

dr hab. Piotr Szymczak
Instytut Fizyki Teoretycznej, Wydział Fizyki UW
ul. Hoża 69, 00-681 Warszawa

**Ocena osiągnięć naukowych, dydaktycznych i organizacyjnych
w związku z postępowaniem habilitacyjnym
dr Agaty Fronczak**

1. Sylwetka habilitantki

Dr Agata Fronczak ukończyła w 1999 roku studia magisterskie na Wydziale Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej Politechniki Warszawskiej i rozpoczęła studia doktoranckie na Wydziale Fizyki Politechniki Warszawskiej. W 2004 roku obroniła pracę doktorską pt. „*Strukturalne i krytyczne własności sieci ewoluujących i grafów przypadkowych*”, wykonaną pod kierunkiem prof. dr hab. Janusza Hołysta. Po doktoracie dr A. Fronczak podjęła pracę na Wydziale Fizyki Politechniki Warszawskiej jako adiunkt, najpierw w Pracowni Dynamiki Nieliniowej Układów Złożonych, a następnie w Zakładzie Fizyki Układów Złożonych Wydziału Fizyki PW. Już w czasie studiów magisterskich i doktorskich Pani Agata Fronczak odbyła kilka krótkookresowych staży zagranicznych na uniwersytetach takich jak Uniwersytet we Florencji, Politechnika Drezdeńska czy Uniwersytet w Kolonii. Właśnie ten ostatni staż, w grupie badawczej prof. Dietricha Stauffera, zaowocował zainteresowaniem habilitantki tematyką sieci złożonych, która stała się odtąd jednym z podstawowych obszarów jej aktywności naukowej.

2. Działalność naukowa

Działalność naukowa dr Agaty Fronczak obejmuje *interdyscyplinarne zastosowania fizyki statystycznej*, zwłaszcza w kontekście opisu układów złożonych. W okresie od studiów magisterskich do obrony doktoratu przedmiotem jej opublikowanych badań były między innymi: badanie zjawiska perkolacji na sieciach regularnych, również w kontekście kolektywnych bankructw w sieciach bankowych oraz analiza własności sieci ewoluujących oraz grafów przypadkowych. Spośród powstałych w tym okresie prac recenzentowi szczególnie interesujące wydają się: publikacja [C3], poświęcona analizie własności krytycznych modelu Isinga zdefiniowanego na sieci Barabasiiego-Alberta, prace [C6-C7] poświęcone analizie współczynników gronowania w sieciach Barabasiiego-Alberta oraz praca [C9], w której wyprowadzone jest wyrażenie na średnią drogę w sieciach przypadkowych o zadanym rozkładzie stopni węzłów. Warto podkreślić, że publikacje dr Fronczak sprzed uzyskania stopnia doktora odbiły się szerokim echem w środowisku naukowym (w sumie ponad 300 cytowań), co świadczy o tym, że stosunkowo szybko stała się ona rozpoznawalnym na świecie ekspertem w swojej dziedzinie.

Tematyka sieci złożonych zajmuje bardzo ważne miejsce w publikacjach dr Fronczak również po doktoracie, choć w centrum jej zainteresowania znajdują się teraz sieci równowagowe. Publikacje po doktoracie nie będące częścią prezentowanego osiągnięcia naukowego zwracają uwagę swoją różnorodnością (co nie powinno dziwić, zważywszy że autorka bada układy złożone): oprócz szeregu prac analizujących własności sieci bezskalowych i grafów przypadkowych znajdziemy tu też prace poświęcone modelowaniu produktywności naukowców, mikroskopowej interpretacji niedebyowskiego mechanizmu relaksacji w procesie przekazu ciepła czy użyciu cieczy magnetycznej jako modelu wpływu społecznego. Na recenzencie szczególnie wrażenie zrobiła praca [B10], poświęcona błędzeniu przypadkowemu z dryfem na sieciach złożonych. W pracy tej autorzy rozpatrywali błędzenie przypadkowe na przypadkowych, nieskorelowanych sieciach z zadanym rozkładem stopni wierzchołków. Dryf w błędzeniu przypadkowym narzucany był poprzez wprowadzenie preferencyjnego prawdopodobieństwa przejścia pomiędzy węzłami. Udało im się wyprowadzić m.in. analityczne wyrażenie na stacjonarne prawdopodobieństwo obsadzenia węzłów oraz średnie czasy pierwszego przejścia między węzłami. Przeanalizowali też – zarówno analitycznie, jak i numerycznie – proces przeszukiwania cyklicznego sieci. Taka synergia między symulacjami numerycznymi oraz podejściem analitycznym jest widoczna w

wielu pracach dr Fronczak, co pozwala jej na pogłębioną analizę uzyskanych wyników. Warto podkreślić, że dr Fronczak nie obawia się podejmowania żmudnych i ambitnych rachunków analitycznych, które często doprowadzają do wyników niemożliwych do uzyskania na drodze numerycznej. Jest to w opinii recenzenta umiejętność zanikająca i tym bardziej godna uznania.

Podsumowując, zbiór prac dr A. Fronczak po doktoracie zawiera 19 publikacji, wszystkie w czasopiśmie z listy filadelfijskiej, w tym w czołowych periodykach w swej dziedzinie. Prace te, cytowane już ponad 150 razy (a łącznie z pracami sprzed doktoratu – prawie 500 razy) przez innych badaczy wnoszą nowe wartości do wiedzy o własnościach układów złożonych. Dr Fronczak wygłosiła też szereg referatów podczas warsztatów i konferencji naukowych, co wskazuje, że jest rozpoznawana jako specjalistka w swojej dziedzinie. Była też kierownikiem projektu Pomost FNP oraz kilku lokalnych projektów na Politechnice Warszawskiej oraz głównym wykonawcą i wykonawcą w ośmiu innych projektach.

Dr Agata Fronczak była też wielokrotnie wyróżniana za swe osiągnięcia naukowe, m.in. stypendium START Fundacji Nauki Polskiej dla młodych naukowców (2005) oraz Stypendium Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego dla Wybitnych Młodych Naukowców (2010). Była też trzykrotnie wspólnagrodzona (w ramach zespołu) Nagrodą II stopnia Rektora Politechniki Warszawskiej za cykle publikacji naukowych poświęconych badaniom układów złożonych.

Podsumowując, nie ulega wątpliwości, że Habilitantka wykazuje się istotną aktywnością naukową i dorobek naukowy, który uzyskała, jest znaczący w świetle kryteriów oceny ujętych w rozporządzeniu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 1 września 2011 r. (Dz. U. Nr 196, poz. 1165).

3. Działalność dydaktyczna i popularyzatorska.

Jako pracownik naukowo-dydaktyczny dr Agata Fronczak prowadziła na Wydziale Fizyki Politechniki Warszawskiej szereg zajęć, w tym wykłady z: fizyki statystycznej, fizyki ogólnej, wstępu do fizyki czy fizyki sieci złożonych. Prowadziła też wykłady popularno-naukowe w szkołach i dla laureatów olimpiady fizycznej. Wreszcie, brała udział w tworzeniu multimedialnego środowiska nauczania fizyki na Politechnice Warszawskiej (<http://efizyka.pw.edu.pl>), przygotowując tam cztery multimedialne cykle wykładów.

Dr Agata Fronczak była opiekunem aż pięciu prac magisterskich i dwóch prac inżynierskich realizowanych na Wydziale Fizyki PW, współopiekuje się też trzema doktorantami. Jest też autorką (bądź współautorką) dwóch książek: „Świat sieci złożonych. Od fizyki do Internetu” oraz „Zadania i problemy z rozwiązaniami z termodynamiki i fizyki statystycznej”, które zostały wyróżnione Nagrodą Rektora PW II stopnia w 2007 i 2010.

Doświadczenie dr Fronczak w pracy dydaktycznej jednoznacznie potwierdza jej przygotowanie do samodzielnej pracy dydaktycznej i kierowania młodszą kadrą naukowo-dydaktyczną. Działalność dydaktyczna i popularyzatorska Habilitantki świadczy o tym, że praca jest również jej pasją, stąd chęć (i potrzeba) przekazywania tej pasji innym.

4. Publikacje wchodzące w skład osiągnięcia naukowego

Jako osiągnięcie naukowe będące podstawą wniosku o przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego dr Agata Fronczak przedstawiła cykl 9 prac, które ukazały się w dobrych periodykach, głównie Physical Review E. Prace te poświęcone są równowagowym własnościom sieci złożonych [A1-3, A5, A8], potęgowej skalowaniu fluktuacji (prawo Taylora) w układach złożonych (praca [A4]) oraz kombinatorycznym metodom badania gęstości stanów (prace [A6, 7 i 9]).

Warto podkreślić, że zwłaszcza te dwa ostatnie tematy w istotny sposób wykraczają tematycznie poza obszar fizyki sieci złożonych, który Habilitantka eksplorowała zarówno w okresie swoich studiów doktoranckich, jak i po ich zakończeniu. W pracach dotyczących tych tematów nie brał też udziału prof. Janusz Hołyst, promotor doktoratu Habilitantki. Widać zatem, że dr Fronczak udało się znaleźć swój własny obszar zainteresowań naukowych, który intensywnie eksploruje – to dobry wyznacznik prawdziwej dojrzałości naukowej.

Każda z 9 publikacji habilitacyjnych odzwierciedla wyraźnie wkład Autorki w rozwój badań w tej dziedzinie, które można następująco zilustrować na kilku przykładach. Zacznę od najistotniejszej – jak mi się wydaje – pracy [A4], dotyczącej prób wyjaśnienia prawa Taylora (mówiącego, iż w wielu układach złożonych fluktuacje pewnego parametru ekstensywnego N zależą potęgowo od wartości średniej tego parametru, $\langle N \rangle^b$). Skalowanie takie obserwowane jest w bardzo wielu układach – poczynając od populacji różnych gatunków ptaków czy larw szkodników (gdzie za N może służyć np. liczebność populacji), poprzez notowania indeksów giełdowych, intensywność ruchu ulicznego czy rozkład fragmentów nukleotydów w genomie. Ze względu na niepoissonowski charakter tego prawa (dla $b > 1$) ugruntował się pogląd, że

wykazujące go układy złożone nie są poprawnie opisywane przez klasyczną fizykę statystyczną. Dr Agata Fronczak wraz z dr. Piotrem Fronczakiem pokazują jednak, że fluktuacje taylorowskie są spójne z opisem termodynamicznym pod warunkiem, że gęstość stanów w układzie ma pewną specyficzną postać. Czy oznacza to, że autorom udało się wytłumaczyć powszechność występowania prawa Taylora w różnorodnych układach, jak sugerują w abstrakcie pracy [A4]? Nie jestem co do tego przekonany, wydaje mi się raczej, że pytanie o powszechność układów z taylorowskim skalowaniem fluktuacji zostało zastąpione pytaniem o powszechność występowania układów z taką, a nie inną gęstością stanów, która gwarantuje spełnienie prawa Taylora. Nie ulega jednak wątpliwości, iż pokazanie, że prawo Taylora jest spójne z klasyczną termodynamiką jest dużym osiągnięciem ww. pracy. Swoją drogą ciekawe wydaje się też pytanie, czy możliwość termodynamicznego pochodzenia prawa Taylora (przy założeniu odpowiedniej gęstości stanów) oznacza, że układy, w których ono występuje, powinny być prawidłowo opisywane przez klasyczną termodynamikę. Wydaje się, że – jak zauważyli Kendal i Jørgensen w pracy [PRE 83, 066115 (2011)], będącej niejako odpowiedzią na pracę [C4] – w przypadku niektórych układów konkluzja taka byłaby trudna do zaakceptowania. Nie wszędzie bowiem daje się wprowadzić w przekonujący sposób koncept temperatury bądź pola zewnętrznego. Trudności te wzrastają jeszcze bardziej w przypadku układów nierównowagowych (co pokazują np. kontrowersje dotyczące pojęcia temperatury w dynamice materiałów ziarnistych). Przyznać jednak należy, że choć Kendal i Jørgensen krytykują podejście pracy [A4] ze względu na nie zawsze uprawnione, w ich odczuciu, stosowanie formalizmu termodynamicznego, to alternatywny formalizm zaproponowany przez tychże autorów nie prowadzi w zasadzie do żadnych dodatkowych wyników poza tymi, które uzyskali A. i P. Fronczakowie.

Kombinatoryczne podejście do badania gęstości stanów zostało następnie użyte przez Habilitantkę do analizy klasycznych problemów fizyki statystycznej stanów równowagi – w pracy [A6] uzyskała ona nową, mikroskopową interpretację wielkiego potencjału termodynamicznego jako wykładniczej funkcji generującej opisującej wewnątrz stany nieoddziałujących klastrów. Następnie, w pracy [A7] formalizm opracowany w [A6] zastosowano do opisu jednowymiarowego gazu sieciowego z oddziaływaniami między najbliższymi sąsiadami. W szczególności, w pracy tej wyprowadzono rozkład prawdopodobieństwa liczby klastrów w obszarze małych gęstości oraz zbadano nieanalityczne zachowanie wielkiego potencjału termodynamicznego dla zerowej temperatury związane z występowaniem przejścia fazowego, pokazując jak nieanalityczność ta wiąże się z

własnościami klastrow dla tego układu. Wreszcie, w pracy [A9] uzyskano ścisły wzór na współczynniki niskotemperaturowego rozwinięcia sumy statystycznej dla modeli sieciowych.

Wśród prac związanych z równowagowymi własnościami sieci przypadkowych najciekawsze i najbardziej nowatorskie recenzentowi wydają się prace [A2] i [A5], w których wprowadzono twierdzenia fluktuacyjno-dyssypacyjne dla wybranych zespołów sieci, które pozwoliły powiązać fluktuacje własności sieci (względem ansamblu o zadanych własnościach) z ich podatnością na zewnętrzne zaburzenia. Szczególnie intrygująca wydaje się konstatacja Autorów, że bezskalowa struktura wielu rzeczywistych sieci może być wynikiem samoorganizacji struktur składowych sieci w układy wykazujące minimalną podatność na czynniki zewnętrzne. Takimi układami okazują się być rzadkie sieci z niewielką liczbą centrów (hubów) połączonych z dużą liczbą węzłów. W pracy [A5] podejście to zostało użyte do analizy sieci międzynarodowej wymiany handlowej, dla której odpowiednie twierdzenie fluktuacyjne pokazuje, w jaki sposób zmiana PKB handlujących państw przekłada się na fluktuacje bilateralnej wymiany handlowej między tymi państwami. Relacja ta, jak pokazują autorzy pracy [A5], znajduje pełne potwierdzenie w danych ekonomicznych.

Powyższe przykłady świadczą nie tylko o podejmowaniu (i rozwiązywaniu) przez dr Fronczak istotnych problemów naukowych, ale też o bardzo twórczym, w opinii recenzenta, podejściu Habilitantki do atakowanych problemów – za pomocą połączenia metod analitycznych, symulacji numerycznych oraz analizy danych z rzeczywistych układów. Ta właśnie cecha sprawia, że wyniki uzyskiwane przez dr Fronczak nie są tylko ciekawostkami teoretycznymi, ale pozwalają na zrozumienie własności konkretnych układów; i to nie tylko nie tylko układów fizycznych, ale i ekonomicznych, społecznych czy biologicznych.

Nie mam wątpliwości, że przedstawione osiągnięcie naukowe dr Agaty Fronczak wnosi znaczny i cenny wkład w rozwój fizyki statystycznej i teorii układów złożonych.

5. Ocena końcowa

W oparciu o analizę bogatego dorobku naukowego i działalności dydaktycznej dr Agaty Fronczak, a także przedstawionego cyklu prac wnoszącego znaczny wkład w rozwój fizyki statystycznej układów złożonych stwierdzam, że kwalifikacje te spełniają zarówno warunki zwyczajowe, jak i te stawiane przez Ustawę o stopniach i tytule naukowym kandydatom do stopnia doktora habilitowanego. Biorąc pod uwagę wartościowy dorobek

naukowy dr Fronczak oraz nowatorstwo prowadzonych przez nią badań, równocześnie zgłaszam wniosek o wyróżnienie osiągnięcia i dorobku naukowego Habilitantki.

Warszawa, 20 czerwca 2014

P. Szymoch.