

Centrum Fizyki Teoretycznej Polskiej Akademii Nauk

Al. Lotników 32/46, 02-668 Warszawa
Tel. (+48 22) 847 09 20, Fax/Tel: (+48 22) 843 13 69
Email: cft@cft.edu.pl
NIP 525-000-92-81 REGON 000844815

Warszawa, 14.05.2024

Dr hab. Jarosław Korbicz
Centrum Fizyki Teoretycznej PAN
02-668 Warszawa

Recenzja pracy doktorskiej mgr Manfredi Scalici "Protecting quantum resources from noise"

Przedstawiona rozprawa doktorska to 118-stronicowa monografia. Oparta jest na trzech wieloautorskich pracach z udziałem Doktoranta: dwóch opublikowanych w wysokopunktowanych pismach New J. Phys. oraz Phys. Rev. A oraz preprintu z bazy arXiv, gdzie Doktorant jest pierwszym autorem. Monografia napisana jest w języku angielskim, dobrą angielszczyzną.

Rozprawa poświęcona jest wybranym teoretycznym mechanizmom ochrony zasobów kwantowych przed degradacją spowodowaną np. oddziaływaniem ze środowiskiem. Autor rozpatruje kilka najważniejszych i najbardziej przydatnych zasobów takich jak praca termodynamiczna, splątanie, koherencje oraz czystość. Głównym narzędziem badawczym jest nowoczesna teoria zasobów kwantowych ale Autor używa też intensywnie teorii układów otwartych w Rozdziale 3. Zarówno tematyka jak i zastosowane narzędzia są bardzo aktualne, adekwatne i szeroko badane w środowisku informatyki kwantowej i kwantowych technologii. W szczególności różnorakie niestandardowe i nieintuicyjne metody uchronienia przed dekoherencją lub odwrócenia jej efektów są ostatnio intensywnie poszukiwane i badane ze względu na brak dostatecznie szybkiego postępu w technologiach kwantowych, zwłaszcza w obliczeniach kwantowych. I tu przedstawiona rozprawa wnosi nietrywialny i bardzo pomysłowy wkład do dziedziny.

Najbardziej interesujące i zaskakujące są wyniki z Rozdziału 4, gdzie Autor pokazuje teoretyczną przewagę „rozcieńczenia”, czyli celowego zmniejszenia wierności, kwantowego zasobu w celu uchronienia go przed szumem. Jest to wysoce nieoczywisty i nieintuicyjny pomysł i najciekawsze jest, że działa, przynajmniej w teorii. Autor rozważa zabezpieczenie w ten sposób wszystkich zasobów wymienionych wyżej i w każdym przypadku znajduje scenariusz pozwalający zabezpieczyć zasób przez rozcieńczanie. Co ciekawe, w przypadku czystości i splątania najwydajniejsze okazuje się maksymalne możliwe rozcieńczanie a w przypadku zabezpieczania koherencji, posłużenie się stanem mieszanym.

Komplementarny problem wytwarzania zasobów rozpatrywany jest w Rozdziale 5. Tu najważniejszym obiektem badań jest stan początkowy oraz dynamika, pozwalające wytworzyć jak największą ilość danego zasobu w krótkim czasie. Również w tym wypadku wyniki są nieintuicyjne, gdyż Autor pokazuje dla każdego z badanych zasobów scenariusze, gdzie optymalny stan początkowy wcale nie jest najbardziej zasobnym. Wyniki tego Rozdziału są trochę mniej ogólne, np. Autor musi założyć konkretną rodzinę ewolucji, analiza splątania opera się na stanach czystych, itp. ale mam nadzieję, że jest to tylko początek interesującego kierunku badań.

W Rozdziale 3, Autor bada w pełni dynamiczny aspekt ochrony korelacji pomiędzy parą kubitów, z których jeden poddany jest ewolucji otwartej. Autor najpierw dowodzi ciekawy Lemat 1, pokazujący, że markowska ewolucja asymptotycznie doprowadzi do pełnej dekorelacji. Następnie wyprowadza klasę ewolucji niemarkowskich, pozwalających zachować poszczególne formy korelacji. Co ciekawe te ewolucje są niemarkowskie dla każdej chwili czasu (eternally non-Markovian). Ciekawym i cennym aspektem tych badań jest powiązanie z metrologią fazy oraz fakt implementacji optycznej (jako symulacji o ile dobrze rozumiem).

Wstęp teoretyczny, przedstawiony w Rozdziałach 1 i 2 wskazuje na dobre opanowanie przez Autora zarówno teorii zasobów kwantowych, w tym różnych miar zasobów, jak i podstaw teorii otwartych układów kwantowych, zwłaszcza aspektów związanych z niemarkowością. Wskazuje na to także Rozdział 3. Również bibliografia jest bez zarzutu i obejmuje istotne dla tematyki pozycje literatury.

Pytania oraz uwagi krytyczne do rozprawy:

1. Przy Twierdzeniu 2.2, przydała by się jasna definicja kwantowej markowości oraz omówienie jej stosunku do podzielności (divisibility).
2. W (2.58), w pierwszym przypadku odwzorowanie ma być CP czy CP-podzielne?
3. Przy (2.72), jak intuicyjnie zrozumieć związek między niemarkowością a rozróżnialnością wprowadzoną powyżej?
4. Przy (3.45), można byłoby jaśniej wytłumaczyć całe rozumowanie, w szczególności odwzorowania łamiące splątanie i ich rolę tutaj.
5. W Rozdziale 3, Autor bada miarę koherencji. Dlaczego akurat taki wskaźnik a nie np. wierność do stanu początkowego?
6. Czym są „złote stany” na początku Rozdziału 4?
7. Pomimo fascynacji wynikami Rozdziału 4, nasuwa się prowokacyjne pytanie czy opisane mechanizmy ochrony nie są przypadkiem jakimś artefaktem przyjętej definicji wskaźnika ochrony (protection rate) oraz granicy wielu kopii, jak może wskazywać Rozdział 4.1.2?
8. Czy Autor rozważał zastosowanie rozcieńczania wspólnie z korekcją błędów w Rozdziale 4.2.1?
9. W Rozdziale 5, Autor nie rozważa zasobów termodynamicznych. Jest ku temu jakiś fundamentalny powód?
10. Ogólna uwaga do całej pracy: niezbyt jasno przedstawiony jest wkład Autora w badania opisane w rozprawie (poza Rozdziałem 4.1.2). Autor mógł poświęcić trochę czasu i opisać co dokładniej zrobił każdym z projektów. Jednak jego wysoka pozycja na liście autorów w cytowanych publikacjach wskazuje na znaczący wkład i to też zakładałam.

Pomimo szeregu powyższych uwag i pytań, przedstawiona rozprawa doktorska mgr-a Manfredi Scalici stanowi istotny i niebanalny wkład w nowoczesną teorię zasobów kwantowych i po części w teorie otwartych układów kwantowych. Spełnia również ustawowe i zwyczajowe wymogi stawiane pracom doktorskim. Wnoszę więc o dopuszczenie mgr-a Manfredi Scalici do dalszego etapu przewodu doktorskiego.