

dr. hab. WIESŁAW LASKOWSKI, prof. UG

Gdańsk, dnia 28.10.2019 r.

### Recenzja w postępowaniu habilitacyjnym dr. Karola Horodeckiego

Dr Karol Horodecki uzyskał stopień doktora nauk matematycznych w zakresie informatyki w lutym 2009 roku na Uniwersytecie Warszawskim broniąc rozprawę pt. *“General paradigm for distilling classical key from quantum states – on quantum entanglement and security”*.

Od lutego 2008 roku jest nieprzerwanie zatrudniony na Uniwersytecie Gdańskim – najpierw na stanowisku asystenta – a potem adiunkta (od maja 2009 roku).

### Osiągnięcie habilitacyjne

Jako osiągnięcie habilitacyjne dr Karol Horodecki przedstawił jednotematyczny cykl publikacji naukowych pt. *„Wybrane, wzajemne relacje między nielokalnością Bella, kontekstualnością, kluczem kryptograficznym bezpiecznym względem kwantowego adwersarza i kwantowym splątaniem”*. Na cykl składa się 7 prac opublikowanych w prestiżowych czasopismach naukowych takich jak: *Nature Communications* (1), *Physical Review Letters* (1), *Physical Review A* (3), *Quantum Information and Computation* (1) oraz *IEEE Transactions on Information Theory* (1). Jedna z tych prac jest samodzielna, pozostałe wieloautorskie. Średni wkład autora w przygotowanie prac wieloautorskich to ok. 43% (na podstawie danych przekazanych przez habilitanta). W pracach [H2-H3, H5, H6] wkład habilitanta jest wyższy od średniego wkładu przypadającego na jednego autora; w pracy [H4] równy, a w pracy [H7] mniejszy.

Osiągnięcie habilitanta osadzone jest w teorii informacji kwantowej – obszarze interdyscyplinarnym powstałym z przenikania się mechaniki kwantowej i teorii informacji. Wyniki habilitanta mają nieocenione znaczenie dla lepszego rozumienia podstaw fizyki, w szczególności mechaniki kwantowej. Przede wszystkim jednak dostarczają nowych narzędzi przydatnych w kwantowym przetwarzaniu informacji. Habilitant przypisuje fizycznym pojęciom, takim jak: splątanie, nielokalność, czy kontekstualność wartość zasobu i w takim wymiarze poddaje je analizie.

Należy podkreślić, iż tematyka, którą uprawia habilitant jest niezwykle aktualna i dynamicznie rozwijająca się. Co więcej, habilitant ma istotny wpływ na ten rozwój. Potwierdzają to m.in. cytowania, które omówię w dalszej części recenzji.

Przywołam teraz główne osiągnięcia habilitanta, które zostały zawarte w zbiorze publikacji. W mojej ocenie w pracy [H4] został przedstawiony najciekawszy wynik osiągnięcia. Rozważany jest tam realistyczny protokół długodystansowej dystrybucji klucza kryptograficznego w obecności szumu. Aby przekazać stan kwantowy na dużą odległość zachodzi konieczności korzystania z tzw. kwantowych powtarzaczy (z ang. *quantum repeaters*). Zostało pokazane, że nawet gdy z zaszumionego stanu możemy wydobyć bezpieczny klucz kryptograficzny, to zastosowanie powtarzaczy spowoduje utratę bezpieczeństwa. Określa to istotne ograniczenia dla koncepcji kwantowego internetu.

Praca [H5] jest drugą najbardziej ciekawą pracą. Dotyczy kwantyfikowania kontekstualności. Zostały zaproponowane dwie miary kontekstualności: względna entropia kontekstualności i koszt kontekstualności. Pokazano, iż wiążą się one z pewną grą komunikacyjną, w której zjawisko kwantowej kontekstualności możemy uchwycić w wymiarze ilościowym. W pracy autorzy stosują miary do kilku przykładów pokazując między innymi, że kontekstualność oparta na kwadracie Peresa-Merminia jest istotnie większa niż ta ze schematu Klyachko (KCBS). Z kolei w pracy [H2] habilitant wprowadza aksjomatyczne podejście do kwantowej kontekstualności i nielokalności typowe dla teorii zasobów. Jednym z takich naturalnych aksjomatów jest asymptotyczna ciągłość i jak pokazano w pracy jest to własność względnej entropii kontekstualności. Pokazano też, że ta miara jest ograniczona z góry przez koszt kontekstualności.

W pracy [H7] zaproponowano dwa przykłady testu bezpieczeństwa klucza kryptograficznego. Zostało podane również dolne ograniczenie na wielkość klucza destylowalnego, które nie wymaga przeprowadzenia pełnej tomografii stanu. Jak twierdzi habilitant, praca ma znaczenie eksperymentalne, gdyż w rozważanym przypadku czterech kubitów ta liczba wynosi 6 vs. 81 dla pełnej tomografii stanu. O pełnej przydatności moglibyśmy jednak mówić znając skalowanie tej proporcji z liczbą kubitów.

Praca [H6] dotyczy wersji znanego twierdzenia o niemożności rozsyłania stanów kwantowych. Wiąże się to ze znanym twierdzeniem o niemożności klonowania. Nieznany stan przekazany do kilku odbiorców mógłby być traktowany, jak kopie. Habilitant rozważa niemożność rozsyłania splątania kwantowego przedstawiając to jako własność względnej entropii. Podobny zakaz wyprowadzany jest dla nielokalności, gdy przekazywanie następuje za pomocą operacji zachowujących lokalny realizm.

W pracy [H1] autor wprowadza formalizm pozwalający na rozróżnianie rozkładów prawdopodobieństwa dla pewnych ograniczonych klas operacji. Używając metody numerycznej zostały zaprezentowane prawdopodobieństwa sukcesu odróżnienia rozkładów od siebie.

W ostatniej pracy cyklu [H3] zostało pokazane, że łamanie nierówności Bella dla danego stanu kwantowego nie może być większe niż maksymalne łamanie pomniejszone o czynnik wynikający z tego, jak bardzo możemy odróżnić ten stan od stanu separowalnego. W pracy podano również użyteczne ograniczenia na miarę – względną entropię nielokalności – która w ogólności jest trudna do policzenia.



## Prezentacja osiągnięcia w autoreferacie

Pomimo tego, iż autoreferat sam w sobie nie podlega ocenie postanowiłem pokrótce go skomentować. Niestety nie spełnił on swojej roli, jaką jest ułatwienie zrozumienia osiągnięcia habilitanta. Jest napisany bardzo hermetycznie i często pomija fizyczne aspekty osiągnięcia, które przy habilitacji z fizyki mają znaczenie. Za każdym razem sięgnięcie do oryginalnej publikacji było prostsze niż przebicie się przez jej opis w autoreferacie. Uwagi dotyczą również wstępu, gdzie podstawowe zjawiska rozważane przez habilitanta (nielokalność, kontekstualność) nie zostały nigdy przedstawione od strony fizycznej. Opisowi towarzyszy slang, który w znacznej mierze pochodzi z dosłownego tłumaczenia z języka angielskiego. Jako przykłady mogę podać: „nierozgłaszalność nielokalności Bella”, „ilościowanie kontekstualności”, „świadek klucza kryptograficznego”, „eksperyment detekujący kontekstualność”, „stan niedarmowy”.

## Dorobek naukowo – badawczy

Dr Karol Horodecki ma wybitny dorobek naukowy. Składają się na niego 34 publikacje, z czego 23 ukazały się po uzyskaniu stopnia doktora. Czasopisma, w których zostały opublikowane prace cieszą się światową klasą. Są to między innymi: *Nature Communications* (2), *Review of Modern Physics* (1), *Physical Review Letters* (9), *Physical Review A* (9), *New Journal of Physics* (2).

Łączna podana liczba cytowań (bez autocytowań) prac habilitanta to 4235. W chwili pisania recenzji liczba ta wzrosła do 4580. Ta dynamika dowodzi wpływu prac habilitanta na inne prace badawcze. Trzeba jednak zauważyć, że znacząca część cytowań pochodzi od jednej pracy przeglądowej opublikowanej w *Review of Modern Physics* (3821), czego habilitant nie ukrywa. Chciałbym jednak podkreślić, iż pomimo tego, że praca nie posiada charakteru ściśle badawczego, to jest jedną z najbardziej rozpoznawanych prac w tej dziedzinie. Poza tą pracą, dwie najbardziej zauważane publikacje to:

- M. Horodecki, A. Sen, U. Sen, K. Horodecki, *Local indistinguishability: More nonlocality with less entanglement*, Phys. Rev. Lett. - cytowana 139 razy
- K. Horodecki, M. Horodecki, P. Horodecki, J. Oppenheim, *Secure key from bound entanglement*, Phys. Rev. Lett. - cytowana 189 razy

Do tego 7 prac cytowanych jest kilkanaście razy a 8 prac – kilkadziesiąt.

W ramach działalności naukowej dr Karol Horodecki kieruje grantem Sonata Bis Narodowego Centrum Nauki oraz kierował trzema grantami na badania dla młodych naukowców w konkursach organizowanych przez Uniwersytet Gdański. Był również wykonawcą w wielu grantach krajowych i europejskich.

Uzyskał kilka nagród za działalność naukową jeszcze przez uzyskaniem stopnia doktora, w tym prestiżowe stypendium START Fundacji na rzecz Nauki Polskiej.

Dużą aktywność wykazał również na polu prezentacji wyników badań. Wygłosił 14 referatów na konferencjach międzynarodowych i 2 na konferencjach krajowych. Niestety habilitant nie zaznaczył, które referaty były wygłaszane za zaproszeniem, a wiem, że takie miały miejsce.

## Dorobek dydaktyczny i popularyzatorski oraz współpraca międzynarodowa

W ramach dorobku dydaktycznego dr Karol Horodecki prowadził ćwiczenia i laboratoria z matematyki i informatyki na Uniwersytecie Gdańskim oraz wykład fakultatywny pt. „Podstawy informatyki kwantowej”.

Kandydat nie wykazał żadnej działalności popularyzującej naukę. Szczególnie w dzisiejszych czasach, gdzie z łatwością deprecjonuje się wyniki badań naukowych, obecność naukowców w przestrzeni społecznej ma nieocenione znaczenie.

Dr Horodecki zdobył doświadczenie w kształceniu kadry. Pełnił dwukrotnie funkcję promotora pomocniczego w dwóch pozytywnie zakończonych przewodach doktorskich.

Trudno znaleźć w dokumentach informacje na temat współpracy międzynarodowej. Tym bardziej mnie to dziwi, gdy analizuje się różnorodne listy współautorów publikacji. Z przedstawionej dokumentacji wynika, iż habilitant odbył tylko dwie wizyty naukowe zagraniczne po uzyskaniu stopnia doktora. Za największą słabość habilitanta w tym obszarze (i w ogóle) należy uznać fakt, iż nie odbył on stażu podoktorskiego w żadnym zagranicznym (ani też krajowym) ośrodku akademickim. Zdobywanie różnych doświadczeń międzynarodowych ma ogromne znaczenie dla kształtowania się samodzielności naukowej i przeszczepiania dobrych praktyk na lokalny grunt.

Aktywność naukowa dr Horodeckiego przejawia się również w recenzowaniu artykułów w czasopismach naukowych. Wykonał ok. 40 recenzji głównie dla *Physical Review letters* i *Physics Review A*.

### Podsumowanie

Bez najmniejszych wątpliwości mogę stwierdzić, iż osiągnięcia naukowe habilitanta uzyskane po otrzymaniu stopnia doktora, a w szczególności osiągnięcie w postaci przedstawionego jednotematycznego cyklu publikacji, stanowią znaczny wkład autora w rozwój fizyki. Habilitant wykazał się również istotną aktywnością naukową. Spełnia z naddatkiem ustawowe i zwyczajowe wymagania w postępowaniach habilitacyjnych.

*Wiesław Laskowski*