



Prof. dr hab. Maciej Maśka
Instytut Fizyki Teoretycznej
Wydział Podstawowych Problemów Fizyki
Politechnika Wrocławska

Wrocław, 27.12.2024

Recenzja rozprawy doktorskiej pana mgr. Adith Sai Aramthottil p.t.:

**„Towards understanding of non-ergodic physics
in quantum many-body systems”**

Recenzowana rozprawa doktorska dotyczy nietrywialnego zachowania skorelowanych układów poza równowagą termodynamiczną. Jest to aktualna tematyka, w obszarze której ciągle pozostają otwarte pytania dotyczące fundamentalnych kwestii. Odpowiadając na niektóre z nich, doktorant zdecydowanie wniósł wkład w aktualny stan naszej wiedzy na temat fizyki tych układów.

Rozprawa jest cyklem czterech artykułów, z czego trzy zostały opublikowane w latach 2021-23 w *Physical Review B*, a jeden w roku 2024 w *Physical Review Letters*. Jest to jedna z możliwości oferowanych przez ustawę *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce*. Składają się na nią następujące publikacje:

1. Adith Sai Aramthottil, Utso Bhattacharya, Daniel González-Cuadra, Maciej Lewenstein, Luca Barbiero, and Jakub Zakrzewski, “*Scar states in deconfined $\mathbb{Z}_2$ lattice gauge theories*”, *Physical Review B* **106**, L041101 (2022),
2. Adith Sai Aramthottil, Mateusz Łącki, Luis Santos, and Jakub Zakrzewski, “*Role of interaction-induced tunneling in the dynamics of polar lattice bosons*”, *Physical Review B* **107**, 104305 (2023),
3. Adith Sai Aramthottil, Titas Chanda, Piotr Sierant, and Jakub Zakrzewski, “*Finite-size scaling analysis of the many-body localization transition in quasiperiodic spin chains*”, *Physical Review B* **104**, 214201 (2021),
4. Adith Sai Aramthottil, Piotr Sierant, Maciej Lewenstein, and Jakub Zakrzewski, “*Phenomenology of Many-Body Localization in Bond-Disordered Spin Chains*”, *Physical Review Letters* **133**, 196302 (2024).



HR EXCELLENCE IN RESEARCH



Politechnika Wrocławska
Wybrzeże Wyspiańskiego 27
50-370 Wrocław

budynek A-1, pok. 234

Tel: +48 71 320 25 79,
+48 71 320-23-95

dziekan.wppt@pwr.edu.pl
<http://wppt.pwr.edu.pl>

REGON: 000001614
NIP: 896-000-58-51
Nr konta:
37 1090 2402 0000 0006 1000 0434



Jak widać z powyższego zestawienia, doktorant jest pierwszym autorem wszystkich prac i wszystkie one zostały napisane są we współpracy z promotorem, prof. Jakubem Zakrzewskim.

Choć ustawa wymaga jedynie, aby cykl publikacji uzupełniony był streszczeniem, w tym wypadku doktorant przygotował ok. 30-stronicowe wprowadzenie w zagadnienia, których te prace dotyczą. Mimo, że nie podlega bezpośredniej ocenie, jest to bardzo użyteczny element. Z jednej strony lokuje publikacje składające się na rozprawę w kontekście istniejącej literatury z obszaru rozprawy, czym ułatwia wskazanie oryginalnego wkładu tych prac do aktualnego stanu wiedzy. Z drugiej strony wprowadzenie jednoznacznie pokazuje, że doktorant swobodnie porusza się w tym obszarze i potrafi zidentyfikować najistotniejsze jej aspekty. Jest to szczególnie ważne, jeśli weźmie się pod uwagę, że wszystkie składające się na rozprawę publikacje są publikacjami wieloautorskimi i nigdzie nie jest wyspecyfikowany udział doktoranta w ich poznaniu.

Na wprowadzenie składa się sześć rozdziałów. Pierwszy z nich jest "wprowadzeniem do wprowadzenia", czyli krótkim omówieniem czego rozprawa dotyczy i co zostało zaprezentowane w kolejnych rozdziałach. I tak rozdział 2 ("*Generic quantum many body systems*") rozpoczyna się od dyskusji problemu ewolucji kwantowych układów wielociałowych. Jest tu więc omówiona hipoteza ergodyczna, wprowadzone pojęcia stanów typowych czy sformalizowany problem termalizacji układów izolowanych. Bardziej szczegółowe opisy pojawiają się w kolejnych podrozdziałach, które poświęcone są układom całkowitym (2.2), gdzie do ilustracji wykorzystywany jest łańcuch Heisenberga ze spinami $\frac{1}{2}$, własnościom spektralnym ogólnych kwantowych układów wielociałowych (2.3), czy wreszcie hipotezie termicznych stanów własnych (ang. *eigenstate thermalization hypothesis* - ETH) (2.4).

Rozdział trzeci rozpoczyna omawianie mechanizmów, które są podstawowymi zjawiskami badanymi w rozprawie. Są to mechanizmy, które zapobiegają termalizacji układów wielociałowych. Konkretnie, doktorant bada

- powstawianie tzw. blizn kwantowych (ang. *quantum scars*), w szczególności blizn wielociałowych (ang. *quantum many-body scars* – QMBSSs),
- fragmentację przestrzeni Hilberta oraz
- lokalizację wielociałową (ang. *many-body localization* – MBL).





Rozdział ten rozpoczyna się krótkim przedstawieniem (w podrozdziale 3.1) zjawiska blizn kwantowych, czyli zwiększenia gęstości prawdopodobieństwa wzdłuż orbit, które w odpowiednim klasycznym układzie chaotycznym byłyby niestabilne. Jest to przykład słabego niszczenia termalizacji, gdzie tylko niewielka liczba stanów nie „zapomina” o warunkach początkowych. Ponieważ możliwe są różne definicje stanów „z bliznami”, w tej części doktorant podaje elementy operacyjnej definicji, którą będzie się w rozprawie posługiwał. Dalej, w podrozdziale 3.2, doktorant daje telegraficzne wprowadzenie do sieciowych teorii cechowania, a w kolejnym używa łańcuch Kitaeva do ich ilustracji. I tak w podrozdziale 3.3, przy pomocy transformacji Jordana-Wignera, hamiltonian Kitaeva transformowany jest do modelu Isinga w poprzecznym polu, w którym faza topologiczna odpowiada fazie ze złamaną symetrią. Następnie wprowadzane jest nowe pole pozwalające globalną symetrię $U(1)$ zamienić w symetrię lokalną, a model przechodzi w model w porzecznym i podłużnym polu. Te części wstępu wprowadzają w tematykę publikacji numer 1, „*Scar states in deconfined $\mathbb{Z}_2$ lattice gauge theories*”, w której metodami zarówno analitycznymi, jak i numerycznymi, pokazano, że w łańcuchu Kitaeva minimalnie sprzężonym z polem cechowania $\mathbb{Z}_2$ można znaleźć liczne QMBSs w obszarze, w którym model nie jest całkowalny. Osiągnięte jest to poprzez przeprowadzenie transformacji Schrieffer-Wolffa, która w granicy $t \ll \mu$ przeprowadziła łańcuch Kitaeva z cechowaniem w efektywny model spinowy, dla którego można analitycznie pokazać, że posiada blizny kwantowe. Najważniejszym pytaniem, na które odpowiada praca, jest pytanie o obecność QMBSs poza obszarem, w którym mapowanie poprzez wspomnianą transformację Schrieffer-Wolffa jest uzasadnione. W tym celu zbadano zakres parametrów, dla których model jest ergodyczny, a następnie wprowadzono techniki badania czy stany „bliznowe” z modelu efektywnego dla $t \ll \mu$ zachowują swój charakter w innych reżimach, szczególnie w obszarze, w którym ładunki nie są uwięzione. Jedną z nich było zbadanie czułości ewolucji tych stanów na małe zmiany parametrów modelu. Inną, badanie ich dynamiki i identyfikacja trwałych oscylacji nierównowagowych rozwiązań. Głównym wynikiem było znalezienie „prawdziwych” QMBSs w reżimach, w których ładunki nie były związane, co jest oryginalnym wynikiem, ważnym dla sieciowych teorii cechowania. Jak już wspomniałem, jego uzyskanie wymagało od doktoranta zaangażowania zarówno analitycznych, jak i zaawansowanych numerycznych metod obliczeniowych, co dobrze widać po szczegółach przedstawionych w dodatku do pracy.



HR EXCELLENCE IN RESEARCH

Evaluated by
IEP INSTITUTIONAL
EVALUATION
PROGRAMME
www.lep-qaa.org

Politechnika Wrocławska

Wybrzeże Wyspiańskiego 27
50-370 Wrocław

budynek A-1, pok. 234

Tel: +48 71 320 25 79,
+48 71 320-23-95

dziekan.wppt@pwr.edu.pl
<http://wppt.pwr.edu.pl>

REGON: 000001614

NIP: 896-000-58-51

Nr konta:

37 1090 2402 0000 0006 1000 0434



Ponieważ wyjściowy model to łańcuch Kitaeva, czyli jeden z najprostszych modeli, które wykazują topologiczne nadprzewodnictwo ze stanami brzegowymi Majorany, rodzi się pytanie, czy zaprezentowane w publikacji numer 1 analizy można powiązać z własnościami topologicznymi? Jest to o tyle ciekawe, że rozwiązania modelu Kitaeva w reżimie $t \ll \mu$ są topologicznie trywialne, ale doktorant w tej pracy właśnie wyszedł poza tą granicę. Miałbym tu jeszcze jedno pytanie, także wiążące się z topologią, a mianowicie co dzieje się z symetrią chiralną przy przejściu od prostego łańcucha Kitaeva do modelu z cechowaniem?

Rozdział 4 wstępu poświęcony jest drugiemu z wcześniej wymienionych mechanizmów niszczenia ergodyczności, czyli fragmentacji przestrzeni Hilberta. Jest to jednocześnie wprowadzenie do tematyki drugiej z publikacji składających się na rozprawę. Motywacją tych badań był postęp technologiczny pozwalający prowadzić eksperymenty z polarnymi gazami w sieciach optycznych. Są to układy, w których obecność dalekozasięgowego oddziaływania dipol-dipol powoduje koniczność rozszerzenia standardowych hamiltonianów, jak na przykład hamiltonianu Hubbarda, o dodatkowe wyrazy. Ze względu na sinusoidalny potencjał sieci optycznej prócz oddziaływania dipolowego, w badanym modelu dołożono także wyraz opisujący skorelowane przeskoki pomiędzy węzłami. Okazuje się, że przestrzeń Hilberta takiego hamiltonianu może być rozłożona na dynamicznie rozłączne części, przy czym ta segmentacja nie jest związana z globalnymi symetriami. W przypadku silnego oddziaływania, gdy prawdopodobieństwo zajęcia jednego węzła sieci optycznej przez więcej niż jedną cząstkę jest zaniedbywalne, układ z dobrym przybliżeniem opisywany jest przez bozony z twardym rdzeniem i wyraz opisujący skorelowane przeskoki staje się nieistotny. W drugiej z publikacji składających się na rozprawę, „*Role of interaction-induced tunneling in the dynamics of polar lattice bosons*”, analizowany jest przypadek, gdy to uproszczenie nie może być zastosowane. Oznacza to, że badany hamiltonian zawiera „tradycyjne” przeskoki, oddziaływanie kulombowskie na węzle, zanikające jak r^{-3} oddziaływanie międzywęzłowe i wreszcie przeskoki zależące od obsadzenia węzłów, pomiędzy którymi mają one miejsce, przy czym badane są reżimy, w których żaden z tych wyrazów nie ma wybitnie dominującego charakteru. Oczywiście model sam w sobie jest ciekawy i wart analizy, ale skoro praca jest częścią rozprawy o nieergodycznych układach, kluczowe są tu badania jaka poszczególne mechanizmy modyfikują ergodyczność. Co ciekawe, jest to układ, w którym nieergodyczność nie wiąże się z nieporządkiem, a efekty lokalizacji-delokalizacji wynikają z konkurencji poszczególnych oddziaływań i potencjału sieci optycznej. Jednym z ciekawszych



HR EXCELLENCE IN RESEARCH



Politechnika Wrocławska

Wybrzeże Wyspiańskiego 27
50-370 Wrocław

budynek A-1, pok. 234

Tel: +48 71 320 25 79,
+48 71 320-23-95

dziekan.wppt@pwr.edu.pl
<http://wppt.pwr.edu.pl>

REGON: 000001614

NIP: 896-000-58-51

Nr konta:

37 1090 2402 0000 0006 1000 0434



wyników jest wskazanie jak istotne mogą być skorelowane przeskoky w przypadku, gdy bozony nie mogą być traktowane jako trawdordzeniowe. Inny to wskazanie, że – nieco wbrew intuicji – wzrost potencjału oddziaływania dipolowego może prowadzić do delokalizacji. Oczywiście w kontekście tematyki rozprawy istotny jest także wynik, pokazujący, że skorelowane przeskoky mogą prowadzić do separacji przestrzeni Hilberta na stany ergodyczne i silnie nieergodyczne.

Oryginalnie, wyraz opisujący przeskoky, których amplituda zależy od obsadzenia uczestniczących w nich węzłów, został zaproponowany przez Hirscha jako efektywny mechanizm prowadzący do nadprzewodnictwa dziurowego. Oczywiście, sytuacja była tam zupełnie inna, bo model był fermionowy, a przeskoky elektronów pomiędzy węzłami były możliwe jedynie przy obsadzeniu ich elektronami o spinie przeciwnym do spinu przeskakujących elektronów. Niemniej ciekawe byłoby sprawdzić, czy badany model może też wykazywać tendencję do tworzenia stanu nadprzewodzącego / nadciekłego. Choć w tym wypadku, ze względu na bozonowy charakter, nie jest do tego konieczne parowanie, więc może analogia jest zbyt daleko posunięta.

Kolejna część wstępu do rozprawy, rozdział 5, dotyczy następnego mechanizmu zapobiegania termalizacji, czyli ciągle jeszcze wzbudzającej emocje lokalizacji wielociałowej (MBL). Rozpoczyna się ona krótkim historycznym rysem problemu, po którym następuje ogólny opis zjawiska MBL. Omawiane są tam własności jednowymiarowych układów z nieporządkiem, co do których wierzymy, że wykazują MBL, czyli entropia splątania, statystyka poziomów czy lokalne całki ruchu. Własności te demonstrowane są dla modelu Heisenberga z losowym polem magnetycznym. Następnie, w kolejnym podrozdziale dyskutowana jest natura przejścia pomiędzy fazą ergodyczną, a MBL. Chodzi tu o zasadnicze pytanie, czy przejście to ma naturę przejścia fazowego, czy jest to jedynie gładkie połączenie obu obszarów, określane po angielsku jako *crossover*. Problem jest o tyle skomplikowany, że prawdziwe przejście fazowe widoczne jest dopiero w granicy termodynamicznej, a ze względu na wielociałowy charakter układów podejrzewanych o MBL, obliczenia numeryczne ograniczone są do rozmiarów na tyle daleko od tej granicy, że skalowanie rozmiarowe może być niewiarygodne. Co gorsza, niektóre wyniki sugerują, że te „przejścia” są typu Berezinskiiego–Kosterlitz–Thoulessa (BKT), gdzie zależności od rozmiaru są logarytmiczne. We wstępie przedstawiono proste próby skalowania rozmiarowego, które jednak mogą nie



HR EXCELLENCE IN RESEARCH



Politechnika Wrocławska

Wybrzeże Wyspiańskiego 27
50-370 Wrocław

budynek A-1, pok. 234

Tel: +48 71 320 25 79,
+48 71 320-23-95

dziekan.wppt@pwr.edu.pl
<http://wppt.pwr.edu.pl>

REGON: 000001614

NIP: 896-000-58-51

Nr konta:
37 1090 2402 0000 0006 1000 0434



wystarczy do jednoznacznej charakteryzacji przejścia pomiędzy fazą ergodyczną a MBL.

Tej tematyki dotyczy trzecia publikacja, *“Finite-size scaling analysis of the many body localization transition in quasiperiodic spin chains”*. Zamiast rzeczywistego nieporządku, badany w niej jest model Heisenberga w kwaziperiodycznym polu opisanym funkcją kosinus z okresem niewspółmiernym ze stałą sieci i losową fazą, symulującą realizację nieporządku. Z jednej strony wiadomo, że taki potencjał prowadzi do lokalizacji, z drugiej natomiast, wykazuje przestrzenną korelację, co może prowadzić (i najprawdopodobniej prowadzi) do odmiennych wyników. W pracy badane jest jak skalują się z rozmiarem dwie podstawowe wielkości: entropia splątania oraz stosunek przerw w widmie energetycznym, czyli standardowe wskaźniki mówiące czy układ jest w fazie ergodycznej, czy w fazie MBL. Wyznaczono także magnetyzację w fazie ergodycznej, której rozkład przy wzroście rozmiaru układu wykazał nietypowe zachowanie, a mianowicie z rozkładu Gaussa przeszedł w rozkład bimodalny, gdy liczba węzłów osiągnęła ok. 16 (maksymalny badany rozmiar to 22 węzły). Autorzy wiążą ten wynik ze wspomnianymi wyżej korelacjami w kwaziperiodycznej modulacji. Szkoda, że nie ma porównania z analogicznymi wynikami uzyskanymi dla rzeczywistego nieporządku. Brak takiej zmiany w tym wypadku byłby silnym argumentem za tezą stawianą w pracy. Oczywiście takie wyniki są znane, także w literaturze cytowanej w pracy (np. Ref. [61]), ale wygodne byłoby porównanie dla takich samych zestawów parametrów.

Dalsza część pracy dotyczy poszukiwań skalowania rozmiarowego, które poprawnie opisałoby jak entropia splątania i stosunek szczelin zmienia się z rozmiarem, co pozwoliłoby oszacować te wielkości w granicy termodynamicznej. Skalowanie to jest niesłychanie istotne, gdyż istnieją sugestie, że wielkość krytycznego nieporządku W^* rośnie liniowo wraz z rozmiarem układu, co miałoby poważne konsekwencje dla problemu istnienia MBL. W celu przeprowadzenia tej analizy wprowadzona jest funkcja kosztu, której minimalizacja daje parametry skalowania. Jest to idea zaczerpnięta z pracy J. Šuntajs *et al.*, PRB 102, 064207 (2020), gdzie była zastosowana do podobnego układu, ale w obecności rzeczywistego nieporządku. Podobnie jak tam, także w obecności kwaziperiodycznej modulacji, wyniki sugerują, że przejście do fazy MBL należy do klasy uniwersalności BKT. Może to sugerować, że bardzo trudno będzie dać jednoznaczną odpowiedź na pytanie o charakter tego przejścia. Jeśli rzeczywiście tak jest, to może można spróbować znaleźć odpowiednik podejścia, które stosuje się



HR EXCELLENCE IN RESEARCH



Politechnika Wrocławska

Wybrzeże Wyspiańskiego 27
50-370 Wrocław

budynek A-1, pok. 234

Tel: +48 71 320 25 79,
+48 71 320-23-95

dziekan.wppt@pwr.edu.pl
<http://wppt.pwr.edu.pl>

REGON: 000001614

NIP: 896-000-58-51

Nr konta:

37 1090 2402 0000 0006 1000 0434



w przypadku przejść BKT, czyli użyć narzędzi grupy renormalizacyjnej, żeby wyprowadzić $W^* = W^*(L)$? Albo może udałoby się znaleźć odpowiedniki kumulant Bindera?

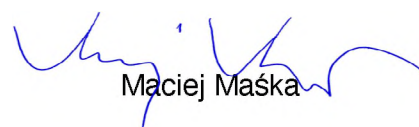
Ostatnia praca składająca się na rozprawę, „*Phenomenology of Many-Body Localization in Bond-Disordered Spin Chains*”, w odróżnieniu do poprzednich nie została poprzedzona wprowadzeniem. Może dlatego, że podobnie jak poprzednia, dotyczy MBL, do której wprowadzenie było przed opisem poprzedniej publikacji. O ile w poprzedniej pracy “nieporządek” był prowadzony poprzez kwaziperiodyczny potencjał na węzłach, to w tej pracy nieporządek jest w wielkości całki wymiany modelu XXZ dla spinu $\frac{1}{2}$. Jest to model, który można zrealizować w łańcuchu atomów Rydberga. Dla bardziej realistycznego opisu założono dalekozasięgowe oddziaływanie zanikające jak r^{-6} , co odpowiada rydbergowskim atomom rubidu 87. Autorzy argumentują w pracy, że w takim wypadku lokalne całki ruchu nie są właściwym narzędziem do badania MBL i stosują metodę grupy renormalizacyjnej w przestrzeni rzeczywistej dla stanów wzbudzonych (ang. *real space renormalization group for excited states* - RSRG-X). Praca zawiera stosunkowo precyzyjny (na ile pozwalają ograniczenia długości pracy w Phys. Rev. Lett.) opis implementacji RSRG-X, co może okazać się użyteczne przy zastosowaniu tej metody do opisu innych układów, w których nieporządek nie wiąże się z operatorami na węzle. Jej użyteczność została w pracy zademonstrowana poprzez wyznaczanie charakterystyk badanego nieuporządkowanego na wiązaniach modelu XXY, czyli przykładowo pokazano multimodalny rozkład entropii splątania w stanach własnych czy subpoissonowską statystykę poziomów. Pokazano także jak w ramach RSRG-X wyznaczyć dynamikę mierzalnych wielkości, co jest jednym z podstawowych eksperymentalnych testów MBL. Te możliwości sprawiają, że praca jest ważna w kontekście eksperymentalnego badania platformy, na której można badać niszczenie ergodyczności i gdzie może realizować się faza MBL.

W ramach ogólniejszych uwag, chciałbym zwrócić uwagę na pewien problem, który sygnalizowałem już na początku recenzji. Otóż czytając rozprawę, czyli formalnie cztery publikacje składające się na nią, trudno wydzielić oryginalny wkład doktoranta. Oczywiście fakt, że we wszystkich publikacjach, będących czasopismami o wysokiej i bardzo wysokiej randze, jest on pierwszym autorem, świadczy, że udział ten jest znaczący. Nie jest to zarzut merytoryczny, a raczej uwaga techniczna, ponieważ przepisy nie wymagają takiego wyspecyfikowania. Byłbym jednak wdzięczny, gdyby w trakcie obrony doktorant sprecyzował swój udział.





Przechodząc do ogólnej oceny recenzowanej rozprawy, muszę stwierdzić, że Pan mgr Adith Sai Aramthottil – zakładając jego główny udział w każdej z publikacji – wykonał ogrom pracy w ważnym i trudnym do analizy obszarze fizyki skorelowanych układów, wnosząc wkład do naszej wiedzy na temat niszczenia ergodyczności w takich układach. Tym samym z pełnym przekonaniem stwierdzam, że rozprawa doktorska spełnia wymagania stawiane w rozprawom ustawie *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce*, wnosząc o dopuszczenie doktoranta do dalszych etapów przewodu doktorskiego. Jednocześnie, biorąc pod uwagę liczbę i jakość uzyskanych przez niego wyników, wnoszę o wyróżnienie rozprawy. Wniosek o wyróżnienie wraz z uzasadnieniem załączam poniżej.


Maciej Maśka

Wniosek o wyróżnienie rozprawy doktorskiej Pana mgr Adith Sai Aramthottilego

Pan mgr Adith Sai Aramthottil przygotował rozprawę doktorską w obszarze, który jest intensywnie rozwijany i w którym ciągle jest więcej pytań niż odpowiedzi. Ponieważ pracuje tu wiele światowej klasy zespołów, które mają dostęp do najpotężniejszych komputerów, trudno jest wniesć do tych badań oryginalne wyniki. Doktorantowi, pomimo wyzwań przed którymi stanął wybierając tematykę rozprawy, to się udało. Te wyzwania, to między innymi trudności obliczeniowe.

Badane układy są układami skorelowanymi, a więc takimi, dla których dostępne metody obliczeniowe są w zasadzie ograniczone do metod numerycznych. Z kolei numeryczne badanie zjawiska termalizacji jest często trudne ze względu na konieczność analizy ewolucji układu w bardzo długim czasie. Żeby wyniki były wiarygodne, niezbędne są metody pozwalające na uniknięcie kumulowania się błędów zastosowanych przybliżeń czy błędów wynikających ze skończonej precyzji maszynowej. Dodatkowo, często mamy tu do czynienia z brakiem symetrii pozwalających zredukować efektywny rozmiar przestrzeni Hilberta, co z kolei wymaga operowania ogromnymi macierzami. Ten ostatni problem jest szczególnie dokuczliwy, gdy wymagany jest nie tylko limit $t \rightarrow \infty$, ale także $L \rightarrow \infty$. Oczywiście obli-



HR EXCELLENCE IN RESEARCH



Politechnika Wrocławska
Wybrzeże Wyspiańskiego 27
50-370 Wrocław

budynek A-1, pok. 234

Tel: +48 71 320 25 79,
+48 71 320-23-95

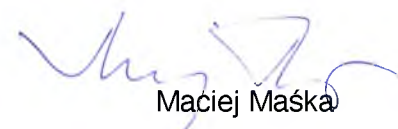
dziekan.wppt@pwr.edu.pl
http://wppt.pwr.edu.pl

REGON: 000001614
NIP: 896-000-58-51
Nr konta:
37 1090 2402 0000 0006 1000 0434



czenia w publikacjach składających się na rozprawę to nie tylko techniki numeryczne, ale także obliczenia analityczne.

Sprawność obliczeniowa nie jest jedynym powodem wniosku o wyróżnienie rozprawy. Choć wszystkie prace dotyczą niszczenia ergodyczności, obejmują bardzo różne mechanizmy do niego prowadzące, poczynając od łagodnego łamania przez stany bliznowe, poprzez segmentację przestrzeni Hilberta, po MBL. Pokazuje to, że doktorant nie tylko sprawnie posługuje się narzędziami numerycznymi, ale opanował naprawdę szeroki zakres tematyki i jest w stanie wnieść swój wkład w różnych jego obszarach. Potwierdza to fakt, że pierwsza i trzecia spośród składających się na rozprawę publikacji zostały zauważone w środowisku i są już kilkadziesiąt razy cytowane, mimo, że zostały opublikowane stosunkowo niedawno. Ostatnia praca ukazała się zaledwie dwa miesiące temu, więc trudno oczekiwać, żeby miała w momencie pisania recenzji dużo cytowań. Niemniej, ze względu na przedstawione tam wyniki, spodziewam się, że w niedługim czasie także i ona zostanie szeroko zauważona.



Maciej Maśka



HR EXCELLENCE IN RESEARCH

Evaluated by
IEP INSTITUTIONAL
EVALUATION
PROGRAMME
www.lep-qaa.org

Politechnika Wrocławska

Wybrzeże Wyspiańskiego 27
50-370 Wrocław

budynek A-1, pok. 234

Tel: +48 71 320 25 79,
+48 71 320-23-95

dziekan.wppt@pwr.edu.pl
<http://wppt.pwr.edu.pl>

REGON: 000001614

NIP: 896-000-58-51

Nr konta:

37 1090 2402 0000 0006 1000 0434