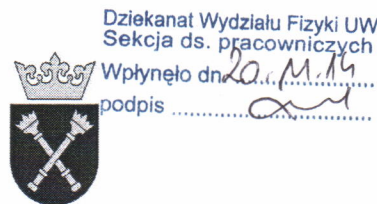


Kraków, 17 listopada 2014 r.



## **Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. Piotra Szańkowskiego**

**UNIwersytet  
Jagielloński  
w Krakowie**

Pan Piotr Szańkowski przygotował pracę doktorską pod kierunkiem prof. dra hab. Marka Trippenbacha. Rozprawa nosi tytuł "Quantum coherence and correlations in cold atom systems" i jest rozprawą, w mojej ocenie, niekonwencjonalną, gdyż głównym celem nie jest przedstawienie wszystkich osiągniętych przez doktoranta wyników, ale zaprezentowanie przemyśleń i własnych interpretacji dotyczących kwantowego splątania oraz jego użyteczności w metrologii. Załączona lista publikacji doktoranta jest imponująca. Aby dowiedzieć o wszystkich oryginalnych wynikach jakie otrzymał w trakcie studiów trzeba zajrzeć do oryginalnych prac. W artykułach natomiast nie znajdziemy tego co w głównej mierze zawiera rozprawa, która prezentuje ogólne zrozumienie problemu metrologii i konsystentny obraz użyteczności kwantowych korelacji w zastosowaniach metrologicznych.

Instytut Fizyki

imienia

Mariana Smoluchowskiego

**Zakład Optyki Atomowej**

Pan Piotr Szańkowski koncentruje się na splątaniu identycznych cząstek, które, jak podkreśla, często traktowane jest jako bezużyteczne, gdyż w protokołach informacji kwantowej dokonuje się niezależnych operacji na obiektach splątanych kwantowo, a w przypadku identycznych cząstek jest to niemożliwe. Splątanie identycznych cząstek oznacza jednak korelacje między cząstkami. Pan Piotr Szańkowski swoją rozprawę doktorską poświęca analizie użyteczności tych korelacji w metrologii.

Narzędziem pozwalającym ocenić jakie stany obiektów kwantowych są wyjątkowo użyteczne w interferometrii jest kwantowa informacja Fishera, która determinuje niepewność wartości wyznaczanego parametru. Stany kwantowe cząstek wykazujące jedynie klasyczne korelacje nie pozwalają otrzymać informacji Fishera większej niż tzw. granica szumu śrutowego. Spośród stanów splątanych kwantowa informacja Fishera daje możliwość wyłonienia tych, które tę granicę przełamują.

Pan Piotr Szańkowski w swojej pracy koncentruje się na układzie nierozróżnialnych cząstek, które „żyją” w dwuwymiarowej przestrzeni Hilberta. W takim przypadku dowolna transformacja stanu układu dokonywana w interferometrze staje się sekwencją obrotów, w których kąt jednego z obrotów jest szukanym parametrem. Informacja Fishera nie zależy od tego parametru, co oznacza, że jest wielkością charakteryzującą wyłącznie własności stanów przygotowanych w realizacji interferometru. Ponieważ wartości informacji Fishera odpowiadające stanom separowalnym

ul. Reymonta 4

PL 30-059 Kraków

tel. +48(12) 663-57-79

fax +48(12) 633-84-94

e-mail:

krzysztof.sacha@uj.edu.pl

Kraków, 17 listopada 2014 r.



UNIWERSYTET  
JAGIELLOŃSKI  
W KRAKOWIE

Instytut Fizyki

imienia

Mariana Smoluchowskiego

Zakład Optyki Atomowej

nie mogą przekroczyć granicy szumu śrutowego, informacja Fishera staje się miernikiem splątania kwantowego, a dokładniej kwantowych korelacji, które są użyteczne w interferometrii. Analizę kwantowych korelacji można zatem zredukować do analizy informacji Fishera odpowiadającej generycznemu interferometrowi, którą autor nazywa dynamiczną podatnością (tj. podatnością na zmiany stanu układu wywołane obrotem o nieznany i szukany kąt).

Rozdział 5 zawiera, w mojej opinii, najciekawsze wyniki rozprawy. Pan Piotr Szańkowski znajduje górne, bardziej restrykcyjne niż tzw. granica Heisenberga, ograniczenie na podatność dynamiczną, które pokazuje, że nieporównywalnie łatwiej jest zbliżyć się do granicy Heisenberga wykorzystując cząstki nierozróżnialne niż rozróżnialne. Osobiście jestem zaskoczony, że stosunkowo łatwy w eksperymentalnej realizacji symetryczny stan Focka (ang. twin Fock state) pozwala osiągnąć wartość informacji Fishera rzędu granicy Heisenberga.

Aby zrozumieć czym jest splątanie kwantowe Pan Piotr Szańkowski przedstawia dynamiczną podatność wykorzystując rozkład macierzy gęstości stanu układu nierozróżnialnych cząstek w bazie sferycznych operatorów tensorowych. Otrzymujemy wówczas bardzo ładny związek dynamicznej podatności z momentem bezwładności fikcyjnej masy rozłożonej na sferach z gęstościami proporcjonalnymi do wartości średnich operatorów tensorowych. Im większy jest moment bezwładności tym bardziej użyteczne splątanie kwantowe. Stany o wysokiej symetrii ze względu na obroty, a więc takie, których macierz gęstości rozkłada się na operatory tensorowe o małej wartości momentu pędu, posiadają mały moment bezwładności, a więc ich użyteczność w interferometrii jest znikoma. Stany najbardziej użyteczne odpowiadają rozkładowi fikcyjnej masy wokół równika sfery o największym możliwym promieniu. Użyteczne splątanie kwantowe w pracy Pana Piotra Szańkowskiego zyskało nowy geometryczny obraz. Autor pokazał, że użyteczne kwantowe korelacje bezpośrednio wiążą się z symetrią stanów ze względu na obroty.

Głębsze zrozumienie problemów fizycznych często pozwala zobaczyć lub przewidywać nowe zjawiska, które wcześniej były zakryte. Jestem bardzo ciekawy czy nowatorski obraz splątania kwantowego zaprocentuje również nowymi pomysłami metrologii kwantowej.

Praca Pana Piotra Szańkowskiego jest dziesiątą rozprawą doktorską, którą recenzuję. W większości przypadków wyniki zawarte w rozprawach można było również znaleźć w oryginalnych publikacjach doktorantów. Ta rozprawa doktorska jest wyjątkowa, bo zawiera przemyślenia i interpretacje, na które prawdopodobnie trudno sobie pozwolić w artykułach naukowych. Ponadto przedstawia

ul. Reymonta 4

PL 30-059 Kraków

tel. +48(12) 663-57-79

fax +48(12) 633-84-94

e-mail:

krzysztof.sacha@uj.edu.pl

Kraków, 17 listopada 2014 r.



UNIwersytet  
Jagielloński  
w Krakowie

Instytut Fizyki

imienia

Mariana Smoluchowskiego

**Zakład Optyki Atomowej**

konsystentny, kompletny i oryginalny obraz opisujący czym jest kwantowe splątanie. Miałem okazję wysłuchać kilku seminariów głoszonych przez Pana Piotra Szańkowskiego. Zawsze były to wykłady dobrze przygotowane i wygłoszone. Z podobną sytuacją mamy do czynienia w rozprawie doktorskiej - napisana jest bardzo starannie i w sposób głęboko przemyślany. Nie mam żadnych wątpliwości, że rozprawa spełnia wymogi stawiane pracom doktorskim i w mojej opinii zasługuje na wyróżnienie. Wnioskuje o dopuszczenie mgr. Piotra Szańkowskiego do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Prof. Krzysztof Sacha

ul. Reymonta 4

PL 30-059 Kraków

tel. +48(12) 663-57-79

fax +48(12) 633-84-94

e-mail:

krzysztof.sacha@uj.edu.pl