



ul. Bartycka 18, 00-716 Warszawa
tel: (22) 841 00 41, (22) 3296 100
fax: (22) 841 00 46
email: camk@camk.edu.pl
http://www.camk.edu.pl

CENTRUM ASTRONOMICZNE IM. MIKOŁAJA KOPERNIKA PAN

Warszawa, 19.04.2022

Rada Dyscypliny OA UJ

Recenzja rozprawy habilitacyjnej oraz ocena dorobku naukowego i dydaktycznego dr Arti Goyal

Dr Arti Goyal otrzymała stopień doktora w 2011 r. na Uniwersytecie Kumaun w Nainital w Indiach. Następnie odbyła staż po-doktorancki w Tata Institute of Fundamental Research (TIFR), w jednym z największych instytutów naukowych w Indiach. Na Uniwersytet Jagielloński przyjechała w 2013, gdzie odbyła następny staż po-doktorancki i gdzie z powodzeniem pracuje do dziś na stanowisku adiunkta. Od początku swojej kariery naukowej dr Arti Goyal zajmuje się zmiennością czasową dżetów w aktywnych jądrach galaktyk (AGN). Jest to o tyle istotna dziedzina badań, że aktywne galaktyki zdominowane przez emisję z dżetów (BL Lac lub blazary) stanowią liczną i dobrze wyodrębnioną grupę AGN-ów, będącą od wielu lat głównym celem badań największych radio teleskopów. Ponadto, dżety obserwowane są w szerokim zakresie widma elektromagnetycznego, aż do promieni gamma, umożliwiając tym samym badanie ich struktury i ewolucji. Podejrzewa się, że dżety mają bezpośredni związek z mechanizmem akrecji na supermasywną czarną dziurę (z ang. accretion/ejection mechanism), a tym samym determinują wymianę materii pomiędzy galaktykami a ich otoczeniem (z ang. galaxy feedback). Dr Arti Goyal modeluje zmienność blazarów w różnych dziedzinach widma używając nowatorskich technik pracy z danymi.

Rozprawa habilitacyjna dr Arti Goyal, pt.: *Wielopasmowa analiza gęstości widma mocy blazarów zmiennych w skalach od dziesięcioleci do minut*, składa się z następujących czterech prac, w których nazwisko autorki widnieje na pierwszym miejscu. Ponadto należy zaznaczyć, że dwie z tych prac są jednoautorskie, co w chwili obecnej jest rzadkością:

1. Goyal, A. et al.: *Multiwavelength Variability Study of the Classical BL Lac Object PKS 0735+178 on Timescales Ranging from decades to minutes*, 2017, ApJ, 837, 127, [H1]
2. Goyal, A. et al.: *Stochastic Modeling of Multiwavelength Variability of the Classical BL Lac Object OJ 287 on Timescales Ranging from Decades to Hours*, 2018, ApJ, 863, 175, [H2]

3. Goyal, A.: *Blazar variability power spectra from radio up to TeV photon energies: Mrk 421 and PKS 2155-304*, 2020, MNRAS, 494,3432, [H3]
4. Goyal, A.: *Optical variability Power Spectrum Analysis of Blazar Sources on Intranight Timescales*, 2021, ApJ, 909, 39, [H4].

Wszystkie wyżej wymienione artykuły zostały opublikowane w recenzowanych czasopismach z listy filadelfijskiej o najwyższym współczynniku „impact factor” (>5.1). W pracach wieloautorskich, współautorzy jednoznacznie uznali, że wkład dr Arti Goyal w pozyskiwaniu wyników i pisaniu tych artykułów był dominujący. Dr A. Goyal, od czasu obrony doktoratu, jest współautorką 13 innych publikacji w tychże czasopismach, które z powodzeniem są cytowane przez inne grupy badawcze. Ponadto dr A. Goyal należy do konsorcjów naukowych instrumentów LOFAR i HESS, co zaowocowało 19-toma publikacjami wieloautorskimi. Jej indeks Hirscha na dzień złożenia habilitacji wynosił 23, co uważam za bardzo dobre osiągnięcie na tym etapie pracy naukowej. Rezultaty swoich badań prezentowała na licznych konferencjach i zjazdach naukowych w wyniku czego jest autorką 14-stu publikacji po-konferencyjnych, wydanych po otrzymaniu stopnia doktora. Z powodzeniem można stwierdzić, że praca na UJ otworzyła autorce możliwość licznych kontaktów z międzynarodowym środowiskiem naukowym, z których autorka sumiennie skorzystała.

Zmienność czasowa blazarów dostarcza nam bezpośrednio informacji o wielkości obszarów emisji całego dżetu a badanie tej zmienności jest fundamentalnym zagadnieniem przy tworzeniu modeli odpowiedzialnych za szerokopasmowe widma tych obiektów. Pani dr Arti Goyal zajmuje się analizą zmienności blazarów zarówno pozyskując nowe dane obserwacyjne, jak i wdrażając nowe algorytmy wyznaczające zależności zmian czasowych obserwowanych w różnych dziedzinach widma. W dzisiejszych czasach wiąże się to z umiejętnością analizy danych pochodzących z najnowszych teleskopów, tych naziemnych i satelitarnych, które z reguły działają z wykorzystaniem różnych zdobyczy technologicznych charakterystycznych do detekcji fotonów o konkretnej energii. Pani dr Arti Goyal potrafi zredukować dane z naziemnych radioteleskopów jak i z satelitów rentgenowskich działających w przestrzeni okołozemskiej. W swoich publikacjach, wchodzących w skład rozprawy, korzystała z teleskopów HESS, VERITAS, SMARTS, UMRAO, OVRAO, oraz misji satelitarnych Fermi, RXTE, Swift i Kepler.

Główny wkład pani Arti Goyal w rozwój dyscypliny postrzegam w rozwinięciu algorytmów używanych do badania krzywych zmian blasku oraz ich pionierskiego użycia do danych obserwacyjnych konkretnych źródeł. Opracowane krzywe zmian blasku wykazują zmienność w imponującej rozpiętości skal czasowych od minut do dziesiątek lat. Dr Arti Goyal pokazała zastosowanie nowych technik pracy z krzywymi zmian blasku na przykładzie pojedynczych źródeł (prace H1, H2 i H3) jak i na próbce 14-tu blazarów [H4]. Dane analizowanych obiektów pokrywają 13-18 rzędów wielkości obserwowanych energii oraz ok. 4-6 rzędów wielkości częstotliwości. W każdym przypadku autorka była w stanie scharakteryzować zmienność w dziedzinie radiowej/optycznej i porównać ją do tej obserwowanej w promieniowaniu rentgenowskim bądź gamma.

W przypadku pracy H1, widma mocy pozyskane z krzywych zmian blasków zostały zanalizowane za pomocą dyskretnej transformaty Fouriera dla nierównoległe próbkowanych szeregów czasowych. Aby analiza była poprawna, dr Arti Goyal wygenerowała szeregi

czasowe ze znanymi kształtami widmowymi przy użyciu metod Monte Carlo (podejście podobne do wykorzystywanego w uczeniu maszynowym). W wyniku badań stwierdziła, że zmienność na różnych częstotliwościach wykazuje zróżnicowane cechy statystyczne, co może wskazywać, że cała emisja jest generowana w turbulentnym, rozciągniętym dziecie, a za zmienność w dziedzinie gamma odpowiadają dwa procesy stochastyczne sterujące oddzielnie zmiennością synchrononową (optyczną i radiową), z czasem większym niż dziesiątki lat, oraz zmiennością w dziedzinie odwrotnego procesu Comptona (promienie X i gamma), z czasem krótszym niż tygodnie/dni.

W następnych publikacjach autorka szukała potwierdzenia tej hipotezy. Skoro zmienność regulowana jest przez procesy stochastyczne, zgromadziła obserwacje źródła OJ287 pozyskując imponującą 117-letnią optyczną krzywą zmian blasku (praca H2). Na uwagę zasługuje użycie całkiem innej analizy niejednorodnych szeregów czasowych. Dr Arti Goyal zastosowała pakiet CARMA (Continuous-time Auto Regressive and Moving Average), bardzo dobrze znany w dziedzinie astronomii rentgenowskiej. Mimo wiedzy o istnieniu pakietu, niewielu naukowców go stosuje, a twórca oprogramowania odszedł do biznesu. Jednakże prawie na każdym spotkaniu grupy analizującej zmienność AGN-ów, w których ja osobiście uczestniczę, wspomina się o potrzebie użycia pakietu CARMA, co pokazuje duże zainteresowanie tym sposobem analizy krzywych zmian blasku. Oznacza to, że dr Arti Goyal posiadała unikalną wiedzę i może wspomóc inne zespoły badawcze. Dzięki zastosowaniu pakietu CARMA, autorka skonstruowała zmienne widmo mocy w zakresie optycznym dobrze reprezentowane procesami stochastycznymi wyższego rzędu w skalach czasowych wahających się od 117 lat do ~1 godziny. Za ciekawy wynik tej pracy uważam rezultat, że emisja wysokoenergetycznego promieniowania gamma zachodzi z powodu odrębnej przestrzennej populacji elektronów rozmieszczonej raczej w najbardziej wewnętrznych częściach dżetu.

Następnie autorka zajęła się dwoma źródłami, które były obserwowane w dziedzinie wysokoenergetycznej sięgającej aż do energii TeV (praca H3). I tu znowu pokusiła się o użycie nowego oprogramowania do analizy krzywych zmian blasku. Tym razem skorzystała z pakietu PSRESP (z ang. power spectral response), określając go jako najdokładniejszą metodę wyznaczenia kształtu widma mocy. Interesujące jest to, że pakiet PSRESP został napisany przez astronoma zajmującego się obserwacjami rentgenowskimi. Ciekawym wynikiem tej pracy było scharakteryzowanie typu szumu dla różnych zakresów widmowych, różowy szum dla promieniowania gamma, oraz czerwony szum dla optyki i podczerwieni. I tutaj moja jedyna uwaga krytyczna do wstępu, a mianowicie nie rozumiem jak autorka rozróżnia to, że w zakresie energetycznym GeV, emisja IC pochodzi z fotonów w reżimie Thompsona, a w zakresie energetycznym TeV mamy reżim Kleina-Nishiny. Nieprzezroczystość Kleina-Nishiny sprowadza się do nieprzezroczystości Thomsona dla niskich energii fotonów. Natomiast już w zakresie rentgenowskim obydwie nieprzezroczystości różnią się od siebie i standardowo należy użyć wzoru Kleina-Nishiny. Według mnie, nie jest możliwe takie rozróżnienie pomiędzy zakresami GeV i TeV skoro już dla keV stosuje się całkowity przekrój czynny Kleina-Nishiny na rozpraszanie Comptona. Uważam, że powyższe stwierdzenie wynika z prostoty modeli zastosowanych do obróbki danych widmowych.

Dr Arti Goyal starannie dobrała 14 obiektów do swojej ostatniej pracy H4, gdzie ponownie zastosowała metodę PSRESP do przeanalizowania 29 krzywych zmian blasku, przy czym skupiła się na badaniu statystycznym widm mocy na krótszych skalach

czasowych. W przypadku badanych obiektów nachylenie funkcji potęgowych widma mocy sugeruje zmienność o charakterze różowego do czarnego szumu, w przeciwieństwie do długich skal czasowych gdzie szum jest ściśle czerwony. To sugeruje, że procesy powodujące zmienność w badanych skalach czasowych związane są raczej z pojawieniem się turbulencji w nietermicznym dżecie, a nie z dyskiem akrecyjnym.

Wszystkie otrzymane wyniki są niezmiernie ciekawe i domagają się kontynuacji. Postawione hipotezy na pewno wzmocnią swoją rangę wraz z ilością obiektów przeanalizowanych w sposób proponowany przez autorkę. Uważam, że jej dobrze wyodrębniona i zdefiniowana działalność naukowa stanowi ważny nurt badawczy i posłuży kształceniu przyszłych naukowców. Za słabą stroną pracy uważam zbyt techniczny opis zawarty w autoreferacie, który broni się dzięki starannym i wyraźnym rysunkom. Natomiast brak możliwości pracy na zbiorach typu .pdf bardzo utrudnił przeprowadzenie recenzji (skany uniemożliwiają przeszukiwanie tekstu). Powyższe uwagi techniczne nie wpływają na moją ocenę dorobku naukowego autorki.

Zatrudniona na Uniwersytecie Jagiellońskim dr Arti Goyal nie wykazała wielu osiągnięć dydaktycznych i jest to najslabsza strona jej pracy naukowej. Ale rozumiem, że uczestnictwo w licznych sieciach badawczych charakteryzuje się nieustanną wymianą doświadczeń, również z młodszymi rangą naukowcami. Brakuje wypromowanych doktorantów i magistrantów. Niemniej, przy obecnym systemie finansowania nauki proces pozyskiwania młodych współpracowników związany jest ze zdobywaniem grantów, a w tym temacie dr Arti Goyal ma spore doświadczenie. Obecnie kieruje grantem OPUS Narodowego Centrum Nauki, oraz posiada osobne finansowanie na podróż do Chile, w celu obserwacji przy pomocy Very Large Telescope (VLT) Europejskiego Obserwatorium Południowego (ESO). Oprócz standardowych przynależności do towarzystw astronomicznych, na uwagę zasługuje uczestnictwo dr Arti Goyal w międzynarodowych sieciach badawczych dedykowanych przykładowo: redukcji danych z zakresu TeV za pomocą potoku HAP, lub sprawdzaniu powiązań źródeł promieni TeV z ich rentgenowskimi odpowiednikami, oraz badaniu powiązań radioźródeł z galaktykami optycznymi (wewnątrzakładowy projekt ROGUE). Bardzo długa jest lista pozytywnie rozpatrzonych wniosków obserwacyjnych autorki i odbytych przez nią obserwacji za pomocą óżnych teleskopów. W roku 2020 dr Arti Goyal otrzymała nagrodę Rektora Uniwersytetu Jagiellońskiego za wybitne osiągnięcia naukowe.

Podsumowując, uważam, że pani dr Arti Goyal jest dojrzałym pracownikiem naukowym. Ma duże doświadczenie i umiejętność samodzielnego definiowania i rozwiązywania problemów naukowych. Aktywnie uczestniczy w obserwacyjnych projektach badawczych, krajowych i międzynarodowych. Wszystkie te cechy w pełni uzasadniają jej starania o pozycję samodzielnego pracownika naukowego. Toteż wnioskuję do Rady Dyscypliny Uniwersytetu Jagiellońskiego o przyznanie dr Arti Goyal stopnia doktora habilitowanego.

Z poważaniem



Prof. dr hab. Agata Różańska