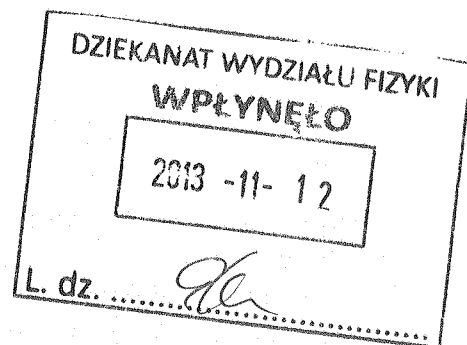


Prof. dr hab. Andrzej Gózdź  
Zakład Fizyki Matematycznej  
Instytut Fizyki  
Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej  
pl. M. Curie-Skłodowskiej 1, 20-031 Lublin  
tel. (+48 81) 537 62 39  
fax. (+48 81) 537 61 91  
e-mail: Andrzej.Gozdz@umcs.lublin.pl



Lublin, dnia 27 października 2013 r.

## RECENZJA

### rozprawy habilitacyjnej i dorobku naukowego doktora Adama Bednorza

Doktor Adam Bednorz przedstawił jako rozprawę habilitacyjną zbiór 7 artykułów wraz z autoreferatem opisującym jego osiągnięcia naukowe. Wspólnym tytułem zszywkii jest "Kwaziprawdopodobieństwo, lokalny realizm i łamanie symetrii czasu w nieinwazyjnych pomiarach kwantowych".

W pierwszym merytorycznym paragrafie referatu habilitant streszcza bardzo krótko i ogólnikowo podstawowe informacje historyczne o rozważanych problemach. Drugi paragraf stanowi kilkustronicowy przewodnik po 7 artykułach przedstawionych jako rozprawa habilitacyjna.

W pierwszym z artykułów [H1] habilitant proponuje konstrukcję „pełnej statystyki zliczeń” (FCS) dla prądu elektronowego w złączach półprzewodnikowych. Problem w dużej mierze sprowadza się do ustalenia uporządkowania zależnych od czasu operatorów prądu w funkcjach korelacyjnych. Wykorzystując pojęcie pomiaru reprezentowanego nie przez operatory rzutowe a operatorowe miary dodatnie (POVM, dokładniej, wykorzystane są operatory Krausa) autor wyprowadził odpowiednie, żądane uporządkowanie. Konsekwencją użycia słabych pomiarów jest jednak pojawienie się kwaziprawdopodobieństwa w miejsce dobrze określonego prawdopodobieństwa. Na przykład, standardowa statystyka FCS przeniesiona do obszaru skończonych częstości prowadzi do ujemnych „prawdopodobieństw”. Jak widać z rozważań przedstawionych w pracy, wynik jest zależny od użytego modelu detektora.

Niemniej stanowi to interesujący przyczynek do wiedzy o zachowaniu się prądu w złączu.

W całym, dalszym zestawie artykułów pojawia się idea kwaziprawdopodobieństwa jako podstawowego, badanego pojęcia. Należy zauważyć, że kwaziprawdopodobieństwo jest dobrze określonym obiektem matematycznym pozwalającym zdefiniować np. (kwazi)momenty rozkładu i inne analogiczne wielkości znane z teorii statystyk, czy też procesów stochastycznych. Jednakże pojęcie to stwarza problemy interpretacyjne, np. jednym z nich jest fakt, że w momentach, czy kumulantach sumujemy/całkujemy po zdarzeniach które się wzajemnie **nie wykluczają** – nie są rozłączne. Pojęcie to jednak powoli zdomowia się w fizyce i stało się interesującym obiektem badań.

Artykuł [H2] nadal bazuje na modelu złącza półprzewodnikowego, jednakże najistotniejszą myślą zawartą w tej publikacji jest skupienie się nad problemami pomiaru kwantowego w zjawisku transportu elektronowego – ten aspekt był do tej pory raczej mało badany. Jednym z istotnych aspektów teorii pomiaru kwantowego jest zbadanie efektu prób jednoczesnego pomiaru niekomutujących obserwabli. W procesie tym wiążem jest zasada nieoznaczoności ograniczająca możliwość takiego pomiaru. Mając to na uwadze, autorzy wprowadzili pomiary słabe, zamiast pomiarów rzutowych. Interesującym pomysłem jest tu „taśma kwantowa”, która w granicy słabego sprzężenia prowadzi do pomiaru niezaburzającego. Aby częściowo określić zachowanie się takich pomiarów analizowane są korelacje wyższego rzędu niż dwa. Wyniki nie wydają się być bardzo przekonujące ponieważ jest bardzo trudno oddzielić reakcję detektora od sygnału systemu. Zwracają na to uwagę sami autorzy pracy.

Analizując niekomutujące operatory prądu (w różnych, ale punktowych chwilach czasu) nie jest jasne jak i czy należy w jakiś sposób uwzględnić zasadę nieoznaczoności energia-czas mogącą być w takiej sytuacji być ograniczeniem dla obliczeń korelacji zarówno równo- jak i różnoczasowych. Ten problem pozostaje otwarty.

Negatywną cechą tej pracy jak i pozostałych z cyklu jest niezbyt staranne formułowanie i opisywanie części wzorów co utrudnia czytanie. Na przykład, wzór (5) po lewej stronie nie zawiera indeksu  $n$ , z zapisu nie jest także oczywiste, czy  $\psi_n(y)$  może być wyprowadzone poza całkę (może coś jest ukryte w strukturze  $\psi_n$ ). We wzorze (29) operator  $\hat{I}(x, t)$  nie jest faktycznie nigdzie określony (w każdym razie nie znalazłem). Opis funkcji splotu  $g$  znajduje się dopiero 10 linijek poniżej wzoru, w którym jest ta funkcja wykorzystana. We wzorze (71) jest napisane, że jądro w wykładniku jest „zdefiniowane”. Określenie to sugeruje, że jądro to jest kompletnie arbitralnie wybrane – wymaga to pewnych wyjaśnień. Podobne niedociągnięcia można

obserwować w pozostałych pracach.

Trzecia praca [H3] odnosi się do klasy słabych, nieinwazyjnych pomiarów definiowanych przez pomiary gaussowskie. Analizowana jest możliwość słabego pomiaru niekomutujących obserwabli. Prowadzi to jednak do wspomnianego już wyżej kwaziprawdopodobieństwa i ewentualnych problemów interpretacyjnych z tym związanych. Głównym narzędziem analizy prądów w złączu zastosowanym w tej pracy jest funkcja korelacyjna (1). Funkcję tę otrzymuje się z (8) przy założeniu, że korelatory  $S$  i  $C$  są stałe w obrębie szerokości pasm. Nie jest jasne, brak takiej dyskusji, jak to założenie może wpływać na końcowe rezultaty dotyczące badania ujemności kwaziprawdopodobieństwa. Test ujemności polega na naruszeniu standardowej nierówności Cauchy'ego-Schwarza. Jest to test bardziej jakościowy niż ilościowy, który by pozwalał „zmierzyć ujemne prawdopodobieństwo”. Habilitant sugeruje, że wprowadzenie kwaziprawdopodobieństwa może zastąpić tzw. podstawowy postulat mechaniki kwantowej jakim jest interpretacja probabilistyczna, czyli prowadziłoby to do nieco zmienionej formy mechaniki kwantowej. Jest to interesująca możliwość wymagająca jednak sporo dalszych badań.

Praca [H4] wprowadza w krąg zainteresowań habilitanta korelacje EPR. W artykule pokazane jest, że analiza splecenia wymaga użycia korelatorów wyższego rzędu niż 2, a dokładniej co najmniej rzędu 4. Podobne stwierdzenie dotyczy rozważanych nierówności typu Bella, jak nierówność (3), która może być także użyta jako test splecenia stanów. Faktem jest, że żadne z dotychczasowych doświadczeń nie spełniło wszystkich kryteriów pozwalających wykluczyć tak zwany lokalny realizm jako interpretację mechaniki kwantowej. To samo zauważa w pracy habilitant.

Funkcja Wignera jest interesującym przykładem, będącym pewnego rodzaju wzorcem postępowania w przypadku prób równoczesnego określenia niekomutujących obserwabli. W artykule [H5] habilitant znajduje potencjalną metodę analizy możliwej ujemności funkcji Wignera jak i podobnych funkcji związanych z kwaziprawdopodobieństwem. Znalezione kryterium wydaje się być testowalne eksperymentalnie. Taki eksperyment został wykonany w ubiegłym roku, PRL 108 (2012) 233601 co wyraźnie podwyższa wartość merytoryczną pracy [H5].

Przedostatni artykuł [H6] dotyczy istotnego problemu jakim jest próba częściowego opisu pomiaru ciągłego. Pomiar ciągły w tradycyjnym ujęciu mechaniki kwantowej, gdzie czas traktowany jest jako parametr, nie jest bezpośrednio opisywany przez postulat rzutowy. Jest to stary problem, ale do tej pory nie rozwiązany w sposób satysfakcjonujący np. prowadzi do interesującego kwantowego paradoksu Zenona.

W przypadku pomiarów słabych problem wydaje się być rozwiązywalny w sposób bardziej naturalny. W pracy został skonstruowany ciągły pomiar

gaussowski (POVM) i odpowiednio zinterpretowany poprzez podział na zachowanie się detektora (urządzenia pomiarowego) i zachowanie układu kwantowego. Analiza problemu bazuje, jak cały cykl prac, na funkcjach korelacyjnych, jednakże w tym przypadku w powiązaniu z równaniami ruchu. Habilitant analizuje łamanie nierówności typu Leggetta–Garga dla podukładu reprezentującego badany układ kwantowy.

Własności korelacji badane są na dwóch przykładach: układu dwupoziomowego oraz oscylatora harmonicznego. Jednym z interesujących pytań na które odpowiada habilitant w tej pracy jest pytanie czy w układzie dwupoziomowym można zaobserwować w pojedynczym eksperymencie oscylowanie cząstki pomiędzy poziomami. Według habilitanta odpowiedź jest negatywna gdyż w silnym pomiarze dominuje efekt Zenona, natomiast w słabym pojawia się szum uniemożliwiający taką obserwację – jest to interesujący wynik.

W ostatnim artykule [H7] habilitant zajmuje się ważkim problemem fizyki jakim jest symetria względem odwrócenia czasu. Analizuje on nie symetrię określonej dynamiki, ale sprawdza czy operacja odwrócenia czasu prowadzi do dopuszczalnej dynamiki. Dokładniej bada on symetrię odwrócenia czasu związana z procesem pomiaru. Nie jest to zatem typowa analiza jaką się stosuje do równań ruchu.

W przypadku klasycznym operacja odwrócenia w czasie sprowadza się do operacji inwersji czasowej. W przypadku mechaniki kwantowej w zasadzie są dwa operatory: unitarny, reprezentujący czystą inwersję czasową wprowadzony przez Racaha (intuicyjnie reprezentuje bezpośrednio klasyczną operację odwrócenia w czasie) oraz antyunitarny będący złożeniem inwersji czasowej i operacji sprzężenia zespolonego zapostulowany przez Wignera. Definicja (2), wraz z tekstem ją poprzedzającym niestety nie określa która z wersji kwantowej operacji odwrócenia w czasie jest dalej używana (sądząc z komentarzy można zgadywać, że w artykule w przypadku kwantowym używana jest wersja Wignera). Dla rozstrzygnięcia wątpliwości wystarczające byłoby podanie jak pod wpływem wprowadzonej intuicyjnie operacji  $T$  transformuje się operator różniczkowy  $i\partial/\partial t$ . Problem jest o tyle istotny, że równania dynamiki takie jak np. standardowe równanie Schrödingera, czy też obserwable zachowują się różnie po działaniem obu operacji odwrócenia czasu. Zatem intuicyjne mieszanie tych operacji nie wydaje się być wskazane.

Niezależnie jednak od tych wątpliwości wynik sugerujący, że kwantowe pomiary nieinwazyjne łamią symetrię odwrócenia w czasie jest ważnym rezultatem. Wniosek ten jest z ilustrowany na przykładzie układu dwóch poziomów.

Pokazane łamanie symetrii czasowej, jak zauważa habilitant, wpływa na nasze rozumienie fundamentalnego pojęcia jakim jest przyczynowość. Co raz więcej faktów, także eksperymentalnych, np. eksperymenty Teneryfa –

La Palma 2007–2012 wydają się wskazywać na konieczność rewizji rozumienia i stosowania tego podstawowego pojęcia. Ten przekaz wydaje mi się najistotniejszym wynikiem pracy [H7].

Przedstawione siedem prac stanowi dosyć różnorodny co do zakresu, chociaż, z drugiej strony monotematyczny zestaw artykułów artykułów związanych z kwaziprawdopodobieństwem i jego wykorzystaniem do podstawowych problemów mechaniki kwantowej. W tym sensie prace te spełniają ustawowy warunek.

Oprócz wyżej wymienionych siedmiu prac habilitant przedstawił do oceny 4 artykuły opublikowane przed doktoratem, oraz 8 artykułów po doktoracie (z pewną dokładnością 1-2 co do liczby, gdyż mogę tę ilość ocenić tylko po datach opublikowania), plus 3 inne nie znajdujące się w bazie JRC.

Lektura przedstawionego dorobku wskazuje na dosyć szeroką znajomość pewnych działów fizyki przez habilitanta i wydaje się, że podejmuje on z powodzeniem szeroki wachlarz zagadnień wykorzystując znany sobie aparat matematyczno-fizyczny.

Ilościowo, w okresie od doktoratu, liczba przedstawionych do oceny artykułów jest typowa, szczególnie, jeżeli nie jest się współpracownikiem w wielkich kolaboracjach, gdzie przedstawiana w wykazach liczba publikacji pojedynczego autora jest często absurdalnie duża.

W tym przypadku prace mają od jednego do trzech autorów. Ocena udziału własnego w konkretnych artykułach, zrobiona przez habilitanta, zawiera też drobny akcent humorystyczny gdyż w przypadku monoautorskiego artykułu pisze on „Mój udział procentowy szacuję na 100%”.

Habilitant został już doceniony jako specjalista w swojej dziedzinie będąc recenzentem w Physical Review Letters, Physical Review A,B oraz Europhysics Letters.

W mojej ocenie dorobek naukowy habilitanta jest wystarczający.

Zgodnie z dostarczonymi dokumentami habilitant jest kierownikiem trzyletniego projektu badawczego. Jest też wykonawcą w dwóch innych programach międzynarodowych.

Otrzymał stypendium START dla młodych naukowców oraz stypendium MNiSzW dla wybitnych naukowców. Wcześniej otrzymał nagrodę za najlepszą pracę magisterską (2000) WF UW, oraz stypendium Macewiczów (2002) UW.

Wygłosił 3 referaty na konferencjach w Niemczech, poza tym prezentował 2 plakaty na innych konferencjach międzynarodowych. Był także członkiem komitetu organizacyjnego „Pierwszej Warszawskiej Szkoły Fizyki Statystycznej, 2005”.

Pracując na WF UW w 2005 roku otrzymał nagrodę dydaktyczną, a

także prowadził zajęcia ze studentami zarówno na UW jak i w Uniwersytecie w Konstancji, gdzie odbywał trzyletni staż po doktoracie.

Dorobek pozanaukowy habilitanta uważam za wystarczający.

W recenzji nie odnoszę się do statystyk, gdyż nie odzwierciedlają one w żaden sposób wartości merytorycznej prac pracownika naukowego.

Na przykład indeks cytowań jest faktycznie tylko wskaźnikiem popularności danej tematyki i ma się nijak ani do jej ważności ani nie ocenia istotności osiągnięć badacza – faktyczną wartość da się ocenić tylko historycznie. „Impact factor” czasopisma, dla odmiany, ocenia faktycznie tylko jego zdolność marketingową itd. Generalnie, wszystkie obecnie popularne parametry oceny statystycznej mogą mieć zastosowanie tylko w socjologii nauki i wielkoskalowym administrowaniu nią.

W świetle powyższej analizy uznaję, że *dr Adam Bednorz spełnia wszystkie wymogi nałożone ustawą o stopniach naukowych konieczne do uzyskania stopnia doktora habilitowanego.*

**Stawiam wniosek o nadanie doktorowi Adamowi Bednorzowi stopnia doktora habilitowanego.**

