



Dr Tomasz Szoldra

Uniwersytet Jagielloński

Rozmowa z autorem pracy:

„Ergodicity breaking in quantum systems: from exact time evolution to machine learning”

Czy mógłby Pan w prostych słowach opisać główny cel swoich badań, które stanowiły podstawę pracy doktorskiej?

Odwołując się do znanego nam świata klasycznego wyobraźmy sobie sytuację, w której dużą liczbę cząsteczek gazu umieścimy w jednym rogu szczelnego, sześciennego pudełka. Jeśli pozwolimy im się poruszać, po pewnym krótkim czasie wypełnią pudełko równomiernie w całej objętości i szansa, że wszystkie powrócą do stanu początkowego jest praktycznie zerowa.

Zasada ta wprawdzie na ogół odnosi się do świata kwantowego, ale niedawno odkryto modele, w których pamięć o warunkach początkowych jest bardzo trwała. Takie zjawisko nazywa się lokalizacją wielociałową, bo wynika ze skomplikowanego, lecz w pewnym sensie skoordynowanego, oddziaływania ze sobą kwantowych obiektów odizolowanych od otoczenia. Potencjalnie może być ono zastosowane w komputerach kwantowych jako stabilna pamięć.

Nie wszystko jednak wiadomo o mechanizmach prowadzących do lokalizacji wielociałowej lub też jej zniszczenia. Głównym celem badań stanowiących podstawę mojej pracy doktorskiej było zrozumienie, czy początkowo niewielki obszar takiego „zamrożonego” układu kilkunastu-kilkudziesięciu qubitów, który przez przypadek utracił swoje specjalne, „zamrożone” właściwości (określa się go obrazowo mianem „bąbla ergodycznego”), będzie w stanie „rozmróznić” całą resztę układu zlokalizowanego. Jest to fundamentalne pytanie, jeśli kiedykolwiek będziemy chcieli stworzyć duży kwantowy układ o długotrwałej pamięci. W dużej skali taki bąbel na pewno się przytrafi, pytanie tylko jak zareaguje na niego reszta układu. W ramach doktoratu badałem m.in. w jaki sposób nie tylko spontaniczne, ale też i „podstawione” bąble rosną w czasie, jak się ze sobą łączą i w jakich warunkach prowadzą do zniszczenia zjawiska lokalizacji.

W jaki sposób zasoby oferowane przez Cyfronet przyczyniły się do wykorzystania uczenia maszynowego w Pana badaniach?

Po pierwsze, jak sama nazwa wskazuje, przy badaniach lokalizacji wielociałowej mamy do czynienia z układem o wielu stopniach swobody, w dodatku opisywanym przez prawa mechaniki kwantowej. W fizyce teoretycznej często dokonujemy przybliżeń i uproszczeń, aby opisać i zrozumieć początkowo skomplikowany układ, lecz akurat w tym przypadku efekty oddziaływań są na tyle subtelne, że takie próby kończą się porażką. W związku z tym pozostaje nam użycie brutalnej siły: symulacja komputerowa z uwzględnieniem wszystkich możliwych mikroskopowych oddziaływań. Dostęp do wielkoskalowych klastrów obliczeniowych CPU w Cyfronecie umożliwił mi otrzymanie danych do dalszej analizy.

Po drugie, nawet kiedy mamy już dane, nie zawsze jest oczywiste, jak wyciągnąć z nich interesujące nas informacje. Niektóre sygnały, zwłaszcza pochodzące z tak nieintuicyjnych obszarów jak mechanika kwantowa, czasami okazują się zbyt skomplikowane, by człowiek mógł je skutecznie przeanalizować. Tutaj z pomocą przychodzi uczenie maszynowe, dzięki któremu jesteśmy w stanie do pewnego stopnia zautomatyzować procesy analizy danych. Ja wykorzystałem sieć neuronową do śledzenia, w jaki sposób bąble ergodyczne rosną w czasie na podstawie obserwacji ich mierzalnych własności. Tutaj z kolei korzystałem z kart GPU, dostępnych w Cyfronecie, aby wytrenować oraz przetestować moje modele.

Czy napotkał Pan jakieś wyzwania związane z łączeniem fizyki teoretycznej z metodami sztucznej inteligencji?

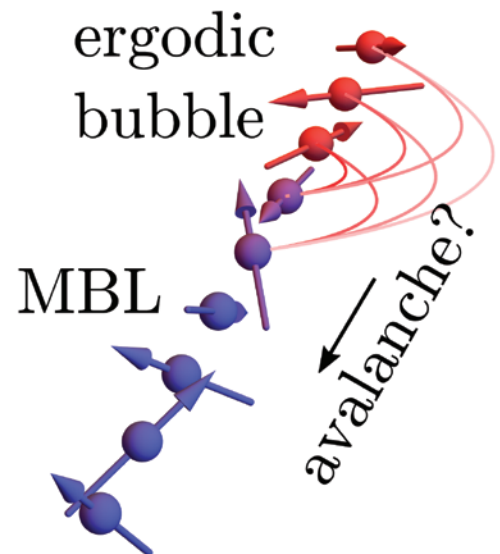
Uważam, że należy być bardzo ostrożnym, „delegując” głębokiej sieci neuronowej np. analizę danych. Łatwo wpaść w pułapkę, w której model udziela nam poprawnych odpowiedzi na dostępnych nam danych treningowych i testowych, a nam wydaje się, że rozwiązaliśmy problem. To wszystko jest jednak opłacone utratą interpretowalności – rzadko wiemy, w jaki dokładnie sposób działają mechanizmy wewnątrz dużych sieci. Metody wyjaśniania, na jakiej podstawie sieć neuronowa podjęła konkretną decyzję, nadal są rozwijane. Należy zawsze gruntownie przeanalizować, jak funkcjonuje model, najlepiej porównując otrzymane wyniki z innymi, lepiej zrozumianymi metodami analizy. Na końcu to zawsze naukowiec jest odpowiedzialny za wiarygodność tak otrzymanych wyników.

Czy w trakcie badań udało się Panu zaobserwować nowe zjawiska lub potwierdzić istniejące teorie?

Badając zachowanie bąbli ergodycznych udało nam się, przynajmniej w ograniczonym zakresie, potwierdzić wcześniejsze hipotezy innych badaczy, że nawet mały, spontanicznie powstały bąbel może rosnąć w czasie, niszcząc lokalizację w całym układzie. Zademonstrowaliśmy także, że układ silnie zlokalizowany, nawet po bardzo długim czasie, bardzo powoli się delokalizuje po podłączeniu do niego stosunkowo niewielkiego bąbla, co było dość zaskakujące.

Jakie są kolejne etapy Pana kariery naukowej? Czy planuje Pan kontynuować badania w zakresie tematyki poruszanej w rozprawie doktorskiej?

Obecnie jestem na stażu podoktorskim na Uniwersytecie w Hamburgu, gdzie także zajmuję się fizyką kwantową wielu ciał, w tym przypadku zorientowaną na praktyczne aplikacje komputerów kwantowych. Badam, w jaki sposób można załadować klasyczne dane, takie jak tabele czy zdjęcia na komputer kwantowy w celu dalszego procesowania. Na pewno będę wykorzystywał moje doświadczenia z lokalizacją wielociałową w obecnej tematyce. Nadal kontynuuję projekty rozpoczęte jeszcze w trakcie doktoratu.



Bąbel ergodyczny, oddziałując z układem zlokalizowanym, może zniszczyć lokalizację w zjawisku tzw. lawiny kwantowej.