

Warszawa, dn. 18 marca 2022 r

dr hab. inż. Katarzyna A. Rutkowska, prof. uczelni
Wydział Fizyki Politechniki Warszawskiej
ul. Koszykowa 75
00-662 Warszawa

**Recenzja rozprawy doktorskiej pana magistra Aleksandra Ramaniuka
pt. *Nonlinear coupled systems: effects of gain, loss and nonlocality***

Głównym celem rozprawy doktorskiej pana mgr Aleksandra Ramaniuka jest zbadanie wpływu nielokalności, wzmocnienia i strat na efekty uzyskiwane w nieliniowych układach sprzężonych. Szczególną uwagę poświęcono układom optycznym opisywanym sprzężonymi nieliniowymi równaniami Schrödingera (ang. *Nonlinear Schrödinger Equations*, NLSE). Analizę tematu przeprowadzono na konkretnych przykładach takich systemów, opisując w pracy szczegółowo przypadki: (i) propagacji solitonów wektorowych w falowodach planarnych z wtrąceniami nieliniowymi, (ii) możliwości uzyskania różnych stanów kondensatu polarytonowego generowanego w sprzężonych mikrorezonatorach pierścieniowych, oraz (iii) propagacji solitonów przestrzennych (nematykonów) w optycznych układach ciekłokrystalicznych. **Dodatkowym celem** deklarowanym przez Doktoranta w streszczeniu pracy **było przedstawienie w sposób zwarty i przystępny różnych metod numerycznych i analitycznych służących badaniu efektów nieliniowych w układach sprzężonych.**

Rozprawa, w całości napisana w języku angielskim, **składa się** ze streszczenia, 7 rozdziałów (z pierwszym będącym wprowadzeniem i ostatnim stanowiącym bardzo krótkie podsumowanie całej pracy), 2 dodatków (zawierających odpowiednio wyprowadzenie zasad zachowania oraz opis metody gradientu sprzężonego Newtona dla sprzężonych NLSE stosowanych w pracy) oraz spisu referencji (obejmującego 239 pozycji literaturowych). Osobiście brakuje mi w tym opracowaniu streszczenia w języku polskim, które dość często pojawia się w rozprawach doktorskich pisanych w języku angielskim na uczelniach polskich (tym bardziej, że Doktorant w swoim CV określa znajomość języka polskiego na poziomie identycznym z poziomem znajomości języka angielskiego). **Istotnym elementem opracowania jest pojawiająca się na stronie xvii lista pięciu publikacji stanowiących podstawę rozprawy doktorskiej.** Na potrzeby niniejszej recenzji



pozwoiliam sobie oznaczyć i ponumerować tę listę jako [P1]÷[P5] i w ten sposób będzie ona przywoływana w dalszej części tego dokumentu. Należy podkreślić, że nie bez przyczyny pojawiło się tutaj moje stwierdzenie wskazujące na kluczową rolę, jaką wspomniana lista pełni w rozprawie doktorskiej pana Ramaniuka. Łatwo bowiem zauważyć, że **teksty i ilustracje z tych publikacji są zasadniczą, jeśli nie jedyną treścią zawartą odpowiednio w Rozdziałach 4-6**. Warto przy tym zaznaczyć, że te same publikacje znajdują się w spisie referencji (czasami z pominięciem współautorów w stosowanym zapisie). Osobiście wydaje mi się, że praca zyskałaby na czytelności, gdyby w rozdziałach zawierających wyniki analiz autor powoływał się w odnośnikach na publikacje z listy [P1]÷[P5] a nie do ogólnego spisu literaturowego. Co więcej, publikacja [P5], określona na stronie xvii rozprawy, jako w *przygotowaniu*, nie została najprawdopodobniej do tej pory opublikowana (nie znajduje się w dostępnych bazach publikacyjnych nawet pod zbliżonym tytułem).

Ponieważ praca została napisana w języku innym niż mój ojczysty, nie będę się w recenzji odnosić do poprawności w tym zakresie - mimo, że w rozprawie można byłoby wskazać kilka potknięć czy niezręczności językowych (są jednak one raczej marginalne). Myślę, że dużo ważniejsze jest wskazanie, że w moim odczuciu **praca jest napisana mało klarownie**. Mimo, że jej struktura jest zgodna ze standardami typowymi dla publikacji naukowych, to moim zdaniem nie do końca spełnia ona **oczekiwania stawiane pracom doktorskim przedstawianym w formie rozprawy** (tutaj w rozumieniu monografii). Trudno mi się zmierzyć z próbą oceny pracy od strony graficznej, czy staranności edytorskiej autora, ponieważ rysunki zostały zaczerpnięte z innych źródeł a aspekt edytorski sprowadzony jest w dużej mierze do przedstawienia i streszczenia tego, co zostało napisane w publikacjach [P1]÷[P5]. W zasadzie wszystkie wykresy i ilustracje znajdujące się w opracowaniu posiadają referencję do oryginalnych publikacji, z których pochodzą. Podczas czytania takiego dzieła jak rozprawa doktorska, należałoby spodziewać się pojawienia się w nim opracowań graficznych, dodatkowych wykresów i opracowań danych, które powstałyby wyłącznie na jego potrzeby i ułatwiałyby odbiór treści. Taka sytuacja nie ma jednak miejsca w recenzowanej pracy - jedynym wyjątkiem jest rysunek 2.1 (będący schematyczną ilustracją powszechnie znanej zależności), rysunek 6.4 (z oznaczeniami współrzędnych przestrzennych nie odpowiadającymi przyjętym w odpowiednich wzorach) jak również rysunki 6.10÷6.13, które najprawdopodobniej miały się znaleźć w pracy [P5] i tylko dlatego nie mają swoich odnośników do konkretnej publikacji. Nie jest mi również łatwo wypowiedzieć się na temat, czy układ rozprawy można uznać za logiczny i przejrzysty - można bowiem dopatrzeć się



pewnej logiki – tj. w każdym rozdziale streszczony jest inny artykuł (przy czym czasami w rozdziale będącym dokładnym odzwierciedleniem artykułu zmieniono kolejność referowanych treści i nie wiadomo, czy zabieg ten był intencjonalny, czy też nie), trudno jednak jednoznacznie stwierdzić, czy praca stanowi *de facto* całość, jakiej należało się spodziewać bazując na jej tytule.

Jak już wcześniej wspomniano, rozprawa doktorska pana Ramaniuka adresuje zagadnienia związane z określeniem wpływu nielokalności, wzmocnienia oraz innych parametrów na efekty uzyskiwane w nieliniowych układach sprzężonych. W **Rozdziale 1** znajduje się wstęp, w którym oprócz z grubsza nakreślonej motywacji (na ostatniej stronie niniejszego rozdziału) można znaleźć ogólne informacje na temat optyki nieliniowej i optycznych procesów nieliniowych, nieliniowego równania Schrödingera oraz solitonów. Rozdział ten zawiera także konspekt rozprawy (w postaci krótkiej zapowiedzi, co zostanie przedstawione w kolejnych rozdziałach). W trakcie czytania pracy, nie było dla mnie do końca jasne, jaka jest rola Rozdziałów 2 i 3 – czy są one tylko przedłużeniem ogólnego wstępu teoretycznego pracy, czy też stanowią znaczącą wartość z punktu widzenia wkładu własnego wniesionego przez Doktoranta. Z dużym prawdopodobieństwem można jednak przyjąć, że rolą **Rozdziału 2** jest zapoznanie czytelnika z teorią dotyczącą solitonów (w tym solitonów wektorowych) w sprzężonych układach nieliniowych (z uzupełnieniem o wyprowadzenie zasad zachowania zamieszczone w Dodatku 1). Z kolei **Rozdział 3** służyć ma ogólnemu przedstawieniu typowych metod wykorzystywanych do przeprowadzenia symulacji numerycznych w analizowanych układach (wraz z opisem metody gradientu sprzężonego Newtona zawartym w Dodatku 2). Sposób, w jaki zostały napisane wymienione rozdziały (które w moim rozumieniu stanowią wprowadzenie do właściwego tematu i zagadnienia pracy) przekłada się w dużej mierze na odbiór dalszych treści i na ocenę czytelnika na temat całej pracy. Osobiście spodziewałabym się wprowadzenia teoretycznego do danego tematu (Rozdział 1 odnosi się moim zdaniem do zbyt ogólnych treści z zakresu optyki nieliniowej) a następnie jego rozwinięcia czy uzasadnienia na podstawie treści kolejnych rozdziałów. Tak się jednak nie dzieje – każdy kolejny rozdział rozprawy rządzi się swoimi prawami, bez zachowania spójności (w tym np. spójności oznaczeń). Tak jak wspomniałam wcześniej, mam poczucie, że **Rozdziały 4-6** są jedynie przedstawieniem treści kolejnych artykułów, których pan magister Ramaniuk był autorem lub współautorem. Każdy z tych rozdziałów opisany jest niezależnie od pozostałych i zakończony jest swoistym (odrębnym) podsumowaniem (w postaci 3-4 zdań). Wyjątek w tym zakresie stanowi Rozdział 4, który nie zawiera wyróżnionej



sekcji podsumowania. W moim odczuciu czytelnik, który chciałby odpowiedzieć na pytanie (wynikające bezpośrednio z tytułu pracy) jaki może być (przykładowy) wpływ nielokalności lub niezachowawczości ośrodka na efekty nieliniowe w układach sprzężonych, nie zyskuje wiele więcej w porównaniu do sytuacji, w której przeczytałby artykuły [P1]–[P5]. Co więcej, w wielu przypadkach pełne zrozumienie treści rozprawy wymaga sięgnięcia do wspomnianych publikacji, co może być w niektórych przypadkach kłopotliwe. Brak opracowania jednego spójnego modelu teoretycznego na początku pracy, a potem jego konsekwentnego zastosowania w kolejnych rozdziałach prowadzi w kilku przypadkach do konfliktów oznaczeń i trudności w całościowym zrozumieniu tematu. Zauważone nieścisłości w tym względzie zostaną przedstawione szczegółowo podczas dalszego omawiania kolejnych rozdziałów. Sposób przedstawienia narzędzi numerycznych (w **Rozdziale 3**) nie pozwala moim zdaniem niestety na jednoznaczne potwierdzenie biegłości i fachowości Doktoranta w tym zakresie (ale oczywiście nie twierdzę, że tak jest). Początek opisu rzeczy ogólnie znanych (jak przykładowo rozróżnienie metod numerycznych na te wykorzystujące różnice skończone i transformatę Fouriera zostało opisane bardzo dokładnie, przy braku potrzeby szczegółowego opisanie dobrze znanej metody RK4, podczas, gdy dalsza część Rozdziału 3 – stanowiąca podstawowe osiągnięcie i wkład Doktoranta jest opisana niewspółmiernie i można mieć odczucie, że dość lakonicznie). Jeśli chodzi o wyprowadzenia zamieszczone w dodatku nie wiadomo, czy są one opracowaniem autorskim Doktoranta. Trudno wychwycić, czy zastosowane schematy numeryczne są typowe, czy Doktorant dopasowywał je na własne potrzeby. Czy przeprowadzane symulacje numeryczne prowadziły do jakichkolwiek optymalizacji – czy to od strony środowiska obliczeniowego, czy projektowanych/analizowanych/badanych układów fizycznych? Czy w przypadku konkretnego problemu stosowano jeden schemat numeryczny (czy porównywano wyniki uzyskiwane z wykorzystaniem różnych metod)? Czy symulacje numeryczne miały służyć określeniu ogólnych parametrów nieliniowych optycznych układów sprzężonych z ich przykładowymi realizacjami wskazanymi w kolejnych rozdziałach? Stawiając w tym miejscu te wszystkie pytania, mając jednocześnie przeświadczenie, że wkład Dyplomanta w stworzenie publikacji [P1]–[P5] polegał przede wszystkim na wykonaniu obliczeń numerycznych (tak zostało to określone w podziale obowiązków i kompetencji opisanych na końcu niektórych z publikacji zgodnie z polityką edycyjną czasopisma), uważam, że nadal nie mam przekonania co do tego, co było faktycznym celem i motywacją niniejszej rozprawy doktorskiej. Brakuje mi w niej jasnego postawienia tezy. Po przeczytaniu



rozprawy nie umiem odpowiedzieć sobie na pytanie, czy w pracy chodziło przede wszystkim o opracowanie spójnego modelu teoretycznego a następnie stworzenie niezawodnego, optymalnego i uniwersalnego środowiska obliczeniowego pozwalającego na uwzględnienie różnych aspektów (takich jak przykładowo nielokalność, wzmocnienie czy osłabienie) w trakcie przeprowadzania obliczeń numerycznych dla różnego typu sprzężonych układów nieliniowych. A może zasadniczym celem było porównanie wyników (w postaci różnych możliwych efektów i stanów) uzyskiwanych przy i bez uwzględnienia wymienionych wyżej aspektów, lub na podstawie różnego sposobu przeprowadzania obliczeń (analitycznie lub numerycznie)? Inną ewentualnością mogła być chęć analizy wybranych przypadków ośrodków i układów fizycznych wpisujących się w ogólne ramy sprzężonych ośrodków nieliniowych i dobranie w tym celu właściwych narzędzi do analizy i obliczeń (analitycznych i/lub numerycznych). W takim przypadku proces optymalizacji i dopasowania metod obliczeniowych do danego przypadku powinien zostać moim zdaniem odpowiednio opisany w każdym z rozdziałów opisujących uzyskane wyniki (tj. w Rozdziałach 4-6). Należy przy tym jednak wyraźnie zaznaczyć, że moje wszystkie powyższe wątpliwości wynikają raczej z własnej chęci popatrzenia na ocenianą rozprawę doktorską, jako na pracę w pełni spójną, w której poszczególne rozdziały są powiązane ze sobą (przynajmniej spójnością oznaczeń), wychodzącą z wynikami i analizami poza treści zawarte w omawianych publikacjach. **Wyrażona przeze mnie do tej pory opinia odnosi się przede do formy rozprawy i w żaden sposób nie umniejsza rangi i wartości przedstawianych wyników. Te ostatnie, będące na wysokim światowym poziomie, zostały opublikowane w uznanych czasopismach z listy JRC, przez co przeszły wnikliwy proces recenzji.** Mając ten fakt na uwadze pozwolę sobie ograniczyć moje poniższe opinie i komentarze przede wszystkim do oceny poprawności części opisowej pracy, zakładając, że poprawność wyprowadzeń wzorów została dokładnie sprawdzona i dopracowana na poziomie przygotowywania i recenzowania publikacji wchodzących w skład rozprawy.

Przechodząc do dokładnego omawiania kolejnych rozdziałów pracy chciałabym zauważyć pewne nieścisłości pojawiające się w **Rozdziałach 1-2**. Pierwsza z nich dotyczy przytaczania różnych definicji nielokalności: (1) *Spatial nonlocality means that nonlinear interaction influences the whole area around the interaction region* (strona 4); (2) [...] *nonlinear interactions are nonlocal – functions in each point is influenced not just by its value in this point, but also by its close vicinity* (strona 7). Mimo, że Doktorant powołuje się na odpowiednie prace [O. Bang et al.



Phys. Rev. E 66(4), 046619 (2002) oraz P. Jung *et al.* Opt. Expr. 25(20), 23893 (2017)], to uważam, że z uwagi na fakt, że nielokalność nieliniowości jest jednym z ważnych aspektów diskutowanych w niniejszej rozprawie, to zagadnienie to powinno być dużo szerzej opisane i przeanalizowane – np. przez wprowadzenie już tutaj definicji i pojęcia funkcji nieliniowej odpowiedzi ośrodka (pojawia się ona dopiero w Rozdziale 6 w jednej konkretnej postaci, już tylko przy okazji kolejnych wyprowadzeń wzorów), dając możliwość analizy przypadków ośrodków o różnym stopniu nielokalności. Następne uwagi dotyczą: 1) braku wyjaśnienia co oznacza E_0 we wzorze (1.5) – szczególnie, że przy tej okazji we wzorze na współczynnik załamania pojawia się E (co więcej wzór ten zapisywany jest zazwyczaj jako $n = n_0 + n_2 I$, jeśli n_2 jest współczynnikiem nieliniowości kerrowskiej); 2) braku wytłumaczenia oznaczeń we wzorze (1.6) – dodatkowo brak jest jasności dlaczego zdecydowano się na przedstawienie niniejszego wzoru w pracy; 3) niepoprawnego wykorzystania sformułowania wiązki solitonowe w odniesieniu do wiązek, które według nomenklatury stosowanej w niniejszej pracy powinny być określone solitonami (początek Rozdziału 2); 4) braku wyraźnego wskazania, że w pracy rozpatrywane będą jedynie solitony przestrzenne; 5) braku zasadności wprowadzenia bezwymiarowej formy NLSE w równaniu (2.1), podczas gdy kolejne równania (2.2)÷(2.7), (2.15)÷(2.18) nie są przedstawione we współrzędnych unormowanych – ogólnie trudno dopatrzyć się idei przyświecającej wykorzystaniu raz typowych współrzędnych przestrzennych a raz współrzędnych unormowanych przy przedstawianiu wzorów w Rozdziale 2; 6) braku jasności wykorzystania sformułowania „kanały” (*channels*) w opisie solitonów wektorowych – o jakie kanały chodzi?

Jeśli chodzi o **Rozdział 3**, to zawiera on dyskusję na temat metod numerycznych wykorzystywanych do rozwiązania sprzężonych równań NLSE, które w ogólności nie mogą być rozwiązane w sposób analityczny. Jak wspomniałam wcześniej w mojej opinii ta część pracy (w obecnej jej formie) stanowi właściwie rozwinięcie wstępu teoretycznego pracy przedstawiając kolejne metody i schematy numeryczne bez wyraźnie zaznaczonego wkładu Doktoranta (np. w postaci własnych wyprowadzeń czy przybliżeń), jak również braku odniesienia do konkretnych przypadków, które będą analizowane numerycznie w kolejnych rozdziałach. Podtrzymuję w tym względzie swoją opinię, że jeśli podstawowym zadaniem Doktoranta było przeprowadzanie symulacji numerycznych, to wskazane byłoby przedstawienie w rozprawie informacji na temat wyników testów przeprowadzonych pod kątem dokładności, stabilności i szybkości opracowanych procedur numerycznych.



Rozdział 4 został według Doktoranta wprowadzony do rozprawy w celu przedstawienia prostego przykładu solitonów wektorowych o analitycznych rozwiązaniach przed przystąpieniem do analizy bardziej złożonych układów nielokalnych i niezachowawczych. Omówione w nim wyniki zostały w całości zaczerpnięte z czternastostronicowego artykułu [P1] – K.B. Zegadło *et al.* „Symmetry Breakings in Dual-Core Systems with Double-Spot Localization of Nonlinearity”, *Symmetry* 10(5), 156 (2018). Jedynymi znaczącymi różnicami między oboma opracowaniami (wskazując na stan w rozprawie doktorskiej) jest: (1) ograniczenie wstępnej części opisowej wprowadzającej w tematykę i wstawienie w to miejsce (nieistotnego z punktu widzenia niniejszej pracy) opisu falowodów planarnych; (2) zmiana kolejności omawianych przypadków i rozpoczęcie analizy układu (1+1)D od przypadku stanów całkowicie symetrycznych; (3) skrócenie podsumowania, ograniczającego się do stwierdzenia, że w przypadku analizowanego układu możliwe jest uzyskanie różnych typów łamania symetrii (w tym podwójnego) oraz do wskazania konieczności potwierdzania dynamiki solitonów na podstawie symulacji numerycznych nawet w przypadkach modeli całkowalnych. Z uwag i komentarzy do niniejszego rozdziału chciałabym wskazać: 1) niezbyt trafne sformułowanie w formie *In this chapter, I will focus on model derivation from the integrated optics' point of view* – co to dokładnie znaczy, że patrzymy na problem z punktu widzenia optyki zintegrowanej? 2) niekonsekwencja w przypadku oznaczania stałej propagacji czasami jako β , mimo, że w Rozdziale 2 i w większości przypadków wykorzystywany jest symbol μ ; 3) pomyłka w nazwaniu równania (4.4) bezwymiarowym; 4) brak wyjaśnienia jak zdefiniowane są współrzędne $\tilde{x}, \tilde{y}$ widoczne na Rys. 4.7. Jako interesujące uzupełnienie treści rozdziału można byłoby uznać próbę odpowiedzi na pytanie jak opisywane układy mogą być zrealizować w praktyce.

W kolejnym **Rozdziale 5** znajduje się bardzo dokładne streszczenie wyników przedstawionych w dwóch publikacjach – tj. [P2] – N.V. Hung *et al.* „Modulation instability of coupled ring waveguides with linear gain and nonlinear loss”, *Scientific Reports* 7, 4089 (2017) oraz [P3] – A. Ramaniuk *et al.* „Vortex Creation without Stirring in Coupled Ring Resonators with Gain and Loss”, *Symmetry* 10, 195 (2018). Mając na uwadze zapewnienie Doktoranta, że poprzedni rozdział stanowił wstęp do bardziej zaawansowanych rozważań (bazujących na odejściu od systemu zachowawczego poprzez wprowadzenie strat i wzmocnienia), zastanawiam się, dlaczego zdecydował się on na sprawdzenie wpływu obecności liniowego wzmocnienia i nieliniowej dyssypacji energii w dość złożonym (i całkowicie innym od poprzedniego) układzie dwóch identycznych falowodów pierścieniowych (z lokalnym sprzężeniem między



nimi). Czy w pierwszym podejściu nie należałoby sprawdzić jak wspomniane zmiany wpłynęłyby na dynamikę rozwiązań we wcześniej analizowanym układzie? Odnosząc się jednak do przedstawionych wyników należy stwierdzić, że pozwoliły one na zidentyfikowanie wyjątkowo bogatego zestawu stabilnych i niestabilnych rozwiązań i to zarówno przy założeniu szerokiego i wąskiego sprzężenia. Na podkreślenie zasługuje pojawiająca się w publikacji [P3] propozycja eksperymentalnej realizacji zaproponowanego modelu w układach nanoplazmowych. Z uwagi na to, że ilustracje, wzory i analizy zawarte w Rozdziale 5 są właściwie kalką ze wspomnianych (porządnie przygotowanych) publikacji, nie mam większych uwag do przedstawionych treści i wniosków.

Wreszcie w **Rozdziale 6** Doktorant przedstawia analizę wpływu nielokalności nieliniowości w nematycznych ciekłych kryształach na przykładzie solitonów przestrzennych uzyskiwanych na skutek efektów związanych z współzawodniczącym działaniem nieliniowości termicznej i reorientacyjnej. Przedstawione wyniki zostały zawarte w dwóch publikacjach: [P4] – A. Ramaniuk *et al.* „Scalar and vector supermode solitons owing to competing nonlocal nonlinearities”, *Opt. Expr.* 29(6), 8015 (2021) oraz A. Ramaniuk *et al.* „Transverse velocity instability and trajectory bending in two-beam supermode solitons” (nadal w przygotowaniu) i prowadzą do wyników w postaci wyjątkowego w przypadku solitonów wektorowych (vector supermode solitons) ugięcia ich trajektorii (z możliwością jego kontrolowania i dopasowywania przez zmianę dyspersji materiałowej).

W swoich szczegółowych uwagach do niniejszego rozdziału chciałabym wskazać między innymi na wiele nieścisłości w opisie dotyczącym ciekłych kryształów – 1) Stwierdzenie *Rod-like molecular shapes induces high anisotropy of electric permittivity and refractive index* jest dużym uproszczeniem. W przypadku anizotropii elektrycznej chodzi raczej o istnienie stałych momentów dipolowych (w polarnych molekułach). 2) Podobnie jest ze zdaniem *Waves oscillating perpendicular or parallel to the molecule central axis are called ordinary and extraordinary waves, respectively*. Należałoby tu po pierwsze dodać, że chodzi o fale elektromagnetyczne i jednoosiowe kryształy dwójłomne. Warto byłoby przy okazji nadmienić, że większość nematyków jest jednoosiowymi kryształami dwójłomnymi z osią dwójłomności pokrywającą się z długą osią prętopodobnych molekuł. 3) Następnie zdanie *Borders of LC cells can be designed through rubbing so that molecules next to the cell borders have precisely defined initial orientation* również nie jest najszcześniejsze. Rubbing jest jedną z (spośród wielu różnych możliwych) metodą



uzyskiwania warstw orientujących i wynikającego z ich zastosowania porządkowania molekuł w (całej) warstwie ciekłego kryształu w tzw. komórce ciekłokrystalicznej. 4) Podobnie jest ze zdaniem [...] *reorientation shifts birefringence axes and influences the refractive index*. Należałoby raczej stwierdzić, że pole elektryczne fali świetlnej może wywołać reorientację molekuł zmieniając tym samym ustawienie osi dwójłomności, co wpływa na wartość efektywnego współczynnika załamania dla fali EM o danej polaryzacji. 5) Stwierdzenie *Molecules of LC experience the total intensity of the combination of the beams* nie jest w ogólności prawdziwe (szczególnie jeśli myślimy o reorientacji molekuł pod wpływem działania dwóch lub więcej propagujących się wspólnie fal EM). 6) Określając Rysunek 6.2. mianem typowego układu do obserwacji nematykonów – czyli solitonów przestrzennych w nematycznych ciekłych kryształach lepiej byłoby pokazać taki, w którym propaguje się jasny soliton przestrzenny a nie wiązka wirowa.

Przechodząc do omawiania treści przedstawionej w podrozdziale 6.2 należy stwierdzić, że wielokrotnie doszło do pomyłki we wzorach i oznaczeniach – oczywiście przy założeniu, że schemat przedstawiony na Rys. 6.4. jest obowiązujący. Jeśli analizowana jest taka geometria układu to *walk-off* nie będzie w kierunku x (jak założono we wzorze (6.1), w którym dodatkowo powinien pojawić się znak minus po lewej stronie równania) a we wzorze na efektywny współczynnik załamania dany wzorem (6.3) należy zamienić funkcję sinus na cosinus (i odwrotnie) – jeśli ma on obowiązywać dla fali EM o polaryzacji liniowej w kierunku y . Nie jest również prawdziwe stwierdzenie, że typowo $n_e < n_o$ – w większości przypadków jest właśnie odwrotnie. Nie można również nazwać wektora E_y wektorem polaryzacji wiązki (nie jest on niczym innym jak wektorem natężenia pola elektrycznego fali EM). Trzeba jednocześnie zaznaczyć, że dla oznaczenia dwójłomności CK stosuje się najczęściej symbol Δn a nie $\Delta \epsilon$. Co więcej w pracy podano zły wzór (powinno być $\Delta n = n_e - n_o$). W przypadku określania orientacji molekuł minimalizuje się gęstość energii swobodnej (a nie gęstość energii jak podano w pracy). Równanie (6.6) nie jest prawdziwe dla analizowanej geometrii, w której molekuly są ułożone w płaszczyźnie y - z (reorientacja nie zachodzi płaszczyźnie x - z lub x - y). Dobrze byłoby podać referencję do wzoru (6.8) – rozumiem, że ma on nadal obowiązywać w układzie o geometrii z Rys. 6.4 a kąt θ_0 określa początkową orientację molekuł. Nie zostało podane jaka jest definicja przeskalowanych współrzędnych X i Z występujących we wzorze (6.9) i w kolejnych (taka definicja pojawia się dopiero przy okazji wzoru (6.17) – ale przecież w tym przypadku unormowanie jest raczej inne). We wzorze na ψ_m (pod



wzorem (6.17)) pojawia się symbol α , który nie jest używany w omawianych wzorach (jest błędem przy zmianie oznaczeń stosowanych w publikacji [P4] i w treści rozprawy). Porównując treść podrozdziału 6.3.2 rozprawy i artykułu [P4] można stwierdzić, że w tym drugim (mimo typowych ograniczeń nakładanych na objętość publikacji) bardziej szczegółowo opisano zastosowane schematy i procedury numeryczne. Zastanawiające jest również przedstawianie na rysunkach w prac (Rys. 6.5, 6.6, 6.7, 6.8, 6.9) analizy dla unormowanej mocy wynoszącej 2500, podczas gdy w artykule [P4] wartość ta wynosi 500 przy zachowaniu identycznych kształtów i form wszystkich wykresów. W przypadku wyników rozważań analitycznych przedstawionych w podrozdziale 6.3.4 (jedynie wyniki w rozprawie, które nie są zaczerpnięte bezpośrednio z publikacji, jednak jak można się domyślać mają się one znaleźć w publikacji [P5]) można byłoby się zastanowić, czy nie powinny być one skonfrontowane (np. w brakującym podsumowaniu całego Rozdziału 6) z opisywanymi we wcześniejszej części rozdziału. Warto przy okazji zwrócić uwagę, że rysunki dotyczące analiz z podrozdziału 6.3.4 znajdują się już po podsumowaniu tego podrozdziału (i na samym końcu Rozdziału), co zmniejsza czytelność pracy. Dodatkowo uważam, że odniesienie się do parametrów fizycznych typowego nematycznego ciekłego (np. E7 czy 5CB) i przeprowadzenie analiz dla tych konkretnych związków mogłoby zwiększyć wartość aplikacyjną pracy.

Rozprawę doktorską kończy **Rozdział 7**, w którym znalazło się niezbyt obszerne podsumowanie całej pracy. Moim zdaniem rozdział ten mógłby być bardziej rozbudowany i zamiast być *de facto* powtórzeniem konspektu pracy i wniosków znajdujących się pod koniec każdego rozdziału w szerszy sposób dyskutować uzyskane wyniki (jako całość i w odniesieniu do możliwości ich wykorzystania).

Mimo wszystkich wymienionych mankamentów **recenzowaną pracę należy ocenić jako wartościową mając na uwadze, że wyniki zawarte w składających się na nią publikacjach (stanowiących oryginalne rozwiązanie problemów naukowych) zostały opublikowane w renomowanych czasopismach recenzowanych** (2 × *Symmetry-Bessel* – IF 2.713; *Scientific Report* – IF 4.379; *Optics Express* – IF 4.56). Tak jak to już wielokrotnie powtarzałam sama forma rozprawy (w sensie wydrukowanego dzieła), rozumianej jako osobne, spójne wewnętrznie opracowanie, nie jest zachwycająca (ale może to być jedynie kwestia mojego indywidualnego odbioru). Wydaje mi się jednak, że nie można powiedzieć, że praca scala w sposób bardzo przejrzysty czy systematyczny otrzymane wyniki obliczeń analitycznych czy numerycznych. Należy oczywiście przyznać, że Doktorant biegle



używa aparatu matematycznego do przeprowadzenia obliczeń analitycznych, uzupełniając przeprowadzaną analizę obliczeniami numerycznymi (należy wierzyć, że z wykorzystaniem samodzielnie stworzonych skryptów i procedur). Mogę ufać, że wkład Doktoranta do publikacji [P1]÷[P5] był znaczący (a w przypadku publikacji [P3]÷[P5] wręcz dominujący), choć nie został jednak wyraźnie zaznaczony i określony w treści rozprawy.

Należy bezsprzecznie stwierdzić, że **rozprawa doktorska Pana mgr. Aleksandra Ramaniuka stanowi niezaprzeczalny wkład Doktoranta w rozwój tematyki**, czego nie umniejszają krytyczne uwagi zawarte w niniejszej recenzji. **Praca zawiera szereg wartościowych i ciekawych wyników** analiz dotyczących ważnych dla współczesnej optyki nieliniowej problemów związanych z propagacją światła w układach sprzężonych (opisanych sprzężonym równaniem NLSE stosowanym powszechnie w różnych działach fizyki, co zwiększa grono potencjalnych odbiorców i aspekt aplikacyjny pracy).

Dorobek naukowy Doktoranta dobrze świadczy o jego zaangażowaniu w prace naukowe i może wskazywać na umiejętność samodzielnego ich prowadzenia. Na uwagę zasługuje znaczny dorobek poza tematyką samej rozprawy – w tym mnogość publikacji w pobocznej tematyce (lista sześciu publikacji na stronie xviii niniejszej rozprawy) – niezwiązanej z bezpośrednio z treścią pracy. Doktorant uczestniczył w pracach różnych zespołów badawczych prowadzących badania powiązane z tematyką pracy, które określiłabym mianem szeroko rozumianej optyki nieliniowej, jak również grup realizujących badania związane z projektowaniem, wykonaniem, charakterystyką i zastosowaniem światłowodów fotonicznych.

Podsumowując stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska pana mgr. Aleksandra Ramaniuka jest dziełem wartościowym a uzyskane wyniki stanowią zauważalny wkład w rozwój optyki nieliniowej w zakresie układów sprzężonych.

Ponadto stwierdzam, że praca doktorska jak i dorobek naukowy jej Autora spełniają warunki ustawowe stawiane rozprawom doktorskim, stąd wnoszę o dopuszczenie pana mgr. Aleksandra Ramaniuka przez Radę Naukową Dyscypliny Nauki Fizyczne Uniwersytetu Warszawskiego do dalszych etapów postępowania doktorskiego.

Katarzyna A. Rutkowska

**Politechnika
Warszawska**

ul. Koszykowa 75
00-662 Warszawa
www.fizyka.pw.edu.pl