

**Recenzja wniosku dr Andrzeja Dragana o przyznanie stopnia naukowego dr habilitowanego**

L. dz. ....

Tematem badań dr Dragana jest fizyka kwantowa, w tym optyka kwantowa, kwantowa teoria informacji oraz jej aspekty relatywistyczne. Uzyskał swój stopień w 2006 roku za rozprawę pod tytułem Single Photon Communication Through Noisy Quantum Channels wykonaną na Wydziale Fizyki UW pod kierunkiem nestora fizyki kwantowej w Polsce profesora Wódkiewicza. Od 2006 roku do chwili obecnej dr Dragan jest zatrudniony na Wydziale Fizyki UW na stanowisku adiunkta. W tym czasie odbył także staże podoktorskie w Imperial College London (2008-2009) oraz University of Nottingham (2010-2012). Dr Andrzej Dragan znany jest też ze swojej działalności Sekretarza Naukowego Komitetu Głównego Olimpiady Fizycznej oraz z autorskiego kursu p.t. „Nieszczerólna teoria względności” wykładanego na Wydziale Fizyki.

Na dorobek naukowy dr Dragana składa się 29 prac (wg Google Scholar), w tym 20 opublikowanych w renomowanych czasopismach o międzynarodowym zasięgu (najczęściej: Phys. Rev A, Phys. Rev D, PRL, Class. Quant. Grav. I J. Phys.) oraz 9 opublikowanych w internetowych archiwach preprintowych. Google Scholar zarejestrował 489 cytowań tych prac. Prace są zwykle wieloautorskie, 21 z nich jest autorstwa od 3ch do 7 osób. Najczęściej cytowane prace zebrały odpowiednio: 114, 98, 43, 39 i 29 cytowań. Ten poziom liczby publikacji i cytowań byłby przeciętny w dziedzinie czystej informacji kwantowej, ale - z drugiej strony - w dziedzinie badań nad teorią względności byłby bardzo wysoki. Ponieważ tematyka badań dr Dragana leży pomiędzy tymi dwiema dziedzinami, powyższe dane bibliometryczne należy interpretować jako całkiem dobre, wskazujące na aktywność badawczą ocenianego oraz, że jego prace są znane.

Dr Dragan jest aktywnym wykonawcą grantów i skutecznie zdobywa finansowanie własnych projektów. Kieruje projektem NCN typu Sonata Bis p.t. „Relatywistyczna informatyka kwantowa” (2013-2017). Wcześniej był wykonawcą trzech innych projektów w Polsce oraz w Wielkiej Brytanii (Krajowe Laboratorium FAMO, Coherent States in Quantum Information, Relativistic Quantum Information).

Lista stypendiów, nagród i wyróżnień zdobytych przez dr Dragana jest imponująca. Dr Dragan dwukrotnie był stypendystą ESF i raz był stypendystą Clarendon Laboratory. Wszystkie trzy stypendia zrealizował w Oksfordzie. Jest laureatem następujących nagród: PTF za pacę magisterską, Stypendium Krajowe dla Młodych Naukowców FNP (dwukrotne), tygodnika Polityka Zostańcie z Nami oraz Stypendium dla Wybitnych Młodych Naukowców MEN.

Zwraca uwagę niezwykle aktywność dr Dragana w wygłaszaniu referatów na międzynarodowych konferencjach naukowych. Ogółem wygłosił ich ponad 19, w tym w jednym tylko 2014 roku zaproszono go do wygłoszenia 6ciu plenarnych wykładów ( jedno zaproszenie odrzucił). Ta dobrze widoczna popularność oznacza, że badania dr Dragana wzbudziły duże zainteresowanie a on sam uznany jest za eksperta klasy światowej. Podobnie należy interpretować fakt, że dr Dragan recenzuje publikacje w najważniejszych międzynarodowych czasopismach naukowych zajmujących się fizyką teoretyczną.

Dr Dragan aktywnie organizuje wydarzenia naukowe. Był członkiem naukowych komitetów dwóch konferencji fizycznych, które odbyły się w Nottingham oraz głównym koordynatorem Festiwalu Nauki na Wydziale Fizyki UW w Warszawie. Dr Dragan jest członkiem rady programowej International Society for Relativistic Quantum Information. W zakresie działalności dydaktycznej znany jest z ciekawie prowadzonych wykładów z przedmiotów fizyki teoretycznej.



Dziekan Wydziału Fizyki UW wynagrodził dr Dragana za wyróżniające prowadzenie wykładu „Niezwykłe szczególne teoria względności”. Dr Dragan nie tylko rozwija, ale także popularyzuje naukę. Pisuje artykuły w *Delcie*, *Wiedzy i Życie*, opracowuje hasła w Encyklopedii Naukowej PWN (łącznie 9 artykułów). Daje komentarze i udziela wywiadów w najważniejszych programach telewizyjnych wyjaśniając stan wiedzy w zakresie fizyki. Bierze udział w programach radiowych. Jest autorem wielu komentarzy i wywiadów prasowych. Wygłosił liczne wykłady popularno naukowe w ramach Festiwalu Nauki, Dnia Fizyka, seminariów i kół dyskusyjnych dla studentów, a także podobne wykłady dla uczniów szkół średnich. Dr Dragan sam wyreżyserował i wyprodukował dwa filmy popularno-naukowe.

Dr Dragan bierze udział w kierowaniu badaniami młodszych kolegów. Roztacza indywidualną opiekę nad realizacją projektów w ramach Krajowego Funduszu na Rzecz dzieci. Wypromował trzy prace licencjackie i jedną magisterską. Obecnie jest opiekunem pomocniczym doktoranta.

Podczas jednego ze staży zagranicznych dr Dragan nawiązał współpracę z zespołem badawczym ze School of Mathematical Sciences w Nottingham. Współpraca zaowocowała nowym programem badań i serią wspólnych prac. Siedem z nich zostało tworzy cykl habilitacyjny dr Dragana o tytule „Relatywistyczna informatyka kwantowa”. Jedna z tych prac zebrała od 2010 roku imponującą liczbę cytowań 114. Niestety liczba i kolejność autorów (Bruschi, Louko, Martin-Martinez, Dragan, Fuent) nie pozwalają uznać wkładu habilitanta jako wysoki. Pozostałe 6 prac zarobiło 64 cytowania. Nie jest to liczba pomijalna biorąc pod uwagę krótki okres 1-3 lat w zależności od pracy i dowodzi pewnego zainteresowania, które wywołały. Kolejność autorów i oświadczenia współautorów wskazują, że głównym autorem dwóch z pozostałych prac [1,3] był dr Dragan, jego wkład do pracy [6] był także znaczący (około 33%). W kolejnych 4h pracach rolę dr Dragana można oszacować na 15-25 %. Podsumowując, wkład dr Dragana w habilitacyjny cykl prac jest widoczny.

Tematem habilitacyjnego cyklu prac dr Dragana jest zależność obserwowanych własności stanu kwantowego od ruchu obserwatora. Czułość formalizmu kwantowej teorii pola na nieinercjalny ruch układu odniesienia została zauważona po raz pierwszy przez Stephena Fullinga w 1971 roku. W swojej pracy doktorskiej wykonanej na wydziale matematyki Uniwersytetu w Princeton przedstawił konstrukcję przestrzeni Focka i kwantowej reprezentacji pola związanej z jednostajnie przyspieszonym obserwatorem. Wykazał jej nierównoważność z kwantową teorią w układzie inercyjnym. Pomysł był zainspirowany pracami Leonarda Parkera z Uniwersytetu Harvarda, który 5 lat wcześniej (też w pracy doktorskiej) przewidział kreację cząstek w kosmosie jako skutek rozszerzania się wszechświata. Teoria Fullinga została łatwo uogólniona do przypadku czasoprzestrzeni statycznej na zewnątrz materii zapadającej się do czarnej dziury. Doprowadziła Stephena Hawkinga do słynnego modelu promieniującej czarnej dziury. Bill Unruh zaproponował teoretyczny model detektora poruszającego się dowolnie przyspieszonym ruchem w czasoprzestrzeni Minkowskiego. Model opierając się na dość prostych (aczkolwiek nie wiem, czy fizycznie spełnialnych) założeniach przewiduje, że płaska pusta czasoprzestrzeń obserwowana przez przyspieszanego obserwatora wypełniona jest cząstkami wszystkich pól istniejących w przyrodzie. Miałyby one występować w kwantowym stanie termicznym o temperaturze proporcjonalnej do przyspieszenia detektora. Liczbowo, efekt ten jest zbyt słaby aby mógł zostać zmierzony, a więc wszystkie rezultaty, o których mowa, mają charakter czysto teoretyczny. O ile mi wiadomo, nikt ich jeszcze nie potwierdził eksperymentalnie. Z punktu widzenia podstaw kwantowej teorii pola, zależność pojęcia cząstki od układu odniesienia ma fundamentalne znaczenie. W praktyce (fizyka teoretyczna) problem ten jest rozwiązywany od przypadku do przypadku: przyspieszany obserwator w płaskiej czasoprzestrzeni, czasoprzestrzeń statyczna czarnej dziury, wszechświat jednorodnie puchnący, czasoprzestrzeń o stałej krzywiznie). Brak jednak konsystentnej ogólnej teorii pól kwantowych w generycznej czasoprzestrzeni w tle. Według teorii Parkera-Fullinga-Hawkinga-Unruh z punktu widzenia jednostajnie przyspieszanego



układu cząstki każdego pola występują w parach: jedna w obszarze dostępnym dla obserwatora, a druga poza jego horyzontem. Ze zrozumiałych względów zainteresowanie tym efektem wzrosło w ostatnich latach w miarę rozwoju teorii splątania stanów kwantowych i kwantowej teorii informacji. W ten nurt badań wpisuje się właśnie cykl prac habilitacyjnych dr Dragana.

Pierwsza z prac [1] została napisana przez 4ch autorów: Dragan, Doukas, Martin-Martinez i Bruschi. Został w niej wprowadzony model detektora, który wykonuje rzutowanie na przestrzennie lokalizowalny mod pola wyznaczony paczką falową. Detektor jest relatywistycznym uogólnieniem detektora Glaubera. Może poruszać się ruchem jednostajnym lub przyspieszonym. W ten sposób badany jest jeden i ten sam mod pola kwantowego i jego własności w zależności od zmiennego przyspieszenia. Różnicę pomiędzy tym nowym relatywistycznym detektorem a zwykle używanym (w eksperymentach myślowych) detektorem Unruh'a-deWitt'a można ująć nazywając ten pierwszy detektorem cząstek a ten drugi detektorem fluktuacji. Jak wykazano w pracy, nowy i lepszy detektor przyspieszany w przestrzeni Minkowskiego i obserwujący stan inercjalnej próżni, podobnie do starego zaobserwuje stan termiczny o temperaturze Unruh'a. Para detektorów została wykorzystana do obliczenia nie lokalnych korelacji mierzonych gdy detektory są przyspieszane w przeciwnych kierunkach (początkowe odległość, prędkość i przyspieszenie spełniały dodatkowy związek, który ułatwił obliczenia). Formalizm wprowadzony w tej pracy i relatywistyczny detektor zlokalizowanych modów zostały zastosowane w kolejnych pracach dr Dragana i współpracowników.

W szczególności, formalizm rzutowania na lokalizowalny mod zastosowany został w pracy [3] autorstwa Dragana, Doukas'a oraz Martin-Martinez'a obserwowany był ściśnięty stan dwóch lokalizowalnych modów pola. Jeden z obserwatorów jest zawsze inercjalny a drugi albo inercjalny albo przyspieszany. Badano zależność obserwowanego splątania od przyspieszenia drugiego obserwatora. Wykazano, że splątanie maleje do zera gdy przyspieszenie rośnie do nieskończoności. Jak rozumiem wynik ten ma teoretyczne znaczenie dla zastosowań zjawiska splątania stanów kwantowych do przekazywania informacji. Na marginesie, zauważyłem, że w pracy nie wspomina się o odległości detektorów, która w przypadku lokalizowalnych modów może być istotna. Odległość ta była zdeterminowana przyspieszeniem drugiego obserwatora, wynosiła  $c^2/a$ . A więc miała zakres od zera gdy przyspieszenie dąży do nieskończoności do  $10^{19}$  km gdy przyspieszenie jest równe ziemskiemu. To dość duża rozpiętość.

W pracy [6] zespołu Dragan, Fuentes i Louko postawiono problem, czy pojedynczy układ kwantowy – w tym przypadku był to detektor Unruh-De Witt'a – może rozpoznać że to on jest przyspieszany w inercjalnej próżni Focka, a nie odwrotnie. Wykazują, że odpowiedź jest twierdząca. Należy w tym celu wykorzystać detektor cząstek masywnego pola skalarnego. Masa jest konieczna do złamania niezmienniczości ze względu na konforemne zmiany geometrii czasoprzestrzeni. Badanie było inspirowane innym, kosmologicznym przykładem detektora w przestrzeni De Sittera widzącego próżnię Fock w sposób nieodróżnialny od pomiarów inercjalnego detektora w przestrzeni Minkowskiego obserwującego przyspieszaną próżnię pola kwantowego.

W pracy [5] zespołu Bruschi, Dragan, Fuentes and Louko zbadano, czy splątanie stanów naelektryzowanego skalarnego pola kwantowego maleje z przyspieszeniem detektora tak jak w przypadku neutralnego pola skalarnego, czy też nie maleje tak jak w przypadku pola Fermionowego. Wykazano, że ładunek elektryczny nie ma wpływu na to zjawisko, ma natomiast statystyka.

Kolejna praca [2] wykonana przez autorów Bruschi, Dragan, Lee, Fuentes oraz Louko podejmuje zagadnienie generacji bramek kwantowych ruchem. Temat ten był zainicjowany wcześniejszymi pracami Villoresi a także Bruschi, Fuentes'a oraz Louko. We wcześniejszej literaturze, podobny rezultat był osiągnięty (teoretycznie) poprzez oddziaływanie z innym układem kwantowym. W tym

przypadku stan znajduje się w komorze na ściankach której pole z założenia się zeruje. Oddziaływanie na stan ma miejsce poprzez poruszanie komory. Autorzy podkreślają, że taki układ ogranicza wpływ otoczenia. W pracy podany jest przykład zamkniętej trajektorii komory składającej się z ruchów jednostajnie przyspieszonych, po przebyciu której splątanie stanów zwiększa się. Pomysł polega na wielokrotnym powtórzeniu ruchu przez komorę.

W powyższych pracach wykorzystywane były na przemian relatywistyczny detektor Glaubera rejestrujący mody lokalne oraz detektor Unruh-De Witta modów globalnych. W pracy [4] zespołu Doukas, Brown, Dragan, Mann porównano efekty przewidywane przez te dwa detektory. Obliczono ilościowe różnice ale nie jakościowe.

Do formalizmu cyklu prac habilitacyjnych mam kilka uwag merytorycznych. Nie wiemy, czy znany nam formalizm kwantyzacji pola w czasoprzestrzeni statycznej jest poprawny fizycznie. Wydaje się, że tak, jednak trzeba pamiętać, że opiera się on na czysto matematycznych konstrukcjach. Po drugie, działanie relatywistycznych detektorów Unruh-De Witta oraz Glaubera poruszających się nie inercjalnym ruchem opiera się na postulowanych sprzężeniach z rejestrowanym polem kwantowym. Nie wiemy na pewno, czy takie sprzężenie, mimo, że geometrycznie naturalne, jest zgodne z tym co działałoby się z fizycznym detektorem pod wpływem sił działających w nieinercjalnym układzie lub pod wpływem pola grawitacyjnego. Po trzecie, o ile idea lokalnych modów pola jest jasna przy jednej definicji polaryzacji na mody dodatnie i ujemne, o tyle zastanawia mnie, na ile fizyczne jest wprawianie modu w ruch przyspieszony poprzez przecięcie go powierzchnią stałego czasu i ewoluowanie zakładając dodatnie częstości względem innego czasowego pola wektorowego. Po czwarte, jeśli taka definicja jest fizycznie uzasadniona, to nie dopuszcza uogólnienia do układu obracającego się, lub do czasoprzestrzeni na zewnątrz obracającej się gwiazdy. Oczywiście nie krytykuję tych założeń, tylko uściśliam ich status.

Oświadczenia współautorów, ich liczba w poszczególnych pracach i kolejność nazwisk autorów pozwalają uważać dr Dragana za głównego autora trzech pierwszych omówionych powyżej prac, czyli prac [1,3,6].

Podsumowując, silną stroną dr Dragana są wysokie liczby nagród, oraz wykładów na konferencjach, dydaktyka, działalność popularyzatorska, zdobywanie grantów i temat badań naukowych wykraczający poza granice naszej wiedzy. Na uznanie zasługuje też jego naukowa pasja. W cyklu prac habilitacyjnych zabrakło mi trochę jakiejś publikacji indywidualnej, prac 2 autorskich w odróżnieniu od 3-5 autorskich. Przedstawione publikacje nie były zbyt pracochłonne i gdyby arytmetycznie podzielić ich wyniki przez liczby autorów, to niewiele przypadłoby na jednego. Przyjmuję jednak, że dr Dragan pełnił w nich wyróżnioną rolę i zwykła arytmetyka byłaby tu myląca. Wnioskuje o dopuszczenie dr Dragana do dalszych etapów procesu habilitacyjnego.



Jerzy Lewandowski  
Warszawa, 3 listopada 2014