

Антонино Месина, пълноправен професор,
Университет на Палермо, Италия

Становище на докторантската дисертация, написана от Станчо Георгиев Станчев под ръководството на Н.В. Витанов в Софийския университет (България).

Динамичната еволюция на избрано начално състояние на квантова физическа система удовлетворява съответните уравнения на движение и определя квантов процес.

Постигането на висока степен на точност в експерименталната характеристика на квантов процес е от основно значение, както на фундаментално ниво, така и от теоретична гледна точка. Всъщност, това позволява критична оценка на устойчивостта на теоретичните рамки за моделиране на квантовата система под наблюдение. От друга страна, високата точност става незаменимо изискване за квантови приложения, където способността да се контролира процесът трябва да бъде висока, за да се осигурят жизнеспособни технологични подходи.

Необходимостта от подобряване на ефективността на Квантова процесна томография (QPT) стимулира появата на нови теоретично-изчислителни схеми и свързани експериментални техники. Такива предложения целят да заобиколят възможните източници на несигурност (SPAM, рийдаут и статистически шум в QPT) при контрола на измерванията на физичните наблюдения и съответно при реконструкцията на времево зависимата матрица на плътността на системата (истинската цел на QPT). За да се постигне тази цел, в литературата наскоро бяха предложени усъвършенствания на стандартните QPT техники. Тези усъвършенствания използват идеята, че използването на повторяеми подходи подобрява прецизността и точността при измерване и анализиране на квантовия процес, благодарение на натрупването и последващото усилване на специфична грешка.

Като цяло и в идеален случай, Квантовата томография (но също и Класическата томография) извършва аналитична или изчислителна реконструкция на неизвестно състояние, например началната матрица на плътността, започвайки от знанията (придобити експериментално) за разпределението на вероятностите на съответните физически величини. Това е забележителен пример за решаване на обратен проблем, което означава, че неизвестната матрица на плътността на системата се определя, надявайки се на висока точност, започвайки от знанията за моментното поведение на наблюдаваните величини.

Тази докторска дисертация се вписва в този важен изследователски контекст (фундаментален и приложен) с голяма актуалност и международен обхват, чиято основна цел е създаването на нов клас квантови компютри, които са по-контролируеми и следователно по-ефективни.

В дисертацията техническите аспекти и наративната част са добре балансирани. Мотивите на проекта за дисертация са припомнени в няколко точки от ръкописа, предоставяйки на читателя възможността да ги обнови. Представянето е ясно и написано на добър английски.

Обширната библиография изглежда много подходяща. Кратък заключителен раздел обобщава съдържанието на дисертацията и кратко излага възможни развития на оригиналните приноси, които се появяват, започвайки от четвъртата глава.

Втората и третата глава по същество отговарят на педагогическите нужди на читателя, който не е запознат с обсъжданата тема, и се опитват, в известен смисъл, да направят дисертацията самостоятелна. Представянето в тези две глави протича бързо, тъй като основно цели да установи нотацията и да събере по последователен начин концепции, математически инструменти и полезни резултати за ефективното четене на следващите три глави.

Четвърта глава въвежда специфична томографска техника, наречена мултипроцесна квантова процесна томография, и съдържа задълбочена дискусия на свойствата, произтичащи от използването на повтарящи се методи. Заслужава да се отбележи, че освен увеличаването на прецизността и точността, особенният избор винаги да се повтаря един и същ гейт (тук използван като синоним на „квантов процес“) предпоставя пълна информация за квантовия процес, позволявайки оценка на грешките, произтичащи от различни съществуващи източници. В същата глава, подходящи симулации, извършени на реалния квантов процесор IBMQ_MANILA, потвърждават по-голямата точност на метода MQPT в сравнение със стандартните техники на квантовата томография.

Глава 5 демонстрира приложимостта на предишните идеи чрез аналитично изследване на взаимодействието на многосъстояниева квантова система с въздействащо поле, състоящо се от N идентични единични стъпкови полета, представляващи импулсна поредица. Показано е точно, че когато моделът на квантовата система притежава симетрии на Вигнер-Майорана $SU(2)$ или симетрии на Морис-Шор, пропагаторът на многосъстояниевата система може да бъде изразен чрез пропагаторите на двусъстояниеви системи и броя на стъпките на MQPT. Този резултат, освен своята вътрешна стойност, е важен, тъй като предполага възможното разширяване на метода към по-сложни системи (със същите симетрии), като тези, изследвани в следващата глава 6, където се изследва характеристиката на високоточно реализирани Раманови кубитни гейтове.

Резултатите, получени от С.Г. Станчев като докторант под ръководството на проф. Н. Витанов, са довели до три публикации в следните международни физически списания:

1. Stanchev S.G., Vitanov N.V., “Coherent interaction of multistate quantum systems possessing the Wigner–Majorana and Morris–Shore dynamic symmetries with pulse trains.” *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* 56014001 (2023).
2. Stanchev S.G., Vitanov N.V., “Characterization of high-fidelity Raman qubit gates.” *Phys Rev A* 109, 012605 (2024).
3. Stanchev S.G., Vitanov N.V., “Multipass quantum process tomography.” *Sci Rep* 14, 18185 (2024).

Резултатите, постигнати в тази дисертация от С.Г. Станчов, предоставят твърда теоретична основа за изграждането на приложения за още по-сложни системи от тези, които вече представляват значителен интерес, разгледани в глави 5 и 6.

Представянето на формалните аналитични разработки е елегантно и, по мое мнение, значимо. Докладваните компютърни симулации легитимират очакванията, че конкретният МҚРТ, въведен в глава 4, все още може да вдъхновява идеи за последващи качествени скокове в подобряването на точността на квантовите томографски процеси.

В заключение на доклада си, вярвам, че С.Г. Станчев напълно заслужава допускане до защитата на докторат през 2024 година.

Палермо, 3 септември 2024 г.

Антонино Месина