

## Streszczenie rozprawy

### Część 1:

*W jaki sposób kwantowe układy wielociałowe, znajdujące się początkowo w stanie nierówno, osiągają sytuację równowagową - stan ekwilibrium?*

W pierwszej części tej pracy doktorskiej, skupimy się na problemie relaksacji stanów kwantowych i typowości pomiarów kwantowych i związanym z tym pytaniem: *w jaki sposób stany kwantowe relaksują się i osiągają ekwilibrium?* Postaramy się odpowiedzieć na to pytanie poprzez analizę skal czasowych procesów ekwilibracji i dekoherencji w dwóch różnych układach fizycznych.

Rozważymy czas ekwilibracji układu składającego się z małego podukładu i dużego środowiska, gdzie cały układ jest opisywany przez losowy hamiltonian, którego baza jest losowana z miarą Hara. Otrzymamy, zakładając nie za duże degeneracje energii Hamiltonianu, że czas ekwilibracji jest rzędu odwrotności średniej arytmetycznej częstości bohrowskich. Pokazuje to, że czas ekwilibracji jest krótki w tym przypadku [A].

Skupimy się także na pomiarach w mechanice kwantowej w kontekście dekoherencji stanów kwantowych. Stany dekoherują do stanów klasycznych, a te wykazują obiektywny, odporny na oddziaływanie charakter, który to kontrastuje z kruchą i delikatną naturą układów kwantowych. Przeanalizujemy, w sposób niezależny od konkretnego modelu, poprzez rozważenie losowych hamiltonianów, proces pomiaru skupiając się nad skalami czasowymi zjawiska dekoherencji. Pokażemy, że wyniki obiektywne są typowe dla pomiarów kwantowych, w przypadku, gdy rozważany układ jest duży i czas oczekiwania jest dostatecznie długi [B].

Na końcu skupimy się nad pewnym aspektem implementacji naszych wyników, poprzez sprawdzenie jak miara Haara może zostać odtworzona i przybliżona przez losowe obwody kwantowe. Mogą one zostać użyte do symulacji tak zwanych  $t$ -designs, czyli konstrukcji, która po uśrednieniu dowolnego wielomianu stopnia  $t$ , składającego się z elementów grup unitarnych  $U$ , po tych unitarnościach, jest równa średniej po mierze Haara. Będzie próbowali szacować przerwy spektralne, pewnych lokalnych hamiltonianów, które to dają pewne tempo zbieżności losowych obwodów kwantowych do  $t$ -designów [C].

## **Część 2:**

*Jakie są termodynamiczne własności układów kwantowych i nanoskopowych?*

W drugiej części tej pracy doktorskiej, skupimy się na teorii zasobów w termodynamice i próbie opisanie przez nią zachowania się małych układów termodynamicznych o wielkościach mikroskopowych. W ostatnich latach obserwuje próby zastosowania narzędzi kwantowej teorii informacji do badania układów termodynamicznych w skali kwantowej i nano. To właśnie pozwoliło na sformułowanie szczególnej teorii zasobów, tzw. operacji termicznych, która to opisuje termodynamiczne przejścia pomiędzy stanami, kiedy to mamy dostęp do tylko jednej kopii stanu początkowego małego układu (w obecności dużej kąpieli cieplnej). Jednak, większość wyników dla tego paradygmatu została otrzymana dla stanów diagonalnych w bazie energii. Żeby otrzymać w pełni kwantowe ograniczenia na transformacje stanów, trzeba rozważyć stany, które to mają elementy pozadiagonalne - tzw. koherencje. Zbadaliśmy zachowanie się takich stanów pod wpływem operacji termicznych, otrzymując warunki konieczne i wystarczające na przejścia stan-stan dla układów kubitowych [D].

Niestety, operacje termiczne nie są bezpośrednio realizowalne eksperymentalnie (eksperymentator musi mieć dostęp do wszystkich

mikro poziomów kąpeli). Udało nam się jednak pokazać, wprowadzając klasę operacji, będącej podklasą operacji termicznych, że można odtworzenia możliwe transformacji stan-stan w paradygmacie operacji termicznych przy pomocą operacji, które są możliwe do przeprowadzenia w laboratorium. Mówiąc dokładniej, mając możliwość podwyższenia i obniżania poziomów energetycznych systemu, a także termalizacji dowolnych dwóch poziomów energetycznych, jesteśmy w stanie odtworzyć możliwe przejścia dla stanów diagonalnych w bazie energii, w obecności bardzo małej (kubitowej) kąpeli cieplnej [E].

Rozprawa ta, w pewnych fragmentach, zawiera część wyników osiągniętych w :

[A]: F.G.S.L. Brandão, P. Ćwikliński, M. Horodecki, P. Horodecki, J. Korbicz, and M. Mozrymas *Convergence to equilibrium under a random Hamiltonian*, Phys. Rev. E 86, 031101 (2012);

[B]: J. K. Korbicz, E. A. Aguilar, P. Ćwikliński, and P. Horodecki, *Do objective results typically appear in quantum measurements?*, arXiv:1604.02011 (2016);

[C]: P. Ćwikliński, M. Horodecki, M. Mozrymas, Ł. Pankowski, and M. Studziński, *Local random quantum circuits are approximate polynomial-designs - numerical results*, J. Phys. A: Math. Theor. 46, 305301 (2013);

[D]: P. Ćwikliński, M. Studziński, M. Horodecki, and J. Oppenheim, *Limitations on the evolution of quantum coherences: Towards fully quantum second laws of thermodynamics*, Phys. Rev. Lett. 115, 210403 (2015);

[E]: C. Perry, P. Ćwikliński, J. Anders, M. Horodecki, and J. Oppenheim, *A sufficient set of experimentally implementable thermal operations*, arXiv:1511.06553 (2015).