



清华大学高等研究院
Institute for Advanced Study, Tsinghua University
Beijing 100084, China

北京海淀区清华园, 邮政编码 100084, 电话 (10) 6278-9972, 传真 (10) 6278-1886
Tel: (86-10) 6278-9972, Fax: (86-10) 6278-1886

Pekin, 14 stycznia 2022

Szanowna Komisjo,

Zaproszenie do recenzowania wniosku habilitacyjnego dra Pawła Caputy odebrałem jako wyróżnienie i przyjąłem z niekłamaną przyjemnością. Nie dlatego, że brak mi okazji do recenzowania, ale dlatego, że akurat w przypadku Pawła Caputy wnioski są tak jednoznaczne, że recenzja „pisze się sama”. Praca dra Caputy już wywarła, i wywiera nadal, przełomowy wpływ na kierunek badań na styku dualności holograficznej oraz informacji kwantowej. Jego wizjonerskie pomysły i rozwiązania weszły do kanonu wiedzy, jaką musi posiadać każdy adept naszej poddziedziny fizyki. Niniejsza recenzja to dla mnie okazja do podzielenia się estetyczną wręcz satysfakcją z czytania i stosowania jego prac — satysfakcją, jaką zwykle się odczuwać po udanej wizycie w kinie lub filharmonii.

W moim odczuciu najbardziej przełomowym osiągnięciem dra Caputy jest sformułowanie złożoności obliczeniowej w dualności holograficznej jako optymalizacja całki po trajektoriach. Waga tego osiągnięcia bierze się z fundamentalnego pytania: czym tak naprawdę jest przestrzeń? Szerszemu gronu czytelników przypomnę, że grawitacja to dynamiczna teoria czasu i przestrzeni, której kwantowe aspekty pozostają niedopracowane. Przy formułowaniu dynamicznej teorii przestrzeni na podstawowym (kwantowym) poziomie, pytanie o ontologiczną esencję przestrzeni stanowi przeto kluczowe, najistotniejsze zagadnienie. Jak dr Caputa nakreślił we wniosku, wcześniejsze badania wskazały na kwantową informację i pojęcie splątania jako konieczne do zrozumienia istoty przestrzeni. Te same badania wykazały jednakowoż, że powszechnie używane narzędzia i wielkości, takie jak entropia splątania, nie wystarczają do zrozumienia elementarnych faktów o przestrzeni, np. tego, że przestrzenna rozpiętość czarnych dziur rośnie w czasie. Sformułowano wówczas nowe pojęcie – złożoność obliczeniową – jako wielkość, która niemal z definicji powinna ująć wszystko to, co wymyka się opisowi przy użyciu konwencjonalnych środków ze splątaniem włącznie. Ten stan rzeczy pozostawiał, rzecz jasna, wiele do życzenia: złożoność obliczeniowa winna mieć odrębną, autonomiczną definicję, bo bez takowej definicji wszelkie twierdzenia o złożoności pozostają w kategorii opisu, nie wyjaśnienia. W tym miejscu na scenę wkroczył doktor Caputa. Zaproponował on własną, niezależną definicję złożoności obliczeniowej w CFT, która: (a) w przeciwieństwie do konkurencyjnych koncepcji, łączy się logicznie z formalizmem kwantowej teorii pola (mam tu na myśli całkę po trajektoriach Feynmana), (b) znajduje znakomite potwierdzenie w obliczeniach po stronie AdS, (c) naświetla inne

BC



清华大学高等研究院
Institute for Advanced Study, Tsinghua University
Beijing 100084, China

北京海淀区清华园, 邮政编码 100084, 电话 (10) 6278-9972, 传真 (10) 6278-1886
Tel: (86-10) 6278-9972, Fax: (86-10) 6278-1886

aspekty dualności AdS/CFT, takie jak rola sieci tensorowych. Definicja złożoności w CFT autorstwa dra Caputy – obecnie jedna z dwóch czy trzech najszerzej stosowanych definicji – jest w moim odczuciu najlepiej zmotywowana i najbardziej obiecująca. To przełom, z którego dr Caputa powinien być dumny i którego mu zazdrozczę.

Kolejne wielkie osiągnięcie dra Caputy to zidentyfikowanie wielkości w AdS, która odzwierciedla tzw. entropię puryfikacji w CFT. Tu, znowu, mamy do czynienia z pojęciem o fundamentalnym i bardzo intuicyjnym znaczeniu: czym jest wąskie gardło (z ang. bottleneck) w przestrzeni, jeśli takowe istnieje? Formuły RT i HRT dają częściową odpowiedź na to pytanie, ale nie wtedy, gdy dana czasoprzestrzeń to tzw. „entanglement wedge” – obszar, który z wielu punktów widzenia należy traktować jako najbardziej naturalną podprzestrzeń w AdS. (Na poparcie swoich kwalifikacji do recenzowania tego osiągnięcia dra Caputy dodam pokrótce, że jestem współautorem pojęcia „entanglement wedge”.) Koncepcja dra Caputy nie tylko odpowiada zatem na grawitacyjne pytanie o fundamentalnym znaczeniu, ale łączy owo pytanie z jednym z bardziej podstawowych i naturalnych wielkości określających splątanie kwantowe w CFT. Ten wycinek badań dra Caputy należy więc traktować jako spektakularne potwierdzenie i ukonkretnienie związku pomiędzy grawitacją w AdS oraz splątaniem w CFT. Po raz kolejny w tej recenzji muszę dodać, że wyniki dra Caputy dały początek długiej i wciąż niezakończonej serii badań prowadzonych na całym świecie, z najznamienszymi ośrodkami włącznie.

Wcześniejsze badania doktora Caputy – skupione na opisie tzw. quenczów (nagłych zaburzeń) w CFT po obu stronach dualności holograficznej – również należą do klasyków naszej dziedziny wiedzy. Dały nam one jeden z pierwszych ilościowych opisów rozprzestrzeniania splątania w stanach zależnych od czasu w konforemnych teoriach pola (tak holograficznych jak i innych) oraz prototyp obliczeń, dzięki którym podobne dane wygenerowano później w innych, bardziej nowatorskich kontekstach. Ten drugi efekt badań dra Caputy stanowił bardzo istotny wkład w późniejszy rozwój wiodących kierunków badań dualności holograficznej, takich jak rola chaosu kwantowego w wyłanianiu się symetrii Lorentza po grawitacyjnej stronie korespondencji AdS/CFT.

W powyższych akapitach podkreśliłem trzy nurty badań doktora Caputy. Owych nurtów i znaczących wyników jest oczywiście w dorobku Pawła Caputy o wiele więcej. W każdym z wyszczególnionych obszarów wywarł doktor Caputa głęboki wpływ o światowym zasięgu. Istotny wkład nawet w jeden z nich stanowiłby wystarczającą przesłankę do nadania tytułu doktora habilitowanego. W przypadku dra Caputy mamy do czynienia z kilkoma obszarami, w których jego wkład legł u podwalin całego kierunku badań. Pozostaje mi tylko pogratulować doktorowi Capucie jego imponujących osiągnięć, a jego obecnej

BC



清华大学高等研究院
Institute for Advanced Study, Tsinghua University
Beijing 100084, China

北京海淀区清华园, 邮政编码 100084, 电话 (10) 6278-9972, 传真 (10) 6278-1886
Tel: (86-10) 6278-9972, Fax: (86-10) 6278-1886

uczelnii i wydziałowi powinszować ściągnięcia tak znamienitego przedstawiciela polskiej nauki.

Reasumując, popieram wniosek habilitacyjny dra Caputy bez żadnych zastrzeżeń i w najwyższym możliwym stopniu.

Z poważaniem,

A handwritten signature in black ink that reads 'Bartłomiej Czech'.

Bartłomiej Czech

Member (Associate Professor equivalent)
Institute for Advanced Study
Tsinghua University
bartlomiej.czech@gmail.com
+86 13146913900