

Projekt poświęcony jest kwantowej informatyce. Jest to dziedzina w której myślenie podstawowe i czy się z podejściem praktycznym. Koronnym przykładem są nierówności Bella – przez długi czas interesowano się nimi z powodów filozoficznych – gdy ich łamanie przez mechanikę kwantową implikuje niemożność opisu świata w którym nieobserwowane cechy istnieją niezależnie od obserwacji. W ostatnich latach okazało się, że nierówności Bella stoją za tzw. kwantową kryptografią niezależnie od urządzenia, stały się więc obiektem zainteresowania społeczności, dla której filozoficzne pytania nie były do tej chwili istotne. Drugą cechą informatyki kwantowej jest jej unifikacja wielu pozornie odległych zagadnień takich jak zasada nieoznaczoności i termodynamika. Mianowicie ostatnio przeformułowano termodynamikę w taki sposób, że stała się przykładem teorii zasobów – gdzie zasobem jest stan nierównowagowy, a celem przekształcanie jednych stanów w inne. Mniej wiążące w tym samym czasie zauważono, że podejście nieoznaczoności jest związane z zasobem jakim jest oznaczoność. W obu przypadkach kluczową rolę odgrywa podejście typu majoryzacji, które determinuje kiedy możliwe jest transformacja jednego obiektu w inny. Zasada nieoznaczoności jest silnie wiążącym pewnym wariantem nierówności Bella – jest więc odpowiedzialna za łamanie takich nierówności.

Dziękuję ciemu że informatyka kwantowa unifikuje różne obszary, a także dostarcza „pragmatycznych” metod do badania problemów natury podstawowej, możliwe jest interdyscyplinarne podejście, w którym prowadzi się równoległe badania w tych różnych obszarach. W efekcie wielu ekspertów z kwantowej informatyki posiada w swym dorobku istotne rezultaty dotyczące szerokiego spektrum problemów.

W niniejszym projekcie chcemy stosować takie szerokie podejście, analizując termodynamikę jako teorię zasobów, nierówności Bella, zasady nieoznaczoności, oraz pewne nieprzywiedlne reprezentacje.

W nowym podejściu do termodynamiki zasadnicze pytanie brzmi: czy dany układ mikroskopowy może przejść z danego stanu w inny dany stan pod wpływem operacji, które zachowują energię, jeżeli dostępną jest ciepła. W niniejszym projekcie planujemy dostarczyć nowych rezultatów charakteryzujących dozwolone przejścia, także przejścia katalizacyjne (czyli takie gdzie konieczna jest obecność innego układu funkcjonującego jako katalizator). Chcemy także zbadać, do jakiego stopnia należy kontrolować ciepło, aby dokonać danego przejścia.

Zasada nieoznaczoności jest ściśle kwantowym zjawiskiem: otóż, są takie ustawienia dwóch urządzeń, że ich liczne statystyki będą zawsze niedeterministyczne, jeżeli urządzenia te będą mierzyły tak samo przygotowany stan. Ostatnio dokonano ogromnego postępu w rozumieniu tych zasad, dzięki narzędziom informacyjno-teoretycznym. W szczególności wprowadzono nową klasę tzw. zasad nieoznaczoności z pamięci kwantowej, a także zastąpiło tradycyjne nierówności uogólnionymi nierównościami związanymi z tzw. majoryzacją. Wprowadzono te zasady nieoznaczoności, która może być testowana w dowolnej teorii probabilistycznej, w ten sposób odróżniła mechanikę kwantową od niefizycznych teorii. W projekcie chcemy m.in. połączyć podejście majoryzacyjne z zasadą nieoznaczoności z kwantową pamięcią, dostarczyć nowych zasad nieoznaczoności dla dwóch układów – gdzie jest pełna symetria między układem a pamięcią.

Nierówności Bella to pewne wiązanie na korelacje, które są spełniane w klasycznym opisie świata, załamane w kwantowym opisie. Planujemy badać kwantowe łamanie nierówności Bella (oraz ogólniej biorąc nierówności kontekstualnych) w kilku kontekstach. Po pierwsze, z fundamentalnych wyników w zakresie teorii przestrzeni Banacha wynika, że jeżeli dla ustalonej ilości wyników pomiarów, dla dwóch urządzeń pomiarowych, mechanika kwantowa nie może łamać zbyt silnie (stosunek wartości kwantowej do klasycznej jest ograniczony przez stałą Grothendiecka). W projekcie planujemy m.in. badać rodziny nierówności Bella (a nawet szerzej tzw. nierówności kontekstualnych), która ma dowolną ilość wyników, a która w naturalny sposób pojawia się w schematach interferometrycznych, aby m.in. przeanalizować jak związana się kwantowa wartość wraz z rosnącą ilości wyników. Pragniemy także zbadać związek między wielkościami z teorii grafów a wielkościami kwantowymi dla pewnych zbiorów z badanej rodziny. Jak wiadomo, łamanie nierówności Bella jest możliwe wyłącznie dzięki kwantowemu splątaniu. W tymi stanami kwantowo mechanicznymi są tzw. stany ze związanym splątaniem, odkryte w Gdańsku. Są to stany, których splątanie jest do fundamentalnie uwiązane. Ostatnio dokonano przełomu, pokazując, że takie dwu-układowe stany mogą łamać nierówności Bella. Chcemy zbadać, czy możliwe jest nieograniczone łamanie nierówności Bella przez takie stany.

Wreszcie chcemy znaleźć elementy macierzowe nieprzywiedlnej reprezentacji operatorów permutacji transponowanych na cztery układy. Jest to najbardziej techniczna część projektu. Jej zastosowaniem będą m.in. nowe stany o związanym splątaniu, które mogą na bieżąco testować pod kątem nierówności Bella. Jednak przewidujemy wiele innych zastosowań (m.in. optymalnego klonowania przy większej niż jedna początkowej ilości kopii).

W projekcie poruszamy ważne problemy dla informatyki kwantowej. W szczególności kwantowo-informatyczne podejście do termodynamiki jest gorącym tematem, do którego popularności przyczyniła się wydatnie praca kierownika projektu opublikowana w 2013 roku.