

**Recenzja osiągnięcia naukowego**  
***Określenie liczby klas rozbłysków gamma przy pomocy***  
***wnioskowania statystycznego***  
**oraz dorobku naukowego dra Mariusza Tarnopolskiego**

Dr Mariusz Tarnopolski uzyskał stopień doktora nauk fizycznych w zakresie astronomii na Uniwersytecie Jagiellońskim, Wydziale Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej w Krakowie w 2017 roku pod kierunkiem doktora habilitowanego Zdzisława Gołdy. Od lutego 2018 roku do końca roku 2021 był asystentem oraz wykładowcą Obserwatorium Astronomicznego UJ. Od 2022 roku jest adiunktem Wydziału Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu, gdzie jest obecnie zatrudniony.

Jako osiągnięcie będące podstawą postępowania habilitacyjnego, dr M. Tarnopolski przedstawił cykl pięciu powiązanych tematycznie publikacji pod tytułem *Określenie liczby klas rozbłysków gamma przy pomocy wnioskowania statystycznego*. Publikacje te ukazały się w latach 2019–2022 w bardzo dobrych czasopiśmie o zasięgu międzynarodowym w dyscyplinach astronomia oraz nauki fizyczne: cztery z nich w *The Astrophysical Journal* i jedna w *Astronomy and Astrophysics*. Cztery prace stanowiące osiągnięcie habilitacyjne są jednoautorskie. Wkład dra Tarnopolskiego stanowi 100%. Jedna praca była wykonana we współpracy z doktorem Volodymyrem Marchenko. Zgodnie z opisem osiągnięcia habilitacyjnego wkład dra Tarnopolskiego w powstanie tej pracy był dominujący – wyselekcjonował dane obserwacyjne błysków GRB z katalogu satelity *Swift*, wyliczył widma mocy z krzywych blasku, wyliczył wykładniki Hursta, skonstruował i wypełnił danymi płaszczyzny  $\mathcal{A} - \mathcal{T}$ , przygotował tekst artykułu.

Osiągnięcie naukowe zaprezentowane przez dra Mariusza Tarnopolskiego związane jest z badaniem czy istnieją dwie, czy trzy, a może więcej (np. siedem) klas błysków gamma (ang. GRB). Z bimodalności rozkładu trwania błysków (dokładniej czasów  $T_{90}$ , czy  $T_{50}$ , np. Horváth 1998, Zhang et al. 2016) widzimy błyski krótko- i długożyjące, a także pośrednie, choć pochodzenie źródła i sama obecność tych ostatnich są dyskutowane od końca ubiegłego wieku do dzisiaj. W celu rozwiązania tego problemu czy nawet przybliżenia się do rozwiązania przy braku jednoznaczności, habilitant rozwija szereg modeli i technik statystycznych. Prace cyklu można podzielić na dwa tematy: a) studia nad wyodrębnieniem podgrup błysków GRB (prace Hab1, 2, 3, 5), b) studia nad wytłumaczeniem asymetrii rozkładu czasu trwania błysków długich (praca Hab4).

Praca **Hab1** odnosi się do uchwycenia właściwości statystycznych rozbłysków GRB z wykorzystaniem analizy danych obserwacyjnych na przestrzeniach rozpiętych wieloma obserwablami błysków. Analizy jednoczynnikowe są obciążone dużym błędem i zdecydowane nie udzielają jednoznacznych w odpowiedzi na postawione pytania dotyczące liczby klas. W pracy Hab1 habilitant przebadal rozbłyski zarejestrowane przez satelity *Fermi*/GBM oraz

*CGRO/BATSE*. Do danych tych dopasowuje rozkłady mieszane: gaussowski, skośny normalny,  $t$  Studenta i skośny  $t$  Studenta, a następnie maksymalizuje funkcje wiarygodności. Stosuje przy tym celowo dwa kryteria informacyjne: Akaike'go oraz Bayesowskie (gdyż pierwsze z nich prowadzi do nadmiernego, a drugie do bardziej rygorystycznego i niedostatecznego dopasowania rozkładów). Na podstawie przeprowadzonych badań, habilitant wyciąga wniosek, że w grupie przebadanych rozbłysków nie ma statystycznych przesłanek za istnieniem więcej niż dwóch klas rozbłysków, generowanych przez dwa różne fizycznie mechanizmy (np. zlewanie się gwiazd neutronowych oraz wybuchy hipernowych Ic o asymetrycznym rozkładzie gęstości podczas kolapsu). Tym samym klasa błysków gamma o pośrednich czasach życia nie ma umocowania na swoje istnienie na podstawie przeprowadzonego wnioskowania statystycznego. W artykule Hab1 doktor Tarnopolski ogranicza się tylko do badania parametrów  $T_{90}$  oraz współczynnika twardości  $H_{32} \equiv F_{100-300\text{keV}}/F_{50-100\text{keV}}$ . Kontynuacją tych badań tym razem uwzględniającą szerszy zakres parametrów błysków GRB jest praca **Hab2**. Wzięte zostały pod uwagę obserwowane strumienie całkowite błysków ( $F_1, F_2, F_3$ ), ich czasy trwania ( $T_{90}, T_{50}$ ), współczynniki twardości ( $H_{32}, H_{43}, H_{321}$ ), strumienie szczytowe ( $P_{64}, P_{256}, P_{1024}$ ). Habilitant przeprowadził w tej pracy analizę składowych głównych (PCA) na szerokiej próbce danych. W artykule tym próbka błysków wynosiła około 2037, a analizowane płaszczyzny parametrów zawierały około 1600 błysków. W innych pracach np. Borgonovo & Björnsson 2006, Tóth i in. 2019 danych było mniej). Utworzone przestrzenie parametrów były następnie modelowane rozkładami mieszanymi podobnie jak w Hab1. Uzyskany przez habilitanta wniosek jest podobny do tego jaki uzyskali w 1998 roku Bagaloy i in. Pomimo większej ilości użytych w badaniach błysków wynika z badań habilitanta, że nadal wystarczą tylko dwie składowe wśród błysków. Tym samym praca ta potwierdza brak przesłanek za istnieniem trzeciej klasy „pośrednich” rozbłysków GRB tym razem w znacząco powiększonej ilości danych o rozszerzonym zakresie przestrzeni parametrów i wyższej liczbie wymiarów. Z pracy wynika, że preferowana jest dystrybucja dwóch skośnych składowych, natomiast główne składowe PC1 oraz PC2 odpowiadają odpowiednio czasom trwania oraz strumieniom całkowitym błysków. Praca **Hab3** dotyczy sprawdzenia czy poszukiwana asymetria w rozkładzie  $T_{90}$  błysków długich ( $> 2$  sekundy) jest spowodowana kosmologicznym przesunięciem ku czerwieni, czyli różnym umiejscowieniem źródeł inicjujących GRB w ekspandującym Wszechświecie (patrz też Zhang & Choi 2008, Zitouni i in. 2015). Przeprowadzona przez autora analiza wykazuje, że rozkład kosmologicznego przesunięcia ku czerwieni jest odpowiedzialny tylko za kilka procent obserwowanego efektu asymetrii czasów trwania i nie tłumaczy tego zjawiska. Źródłem danych były katalogi detektorów *Swift*/BAT oraz *Fermi*/GBM (duża próbka prawie 4000 błysków GRB). Dwuautorski artykuł **Hab4** z 2021 roku jest pracą, w której autorzy m.in. przeprowadzają klasyfikację długich błysków gamma przy pomocy wnioskowania statystycznego, uwzględniając ich rozkład na płaszczyźnie „współczynnik Abbego–punkty zwrotne” (płaszczyzna  $\mathcal{A} - \mathcal{T}$ ). Jest to **nowatorskie**, nieparametryczne podejście. Zostało wcześniej zastosowane do pomysłnej próby klasyfikacji blazarów przeprowadzonej przez habilitanta i jego współpracowników w pracach z 2020 roku (np. Żywucka, Tarnopolski i in. 2020, Tarnopolski i in. 2020). Autorzy projektu Hab4 poszukiwali odpowiedzi na pytanie czy wzorce zmienności jakie występują w krzywych blasku długich błysków gamma dzieli je na podtypy i klasy. Przebadano 1160 krzywych zmian blasku. Wynik analizy: nie ma podstaw do takiego wnioskowania. Dodatkowym wynikiem pracy Hab4 jest wykrycie 34 nowych przypadków (na poziomie 3sigma) quasi-periodycznych oscylacji (ang. QPO), a tym samym potwierdzenie wystąpienia QPO w błysku GRB090709A. Habilitant wyznaczył samodzielnie wykładniki Hursta, które również służą klasyfikacji rozbłysków. Wartością dodaną tego projektu jest stworzenie katalogu zawierającego m.in. indeksy widm mocy, okresy QPO, indeksy spektralne, położenia na płaszczyźnie  $\mathcal{A} - \mathcal{T}$  itp. Kolejną **pionierską** pracą jest

jednoautorski artykuł **Hab5**, w którym habilitant wykorzystuje po raz pierwszy metody nieparametrycznej analizy skupień oparte na teorii grafów. Za ich pomocą (są to algorytmy CkNN, CutPC, fast density peaks, k-spójności grafu) poszukuje statystycznie istotnego grupowania się błysków gamma na płaszczyźnie „czas  $T_{90}$  – twardość  $H_{32}$ ”. Autor potwierdził wcześniejsze wyniki, że rozbłyski dzielą się na dwie grupy o krótkich i długich czasach trwania. Nie ma też z pewnością podstaw, sugerowanych w innych pracach, aby twierdzić, że podklas błysków mamy pięć lub więcej (np. Chattopadhyay & Maitra 2017, Ruffini i in. 2018, Tóth i in. 2019).

O wadze poczynionych analiz oraz uzyskanych wyników świadczy ilość cytowań wspomnianych artykułów. Publikacje cyklu prac Hab1-Hab5 były cytowane do tej pory 73 razy (wg bazy *Web of Science*, stan na 1 lipca 2024 r.) czego wynik jest znaczący zważając na jedno autorskość czterech prac z pięciu oraz krótki czas od ich publikacji. Zostały zauważone przez międzynarodowe środowisko naukowe. Prace Hab2 oraz Hab4 posiadają 16 cytowań każda. Artykuł Hab3 i Hab5 posiadają odpowiednio po 5 i 6 cytowań. Natomiast praca Hab1 z 2019 roku ma ich 30. Tym samym stwierdzam, że seria prac przedstawiona jako osiągnięcie naukowe dra Tarnopolskiego stanowi znaczący wkład w rozwój astrofizyki.

### **Ocena pozostałej części dorobku i aktywności naukowej habilitanta**

Dorobek doktora Mariusza Tarnopolskiego stanowi ponad 20 (nie licząc prac wchodzących w skład osiągnięcia habilitacyjnego) recenzowanych artykułów opublikowanych w czasopiśmie, znajdujących się w bazie *Journal Citation Reports* oraz kilku recenzowanych doniesień konferencyjnych. W 21 z nich jest jedynym autorem, a w czterech artykułach pierwszym lub drugim współautorem. Należy zauważyć, że dwie prace, w których dr Tarnopolski jest jedynym autorem są cytowane po około 40 razy, a liczba artykułów, z których każdy jest cytowany ponad 30 razy wynosi 5. Sumaryczna liczba cytowań przekracza 390 (310 bez autocytowań), indeks Hirscha habilitanta wynosi 14 (dane wg bazy *Web of Science* na dzień 05.07.2024). Warto podkreślić szeroki zakres zagadnień poruszanych w tych 30 pracach habilitanta: od tych rozważanych w osiągnięciu naukowym, poprzez nieliniową analizę szeregów czasowych, klasyfikację blazarów, badanie ich zmienności w optyce do teorii chaosu, fraktali, mechanikę niebieską, analizę struktury wszechświata. Pozwala to stwierdzić, że dr Mariusz Tarnopolski porusza się swobodnie w kilku rozległych obszarach współczesnej astrofizyki wysokich energii oraz matematyki łącząc je na przykład poprzez wnioskowanie statystyczne.

Habilitant został zaproszony do wygłoszenia referatu na międzynarodowej konferencji naukowej Polish-German WE-Heraeus Seminar. Wygłosił 12 krótszych doniesień konferencyjnych (m.in. w Rumunii, RPA, Grecji, Szwajcarii, Francji, Czechach, Mongolii). W 2022 oraz 2023 roku był członkiem komitetu programowego konferencji naukowych „International conference on Time Series and Forecasting” w Hiszpanii.

O dojrzałości naukowej dra Tarnopolskiego świadczy również uczestnictwo w zespole oceniającym wnioski grantowych skierowanych do Czeskiej Akademii Nauk, a także bycie edytorem gościnnym monografii „Gamma-Ray Bursts: Observational and Theoretical Prospects in the Era of Multi-Messenger Astronomy”. Habilitant jest recenzentem artykułów naukowych w 12 czasopiśmie: m.in. *Nature*, *The Astrophysical Journal*, *Astronomy & Astrophysics*, *New Astronomy*, *Astrophysics & Space Science*, *Galaxies*, *Communications in Statistic*, *Physics Letter A*, *Physica A*, *Physica D*.

Dr Tarnopolski wykazał się w swojej karierze również sukcesem w uzyskiwaniu grantów. Był kierownikiem 2 z nich ogłoszonych w ramach konkursu OPUS (Narodowe Centrum Nauki) oraz konkursu przez Ministerstwo Nauk i Szkolnictwa Wyższego. Obecnie jest kierownikiem grantu NCN – SONATA.

W 2015 oraz 2023 roku dr Tarnopolski uzyskał stypendia Ministra Edukacji i Nauki dedykowane wybitnym młodym naukowcom. Podobnie uzyskał dwa razy roczne stypendia Krakowskiego Konsorcjum Naukowego „Materia-Energia-Przyszłość”. Jego studia doktoranckie w latach 2013-2015 były współfinansowane przez stypendium ufundowane przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego. W 2018 roku habilitant odbył 3 tygodniowe staże zagraniczne na Uniwersytecie Karola w Pradze oraz Uniwersytecie Loránda Eötvösa w Budapeszcie. Mając na uwadze współpracę naukową habilitanta pomiędzy Uniwersytetami, dodatkowo Jego wkład w rozwój Uniwersytetu Jagiellońskiego oraz UMK w Toruniu stwierdzam, że dr M. Tarnopolski wykazuje się istotną aktywnością naukową w więcej niż jedna uczelnia.

Dorobek dydaktyczny dra Tarnopolskiego obejmuje prowadzone przez niego wykłady kursowe oraz specjalistyczne, prowadzone w latach 2012-2024 na Wydziałach Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie oraz Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu. Habilitant był opiekunem pracy magisterskiej w 2023 roku oraz opiekunem letnich staży studenckich w Obserwatorium Astronomicznym UJ. Obecnie jest promotorem pomocniczym pracy doktorskiej realizowanej na Uniwersytecie Mikołaja Kopernika.

## **Konkluzja**

Przedstawione w rozprawie wyniki naukowe stanowią samodzielny i znaczący wkład habilitanta w astrofizykę wysokich energii, studia błysków gamma, wnioski statystycznego. Stwierdzam, iż przedstawione mi do oceny osiągnięcie naukowe oraz całość dorobku naukowego i aktywność naukowa habilitanta, spełniają ustawowe i zwyczajowe wymogi stawiane przy ubieganiu się o stopień doktora habilitowanego i wnoszę o dopuszczenie dra Mateusza Tarnopolskiego do dalszych etapów postępowania w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie astronomia.



Dr hab. Marek Nikolajuk, prof. UwB