

dr hab. Łukasz Rudnicki, prof. UGKierownik Zespołu Kwantowych Układów Otwartych
Międzynarodowe Centrum
Teorii Technologii Kwantowych (ICTQT)

13.04.2022 r. Gdańsk

**Recenzja rozprawy doktorskiej
mgr Stanisława Sołtana
z Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego
pt. „Kwantowy Efekt Zenona dla pomiaru ciągłego”**

Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska została przygotowana w Instytucie Fizyki Teoretycznej FUW. Promotorem rozprawy jest dr hab. Adam Bednorz. Praca liczy niespełna 100 stron i podzielona jest na liczącą 50 stron część główną pracy oraz 6 dodatków łącznie liczących 30 stron. Bibliografia zawiera 65 pozycji.

Tematyka pracy skupia się na tzw. *kwantowym Efekte Zenona*. W telegraficznym skrócie, efekt ten jest skutkiem „bardzo częstych” pomiarów ewoluującego stanu kwantowego. Zgodnie z postulatami mechaniki kwantowej, każdy pomiar zaburza stan układu, w efekcie czego mierzony układ pozostaje w niemal niezmiennym stanie i to pomimo występowania innych oddziaływań. Bez nieustannie powtarzanego aktu pomiaru, stan kwantowy ewoluowałby w sposób niezakłócony, prawdopodobnie „dość szybko” dochodząc do stanu prostopadłego względem stanu początkowego.

Deklarowanym celem pracy było rozważenie modelu, w którym pomiar niezbędny do wystąpienia kwantowego Efektu Zenona wykonywany byłby w sposób ciągły. Poddany analizie został także opis z użyciem tzw. pomiarów słabych. Jak rozumiem, celem autora rozprawy było zbadanie alternatywnych modeli nadających się do opisu układu, w którym obserwuje się kwantowy Efekt Zenona, zważywszy na fakt, iż model bazujący na pomiarach rzutowych jest niedoskonały (o czym autor pisze już we wstępie). Można podsumować, iż w toku rozprawy autor doszedł do wniosku, że proponowane przez niego alternatywne sposoby opisu pomiaru ewoluującego układu kwantowego prowadzą do jakościowo tych samych wniosków odnośnie kwantowego Efektu Zenona, co podejście standardowe (są oczywiście różnice ilościowe). Wynik ten jest wartościowy i stanowi najmocniejszą stronę tej pracy.

Niestety praca ma też bardzo słabą stronę, a mianowicie jej formę, zarówno w ujęciu holistycznym, jak i w szczegółach. Przy tej okazji przyznaję, iż jestem świadomy faktu, że autor rozprawy miał też inne cele (poza wymienionym powyżej), które spróbował w niej zawrzeć. Mowa tu o analizie kwantowego Efektu „anty-Zenona”, a także korelacji występujących z pomiarach słabych i ich porównanie z innymi typami korelacji (np. Leggeta-Garga). Z treści i struktury pracy nie jestem jednak w stanie wydobyć nic konkretnego na oba tematy. W szczególności rozdział 6 poświęcony podsumowaniu pracy słowem nie wspomina o pomiarach słabych, nadmieniając jedynie, iż jest to możliwy kierunek dalszych badań. Z kolei efekt anty-Zenona, za każdym razem jest doczepiony do efektu Zenona, przez co nie tylko nie uzyskuje tematycznej autonomii, lecz wręcz zaciemnia wyniki uzyskane dla samego Efektu Zenona. Rozumiem jednak, że konkluzja dla Efektu anty-Zenona jest taka sama jak dla Efektu Zenona.

Przechodząc do konkretów, na samym początku autor deklaruje, iż oddzieli szczegóły techniczne, które nie są niezbędne do śledzenia wyводу, umieszczając je w dodatkach. Celem tego zabiegu jest poprawa czytelności pracy. Zgadzam się z autorem, że mogłoby to być rozwiązanie niezmiernie korzystne. Nie rozumiem jedynie, dlaczego wprowadzenie tego zamierzenia w czyn przybrało taką, a nie inną formę. Poprawna struktura pracy, w której szczegóły techniczne chowane są do odrębnych szufladek, wymaga niezmierniej dbałości o klarowność głównego wyводу, tak aby każdy nowowprowadzany wątek był czytelny i jasno powiązany z resztą. Wymaga to także niezwyklej dbałości o stosowaną notację, precyzji matematycznej, skrupulatnego wyjaśniania tego, „który symbol ma jakie znaczenie” i staranności językowej. Tego wszystkiego w pracy bardzo zabrakło. Na potrzeby niniejszej recenzji wykonuję więc poniżej (w punktach) szczegółową analizę samego rozdziału 1 pt. „Definicje, metody, cele”. Gdybym to samo wykonał dla całej pracy, recenzja liczyłaby kilkadziesiąt stron.

- I. Rozdział 1.1, poza samym tytułem, nie zawiera ani jednego słowa. Pomijając to, że w porządnym wywodzie jest to zwyczajnie niedopuszczalne, to gołe równania bez słowa komentarza rodzą więcej pytań niż odpowiedzi. Być może gdyby autor poświęcił parę zdań na wytłumaczenie notacji to sam zauważyłby, że:
 - a. W mechanice kwantowej zwykle definiuje się transformatę Fouriera symetrycznie, tzn. z pierwiastkiem z „2 pi”. Inny niż ten wybór warto uzasadnić.
 - b. Często gwiazdka i kreska na równi oznaczają sprzężenie zespolone. Lepiej używać falki do transformaty.
 - c. Brak jednostek (w tym stałej Plancka) też może być odczytany w sposób, którego autor nie założył (wektor falowy zamiast pędu?).
- II. Rozdział 1.2 zaczyna się od zdania dla mnie niezrozumiałego, gdyż autor posługuje się pojęciem „ewolucji w sposób nieodwracalny”, które sam *a posteriori* definiuje. I to definiuje w sposób nieprecyzyjny. Wprowadzone zostaje zależne od czasu prawdopodobieństwo, które można rozumieć na dwa sposoby:
 - a. Jako prawdopodobieństwo w chwili czasu „t”.
 - b. Jako całkowite prawdopodobieństwo przebywania w danym stanie od początku ewolucji aż do chwili czasu „t”.
- III. Równanie (1) nie ma uzasadnienia. To samo dotyczy (2). Rozumiem, że autor tych równań sam nie otrzymał (choć od początku rozdziału 1 brak jakichkolwiek referencji), niemniej jednak z wyvodu w ogóle nie widać ani skąd się te równania biorą (choćby szkic wyprowadzenia) ani co dokładnie oznaczają. Samo sformułowanie „może być traktowana jako”, to za mało wyjaśnienie.
- IV. Podobnie rzecz się ma z równaniem (3). Co więcej, równanie to wygląda identycznie jak tzw. „quantum speed limit”. Mi jako czytelnikowi rodzi się pytanie czy skala czasu występująca w (3) może być tak interpretowana.
- V. Równania (4) i (5) to swoiste zoo różnych skal czasu. Z uwagi na szczupłość rozprawy można było poświęcić nawet dodatkowe pół strony na wyjaśnienie fizyki kryjącej się za tymi skalami. Do tego oznaczenie „tau” z dolnym indeksem „t”, choć ma swoje uzasadnienie, jest trochę niefortunne.
- VI. Sformułowanie „napisać kryterium” po (6) brzmi niezręcznie.
- VII. Co ważniejsze, w tekście wokół (6) zaczyna się dyskusja nt. kryteriów określających występowanie kwantowego Efektu (anty)Zenona. Jest to zagadnienie bardzo ważne dla zrozumienia pracy i jej celów. Należałoby w sposób zdecydowanie bardziej

- precyzyjny i widoczny zdefiniować oba efekty (i to w sposób jednoznaczny), a potem starać się omawiać poszczególne kryteria. Bez takiego wprowadzenia, czytelnik nagle znajduje się w środku dyskusji na tematy, które w zasadzie nie zostały doprecyzowane.
- VIII. W równaniu (8) i poniżej pojawia się „Z” bez indeksów, co może sugerować, iż chodzi o inne „Z” niż w (6). Ponieważ wyprowadzenie (8) nie jest nawet naszkicowane, nie ma pewności czy podejrzenie odnośnie innej roli „Z” nie jest słuszne.
 - IX. Po (8) mamy zdanie „Ponieważ, zgodnie z paradoksem Zenona, $R(0)=0, \dots$ ”. Ponownie, z powodu braku jasnych definicji i należytej dyskusji, nie ma pewności czy to jest prawda. Równanie (1) nie daje dość narzędzi do weryfikacji tego stwierdzenia. W efekcie, praca już na jej pierwszych stronach ma szansę być zrozumiała jedynie dla kogoś pracującego nad tym samym zagadnieniem.
 - X. Fraza „kwantyfikować opóźnienie” przed (11) brzmi moim zdaniem niezgrabnie.
 - XI. W równaniu (11) widzimy zamianę prawdopodobieństwa zależnego od dwóch czasów pomiaru na iloczyn prawdopodobieństw. Mimo, że to na pierwszy rzut oka nie budzi większych zastrzeżeń, autor słowem nie wspomniał o ewentualnych założeniach, przy których to jest prawda. A to nie zawsze jest przecież prawdą.
 - XII. Pomiędzy (11) a (12) pewne zdanie zaczyna się z małej litery od „wreszcie”.
 - XIII. Po (12) pojawia się wytłumaczenie indeksu „P”. Nie dość, że w (12) był indeks „p0” („p” z małej litery), to warto mieć na uwadze, że obie litery „p” i „P” odgrywają już główne role w tym rozdziale.
 - XIV. Z kolei w (13), mając bliźniacze równanie do (12), znajdujemy indeks „p\l nu”. Z tym, że to „p\l nu” dla $\l nu=0$ zdaje się nie mieć wiele wspólnego z „p0” występującym w (12). A może jednak ma? Sam nie mam pewności czytając omawiany fragment. Można w nim znaleźć poszlaki za tym, że ma i za tym, że nie ma.
 - XV. Notacja równania (14) wprowadza niepewność odnośnie ról czasu t i czasu „tau”. Następnie jest napisane o rozwijaniu równań (10) i (14) w potęgach „g_i”. Jest to o tyle niezrozumiałe, iż (10) jest jawnie kwadratowe w g_i (które swoją drogą są parametrami zespolonymi). W efekcie, przy braku jakiegokolwiek wyprowadzenia, równanie (15) „spada z nieba”. Autor pisze, że jest to równanie w „najniższym rzędzie”, niemniej jednak prawdopodobieństwo „p” w tym równaniu jawnie zależy od czasu „t”. Przy braku wytłumaczenia o co chodzi i podania założeń, równanie to jest sprzeczne z pozostałymi, w których występuje „p(t)”. Rozumiem, że jest to jedynie sprzeczność pozorna, wynikająca z niedostatków opisu.
 - XVI. Ważne równania (16) w całości odwołują się do rozdziału A, podczas gdy należałoby choć naszkicować wyprowadzenie. Za to w samym rozdziale A:
 - a. W równaniu (2) chyba chodziło o „q” a nie o „p”.
 - b. Nie zawadziłoby zdefiniować funkcję trójkątną.
 - c. W (3) i (4) brakuje kreski nad „G”.
 - d. Kluczowe zdanie po (3) jest ambiwalentne, gdyż całkę na dwie całki można rozdzielić na nieskończenie wiele sposobów.
 - e. Swoją drogą z (1.14) nie widać, dlaczego druga z całek miałaby znikać, a została bez słowa pominięta.
 - f. Wreszcie przejście graniczne z „t” do nieskończoności jest nieściśle, gdyż w (4) dalej mamy „t”.
 - XVII. Dyskusja po (16) zawiera kilka niezręczności językowych, które pominię. Co ważniejsze, w odstępie 4 linijek „stan Fermiego” definiowany jest dwukrotnie i to za

- każdym razem inaczej. Są to stany o zaniku wykładniczym (w czasie?), których wykładnik albo można przybliżyć przez wykładnik z (6), albo których wykładnik jest najmniejszy. Nie wiem, którą definicję autor miał na myśli, gdyż nie widać, aby były one tożsame.
- XVIII. Na początku rozdziału 1.4 autor wprowadza stan końcowy po pomiarze. Umieszczenie na końcu zdania sformułowania „po znormalizowaniu” sugeruje, iż stan podany przed tym stwierdzenie już jest znormalizowany. A autorowi chodziło o to, że należy go dopiero znormalizować.
- XIX. W następującym równaniu (17) występują niewyjaśnione oznaczenia „A” i „g”. Podczas gdy można się domyślić, że „A” to obserwabla związana z pomiarem, to nie ma jasności czym jest „g”. Z resztą operator Krausa zdefiniowany w (17) pojawia się zupełnie z powietrza. Czytelnik zostaje odesłany od razu do rozdziału B, podczas gdy należałoby najpierw przystępnie wytłumaczyć o co autorowi chodzi. A w samym rozdziale B:
- Streszczając teorię wokół operatorów Krausa, autor nie wspomina o zupełnej dodatniości, zachowaniu śladu, nie pisze, że warunek który narzuca po (3) to unitalność, robi literówkę w nazwisku „Nikodym”, a także używa kolokwialnego słowa „mapa” zamiast bardziej adekwatnego „odzworowanie”. O ile „mapa” w mianowniku jeszcze ujdzie, to „mapę” w bierniku czyta się z bólem.
 - Z kolei w kluczowym rozdziale B.2 autor losowo umieszcza w równaniach stałą Plancka, zapomina indeksu „s” definiując stan wspólny i słowem nie objaśnia manipulacji w równaniu (7).
 - Co ważniejsze, mityczna stała „g” też nie znajduje wyjaśnienia w tym rozdziale. Co gorsza, pojawia się ona nagle po lewej stronie (7), podczas gdy nie ma jej po stronie prawej. Przez dedukcję można się domyślić, że stała ta zależy od krótkiego czasu oddziaływania i stałej sprzężenia w (4), ale co by to miało oznaczać, to jednak nie wiadomo.
- XX. W równaniu (18) pałęta się przecinek, co przy użyciu definicji anty-komutatora może być mylące.
- XXI. Po (20) omawiane jest przejście graniczne w „g” dążącym do zera, niemniej jednak robione jest to w sposób tak zdawkowy i nieprecyzyjny, że nie wiadomo co oznacza konkluzja autora w tym zdaniu.
- XXII. Na koniec podrozdziału 1.4.1 jak gdyby nigdy nic i bez słowa wyjaśnienia wspomniane są nierówności Leggetta-Garga. Autor chyba musiał założyć, iż ich znajomość w środowisku fizyków jest porównywalna ze znajomością równania Schrödingera, z czym się nie zgadzam.
- XXIII. Powyżej równania (25) dowiadujemy się, że macierz gęstości opisuje „stan <<zmieszany>> układu <<podległego>>”. Samo równanie Lindblada (25) pozbawione jest jakiegokolwiek interpretacji fizycznej. Co oznacza drugi człon tego równania? Ponownie autor zakłada, że czytelnik to wie.
- XXIV. W równaniu (26) występuje operator unitarny „U” zdefiniowany powyżej tego równania. Definicja „U” zawiera operator uporządkowania czasowego, co nie jest jasne z uwagi na fakt, że superoperator Lindblada nie zależy od czasu.
- XXV. Rozdział 1.5 rozpoczyna dyskusję filozoficzną, która nie wydaje się płynnie zintegrowana z resztą rozdziału. Analizie treści tej dyskusji poświęcę osobny paragraf.

- XXVI. Rozdział 1.6 zaczyna się od deklaracji „Cała analiza oparta będzie na hamiltonianie postaci”. Jest to zdanie bardzo ogólne, nieprecyzujące czego analizę autor ma na myśli. Gołym okiem widać, że słowo „cała” nie jest adekwatne, bo są też równania Lindblada. Hamiltonian jest z małej litery, co piszę tylko dla porządku. Z tego pierwszego zdania uczymy się jednak, że treść poniżej jest ważna dla reszty pracy. Poświęciłem jej uwagę i nie będąc w stanie zrozumieć o co chodzi, musiałem zwrócić się do autora pracy o dodatkowe wyjaśnienia. Szczerze przyznaję, iż obawiałem się, że dalsze wyniki pracy są zwyczajnie niepoprawne, gdyż myślałem, że rozdział 1.6 jest błędny. Na szczęście okazało się, że jednak jest dobrze, ale wyszło to dopiero po dwóch iteracjach notatki przesłanej przez autora. Sama notatka wprowadziła sporo kluczowych obiektów i poprawiła notację. Kwestii tej również poświęcę osobny paragraf.
- XXVII. W kolejnym podrozdziale 1.6.2 autor:
- Ponownie myli „q” z „p” w równaniu (33).
 - Nie uważa na kolejność całek w (34). Dla fizyka to może małe znaczenie, ale całka po „z” zadaje dystrybucję. Bezpieczniej najpierw całkować po „k”, albo po prostu skomentować co się robi.
 - Przed (35) autor wprowadza „amplitudę prawdopodobieństwa stanu początkowego” bez uzasadnienia w jakim celu.
 - W (35) jest zbędne (x-y) na końcu równania.
- XXVIII. W podrozdziale 1.6.3, powyżej równania (38), autor odnosi się do „tzw. przypadku symetrycznego”, nie wyjaśniając co to za przypadek i po co jest tu wymieniany.
- XXIX. W równaniu (40) rola dwóch chwil czasu po lewej stronie jest niejasna, biorąc pod uwagę prawą stronę równania.
- XXX. Spotyka się kolejne niezręczności językowe takie jak „lecz nie jest to ścisły użytek” lub „w wyżej wyliczonych rozdziałach”.
- XXXI. Zdanie „Brak jednak tutaj ogólnej analizy dla krótkich czasów” brzmi jak bardziej pasujące do recenzji rozprawy, a nie samej rozprawy.

W powyższych 31 punktach (niektóre piętrowe) wymieniłem główne kłopoty napotkane w rozdziale 1. Wciąż czeka mnie szczegółowe omówienie podrozdziałów 1.5 oraz 1.6. Czytając pozostałe rozdziały napotkałem podobną liczbę podobnych braków, których z potrzeby zachowania zdrowego rozsądku nie będę już wymieniał. Poniżej poruszę więc jedynie kilka konkretnych kwestii.

Rozdział 1.5. Na potrzeby dyskusji autor wprowadził, jak sam przyznaje, nieostre definicje pojęć efektu kwantowego w „szerszym” i w „węższym” znaczeniu. W pewnym sensie rozumiem co autor chciał zawrzeć w tych pojęciach, choć definicja efektu kwantowego w szerszym znaczeniu jako zjawiska, które „... jest w dużym stopniu powszechne, wiąże się z ogólnym teoretycznym wynikiem realizowanym przez nawet bardzo różne układy...” zbytnio kojarzy mi się z konkursami, w których dzieci każą zgadywać dorosłym o co może chodzić. Dla porządku dodam, że zgodnie z definicjami efekt jest kwantowy w znaczeniu węższym „jeśli nie ma analogu w mechanice klasycznej”. Na bazie powyższych definicji autor wysnuwa dwie konkluzje, które co najmniej nie wyglądają na prawdziwe.

Po pierwsze autor twierdzi, że kwantowy Efekt Zenona nie jest efektem w rozumieniu węższym. Autor cytuje tu [16], ale nie rozwija wątku, podczas gdy powinien streścić co w tym specyficznym kontekście dokładnie wynika z cytowanej pracy. Czy np. autorzy [16] też wprowadzili „węższe” znaczenie? Ale wracając do meritum, pozostaje pytanie o to dlaczego to nie jest efekt w znaczeniu węższym. Przy braku wyjaśnienia od autora, korzystając wprost z definicji domyślamy

się, że efekt ten musi mieć odpowiednik w mechanice klasycznej. Ale jaki odpowiednik? Przecież bramkarz nie może zatrzymać piłki lecącej w światło bramki patrząc na piłkę. Mimo tego, że wykonywany jest pomiar jej położenia (i prędkości jeśli zastąpić oko odpowiednim urządzeniem), ewolucja nie zastyga. Być może autor miał na myśli sam paradoks Zenona, czyli swoisty źródłosłów dla nazwy omawianego efektu kwantowego? Jeśli tak, to pamiętajmy, iż paradoks ten wynika z eksperymentu myślowego, a nie doświadczenia fizycznego.

Po drugie autor uzasadnia, że kwantowy Efekt Zenona jest efektem w szerszym rozumieniu, gdyż wynika z „...dwóch zjawisk obecnych wg. mechaniki kwantowej w każdej fizycznej sytuacji...”. Pierwszym wymienionym zjawiskiem jest „zanik kwadratowy (2)”. Jak łatwo się domyślić, „zanik kwadratowy” nie występuje w sytuacjach fizycznych, w których stan początkowy jest stanem własnym Hamiltonianu odpowiedzialnego za ewolucję. A więc powyższe stwierdzenie nie jest prawdziwe.

W moim odczuciu wykazanie, że oba główne wnioski autora z tego podrozdziału zdają się nie być prawdziwe, zupełnie podważa sensowność całego podrozdziału.

Rozdział 1.6. Hamiltonian (29) zdefiniowany został bez stowarzyszonej przestrzeni Hilberta. Brak jest informacji o relacjach ortogonalności pomiędzy stanami oraz o relacji zupełności. Przedstawienie stanu po (30) jest błędne, bo brakuje całki po „ x ”. W rozdziale 1.6.1 odkryte zostają niektóre karty, jeżeli chodzi o strukturę, o której mowa. Swoją drogą pierwszy raz widzę, aby przestrzeń Hilberta oznaczać tak samo jak operatory (Hamiltoniany), tzn. z daszkiem nad dużą literą „ H ”. Co ważniejsze jednak, szczegóły podane w 1.6.1, a opatrzone tytułem „Ograniczenia modelu”, rodzą więcej pytań niż przynoszą odpowiedzi. Startując z przestrzeni Hilberta dwóch podukładów autor w trochę nieprecyzyjny sposób definiuje przestrzeń „obciętą”. Jest ona rozpięta przez konkretne stany podane przez autora. Podczas gdy stany te są ortogonalne to czytane dosłownie nie spełniają one głównej obietnicy rozdziału, a mianowicie, że Hamiltonian (29) nie wyprowadza poza tak obciętą podprzestrzeń. Właściwie to łatwo pokazać, że Hamiltonian w działaniu na stan początkowy daje nieskończoność. Dzieje się tak ponieważ stany rezerwuaru są nienormowalne. W efekcie, gdy stan rezerwuaru, oznaczony przez „0” i sprzężony ze stanem wzbudzonym układu dwupoziomowego „spotyka” stan rezerwuaru (oznaczony przez ciągły parametr rzeczywisty „ k ”) sprzężony ze stanem podstawowym, w działaniu Hamiltonianu pojawia się nieskończoność wynikająca z iloczynu skalarnego stanu rezerwuaru „0” ze stanem rezerwuaru „ k ” dla $k=0$. Pragnę podkreślić, iż wniosek ten jest niechybny jeśli bazować na treści rozdziału 1.6. Z notatki dostarczonej przez autora, po dodatkowym dopytaniu, udało się ustalić, że stan „0” rezerwuaru, choć oznaczony identycznie jak stany „ k ” w istocie jest stanem próżni prostopadłym do wszystkich stanów „ k ”. A więc pokazany powyżej problem nie występuje. Wymaga to jednak co najmniej jednej strony wyprowadzenia z odpowiednim zdefiniowaniem operatorów kreacji i anihilacji. Praca go nie zawiera.

Rozdział 2.2.2. Jedna z ważnych konkluzji tego rozdziału – równanie (24) wydaje się błędne. O ile zgadzam się, że kwadrat funkcji „sinc” pomnożony przez czas dąży do delty Diraca (choć należałoby to pokazać i być precyzyjnym), to w ogóle nie widać jak miałyby to doprowadzić do (24). Zamiast 0, wynik powinien raczej być modulem z $V(0)$.

Rozdział 3.2.1. Przeliczyłem to, co dzieje się w równaniu (12) i nie udało mi się odtworzyć składnika 2 na początku drugiej linijki. Tak jak w linijce powyżej, powinno być „1”.

Rozdział 4.2.2. W podrozdziałach poprzedzających autor przytacza morze skomplikowanych wyrażen, choć nie dość, że trudno nadażyć za rachunkami tam przedstawionymi, to nie bardzo widać czy wszystkie one są potrzebne. Być może w efekcie powyższego, autor uzasadnia późniejsze równanie (18) słowami „Wydaje się zatem, że wtedy można położyć”. Ze zdania tego wnioskuję, że i sam autor nie jest w pełni w stanie kontrolować przybliżeń, którymi posługiwał się na stronie poprzedzającej.

Bibliografia. Jak wspomniano we wstępie recenzji, liczy ona 65 pozycji. To więcej niż zwykle się wymagać od pracy magisterskiej, ale zdecydowanie mniej niż oczekiwałbym od rozprawy doktorskiej. Zwłaszcza biorąc pod uwagę fakt, że aż 7 pozycji to podręczniki, a w rozprawie znajdują się też osobne odnośniki do „kamieni milowych” mechaniki kwantowej, takich jak prace Wignera, Bella czy Choi. Wreszcie, większość referencji do publikacji odnosi się do dawnej literatury. Mało jest cytowań prac powstałych niedawno. Sugerowałoby to, że postawiony przez autora problem aktualnie nie budzi zainteresowania badaczy. Ponieważ nie jest to prawdą, dochodzimy do wniosku, że autor nie dołożył wystarczających starań, aby lepiej zanurzyć swój wywód w literaturze przedmiotu.

Podsumowanie

Cieężko jest mi wydać werdykt odnośnie tej rozprawy. Z jednej strony, autor przedstawił ciekawe rezultaty i wykazał się zrozumieniem tematu, który badał. Chociaż i tu bywają kłopoty, co pokazałem na przykładach powyżej. Być może podczas obrony autor byłby w stanie część z nich wybronić. Z drugiej strony autor zupełnie poległ w kwestii prezentacji. Rozprawa jest bardzo chaotycznie napisana, pełna niedomówień i nieścisłości. Być może napisana przy założeniu, że wszystko co w domyśle jest oczywiste, a większość niezgodności „notacyjnych” mózg czytelnika jest w stanie przefiltrować w locie.

Mimo licznych braków „formy” samej rozprawy uważam, że przedstawiony w niej materiał stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, a w rezultacie całość **spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim w Art. 187. Ustawy**. Jednocześnie uważam, że obrona rozprawy doktorskiej powinna być okazją dla kandydata do uściślenia swojego wyводу.

Mam także nadzieję, że autor skorzysta z mojej recenzji i w przyszłości zdecydowanie zmieni sposób prezentowania swoich wyników.

Z wyrazami szacunku


