

Toruń, 4 marca 2017

Prof. dr hab. Dariusz Chruściński  
Instytut Fizyki  
Uniwersytet Mikołaja Kopernika

### Recenzja dorobku naukowego dr. Jarosława Korbicza w postępowaniu habilitacyjnym

Pan dr Jarosław Korbicz uzyskał stopień doktora nauk fizycznych na Wydziale Fizyki i Matematyki Uniwersytetu Leibniza w Hannoverze w roku 2006 przedstawiając rozprawę doktorską pt. „Quantumness of States: From Positive P-Representations to Entangled States” napisaną pod kierunkiem prof. M. Lewensteina. Po uzyskaniu stopnia doktora przebywał na stażach podoktorskich w Instytucie Fotonicznym w Barcelonie (w latach 2007-2008 oraz 2010-2012) oraz w roku 2008 na Wydziale Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej Politechniki Gdańskiej i Krajowym Centrum Informatyki Kwantowej (Uniwersytet Gdański). W latach 2013-2014 był adiunktem naukowym w Instytucie Fizyki Teoretycznej i Astrofizyki UG oraz Krajowym Centrum Informatyki Kwantowej, a od roku 2015 jest adiunktem naukowym na Wydziale Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej Politechniki Gdańskiej i Krajowym Centrum Informatyki Kwantowej.

Na rozprawę habilitacyjną dra Korbicza składa się cykl 9 prac oryginalnych opublikowanych w prestiżowych czasopismach naukowych w latach 2008-2016 pt. „**Aspekty przejścia kwantowo-klasycznego: od splątania do obiektywności**”. Prace wchodzące w skład są wieloautorские. Dołączona dokumentacja zawiera oświadczenia wszystkich współautorów określające ich rolę w procesie tworzenia artykułów.

Przedstawione prace dotyczą szeroko pojętych zagadnień związanych z korelacjami w układach kwantowych i wpisują się w nurt badań dotyczących podstaw fizyki kwantowej i kwantowej teorii informacji. Korelacje w układach fizycznych (zarówno klasycznych jak i kwantowych) są często kluczem do zrozumienia fizyki zagadnienia. Wraz z rozwojem kwantowej teorii informacji problem opisu korelacji nabiera kluczowego znaczenia. Fizyka kwantowa wprowadza nowe subtelne typy korelacji, które nie są dostępne w układach klasycznych – kwantowe splątanie, kwantowy dyskord czy też kwantowy dysonans. Praca habilitacyjna dra Korbicza poświęcona jest analizie nieklasycznych korelacji oraz ich roli w analizie granicy klasycznej teorii kwantowej. Szczególna uwaga poświęcona jest zagadnieniu obiektywności. Analiza tego zagadnienia została zapoczątkowana przez Żurka i znana jest pod nazwą „kwantowego Darwinizmu”. Badania dra Korbicza uważam za ambitne, ciekawe i wpisujące się aktualny nurt badań na świecie.

Dwie pierwsze prace z cyklu [A,B] z wiodącym wkładem habilitanta [80%,85%] dotyczą analizy kwantowego splątania w języku analizy harmonicznej na klasycznych grupach zwartych [A] oraz na zwartych grupach kwantowych w podejściu Woronowicza [B].

Autorowi udało się przeformułować szereg znanych zagadnień z teorii kwantowego splątania na odpowiednie problemy z niekomutatywnej analizy harmonicznej. Jest to bardzo ciekawa próba zaatakowania starych problemów w nowym sformułowaniu. Dodatkowo, pozwala w naturalny sposób pracować w przypadku, gdy wymiar przestrzeni Hilberta jest nieskończony. Niestety, poza niewątpliwą matematyczną elegancją, podejście to nie prowadzi do istotnie nowych wyników w oryginalnej teorii splątania. Tym niemniej obie prace oceniam bardzo wysoko. Prace te są świadczą o znakomitym wykształceniu matematycznym Habilitanta.

W pracy [C] (Habilitant jest pierwszym autorem i jego wkład wynosi 55%) analizowana jest bardzo ciekawa koncepcja tzw. strukturalnego fizycznego przybliżenia. W pracy jest postawiona hipoteza, że przybliżenie odwzorowania dodatniego, które dodatkowo jest optymalne, prowadzi do kanału kwantowego łamiącego splątanie. Hipoteza ta wywołała dużą dyskusję w literaturze i w końcu została obalona przez Kye i Ha (2013). Nadal pozostaje otwarta słabsza hipoteza odnośnie dodatnich odwzorowań rozkładalnych  $M_2 \rightarrow M_n$  (autorzy podali dowód hipotezy dla  $n=2$  i  $n=3$ ). W pracy jej autorzy wprowadzili również ciekawą klasę stanów kwantowych unitarnie-symplektycznie niezmienniczych. Splątane stany tego typu mogą być wykrywane przez znane odwzorowanie Breuera-Halla. Co ciekawe klasa ta zawiera splątane stany PPT, które są niesłychanie trudne do konstrukcji i wykrycia.

Kanały łamiące splątanie znalazły nietrywialne uogólnienie w pracy [D] (wkład habilitanta 60%) na kanały niszczące bardziej ogólne rodzaje korelacji kwantowych. W pracy tej uogólniono również koncepcję rozgłaszania stanu na rozgłaszanie jego spektrum. Uogólnienie to pozwala w naturalny sposób ominąć znane twierdzenie „no go” obowiązujące dla standardowego rozgłaszania. Wyniki tej pracy stały się punktem wyjścia bardzo owocnych badań poświęconych przejściu kwantowo-klasycznemu i pojęciu obiektywności. Pozostałe prace z listy [E-I] dotyczą właśnie wspomnianych zagadnień. Moim zdaniem ich waga jest na tyle duża, że gdyby Habilitant przedstawił jako swoje osiągnięcie habilitacyjne jedynie prace [E-I], to nadal byłaby to bardzo dobra rozprawa habilitacyjna. We wszystkich pracach [E-I] deklarowany wkład Habilitanta jest wiodący: odpowiednio 75%,70%,70%,55%,60%. Cała koncepcja oparta jest na standardowej teorii kwantowych układów otwartych. Nowatorskim elementem jest potraktowanie części otoczenia na równi z oryginalnym układem. Tym samym cały problem staje się dużo bardziej złożony. W szczególności standardowe zagadnienie dekoherencji nabiera w tym schemacie zupełnie nowego znaczenia. Jest odpowiedzialne nie tylko za utratę kwantowej koherencji w samym układzie, ale również za powstanie szczególnej struktury rozgłoszeniowej w układzie + obserwowana część otoczenia, która pozwala wielu obserwatorom obiektywnie stwierdzić, że układ jest w danym stanie. Do najważniejszych osiągnięć Habilitanta dotyczących omawianej części rozprawy zaliczam:

1. Centralnym pojęciem wprowadzonym przez Habilitanta jest oparta na koncepcji spektralnego rozgłaszania tzw. spektralna struktura rozgłoszeniowa. Jest to stan układu wraz z częścią otoczenia i w naturalny sposób nawiązuje do koncepcji kwantowego Darwinizmu Żurka. Struktura rozgłoszeniowa odpowiedzialna jest za obiektywność pomiaru w sensie Bohra, tzn. pomiaru, który nie zaburza mierzonego układu. Model kwantowego Darwinizmu opiera się na pewnych relacjach entropowych. Habilitant pokazuje, że struktura rozgłoszeniowa jest dużo bardziej naturalnym wymaganiem.
2. Wprowadzenie pojęcia makrofrakcji, tzn. takiej makroskopowej frakcji otoczenia (środowiska), która odpowiedzialna jest za tworzenie struktury rozgłoszeniowej.

3. Detaliczna analiza powstawania struktur rozgłoszeniowych w wybranych modelach „układ + otoczenie”. Habilitant przeanalizował dwa znane modele dekoherencji: sferę dielektryczną oświetlaną fotonami oraz kwantowy ruch Browna. W pierwszym przypadku wykazano asymptotyczne tworzenie struktury rozgłoszeniowej. W przypadku kwantowego ruchu Browna [G,H,I] Habilitant przeprowadza analizę dwóch reżimach – ciągłym i dyskretnym – oraz (w tym ostatnim przypadku) wykorzystał w ciekawy sposób teorię funkcji prawie periodycznych (almost periodic functions). Wynikiem tej analizy jest potwierdzenie powstawania struktury rozgłoszeniowej w takim układzie. Dodatkowo proces formowania takiej struktury zależy od początkowego stanu otoczenia, a efektywność całego procesu zależy w istotny sposób od temperatury otoczenia.

Pozostały dorobek naukowy dra Korbicza jest również bardzo wartościowy i dowodzi bardzo wysokiej aktywności naukowej. Składa się na niego 13 artykułów. Prace dra Korbicza były cytowane 385 razy (wg. Web of Science) a index  $h=9$ . Jego aktywność naukowa jest bardzo szeroka. Obejmuje ona

1. ogólną teorię względności – np. J. Korbicz, J. Tafel, Class. Quant. Grav. 21, 3301 (2004)
2. optykę kwantową – np. J. Korbicz, J.I. Cirac, M. Lewenstein, Phys. Rev. Lett. 94, 153601 (2005)
3. fizykę statystyczną – np. A. Kubiak, J. Korbicz, Z. Zakrzewski, M. Lewenstein, EPL 72, 506 (2005)
4. korelacje kwantowe i nierówności Bella – np. A. Acin, R. Augusiak, D. Cavalcanti, C. Hadley, J. Korbicz, M. Lewenstein, L. Masanes, M. Piani, Phys. Rev. Lett. 104, 140404 (2010)
5. fizykę matematyczną (oprócz [A,B]) np. J. Korbicz, A. Osterloh, F. Hulpke, M. Lewenstein, J. Phys A. 41, 371301 (2008)
6. kwantową teorię informacji – np. R. Augusiak, J. Stasińska, C. Hadley, J. Korbicz, M. Lewenstein, A. Acin, Phys. Rev. Lett. 107, 070401 (2011)

Pewną wadą dorobku dra Korbicza jest brak prac jedno-autorskich. Rekompensatą jest znakomity zestaw współautorów. Dodatkowo w wielu pracach (wszystkich z listy [A-I]) jego wkład jest dominujący. Warto podkreślić, że prace Habilitanta zostały opublikowane w najbardziej renomowanych czasopismach (5 prac w Phys. Rev. Lett i 7 prac w Phys. Rev. Dodatkowo jedna praca w Comm. Math. Phys.).

Dr Korbicz brał udział w realizacji wielu projektów międzynarodowych. Obecnie jest głównym wykonawcą w prestiżowym projekcie Fundacji Templetona „Quantum phenomena: Between the whole and the parts” (2015-2018). W roku 2017 był współorganizatorem konferencji naukowej w ramach tego projektu. Wielokrotnie prezentował wyniki swoich badań na konferencjach międzynarodowych.

Działalność dydaktyczna w jego przypadku jest bardzo skromna, co wynika z charakteru jego kariery naukowej. Pozycja podoktorska nie obliuguje to prowadzenia zajęć dydaktycznych. Tym niemniej dr Korbicz pełnił rolę promotora pomocniczego w dwóch przewodach doktorskich: dr Michał Studziński (obrona 2015), dr Jan Tuziemski (obrona styczeń 2017).

**Podsumowanie:** uważam, że dorobek naukowy dra Korbicza jest wybitny, a przedstawiony cykl 9 prac, składający się na pracę habilitacyjną, z nawiązką spełnia ustawowe i zwyczajowe wymogi stawiane kandydatom do stopnia dra habilitowanego. Dlatego wniosek o nadanie panu dr. Jarosławowi Korbiczowi stopnia doktora habilitowanego uważam za całkowicie uzasadniony i z pełnym przekonaniem wnoszę o jego przyjęcie przez Radę Wydziału Matematyki, Fizyki i Informatyki Uniwersytetu Gdańskiego.



prof. dr hab. Dariusz Chruściński