

Prof. dr hab. Andrzej Borowiec
Instytut Fizyki Teoretycznej
Wydział Fizyki i Astronomii
Uniwersytet Wrocławski

Recenzja „osiągnięcia naukowego” oraz dorobku naukowego w ramach postępowania o nadanie stopnia doktora habilitowanego doktorowi Michałowi Ecksteinowi

Uwagi ogólne

Dr Michał Eckstein obronił z wyróżnieniem rozprawę doktorską, *Spectral action – beyond the almost commutative geometry*, przygotowaną pod kierunkiem prof. Andrzeja Sitarz w roku 2014. Pierwsze zatrudnieni na stanowisku adiunkta badawczego podjął w macierzystej uczelni, Uniwersytecie Jagiellońskim w Zakładzie Teorii Pola, Instytucie Fizyki na Wydziale Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej w latach 2014-2017. W okresie 2017-2020 zatrudniony był na Uniwersytecie Gdańskim w Instytucie Fizyki Teoretycznej i Astrofizyki, Wydziału Matematyki, Fizyki i Informatyki. Od roku 2020 pracuje w Zakładzie Optyki Atomowej, Instytucie Fizyki Teoretycznej na Wydziale Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej Uniwersytetu Jagiellońskiego.

Badania naukowe dr. Ecksteina dotyczą, w dużej mierze, nieprzemiennej geometrii w wersji zaproponowanej przez Alaina Connesa w latach 70 i 80-tych ubiegłego wieku. Jest to prężnie rozwijający się formalizm z pogranicza geometrii różniczkowej, analizy funkcjonalnej i teorii operatorów, rozwijany zarówno w imię czystej matematyki jak i pod kątem zastosowań w fizyce teoretycznej (model standardowy, kwantowa grawitacja). Główną rolę odgrywają złożone struktury matematyczne zwane trójkami spektralnymi (dalej TS). Sektor grawitacyjny reprezentowany jest przez kanoniczną TS określoną na przemiennej algebrze funkcji gładkich zwartej rozmaitości riemannowskiej ze strukturą spinorową, której metryka reprezentuje sektor grawitacyjny a geometryczny (kanoniczny) operator Diraca oddziałujące z grawitacją fermiony, tj. cięcia wiązki spinorowej tworzące przestrzeń Hilberta reprezentacji algebry funkcji. Zastąpienie przestrzeni zwartej przez niezwartą, z fizycznie motywowaną metryką o sygnaturze Lorentza wprowadza duże komplikacje techniczne do badania przemiennych TS, jak np. konieczność zastąpienia przestrzeni Hilberta przestrzenią Kreina i nie jest jeszcze do końca sformalizowany. Na drugim biegunie są skończone (w sensie wymiaru) TS z nieprzemienią algebrą macierzy zespolonych oraz hermitowskimi macierzami w roli kandydatów na operator Diraca, który w wersji dwupowłokowej reprezentuje sektor fermionowy modelu standardowego. Połączenie tych dwóch modeli w postaci prawie przemiennych TS, stwarza potencjalne szanse na unifikację grawitacji z pozostałymi oddziaływaniami fundamentalnymi. Habilitant specjalizuje się w rozwijaniu tej dziedziny z naciskiem na zastosowania w fizyce teoretycznej. W szczególności, badanie przyczynowości w kontekście takich TS czy szerzej w teoriach kwantowych stanowi znaczącą część jego działalności naukowej i jest przedmiotem osiągnięć zgłoszonych do habilitacji.

Prace przedstawione jako osiągnięcie naukowe

„Osiągnięcia naukowe stanowiące znaczny wkład w rozwój określonej dyscypliny”, o których mowa w art.219 ust. 1pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* (Dz. U. z 2021 r.) zostały zaprezentowane w formie 80 stronicowego autoreferatu zatytułowanego *Przyczynowość w teorii kwantowej i jej uogólnieniach*. Opierają się na cyklu dziewięciu tematycznie powiązanych

artykułach z lat 2013-2021, oznaczonych kolejno jako H1-H9 opublikowanych w wysoko notowanych czasopismach o zasięgu międzynarodowym:

[H1] *An algebraic formulation of causality for noncommutative geometry*, Nicolas Franco, Michał Eckstein, Class.Quant.Grav. 30 (2013) 135007; e-Print: 1212.5171 [math-ph]

[H2] *Exploring the Causal Structures of Almost Commutative Geometries*, Nicolas Franco, Michał Eckstein, SIGMA 10 (2014) 010; e-Print: 1310.8225 [math-ph]

[H3] *Causality in noncommutative two-sheeted space-times*, Nicolas Franco, Michał Eckstein, J. Geom. Phys. 96 (2015) 42-58; e-Print: 1502.04683 [math-ph]

[H4] *Noncommutative geometry of Zitterbewegung*, Michał Eckstein, Nicolas Franco, Tomasz Miller, Phys. Rev. D 95 (2017) 6, 061701; e-Print: 1610.10083 [math-ph]

[H5] *The Geometry of Noncommutative Spacetimes*, Michał Eckstein, Universe 3 (2017) 1, 25

[H6] *Causality for nonlocal phenomena*, Michał Eckstein, Tomasz Miller, Annales Henri Poincare 18 (2017) 9, 3049-3096; e-Print: 1510.06386 [math-ph]

[H7] *Causal evolution of wave packets*, Michał Eckstein, Tomasz Miller, Phys.Rev.A 95 (2017) 3, 032106; e-Print: 1610.00764 [quant-ph]

[H8] *Operational causality in spacetime*, Michał Eckstein, Paweł Horodecki, Tomasz Miller, Ryszard Horodecki, Phys.Rev.A 101 (2020) 4, 042128; e-Print: 1902.05002 [quant-ph]

[H9] *Generally covariant N-particle dynamics*, Tomasz Miller, Michał Eckstein, Paweł Horodecki, Ryszard Horodecki, J. Geom. Phys. 160 (2021) 103990; e-Print: 2004.07015 [math-ph]

Poza H5, pozostałe prace mają więcej niż jednego autora. W pracach H4-H8 Habilitant jest pierwszym alfabetycznie wymienionym autorem. W artykułach, w których porządek alfabetyczny nie jest zachowany należy domniemywać, iż pierwszy autor miał wkład dominujący. Artykuły H1-H3 oraz H6, H7 mają dwóch autorów. Wszyscy autorzy dostarczyli informacje o swoim wkładzie. Ponadto, sam Habilitant na końcu każdego rozdziału autoreferatu określił swój wkład do każdej z prac, który jest zgodny z oświadczeniami współautorów. Nie ulega wątpliwości, że był to wkład istotny chociaż nie zawsze wiodący. Należy również zaznaczyć, że prace H1 i H2 powstały przed doktoratem i przypuszczalnie nie były bezpośrednio związane z tematyką rozprawy doktorskiej.

Prace będące przedmiotem oceny należy podzielić na dwie podgrupy. Pierwsza H1-H4 to badanie przyczynowości w modelach opartych na TS. Samodzielna praca H5 stanowi element podsumowujący tą część i zarazem stanowiąca przejście do następnej. Nieprzemienne czasoprzestrzeń określona jest w niej ogólnie jako przestrzeń stanów czystych na topologicznej algebrze. Druga podgrupa, H6-H9, to badanie przyczynowości w szerszym kontekście, w którym probabilistyczna natura zjawisk kwantowych musi być wzięta pod uwagę. Wówczas operacyjne warunki tzw. no-signallingu (wykluczenie nadświatelnego przesyłania informacji) oparte są na korelacjach w przestrzeniach z ewoluującymi miarami probabilistycznymi (np. pakiety falowe).

Najbliższe mojej specjalności są prace z pierwszej grupy, dlatego na nich skupię swoją uwagę. Artykuł H1 dotyczy przemiennych lorentzowskich TS. Posługując się wprowadzonym przez pierwszego autora (N. Franco) w roku 2012 pojęciem przyczynowości na przestrzeni kwantowej stanów czystych lorentzowskiej TS, zbadano jej podstawowe własności. Wykorzystując dualność Gelfanda można stany czyste na odpowiednio zdefiniowanej algebrze funkcji utożsamić z samymi punktami czasoprzestrzeni. W konsekwencji, scharakteryzowano stożek świetlny oraz odległość lorentzowską w terminach stanów

kwantowych i udowodniono ich podstawowe własności. W szczególności, Habilitant ściśle udowodnił, pokonując trudności techniczne związane z wyborem kompaktyfikacji (unityzacji algebry), zasadnicze twierdzenie o rekonstrukcji, sformułowane wcześniej w formie hipotezy. W pracy H2 uogólniono niektóre wyniki z H1 na bardziej ogólny przypadek prawie przemiennych TS. Teraz struktura przyczynowa staje się dużo bardziej skomplikowana i zależna od geometrii przestrzeni stanów wewnętrznych (skończonej TS). Ze względu na trudności techniczne, bardziej szczegółowe rezultaty otrzymano dla przypadku dwuwymiarowej przestrzeni Minkowskiego i algebry zespolonych macierzy 2×2 w charakterze wewnętrznej TS. W pracy H3 poddano szczegółowej analizie struktury przyczynowe na tzw. przestrzeniach dwupłatowych, których TS są związane (przy odpowiednim wyborze skończonej TS) z Modelem Standardowym cząstek elementarnych. Uzyskano szereg twierdzeń matematycznych charakteryzujących taką strukturę przyczynową. Badania dwupłatowej przestrzeni były kontynuowane w pracy H4, gdzie główny wynik dotyczy nowego opisu, dobrze znanego czysto kwantowo-mechanicznego efektu, gwałtownych oscylacji „Zitterbewegung” pomiędzy stanami o dodatnich oraz ujemnych energiach wynikających z formalizmu Diraca. Teraz, zgodnie z H4, można go opisać w ramach geometrii nieprzemiennej jako efekt struktury przyczynowej w modelu dwupłatowym. Otrzymano wzór (25) na stan mieszany podlegający ewolucji przyczynowej. Ostatni samodzielna praca Habilitanta stanowi przegląd wcześniejszych rezultatów oraz conceptualne przejście do operacyjnego podejścia do problemu przyczynowości w teoriach kwantowych rozwijanego w pracach H6-H9.

Aktywność naukowa

Należy zaznaczyć, że dr Eckstein ma ponadprzeciętny dorobek publikacyjny. Przed doktoratem był współautorem 10 publikacji, w tym dwóch samodzielnych (JHEP, SIGMA). Dwie inne weszły do habilitacji. Po doktoracie w roku 2014, oprócz 7 prac zgłoszonych do habilitacji, jest współautorem 10 innych, w tym jednej samodzielnej (GRG). Na szczególną uwagę zasługuje wspólna z Bruno Iochum monografia *Spectral Action in Noncommutative Geometry* (Spirnger Briefs in Mathematical Physics, vol. 72).

Habilitant jest również bardzo aktywny na forum międzynarodowym. Uczestniczył w stażach zagranicznych oraz ponad 30 konferencjach naukowych, w tym 16 razy był zaproszonym lub plenarnym wykładowcą. Pełnił funkcję promotora pomocniczego rozprawy doktorskiej dr Tomasza Millera, recenzował artykuły dla wielu renomowanych międzynarodowych czasopism. Uczestniczył w grantach i projektach międzynarodowych, otrzymał bardzo wiele nagród i wyróżnień.

Dr Michał Eckstein wykazuje się bardzo szerokimi zainteresowaniami naukowymi, które przejawiają się w jego niezmiernie bogatej i godnej podziwu działalności popularyzującej najnowsze osiągnięcia nauki, m.in. w mediach społecznościowych (YouTube) czy *Tygodniku Powszechnym*. Ma duże zdolności nawiązywania kontaktów oraz interdyscyplinarnej współpracy naukowej, umiejętnie dobiera współpracowników, których lista jest imponująca.

Przytoczone fakty świadczą, że przesłanka trzecia nadawania stopnia doktora habilitowanego „aktywność naukowa” jest spełniona z nadwyżką, również z powodu okresu zatrudnienia na Uniwersytecie Gdańskim. Jednakże, według obecnie obowiązującej wykładni, określonej w poradniku Rady Doskonałości Naukowej „Postępowania dotyczące nadawania stopnia doktora habilitowanego” (aktualizacja z 9 sierpnia 2023) przesłanka ta nie powinna mieć wpływu na ocenę końcową.

Wskaźniki bibliometryczne (scientometryczne) Habilitanta, jeśli wziąć pod uwagę specyfikę dziedziny jaką jest fizyka matematyczna, są zadawalające i świadczą o dobrym oddźwięku prac z jego udziałem. Według bazy Web of Science (WoS) Habilitant uzyskał 149 cytowania za 27 publikacji oraz indeks H=9.

W matematycznej bazie publikacji MathSciNet, Amerykańskiego Towarzystwa Matematycznego (AMS) odnotowano 24 prace i 87 cytowania. Należy spodziewać się, że wskaźniki te będą rosły w najbliższym czasie, na co wskazuje wyraźny trend wzrostowy w bazie Google Scholar (2021/29; 2022/60; 2023/81).

Ocena końcowa i konkluzja

Z przedłożonej dokumentacji wynika, że spełnione są wszystkie wymagania formalne niezbędne do wszczęcia postępowania habilitacyjnego, wynikające z Ustawy.

Mimo, że osiągnięcie habilitacyjne w postaci cyklu dziewięciu powiązanych tematycznie prac oparte jest na publikacjach wieloautorских, nie mam wątpliwości, że Habilitant miał znaczący wkład w powstanie każdej z prac, co zgodnie potwierdzają oświadczenia współautorów. Biorąc to pod uwagę oraz całokształt dorobku naukowego stwierdzam, że dr Michał Eckstein, spełnia wszystkie warunki formalne i zwyczajowe do ubiegania się o stopień naukowy doktora habilitowanego określone w ustawie *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* z dnia 20 lipca 2018 r. i wnoszę do Rady Dyscypliny Nauki Fizyczne przy Uniwersytecie Jagiellońskim o podjęcie uchwały o nadaniu doktorowi Michałowi Ecksteinowi stopnia doktora habilitowanego.

Wrocław, 20 grudnia 2023

