

dr hab. inż. Krzysztof Malarz, prof. AGH
Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie
Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej
Katedra Informatyki Stosowanej i Fizyki Komputerowej
Zespół Układów Złożonych

Kraków, 1 października 2021

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. inż. Michała Łepka

Przedstawiona mi do recenzji rozprawa doktorska mgr. inż. Michała Łepka za-tytułowana „Zjawiska koagulacji w wybranych układach złożonych” powstała pod opieką dr. hab. inż. Piotra Fronczaka, prof. PW, na Wydziale Fizyki Politechniki Warszawskiej. Badania były współfinansowane z grantu badawczego Narodowego Centrum Nauki uzyskanego przez dr. hab. inż. Agatę Fronczak, prof. PW, w ramach konkursu Sonata Bis oraz zostały opublikowane w czterech artykułach w czasopi-smach o światowej cyrkulacji, tym tak prestiżowych jak *Physica D* czy *Physical Review E*:

- M. Łepka, P. Kukliński, A. Fronczak, P. Fronczak, *Exact combinatorial ap-proach to finite coagulating systems through recursive equations*, Reports on Mathematical Physics **84** (1), 117–130 (2019);
- A. Fronczak, M. Łepka, P. Kukliński, P. Fronczak, *Coagulation with pro-duct kernel and arbitrary initial conditions: Exact kinetics within the Marcus–Lushnikov framework*, Physical Review E **99**, 012104 (2019);
- M. Łepka, A. Fronczak, P. Fronczak, *Combinatorial solutions to coagulation kernel for linear chains*, Physica D: Nonlinear Phenomena **415**, 132756 (2021);
- M. Łepka, A. Fronczak, P. Fronczak, *Coalesce with arbitrary-parameter kernels and monodisperse initial conditions: A study within combinatorial framework*, Reports on Mathematical Physics **88** (1), 89–113 (2021).

W trzech z tych czterech prac Autor dysertacji jest pierwszym autorem co może wskazywać na jego wiodącą rolę w przygotowaniu tych publikacji.

Pracę poświęcono opisowi ewolucji zamkniętego układu klastrów łączących się nieodwracalnie w wyniku oddziaływań dwuciałowych dla różnych jąder koagulacji. Wykorzystywanym w tym celu narzędziem badawczym była zarówno symulacja kom-puterowa jak i rachunki analityczne oparte na kombinatoryce, ponownie wspomagane numerycznie w efektywnym wyznaczeniu pewnych wartości liczbowych.

Praca liczy dziewięćdziesiąt osiem stron i została strukturalnie podzielona na sześć rozdziałów. Ich układ jest typowy dla tego typu prac: ze wstępem, wprowadze-niem teoretycznym, dyskusją uzyskanych wyników, opisem zagadnień numerycznych

oraz podsumowaniem. Prace kończą dwa dodatki matematyczne oraz ponad stu elementowy spis bibliografii.

W rozdziale pierwszym, wprowadzającym w tematykę pracy, na stronie czternastej zakreślono też główne cele pracy, którymi są:

- zastosowanie ogólnych równań rekurencyjnych do opisu współczynników agregacji;
- zastosowanie powyższego formalizmu do opisu procesu koagulacji dla nietrywialnych form jąder koagulacji;
- oraz opis przygotowanego środowiska programistycznego dedykowanego realizacji powyższego celu.

W tym samym rozdziale:

- opisano ewolucję zamkniętego układu klastrów łączących się nieodwracalnie w wyniku oddziaływań dwuklastrowych (proces koagulacji);
- opisano wykorzystywane metody badawcze;
- przedstawiono podejścia analityczne do problemu koagulacji;
- przedstawiono układ rozprawy
- i przedstawiono używaną nomenklaturę.

Tytuł rozdziału drugiego „Podejście kombinatoryczne do układów koagulujących” precyzyjnie odzwierciedla jego zawartość. Znakomitą jego część poświęcono opisowi formalizmu matematycznego wykorzystywanego w pracy, w tym charakterystykę wielomianów Bella opisujących stan układu k klastrów utworzonych z N rozróżnialnych monomerów, przy założeniu, że klastr o zadanym rozkładzie może przebywać w jednym z x_g dostępnych stanów.

W rozdziale wyprowadzono ogólne wyrażenie na średnią liczbę klastrów danego rozmiaru w określonej chwili ewolucji (to jest, po określonej liczbie aktów łączenia się klastrów) oraz przepis na rekurencyjne wyznaczanie liczby x_g możliwych sposobów tworzenia klastra o rozmiarze g .

W rozdziale trzecim Autor skupił się na analizie wyników dla wybranych jąder koagulacji, w tym jądra stałego, addytywnego i multiplikatywnego, iloczynowego, elektroleologicznego, jądra będącego kombinacją liniową jądra stałego i addytywnego, typu $(i + j)^2 / (ij)$ oraz typu $[1 + 1 / (i + j)]$, gdzie i i j są rozmiarami oddziałujących (koagulujących) klastrów. Przedstawione wyniki analityczne zostały zweryfikowane wynikami bezpośrednich symulacji numerycznych.

W rozdziale czwartym Autor analizuje jądro iloczynowe w podejściu Marcusa-Łusznikowa uwzględniając dowolne warunki początkowe. Podejście to pozwala na odejście od homogenicznych warunków początkowych i wprowadzenie na starcie mieszaniny, na przykład: monomerów i dimerów.

Rozdział piąty poświęcono efektywnym czasowo technikom numerycznym znajdowania wielomianów Bella z dowolną precyzją. Przygotowane oprogramowanie w środowisku C++ zostało udostępnione w repozytorium *github*.

Pracę kończy podsumowanie oraz dwa dodatki matematyczne, jeden poświęcony wielomianom Bella a drugi metodzie inwersji Lagrange'a.

Ponieważ zawartość merytoryczna pracy została już oceniona przez recenzentów czasopism, w których opublikowano przedstawiony w niej materiał, nie ma potrzeby ponownego dogłębnego i szczegółowego powtórnego analizowania poprawności przedstawionych wywodów. Z obowiązku recenzenta dopytam jednak, czy np. przejście z równania (2.39) do (2.40) dość nonszalancko określone jako „mnożenie obu stron przez $\sum_{g=1}^{\infty} z^g$ ”, któremu jednak towarzyszy następnie przestawienie znaku sumy przed wyrażenia zawierające indeks sumacyjny nie wymaga staranniejszego komentarza? Podobny skrót towarzyszy przejściu z równania (3.49) do (3.50). Mógłbym też utyskiwać, że stała A pojawia się w równaniu (2.49) jako parametr rozwiązania równania (2.48) bez żadnego komentarza, choćby symbolicznego „gdzie $A \in \mathbb{R}$ ” i ta sama niedogodność spotyka czytelnika przy stałej C z równania (3.60).

Zaintrygowała mnie również uwaga (ze strony jedenastej pracy) wiążąca proces koagulacji ze zjawiskami perkolacji w grafach przypadkowych i sieciach złożonych, zwłaszcza w kontekście przywołanych tam odnośników bibliograficznych [18–22] odnoszących się do tzw. procesu Achlioptasa. Proces ten mógłbym sobie wyobrazić jako odbywający się z jądrem koagulacji z wyjątkowo nieliniową zależnością typu $K(i, j) \propto f(\min(i), \min(j))$, gdzie f mogłoby być funkcją określona jako suma bądź iloczyn argumentów. Wówczas, proces koagulacji byłby maksymalnie spowolniony i frakcja merów o najmniejszym rozmiarze byłaby eliminowaną w pierwszej kolejności (najpierw łączenie się monomerów, potem łączenie się dimerów, etc.). Czy w przypadku takiego jądra koagulacji możliwe jest nadal poprowadzenie rachunków analitycznych z wykorzystaniem stosowanej w pracy techniki opartej na wielomianach Bella? I chciałbym przy najbliższej nadarzającej się okazji usłyszeć opinię Kandydata do stopnia doktora jak wyobraża sobie te analogie pomiędzy zjawiskami koagulacji a perkolacji.

Praca napisana jest bardzo ładną polszczyzną, jej układ jest przemyślany, przedstawiane wnioski są logicznie wyciągane z uzyskanych i klarownie prezentowanych wyników a edytorsko praca mogłaby być stawiana za wzór innym kandydatom do stopnia doktora.

Mimo usilnych starań nie udało mi się wyłuskać z pracy żadnych potknięć redakcyjnych. Mógłbym jedynie próbować się upierać, że w dysertacji tej rangi zamiast o *korkach w ruchu drogowym* powinno się pisać o *zatorach w ruchu drogowym* — by być zgodnym z nomenklaturą używaną przez rzecznika prasowego Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad. Staranność redakcyjną przy składzie manuskryptu pracy uważam za absolutnie wyjątkową.

Zgodnie z artykułem 187, punkt 1, ustawy „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” (Dz.U.2020.85) rozprawa doktorska powinna prezentować ogólną wiedzę teoretyczną kandydata do stopnia w dyscyplinie, w której stopień ma być nadany oraz jego umiejętność do samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Bez wątpienia przedstawiona praca spełnia oba te warunki.

Przedmiotem tej rozprawy doktorskiej jest (znów ustawowo dozwolone w artykule 187, punkcie 2) oryginalne rozwiązanie problemu naukowego postawionego jasno na czternastej stronie pracy. Na podkreślenie zasługuje fakt oparcia 75% pracy na publikacjach, których mgr inż. Michał Łepka jest pierwszym współautorem.

Zgodnie z artykułem 187, punkt 3, „rozprawę doktorską może stanowić praca pisemna, w tym monografia naukowa, zbiór opublikowanych i powiązanych tematycznie artykułów naukowych, praca projektowa, konstrukcyjna, technologiczna, wdrożeniowa lub artystyczna, a także samodzielna i wyodrębniona część pracy zbiorowej.” Przedstawiona praca ma formę pracy pisemnej. Być może (ale to pytanie chyba raczej do Promotora niż Doktoranta) pracy należało nadać formę zbioru opublikowanych i powiązanych tematycznie (czterech) artykułów naukowych, któremu towarzyszyłby zdecydowanie krótszy przewodnik. Szkoda, że właśnie na tę formę się tu nie zdecydowano. Wydaje mi się bowiem, że jedynym mankamentem obecnego stanu tej pracy jest trudne dla czytelnika odnalezienie i wyodrębnienie fragmentów będących pełnoprawnymi przecież zapożyczeniami z oryginalnie opublikowanych prac a fragmentami w pracach tych niewystępującymi. Problem ten udałoby się pewnie rozwiązać zdecydowanie mocniej podkreślając w pracy jaka część poszczególnych rozdziałów ma pochodzenie w przywołanych na wstępie czterech pracach, których mgr inż. Łepka jest współautorem.

Ciążący na Autorze obowiązek z artykułu 187, punkt 4, przygotowania streszczenia pracy w języku angielskim został dopełniony.

Reasumując, praca doktorska mgr. inż. Michała Łepka spełnia formalne i zwyczajowe wymogi dla tego typu prac i z pełnym przekonaniem rekomenduję Komisji Doktorskiej dopuszczenie jej Autora do dalszych czynności w prowadzonym przewodzie doktorskim.

