

Kraków, 5 czerwca 2019



UNIwersytet
JAGIELLOŃSKI
W KRAKOWIE

Instytut Fizyki

imienia

Mariana Smoluchowskiego

Zakład Optyki Atomowej

Recenzja rozprawy doktorskiej pt. „Układy silnie skorelowane w geometrii R2 oraz zewnętrznym polu magnetycznym: kwantowy efekt Halla w ujęciu grup warkoczowych”

Pani mgr inż. Patrycja Łydźba przedstawiła rozprawę doktorską pod wyżej podanym tytułem napisaną pod opieką prof. Lucjana Jacaka i promotora pomocniczego dra inż. Janusza Jacaka.

Praca stanowi samodzielną rozprawę napisaną po polsku i stanowiącą spójne rozwinięcie i opisanie 7 prac naukowych napisanych wspólnie z promotorem i promotorem pomocniczym, w pięciu z nich doktorantka jest pierwszym autorem. Jest to bardzo pokaźny dorobek, szczególnie jeśli weźmie się pod uwagę jakość czasopism, w których rezultaty są opublikowane (m.in. Annalen der Physik, Proceedings of the Royal Society A czy Scientific Reports). Już to samo pokazuje, że mamy do czynienia z nietuzinkową pracą doktorską. Szczególnie, że dotyczy tematyki niezwykle ciekawego zjawiska kwantowego efektu Halla będącego w centrum zainteresowań fizyki materii skondensowanej od szeregu lat. Tematyki, do której istotny wkład wnoszą grupy wrocławskie a w szczególności promotor rozprawy.

W tym kontekście warto bliżej umieścić rozprawę, która mieści się w ogólnym nurcie opisu kwantowego efektu Halla przy wykorzystaniu grup warkoczowych rozwijanych przez promotora od 10 lat, metod będących w pewnym sensie ortogonalnych do bardziej popularnej metody złożonych fermionów pochodzącej od Jaina i również rozwijanej we Wrocławiu. Rozprawa oczywiście korzysta z wcześniejszych osiągnięć grupy ale zawiera też w znacznym stopniu własny oryginalny wkład Autorki w opisywaną tematykę, wkład szczegółowo podsumowany w rozdziale 8: Tezy rozprawy. I tak osiągnęliśmy punkt, w którym recenzent typowo zawiera szczegółowy opis zawartości rozprawy, a który często jest pomijany przy prezentacji recenzji. Recenzent postara się ograniczyć tę część do minimum.

Rozdział drugi to elementarne klasyczne i kwantowe opisanie ruchu elektronu w polu magnetycznym i elektrycznym napisane z dydaktyczną werwą. Podobny jest charakter rozdziału trzeciego, w którym Autorka przedstawia podstawowe własności efektu Halla. Zaletą tej części jest przedstawienie różnych argumentów i ich dyskusja. Rozdział czwarty stanowi rdzeń pracy – czyli przedstawienie kwantowego ułamkowego efektu Halla w języku grup warkoczowych. Rozdział ten stanowi rozwinięcie tematu rozwijanego w grupie promotora od szeregu lat, stanowiąc podsumowanie prac, które uległy

ul. prof. Stanisława

Łojasiewicza 11

30-348 Kraków

tel. +48(12) 664-45-55

e-mail:

jakub.zakrzewski@uj.edu.pl

znacznej intensyfikacji i wzbogaceniu dzięki włączeniu się w nie doktorantki. Widoczne to jest choćby w bogatym i różnorodnym dorobku publikacyjnym doktorantki. Po wprowadzeniu podstawowego formalizmu grup warkoczowych, Autorka omawia statystykę cząstek i hierarchie zapełnień oraz postulowane funkcje falowe skupiając się na sytuacji w najniższym poziomie Landaua. Postulowane funkcje transformują się w zgodzie z jednowymiarową unitarną reprezentacją podgrupy cyklotronowej. Omawia też krótko sytuację we wzbudzonych poziomach oraz porównuje przewidywania oparte na podejściu modelu podgrup cyklotronowych z eksperymentem oraz teorią złożonych fermionów Jaina wykazując, że model złożonych fermionów odpowiada pewnej podgrupie rozwiązań dopuszczalnych w sformułowaniu Autorki. Kolejne dwa rozdziały prezentują numeryczne obliczenia wykorzystujące zaproponowane funkcje falowe w konkretnym modelu jednorodnie naładowanego dysku. Wykorzystano tu algorytm Metropolis'a do wyznaczenia wartości oczekiwanych energii, gęstości czy dwucząstkowych funkcji korelacji. Analiza modeli o różnych rozmiarach pozwoliła na ekstrapolację rezultatów do granicy termodynamicznej.

Rozwijając twórczo rekurencyjną metodę generowania funkcji korelacji zaproponowaną w oryginalnej wersji przez Javanainena i Yoo, a później w grupie Mariusza Gajdy Autorka zaprezentowała nową, bardziej efektywną metodę wykorzystującą też techniki symulowanego wyżarzania oraz iteracyjnej poprawy do wyznaczenia najbardziej prawdopodobnych konfiguracji. Duża liczba cząstek w badanym układzie wymagała nowej metody porównania bliskości konfiguracji – co zrealizowano w autorskim pomysłem wykorzystującym sztuczny rozkład normalny (metoda nazwana odwirowywaniem gęstości).

Nowe narzędzie pozwoliło na pokazanie, że najbardziej prawdopodobne konfiguracje polegają na nałożeniu na siebie kryształów Wignera. Obliczenia dla złożonych fermionów pozwoliły na analizę deformacji wielocząstkowych stanów i wykazanie tworzenia się klastrów złożonych fermionów w najniższym poziomie Landaua.

Rozprawa przygotowana jest w sposób staranny i przemyślany. Autorka nie ustrzegła się kilku niedoskonałości, które omówię nie tyle celem obniżenia wartości rozprawy ale raczej wykazania, że z rozprawą się zapoznałem. I tak we wstępie, str.6 możemy przeczytać, że „Trzeci rozdział opisuje.. „, a „Dodatkowo podkreśla przyjęte w nich założenia czy nierozzerwalny związek z geometria układu”. To raczej Autorka podkreśla ten związek a nie rozdział. W rozdziale drugim niektóre elementarne obliczenia przedstawiono zbyt drobiazgowo [wzór (9) czy (13)] z kolei ogólne równanie na ewolucję w czasie operatora, zawarte w tekście po wzorze (12) zostało chyba niekoniecznie słusznie nazwane definicją. Normujemy w języku polskim typowo w

nieskończonym „pudle” a nie „próbce” str.11. Podobnie na str.26 użyte jest pojęcie bulku, pisane italiakiem – czy nie można nazwać bulku „objętością próbki”? W ostatniej linijce str.32 jest napisane, że można „je wygenerować przy pomocy długich solenoidów” – czy rzeczywiście Autorce chodzi o strumienie czy raczej o pole magnetyczne? Autorka czasami wykazuje małą wiarę w możliwości intelektualne czytelnika wyjaśniając oczywistości, np. str.95 „Warto podkreślić, że parametr kontrolujący stopień modyfikacji konfiguracji został dobrany tak, aby zapewnić początkową akceptację na poziomie około 50%. Innymi słowy, został dobrany tak, aby zapewnić początkowe akceptowanie co drugiej próby przesunięcia cząstki.” To dodatkowe wyjaśnienie jest co ciekawe niezbyt precyzyjne bo powinno brzmieć „średnio co drugiej próby”.

Niewątpliwie nie tylko estetycznym błędem jest niepoprawienie referencji i kompilacji zbioru literatury narzucającej małe litery w tytułach prac, co boli w przypadku nazwisk Halla czy Laughlina, a także skrótów np. QHE. Można było wziąć odpowiednie znaki w nawiasy klamrowe i uniknąć takich przekłamań. Jest to jednak drobne uchybienie przy fakcie, że początkowe strony artykułów nie są podane (tylko tom i rok) co znacznie utrudnia odszukanie konkretnej referencji. A czasem to trzeba zrobić, np. na stronie 98 uzasadniono stosowanie funkcji kwadratowej do ekstrapolacji enigmatycznie stwierdzając „Zgodnie z argumentacją zawartą w źródle [Morf and Halperin, 1986] dopasowanie to pozwala na ekstrapolowanie wartości oczekiwanej energii potencjalnej do granicy termodynamicznej.” Byłbym bardzo ciekaw jak źródło to uzasadnia fitowanie na podstawie 4 punktów danych (rozmiary 20,50,100,200 cząstek) funkcją kwadratową (a nie np. potęgowa), dlaczego do fitowania nie wzięto więcej danych (dla innych rozmiarów) choć były one dostępne (np. dla tzw. enigmatycznych zapleń). Tabela 4 na str. 101 zawiera ekstrapolowane dane bez błędów, czego zwykle się nie robi. O ile zrozumiałem dyskusję na stronach 98-99 to w wyniku obliczeń pokazano, że rezultaty na średnie energie dla postulowanych funkcji falowych nie odbiegają od „eksperymentów numerycznych” czy wyników uzyskanych stosując inne modele takie jak model złożonych fermionów czy model anyonowy. Jaki wniosek z tego wyciąga Autorka?

O ile mam wspomniane drobne zastrzeżenia do symulacji Monte Carlo wartości oczekiwanych obserwabli i niektórych z nich wniosków, to niewątpliwym bardzo silnym punktem rozprawy jest identyfikowanie korelacji pomiędzy położeniami fermionów przy pomocy udoskonalonej metody określania konfiguracyjnej gęstości prawdopodobieństwa, a w szczególności wykorzystanie sztucznej gęstości. Pozwoliło to na uzyskanie spektakularnych wyników w postaci określenia najbardziej prawdopodobnych konfiguracji dla liczby cząstek sięgającej kilkudziesięciu. Metoda pozwala na znalezienie

skorelowanych podzbiorów cząstek, których liczba jest związana z własnościami współczynnika wypełnienia.

Podsumowując stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr inż. Patrycji Łydźby zawiera istotnie nowe tezy i rezultaty i spełnia z nawiązką wymagania stawiane rozprawom doktorskim określone w art. 13 ustawy z dn. 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki. Wnoszę o dopuszczenie Autorki do dalszych etapów przewodu doktorskiego. Jednocześnie z uwagi na rangę uzyskanych rezultatów, z których znaczna większość została opublikowana w siedmiu artykułach naukowych wnoszę o wyróżnienie rozprawy.



Profesor Jakub Zakrzewski