

## Opinia o rozprawie habilitacyjnej dr Pawła Bielewicza „Obserwacyjne ograniczenia na topologię Wszechświata”

Od bardzo dawna astronomowie i matematycy zastanawiają się nad możliwościami obserwacyjnego określenia globalnej topologii Wszechświata. Jeszcze zanim odkryto inne galaktyki i zdano sobie sprawę z ogromnych rozmiarów Wszechświata Karl Schwarzschild w 1900 roku rozważał możliwość poszukiwania wielokrotnych obrazów gwiazd, które mogą istnieć w wielospójnej przestrzeni. Odkrycie innych galaktyk i rozszerzania się Wszechświata oraz pierwsze jednorodne i izotropowe modele kosmologiczne zaproponowane przez Friedmana i Lemaitra zogniskowały uwagę astronomów na geometrii Wszechświata. Ciekawsze stały się pytania, czy Wszechświat jest przestrzennie skończony, czy nie i czy będzie się rozszerzał wiecznie. Po odkryciu kwazarów, kiedy okazało się, że są to najdalsze obserwowane obiekty pytanie o topologię Wszechświata powracało ale poszukiwania wielokrotnych obrazów kwazarów doprowadziły tylko do przekonania, że rozmiar podstawowej komórki wielospójnego Wszechświata nie może być mniejszy od rozmiarów obserwowanego Wszechświata. Matematycy pokazali, że istnieje skończona liczba różnych topologii w płaskim Wszechświecie, przeliczana liczba różnych topologii w sferycznym Wszechświecie (o dodatniej krzywiznie), a w hiperbolicznym Wszechświecie (o ujemnej krzywiznie) różnych topologii jest nieskończenie wiele.

Problem topologii Wszechświata stał się bardzo interesujący, gdy odkryto anizotropię temperatury promieniowania relikowego. Sfera ostatniego rozproszenia jest najdalszym obserwowalnym „obiektem” we Wszechświecie. Kilka różnych grup głównie w Europie i Stanach Zjednoczonych rozpoczęło poważne analizy danych anizotropii temperatury promieniowania relikowego. Dr Paweł Bielewicz aktywnie włączył się do tych badań. Bardzo szybko dał się poznać jako bardzo dobry ekspert od analizy danych z satelitarnych detektorów obserwujących promieniowanie relikowe. Został zaproszony do bardzo dużego międzynarodowego zespołu naukowców i inżynierów przygotowującego a następnie analizującego dane z Europejskiego satelity Planck. Dr Paweł Bielewicz wniósł znaczący i oryginalny wkład do badania obserwacyjnych ograniczeń jakie można nałożyć na globalną topologię Wszechświata korzystając z danych satelitarnych zebranych przez misje WMAP i Planck. Ważniejsze wyniki tych badań są przedstawione w pięciu pracach stanowiących rozprawę habilitacyjną.

W pierwszej pracy napisanej wspólnie z A. Riazuelo zastosowano nowatorską metodę multipolowych wektorów do badania ograniczenia na topologię Wszechświata jakie wynikają z obserwowanej współosiowości kierunków momentu kwadrupolowego i oktupolowego. Wykazano, że obserwowana korelacja kierunków momentu kwadrupolowego i oktupolowego może występować we Wszechświecie o topologii 3 wymiarowego torusa. Waga statystyczna tego wyniku nie jest jednak znacząca. Do analizy danych obserwacyjnych został wykorzystany program numeryczny napisany przez P. Bielewicza do badania anomalii map promieniowania relikowego.

W wielospójnym Wszechświecie sfera ostatniego rozproszenia może przecinać kilka komórek podstawowych. Na mapach anizotropii temperatury promieniowania relikowego powinny wówczas istnieć okręgi wzdłuż których powinny występować te same charakterystyczne elementy. W drugiej pracy wchodzącej w skład rozprawy napisanej wspólnie z A. J. Bandym poszukiwano podobnych okręgów na mapach anizotropii temperatury przygotowanych po pierwszych siedmiu latach obserwacji

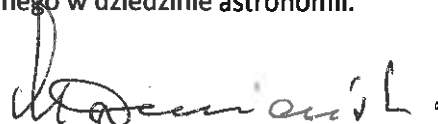
amerykańskiego satelity WMAP. Do analizy wybrano tylko te mapy na których poziom szumu i zakłóceń był najmniejszy. Pokazano, że dane obserwacyjne wykluczają te topologie, które przewidują występowanie par okręgów o średnicy kątowej większej od około  $20^{\circ}$ . Ogranicza to rozmiar komórki elementarnej w płaskim Wszechświecie do około 29 Gpc, co jest porównywalne do rozmiarów Wszechświata.

W trzeciej pracy wchodzącej w skład rozprawy habilitacyjnej napisanej wspólnie z A. J. Bandym i K. Górskim przeanalizowano możliwości nakładania ograniczeń na topologię Wszechświata przez poszukiwanie par skorelowanych okręgów na mapach polaryzacji promieniowania relikowego. Gdy praca ta powstawała znane były tylko bardzo mało dokładne mapy polaryzacji promieniowania relikowego przygotowane przez zespół WMAP. Do testowania algorytmów i programów numerycznych poszukujących skorelowanych okręgów wykorzystano również numerycznie przygotowane mapy polaryzacji promieniowania relikowego. Głównym problemem w ograniczaniu topologii Wszechświata przez poszukiwanie par skorelowanych okręgów na mapach polaryzacji promieniowania relikowego jest wpływ pyłu i pola magnetycznego Galaktyki na pomiary polaryzacji promieniowania relikowego.

Dwie ostatnie prace wchodzące w skład rozprawy habilitacyjnej to oficjalne publikacje firmowane przez wszystkich uczestników zespołu naukowego, którzy zajmowali się analizą danych uzyskanych przez satelitę Planck. Obie prace poświęcone są ograniczeniom jakie można nałożyć na geometrię i topologię Wszechświata korzystając z bardzo dokładnych map anizotropii temperatury i polaryzacji promieniowania relikowego. Ostatnia praca, która została opublikowana w 2016 roku zawiera najdokładniejsze informacje o polaryzacji promieniowania relikowego. Dr Paweł Bielewicz był odpowiedzialny za przygotowanie map anizotropii temperatury i polaryzacji a następnie poszukiwanie na tych mapach skorelowanych okręgów. Nie znaleziono żadnych par okręgów o statystycznie istotnej korelacji. Oznacza to, że jeżeli Wszechświat jest wielospójny to rozmiar komórki elementarnej nie może być mniejszy od rozmiaru obserwowanego Wszechświata. Praca w zespole naukowym Planck pozwoliła dr. P. Bielewiczowi na zdobycie doświadczenia w prowadzeniu badań naukowych w dużym zespole nad bardzo ważnymi i aktualnymi problemami oraz wykazanie się dużymi umiejętnościami w operowaniu i analizowaniu bardzo dużych zbiorów danych i ich efektywnego prezentowania.

W swojej dotychczasowej karierze naukowej dr Paweł Bielewicz opublikował 112 prac naukowych w renomowanych międzynarodowych czasopismach naukowych. Sumaryczna liczba cytowań tych prac jest rzędu 20000 ale jeżeli nawet nie uwzględni się prac związanych z misją Planck to i tak liczba cytowań prac dr P. Bielewicza jest imponująca (około 400) co świadczy o tym, że dr P. Bielewicz zajmuje się ważnymi i aktualnymi problemami naukowymi.

Uważam, że dr Paweł Bielewicz jest bardzo dobrze przygotowany do prowadzenia badań naukowych na bardzo wysokim poziomie zarówno samodzielnie jak i w dużej grupie badawczej. Wyniki naukowe przedstawione w pięciu pracach stanowiących rozprawę habilitacyjną w pełni uzasadniają wniosek o nadanie dr Pawłowi Bielewiczowi stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie astronomii.

  
Marek Demiański