

Prof. dr hab. Włodzimierz Jastrzębski

Instytut Fizyki PAN, Warszawa

Recenzja rozprawy doktorskiej

mgr Ady Umińskiej

pt. Non-linear Optics Experiments with Rubidium-filled Fibre-optics Structures

Praca doktorska mgr Ady Umińskiej została wykonana pod kierunkiem dra hab. Szymona Pustelnego i jest wynikiem prac doświadczalnych prowadzonych przez doktorantkę w Zakładzie Fotoniki Instytutu Fizyki UJ oraz w Department of Photonics and the Precision Measurement Uniwersytetu w Adelajdzie.

Tematyka, której praca dotyczy to wykorzystanie światłowodów mikrostrukturalnych wypełnionych parami Rb jako platformy badawczej do eksperymentów z optyki nieliniowej. Ponieważ przedmiotem badań jest oddziaływanie światła wprowadzonego do światłowodu z ośrodkiem gazowym preferowanymi rodzajami włókna są światłowody z foniczną przerwą wzbronioną, w których ośrodek gazowy wprowadzany jest do pustego kanału centralnego. Tak przygotowany światłowod przewodzi światło o długościach fali z przedziału fonicznej przerwy wzbronionej płaszczu. Oczywiście spektralnie obszar przerwy wzbronionej musi być tak dobrany aby pokryć zakres długości fali, które zamierzamy wykorzystać w badaniach ośrodka wprowadzanego do światłowodu. Taki światłowod jest atrakcyjną platformą do prowadzenia badań optycznych z dwóch powodów:

- znacząco zwiększonej czułości pomiarów absorpcyjnych poprzez zwiększenie drogi oddziaływania np. w stosunku do tradycyjnych komórek/kuwet spektralnych,
- osiągania dużych gęstości mocy promieniowania z powodu koncentracji światła w strukturach o rozmiarach kilku, kilkadziesiąt μm . To pozwala na obserwację nieliniowych efektów optycznych nawet przy całkowitej mocy mniejszej niż μW , co stanowi o kilka rzędów wielkości mniejszą niż w standardowych wiązkach optycznych.

Powyższe argumenty stanowią motywację badań mgr Ady Umińskiej aczkolwiek realizacja eksperymentów nie była tak prosta jakby się mogło wydawać na podstawie nakreślonych powyżej idei. Autorka przeprowadziła badania z dwoma rodzajami światłowodów typu kagome (hollow core photonic crystal fiber) o średnicach rdzenia $49\mu\text{m}$ i $45\mu\text{m}$ (str. 24). Zgodnie z informacją na str. 10 wyniki otrzymane w macierzystej uczelni przedstawione są w Rozdziale 2 i Podrozdziale 3.1, natomiast pozostałe Autorka otrzymała w Uniwersytecie w Adelajdzie. Ponieważ grupa australijska opublikowała w latach 2012-2016 kilkanaście prac dotyczących podobnych, jeśli nie tych samych zagadnień brakuje mi - już na wstępie - jednoznacznego stwierdzenia co w badaniach Autorki jest nowego, co spowodowało, że warto je było podjąć w świetle istniejących, opublikowanych wyników. Taka dojrzała dyskusja byłaby bardzo pożądana, umiejscowiłaby ona badania doktorantki wśród światowych prac badawczych, nie tylko australijskich ale też np. prowadzonych w Cornell University przez Alexandra Gaeta. Skrupulatne cytowanie tych prac bez komentarza to moim zdaniem za mało.

Układ rozprawy jest następujący: rozpoczynają ją trzy rozdziały, w których m.in. opisany jest proces przygotowania światłowodów, który poprzedza badania z dziedziny nieliniowej spektroskopii w Rb. W rozdziale 1 Autorka zarysowała zakres pracy, zdefiniowała badane zjawiska nieliniowe i ich potencjalne zastosowania w technologiach kwantowych. Wprowadziła też podstawy klasyfikacji światłowodów mikrostrukturalnych.

Rozdział 2 to wprowadzenie - na poziomie bardzo podstawowym - do spektroskopii ośrodków gazowych, zapoznanie z budową układu próżniowego i techniką wprowadzania Rb do kanału w światłowodzie. Z opisu wyłania się obraz dość kłopotliwych i czasochłonnych zabiegów aby efektywnie nasycić atomami kanał światłowodu. Co więcej niełatwe jest też stwierdzenie czy zaobserwowana absorpcja pochodzi faktycznie z atomów znajdujących się w strukturze światłowodu czy też z obszaru komory wypełnionej parami rubidu. Tu Autorka skutecznie zastosowała metodę odliczenia od całkowitej absorpcji tej pochodzącej od atomów w komorze próżniowej, co pozwoliło jej stwierdzić obecność atomów Rb w kanale światłowodu. Mam natomiast uwagę dotyczącą wyznaczenia gęstości atomów poprzez pomiar transmisji. Na rys. 2.9 Autorka pokazała dopasowanie zarejestrowanej transmisji do modelu teoretycznego. Nie znalazłem żadnych informacji o tym modelu, o liczbie dopasowywanych parametrów. Nie jest dla mnie jasne jak z (zapewne) wykorzystanych danych strukturalnych w MHz (rys. 2.2a) doszła Autorka do bliżej nieokreślonych arbitrary units dla częstotliwości (rys. 2.9), by w rezultacie otrzymać dość zdumiewającą dokładność wyznaczenia gęstości atomów (1.2%). Nie jest też dla mnie jasny pojawiający się w rozdziale 2 wątek bezdopplerowskiej spektroskopii nasyceniowej, do której niewątpliwie jest przystosowany układ z rys. 2.8 – powstaje pytanie czy była ona w jakikolwiek sposób wykorzystywana w analizach doktorantki?

Alternatywną metodę nasycania kanału światłowodowego parami atomowego Rb przedstawiła Autorka w rozdziale 3. Wykorzystuje w niej zjawisko desorpcji atomów z wewnętrznych powierzchni ścianek światłowodu pod wpływem specjalnie wprowadzonego światła (tzw. LIAD – Light Induced Atomic Desorption). Tutaj stwierdzenie absorpcji w światłowodzie nie wymaga już żadnych dodatkowych założeń gdyż jest zsynchronizowane z włączaniem światła wywołującego desorpcję. Doktorantka przeprowadziła doświadczenia z dwoma rodzajami światłowodów typu kagome, co jak się domyślam jest spowodowane tym, że część doświadczeń była przeprowadzona w UJ (światłowod nr. 1 z rys. 2.3) a część w Adelajdzie (światłowod nr. 2, rys 2.3). Oba doświadczenia zostały przeprowadzone w różnych warunkach: w UJ przy quasi stacjonarnej desorpcji (*long term exposure*, ca. 30 min.) podczas gdy w Adelajdzie z impulsowym (~ms) światłem wywołującym desorpcję. Te obserwacje pozwoliły Doktorantce dojść do moim zdaniem ciekawego wniosku, że przy tej samej całkowitej energii światła w impulsie, krótsze impulsy indukują większą gęstość optyczną atomów, co może stanowić wskazówkę dla przyszłych użytkowników tej techniki. Jak wnioskuję (niestety jedynie z rysunków układów doświadczalnych) w dalszych badaniach spektroskopowych Rb technika LIAD nie była wykorzystywana i badania przedstawione w

rozdziale 3 stanowią samodzielny wątek. Moim zdaniem ciekawy i szkoda, że nie został rozwinięty przez doktorantkę. W szczególności gdyby został wzbogacony o analizę np. wpływu wzbudzeń plazmonowych na proces desorpcji, czy też jego zależności od długości fali i ewentualne o porównanie takich pomiarów w światłowodzie i komórkach spektralnych to stanowiłby moim zdaniem interesujący materiał na doktorat. Ale to jest oczywiście bardzo subiektywna uwaga. Zainteresowania badawcze Doktorantki skierowane zostały na badania nieliniowych oddziaływań atomów Rb ze światłem laserowym wprowadzanym do światłowodu wypełnionego parami tych atomów. Zostały one przedstawione w dwóch kolejnych rozdziałach.

W rozdziale 4 doktorantka przedstawiła wyniki obserwacji przejść dwufotonowych w atomach Rb ($5S_{1/2} \rightarrow 5P_{3/2} \rightarrow 5D_{5/2}$) wykonanych we włóknie, w którym badany był LIAD opisany w rozdziale 3. Jedynie z rys. 4.6 może recenzent się domyślać, że technika LIAD nie została teraz zastosowana. Dlaczego? W ogóle wynik pomiarów absorpcji dwufotonowej nie nawiązuje do tych specyficznych warunków jakie panują w światłowodzie, podobnie przebiegałby w konwencjonalnej komórce, być może dając nieco węższe rezonanse nieposzerzone przez krótki czas przelotu (oddziaływania) w poprzek włókna. Trudno mi dostrzec mocne uzasadnienie dla przeprowadzenia tych doświadczeń w tak skomplikowanych warunkach w dodatku z bardzo kłopotliwymi, bo reaktywnymi chemicznie atomami Rb. Nasuwa się też pytanie czy nie można było przeprowadzić tego doświadczenia z przeciwbieżnymi wiązkami pochodzącymi z jednego lasera dostrojonego dwufotonowo do przejścia $5S_{1/2} \rightarrow 5D_{5/2}$. To mogłaby być bardzo ładna i przekonująca demonstracja wykorzystania dużej gęstości mocy występującej w kanale światłowodu. W tej części tezy Doktorantka pokazała też, że profile absorpcyjne zaobserwowane dla przejść dwufotonowych prowadzą do odpowiednich zmian współczynnika załamania, co dla pewnych częstości prowadzi do przyspieszenia lub opóźnienia propagacji światła (rys. 4.15 b,c), a w przypadku impulsów do zniekształcenie ich przebiegu czasowego.

Rozdział 4 zawiera też teoretyczny opis oscylacji Rabiego w układzie 2- i 3-poziomym, który jest moim zdaniem przesadnie rozbudowany w stosunku do obserwacji, które ma tłumaczyć. Przedstawione na rys. 4.24 b dopasowanie krzywej teoretycznej do zmierzonej, zwłaszcza w obszarze narastającego zbocza, gdzie widać ślad oscylacji, jest moim zdaniem nie najlepsze. Jeśli na podstawie takich dopasowań była wyznaczana częstość Rabiego to trochę niewiarygodnie brzmi stwierdzenie o jej dokładności (pod rys. 4.25).

Rozdział 5 poświęcony jest zjawisku elektromagnetycznie wymuszonej przezroczystości (EIT) oraz przesunięciu Autlera – Townesa. Zawiera on bardzo rozbudowany objętościowo wstęp teoretyczny, podczas gdy głównym, autorskim wynikiem badań Doktorantki są w mojej ocenie obserwacje doświadczalne, w szczególności opisane na str. 125-137 obserwowane okna przezroczystości w układzie kaskadowym dla różnie odstrojonej silnej wiązki sprzęgającej. Na wykresach (rys. 5.12, 5.13) widać wyraźnie dla niektórych odstrojeń (np. -644Mhz, +815MHz)

powstawanie wąskich przedziałów przezroczystości, co może być postrzegane (reklamowane) jako podstawa działania czysto optycznego przełącznika. Podobnie jak w przypadku obszarów zwiększonej przezroczystości, które autorka obserwowała na linii D2 podczas gdy silny laser sprzęgający był dostrojony do przejścia D1 (efekt Autlera-Townesa w układzie V).

Podsumowując: doświadczenia, które obrała sobie mgr Ada Umińska jako podstawę jej pracy doktorskiej okazały się technicznie bardzo skomplikowane, pomimo tego, że sam pomysł jest jasny i pozornie prosty w realizacji. Tu chciałbym podkreślić, że budowany przez Doktorantkę układ do napełniania światłowodów rubidem był – według mojej wiedzy – pierwszym tego typu na UJ. To oczywiście oznacza niemożliwość skorzystania z wcześniejszych doświadczeń z pracy z tego typu układem. Dlatego też wysoko oceniam zaradność Doktorantki, która zdobyła odpowiednie stypendium i przeprowadziła część badań w ośrodku australijskim, który był jednym z pionierów tego typu badań.

Dotychczasowe wyniki Autorki dotyczące badań w wypełnionych rubidem światłowodach fonicznych, które są przedstawione w rozprawie, nie zostały opublikowane. Mgr Ada Umińska jest współautorką innej publikacji dotyczącej światłowodów, co moim zdaniem oznacza, że został spełniony warunek formalny z ustawy z 14.03.2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki („Ustawa o stopniach naukowych”) dotyczący posiadania przez doktoranta publikacji, aczkolwiek zwyczajowo oczekujemy chociażby częściowego opublikowania wyników zawartych w rozprawie. Taka też - zdaniem recenzenta - była intencja ustawodawcy.

Rozprawa licząca blisko 150 stron została przygotowana w języku angielskim, co moim zdaniem było błędem i zaciążyło na jej odbiorze ze względu na bardzo liczne błędy i nieporadności językowe różnej natury. Jako przykład dołączam do recenzji kilka wybranych przykładów – wszystkich nie sposób wymienić, zwłaszcza że recenzent zdecydowanie nie czuje się ekspertem językowym.

Pomimo uwag zawartych powyżej uważam, że przedstawione w rozprawie wyniki eksperymentalne i interpretacja zjawisk fizycznych będących podstawą obserwacji spełniają wymagania stawiane rozprawom doktorskim w Ustawie o stopniach naukowych i wnoszę o dopuszczenie mgr Ady Umińskiej do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Prof. dr hab. Włodzimierz Jastrzębski

Wykaz przykładowych usterek językowych:

- ✓ niezrozumiałe: str.7/8 “*Further studies on the prospects of gas-filled HC-PCFs for introducing coherent based effects like EIT [57, 58] for slow light and storage light applications [55, 59–61].*”

- ✓ niezrozumiałe: str. 54 “*This process could be associated with LIAD, more complex behaviour of the agglomerates formed by the adsorbed atoms or the presence of the SPID process [66, 90].*”
- ✓ niefortunne sformułowanie ze str. 56 „*The pulsed-LIAD experiment, performed in Fibre 2, showed interesting results. Shorter pulses carrying a higher optical power induced greater OD changes than the longer-duration pulses of the same average energy but lower optical power.*”
- ✓ str. 13 “*where m is the reduced mass of the electron*”
- ✓ str. 57 “*Non-linear optics studies phenomena that occur in the presence*”
- ✓ w wielu miejscach pracy (w szczególności w podpisach na rysunkach) „*theoretical model fit*” zamiast „*fit to the theoretical model*”
- ✓ określenie „*bulk system*”, „*bulk materials*” wstępujące w wielu miejscach pracy dla określenia ośrodka atomowego w stanie par w komórkach spektralnych jest – według recenzenta – mylące i nie jest powszechnie używane w tym znaczeniu.

Wypunktowane błędy językowe np. na str. 42-43 (przykład):

- ✓ *the excitation* powinno być *an excitation*
- ✓ *in NIR region* powinno być *in the NIR region*
- ✓ *fibres which gives* powinno być *fibres which give*
- ✓ *effect actually take place* powinno być *effect actually takes place*
- ✓ *is by desorbing* powinno być *is to desorb*
- ✓ *ratio is much larger in fibres than for glass cells* powinno być *ratio is much larger in fibres comparing to glass cells*
- ✓ *dependence of the OD inside the fibre on the lights intensity.* powinno być *dependence of the OD inside the fibre on the light intensity.*
- ✓ *which is manifesting an increase of* powinno być *which is manifesting by increase of*
- ✓ *will provide the proof for presence* powinno być *will provide a proof for presence*
- ✓ *which reduces the background vacuum chamber concentration.* powinno być ?
- ✓ *already been loading* powinno być *already been loaded*
- ✓ *used as the source* powinno być *used as a source*