



Wroclaw, 18.02.2022 r.

**Prof. dr hab. Katarzyna Sznajd-Weron**

Katedra Fizyki Teoretycznej

Politechnika Wroclawska

**Recenzja Rozprawy Doktorskiej mgr. inż. Łukasza Gajewskiego nt.  
„Reverse engineering multi-layered structures in complex  
networks”**

Recenzję przygotowałam w odpowiedzi na pismo Rady Naukowej Dyscypliny Nauki Fizyczne Politechniki Warszawskiej z dnia 20 grudnia 2021 r., informujące o powołaniu mnie na recenzenta rozprawy doktorskiej mgr. inż. Łukasza Gajewskiego. Ocenę przeprowadziłam w oparciu o art. 186 [Warunki nadania stopnia doktora] ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce oraz tryb wyróżniania prac doktorskich ustalony przez Radę Naukową Dyscypliny Nauki Fizyczne Politechniki Warszawskiej.

### **Wprowadzenie**

Łukasz Gajewski jest współautorem siedmiu artykułów naukowych, a sama rozprawa stanowi podsumowanie trzech prac opublikowanych w Physical Review E, które znajduje się w pierwszym kwartylu czasopism w kategorii Fizyka Statystyczna i Nieliniowa (87 percentyl wg. bazy SCOPUS, 140 pkt wg. punktacji MEiN). Głównym celem było opracowanie nowych metod służących do detekcji ukrytych struktur (np. ukrytych warstw) w sieciach złożonych oraz pokazanie, że wielopoziomowość sieci, często niewidoczna w bezpośredniej obserwacji, może mieć znaczący wpływ na różnego rodzaju procesy zachodzące w takiej sieci. Temat rozprawy ma charakter wysoce interdyscyplinarny i jest ważny zarówno z punktu widzenia teorii, jak i zastosowań. W szczególności, istnienie ukrytych warstw w sieciach kontaktów społecznych może mieć olbrzymi wpływ na rozprzestrzenianie się epidemii, informacji, opinii, itd., co obecnie wydaje się szczególnie istotne.

### **Opis i ocena rozprawy**

Rozprawa składa się z pięciu rozdziałów: wstępu, trzech rozdziałów właściwych, z których każdy odpowiada jednej z opublikowanych prac oraz zakończenia. Z pierwszej części wstępu dowiadujemy się czego konkretnie będzie dotyczyć



HR EXCELLENCE IN RESEARCH

Politechnika Wroclawska

Wydział Podstawowych Problemów  
Techniki

Katedra Fizyki Teoretycznej

Wybrzeże Wyspiańskiego 27  
50-370 Wroclaw

T: +48 71 320 25 79  
F: +48 71 328 36 96

wppt.kft@pwr.edu.pl  
www.kft.pwr.edu.pl  
www.pwr.edu.pl

REGON: 000001614  
NIP: 896-000-58-51  
Bank Zachodni WBK S.A.  
37 1090 2402 0000 0006 1000 0434



rozprawa, jakie są główne cele i pytania badawcze oraz struktura rozprawy. Kolejna część wstępu zawiera opis pojęć i koncepcji, np. laplasjan grafu, prawdopodobieństwo kaskady itd., które pojawiają się we właściwej części rozprawy.

Drugi rozdział dotyczy detekcji ukrytych struktur na bazie obserwacji procesów dynamicznych zachodzących na sieciach, w szczególności procesu rozprzestrzeniania (wirusa, plotki, itd.) opisanego przez model SI (susceptible-infected). Głównym celem tej części rozprawy było znalezienie odpowiedzi na następujące pytania: (1) Czy możemy stwierdzić na podstawie zaobserwowanej kaskady (lub wielu kaskad), związanej z jakimś procesem rozprzestrzeniania w sieci (może to być rozprzestrzenianie się wirusa, informacji, itd.), że istnieją pewne ukryte kanały komunikacji? (2) Jeśli odpowiedź na pierwsze z pytań jest twierdząca, to czy jest szansa na odtworzenie tych ukrytych połączeń? Zaproponowane podejście, które opiera się na istnieniu dla modelu SI dokładnego wzoru na prawdopodobieństwa zaobserwowanej kaskady przy znajomości struktury układu, było testowane zarówno z użyciem sztucznych sieci zbudowanych w oparciu o sieć BA (Barabasi-Albert), jak i sieci rzeczywiste. Wyniki przedstawione w rozdziale drugim zostały opublikowane w pracy Gajewski, i inni (2021) Detecting Hidden Layers from Spreading Dynamics on Complex Networks, Phys. Rev. E 104(2), 024309. Wydaje mi się, że ta część pracy ma największy potencjał aplikacyjny, ponieważ istnienie ukrytych struktur może mieć olbrzymi wpływ na wiele zjawisk, jak chociażby na rozprzestrzenianie się epidemii, fałszywych informacji, dyfuzji innowacji i wielu innych.

Rozdział trzeci bazuje na pracy Gajewski, i inni (2021) Discovering hidden layers in quantum graphs, Phys. Rev. E 104(3), 034311. Zaproponowano tu metodę polegającą na obserwacji rozprzestrzeniania się fal w grafach kwantowych. Ten rozdział, jak również praca na której bazuje, jest najbardziej zaawansowaną teoretycznie i jednocześnie najbardziej nowatorską częścią rozprawy. Wprawdzie historia grafów kwantowych jest już stosunkowo długa, ale nie jest to typ grafów zbyt często rozważanych w kontekście interdyscyplinarnych układów złożonych. Ja osobiście spotkałam się po raz pierwszy z pojęciem grafu kwantowego właśnie czytając tą rozprawę. Graf kwantowy jest takim szczególnym typem grafu metrycznego, czyli takiego w którym każda z krawędzi ma pewną długość, w którym z każdą krawędzią związane jest równanie różniczkowe. Pytanie, podobnie jak w poprzednim rozdziale, dotyczy możliwości detekcji ukrytych warstw w takim grafie. W tym rozdziale użyty



HR EXCELLENCE IN RESEARCH

Politechnika Wroclawska

Wydział Podstawowych Problemów Techniki

Katedra Fizyki Teoretycznej

Wybrzeże Wyspiańskiego 27  
50-370 Wrocław

T: +48 71 320 25 79  
F: +48 71 328 36 96

wppt.kft@pwr.edu.pl  
www.kft.pwr.edu.pl  
www.pwr.edu.pl

REGON: 000001614  
NIP: 896-000-58-51  
Bank Zachodni WBK S.A.  
37 1090 2402 0000 0006 1000 0434



został zarówno zaawansowany aparat matematyczny, jak i wiele metod z obszaru tzw. data science (w tym metody statystyczne, takie jak analiza głównych składowych oraz uczenie maszynowe). Zaproponowano zupełnie nową metodę detekcji warstw ukrytych w takim grafie, wykorzystującą dyskretną transformatę Fouriera zamiast modelu uczenia maszynowego.

W rozdziale czwartym, zdecydowanie najbliższym moim zainteresowaniom naukowym, zaproponowano modyfikację modelu dynamiki opinii, zaproponowanego przez Baumann i innych (2020), Chambers and Polarization Dynamics in Social Networks. Physical Review Letters 124. Oryginalny model zbudowany był na sieci jednowarstwowej w oparciu o dwie reguły. Pierwsza z nich, opisująca zjawisko homofilii, określała z jakim prawdopodobieństwem oddziałują agenci. Druga, jak zmienia się w czasie opinia pojedynczego agenta. Modyfikacja, wprowadzona w ramach recenzowanej pracy doktorskiej, polegała na pominięciu reguły homofilii, przy jednoczesnym wprowadzeniu drugiej warstwy. Model został rozwiązany w ramach przybliżenia średniego pola, co jak zwykle pozwoliło na zapisanie równań określających ewolucję średniej opinii. Analizowane było zachowanie układu w zależności od parametru określającego sprzężenie pomiędzy warstwami sieci. Jeśli sprzężenie było symetryczne ( $=1/2$ ) tzn. pierwsza warstwa wpływa na drugą tak samo jak druga na pierwszą, to możliwe były 4 fazy: neutralny konsensus, polaryzacja (komory echa), radykalizacja poglądów lub faza bistabilna. Model pozwala również na zbadanie przypadków, w których sprzężenie pomiędzy warstwami nie jest symetryczne i taka analiza również została przeprowadzona. W szczególności rozważono sytuację, w której pierwsza warstwa wpływa pozytywnie na drugą, a druga negatywnie na pierwszą. W takim wypadku mogą się w układzie pojawić cykle, co związane jest z bifurkacją Hopfa, taką samą jak np. w układzie drapieżca-ofiara. Analiza modelu została przeprowadzona bardzo rzetelnie, z wykorzystaniem metod i pojęć, zarówno z zakresu teorii przemian fazowych, jak i dynamiki nieliniowej. Natomiast wyniki, w szczególności dotyczące pojawiających się cykli, nie wydają mi się szczególnie zaskakujące, do czego wróć w kolejnej części mojej recenzji.

## Pytania i uwagi krytyczne

Moim zdaniem znacznie lepiej byłoby, gdyby rozprawa była po prostu cyklem trzech artykułów, opatrzonych autoreferatem oraz oświadczeniami współautorów o wykonanych zadaniach. Wówczas łatwiej byłoby ocenić co jest samodzielnym wkładem doktoranta w rozprawę. Wspominam o tym również



HR EXCELLENCE IN RESEARCH

Politechnika Wroclawska

Wydział Podstawowych Problemów Techniki

Katedra Fizyki Teoretycznej

Wybrzeże Wyspiańskiego 27  
50-370 Wrocław

T: +48 71 320 25 79  
F: +48 71 328 36 96

wppt.kft@pwr.edu.pl  
www.kft.pwr.edu.pl  
www.pwr.edu.pl

REGON: 000001614  
NIP: 896-000-58-51  
Bank Zachodni WBK S.A.  
37 1090 2402 0000 0006 1000 0434



dlatego, że niestety w kilku miejscach rozprawy znalazłam akapity dokładnie przepisane z istniejących prac. W szczególności akapity „We feel that our simplifications ...” ze strony 17, oraz „An unobserved layer of propagation ...” ze strony 36, są przepisane jeden do jeden z pracy Gajewski, i inni (2021) Detecting Hidden Layers from Spreading Dynamics on Complex Networks, Phys. Rev. E 104(2), 024309. Nie chcę jednak zarzucać doktorantowi autoplagiatu, a raczej pewną niefrasobliwość, której można było uniknąć decydując się na formę cyklu publikacji. Ponieważ doktorant jest pierwszym autorem, ze złamaniem szyku alfabetycznego, we wszystkich trzech publikacjach, zakładam że jego udział we wszystkich pracach był dominujący.

W rozdziale trzecim autor stawia trafne pytanie „Dlaczego grafy kwantowe?”. W odpowiedzi stwierdza, że istnieje wiele przykładów ich zastosowań, jednak nie podaje konkretnie żadnego z nich. Ponadto, zdaniem autora: „konsekwencje formalizmu matematycznego wydają się doskonale nadawać do celów modelowania propagacji informacji”. W związku z tym mam kilka pytań. Czy doktorant mógłby podać konkretny przykład zastosowania takiego grafu? Czemu odpowiadałyby równania różniczkowe związane z krawędziami? Która z konsekwencji formalizmu matematycznego jest uznawana przez doktoranta za szczególnie ważną i dlaczego akurat ta?

W rozdziale czwartym, w którym analizowany jest model dynamiki opinii na sieci dwupoziomowej, rozważono sytuację, w której pierwsza warstwa wpływa pozytywnie na drugą, a druga negatywnie na pierwszą. W takim wypadku mogą się w układzie pojawić cykle, co nie jest szczególnie dziwne i było już wcześniej obserwowane w literaturze, np. w przypadku populacji rozłożonej na dwóch oddziałujących wzajemnie grafach, np. w R. Apriasz i inni (2016) „The hunt opinion model—An agent based approach to recurring fashion cycles”, PloS one 11 (11), e0166323. Tu pojawia się moje pytanie – jaka jest różnica pomiędzy siecią dwupoziomową, a układem dwóch, wzajemnie oddziałujących sieci? Na ile wyniki otrzymane w pracy R. Apriasz i inni (2016) są podobne, a czym się różnią od wyników otrzymanych w ramach recenzowanej rozprawy.

## Konkluzja

Ze względu na wysoką jakość merytoryczną rozprawy, zarówno z punktu widzenia teorii układów złożonych, jak i szerokich interdyscyplinarnych zastosowań, pomimo kilku uwag krytycznych stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr. inż.



HR EXCELLENCE IN RESEARCH

Politechnika Wroclawska

Wydział Podstawowych Problemów Techniki

Katedra Fizyki Teoretycznej

Wybrzeże Wyspiańskiego 27  
50-370 Wrocław

T: +48 71 320 25 79  
F: +48 71 328 36 96

wppt.kft@pwr.edu.pl  
www.kft.pwr.edu.pl  
www.pwr.edu.pl

REGON: 000001614  
NIP: 896-000-58-51  
Bank Zachodni WBK S.A.  
37 1090 2402 0000 0006 1000 0434



# Politechnika Wroclawska

Katedra Fizyki Teoretycznej

Łukasza Gajewskiego z nadatkiem spełnia wymogi stawiane przez Ustawę tego typu rozprawom. Wnoszę zatem o dopuszczenie jej do kolejnych etapów przewodu doktorskiego. Ponadto, biorąc pod uwagę fakt, że rozprawa bazuje na trzech artykułach opublikowanych w Physical Review E (87 percentyl w kategorii Fizyka Statystyczna i Nieliniowa wg. bazy SCOPUS, 140 pkt wg. punktacji MEiN) i we wszystkich tych pracach doktorant jest wiodącym autorem, na co wskazuje kolejność ze złamaniem szyku alfabetycznego, wnioskuję o wyróżnienie rozprawy.



HR EXCELLENCE IN RESEARCH

Politechnika Wroclawska

Wydział Podstawowych Problemów  
Techniki

Katedra Fizyki Teoretycznej

Wybrzeże Wyspiańskiego 27  
50-370 Wrocław

T: +48 71 320 25 79  
F: +48 71 328 36 96

wppt.kft@pwr.edu.pl  
www.kft.pwr.edu.pl  
www.pwr.edu.pl

REGON: 000001614  
NIP: 896-000-58-51  
Bank Zachodni WBK S.A.  
37 1090 2402 0000 0006 1000 0434