



Warszawa 25.01.2016

dr hab. Rafał Demkowicz-Dobrzański
Instytut Fizyki Teoretycznej
Wydział Fizyki UW
ul. Pasteura 5, 02-093 Warszawa
demko@fuw.edu.pl

Recenzja dorobku naukowego dra Jana Chwedeńczuka w związku z jego postępowaniem habilitacyjnym

Cykl publikacji „Interferometria kwantowa w gazach atomowych” będący podstawą wniosku habilitacyjnego dra Jana Chwedeńczuka, dotyczy dynamicznie rozwijającej się w ostatnich latach, zarówno od strony teoretycznej jak i eksperymentalnej, dziedziny metrologii kwantowej. Głównym celem metrologii kwantowej jest optymalne wykorzystanie kwantowych własności światła i materii w celu zwiększenia precyzji pomiarów. Wykorzystanie nieklasycznych stanów światła, czy splątanych stanów atomów może prowadzić do zmniejszenia niedokładności pomiarowej poniżej tzw. granicy szumu śrutowego. Najbardziej spektakularnym przykładem wykorzystania nieklasycznych stanów światła w metrologii jest uzyskane w ostatnich latach zwiększenie czułości detektora fal grawitacyjnych GEO600 dzięki wpuszczeniu stanu ściśniętej próżni do zazwyczaj niewykorzystywanego drugiego wyjściowego portu interferometru Michelsona. Poza zastosowaniami w optycznej interferometrii, metrologia kwantowa bada możliwości wykorzystania efektów kwantowych w układach atomowych do zwiększania stabilności zegarów atomowych jak i precyzji uzyskiwanych w interferometrii atomowej. Ten ostatni aspekt jest ściśle związany z badaniami dra Jana Chwedeńczuka. Interferometria atomowa jest niezwykle obiecującą dziedziną, której potencjał został potwierdzony w wielu eksperymentach dotyczących precyzyjnych pomiarów pól magnetycznych, atomowych żyroskopów i akcelerometrów oraz w tak fundamentalnym zagadnieniu jak precyzyjnym wyznaczeniu stałej grawitacji G .

Dr Jan Chwedeńczuk w swoich pracach prowadził badania dotyczące interferometrii w zimnych gazach atomowych i związków nieklasyczności stanów kwantowych atomów z ich potencjałem metrologicznym. W moim przekonaniu największym osiągnięciem dra Jana Chwedeńczuka jest dogłębne zrozumienie zagadnienia detekcji atomów z punktu widzenia zastosowań metrologicznych [4-7]. W ogólności, w eksperymencie interferometrycznym, w którym zaangażowanych jest N atomów, pełną informację o stanie kwantowym można uzyskać z tzw. N cząstkowej funkcji korelacji, która jest jednak niezwykle niewygodna w użyciu i często niedostępna eksperymentalnie. Habilitant wykazał w szczególności, że znacznie prostsze parametry takie jak położenie środka masy obrazu interferencyjnego czy jednocząstkowa gęstość atomów pozwala w istotnych praktycznie przypadkach na uzyskanie niedokładności estymacji poniżej granicy szumu śrutowego. Wyniki te są istotne z praktycznego punktu widzenia, gdyż pozwalają zrozumieć jakie wielkości są istotne dla zagadnienia rekonstrukcji fazy interferometrycznej i jakie są wymagania odnośnie układu detekcji umożliwiające obserwacje kwantowego wzmocnienia precyzji.

Poza zagadnieniami detekcji i estymacji dr Jan Chwedeńczuk prowadził też badania dotyczące własności stanów kwantowych potencjalnie przydatnych w interferometrii atomowej. Analizował mechanizmy powstawania nieklasycznych stanów w realistycznych układach w wyniku dwucząstkowych rozprosień atomów [8], w których to procesach charakter powstającego splątania pozwala na uzyskiwanie kwantowej poprawy precyzji interferometrycznej. Pokazał też, że analiza funkcji korelacji drugiego rzędu i badanie łamania odpowiedniej nierówności Cauchy’ego-Schwarza

może służyć jako kryterium splątania cząstkowego [11]. Habilitant scharakteryzował również wymagania dotyczące statystyki liczby atomów na wejściowych portach interferometru pozwalające na uzyskanie precyzji przewyższającej ograniczenia klasyczne [9]. Ponadto w pracach [1-3] habilitant badał konkretne modele interferometrii atomowej uwzględniające w szczególności szumy wykazujące korelacje czasowe. Prace te pozwoliły między innymi określić reżim czasowy, w ramach którego można oczekiwać kwantowej poprawy precyzji i ocenić wpływ efektów pamięci szumu. Dr Jan Chwedenczuk prowadził również badania w ramach szeroko rozumianej optyki kwantowej gdzie analizował zagadnienie rozpraszanie Ramana w kondensacie Bosego-Einsteina i stanów, które w wyniku takiego oddziaływani powstają, a które mogą również mieć zastosowanie w zagadnieniach metrologicznych [10].

W mojej ocenie Habilitant, poprzez swój dorobek w pełni zasługuje na przyznanie stopnia doktora habilitowanego. Jego prace w wyraźny sposób naświetliły ważne aspekty interferometrii atomowej, zwłaszcza z punktu widzenia realiów eksperymentalnych i pozwalają na ocenę skali w jakiej nieklasyczne własności atomów mogą być pomocne w zwiększeniu precyzji pomiarów interferometrycznych. Warto, też podkreślić, że wiele z cytowanych tu prac powstało we współpracy ze studentami i doktorantami co pokazuje pełną samodzielność dra Jana Chwedeńczuka w formułowaniu oryginalnych kierunków badań i prowadzeniu młodszych badaczy.

Poniżej, sformuję kilka uwag krytycznych, które jednak w mojej ocenie nie wpływają w istotny sposób na ostateczną ocenę dorobku Habilitanta.

Większość przywołanych eksperymentów, które stanowią bazę dla rozważań teoretycznych Habilitanta są to eksperymenty laboratoryjne o charakterze „proof-of-principle” (pokazanie zasady), które w większości przypadków są jeszcze dość odległe od rozwiązań, które mogłyby być wykorzystane w praktyce pomiarowej. W tym sensie, zarówno w Autoreferacie jak i w samych pracach brakuje odniesienia do problemów przed jakimi stoi praktyczna interferometria atomowa, aby mogła wejść do użytku komercyjnego. Przykładowo od kilku lat prowadzone są badania nad interferometrią atomową jako narzędziem do wyznaczania przyspieszenia i eksperymenty tego typu są prowadzone nawet na samolotach odrzutowych wchodzących czasowo w stan nieważkości. Ciekawym zagadnieniem byłoby opisanie nadziei jakie mogą się wiązać z interferometrią wykorzystującą nieklasyczne stany atomów w tego typu roboczych warunkach. Wydaje się, że brakuje też odniesienia do zagadnień magnetometrii wzmacnianej poprzez splątanie kwantowe, które jest blisko związane z interferometrią analizowaną przez Habilitanta. Generalnie nie jest dla mnie jasne i zdaje się, że prace Habilitanta nie pokazują tego w sposób kompleksowy, jakie są wszystkie istotne czynniki otoczenia i niedoskonałości eksperymentalnych wpływające w ogólności na działanie urządzeń pomiarowych opartych o interferometrię atomową czy to w przypadku grawitometrii, magnetometrii czy też innych potencjalnych zastosowań. Byłby to z pewnością ważny kierunek rozwoju dalszych badań.

Druga uwaga dotyczy stosowanej metodologii służącej do oceny przydatności danych stanów kwantowych w zastosowaniach metrologicznych. Habilitant opiera swoje wnioski w dużej mierze o tzw. Informację Fishera. Wielkość ta faktycznie w większości przypadków daje wiarygodną ocenę przydatności stanów kwantowych w metrologii. Nie mniej znane są pewne szczególne przypadki kiedy analiza oparta jedynie o pojęcie informacji Fishera może prowadzić do zbyt optymistycznych wniosków. Wynika to z faktu, że informacja Fishera pozwala jedynie określić dolne ograniczenie na możliwą do osiągnięcia niepewność estymacji, które to ograniczenie nie zawsze jest wysycane. Z tego względu, prowadząc tego typu badania warto równolegle, tam gdzie to możliwe, zastosować podejście Bayesowskie do zagadnienia estymacji parametru. Prawdą jest, że podejście Bayesowskie jest bardziej złożone obliczeniowo, prowadzi jednak do precyzji, których osiągnięcie jest przynajmniej teoretycznie zawsze możliwe. Tego typu uzupełnienie z pewnością dałyby wynikiom mocniejszą podstawę teoretyczną.

Podsumowując, wyniki uzyskane przez dra Jana Chwedeńczuka są niezwykle istotne dla rozwoju jednej z głównych gałęzi metrologii kwantowej czyli interferometrii w zimnych gazach atomowych, z którą wiązane są duże nadzieje w dziedzinie magnetometrii i grawitometrii. Najbliższe lata pokażą na ile idee rozważane w pracach Habilitanta znajdą zastosowanie w praktycznych rozwiązaniach metrologicznych. Nie mniej, niezależnie od przyszłych zastosowań, wyniki uzyskane w pracach będących podstawą niniejszego wniosku habilitacyjnego są ogromnie wartościowe również z czysto naukowego punktu widzenia, pozwalając zrozumieć związki pomiędzy nieklasycznymi własnościami stanów atomowych a ich potencjałem interferometrycznym.

dr hab. Rafał Demkowicz-Dobrzański

