

РЕЦЕНЗИЯ

на докторска дисертация

за придобиване на образователната и научна степен „Доктор“ по физически науки във Физическия факултет на Софийския университет „Св. Климент Охридски“

Рецензията е подготвена от: проф. Стефан Герен, Университет на Бургундия, Дижон, Франция.

Тема на дисертацията:

„Квантова процесна томография: Методи с висока точност“

Автор на дисертацията:

Станчо Георгиев Станчев

03.09.2023 – Дижон (Франция)

Общи характеристики на научните постижения на кандидата

Настоящата дисертация се занимава с общата област на квантовата процесна томография, използвайки методи с висока точност. Квантовата томография е от голямо значение в квантовата технология и по-специално в квантовите изчисления, тъй като играе ключова роля при характеризиране на реализацията на квантови логически гейтове, за да се провери и валидира тяхната коректност.

Работата се фокусира основно върху така наречената „многопроходна (многопроцесна) техника“, която се състои в извършването на квантова томография чрез множество идентични приложения на един и същ квантов гейт преди измерване. Това води до акумулиращ ефект, който, чрез бързо последващо обработване на данните, разкрива, че индивидуалният процес от многопроходната техника води до подобряване както на прецизността (например чрез тясна хистограма на измерените грешки на гейта), така и на точността (например чрез центриране на хистограмата до истинската грешка на гейта).

Неточността е пропорционална на подготовката на състоянието и грешките при измерване (SPAM) и на грешките при прочитането, докато грешката е свързана със случайни грешки, обикновено от статистическия шум. Известно е, че неточността може да бъде намалена чрез увеличаване на броя на измерванията (изстрелите). Техниката позволява също така да се смекчат SPAM и грешките при прочитане, с цел подобряване на точността. Важно е да се отбележи, че тази техника предлага значителна точност с относително малък брой експерименти в сравнение със стандартните методи.

Теоретичните резултати (симулации) са демонстрирани експериментално върху квантов компютър на IBM по много убедителен начин.

Тези резултати са наскоро публикувани в престижно списание на Nature Publishing Group (Scientific Reports - DOI: 10.1038/s41598-024-68533-3).

Дисертацията съдържа свързани резултати относно определянето на аналитични формули за кохерентно взаимодействие на многосъстояниевни квантови системи с импулсна поредица (пулсов влак), включващи специфични симетрии, свързващи еднопроходните и многопроходните процеси. Това е приложимо за характеристиката на високопрецизни Раманови кубитни гейтове. Тези резултати са публикувани в **Physical Review A** и **Journal of Physics B**, две списания с висок репутационен индекс.

Ръкописът е организиран по следния начин:

Глава 2 представя обобщение на теорията на квантовата информация, включително отворени квантови системи при условията на Марковски процеси. Глава 3 предоставя много

стабилен преглед на съвременните методи за характеризирание и валидиране на квантови процеси, т.е. квантова томография. Тези две глави са много информативни и написани в педагогически стил за читатели, които не са запознати с детайлите на квантовата томография. Те също така подготвят добре следващите глави, които съдържат оригиналните резултати на дисертацията.

Глава 4 представя развитието на основните резултати: многопроходната томографска техника, която постига подобрена прецизност и точност. Представени са убедителни симулации и демонстрации на квантовата машина на IBM. В глава 5, многопроцесни пропагатори в когерентно задвижвани многосъстояниевни системи (със симетрии на Морис-Шор и Вигнер-Майорана) са определени. Глава 6 прилага предходните резултати за характеризирание на Раманови кубитни гейтове и томография на гейт при динамика на Морис-Шор.

Глава 7 заключава работата и представя възможни пречки на метода:

- пулсове, които не са идентични, но без количествен анализ,
 - време на повторение под когерентното време на кубита,
- и потенциални обобщения, като:
- развитие на квантови контролни методи за многосъстояниевни системи,
 - по-широки приложения на многопроходната техника за кютрити и кюдити в квантовата теория,
 - разширение към произволна форма на пулса за Рамановия гейт.

Критични забележки, въпроси и препоръки

Докторантската дисертация е написана на много добър английски език, добре е организирана и представена. Мога само да спомена някои малки печатни грешки в препратките към глави или секции поради непълно преписване от свързаните статии, на които се базират тези глави (вижте по-специално глави 5 и 6).

Съвременното състояние на квантовата информация, и по-специално квантовата томография, е добре представено, показвайки стабилните знания на кандидата относно тези техники. Дисертацията е резултирала в три публикувани рецензирани статии с много висок стандарт (Scientific Reports, Physical Review A и Journal of Physics B). Станчо Станчев е първи автор на всички тези статии, което подчертава признаването на значителния му принос. Тези публикации демонстрират високото качество на дисертацията. Освен това, кандидатът е представил 6 научни комуникации (устни презентации и постери) на международни конференции, свързани с неговата докторска теза. По време на работата си Станчо Станчев е посетил престижни институти като Института Нилс Бор и Университета в Орхус, където е имал стимулиращи разговори с професор Клаус Мьолмер, професор с висока репутация по физика.

Имам следните въпроси, които да бъдат разгледани по време на защитата:

- Споменава се, че модулът Qiskit MitigatedProcessTomography за IBM квантовия компютър може да смекчи грешките при прочитане (рийдаут). Трябва да се изясни как този модул се използва в комбинация с представената многопроцесна техника или дали последната е достатъчна за смекчаване на тези грешки без използването на модула. В този случай, как *бихте сравнили модула с представения метод?*
- Как се увеличава точността спрямо броя на приложените гейтове?

- Други методи, като този, обсъден в [Cho+12], използват прилагането на последователност от идентични повторения на гейт. Как този метод се сравнява с настоящия?
- Споменава се, че многопроходната техника може да бъде приложена за точно описание на динамичното декуплиране и квантови сензори с кюдити. Може ли това да бъде обяснено с повече детайли?
- Споменава се, че едно от препятствията на метода е свързано с времето на повторение, което трябва да бъде под кохерентното време на кубита. Бихте ли могли да обясните дали е възможно да се оцени декохеренцията на кубита чрез мулти-процесния метод?

Заклучения

Убеден съм, че теоретичните резултати и демонстрациите на IBM квантовия компютър, представени в дисертацията, ще имат силно въздействие в областта на квантовата информация, и по-специално в квантовата томография, тъй като могат да бъдат приложени за широк спектър от системи (кюдит, платформи, контрол и др.). Дисертацията, резюмето и качеството на научните публикации на г-н Станчев отговарят на изискванията на Физическия факултет на Софийския университет „Св. Климент Охридски“. Поради това предлагам присъждането на образователната и научна степен „Доктор“.

Проф. Стефан Герен