

Dr hab. Krystyna Kolwas,
Profesor ndzw. w Instytucie Fizyki Polskiej Akademii Nauk
Al. Lotników 32/46, 05-806 Warszawa

Warszawa, 28 października 2013r.

**Recenzja rozprawy doktorskiej Pani mgr. Dobrosławy Bartoszek-Bober,
zatytułowanej:
„Manipulowanie atomami przy powierzchniach
za pomocą potencjałów optycznych i magnetycznych”.**

Przedstawiona mi do recenzji rozprawa doktorska Pani mgr Dobrosławy Bartoszek-Bober powstała w Laboratorium Zimnych Atomów przy Powierzchni na Wydziale Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej Uniwersytetu Jagiellońskiego pod opieką prof. dr hab. Tomasz Dohnalika (promotor) i dr Tomasza Kwalca (promotor pomocniczy).

Na tezę doktorską Pani mgr Dobrosławy Bartoszek-Bober składają się opis Jej dokonań związanych z udziałem w dwóch eksperymentach. Pierwszy z nich dotyczył manipulowania atomami z użyciem optycznego lustra dipolowego bazującego na elektromagnetycznej fali zanikającej w pryzmacie szklanym. Na drugi z eksperymentów składała się grupa zsynchronizowanych doświadczeń zmierzających do wytworzenia kondensatu Bosego-Einsteina na tzw. chipie atomowym. W pracy użyto najbardziej wyrafinowanych metod optycznego chłodzenia i pułapkowania atomów, za które S. Chu, C. Cohen Tannoudji i W.D. Phillips otrzymali Nagrodę Nobla w roku 1997. Pionierskie prace nad wytworzeniem i zbadaniem podstawowych cech kondensatu Bosego-Einsteina w gazach rozrzedzonych przez E. A. Cornell'a, W. Ketterle i C. E. Wiemana zostało nagrodzone Nagrodą Nobla w roku 2001.

Recenzowana rozprawa, poprzedzona jest wprowadzeniem, który określa motywację, cele i zakres pracy. Oprócz rozdziałów zawierających opis podstaw fizycznych, na których bazują przeprowadzone eksperymenty, oraz opisu tych doświadczeń, rozprawa zawiera rozdziały poświęcone analizie szczegółowych właściwości, ich numerycznemu testowaniu i optymalizacji periodycznych mikrostruktur metalowych umożliwiających generację optycznych polarytonów plazmonowych (SPP) wraz z oceną ich praktycznej przydatności w celu wytworzenia mikropotencjałów dla atomów w konkretnych warunkach doświadczalnych. Rozdziały końcowe dobitnie podsumowują wkład własny Autorki w budowę układów doświadczalnych, diagnostykę poszczególnych elementów układów (z których jedynie część została wykorzystana w praktyce), w przeprowadzone eksperymenty, jak również zawierają podsumowanie sformułowane z myślą o przyszłych doświadczeniach. Obfita bibliografia zawierająca 182 bardzo trafnie wybrane pozycje, obejmuje również cenne odnośniki do innych prac doktorskich wykonanych w czołowych laboratoriach zajmujących się tematyką manipulacji atomami, ich chłodzenia i pułapkowania. Prace te gromadzą bardzo cenną wiedzę szczegółową, nie zawsze dostępną w towarzyszących tym pracom publikacjach w pismach naukowych. Doktorantka w wielu miejscach swojej tezy odnosi się do wiedzy zawartej w przytoczonej bibliografii, co czyni długość Jej rozprawy znośną (praca składa się ze 163 stron), ale pozostawia również żal za brakiem pełnej integralności pracy (szczególnie w Rozdziale 1, poświęconym optycznemu lustru laserowemu) zmuszając czytelnika do korzystania z referencji. Teza doktorska mgr Bartoszek-Bober zilustrowana jest licznymi rysunkami, które zawierają przejrzyste

informacje na temat przeprowadzonych symulacji i doświadczeń. Spisu rysunków w pracy nie zamieszczono. Praca napisana jest bardzo ładną polszczyzną, klarownym językiem, co świadczy również o głębokim zrozumieniu używanych przez autorkę pojęć fizycznych i problemów oraz sprzyja lekturze rozprawy. Jej zawartość wraz z referencjami stanowi również obszerny zbiór współczesnej wiedzy na temat bardzo nowoczesnej tematyki manipulowania atomami, wzbudzeń polarytonów plazmonów powierzchniowych i technik osiągania nieklasycznych stanów materii.

Rozprawa doktorska Pani mgr Dobrosława Bartoszek-Bober dotyczy pojęciowo trudnych, najbardziej zaawansowanych problemów współczesnej optyki atomowej oraz wzbudzeń polarytonów plazmonów powierzchniowych, znajdujących liczne zastosowania w nanobiologii, nanomedycynie i stanowiących podstawę energicznie rozwijającej się nanofotoniki. Zebrany w rozprawie doktorskiej materiał dokumentuje olbrzymią ilość pracy, jaką p. mgr Bartoszek-Bober wykonała, aby wywiązać się z zadań i rozwiązać liczne problemy, które nieuchronnie pojawiały się w związku ze stosowaniem wyrafinowanych, najbardziej nowoczesnych technik współczesnej optyki. Zrozumiałe jest, że eksperymenty tej rangi nie mogą być (i nikt tego nie oczekuje) wykonywane samodzielnie, lecz w zespole współdziałających ze sobą utalentowanych badaczy. W trakcie lektury miałam jednak wrażenie, że praca, którą uznano za „rozprawę właściwą” autorki zaczyna się dopiero od Rozdziału 2. Poczynając od tego rozdziału, relacja autorki o zjawisku plazmonów, modelowaniu metalowych siatek dyfrakcyjnych, ich wytwarzaniu i diagnostyce, a następnie o pułapkach atomowych, kondensacie Bosego-Einsteina i przeprowadzonych doświadczeniach zmierzających do jego wytworzenia rozwija się konsekwentnie i spójnie.

Nie można tego powiedzieć o zawartości Rozdziału 1, który niefortunnie otwiera rozprawę, a spisany jest w formie dodatku do prac doktorskich wykonanych poprzednio w Zakładzie Fizyki Atomowej UJ. Na przykład, równanie (1.2), które pojawia się na 1-szej stronie tego rozdziału, nie zostało w żaden sposób zapostulowane. To samo dotyczy dalszego tekstu i wyrażen dotyczących jednego z najbardziej podstawowych w pracy pojęć, jakim jest dipolowy potencjał optyczny (1.3a) i częstość rozpraszania fotonów (1.3b). Opatrzanie Rozdziału 1-go wprowadzeniem sprzyjałoby integralności tego rozdziału i dalszej części pracy.

Uwagi szczegółowe do Rozdziału 1

- W Rozdziale 1.1 nie zdefiniowano geometrii zagadnienia w przyjętym układzie kartezjańskim. W Rozdziale 1.2 rysunek 1.1 określający geometrię jest tak mały, że ledwie czytelny.
- Sformułowanie: „ w_{xy} to promienie (e^{-2}) wiązki na pryzmacie” (str.8/9 i w podobnym sformułowaniu na str.15) jest niejasne i nieprecyzyjne.
- Zupełnie niepotrzebnie wprowadza autorka obraz korpuskularny światła (np. w sformułowaniu „rozpraszanie fotonów”, str.9), zamiast konsekwentnie stosować obraz falowy.
- Rozdział 1.2 który, jak wspomniano wyżej, nie jest poprzedzony żadnym wstępem wprowadzającym nieproste przecież pojęcia, nie zawiera stosownych odnośników do literatury.
- Komentarz do fragmentu (str.12): „Zagadnienie ciśnienia światła wywieranego przez falę zanikającą na chmurę zimnych atomów było częścią rozprawy doktorskiej dr Jacka Fiutowskiego, jednak pomiary zostały wykonane przy czynnym udziale autorki niniejszej pracy (udział wyszczególniono w rozdz. 11). Przebieg i wyniki pomiarów zostały dokładnie opisane w pracach [5] i [4]”. Jeśli autorka wzięła w nich aktywny udział, co dokumentuje jej współautorstwo w pracy [4], powinna móc, zgodnie z moją wiedzą, na równych prawach wykorzystać je w swojej rozprawie, podczas gdy potraktowane są one bardzo skrótowo.
- Skąd się wzięła zależność (1.6)?

Uwagi te nie umniejszają wartości wyników wykonanych doświadczeń, które zaowocowały pomiarami ciśnienia światła oraz przekazu pseudopedu.

Bardzo ładnie napisany jest Rozdział 2 stanowiący wprowadzenie w tematykę plazmonów powierzchniowych, oraz Rozdział 3, który stanowi rozwinięcie tej tematyki, choć nazywa się mało konkretnie „Podstawy teoretyczne”. Rozdział 4 zawiera szczegółowy opis prób uzyskania i przetestowania napylnych złotem płyt DVD z myślą o ich wykorzystaniu jako lusterek dipolowych bazujących na optycznych polarytonach plazmonowych, a następnie symulacje numeryczne złotych siatek dyfrakcyjnych i odbiciowych pod kątem tym samym kątem z analizą ich przydatności w konkretnych warunkach przeprowadzanego eksperymentu.

W Rozdziale II zawierającym opis poszczególnych etapów prac zmierzających do uzyskania kondensatu Bosego-Einsteina na chipie atomowym, przedstawiono parametry kolejnych pułapek magnetycznych: wstępnej oraz na chipie, opisano proces transportu atomów do chipa, chłodzenia przez odparowanie, oraz opis pułapki optycznej w skrzyżowanych spolaryzowanych wiązkach laserowych. W rozdziale tym znajduje się też opis serca układu, jakim jest chip atomowy, sposób jego sterowania oraz przebieg dotychczasowych etapów eksperymentu wraz z ich optymalizacją, oraz kroki niezbędne do otrzymania kondensacji Bosego-Einsteina. Należy podkreślić, że uzyskanie kondensatu Bosego-Einsteina na chipie atomowym, którego poszczególne etapy opisane są szczegółowo w Rozdziale 8-mym i 9-tym, było dużym wyzwaniem nie tylko ze względu na złożoność sytuacji doświadczalnej, ale również ze względu na fakt, że udało się zakupić jedynie układ próżniowy z chipem atomowym i cewkami pól magnetycznych bez układu sterującego i stosownego oprogramowania. Trzeba było napisać nie tylko to oprogramowanie, ale również zaprojektować i skonstruować układ sterowania cewek i chipa atomowego, tor optyczny pułapek magnetooptycznych, pompowania optycznego i układ obrazowania chmury atomowej. Ponadto, konieczne było przeprowadzenie obliczeń pól magnetycznych generowanych przez trzy pary cewek wokół górnej komórki próżniowej, zewnętrznej cewki typu Z oraz przewodów Z i „dimpl” na chipie. Sprawę komplikował brak informacji na temat niezbędnych parametrów optymalnych. Niektóre z nich udało się uzyskać ze źródeł pośrednich. Osiągnięty postęp na drodze do pełnego sukcesu w postaci kondensatu, ilustrują zdjęcia absorpcyjne chmury zimnych atomów zaraz po wypuszczeniu z pułapki magnetooptycznej i po kompresji (rysunek 9.5), zdjęcia absorpcyjne zimnych atomów w zewnętrznej pułapce magnetycznej (rysunek 9.6), w trakcie transportu do chipa (rysunek 9.7) oraz zmierzone zależności liczby atomów w pułapce magnetycznej na chipie od czasu przebywania w pułapce (rysunek 9.9) czy rozkładu gęstości atomów w pułapce od częstości modulacji (rysunek 9.10).

Niewielkiej wagi uwagi szczegółowe od Rozdziału 2 do końca rozprawy, które przytaczam jedynie z obowiązku recenzenckiego

- Rozdział 2.1.1 Plazmony powierzchniowe są zjawiskiem czysto klasycznym i w pełni opisywalnym w języku falowym. Terminologia kwantowa czy korpuskularna w definiowaniu plazmonów jest więc niezbyt uzasadniona, choć wielu autorów prac tak to pojęcie wprowadza. Jednak w konkretnych zastosowaniach dotyczy ono pól elektrycznych zlokalizowanych przy powierzchni metal/dielektryk (tak też jest w dalszej części recenzowanej rozprawy), a nie kolektywnych oscylacji elektronów czy kwantów oscylacji plazmy przy powierzchni, które sprzężone z fotonem stanowią kwazicząstkę. Autorka nie podaje literatury, na której się oparła.
- Rozdział 3.2.1. W tekście długość wektora falowego plazmonu powierzchniowego oznaczana jest przez k_x , podczas gdy w podpisie pod rysunkiem przez k_{sp} .
- str.33. zamiast „mamy do czynienia z tłumieniem związanym z istnieniem swobodnych elektronów” mogłoby być np.: „mamy do czynienia z relaksacją swobodnych elektronów”.
- str. 34. Wyrażenie „... k_x to tłumienie wewnętrzne...” jest niezręczne, gdyż tłumienie jest procesem, a k_x definiuje jego prędkość.
- str. 34/35. Angielskie słowo „confined” lepiej tłumaczy się jako „ograniczony”, również w kontekście plazmonów przypowierzchniowych. Fragment zdania: ... pole SPP skoncentrowane” (ang. confined) jest przy granicy ośrodków, a

„koncentracja” ta większa jest w dielektryku” zawiera przejęzyczenie, gdyż pole SPP płycej wnika w metal, co ilustruje rysunek 3.4.

- Wyrażenie (3.31) nie zostało zapostulowane, podobnie jak wyrażenie na U_{tot} poniżej, brak też odnośników do literatury.
- Fragment „Chociaż powyższe rozumowanie przeprowadzone zostało dla lustra dipolowego...” nie znajduje odzwierciedlenia w tekście powyżej, gdyż tekst nie stanowi wywodu, który by można było określić jako rozumowanie, lecz przedstawia fakty znane autorce (patrz punkt powyżej), bez ich zapostulowania.
- Rysunek 4.6: Brak legendy kolorów: można się domyślić na podstawie podpisu pod rysunkiem następnym, że skala jest umowna.
- Podpis pod rysunkiem 4.7 prawdopodobnie zawiera przejęzyczenie: normalizacja lub jej brak powinny dotyczyć nie natężenia wiązki wzbudzającej, ale amplitudy pola elektrycznego wiązki padającej.
- Równie (7.4) jest słuszne jedynie na osi z w punkcie z_0 , co jest zbyt mało podkreślone w tekście.
- Równanie (7.5) nie opisuje gradientu pola $B_{\perp}$, lecz wartość tego gradientu policzoną w z_0 , o ile pominąć drugi ze znaków równości.
- W równaniu (7.5) znak „prim” oznacza gradient, a $B'_{\perp}$ jest gradientem pola magnetycznego, podczas gdy $B'_{\perp}$ w Równaniu (7.7) użyte jest dla oznaczenia pola magnetycznego.
- str. 100. Niezręczne sformułowanie: „Tradycyjnie pułapka taka wytwarzana jest [160, 161] przez dwie cewki Helmholtza”. Lepiej by było: pułapka składa się (strona bierna). Trzeba by pewnie dodać również na końcu: ... cewki Helmholtza, które wytwarzają pole magnetyczne $B(x,y,z)$.”
- str.108. Brak odnośników do wyrażeń wyjściowych dla (7.26) i (7.27).
- str. 110 (dół). Sformułowanie „konieczny jest jak najlepszy czas życia pułapki” jest nieprecyzyjne.
- str. 131. Sformułowanie „W trakcie melasy...” jest niezręczne.
- str. 132. Zdanie „Dla pułapki magnetycznej Ioffego-Pricharda na chipie zmierzono czas życia (rys. 9.9).” trzeba by uzupełnić o informację czego dotyczył zmierzony czas życia.
- Podpis pod rys. 9.9: jedno z „od” jest zbędne.
- Spis literatury: Miejsce i rok wykonania prac doktorskich [163] i [164] zostały zamienione (odpowiednio: Uniwersytet w Insbruku w roku 2003, a nie Politechnika w Darmstadzie, i odwrotnie)

Zebrany w tezie doktorskiej materiał dokumentuje olbrzymią ilość pracy, jaką mgr Bartoszek-Bober wykonała oraz wiedzy jaką zgromadziła, by wywiązać się ze stawianych przed nią zadań i rozwiązać liczne problemy, które nieuchronnie pojawiały się w związku z niezwykle wysokim progiem trudności wykonywanych doświadczeń i brakiem możliwości zakupu pełnych rozwiązań komercyjnych. Osiągnięto znaczny postęp na drodze do wytworzenia i badań kondensatu Bosego-Einsteina na chipie atomowym. Rozprawa mgr Dobrosławy Bartoszek-Bober w pełni spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim. Wnoszę o dopuszczenie Pani mgr Dobrosławy do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

K. Kolwas

Krystyna Kolwas