в автореферата върху него.

4. Характеристика и оценка на преподавателската дейност на кандидата

Нямам данни за преподавателска дейност на докторанта.

5. Съдържателен анализ на научните и научно-приложните постижения на кандидата съдържащи се в материалите за участие в конкурса

Актуалност на проблема

Квантовите технологии са едно от най-бързо развиващите се научни и технологични направления в световен мащаб. Сред тях квантовите изчисления заемат водещо място поради потенциала им да решават задачи, непостижими за класическите компютри. В основата на всеки квантов алгоритъм стои управлението на кубити посредством електромагнитни импулси.

Формата на тези импулси е критичен параметър, който определя точността, стабилността и ефективността на квантовите операции. Въпреки това, традиционно в експерименталната практика се използват сравнително прости импулсни обвивки, като правоъгълни или гаусови, без да се изследва в дълбочина ефектът на алтернативни форми. Дисертацията на Иво Михов се вписва в тази изключително актуална научна ниша. Тя не само предлага задълбочен теоретичен анализ, но и включва експериментални демонстрации върху реални свръхпроводящи квантови процесори на IBM, което придава на труда изключителна практическа стойност.

Целта на дисертацията е да се изследва влиянието на формата на управляващите импулси върху динамиката на кубита и да се демонстрират нови явления, които могат да доведат до по-прецизно управление на квантови системи.

За постигането на тази цел авторът си поставя следните основни задачи:

1. Аналитични и приближени решения за различни импулсни форми.
2. Числени симулации и експерименти върху IBM Quantum.
3. Изследване на ефекта power narrowing.
4. Демонстрация на ново явление – power superbroadening.
5. Разработване на равновероятностни модели.

Общ преглед на дисертационния труд

Представеният дисертационен труд представлява комбинация от теоретично и експериментално изследване. Дисертацията е написана на добър английски в обем от 132 страници и включва 25 фигури, 4 таблици и 194 литературни заглавия. Авторефератът е написан на английски и български и отразява правилно съдържанието на дисертацията.

Дисертацията е оформена в осем глави:

- Глава 1, 2 и 3 дават въведение и обстоен литературен обзор, обхващащ както основополагащите модели на квантови системи с две нива, така и съвременните импулсни техники.
- Глава 4 представя теоретичните основи и експерименталната апаратура (IBM Quantum процесори и параметри).
- Глави 5–7 съдържат основните резултати: анализ на импулсни форми, power narrowing/superbroadening и равновероятностни модели.
- Глава 8 обобщава приносите, ограниченията и очертава бъдещи направления.

Стильът на изложение е ясен, логичен и съпроводен от богат илюстративен материал – графики, таблици и диаграми, които улесняват разбирането на резултатите.

Научни приноси

Дисертацията съдържа редица оригинални резултати, които могат да бъдат групирани по следния начин:

Теоретични приноси

- Изведени са аналитични решения за няколко класически модела на преход в квантова система с две нива (Раби, Розен–Зенер, Демков, Лоренцови импулси).
- Предложени са нови приближени методи за синусоидални и други импулси с линейни краища, които разширяват набора от налични аналитични модели.
- Развита е концепцията за равновероятностни модели на базата на Делос–Торсън еквивалентността, позволяваща различни комбинации на Раби честота и детюнинг да довеждат до идентична модели в квантова система с две нива.

Експериментални приноси

- Power narrowing – за първи път експериментално е демонстрирано обръщане на парадигмата на power broadening чрез Лоренцови импулси. Установено е стесняване на спектралната линия с повече от порядък.
- Power superbroadening – наблюдавано е свръхразширение на спектрални линии при специфични импулсни форми. Това явление не е било преди описвано експериментално.
- Показано е, че чрез правилен избор на импулсна форма грешката в калибровката на резонансната честота на кубита може да се намали 4–7 пъти спрямо стандартните импулси в Qiskit.

Приложни приноси

- Получените резултати имат пряко приложение в подобряване на точността на еднокюбитни операции – ключов компонент за реализация на надеждни квантови изчисления.
- Поставя се основа за разработка на по-устойчиви мултикюбитни операции, тъй като намалените спектрални изкривявания и по-прецизната калибровка пряко влияят върху качеството на квантовите алгоритми.

6. Критични бележки и препоръки

Докторската дисертация е написана на много добър английски език, изложението е ясно. Въпреки високите качества на труда, могат да се направят няколко критични

бележки:

1. В някои раздели изложението е прекалено детайлно, което затруднява четенето на дисертацията. По-компактно представяне би повишило достъпността на дисертацията.
2. Анализът на шумови модели и крос толк ефекти е сравнително ограничен, въпреки тяхната значимост за реални многокюбитни системи.
3. Би било полезно да се обсъдят перспективите за разширяване на равновероятностни модели към многочастични системи.

Тези забележки обаче имат препоръчителен характер и не намаляват стойността на получените резултати.

Имам няколко въпроса, които бих искал да бъдат отговорени по време на защитата:

1. *В какво се състои предимството на предложените „isoprobability models“ и как те допринасят за практическото усъвършенстване на квантови процеси?*
2. *Можете ли да коментирате възможността ефектите „power narrowing“ и „superbroadening“ да се използват за многокюбитни операции, а не само за единични преходи?*
3. *При „isoprobability models“ твърдите, че различни двойки (Rabi frequency, detuning) водят до еднакви вероятности. Това означава ли, че физическите механизми са напълно еквивалентни, или има скрити различия, напр. в динамиката по време на импулса?*
4. *Доколко разработените модели могат да се имплементират в съществуващите софтуерни пакети като Qiskit или изискват модификации на хардуерното управление?*

7. Лични впечатления за кандидата

Познавам Иво Михов като колега от научната група на проф. Николай Витанов и имам изключително положително мнение за него. Той винаги е проявявал отзивчивост и е оказвал ценна помощ на останалите колеги при работата с IBM Quantum. Освен това Иво е бил незаменим сътрудник в организирането на конференции, подготовката на проекти и в прилагането на съвременни AI инструменти като ChatGPT. В научните дискусии

впечатлява с дълбокото си познаване на тематиката в която работи, с бързата си ориентация в ситуацията и с умението си да предлага подходяща теоретична обосновка на разглежданите явления.

8. Заключение

След като се запознах с представените дисертационен труд, Автореферат и другите материали, и 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 на СУ „Св. Климент Охридски“ за **придобиване на образователната и научна степен „доктор“**. В частност кандидатът удовлетворява минималните национални изисквания в професионалното направление и 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 **образователната и научна степен „доктор“** в професионално направление **4.1 Физически науки** на **Иво Стоянов Михов**.

17 Септември 2025 г.

Изготвил рецензията:

(доц. дфзн Андон Ангелов Рангелов)