

Zielona Góra, 24 marca 2022r.

Recenzja rozprawy doktorskiej „Nonlinear coupled systems: effects of gain, loss and nonlocality” autorstwa mgr Aleksandra Ramaniuka

Rozprawa doktorska autorstwa Pana magistra Aleksandra Ramaniuka poświęcona jest tematyce związanej z zagadnieniami dotyczącymi sprzężonych układów nieliniowych. W szczególności Autor koncentruje się na badaniach (I) wzbudzanych kondensatów ekscytonowo-polarytonowych w formie pierścieni oraz (II) nematycznych ciekłych kryształów z uwzględnieniem nielokalnych nieliniowości typu Kerra. Zaprezentowane przez Autora dysertacji wyniki koncentrują się głównie wokół propagacji solitonów w omawianych modelach i ich opisu za pomocą nieliniowych równań Schrödingera oraz równań KdV (Korteweg-de Vries).

Przedstawiona, licząca około stu stron dysertacja składa się z siedmiu rozdziałów (w tym wprowadzenia i wniosków końcowych), anglojęzycznego streszczenia, spisów rysunków, tabel i publikacji Doktoranta, dwóch dodatków oraz obszernej liczącej 239 pozycji bibliografii. Jeśli idzie o tę ostatnią, to można znaleźć tam głównie odnośniki do oryginalnych artykułów związanych z tematyką rozprawy, w większości opublikowanych w wiodących czasopismach fizycznych. Należy nadmienić, że umieszczone tam zostały nie tylko najnowsze pozycje literatury światowej, ale też klasyczne i fundamentalne prace dotyczące omawianej w rozprawie tematyki – w tym pozycje opublikowane w końcu XIX-ego wieku. Co jest oczywiste, w spisie literatury znalazły się też pozycje, których współautorem jest mgr Aleksandr Ramaniuk. W pracach tych zaprezentowano wyniki Autora, które po rozszerzeniu zostały przedstawione w ocenianej dysertacji. Można stwierdzić, że uwzględnione w spisie literatury pozycje pokazują, że tematyka przedłożonej rozprawy jest ulokowana w głównym nurcie światowych badań dotyczących układów nieliniowych oraz solitonów. Jeśli idzie o wymienione w spisie publikacji Autora artykuły, to dwa z nich zostały opublikowane w czasopiśmie Symmetry-Basel i po jednym w Scientific Reports oraz Optics Express. Piąta z tych prac, wg informacji umieszczonych w dysertacji, jest w przygotowaniu. Chciałbym w tym miejscu podkreślić, że niniejsza recenzja dotyczy dysertacji a nie prac bezpośrednio z nią związanych.

Rozdziały I-IV mają charakter dydaktyczny i wprowadzają czytelnika do zagadnień, którym poświęcona jest dysertacja. Sam Autor rozprawy podkreśla, że jego zamiarem, obok przedstawienia

swoich oryginalnych wyników, było zaprezentowanie metod badawczych stosowanych przy opisie omawianych przez niego modeli nieliniowych. I tak, w rozdziale pierwszym, stanowiącym wstęp do dysertacji, Doktorant przedstawia czytelnikowi podstawowe zagadnienia związane z optyką nieliniową, nieliniowym równaniem Schrödingera (wspominając też o równaniach Grossa-Pitajewskiego i KdV) oraz wyjaśnia czym są solitony. Na koniec rozdziału Autor przedstawia też plan omawianej rozprawy.

Rozdział II został poświęcony solitonom skalarnym oraz wektorowym. Autor przedstawia czym one są oraz krótką analizę ich stabilności. Prezentuje też podstawowe informacje na temat całek ruchu rozwiązań nieliniowych równań Schrödingera.

W rozdziale trzecim Kandydat koncentruje się na prezentacji metod numerycznych służących do rozwiązywania równań opisujących sprzężone układy nieliniowe. Wspomina on o różnych grupach metod. W pierwszej kolejności przedstawia metody propagacyjne. Wymienia tu metody standardowo opisane w podręcznikach dotyczących metod numerycznych opartych o rachunek różnicowy. Są to algorytmy Newtona, Cranka-Nicholsona, Rungego-Kutty różnych rzędów. Następnie Autor wspomina metody: spektralną, podzielonego kroku Fouriera, metoda czasu urojonego, czy też gradientu sprzężonego Newtona.

Rozdział IV został poświęcony falowodom optycznym. Autor przedstawia tam przykładowe rozwiązania solitonowe dla różnych odmian falowodów. Można tu wymienić falowody planarne, oraz układy dwóch falowodów równoległych umieszczone jeden na drugim. W przypadku tych ostatnich, omawiane są przypadki gdy nieliniowe inkluzje są opisane jedną lub dwoma funkcjami typu delta Diraca, będącymi szczególnymi przypadkami funkcji Gaussa. W ostatniej części rozdziału omawiany jest dwuwymiarowy model falowodu. Doktorant przedstawia rozwiązania wykazujące się różnymi rodzajami symetrii oraz wskazuje na możliwość spontanicznego jej łamania.

Rozdział V jest pierwszym rozdziałem, w którym Autor przedstawia uzyskane przez niego wyniki. Omawia on układ dwóch kołowych kondensatów ekscytonowo-polarytonowych. Układ ten jest modelowany za pomocą rezonatorów w konfiguracji podwójnego pierścienia, w których istnieje oddziaływanie pomiędzy pierścieniami, pompowanie układu oraz straty energii w wyniku oddziaływania z otoczeniem. Dla takiego modelu Doktorant znalazł rozwiązania zarówno w przypadku sprzężenia jednorodnego jak i niejednorodnego. Dla sprzężeń jednorodnych Autor przeprowadził interesującą dyskusję wiążącą symetrię uzyskanych stanów z ich stabilnością. Uzyskane przez niego wyniki wskazują na jednoczesne istnienie łamania symetrii przestrzennej oraz symetrii pomiędzy kanałami dla stanów niejednorodnych. Ponadto, szczególnie interesujące jest przedstawione tam omówienie stanów dynamicznych w kontekście chaosu deterministycznego. W dalszej części rozdziału, Doktorant koncentruje się na sytuacji gdy sprzężenie jest niejednorodne i działa ono w pewnym ograniczonym obszarze (szerokim lub wąskim). Ciekawym wydaje się tu

wynik wskazujący na możliwość periodycznego tworzenia i zanikania ładunków topologicznych w obu kanałach. Również należy tu wspomnieć o zaprezentowanej przez Autora dyskusji dotyczącej przejść pomiędzy oscylacjami symetrycznymi a antysymetrycznymi. Wskazuje on tam na potencjalną możliwość sterowania tworzenia pożądaných stanów na pierścieniach za pomocą dodatkowej wiązki lasera.

Rozdział VI dotyczy ośrodków ciekłokrystalicznych typu nematycznego ora z propagacji w nich fal elektromagnetycznych. Autor modeluje zjawiska rozchodzenia się solitonów wektorowych w ośrodkach nematycznych, stosując jednowymiarowe równanie propagacji. By móc przeprowadzić obliczenia numeryczne, Autor stosuje przybliżania polegające na zaniedbaniu zależności wielkości $\Delta\epsilon\epsilon_0/K$ od temperatury (zakłada, że kąt orientacji dla nematyka zależy tylko od natężenia pola elektrycznego) oraz, że $\Delta\epsilon/n_0^2 \ll 1$. Dzięki nim wyprowadza równanie opisujące dynamikę omawianego przez niego nielokalnego modelu ciekłego kryształu. W rozdziale tym Doktorant koncentruje się głównie na tzw. supermodach czyli przestrzennych solitonach wielowierzchołkowych. Omawia przypadki solitonów pseudoskalarnych oraz wektorowych. Bada też stabilność propagujących solitonów, pokazując jednocześnie związek zakrzywienia ich trajektorii z pojawiającą się niestabilnością. Wskazuje też na możliwość spontanicznego zakrzywienia takich trajektorii jako rezultat łamania symetrii typu akcja-reakcja oraz, że takie zachowanie układu może zostać przewidziane poprzez sprawdzenie wzajemnego przesunięcia pomiędzy dwoma komponentami solitonów wektorowych. Co jest szczególnie wartościowe, Doktorant nie ogranicza się do przeprowadzenia rachunków numerycznych, ale przeprowadza też rozważania bazujące na obliczeniach analitycznych. Przy okazji tych ostatnich, podaje na przykład warunki pozwalające na otrzymanie stabilnych solitonów supermodowych.

Mogę stwierdzić, że przedstawione w dysertacji wyniki są interesujące i wartościowe. Mogą one zainteresować czytelników zajmujących się nie tylko różnymi aspektami problemów z dziedziny czystej fizyki, ale też związanych z zagadnieniami aplikacyjnymi. Właśnie ten fakt stanowi o znacznej wartości uzyskanych przez Doktoranta rezultatów. Uzyskując zaprezentowane w rozprawie wyniki mgr Aleksandr Ramaniuk pokazał, że potrafi zastosować do rozwiązywania postawionych przed nim problemów odpowiedni aparat matematyczny i obliczeniowy. Czyni to z dużą biegłością i nie tylko wycuciem stosowanych metod, ale też odpowiednią intuicją fizyczną. Jeśli idzie o tę ostatnią, to widać to szczególnie w przedstawionych w dysertacji dyskusjach i interpretacji uzyskanych wyników.

Z obowiązku recenzenta muszę jednak wspomnieć o drobnych niedociągnięciach jakie znalazłem w przedstawionej rozprawie. Chciałbym tu zwrócić uwagę na fakt, że Kandydat wymienia 5 swoich prac będących podstawą przedłożonej dysertacji oraz 6 innych artykułów, które, jak sam zaznacza, leżą poza tematyką rozprawy. Tymczasem, w spisie literatury znajdujemy cztery pozycje z pierwszej listy oraz jedną z drugiej. Jest to oczywiście drobna usterka, ale wprowadza ona

niedociągania podczas analizy dorobku Kandydata. Sugerowałbym też podawanie wszystkich autorów prac wieloautorских w spisie literatury. Rozumiem intencje Autora by w sposób zwarty przekazywać informacje, ale uważam, że styl pisanja dysertacji doktorskiej różni się od tego znanego z artykułów naukowych. Wspomniana skrótowość szczególnie jest widoczna w przypadku ostatniego rozdziału zawierającego konkluzję. Uważam, że w zaprezentowanej formie zupełnie nie spełnia swojego zadania. Moim zdaniem ta część pracy powinna być o wiele obszerniejsza i zawierać bardziej szczegółowe informacje dotyczące uzyskanych wyników i ich znaczenia w kontekście innych badań podstawowych oraz aplikacyjnych. Z pozostałych drobnych usterek chciałbym wspomnieć tytuł punktu 3.2.2., który brzmi „Newton Conjugate Method”, podczas gdy w tym miejscu omawiana jest metoda „Newton Conjugate Gradient (NCG)”, co widzimy już w pierwszym wierszu tekstu punktu.

Na koniec chciałbym by Doktorant wyjaśnił podczas obrony, z jakim tłumieniem mamy do czynienia w przedstawionych przez niego modelach. Czy są to przykładowo oddziaływania z otoczeniem o zerowej temperaturze, czy też temperaturze o niezerowej wartości. Chciałbym się też dowiedzieć jak Autor rozprawy widzi wprowadzenie takiego rozróżnienia w omawianych przez niego modelach. Ponadto, ponieważ brakuje mi takiej dyskusji w dysertacji, chciałbym usłyszeć od Kandydata jak widzi swoje obliczenia w kontekście formalizmu wykorzystującego hamiltoniany PT-symetryczne i jak można byłoby zaimplementować wspomniany formalizm do opisu układów dyskutowanych w rozprawie.

Podsumowując, mogę stwierdzić, że recenzowana rozprawa doktorska autorstwa Pana mgr. Aleksandra Ramaniuka spełnia w pełni wszystkie ustawowe oraz zwyczajowe wymagania stawiane takim dysertacjom. Przedstawione w niej wyniki są oryginalne i wartościowe z punktu widzenia przyszłych badań. W tym miejscu należy podkreślić, że przedstawione w dysertacji rezultaty zostały już opublikowane w czterech artykułach naukowych – ukazały się w czasopiśmie z tzw. *listy filadelfijskiej*. Ponadto, można stwierdzić, że sposób prezentacji i dyskusji uzyskanych przez Doktoranta rezultatów jest jasny i czytelny. Pokazał on, że potrafi z dużą skutecznością stosować opanowany przez niego warsztat badawczy, a także jasno zaprezentować oraz poprawnie zinterpretować otrzymane wyniki. Chciałbym też zaznaczyć, że wymienione w tej recenzji uwagi krytyczne w niczym nie umniejszają wagi prezentowanych w dysertacji rezultatów.

Na koniec z pełnym przekonaniem wnioskuję o dopuszczenie Doktoranta do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Wiesław Leoński