



Centrum Fizyki Teoretycznej

Polskiej Akademii Nauk

Aleja Lotników 32/46, 02-668 Warsaw

E-mail: cft@cft.edu.pl, NIP: 525-000-92-81, REGON: 000844815

Dr hab. Jarosław Korbicz
Centrum Fizyki Teoretycznej PAN
Al. Lotników 32/46,
02-668 Warszawa

Warszawa, 04.05.2026

Recenzja w postępowaniu habilitacyjnym dr Tomasza Wasaka

Przedstawione osiągnięcie naukowe to dziewięć publikacji naukowych, opublikowanych w czasopiśmie z listy MNiSW. Stwierdzam, że zgodnie z wymogami Ustawy tworzą one powiązany tematycznie cykl, poświęcony badaniu roli oddziaływań w inżynierii stanów kwantowych zimnych atomów na potrzeby rozwijających się technologii kwantowych. Na uwagę zasługuje fakt, że 7 prac z 9-ciu zostało opublikowane w bardzo prestiżowych pismach: 1 w Nature Communications, 3 w Phys. Rev. Letters, 3 w Phys. Rev. Research z czego 2 jako list (Letter), co sugeruje ich podwyższoną wartość. Pozostałe dwie prace to publikacje w solidnych branżowych pismach Phys. Rev. B oraz Phys. Rev. A. Wszystkie prace są wieloautorskie, przy czym 4 są pierwszoautorskie a na jednej Habilitant jest na ostatniej pozycji, sugerując kierowniczą rolę w projekcie, co też potwierdzają załączone oświadczenia.

Układy zimnych atomów, które Habilitant badał w przedstawionym osiągnięciu, stanowią jedną z głównych platform do rozwijania praktycznych zastosowań informacji kwantowej od początku jej współczesnej iteracji. Zainteresowanie zimnymi atomami szczególnie wzrosło w ostatnich kilku latach po dość spektakularnych dokonaniach praktycznych, osiągniętych np. przez firmę QuEra i grupę Prof. Lukina z Harvardu czy firmę Atom Computing. Udaje się budować logiczne maszyny kwantowe w oparciu o neutralne zimne atomy spuląpkowane w sieciach optycznych. Również sensoryka kwantowa oparta na zimnych atomach przeżywa swój rozkwit. W tym kontekście, badania Habilitanta są jak najbardziej na czasie, istotne i pożądane. Głównym motywem badań, oprócz prac [H2,H4] jest zastosowanie kwantowej informacji Fishera (QFI). Tradycyjnie związana z zadaniami metrologii kwantowej, QFI również okazała się bardzo dobrym narzędziem do wykrywania splątania w układach wielu ciał i jak pokazuje Habilitant do badanie dynamiki.

Chronologicznie pierwsze prace z cyklu to [H8,H9], gdzie Habilitant wraz ze współpracownikami przedstawia i rozwija pomysł czujnika pola magnetycznego, opartego na zimnych atomach. W pracy [H8] przedstawiono główny pomysł – zderzenie grupy nieoddziałujących atomów ze spuląpkowanym atomem domieszkowym w kwazi-jednowymiarowym falowodzie. Dzięki kwantowemu fenomenowi rezonansu Feschbacha, proces zderzenia jest bardzo czuły na pole magnetyczne. W pracy zaproponowano protokół pomiarowy i przeanalizowano jego teoretyczną czułość na bazie statystyki zliczeń transmitowanych atomów. Co ciekawe wykazano jego optymalność, tzn. wysycanie ograniczenia Cramera-Rao. Wynik został opublikowany w prestiżowym Phys. Rev. Lett. a zadeklarowany udział Habilitanta na poziomie 33% jest dobry jak na 6-cio osobowy zespół. Pomysł magnetometru został dalej rozwinięty w pracy [H9], gdzie zaproponowano zrównoleglenie czujników z poprzedniej pracy w celu mierzenia nie tylko samego pola ale i jego gradientu. Ciekawym aspektem pracy jest



Center for Theoretical Physics

Polish Academy of Sciences

Aleja Lotników 32/46, 02-668 Warsaw

E-mail: cft@cft.edu.pl, NIP: 525-000-92-81, REGON: 000844815

zastosowanie wieloparametrowej teorii estymacji i macierzy informacji Fishera. Uzyskano teoretyczne oszacowania czułości. Praca opublikowana została w dobrym branżowym piśmie Phys. Rev. A, Habilitant jest pierwszym autorem z wiodącym deklarowanym wkładem na poziomie 45%. Ponieważ obie prace ukazały się już kilka lat temu, nasuwa się pytanie czy te magnetometry zostały zrealizowane?

Praca [H7] to ewolucja zainteresowań badawczych Habilitanta w kierunku mniej oczywistych zastosowań QFI niż naturalny obszar metrologii kwantowej. Pracując w modelu Dickego, wykazano w niej jakościową zmianę dynamiki QFI w zależności od tego czy ewolucja jest ergodyczna czy regularna. Ponieważ znany jest parametr odpowiedzialny za to przejęcie (stała oddziaływania spin-bozon), Autorzy mogli porównać symulowane zachowanie się QFI w zależności od typu dynamiki. Udało się w ten sposób również rozróżnić i zinterpretować skale czasowe obu dynamik. Z kolei w pracy [H3] pokazano, że macierz QFI w układach wielu identycznych cząstek w stanie podstawowym (model Hubbarda) może być wyznaczona tylko przy pomocy jednocząstkowych zredukowanych macierzy gęstości. Upraszcza to zasadniczo zadanie symulowania QFI ze względu na drastyczną redukcję wymiaru. O ile rozumiem praca buduje „pomost” pomiędzy badaniem splątania metodami QFI a metodami chemii kwantowej. Jest to o tyle ciekawe, że chemia kwantowa to ostatnio najbardziej obiecujący kierunek w poszukiwaniu zastosowań obecnych maszyn kwantowych. Wynik został opublikowany w bardzo dobrym Phys. Rev. Research. jako list, co dodatkowo podwyższa jego rangę. Habilitant ocenił swój wkład na 33% jednak opis wskazywałby na większą rolę (tym bardziej, że zadeklarowane wkłady nie sumują się do 100%).

Kulminacyjną pracą z zastosowań QFI jest praca [H1], gdzie opracowano i przeanalizowano przy pomocy QFI nowy model wzajemnego sprzężenia się zimnych atomów przy pośrednictwie fotonów we wnęce optycznej. Nowatorskie podejście to sprzężenie się fotonów do par zamiast do pojedynczych atomów. Co ciekawe, motorem do tej pracy były niedawne wyniki doświadczalne (otrzymane co prawda w gazie fermionowym a nie bozonowym). W wyniku badań w małym zespole, którymi jak wynika z oświadczeń kierował Habilitant, udało się uzyskać szereg ciekawych wyników: i) wyprowadzono efektywny Hamiltonian oddziaływań atom-atom, wyprowadzając go z całkowitej, skomplikowanej dynamiki układu, uwzględniającej splątkowany w podwójnej studni gaz, fotony wnęki, oraz pompowanie; dodatkowo w badaniach numerycznych uwzględniono też starty fotonów; ii) uzyskano analityczne wyrażenie na QFI (w odpowiedniej granicy), pokazujące ilościowo jak generowane jest splątanie w układzie; należy podkreślić, że szansa na analityczne wyrażenia na QFI w tak skomplikowanym układzie w zasadzie była nikła ale Autorom udało się jednak takie wyrażenie znaleźć i potwierdzić jego zasadność poprzez symulacje numeryczne; iii) wykazano, że generowane korelacje są na tyle silne, że łamią nierówności Bella; jest to najsilniejszy i pod wieloma względami najbardziej pożądany typ korelacji kwantowych, niezbędny np. do kryptografii kwantowej. Wyniki numeryczne pokazują generowanie silnego splątania nawet w obecności istotnych start fotonów. Wyniki pracy są świeże (praca opublikowana w 2025), silne i nowatorskie, co zostało docenione w postaci publikacji w prestiżowym Phys. Rev. Lett. Kierownicza rola Habilitanta jest tu godna podkreślenia. Nasuwa się następujące pytanie:



Centrum Fizyki Teoretycznej

Polskiej Akademii Nauk

Aleja Lotników 32/46, 02-668 Warsaw

E-mail: cft@cft.edu.pl, NIP: 525-000-92-81, REGON: 000844815

zastosowanie metrologiczne generowanych korelacji, o których wspomina Habilitant, jest najbardziej naturalne ale czy można sobie wyobrazić również inne zastosowania takiego „zasobnika splątania”? Np poprzez koherentne sprzężanie do innych układów, wykonujących jakieś zadanie kwantowo-informatyczne?

Korelacje Bella były badane przez Habilitanta w dwóch pracach z cyklu – [H5,H6]. W chronologicznie pierwszej z nich, [H6], Habilitant wraz ze współpracownikiem opracowali teoretycznie metodę testowania korelacji Bella oraz tzw. sterowania EPR przy pomocy spinorowego kondensatu BEC, spulapkowanego w sieci optycznej. Model teoretyczny zbudowano w oparciu o teorię Bogoliubova i przybliżenie pola średniego, przy pomocy którego wyliczono odpowiednie korelatory oraz QFI. Wykazano, że na skutek wzajemnego rozpraszania w modelu generowane są korelacje łamiące nierówność Bella (w postaci CHSH) jak i zachodzi fenomen tzw. sterowania EPR, co jest szczególnie ciekawe gdyż tego typu nieklasyczne korelacje, subtelniejsze niż korelacje Bella, nie były zbyt badane w układach atomowych. Ponadto analiza QFI wskazuje na metrologiczną przydatność omawianego schematu. Uzyskane wyniki to istotny krok w kierunku zastosowań kondensatów do badania m.in. fundamentów mechaniki kwantowej, co potwierdza publikacja w prestiżowym *Phys. Rev. Lett.* Wkład Habilitanta w pracę był zgodnie z oświadczeniami zdecydowanie wiodący co też potwierdza jego pierwsza pozycja na liście autorów. Ocena wagi tej pracy przez Edytorów i Recenzentów PRL okazała się słuszna co potwierdza kolejna publikacja [H5]. To praca doświadczalno-teoretyczna, co zasługuje na szczególne docenienie w dorobku teoretyka, oparta w części teoretycznej na [H6] i opublikowana w bardzo prestiżowym *Nature Communications*. Przedstawiono w niej doświadczalne łamanie nierówności Bella przez spinowe stopnie swobody w parach zimnych atomów helu. Źródłem splątanych par były dwa zderzające się kondensaty BEC a uzyskana separacja przestrzenna skorelowanych atomów to aż 0.1mm, co jest imponującym wynikiem w tego typu fizyce atomowej. Uwaga odnośnie zasadności takich badań – o ile rozumieć separacja rzędu nie wystarcza do zamknięcia tzw. pętli lokalności w pełnym teście Bella gdyż atomy są za blisko i hipotetyczna komunikacja nie jest wykluczona. Jednak nie to jest celem takich doświadczeń, jest nim raczej pokazanie jak silne korelacje są możliwe do wygenerowania z badanym układzie. Zaobserwowane łamanie nierówności Bella bardzo dobrze zgadza się z teorią, za którą, zgodnie z oświadczeniami, był w dużej mierze odpowiedzialny Habilitant. Wyliczono bazując na [H6] odpowiednie korelatory spinów, wchodzące do nierówności Bella, które zostały zweryfikowane doświadczalnie. Habilitant skromnie ocenił swój wkład w pracę na 17%. W pracy doświadczalno-teoretycznej ciężiej niż gdzie indziej jest mierzyć wkłady, gdyż np. doświadczenia są często bardzo czasochłonne i zasobochłonne. Dlatego cyfrę tę traktuję raczej jako wyraz skromności a bazując na szczegółowym oświadczeniu, wkład Habilitanta w tę silną pracę oceniam jako bardzo istotny. W opisie potencjalnych zastosowań przedstawionej metody pojawiają się testy teorii grawitacji. Praca powstała ponad 6 lat temu, w 2019r., od tego czasu znacznie zintensyfikowano badania na styku grawitacja-fizyka kwantowa. Czy praca Habilitanta znalazła jakieś praktyczne zastosowanie w tych badaniach lub pojawiły się jakieś pomysły?

Pozostałe prace cyklu, [H2,H4], poświęcone są badaniu nowych stanów materii – polaronu Fermiego. Jest to kwazi-cząstka opisująca ewolucje domieszki w zimnym gazie Fermiego. W



Center for Theoretical Physics

Polish Academy of Sciences

Aleja Lotników 32/46, 02-668 Warsaw

E-mail: cft@cft.edu.pl, NIP: 525-000-92-81, REGON: 000844815

pracy [H4], chronologicznie wcześniejszej, wypracowano teoretyczny opis polaronu, uwzględniając dyssypację i pompowanie. Używając metody Keldysha znaleziono retardowaną funkcję Greena domieszki, na podstawie której przeprowadzono szczegółową analizę pojawiania się i zaniku polaronu. Co ciekawe, powiązано to z kwantowym efektem Zenona, tu kontrolowanym przez odpowiednio przeskalowaną szybkość strat. Wyniki badań pokazują jak bogata i ciekawa jest dynamika układu wielu cząstek poddanych silnej obserwacji. Praca ukazała się w bardzo dobrym Phys. Rev. Research, a wkład Habilitanta jest zdecydowanie wiodący (60%), jest on też pierwszym autorem. Habilitant kontynuował badania nad polaronem Fermiego w pracy [H2], gdzie zastosowano wypracowaną teorię do opisu niedawnego doświadczenia. Głównym celem było opisanie zaobserwowanych a nie do końca wyjaśnionych cech dynamiki polaronu. Otrzymany w pracy model wykazuje dobrą zgodność z danymi doświadczalnymi, co świadczy o sukcesie przedsięwzięcia. W modelu wyraźne jest rozdzielenie procesów relaksacyjnych (zderzeniowych) i dekoherencyjnych. Zidentyfikowano też obszary i skale czasowe łamania równowagi szczegółowej. Co ciekawe, wypracowana teoria może posłużyć do analizy kolejnych doświadczeń, co oczywiście podwyższa jej wartość. Praca została opublikowana w prestiżowym Phys. Rev. Lett. a Habilitant jest jej pierwszym autorem z solidnym wkładem potwierdzonym oświadczeniami.

Z uwag krytycznych, cykl ma pewną niespójność - prace [H2, H4], poświęcone polaronowi Fermiego, są tematycznie trochę odsunięte od pozostałych prac cyklu, nie ma w nich elementów informacji kwantowej, spajających pozostałe prace. Jednak wpisuje się to w ustawowy wymóg „osiągnięć”, sformułowanych w Ustawie w liczbie mnogiej i przede wszystkim pokazuje wszechstronność badań Habilitanta. Chciałbym też podkreślić, że prace te uznaję za bardzo ciekawe i odkrywcze same w sobie i rozumiem chęć włączenia ich do osiągnięć. Zachęcam też Habilitanta to częstszego inicjowania i kierowania projektami tak jak np. w wypadku [H1], gdyż jak widać bardzo dobrze to jemu wychodzi.

Na koniec, chciałbym podkreślić mocno nietrywialny aspekt techniczny przedstawionych prac: żaden z rezultatów nie leżał na powierzchni i wymagał połączenia zaawansowanych technik z teorii zimnych gazów, układów otwartych, kwantowej metrologii oraz teorii informacji kwantowej. W mojej ocenie podnosi to dodatkowo jakość osiągnięć. Analizując załączone oświadczenia, wkład Habilitanta w przedstawione publikacje uważam za zdecydowanie znaczący czy wiodący. Uwzględniając jakość i ilość publikacji, również tych poza osiągnięciem, bezsprzecznie dowodzi to wysokiej dojrzałości naukowej Habilitanta i zdolności do prowadzenia badań na wysokim światowym poziomie.

Biorąc pod uwagę wszystkie powyższe czynniki, wysoko oceniam przedstawione osiągnięcia naukowe Habilitanta. Stwierdzam, że stanowią one znaczący wkład na poziomie międzynarodowym w dziedzinę inżynierii stanu i informatyki kwantowej w układach zimnych gazów. Spełniają zatem ustawowe i zwyczajowe wymogi do nadania stopnia doktora habilitowanego. Dlatego wniosek o nadanie dr Tomaszowi Wasakowi w/w stopnia uważam za całkowicie zasadny i z przyjemnością wnoszę o jego przyjęcie.

[Stworzone bez pomocy AI]

Jarosław Korbicz

Elektronicznie podpisany przez

Jarosław Korbicz

Data: 2026.05.04 12:58:56 +02'00'