

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr Adama Wyrzykowskiego

„Local spin description of fermions on a lattice”

Przedstawiona do recenzji praca doktorska, napisana pod kierunkiem prof. dr hab. Jacka Wośka i dr hab. Piotra Korcyła poświęcona jest problematyce opisu fermionowych stopni swobody na sieciach, a mianowicie relacji zmiennych grassmanowskich do zmiennych spinowych. Przykładem takiego związku znanego w przypadku sieci jednowymiarowych jest transformacja Jordana-Wignera. Zagadnienie to ma długą historię i solidną i różnorodną motywację zarówno praktyczną jak i teoretyczną. Od strony praktycznej patrząc, postępy w zrozumieniu bozonizacji fermionów na sieci mogą mieć wielkie znaczenie dla symulacji numerycznych teorii Yanga-Millsa z fermionami, takich jak Chromodynamika Kwantowa lub supersymetryczne teorie cechowania. Od strony bardziej koncepcyjnej, ciekawa jest natura relacji między zmiennymi fermionowymi a zmiennymi spinowymi, która ma charakter relacji dualności na kształt dualności elektromagnetycznej dla elektrodynamiki w próżni, lub w obecności zarówno ładunków elektrycznych jak i magnetycznych. Innym, podobnym lecz nieco bardziej egzotycznym przykładem może być relacja dualności między M2 i M5 branami w M-teorii. Relacje o tym charakterze pozostają aktualnym tematem badań w fizyce teoretycznej. Innym potencjalnym zastosowaniem technik rozwijanych w recenzowanej pracy są badania z zakresu kwantowej informacji.

Zagadnienie któremu poświęcona jest recenzowana rozprawa ma więc znaczny potencjał. Jest to też temat niosący pewne ryzyko, z racji swojej złożoności: próby uogólnienia relacji Jordana-Wignera na sieci o wymiarze większym niż jeden były podejmowane kilkakrotnie i wyniki tych prób nie były zachęcające. W szczególności wymagały one często wprowadzenia nielokalnych oddziaływań i więzów. Trudności te wiążą się z tym, że wymiar przestrzeni Hilberta zmiennych spinowych na sieci jest większy niż wymiar przestrzeni Hilberta dla zmiennych grassmanowskich. Istnienie relacji dualności

musi się zatem wiązać z narzuceniem odpowiednich więzów i rzutowania przestrzeni Hilberta i obserwabli określonych jako operatory w nich działające. W swojej pracy doktorskiej mgr Wyrzykowski oparł się na podejściu, w którym zarówno oddziaływania jak i więzy mają charakter lokalny. Poza zbadaniem tych relacji (w zależności od warunków brzegowych i rozmiaru sieci) autor przedstawił jawną konstrukcję przestrzeni Hilberta i operatorów dla sieci dwuwymiarowych o liczbie węzłów pozwalających na jawne obliczenia. Umożliwiło mu to sprawdzenie dualności poprzez porównanie widm hamiltonianu w obu reprezentacjach.

Wyniki uzyskane w rozprawie zawarte zostały w artykule opublikowanym w *Physical Review D*. Rozprawa napisana została w języku angielskim; składa się z sześciu rozdziałów, czterech dodatków o charakterze technicznym i spisu bibliografii, który zawiera 36 pozycji. Nie dopatrzyłem się istotnych usterek w organizacji tekstu lub innych edytorskich aspektów prezentacji materiału. Drobnym wyjątkiem może być pewien brak konsekwencji w spisie bibliografii, który czasem zawiera tytuł cytowanego artykułu, a czasem nie. Praca napisana jest w sposób klarowny i zawiera wystarczającą ilość szczegółów technicznych a także bardzo dobre wprowadzenie w rozważaną tematykę.

Rozdziały 1 i 2 mają charakter wprowadzający: przedstawiają w pełny i przejrzysty sposób motywację dla prezentowanych badań i podstawowe definicje i pojęcia. W rozdziale 2 autor wyprowadza postać więzów koniecznych dla poprawności dualnego opisu. Rozdział ten formułuje też propozycję sprzężenia fermionów do zewnętrznego pola magnetycznego w sposób zgodny z dualnością obu rozważanych reprezentacji fermionowych stopni swobody. Rozdział 3 poświęcony jest prezentacji Hamiltonianu, operatorów rzutowych i więzów w reprezentacji spinowej, a także bazy używanej w kolejnych rozdziałach. Autor opisuje implementację tych obiektów w programie wykorzystywanym do dalszych obliczeń. Obliczenia te porównują wyniki uzyskane w reprezentacji grassmannowskiej z wynikami obliczeń w reprezentacji spinowej. Analityczne wyniki dla wartości własnych Hamiltonianu (także w zewnętrznym polu magnetycznym) wyprowadzone są w rozdziale 4, a rozdział 5 porównuje je z obliczeniami numerycznymi w reprezentacji spinowej.

Recenzowaną pracę doktorską uważam za ciekawą i wartościową. Jej mocną stroną jest jej praktyczny wymiar: jawne obliczenia na sieciach o niewielkiej liczbie węzłów. Pod tym względem badania autora dopełniają w istotny sposób wyniki dostępne w literaturze.

Niewątpliwie pewną słabością tego doktoratu jest niewielka liczba publikacji powstałych na bazie przedstawionych badań. Z punktu widzenia nadania stopnia doktora ważne jest jednak pytanie, czy autor rozprawy udowodnił, że potrafi skutecznie zaatakować oryginalny problem, rozwinąć własny warsztat badawczy i doprowadzić choćby do częściowego rozwiązania. Moim zdaniem w przypadku przedłożonej rozprawy odpowiedź na te pytania jest twierdząca. Autor wykazał się pomysłowością i bardzo dobrym opanowaniem technicznie złożonego problemu i był w stanie rozwinąć podejście które bez wątpienia stanowi nietrywialny wkład w zrozumienie dualnej reprezentacji antykomutujących zmiennych na sieciach.

Podsumowując stwierdzam, że recenzowana rozprawa spełnia ustawowe i zwyczajowe wymogi stawiane pracom doktorskim i wnoszę o dopuszczenie mgr Adama Wyrzykowskiego do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Prof. dr hab. Michał Spaliński