

Poznań, 20.12.2019 r.

prof. dr hab. Adam Lipowski  
Wydział Fizyki  
Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. Arkadiusza Jędrzejewskiego  
„Out of equilibrium critical phenomena and phase transitions in dynamical spin models”**

Rozprawa doktorska mgr. Arkadiusza Jędrzejewskiego została zrealizowana na Wydziale Podstawowych Problemów Techniki Politechniki Wrocławskiej pod opieką prof. dr hab. Katarzyny Sznajd-Weron. Rozprawę stanowi 5 publikacji mgr. Jędrzejewskiego, które ukazały się drukiem w renomowanych czasopismach fizycznych. W publikacjach tych przedmiotem rozważań autora są własności dynamiczne interesującej, zwłaszcza w kontekście zastosowań socjofizycznych, klasy modeli  $q$ -spinowych.

W pierwszej z nich (*Pair approximation for the  $q$ -voter model with independence on complex networks*, Phys. Rev. E) autor opracował dwuwęzłowe przybliżenie pola średniego dla modelu  $q$ -wyborcy. W tej jednoautorskiej publikacji mgr Jędrzejewski zademonstrował dobre opanowanie warsztatu mechaniki statystycznej. Rozszerzył on dwuwęzłowe przybliżenie, które było zastosowane wcześniej do liniowego modelu wyborcy, na przypadek nieliniowy, w którym uwzględnia się jednocześnie stan  $q$  węzłów. Ponadto w modelu mgr. Jędrzejewskiego pewien procent węzłów przyjmuje swój stan losowo, bez uwzględnienia stanu sąsiadów. Autor wyznaczył równania pola średniego, przeanalizował ich ewolucję czasową oraz zbadał stan stacjonarny. W szczególności pokazał, że w zależności od parametru  $q$  przejścia fazowe w tym modelu mogą mieć charakter ciągły lub nieciągły oraz że w granicy dużej liczby koordynacyjnej, przewidywania przybliżenia dwuwęzłowego pokrywają się z przybliżeniem jednowęzłowym. Mgr Jędrzejewski wykonał również symulacje Monte Carlo tego modelu, co wymagało między innymi generacji sieci niejednorodnych, w tym tzw. sieci bezskalowych.

Druga publikacja wchodząca w skład rozprawy (*Person-situation debate revisited: Phase transitions with quenched and annealed disorders*, Entropy) to analiza modeli motywowanych pewnym dylematem psychologiczno-socjologicznym. W modelach tych agenty oprócz zachowań konformistycznych wykazują antykonformizm lub zachowanie losowe, określane przez autorów jako niezależne. Nie do końca rozumiem argumenty autorów zawarte w konkluzjach. Bazują one na utożsamieniu agentów z losowym zachowaniem z osobami określanymi potocznie jako niezależne. Opinia osoby niezależnej to często konsekwencja jej przekonań lub postawy i wydaje mi się, że jest ona dość stabilna (dlatego też osoby te cieszą się zwykle dużym szacunkiem, o czym wspomina się w publikacji). Losowa zmiana opinii, tak jak w modelu autorów, chyba niezupełnie odpowiada takiemu zachowaniu. Wydaje mi się, że zeloci, których opinia jest niezmienna



w czasie, być może bardziej odpowiedzialiby potocznie rozumianym osobom niezależnym. Moje wątpliwości nie podważają rzecz jasna wyników numerycznych i ciekawej ich analizy dokonanej przez mgr. Jędrzejewskiego.

W trzeciej publikacji (*Impact of memory on opinion dynamics*, Physica A) analizowany jest model, w którym zachowanie agentów (konformista lub niezależny) wiąże się z otrzymywaniem pewnych korzyści. Ponadto agent zachowuje w pamięci maksymalne wartości tych korzyści wiążące się z każdym rodzajem zachowania. W pracy pokazano, że jeżeli tzw. temperatura społeczna jest dostatecznie niska, to agenty zamrażają swoje zachowania i stają się permanentnymi konformistami lub niezależnymi. W wysokiej temperaturze agenty mogą ciągle zmieniać swoje zachowania i z równymi prawdopodobieństwami stać się konformistami lub niezależnymi. Również w tej pracy autorzy nawiązują do pytania o to, czy to sytuacja czy raczej osobowość wpływa na nasze zachowania. Podoba mi się koncepcja wyposażenia agentów w pamięć; jak zauważają autorzy, jest z pewnością wiele sposobów uwzględnienia wpływu pamięci na decyzje podejmowane przez agenty i jest to zapewne interesujący kierunek dalszych badań. W pełni zgadzam się z tą opinią. Na przykład, analizowane są coraz częściej modele formowania się opinii społecznej, gdzie agenty wykorzystują tzw. uczenie z wymuszaniem, które bazuje na ich dość rozbudowanej pamięci i pewnych cechach kognitywnych. Postępy w obszarze uczenia maszynowego oraz sztucznej inteligencji mogą oznaczać, że tego rodzaju modelowanie może niedługo stać się wręcz kanonem w tej tematyce.

Czwarta publikacja (*Kinetic Ising models with various single-spin-flip dynamics on quenched and annealed random regular graphs*, Phys. Rev. E) analizuje wpływ dynamiki spinów na własności układu nierównowagowego. Jak wiadomo, w układach równowagowych każdy wybór dynamiki spinów, o ile spełnia warunki równowagi szczegółowej, odtwarza własności równowagowe układu, a co najwyżej może zmieniać się skala czasowa pewnych procesów. Układy nierównowagowe mogą być bardziej czułe na zmianę dynamiki i kilka takich przykładów przytoczonych jest w pracy mgr. Jędrzejewskiego. W szczególności autorzy pokazali, że model z dynamiką kąpieli cieplnej jest dość odporny na modyfikacje, które wytrącają go z klasy modeli równowagowych. Z kolei tzw. dynamika Metropolis'a wykazuje w tym względzie znacznie większą czułość. Wyniki tej pracy są cenne, gdyż pokazują, że modele nierównowagowe mogą istotnie różnić się od ich równowagowych analogów, nawet gdy różnice w sformułowaniu i regułach tych modeli są niewielkie. Z drugiej strony warto też zauważyć, że na przykład zachowanie krytyczne pewnych nierównowagowych modeli pokrywa się z jego równowagowym odpowiednikiem, co z kolei świadczy o uniwersalności zjawisk krytycznych i ich odporności (do pewnego stopnia) na nierównowagowe zaburzenia (np. A.L. et al. *Phase transitions in Ising models on directed networks*, Physical Review E).

Praca piąta (*Statistical Physics Of Opinion Formation: is it a SPOOF?*, C. R. Physique) ma charakter przeglądowy. Autorzy omawiają w niej głównie własne wcześniej otrzymane wyniki dotyczące modelu q-wyborcy oraz podkreślają ich związek z pewnymi zagadnieniami

socjologiczno-psychologicznymi. W pracy tej podkreślono rolę metod modelowania agentowego i ich interdyscyplinarne zastosowania. Autorzy zwracają również uwagę na różnice metodologiczne nauk fizycznych i społecznych oraz na trudności w komunikowaniu się uczonych z tych różnych obszarów badawczych. Uważam, że są to bardzo cenne uwagi, które pokazują, że mgr Jędrzejewski oprócz dobrego opanowania technicznych aspektów modelowania agentowego, potrafi również spojrzeć na swoją działalność naukową z szerszej perspektywy, a niekiedy odnieść się do niej dość krytycznie.

Nie mam innych uwag dotyczących rozprawy doktorskiej, poza komentarzem, że tytuł wydaje się sugerować analizę szerszej klasy modeli spinowych. Być może bardziej adekwatne byłoby ograniczenie się w tytule do „... dynamical q-spin models”. Rozprawa bazuje na cyklu publikacji autora, które ukazały się w renomowanych czasopismach fizycznych i przeszły w związku z tym drobiazgowy proces edytorski. Krótki wstęp, którym zostały one poprzedzone jest również napisany w bardzo staranny i przystępny sposób.

Pięć prac stanowiących rozprawę to tylko część dorobku naukowego mgr. Arkadiusza Jędrzejewskiego. Jego całkowity dorobek to 12 publikacji, które mają już łącznie ponad 50 cytowań (bez autocytowań, Scopus – grudzień 2019). Prace te w większości dotyczą modelowania układów socjofizycznych, ale trzy z nich dotyczą zastosowań modelowania agentowego w ekonomii, a w jednej publikacji autorzy analizują dyfrakcję spolaryzowanych fal elektromagnetycznych. Pokazuje to, że mgr Jędrzejewski z dobrym skutkiem angażuje się również w prace spoza swojego głównego nurtu badawczego. Należy ponadto zauważyć, że mgr Jędrzejewski posiada spore sukcesy w pozyskiwaniu środków na badania i jest kierownikiem dwóch grantów z NCN (Preludium, Etiuda).

W podsumowaniu stwierdzam, że przedstawiona mi do recenzji rozprawa doktorska spełnia wymagania ustawowe i zwyczajowe, i wnoszę o dopuszczenie mgr. Arkadiusza Jędrzejewskiego do dalszych etapów przewodu doktorskiego. Biorąc pod uwagę jego obszerny i znaczący dorobek publikacyjny, który znalazł już uznanie wśród innych uczonych, oraz szerokie zainteresowania naukowe mgr. Arkadiusza Jędrzejewskiego, wnoszę o wyróżnienie rozprawy.



Prof. dr hab. Adam Lipowski

