



# Omówienie poszczególnych rozdziałów rozprawy.

## 0.1 Introduction

Składa się on z kilku części.

W pierwszej części omawia się historię rozwoju eksperymentalnych i teoretycznych badań krótkich impulsów elektromagnetycznych. Duży nacisk położono na opis tych impulsów w języku nieliniowych równań różniczkowych.

W drugiej części doktorant przedstawił w ośmiu punktach cele pracy. Także tutaj zostały podane najważniejsze definicje. Ponadto zapisano ogólne równania Maxwella uwzględniające fakt, iż wektor polaryzacji składa się z dwóch części liniowej i nieliniowej.

W następnych częściach pracy omawiana jest metoda operatorów rzutowania jako odpowiedniego narzędzia pracy do analizy modeli teoretycznych opisujących propagację ultrakrótkich impulsów światła. Metoda operatorów rzutowych pojawiła się po raz pierwszy w 1958 r. Okazała się ona wygodnym narzędziem pracy mającym zastosowanie w wielu działach fizyki. Ta metoda była zilustrowana przez doktoranta w przypadku nieliniowych równań Maxwella w przypadku jednowymiarowym o wskazanej polaryzacji impulsu. To umożliwiło przedstawienie oddziaływania między falą wsteczną a falą propagującą w postaci równania 1.24 tak zwanego równania *Short Pulse Equation* lub w skrócie SPE. Jest to układ dwóch nieliniowych równań na dwie funkcje  $\Lambda$  i  $\Pi$ , które są kombinacją składowych pola elektrycznego i indukcji magnetycznej.

## 0.2 One dimensional case

W tym rozdziale przeprowadzono dyskusję przybliżonego równania SPE, które jest związane ze strukturą materiału. W rezultacie przy założeniu, że  $\Pi = 0$  oraz, że  $\Lambda$  jest określona wzorem 2.19, otrzymano równanie SPE w postaci 2.20.

## 0.3 Polarization account

Tu doktorant biorąc pod uwagę dwie możliwe polaryzacje impulsu elektromagnetycznego oraz stosując metodę operatorów rzutowania, analizuje nieliniowe równania Maxwella. To pozwoliło określić wpływ fali wstecznej na falę propagującą dla zagadnienia Cauchy'ego (równanie 3.40) oraz zagadnienia brzegowego (równanie 3.79). Są to wyniki wartościowe. Schemat analizy tutaj przedstawiony jest schematem ogólnym, dlatego też doktorant porównuje go z równaniem wektorowym opisującym krótkie impulsy elektromagnetyczne. To porównanie wypada na korzyść doktoranta.

## 0.4 Cylindrical waveguide

Rozdział zawiera 20 stron ciężkich rachunków. Głównym celem tej części rozprawy było wyprowadzenie jawnych postaci operatorów rzutowych w przypadku propagacji impulsu w światłowodzie walcowym. W pierwszym etapie doktorant przepisuje równania Maxwella w zmiennych cylindrycznych. Następnie zakłada, że składowe cylindryczne pola elektrycznego i indukcji magnetycznej mogą być wyrażone w tak zwanej bazie Hondrosa-Debye'a. Baza ta jest kombinacją linową funkcji Bessla  $J_l(\alpha_{l,n}r)$ , w której współczynniki są funkcjami od  $z, t$  pomnożonymi przez  $e^{il\varphi}$  lub  $e^{-il\varphi}$ . Po skomplikowanych rachunkach doktorant pokazuje, że równania Maxwella redukują się wtedy do układu czterech równań na współczynniki funkcyjne zależne od  $z, t$ . Dla tych równań zapisanych w postaci wzoru 4.54 doktorant konstruuje cztery operatory rzutowe. W następnym kroku wspomniana konstrukcja jest powtórzona w przypadku, gdy wektor polaryzacji zawiera człon nieliniowy, dokładniej trójliniowy w  $E$ . To wszystko doprowadziło doktoranta do równania opisującego propagację impulsu w zdefiniowanym kierunku równanie 4.119. Jawna postać członów nieliniowych jest skomplikowana i jest przedstawiona w załączniku. Równanie 4.119 uważam za najważniejszy rezultat rozprawy doktorskiej.

## 0.5 Realization of Pulse Dynamics Experiments

Jest to opis przeprowadzonych eksperymentów mających umożliwić odpowiedź na pytanie, jaka kombinacja pól elektrycznych i magnetycznych określa spolaryzowane lub ukierunkowane fale w obecności dyspersji.

## Uwagi krytyczne

Nie mam merytorycznych zastrzeżeń co do wyników naukowych rozprawy. Mam sporo uwag do sposobu prezentacji wyników.

Doktorant objaśnia wzór 1.7 na stronie 10 przez stwierdzenie "*should be considered as a tensor product (marked as :)*". Taka notacja jest używana w optyce nieliniowej ale z matematycznego punktu interpretacja symbolu  $:$  jako iloczynu tensorowego jest niepoprawna. O ile iloczyn tensorowy dwóch wektorów jest dobrze zdefiniowany, to jak zdefiniować iloczyn tensorowy trzech wektorów występujących we wzorze 1.7. Zdaniem recenzenta lepiej byłoby od razu zdefiniować wzór 1.7 jako

$$P_i = \sum_{j=1}^3 \chi_{i,j}^1 E_j + \sum_{j,l=1}^3 \chi_{i,j,l}^2 E_j E_l + \sum_{j,l,k=1}^3 \chi_{i,j,l,k}^3 E_j E_l E_k. \quad (1)$$

Wzór 1.8 nie jest kompatybilny z wzorem 1.5. Chyba jest tu pomyłka drukarska.

W rozprawie w dwóch miejscach zauważyłem przedwczesne rozumowanie. I tak na stronie 16 jest napisane "*If we substitute eq.(3.42) in eq (1.16)..*" ale wzór 3.42 znajduje się na stronie 25. Z kolei na stronie 29 znalazłem zdanie "*...transformation of (4.76) we get ...*" podczas gdy wzór 4.76 znajduje się na stronie 42. Takie przedwczesne rozumowanie nie ułatwia czytania wszelkich prac.

Jak wcześniej napisałem, czwarty rozdział rozprawy prawie pokrywa się z drugim rozdziałem w książce *Odyssey of Light in Nonlinear Optical Fibers: Theory and Applications*. Prawie! bo we wzorach 4.1a...4.1f na przedstawienie wektorów  $E, B$  w bazie Hondrosa-Debye'a używa się podwójnej sumy względem  $n, l$ , a te nie pokrywają się z analogicznymi wzorami z książki, gdzie pojawia się potrójne sumowanie względem  $p, n, l$ . Na stronie 33 w zdaniu "*Further calculations can be taken for any value of p,n,l*" pojawił się indeks  $p$ , który nigdzie wcześniej i później nie pojawia się w rozprawie. Sądzę, że doktorant wytłumaczy te rozbieżności w trakcie obrony doktoratu.

W pracy zabrakło odsyłacza do bazy Hondrosa-Debye'a.

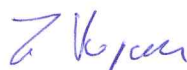
## Wnioski końcowe

Uważam, że rozprawa doktorska w pełni osiągnęła zapostulowane przez doktoranta cele opisane we wstępie. Otrzymane wyniki naukowe są wartościowe i posuwają naprzód zrozumienie propagacji ultrakrótkich impulsów elektromagnetycznych w środowiskach o słabej nieliniowości.

## Konkluzja końcowa

*Uważam, że rozprawa doktorska mgr Mateusza Kusznera spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim zarówno te ustawowe, jak i zwyczajowe. Stawiam wniosek o dopuszczenie doktoranta do publicznej obrony rozprawy doktorskiej.*

Wrocław 20.01.2016

  
prof. dr hab. Ziemowit Popowicz

