

Gdańsk, 15.01.2013

Prof. dr hab. Michał Horodecki  
Instytut Fizyki Teoretycznej i Astrofizyki  
Uniwersytet Gdański  
Krajowe Centrum Informatyki Kwantowej w Gdańsku

### **Ocena dorobku Dr Marcina Wieśniaka w związku z postępowaniem o nadanie stopnia doktora habilitowanego**

Dr Marcin Wieśniak prowadzi badania w dziedzinie informatyki kwantowej. W jego tematyce badawczej dominującą pozycję zajmują nierówności Bella. Nierówności te pozwalają w sposób operacyjny wykazać, że przyroda nie może być opisana przez jakąkolwiek teorią bazującą na klasycznej koncepcji prawdopodobieństwa, wedle której prawdopodobieństwo jest jedynie skutkiem niewiedzy, o ile respektujemy niemożność rozchodzenia się sygnałów z dowolnie dużą prędkością. Teorie takie, określane mianem lokalnie-realistycznych, spełniają nierówności Bella, które wyrażają pewne więzy na korelacje wyników pomiarów wykonywanych na oddalonych układach fizycznych. Korelacje otrzymane z pomiarów większości kwantowych stanów *splątanych* łamią nierówności Bella. Doświadczenie takie pozwala sfalsyfikować hipotezę o istnieniu lokalnie realistycznego opisu Natury bezpośrednio, tj. bez odniesienia się do mechaniki kwantowej. Wiedza o mechanice kwantowej jest potrzebna do przygotowania doświadczenia, lecz wnioski z doświadczenia nie zależą od teorii (w tym przypadku od mechaniki kwantowej) która pozwala je przygotować.

Przez wiele lat, począwszy od odkrycia przez Bella jego słynnych nierówności, były one traktowane jako ciekawostka, domena pasjonatów o zainteresowaniach quasi-filozoficznych. W latach 90-tych z racji dynamicznego rozwoju technik doświadczalnych – zwłaszcza interferometrii fotonowej - nierówności Bella zostały docenione przez szersze grono naukowców. Łamanie nierówności Bella w laboratorium jest bowiem bardzo wymagającym doświadczeniem – do teraz nie przeprowadzono doświadczenia, w którym założenia Twierdzenia Bella byłyby całkowicie spełnione. Zatem kolejne, coraz lepsze doświadczenia w tym zakresie stały się rodzajem wyścigu, który trwa do dziś. Jednak zasadniczym powodem dla którego nierówności Bella znajdują się obecnie w centrum zainteresowania całej rzeszy naukowców, jest ich nieoczekiwany związek z potencjalnymi zastosowaniami praktycznymi. Okazało się, że dziedzina badań nad lokalnym realizmem, zasługuje na miano *filozofii stosowanej* (ten trafny termin usłyszałem z ust prof. Marka Żukowskiego, w którego grupie rozpoczął swoją karierę naukową dr Marcin Wieśniak).

W latach ok. 1995-2005, nierówności Bella zostały przyćmione przez rozwój teorii kwantowego splątania: z tego punktu widzenia były bowiem traktowane jako jedynie dostateczne warunki splątania. Przełomem było odkrycie kryptografii niezależnej od urządzenia, która zdominowała dyskurs w dziedzinie kryptografii kwantowej do dziś, a która bazuje właśnie na operacyjności nierówności Bella, kluczowej dla ich pierwotnej filozoficznej interpretacji. Innym wątkiem o wydźwięku praktycznym jest odkrycie obniżenia tzw. złożoności komunikacyjnej przez mechaniką kwantową, w stosunku do klasycznej

złożoności komunikacyjnej. Tutaj także istotą efektu jest nieistnienie opisu lokalnie realistycznego – zatem filozofia tłumaczy się na praktykę w sposób bezpośredni.

Nierówności Bella stanowią więc fundament informatyki kwantowej w jej współczesnym wydaniu, i znajdują się w centrum zainteresowania wielu bardzo silnych ośrodków. Istnieje szeroki nurt badań, których celem jest zastosowanie nierówności Bella do przetwarzania informacji. Przedstawianie nowych efektów w szacie schematów niezależnych od urządzenia (ang. *device independent*) stało się wręcz obowiązkowe. Z racji ogromnej wagi jaką nierówności Bella spełniają w informatyce kwantowej, winny być i są badane dla nich samych, tj. nawet bez odniesienia do konkretnych zastosowań. Można tutaj wydzielić dwa nurty badań teoretycznych: badania natury matematycznej, których celem jest konstruowanie nowych nierówności Bella, zrozumienie ich struktury oraz badania służące realizacji doświadczalnej, w tym teoretyczny opis efektów występujących w interferometrii fotonowej – jednego z głównych narzędzi stosowanych do demonstracji łamania nierówności Bella.

W grupa prof. Żukowskiego, w której Kandydat rozpoczął karierę naukową zajmowano się nierównościami Bella już od wczesnych lat 90-tych. w obu tych aspektach, nie stroniąc również od praktycznych zastosowań nierówności Bella.

Należy wreszcie nadmienić, że nierówności Bella ściśle wiążą się z innym paradoksalnym efektem jakim jest twierdzenie Kochena-Speckera. Rolą założenia o lokalności (tj. rozchodzenia się sygnałów ze skończoną prędkością) pełni tutaj tzw. nie-kontekstualność, a miejsce teorii lokalnie-realistycznych zajmują teorie niekontekstualne – tj. taki w których własność obiektu nie zależy od kontekstu w jakim zostaje pomierzona. Układy kwantowo mechaniczne nie pozwalają na taki opis. Do niedawna, sądzono, że falsyfikacja teorii niekontekstualnych jest niemożliwa doświadczalnie. Ostatnio, pokazano, że jest to w pewnym sensie możliwe, co zapoczątkowało dynamiczny rozwój teorii i doświadczeń także w zakresie twierdzenia Kochena-Speckera.

Dorobek naukowy dr Wieśniaka poświęcony jest w dużej mierze badaniom w dziedzinie nierówności Bella. Są w nim także pozycje spoza tej dziedziny, dotyczące teorii splątania czy też komunikacji w spinowych łańcuchach. Dr Wieśniak opublikował łącznie 24 prace w prestiżowych czasopismach naukowych, w tym jedną w *Nature*, najbardziej prestiżowym, obok *Science* czasopiśmie naukowym oraz dwie (nie licząc komentarza) w najbardziej prestiżowym czasopiśmie fizycznym *Physical Review Letters*. Prace osiągnęły pokaźną liczbę ok 300 cytowań, oraz wysoki indeks Hirsha 9.

Jako osiągnięcie przedstawione do habilitacji Kandydat wyodrębnił 7 prac, których wspólnym mianownikiem są efekty nieklasyczne – łamanie nierówności Bella oraz kontekstualność. Jedna z prac traktuje ogólniej o kwantowym splątaniu, jednak pozostaje w ścisłym związku z tematyką nierówności Bella. Poza pracą opublikowaną w *Nature* gdzie przeprowadzony jest eksperyment demonstrujący paradoks Kochena Speckera, wszystkie pozostałe dotyczą układów wielocząstkowych, w których powstają znaczące komplikacje w porównaniu z układami dwucząstkowymi, najlepiej dotychczas przebadanymi.

Rezultaty zawarte w pracy [W3] (numeracja jak w autoreferacie) opublikowanej w *Nature* zostały otrzymane we współpracy z grupą Antona Zeilingera – jednego z pionierów doświadczalnej informatyki

kwantowej. Wkład Dr Wieśniaka polegał m.in. na teoretycznej asyście, której zadaniem było otrzymanie parametrów zapewniających sfalsyfikowanie teorii niekontekstualnych. Praca [W2] jest również na pograniczu teorii i doświadczenia, przeanalizowany tam jest wpływ różnego typu doświadczalnych niedokładności na widzialność w doświadczeniach wielofotonowych.

Pozostałe prace abstrahują od fizycznych implementacji, sytuując się w nurcie, który można nazwać teorią nierówności Bella/kontekstualności. W pracach [W1,W4,W5] proponowane są systematyczne metody wyprowadzania nowych nierówności Bella z istniejących nierówności bądź wielocząstkowych kryteriów splątania. Rezultaty są bardzo eleganckie zaś pomysły oryginalne, o co jest coraz trudniej przy ogromnej podaży wyników dotyczących nierówności Bella na rynku naukowym. Analizowane są m.in. nowe cechy otrzymywanych nierówności, jak np. wykrywanie tzw. „autentycznego” (ang. *genuine*) splątania przy pomocy korelatorów o rzędzie niższym od ilości cząstek (autentyczne splątanie oznacza, że stan nie jest mieszkanką stanów, które są separowalne dla jakiegoś podziału na dwa układy).

W pracy [W6] skonstruowane są nierówności Bella, o ciekawych właściwościach: użyte są wyłącznie obserwable spinowe, a ponadto dla każdego układu, obserwable te nie komutują. Zatem uniknięto sytuacji, w której już dla pojedynczego układu nie można znaleźć ukrytych zmiennych, z racji paradoksu Kochena-Speckera, i nieklasycyzm wynika wyłącznie z łamania nierówności Bella. W pracy [W7] otrzymano stany pięcio-cząstkowe, dla których dowolny podukład nie łamie nierówności Bella o dwóch ustawieniach dla każdej cząstki, zaś cały układ łamie pewną nierówność Bella, którą autorzy wprowadzają. Autorzy nie wspominają, że dla trzech cząstek, łatwo jest podać dość trywialny przykład – stan GHZ. Dla większej ilości cząstek rozważanej w omawianej pracy, jest to jednak rezultat nietrywialny.

W powyższych pracach mamy zatem zarówno systematyczne konstrukcje jak i ciekawe pojedyncze konstrukcje nierówności Bella oraz stanów które je łamią. Trzeba jednak dodać, że tematyka nierówności Bella stała się w ostatnich latach także domeną badań informatyków, a także fizyków matematycznych, gdzie używane są inne narzędzia, pozwalające na otrzymanie nowego typu rezultatów, oraz stawianie nowych pytań których nie stawia się w nurcie tradycyjnym, w jak wpisują się prace Dr Wieśniaka. Wynika to po części z tego, że owo tradycyjne podejście jest dostosowane do doświadczalnych warunków, gdzie ważnymi parametrami jest ilość ustawień, cząstek i wymiar przestrzeni dostosowany do potencjalnych możliwości eksperymentalnych. Informatyków zaś interesuje zwykle skalowanie. Odnoszę wrażenie, że te dwa światy niewiele o sobie wiedzą. Byłoby dobrze, gdyby w przyszłości Dr Wieśniak zainspirował się rezultatami informatyków i użył swojego wyrafinowanego warsztatu a także sporego doświadczenia aby stawiać i rozwiązywać problemy które pojawiają się w nowym kontekście (o ile będzie kontynuował badania dotyczące nierówności Bella).

Oświadczenia współautorów autorów nie budzą wątpliwości, że wkład dr Wieśniaka w większość prac wchodzących w skład omawianego cyklu był decydujący. Oświadczenia dotyczące wkładu procentowego mówią, że w przypadku 5 prac, wkład Kandydata był powyżej a niekiedy znacznie powyżej średniej (średnią definiuje jako 100% podzielone przez ilość autorów). W pracy opublikowanej w Nature, wkład procentowy jest niemal równy średniej przypadającej na autora, jednak oświadczenie jakościowe jasno definiuje istotny wkład dr Wieśniaka.

Kandydat posiada szeroką współpracę zagraniczną, którą nawiązał m.in. w trakcie długotrwałych zagranicznych stażów we Wiedniu i Singapurze oraz wielu krótkich pobytów w Monachium, Erlangen, Sztokholmie, i Wiedniu. Współpracuje zarówno z doświadczalnikami jak i teoretykami. Wielokrotnie prezentował plakaty na konferencjach, zaś czterokrotnie wygłaszał referaty. Trzy z nich (w tym jeden zaproszony) dotyczą czysto teoretycznej pracy, którą Dr Wieśniak oraz Tomasz Paterek napisali wraz z Antonem Zeilingerem. Praca jest pomysłowa, a wynik bardzo elegancki.

Dr Wieśniak jest również autorem kilku prac samodzielnych, traktujących o komunikacji w układach spinowych. Jedna z nich została opublikowana w czasopiśmie Physical Review A, zaś pozostałe są dostępne w bazie preprintów arxiv.org. Jest to tematyka zupełnie odmienna od tematyki przedstawionej jako osiągnięcie habilitacyjne. Dr Wieśniak kontynuuje te badania, włączył m.in. doktoranta, z którym opublikował dwie prace, zaś ostatnio w bazie preprintów ukazała się kolejna praca Dr Wieśniaka z tej serii (arxiv:1312.6543) z innymi młodymi pracownikami naukowymi.

Podsumowując dorobek naukowy, stwierdzam, że dr Wieśniak jest doświadczonym naukowcem, który potrafi zarówno współpracować z grupami, jak i prowadzić samodzielną działalność naukową. Wykazał się także zróżnicowaniem tematyki badawczej: oprócz nierówności Bella, prowadził badania w zakresie interferometrii kwantowej, badał komunikację w łańcuchach spinowych a także związek splątania z parametrami termodynamicznymi układów spinowych.

Kandydat uczestniczył w wielu grantach: m.in. był lub jest wykonawcą w czterech grantach europejskich (QAP, QUASAR, BRISQ2, grant ERC Antona Zeilingera), otrzymał także grant HOMING PLUS Fundacji na Rzecz Nauki Polskiej.

Kandydat nie prowadził bowiem jak dotąd żadnych zajęć dydaktycznych. Obecnie sprawuje nieformalną opiekę nad doktorantem. Słowo „nieformalną” nie oznacza jednak, że jest to mniejsze osiągnięcie niż opieka formalna, wręcz przeciwnie: dr Wieśniak samodzielnie zaproponował doktorantowi problemy oraz wstępnie je opracował. W efekcie opublikował z doktorantem dwie prace. Jak wyżej wspomniałem, obecnie ukazała się kolejna praca z młodszyimi pracownikami (doktorantem i postdokiem). Oznacza to, że Kandydat osiągnął dojrzałość naukową pozwalającą przyszłości na utworzenie własnej grupy.

Dr Wieśniak wygłosił jeden wykład popularyzatorski. Napisał też popularno-naukowy artykuł (Kandydat wspomina o seminarium, w pozycji „działalność popularyzatorska”, nie jestem jednak pewien, czy oznacza to, że seminarium miało rzeczywiście taki charakter, czy jest to pomyłka).

Reasumując, stwierdzam że dr Wieśniak ma na koncie poważny dorobek naukowy, zróżnicowane spektrum zainteresowań badawczych, spore doświadczenie pracy w zagranicznych ośrodkach, w tym w jednym z wiodących ośrodków jakim jest grupa Antona Zeilingera we Wiedniu. Brak doświadczeń w prowadzeniu zajęć w pełni równoważą, w moim odczuciu, opiekę nad młodymi pracownikami naukowymi. W rzeczywistości, brak ów jest wynikiem długotrwałych pobytów w grupach badawczych na pozycji postdoka. W zachodnim modelu uprawiania nauki, który coraz szerzej przyjmuje się w Polsce, po doktoracie odbywa się staże podoktorskie. Prowadzenie zajęć ze studentami jest wówczas zwykle

niemożliwe, natomiast możliwa i często praktykowana jest opieka naukowa nad doktorantami, jak to ma miejsce w przypadku Kandydata.

Podsumowując, z przekonaniem stwierdzam, że osiągnięcia Kandydata spełniają ustawowe wymogi dotyczące habilitacji oraz rekomenduję komisji habilitacyjnej nadanie dr Marcinowi Wieśniakowi stopnia doktora habilitowanego.

*Michał Nowdecki*