

prof. dr hab. Włodzimierz Bednarek
Uniwersytet Łódzki
Katedra Astrofizyki

Ocena rozprawy habilitacyjnej Pana doktora Mariusza Tarnopolskiego pt.:

"Określenie liczby klas rozbłysków gamma przy pomocy wnioskowania statystycznego"

Dr Mariusz Tarnopolski odbył studia doktoranckie w Obserwatorium Astronomicznym Uniwersytetu Jagiellońskiego (AU UJ) na kierunku astronomia. Pracę doktorską pod kierunkiem prof. Zdzisława Goldy pt. "Chaotic rotational dynamics of Hyperion" obronił w 2017 roku. Początkowo pracował na stanowisku asystenta (a także wykładowcy) w OA UJ. Od 2017 roku, dr Tarnopolski jest zatrudniony na stanowisku adiunkta w Instytucie Astronomii, Wydziału Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu spełniając w taki sposób wymagania o działalności naukowej w przynajmniej dwóch instytucjach.

Rozprawę habilitacyjną dra Mariusza Tarnopolskiego stanowi mono-tematyczny cykl 5 publikacji (oznaczonych jako Hab1 do Hab5) opublikowanych w latach 2017-2022 w wiodących czasopismach astronomicznych (4 *ApJ* i 1 w *A&A*). Dr Tarnopolski jest jedynym autorem 4 tych prac i pierwszym autorem (w kolejności nie-alfabetycznej) dwu- autorskiej piątej pracy. Prace te są już bardzo dobrze rozpoznawalne w społeczności naukowej o czym świadczy uzyskanie 64 cytowań zewnętrznych w okresie ostatnich 4 lat. Celem tych prac jest analiza ilości klas błysków gamma. Dr Tarnopolski wykorzystuje zaawansowane metody statystyczne do analizy różnych własności dużych populacji błysków gamma zaobserwowanych przez satelitarne detektory twardego promieniowania rentgenowskiego i miękkiego gamma takie jak, BATSE, Konus, Swift, RHESSI, Suzaku, GBM/Fermi. Wyniki uzyskane w kolejnych pracach cyklu są omówione poniżej.

W pierwszej pracy cyklu (Hab1), dr Tarnopolski analizuje dwa istotne parametry charakteryzujące błyski gamma, tj. ich czasy trwania i tzw. twardości widm, wykorzystując dane z detektorów BATSE i Fermi. Do tych danych dopasowuje dwa lub trzy dwuwymiarowe rozkłady: gaussowskie (G), skośne normalne (SN), t Studenta (T) i skośne t Studenta (ST). W celu określenia najlepszych dopasowań wykorzystuje kryteria statystyczne (Akaike kryterium - AIC i Bayesian kryterium - BIC). Wyniki tej analizy dla obu próbek danych wskazują, że najlepsze dopasowanie uzyskuje się dla dwóch rozkładów skośnych t Studenta. Dlatego habilitant nie widzi podstaw do stwierdzenia istnienia trzeciej klasy błysków gamma w tak zdefiniowanej przestrzeni ich parametrów. Praca Hab2 jest bezpośrednim rozszerzeniem analizy przeprowadzonej w pierwszej pracy o analizę na przestrzenie parametrów błysków gamma o wyższe wymiary. Habilitant analizuje ile niezależnych parametrów opisujących błyski gamma powinno być użyte w analizie aby prawidłowo modelować populacje błysków gamma. Jego analiza rozbłysków zarejestrowanych przez detektor BATSE wskazuje, że wystarczą tylko dwie zmienne (czasy trwania i całkowite strumienie) do adekwatnego przedstawienia przestrzeni parametrów

błysków gamma. Natomiast, dwu-wymiarowa analiza parametrów błysków gamma z satelity BETSE nie wskazuje na istnienie trzeciej klasy błysków gamma.

Celem trzeciej pracy cyklu (Hab3) jest sprawdzenie hipotezy twierdzącej, że niesymetryczność rozkładu Gaussa, opisującego rozkład parametrów błysków gamma w układzie obserwatora, może być wynikiem rozkładu źródeł błysków w skali kosmologicznej. Habilitant odtwarza rozkład błysków gamma w zależności od przesunięcia ku czerwieni (z), wykorzystując modele tempa produkcji gwiazd w funkcji ' z ' (proporcjonalne do tempa błysków gamma) i czułości detektorów. Umożliwia to określenie wpływu efektu rozkładu błysków gamma na niesymetryczność rozkładu Gaussa określającego rozkład parametrów błysków gamma. Habilitant wskazuje, że efekt spowodowany rozkładem przestrzennym błysków może być odpowiedzialny za najwyżej kilka procent niesymetryczności rozkładu. Dlatego niesymetryczność musi wynikać z natury procesów fizycznych zachodzących w czasie kolapsu gwiazdy tworzącej długi błysk gamma.

W pracy Hab4 dr Tarnopolski dokonał statystycznej analizy 1160 krzywych zmian jasności długich błysków gamma zarejestrowanych przez detektor satelity Swift w celu określenia ich liczby klas. Habilitant określił kształt widm mocy dla tej populacji błysków gamma oraz opisał je przy pomocy funkcji potęgowych. Wykazał, że rozkłady indeksów potęgowych tych funkcji były w szerokim zakresie zgodne z wartością $\beta = 5/3$, postulowaną dla rozbłysków w przypadku w pełni rozwiniętej turbulencji. Stwierdził także istnienie periodyczności w przypadku 34 krzywych zmian jasności błysków gamma na poziomie 3σ , w niektórych przypadkach o zmiennym okresie (tzw. ćwierki), czy nawet podwójnym okresie. Habilitant zastosował także opracowaną przez siebie dwu-wymiarową metodę w której błyski gamma charakteryzuje się przez określenie ich dwóch parametrów tj. współczynnika Abbego (A) i stosunku tzw. punktów zwrotnych (T). Metoda ta została wykorzystana do analizy ciągów czasowych błysków gamma w celu określenia ich liczby klas. Metodę tą Habilitant zastosował z powodzeniem we wcześniejszej analizie krzywych blasku emisji gamma z blazarów wskazując na istnienie dwóch klas blazarów. Analiza w płaszczyźnie $A - T$, przeprowadzona dla błysków gamma zarejestrowanych przez satelitę Swift, nie wskazuje na istnienie większej niż jedna klasa długich błysków gamma. Dla rozpatrywanej populacji długich błysków gamma, dr Tarnopolski wyznaczył także tzw. wykładniki Hursta wykorzystując trzy różne algorytmy. Stwierdził, że dla 93% błysków wykładniki Hursta są powyżej 0.5 co wskazuje na występowanie w tej populacji błysków długoterminowej pamięci, tzn. wzorce zmienności obecne w krzywych blasku są trwałe. Ponadto, Habilitant pokazał że zależność $E_{\text{peak}}^{\text{rest}} - \beta$ (energia w maximum emisji w układzie źródła i wykładnik w widmie mocy) jest statystycznie istotna, a zależność $L_{\text{iso}} - f_0$ (moc izotropowa błysku i częstotliwość w układzie źródła przy której szum Poissona staje się porównywalny do poziomemu składnika potęgowego w widmie mocy) jest efektem obserwacyjnym wynikającym z faktu, że jaśniejsze źródła mają większy stosunek sygnału do szumu co przesunęła lokalizację częstości krytycznej (f_0) do wyższych częstości.

W ostatniej pracy cyklu (Hab5) dr Tarnopolski przedstawia zupełnie odmienne podejście do dwu-wymiarowej analizy parametrów błysków gamma (czas trwania T_{90} i współczynnik twardości widma H_{32}) uzyskanych przez różnego typu detektory (Fermi, BATSE, Swift, Konus, RHESSI i Suzaku). W celu określenia ilości klas błysków gamma wykorzystuje algorytmy oparte o teorię grafów (niektóre samodzielnie rozwinięte przez habilitanta). Wyniki analizy statystycznej nie do końca wskazują na istnienie tylko dwóch

klas błysków gamma. W przypadku mniejszych grup danych separacja błysków na tylko dwie grupy wydaje się uzasadniona. Natomiast w przypadku większej grupy danych, istnienie trzeciej klasy błysków gamma nie pozostaje wykluczone. Natomiast w żadnej analizie danych nie ma wskazań na istnienie więcej niż trzech klas błysków gamma. Dr Tarnopolski podsumowuje, że algorytmy oparte o teorię grafów z zastosowaniem do wielowymiarowych danych opisujących błyski gamma wydają się obiecującym narzędziem w przyszłych analizach.

Podsumowując stwierdzam, że rozprawa habilitacyjna dra Tarnopolskiego zawiera szereg wartościowych analiz statystycznych dostępnych danych określających własności błysków gamma uzyskanych przez kilka niezależnie działających detektorów satelitarnych. Habilitant umiejętnie i w przekonujący sposób wykorzystuje różnego typu analizy statystyczne w celu konstrukcji ilości klas błysków gamma. Wyniki Jego badań wskazują na istnienie w zasadzie tylko dwóch typów klas błysków gamma chociaż nie wyklucza całkowicie istnienia trzeciej klasy co dopuszczają niektóre z Jego zastosowanych metod. Natomiast zdecydowanie wyklucza istnienie więcej niż trzech klas błysków gamma, postulowanych w niektórych pracach. Jak na stosunkowo krótki okres ich publikacji, prace Habilitanta odbiły się już znaczącym echem w społeczności naukowej o czym świadczy znaczna ilość ich cytowań.

Całkowity dorobek naukowy dra Tarnopolskiego robi pozytywne wrażenie. Habilitant jest autorem 21 prac (poza podstawą habilitacji) z czego 17 to prace samodzielne. Pozostałe prace zostały wykonane w małych zespołach naukowych. Uzyskały one łącznie około 300 cytowań zewnętrznych (index Hirsha 13) co świadczy to o ich dużej rozpoznawalności. Większość z tych prac dotyczy zasadniczej ścieżki działalności naukowej habilitanta, tj. analizy statystycznej błysków gamma. Dr Tarnopolski opublikował także kilka prac poświęconych statystycznej analizie zmienności emisji z blazarów. We wcześniejszym okresie swojej działalności naukowej zajmował się problemem rotacji niesferycznych satelitów a także ogólnymi metodami analizy statystycznej wyników pomiarów. Widać, że stosowanie zaawansowanych metod statystycznych do analizy danych astronomicznych sprawia habilitantowi dużą przyjemność. Habilitant wykazał, że jest w stanie pracować naukowo samodzielnie odnosząc znaczące sukcesy.

Wyniki badań habilitanta były kilkunastokrotnie przedstawiane na konferencjach naukowych. Habilitant był dwukrotnie członkiem komitetów organizacyjnych na konferencjach. Kilkakrotnie był kierownikiem (lub członkiem) zespołów uzyskujących granty naukowe (w tym w konkursach OPUS i SONATA z NCNu). Odbił także kilka krótkich staży naukowych. Dr Tarnopolski był do tej pory zatrudniony w instytucjach naukowo-dydaktycznych. Dlatego posiada także znaczący dorobek dydaktyczny osiągnięty w trakcie prowadzenia zajęć począwszy od ćwiczeń z fizyki, metod matematycznych fizyki i astrofizyki, algebry z geometrią po matematyczne metody astronomii i wprowadzenie do teorii chaosu. Był On promotorem pracy magisterskiej a obecnie jest promotorem pomocniczym w przewodzie doktorskim a także opiekunem stażów w OA UJ. Jego działalność organizacyjno-dydaktyczna zasługuje także na pozytywną ocenę.

Stwierdzam, że rozprawa habilitacyjna dra Mariusza Tarnopolskiego spełnia wszelkie wymogi ustawowe (Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce art. 219 ust. 1 pkt. 2 i 3 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r.). Stanowi ona znaczny wkład w rozwój dyscypliny

naukowej astronomia. Dr Tarnopolski prowadził działalność naukową w dwóch instytucjach naukowych spełniając wymogi stawiane kandydatom do stopnia naukowego doktora habilitowanego. Dlatego wnioskuję o dopuszczenie dra Mariusza Tarnopolskiego do dalszych etapów przewodu habilitacyjnego.

Wł. Bednarek

prof. dr hab. Włodzimierz Bednarek

Łódź, 28 Maj 2024 r.