

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 д-р Боян Тонев Торосов от Институт по физика на твърдото тяло на БАН в качеството му на член на научното жури съгласно Заповед № РД 38-321 / 06.07.2023 г. на Ректора на Софийския университет.

Тема на дисертационния труд: “Design of Composite Pulse Sequences for Quantum Technologies”

Автор на дисертационния труд: Хаик Л. Геворгян

I. Общо описание на представените материали

1. Данни за представените документи

Кандидатът Хаик Л. Геворгян е представил дисертационен труд и Автореферат, а така също и задължителните таблици за Физически ф-т от [Правилника за условията и реда за придобиване на научни степени и заемане на академични длъжности в СУ „Св. Климент Охридски“](#). Представени са и допълнителни документи (като напр. автобиография, диплома за магистърска степен, декларация за авторство, декларация против плагиатство и справка за изпълнение на минималните изисквания), покрепящи постиженията на кандидата.

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“](#) (ПУРПНСЗАДСУ).

2. Данни за кандидата

Хаик Л. Геворгян завършва бакалавърска степен по „Физика“ в Ереванския държавен университет през 2016 г. През 2018 г. получава магистърска степен по „Физика, фотоника и нанотехнологии“ от Университета на Бургундия в Дижон, Франция. Бил е докторант в Ереванския институт по физика в периода 2018-2021 г. След това продължава докторантурата си в СУ „Св. Климент Охридски“, в групата по квантова оптика и квантова информация с ръководител проф. Николай В. Витанов. Работата му по време на докторантурата е фокусирана

предимно върху разработването на стабилни и високопрецизни квантови гейтове, базирани на композитни импулси.

3. Обща характеристика на научните постижения на кандидата

Основният фокус на дисертацията е върху разработването на нови композитни импулсни последователности с фокус върху приложенията в квантовите гейтове, както и в класическата оптика. Изследването е проведено под ръководството на проф. Николай В. Витанов и в сътрудничество с други членове на Групата по квантова оптика и квантова информация към СУ. Дисертацията се основава на пет научни публикации: една от тях е публикувана в списание с голям импакт фактор (Q1), една е доклад от конференция и три публикации в arXiv. Тъй като кандидатът е първи автор, предполагам, че приносят на му и в петте публикации е от съществено значение. Следователно дисертационният труд отговаря на минималните изисквания за придобиване на научна степен “доктор”. Освен това научните публикации в дисертацията не повтарят тези от предходни процедури за придобиване на научно звание и академична длъжност. И накрая, според становището за антиплагиатство, няма доказано плагиатство в представената дисертация и автореферата.

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

Основните научни и приложни приноси на настоящата дисертация са в областта на квантовия контрол, с приложения в квантовите изчисления и класическата оптика. По-специално, мощният метод на композитните импулси се използва за генериране на голям брой импулсни последователности за генериране на стабилни квантови гейтове с висока прецизност, както и за разработване на оптични устройства, като ширококолентови нерещипрочни поляризационни вълнови пластини и оптични изолатори.

Дисертацията е представена в осем глави:

- Първата глава представя най-често срещаните квантови гейтове, използвани в дисертацията, и също така обяснява общата идея зад метода на композитните импулси.
- Пет глави, фокусирани върху извличането на нови композитни последователности за генериране на квантови гейтове.
- Глава, в която композитни импулси се използват за създаване на ширококолентови нерещипрочни вълнови забавители.
- Заключителна глава.

Във всяка глава резултатите от приноса могат да бъдат класифицирани като обогатяване на съществуващите знания и прилагане на научните постижения в практиката.

Композитните импулси са техника, използвана в квантовата физика и обработката на квантова информация за редуциране на грешки, причинени от несъвършенства в контрола на квантовите системи, особено в квантовите гейтове и подготовката на квантови състояния. Основ-

ната идея зад композитните импулси е да се приложи последователност от внимателно проектирани импулси или гейтове, които, когато се комбинират, ефективно елиминират грешките, които иначе биха се натрупали по време на операцията. Тези последователности са съобразени със специфичните характеристики на квантовата система и типовете грешки, на които е податлива. Композитните импулси са особено полезни в областта на квантовите изчисления, където прецизният контрол върху кубитите е от съществено значение за извършване на точни квантови операции. Чрез използването на композитни импулси изследователите могат да подобрят прецизността и надеждността на квантовите гейтове и да намалят въздействието на шума в квантовия хардуер.

Първоначално разработени в поляризационната оптика и ядрено-магнитния резонанс, днес композитните импулси са широко използвана техника за контрол с множество приложения в други области, като уловени йони, неутрални атоми, квантови точки, свръхпроводящи кубити, оптични часовници, атомна оптика и магнитометрия. В настоящата дисертация методът на композитните импулси е използван за получаване на голямо разнообразие от широкоспектърни и тясноспектърни гейтове, както и квантови гейтове с правоъгълен профил на възбуждане, а също и широколентови нересципрочни вълнови забавители.

Дисертацията започва с уводна глава, където е предоставена подходяща основна информация. Първо са представени някои често използвани гейтове, като гейтовете на Паули X, Y и Z, гейтът на Адамар, ротационните гейтове и гейтовете за фазово изместване. Главата следва с кратко въведение в идеята за композитните импулси, представяйки някои популярни последователности, като тези на Wimperis, Tysko и SCROFULOUS.

Глава 2 се задълбава в теорията на композитните импулси, предоставяйки информация за метода $SU(2)$ и подробности за това как се извличат композитните последователности. Основните резултати в тази глава са извеждането на композитни последователности, които произвеждат стабилни (широкоспектърни) ротации на сферата на Блок по спрямо оста X. Композитните последователности съдържат до седемнадесет импулса и могат да компенсират до осем порядъка експериментални грешки в площта на импулса. Освен произволните въртения на кубита, се изследват два частни случая, които представляват интерес, а именно гейтът \sqrt{X} (ротация $\pi/2$) и гейтът X (ротация π). Представянето на всички получени последователности е тествано чрез дефиниране на прецизността на операцията като разстоянието на Фробениус между произведената унитарна операция и целевия гейт и нанасянето ѝ като функция на отклонението в площта на импулса. Получените последователности показват много добра устойчивост, както се вижда от широкоспектърните профили на фигурите, и превъзхождат съществуващите композитни ротации или по скорост, или по точност, или по двете. Също така си струва да се каже, че авторът е избрал много консервативна мярка за прецизност, а именно нормата на Фробениус. Различен избор на мярка би довел до още по-впечатляващи профили на възбуждане.

В глава 3 се извеждат редица композитни последователности, за да се произведат стабилни гейтове за фазово изместване. Изследват се три конкретни интересни гейта, а именно Z, S и T гейтовете. Композитните последователности съдържат до 18 импулса и могат да компенсират до осем порядъка експериментални грешки в амплитудата и продължителността на импулса. Късите композитни последователности (до 8 импулса) се изчисляват аналитично, а по-дългите числено.

В глава 4 авторът представя тясноспектърни и пропускателни композитни импулси за генериране на ротационен гейт върху единичен кубит. Както в глава 2, частните случаи на π и $\pi/2$ ротации са разгледани отделно. Използвани са три вида методи за оптимизация — SU(2), модифициран-SU(2) и регуляризация. Предлагат се два типа композитни импулси – наречени *pari passu* PN и *diversis passum* DN, с различни порядъци на чувствителност и устойчивост. PN последователностите са получени чрез метода на регуляризация и показват систематично подобрене на всички характеристики на ефективността — чувствителност, грубост и правоъгълност. DN последователностите се извличат чрез SU(2) метода, въпреки че може да се използва и методът на регуляризиране. Резултатите в тази глава биха могли да намерят приложения за квантовите сензори.

В глава 5 се разглежда интересния проблем за генериране на добре дефинирано много малко възбуждане на квантов преход с две състояния. Отново се прилага методът на композитните импулси, като се използват последователности, съдържащи два, три, четири и повече импулса. Подробно са представени и анализирани както симетрични, така и асиметрични, аналитични и числови класове от последователности. Резултатите в тази глава могат да бъдат полезни в приложения като генериране на един фотон от студен атомен ансамбъл от N атоми. Композитна последователност, произвеждаща вероятност за преход от $1/N$, ще гарантира, че само едно възбуждане е споделено в ансамбъла. Друго възможно приложение е фината настройка на квантовите гейтове, при които са необходими точни малки корекции на ъгъла на въртене, за да се постигне висока прецизност. Още едно приложение е генерирането на огромни състояния на Дике в студени атомни ансамбли или уловени йони чрез глобално колективно адресиране.

Глава 6 разглежда проблема с ултрастабилния и ултрачувствителен контрол чрез използване на композитни импулси. Идеята е да се жертва част от свръхвисоката прецизност на композитните импулси, за да се постигне допълнителна стабилност или чувствителност. Ултраустойчивият клас играе роля при проектирането на ахроматични поляризационни забавители, докато ултрачувствителният клас съответства на поляризационни филтри.

Глава 7 предоставя техника за конструиране на широкоспектърен нерещипрочен вълнов забавител, чието фазово забавяне на четвъртвълнова пластина е еднакво в посоки напред и назад. Системата е изградена с помощта на редица последователни нерещипрочни вълнови пластини, като оптичната ос на всяка е завъртяна на подходящ ъгъл. Предложеното устройство може също да се използва за създаване на ширококолентов оптичен диод, който се състои от две

ахроматични четвърт вълнови плочи, едната реципрочна, а другата неречипрочна, които са поставени между два поляризатора, подравнени успоредно.

Изводите и бъдещите перспективи на дисертационния труд са обобщени в Глава 8. Използваните публикации, както и конференциите на автора са обобщени в Приложението.

5. Критични бележки и препоръки

Дисертацията е добре написана и лесна за четене. Особено ми хареса възприетият стил на LaTeX и многобройните хипервръзки в PDF файла, които направиха четенето безпроблемно. Българският превод на автореферата търпи критика, но тъй като намирам това изискване за излишна формалност, не бих критикувал в това отношение.

Имам следните въпроси/забележки по дисертацията:

- Намирам дефиницията на еднокюбитните гейтове за малко объркваща. Например, уравнение (1.7) [и също уравнение (2.12)] дефинира хейта X по начина, по който традиционно се определя гейта Y (с точност до фактор $-i$). Освен това гейта на Адамар се дефинира като $\pi/2$ ротация по оста Y [Вж. уравнение (1.9)], докато традиционно се определя като π ротация по оста XZ . В дисертацията тази ротация $\pi/2$ по Y се нарича „псевдо-Адамарова форма“, но не е предоставена препратка към литературата.
- Глава 3 представя композитни последователности за генериране на гейтове с фазово изместване. Не ми е ясно каква би била ползата от използването на такъв подход, вместо това, което понастоящем е стандартният метод на виртуални Z ротации, внедрени виртуално в хардуера и имащи нулева грешка и продължителност [Вж. напр. McKay et. al., Phys. Rev. A 96, 022330 (2017)].
- Дисертацията разглежда само грешки в импулсната площ и нулев детюнинг. Въпреки това, в много ситуации грешките при детюнинга са още по-важни. Би било хубаво да види някои резултати (или поне коментари) по тази линия, въпреки че осъзнавам, че това ще изисква допълнително проучване.
- Заглавието на Глава 4 предполага, че някои приложения в областта на квантовите сензори ще бъдат изследвани. В главата обаче не може да се намери такова нещо, освен кратък коментар, в който се споменават няколко възможни приложения.
 - На някои места в дисертацията авторът пише „в тази статия“ вместо „в тази глава“.
 - Главите с по-дълги имена (като глави 5 и 7) имат хедър на страниците, който не може да се побере в цялата си дължина.

6. Лични впечатления за кандидата

Ограничените ми взаимодействия с кандидата не бяха достатъчни, за да си съставя мнение.

7. 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 Хаик Л. Геворгян.

18 Септември 2023 г.

Изготвил рецензията: 

(доц. д-р Боян Торосов)