

prof. dr hab. Mirosław Brewczyk
Wydział Fizyki
Uniwersytet w Białymstoku
Białystok

Białystok, 17 lipca 2017 r.

Ocena wniosku habilitacyjnego dr. Gabriela Wlazłowskiego

Dr Gabriel Wlazłowski ukończył studia magisterskie z fizyki w roku 2005 na Wydziale Fizyki Politechniki Warszawskiej. Tam również w roku 2010 obronił pracę doktorską pt. „Zbadanie właściwości rozrzedzonego gazu silnie oddziałujących fermionów metodą Monte Carlo”. Promotorem pracy doktorskiej dr. Gabriela Wlazłowskiego był prof. dr hab. Piotr Magierski. Od września 2010 roku dr Gabriel Wlazłowski zatrudniony jest na Wydziale Fizyki Politechniki Warszawskiej jako pracownik naukowo-dydaktyczny na stanowisku adiunkta w Zakładzie Fizyki Jądrowej.

Po uzyskaniu stopnia doktora, w latach 2010-2014, dr Gabriel Wlazłowski zatrudniony był także na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Stanu Waszyngton na stanowisku „Visiting Assistant Professor”, a od roku 2014 na stanowisku „Affiliate Assistant Professor”.

Ocena osiągnięcia naukowego

Osiągnięciem naukowym stanowiącym podstawę do ubiegania się o nadanie stopnia doktora habilitowanego jest cykl 9 prac opublikowanych w latach 2011-2017 zatytułowany „Badanie statycznych i dynamicznych właściwości unitarnego gazu Fermiego metodami *ab initio*”. Są to prace opublikowane w bardzo dobrych czasopiśmie fizycznych, np. aż cztery z nich w prestiżowym *Physical Review Letters*. W ponad połowie z nich (dokładnie w pięciu) Habilitant jest pierwszym autorem, a prawie połowa (cztery) napisana jest bez udziału promotora doktoratu. Oświadczenia współautorów nie pozostawiają wątpliwości, że dr Gabriel Wlazłowski miał duży lub wręcz dominujący wkład w powstanie tych prac.

W pracach stanowiących osiągnięcie naukowe dr Gabriel Wlazłowski bada statyczne (np. równanie stanu) i dynamiczne (np. wzbudzenia solitonowe, kwantową turbulencję) własności unitarnego gazu Fermiego. Jak często podkreśla to w autoreferacie, wykorzystuje do tego celu metody *ab initio* takie jak metodę kwantowego Monte Carlo (w wersji PIMC) czy też metody teorii funkcjonału gęstości. Unitarny gaz Fermiego to silnie skorelowany gaz fermionów. Unitarny gaz Fermiego jest układem uniwersalnym, np. tak jak w przypadku gazu

doskonałego jedyna istotna skala długości wyznaczona jest przez średnią odległość między cząstkami. Uniwersalność unitarnego gazu Fermiego powoduje, że układ ten jest obiektem zainteresowań fizyków zajmujących się odległą nieraz tematyką.

Przykładem unitarnego gazu Fermiego jest niewątpliwie ultrazimny dwuskładnikowy gaz atomów będących fermionami, gaz w którym długość rozpraszania charakteryzującą oddziaływania między składnikami kontrolujemy za pomocą zewnętrznego pola magnetycznego, wykorzystując do tego rezonanse Feshbacha. Ultrazimne gazy atomowe badane są w laboratoriach już od ponad dwudziestu lat. Wkrótce po tym jak po raz pierwszy udało się fizykom osiągnąć kondensację Bosego-Einsteina w rozrzedzonych gazach atomów metali alkalicznych (1995), opracowano metody pułapkowania i chłodzenia gazów atomów będących fermionami. Metody te z powodzeniem zostały zastosowane w badaniach przejścia BCS-BEC, w których to eksperymentach po raz pierwszy uzyskano kondensat molekularny (molekuł w wysoko wzbudzonych stanach).

W pracach A.1, A.3, A.4 dr Gabriel Wlazłowski bada statyczne własności unitarnego gazu Fermiego, znajduje równanie stanu, podatność spinową, kreśli diagram fazowy układu. W publikacjach A.2, A.6, A.8 Habilitant skupia, z kolei, uwagę na dynamice unitarnego gazu Fermiego. W ramach opisu hydrodynamicznego wyznaczona jest np. temperaturowa zależność współczynnika lepkości ścinania („shear viscosity”). Prace A.5 i A.7 dotyczą innego aspektu dynamiki unitarnego gazu Fermiego – badana jest w nich propagacja wzbudzeń solitonowych w związku z eksperymentem przeprowadzonym w MIT w grupie M. Zwierleina, a donoszącym o odkryciu „ciężkich” solitonów. W ostatniej publikacji, A.9, Habilitant przekonuje nas, że unitarny gaz Fermiego jest układem doskonale nadającym się do badania zjawiska kwantowej turbulencji.

Dr Gabriel Wlazłowski przyznaje, że prace wchodzące w skład osiągnięcia naukowego wymagały wykonania obliczeń numerycznych z użyciem superkomputerów. Habilitant uczestniczył w wielu grantach obliczeniowych, co gwarantowało mu dostęp do superkomputerów, zarówno w Polsce (wykorzystując zasoby Interdyscyplinarnego Centrum Modelowania Matematycznego i Komputerowego Uniwersytetu Warszawskiego) jak i w USA (dzięki nawiązaniu ścisłej współpracy z grupą badawczą z Uniwersytetu Stanu Waszyngton w Seattle).

W ważnej pracy A.1, wykorzystując metodę kwantowego Monte Carlo, wyznaczono diagram fazowy dla unitarnego gazu Fermiego. Choć metoda Monte Carlo nie wprowadza żadnych niekontrolowanych przybliżeń (co Habilitant wielokrotnie podkreśla) to wciąż musimy modelować obecne w układzie dwucząstkowe oddziaływania. W przypadku prac

wchodzących w skład osiągnięcia naukowego dwucząstkowe oddziaływanie jest zawsze oddziaływaniem kontaktowym, w którym stała sprężenia jest regularyzowana poprzez wprowadzenie obciążenia w pędach. Głównym wynikiem A.1 jest odkrycie reżimu istnienia pseudoszczeliny w ultrazimnym gazie Fermiego w pobliżu granicy unitarnej. „Faza” ta charakteryzuje się tym, że choć obecne są w niej pary Coopera to układ nie wykazuje nadciekłości, i pojawia się bezpośrednio powyżej temperatury krytycznej (podobna faza występuje w nadprzewodnikach wysokotemperaturowych). Choć Autorzy A.1 przyznają, że dowody na istnienie reżimu pseudoszczeliny w unitarnym gazie Fermiego zostały przez nich znalezione już trochę wcześniej (Phys. Rev. Lett. 103, 210404 (2009) – praca C.1) to jednak dopiero w A.1 podana została pełna charakterystyka tej fazy w zmiennych: temperatura i stała sprężenia. Co więcej, dokonano porównania wyników obliczeń z danymi z doświadczeń przeprowadzonych przez grupę z Uniwersytetu Stanu Kolorado w USA uzyskując dobrą zgodność.

Okazuje się, że istnienie reżimu pseudoszczeliny wpływa na statyczne i dynamiczne własności unitarnego gazu Fermiego, o czym Habilitant przekonuje nas w pracy A.4, w której oblicza, używając QMC, podatność spinową (ta mówi nam jak łatwo układ daje się spolaryzować) oraz przewodność spinową (charakteryzującą własności dynamiczne gazu). Istnienie nieskondensowanych par Coopera powinno niewątpliwie wpływać na odpowiedź układu na zależne od spinu zewnętrzne zaburzenie. Rachunki jednoznacznie pokazują, że odpowiedź ta zaczyna istotnie zmieniać się już powyżej temperatury krytycznej. Zarówno podatność spinowa jak i przewodność spinowa zaczynają być silnie tłumione poniżej pewnej ale tej samej temperatury, która jest wyższa od temperatury krytycznej. To dowodzi istnienia „fazy” pseudoszczeliny – egzotycznego stanu gazu atomów fermionowych, w którym obecność par Coopera nie powoduje nadciekłości. Okazuje się ponadto, że współczynnik dyfuzji spinowej (stosunek przewodności spinowej do podatności spinowej) unitarnego gazu Fermiego jest wyjątkowo mały i pozostaje w zgodzie z danymi eksperymentalnymi. W istocie, jak twierdzi Habilitant, unitarny gaz Fermiego to układ mający najniższy znany współczynnik dyfuzji spinowej.

W pracy A.3 dr Gabriel Włazłowski bada własności termodynamiczne unitarnego gazu Fermiego, w szczególności znajduje równanie stanu. Rachunki wykonano metodą kwantowego Monte Carlo, tym razem w wersji AFQMC (auxiliary field quantum Monte Carlo), na różnych siatkach przestrzennych i dokonano ekstrapolacji do nieskończonego dużych siatek. Wyniki uzyskane w tak zrealizowanym przejściu do granicy termodynamicznej porównano z danymi eksperymentalnymi opublikowanymi przez grupę M. Zwierleina z MIT,

osiągając dobrą zgodność. Dodam, że obliczenia wykonano dla temperatur powyżej jak też i poniżej temperatury krytycznej przejścia do fazy nadciekłej.

Opis hydrodynamiczny unitarnego gazu Fermiego jest często opisem wystarczająco dobrym. Jednakże aby posłużyć się równaniami hydrodynamicznymi w analizie dynamiki gazu unitarnego, niezbędna staje się znajomość współczynników lepkości. Okazuje się, że dla unitarnego gazu Fermiego współczynnik lepkości objętościowej wynosi zero, pozostaje zatem do wyznaczenia współczynnik lepkości ścinania. W pracach A.2, A.6 oraz A.8 dr Gabriel Wlazłowski wyznacza metodą kwantowego Monte Carlo temperaturową zależność współczynnika lepkości ścinania dla unitarnego gazu Fermiego uzyskując szereg interesujących wyników. W szczególności, w A.2 uwaga Autorów skupiona jest na analizie stosunku współczynnika lepkości do gęstości entropii. Chodzi tu o weryfikację hipotezy sformułowanej przez Kovtuna, Sona i Starinetsa (KSS conjecture) mówiącej, że dla dowolnego układu iloraz współczynnika lepkości do gęstości entropii ma dolne ograniczenie. Zgodnie z tą hipotezą w przypadku silnie skorelowanych układów wspomniany iloraz powinien być bliski temu dolnemu ograniczeniu. Stąd oczywiście w prostej linii wynika zainteresowanie Habilitanta rachunkami dla przypadku unitarnego gazu Fermiego. Praca A.2 pokazuje, że dla temperatur trochę wyższych od temperatury przejścia z fazy nadciekłej do fazy normalnej iloraz współczynnika lepkości do gęstości entropii jest zaledwie dwa razy większy od granicy KSS. W publikacji A.6 wykazano, że współczynnik lepkości zaczyna szybko zmniejszać swoją wartość już powyżej temperatury krytycznej, podobnie zachowywały się podatność i przewodność spinowa. W pracy A.8 porównano wartości obliczonego współczynnika lepkości z wynikami eksperymentu przeprowadzonego w grupie J. Thomasa, uzyskując jakościową zgodność (ilościowo wyniki doświadczalne wskazują na około dwukrotnie wyższe wartości współczynnika lepkości).

W publikacji A.5 (i do pewnego stopnia A.7) dr Gabriel Wlazłowski analizuje wyniki eksperymentu przeprowadzonego w MIT ogłoszone na łamach Nature, eksperymentu w którym zaobserwowano „ciężkie” solitony w unitarnym gazie Fermiego. Solitony (ciemne) generowane były metodą nadruku fazy. W doświadczeniu obserwowano ich ruch oscylacyjny. Mierzony okres oscylacji wskazywał na bardzo dużą masę efektywną generowanych solitonów. Tym razem Habilitant sięgnął po zależną od czasu metodę funkcjonału gęstości energii (DFT) aby opisać wspomniany eksperyment. Analizując dynamikę wytwarzanych wzbudzeń, Habilitant rozwiązuje zależne od czasu równania Bogolubowa-de Gennesa, w których jednoczątkowy hamiltonian oraz potencjał korelacji par wyznaczone są jako odpowiednie pochodne funkcjonalne właśnie funkcjonału gęstości energii. Oczywiście,

niezbędna jest znajomość postaci funkcjonału gęstości energii. Z tym jest zawsze problem w opisie DFT, w przypadku unitarnego gazu Fermiego Autorzy publikacji A.5 używają formuły zaproponowanej w pracy A. Bulgac, Phys. Rev. A 76, 040502 (2007).

Rozwiązanie równań Bogolubowa-de Gennesa wymaga użycia superkomputerów. Dr Gabriel Wlazłowski wykazał się przy tym znakomitymi umiejętnościami jeśli chodzi o rachunki numeryczne – do rozwiązania problemu wykorzystane zostały procesory graficzne. Złożoność zagadnienia jest jednak na tyle duża, że Autorzy pracy A.5 są w stanie analizować metodami DFT układy zawierające zaledwie kilkaset atomów. Tymczasem w unitarnym gazie Fermiego (w fazie nadciekłej) badanym eksperymentalnie znajdowało się kilkaset tysięcy par atomów. W pracy A.5 Autorzy próbując opisać tak wielką chmurę atomów rozwiązują równanie typu Grossa-Pitajewskiego (GP) zamiast równań DFT. Autorzy publikacji A.5 twierdzą (bazując na symulacjach DFT), że obserwowane w eksperymencie „ciężkie” solitony są tak naprawdę pierścieniami wirowymi. Z kolei symulacje bazujące na równaniu GP analizujące ruch pierścienia wirowego w nadciekłej chmurze złożonej z bardzo dużej liczby par atomów pokazują, że okres oscylacji pierścienia jest duży, dużo większy niż okres oscylacji ciemnego solitonu w kondensacie Bosego-Einsteina. Tym niemniej okres ten jest wciąż dwukrotnie mniejszy niż obserwowany w doświadczeniu. Wydaje mi się, że stwierdzenie Habilitanta iż „w ramach badań udało mi się poprawnie odtworzyć wszystkie elementy zebranego materiału doświadczalnego” jest trochę zbyt mocne. Tym bardziej, że grupa eksperymentalna z MIT w kolejnej pracy (PRL 113, 065301 (2014)) zdaje się twierdzić, że obserwowane przez nich struktury rzeczywiście nie są ciemnymi solitonami ale raczej strukturami typu „solitonic vortex”, a zatem nie pierścieniami wirowymi. Ciekawe, że znalezione zostały analityczne rozwiązania równania typu GP, oscylujące w pułapce z okresem bardzo dobrze zgadzającym się z tym zmierzonym w eksperymencie MIT, zarówno w reżimie unitarnym jak i w reżimie BEC (PRE 92, 032910 (2015)).

Ostatnia publikacja, A.9, jak pisze sam Habilitant ma charakter pracy przeglądowej, referującej przede wszystkim wyniki artykułów A.5, A.7 oraz A.8. Zjawisko kwantowej turbulencji w unitarnym gazie Fermiego jest kolejnym tematem badawczym rozwijanym przez dr. Gabriela Wlazłowskiego. Dotychczasowe badania pokazują unikalne cechy unitarnego gazu Fermiego, w którym możliwa jest kwantowa turbulencja poniżej temperatury krytycznej, ale który nie wykazuje klasycznej turbulencji powyżej temperatury krytycznej (A.8).

Ocena innej istotnej działalności naukowej

W części dotyczącej osiągnięć nie stanowiących podstawy postępowania habilitacyjnego dr Gabriel Wlazłowski zgłosił cztery prace, w tym dwie opublikowane w Physical Review Letters. Do wszystkich tych prac dr Gabriel Wlazłowski wniósł istotny wkład, jedna z nich (B.2) przyciągnęła dużą uwagę środowiska naukowego (30 cytowań od 2014 roku według Web of Science). Praca B.3 opublikowana została w Comput. Phys. Commun. – czasopiśmie należącym do grupy czasopism informatycznych. To mnie właściwie nie dziwi albowiem jedynie dzięki umiejętnościom (i zdolnościom) Habilitanta związanym z szeroko rozumianym programowaniem możliwa była analiza własności unitarnego gazy Fermiego ujęta w pracach A.1-A.8. W szczególności, publikacja B.3 opisuje metodę znajdowania przedłużenia analitycznego propagatora obliczonego w ramach kwantowego Monte Carlo, metodą będącą połączeniem „Maximum Entropy Method” i „Singular Value Decomposition” metod.

Zgłoszone prace B.1-B.4 dobitnie pokazują, że zainteresowania dr. Gabriela Wlazłowskiego nie ograniczają się jedynie do dwuskładnikowego gazu atomów fermionowych. Habilitant bierze także aktywny udział w badaniach właściwości innych układów silnie skorelowanych fermionów, interesują go temperaturowe własności materii jądrowej, zjawiska indukowane nadciekłością w gwiazdach neutronowych czy też dynamika wirów w skorupie gwiazdy neutronowej. Np. w bardzo dobrze cytowanej publikacji B.2 Autorzy modyfikują metodę MC w taki sposób, że mogą znaleźć równanie stanu zimnej materii neutronowej o większych niż dotychczas gęstościach, zakładając obecność chiralnych dwu- i trójcząstkowych oddziaływań. Z kolei w opublikowanej w roku 2016 pracy B.1, Autorzy badają dynamikę kwantowych wirów w zewnętrznych warstwach gwiazdy neutronowej. Zagadnienie to wiąże się z hipotezą postawioną jeszcze w 1975 roku a wiążącą obserwowane przyśpieszenie obrotu gwiazdy neutronowej z gwałtownym przemieszczeniem się w gwieździe dużej liczby kwantowych wirów. Dynamika wirów jest oczywiście badana w ramach zależnej od czasu metody funkcjonału energii gęstości, a rachunki pokazały, że kwantowe wiry i jądra (obecne w nadciekłej fazie neutronowej) odpychają się.

Granty i działalność organizacyjna, udział w konferencjach

Nie znajduję w autoreferacie informacji dotyczącej działalności organizacyjnej Habilitanta. Z drugiej strony nie powinienem oczekiwać, że znajdę taką informację albowiem Habilitant, po uzyskaniu stopnia doktora, spędził aż trzy lata na stażach naukowych w University of Washington w Seattle w USA. Z autoreferatu wynika, że Habilitant kierował

dwoma grantami badawczymi: NCN i MNiSW oraz był wykonawcą (bądź głównym wykonawcą) w trzech innych. Jednocześnie kierował jednym grantem obliczeniowym i był wykonawcą aż w sześciu innych. Dowiadujemy się również, że dr Gabriel Wlazłowski już po uzyskaniu stopnia doktora uczestniczył w licznych (dziesięciu) międzynarodowych konferencjach wygłaszając referaty zaproszone.

Działalność dydaktyczna i popularyzatorska

Dr Gabriel Wlazłowski prowadził liczne zajęcia z różnych działów fizyki teoretycznej na Wydziale Fizyki Politechniki Warszawskiej. Były to wykłady z fizyki, fizyki kwantowej, mechaniki kwantowej, kwantowej teorii pola oraz fizyki jądrowej. Prowadził też zajęcia ściśle informatyczne takie jak metody numeryczne, podstawy technologii informatycznej czy też bazy danych SQL, a także przedmioty takie jak komputerowa analiza danych doświadczalnych i laboratorium specjalistyczne fizyki komputerowej. Był promotorem trzech prac licencjackich (inżynierskich), w trakcie składania wniosku habilitacyjnego opiekował się trzema kolejnymi.

Podsumowanie

Działalność naukową dr. Gabriela Wlazłowskiego oceniam bardzo wysoko. Wszystkie jego prace dotyczą bardzo aktualnej i modnej tematyki badawczej. Działalność naukowa dr. Gabriela Wlazłowskiego została zauważona przez środowisko o czym świadczą liczne cytowania jego artykułów (całkowita liczba cytowań według Web of Science to około 250). Biorąc pod uwagę także fakt, że dr Gabriel Wlazłowski brał udział w wielu międzynarodowych konferencjach, na których wygłaszał zaproszone wykłady, był kierownikiem paru grantów i wykonawcą w wielu innych, otrzymał szereg nagród Rektora Politechniki Warszawskiej za działalność naukową stwierdzam, że dr Gabriel Wlazłowski spełnia wymagania Ustawy o Stopniach i Tytule Naukowym i w związku z tym zdecydowanie popieram wniosek o nadanie mu stopnia doktora habilitowanego.


Mirosław Brewczyk