

Poznań, 18.01.2016

Prof. zw. dr hab. Maciej Błaszak  
Wydział Fizyki  
Zakład Fizyki Matematycznej  
Uniwersytet im. Adama Mickiewicza  
Poznań

POLITECHNIKA GDAŃSKA WYDZIAŁ FIZYKI TECHNICZNEJ I MATEMATYKI STOSOWANEJ
Wpłynęło dnia 28.01.2016r.
L. dz. 04/WFT/MS/SN/2016r.
Zał. —

## RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgra Mateusza Kusznera

### **Ultra short electromagnetic pulses propagation in environments of weak nonlinearity**

Przedstawiona do recenzji rozprawa opiera się na trzech artykułach opublikowanych w takich czasopismach jak Phys. Soc. Japan (2) i Theor. Math. Phys. oraz na dwóch komunikatach konferencyjnych. Wszystkie artykuły są napisane wspólnie z promotorem profesorem Sergeyem Leble.

Zasadniczym celem rozprawy było stworzenie modelu propagacji ultra krótkich impulsów elektromagnetycznych w środowiskach o słabej nieliniowości. Tego rodzaju badania teoretyczne związane są z rozwijającymi się technologiami światłowodowymi ważnymi z punktu widzenia szybkiego przekazywania informacji na duże odległości przy minimalnej stracie energii, czy nawet całkowicie bez jej strat, jak w przypadku tak zwanych impulsów solitonowych. Do opisu propagacji impulsu w modelu jednowymiarowym o wskazanej polaryzacji, z uwzględnieniem wpływu fali wstecznej na fale propagującą, użyto metody operatorów rzutowych jako użytecznego narzędzia matematycznego. Następnie model liniowy (wychodzący bezpośrednio z równań Maxwella) rozszerzono do dwóch możliwych wzajemnie prostopadłych polaryzacji natomiast dyspersję wprowadzono rozwijając podatność optyczną w funkcji długości impulsu oraz częstości impulsu. Ponadto

wprowadzono nieliniowość typu Kerra, rozdzielając ją za pomocą operatorów rzutowania na odpowiednie mody.

W drugiej części pracy rozwinięty formalizm operatorów rzutowania zastosowano dla przypadku propagacji impulsu w światłowodzie cylindrycznym. Znalaziono jawną postać operatorów rzutowania oraz jawną postać członów nieliniowych a następnie, za pomocą procedury rozwiniętej w pierwszej części pracy, znaleziono równania opisujące propagację impulsu w zdefiniowanym kierunku.

Praca doktorska o objętości 66 stron składa się z 6 rozdziałów, jednego dodatku oraz bibliografii. Rozdział 1 jest wstępem do rozprawy. Zawiera informacje historyczne dotyczące badania dynamiki ultra krótkich impulsów elektromagnetycznych w światłowodach zarówno od strony teoretycznej jak i doświadczalnej. Zawiera również krotki opis stosowanej w dalszych częściach pracy metody operatorów rzutowych.

Rozdział 2 zawiera szczegółową analizę propagacji impulsu o określonej polaryzacji. Najpierw, używając metody operatorów rzutowania, nieliniowość typu Kerra w wektorze polaryzacji oraz rozwijając podatność optyczną w szereg potęgowy względem wektora falowego znaleziono układ dwóch nieliniowych równań różniczkowych pierwszego rzędu opisujących oddziaływanie pomiędzy dwoma falami o tej samej polaryzacji poruszające się w przeciwnych kierunkach. Następnie przy założeniu dominacji jednego z impulsów oraz przybliżenia Schäfera i Wayne'a dla ultra krótkich impulsów otrzymano uogólnione tak zwane równanie SPE (Short Pulse Equation), czyli efektywne nieliniowe równanie różniczkowe cząstkowe drugiego rzędu, opisujące dynamikę pojedynczego ultra krótkiego impulsu w zadanym kierunku.

Rozdział 3 zawiera podobną konstrukcję, jak ta w Rozdziale 2, zastosowaną do bardziej złożonej sytuacji wyjściowej gdy startujemy nie z dwóch a z czterech impulsów różniących się kierunkiem propagacji i polaryzacją. Obliczenia wykonano w tym przypadku zarówno dla problemu Cauchyego z czterema warunkami początkowymi jak i dla problemu Dirichleta z czterema warunkami brzegowymi. W tym drugim przypadku podatność optyczną rozwijano w szereg względem częstości. Uzyskano równania określające wpływ fali wstecznej na falę propagującą dla problemu Cauchyego i Dirichleta. Następnie, znów przy założeniu dominacji impulsów propagujących oraz przybliżenia Schäfera i Wayne'a dla ultra krótkich impulsów, otrzymano uogólnione wektorowe równania SPE.

Rozdział 4 zawiera analizę rozwiniętą w poprzednich rozdziałach, a zastosowaną do opisu propagacji ultra krótkiego impulsu w dielektrycznym światłowodzie cylindrycznym. Zastosowanie schematów z poprzednich rozdziałów pozwoliło na jawne wyprowadzenie

operatorów rzutowania jak i jawnej postaci członów nieliniowych. Rachunki prowadzono w bazie Hondrosa-Debaya funkcji Bessela. Efektem powyższych rachunków jest równanie (4.120) opisujące efektywną dynamikę danego impulsu w konsekwencji oddziaływania z impulsami falowymi propagującymi się w przeciwnym kierunku jak również z impulsami o innej polaryzacji.

Rozdział 5 to krótki komentarz dotyczący zastosowanych przybliżeń przy wyprowadzaniu końcowych formuł w każdym z poprzednich rozdziałów, a w konsekwencji fizycznego zakresu poprawności uzyskanych równań. Zwrócono również uwagę na pewne wyniki eksperymentalne, które mogą być opisywane prezentowaną teorią. Wreszcie Rozdział 6 zawiera krótkie podsumowanie wyników rozprawy.

Ogólnie można stwierdzić, że rozprawa Mateusza Kusznera zawiera nowe i ciekawe wyniki związane z zagadnieniem modelowania dynamiki ultra krótkich impulsów elektromagnetycznych w dielektrycznych materiałach (quasi)-jednowymiarowych o słabej nieliniowości. Bazą do jej napisania są trzy artykuły opublikowane w bardzo dobrych międzynarodowych czasopismach naukowych z tak zwanej Listy Filadelfijskie. Tak więc praca spełnia wszelkie wymagania stawiane rozprawom doktorskim.

Mam kilka uwag dotyczących formy oraz treści prezentowanej pracy. Jak wynika z treści rozprawy, w hierarchii ważności, równanie (4.120) z Rozdziału 4 autor uważa za najważniejszy wynik pracy. Niestety cały ten rozdział jest bardzo formalny z obszernymi, uciążliwymi formułami w bazie funkcji Bessla, co nie ułatwia jego czytania. Również finalne równanie (4.120) ma dość złożoną strukturę. Stąd zabrakło mi końcowego, rozległego komentarza dotyczącego tego ważnego w końcu wyniku, w którym autor opisałby szczegółowo fizyczne sytuacje, które ono opisuje, tym bardziej, że jest to nieliniowe równanie zwyczajne a nie równanie cząstkowe jak te z poprzednich rozdziałów. Przechodząc do struktury pracy, Rozdziały 5 i 6 mają po półtora strony długości. Jedyne co można było sensownie zrobić to połączyć je w jeden wspólny, krótki rozdział zatytułowany przykładowo „Final Comments”.

Pomimo powyższych uwag uważam, że rozprawa doktorska mgra Mateusza Kusznera napisana jest na przyzwoitym poziomie naukowym oraz zawiera wartościowe i ciekawe rezultaty dotyczące modelowania dynamiki ultra krótkich impulsów elektromagnetycznych. Autor wykazał się dużą znajomością zagadnień poruszanych w rozprawie i związanej z nimi literatury, w tym w szczególności znajomością złożonego formalizmu matematycznego.

Podsumowując, stwierdzam, że przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska spełnia ustawowe wymagania i wnoszę o dopuszczenie mgra Mateusza Kusznera do dalszych etapów przewodu doktorskiego.



Prof. dr hab. Maciej Błaszak