

dr hab. Krzysztof T. Chyży  
Obserwatorium Astronomiczne  
Uniwersytetu Jagiellońskiego  
ul. Orła 171, 30-244 Kraków

**Ocena osiągnięcia naukowego, dorobku naukowego, dydaktycznego i popularyzatorskiego  
dr Wojciecha Lewandowskiego  
w związku z wnioskiem o wszczęcie postępowania habilitacyjnego**

**Ogólne informacje o kandydacie**

Dr Wojciech Lewandowski uzyskał stopień doktora na Wydziale Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu w roku 2004 na podstawie rozprawy „Obserwacje pulsarów radioteleskopami w Piwnicach i Arecibo”. Promotorem pracy był prof. Aleksander Wolszczan. W latach 2004-2006 zajmował stanowisko asystenta a następnie adiunkta na tej samej uczelni kontynuując badania nad pulsarami. W 2006 roku habilitant przeniósł się do Instytutu Astronomii Uniwersytetu Zielonogórskiego i podjął pracę jako adiunkt, od 2015 roku zajmuje stanowisko starszego specjalisty naukowo-technicznego. W tym ośrodku dzięki współpracy m.in. z Prof. Jarosławem Kijakiem zainteresował się możliwościami badania własności ośrodka międzygwiazdowego przy pomocy pulsarów co doprowadziło do realizacji szeregu projektów badawczych i publikacji zwieńczonych przedstawionym osiągnięciem naukowym.

**Ocena osiągnięcia naukowego**

Na osiągnięcie naukowe dr Wojciecha Lewandowskiego pt. „Ograniczenia obserwacyjne na modele zjonizowanego ośrodka międzygwiazdowego uzyskane za pomocą badań sygnału pulsarów radiowych” składa się monotematyczny cykl sześciu prac wieloautorskich, opublikowanych w latach 2011-2015. Wszystkie prace zostały opublikowane w renomowanych czasopismach, wiodących w dziedzinie astrofizyki (cztery prace opublikowano w *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* oraz po jednej w *Astrophysical Journal* i *Astronomy and Astrophysics*). W pięciu pracach dr Lewandowski jest pierwszym autorem poza porządkiem alfabetycznym, a w jednej drugim, wśród trzech autorów. Prace liczą od trzech do pięciu autorów. Przedstawione oświadczenia współautorów o ich udziale (ocenianym opisowo i procentowo) jednoznacznie określają wiodący wkład habilitanta (55%-75%) w powstanie pięciu z nich, a w jednej równorzędny udział (45%) z pierwszym autorem pracy.

W przedstawionym osiągnięciu naukowym habilitant zajmuje się badaniem wpływu zjonizowanej fazy ośrodka międzygwiazdowego na obserwowane sygnały radiowe docierające do nas od pulsarów. Podczas propagacji fal radiowych przez taki ośrodek dochodzi do zjawisk rozpraszania i scyntytacji. Ponadto zjonizowana materia, szczególnie w bliskim otoczeniu pulsara, może powodować absorpcję fal w procesie swobodno-swobodnym. Analiza sygnałów dochodzących od pulsarów pozwala wyznaczać różne parametry opisujące te zjawiska i weryfikować modele teoretyczne opisujące ośrodek międzygwiazdowy.

Pierwsza praca (Lewandowski i in. 2011, A&A 534, A66) przedstawia wyniki czteroletniego monitoringu najjaśniejszego pulsara PSR B0329+54 dokonanego przy pomocy 32m radioteleskopu w Piwnicach koło Torunia, na częstotliwości 4.8 GHz. Jego celem było określenie z obserwowanych zmian jasności pulsara, skal czasowych scyntytacji dyfrakcyjnych i refrakcyjnych, za które odpowiadają różne skale zaburzeń gęstości materii międzygwiazdowej.

W analizie szeregu czasowego fluktuacji strumienia pulsara posłużono się tzw. metodą funkcji struktury, otrzymując wartości skali dyfrakcyjnej i refrakcyjnej. Zestawienie tych wartości z analogicznymi danymi literaturowymi opublikowanymi dla niższych częstotliwościach pozwoliło na dopasowanie zależności parametrów scyntytacji od częstotliwości. Nowe pomiary na 4.8 GHz okazują się dobrze pasować do danych z literatury i pozwalają na znaczące poprawienie

dokładności szacowanych parametrów. Następnie wyznaczono tzw. pasmo dekorelacji i wyznaczono indeks  $\alpha$  jego skalowania z częstotliwością, otrzymując  $\alpha=3.68$ . Z analizy uzyskanych parametrów wynika ważny wniosek, że w kierunku PSR B0329+54 mamy do czynienia z ośrodkiem międzygwiazdowym, którego widmo turbulencji nieznacznie odbiega od widma Kołmogorowa ( $\alpha=4.4$ , co odpowiada indeksowi  $\beta=11/3$  w widmie przestrzennym fluktuacji energii), które często zakłada się w modelach ośrodka międzygwiazdowego.

Nie umniejszając ważności wyznaczonym w tym projekcie parametrom scyntytacji międzygwiazdowej, kilka z nich zostało podanych w artykule bez statystycznych niepewności, dotyczy to pasma dekorelacji (Tabela 3) i jego zależności od częstotliwości (Tabela 4). Przeglądając same rysunki trudno jest powiedzieć na ile rozbieżności z widmem Kołmogorowa są rzeczywiście istotne statystycznie. Natomiast niektóre oszacowania (prędkość scyntytacji czy skala dyfrakcji) podane są z nadmierną dokładnością, przewyższającą dokładność niepewności (str. 9). Nie ma to oczywiście wpływu na ostateczne wyniki i poprawność przeprowadzonych badań.

W pracy 2 (Lewandowski i in., 2013, MNRAS 436, 2492) przedstawiono podobną do pracy 1 analizę scyntytacji międzygwiazdowej dla PSR B0823+26. Obserwacje pulsara przeprowadzono za pomocą radioteleskopu 32m w Piwnicach na częstotliwości 1.7 GHz, w 50 sesjach obserwacyjnych, po około 10 godzin każda. W odróżnieniu od pracy 1 tutaj dodatkowo wykorzystano bezpośrednią metodę wyznaczania skali czasowej scyntytacji dyfrakcyjnych posługując się widmami dynamicznymi, utworzonymi z nie dedispersowanych danych.

Przeprowadzone analizy strumienia pulsara metodami funkcji struktury oraz metodą widm dynamicznych pozwoliły wyznaczyć m.in. refrakcyjne i dyfrakcyjne skale czasowe fluktuacji i pasmo dekorelacji niezależnie z dwóch metod. Obie metody dały statystycznie zgodne wyniki, a widmo międzygwiazdowych turbulencji okazało się nie odbiegać znacząco od widma Kołmogorova. Autorzy pracy zwrócili przy okazji uwagę na sporadyczne znikanie sygnału pulsara i to na wiele godzin (Rys. 2). Delikatnie zasugerowana interpretacja autorów pracy o możliwym występowaniu w tych przypadkach tzw. soczewek plazmowych nie wytrzymała próby czasu: Sobey i in. (MNRAS 451, 2493, 2015) pokazali, że zaniki sygnału są wynikiem fluktuacji emisji od samego pulsara. Do tego wniosku można było jednak dojść jedynie przez jednoczesne obserwacje obiektu na wielu różnych częstotliwościach, co nie wchodziło w zakres projektu.

W pracy 3 (Lewandowski i in. MNRAS 434, 69, 2013) przedstawiono wyniki analizy zjawiska poszerzenia profili pulsarów w próbie 25 obiektów. Najważniejszym wynikiem pracy jest otrzymanie czasowych skal rozpraszania sygnału przez dopasowanie do obserwowanych profili pulsarów profilu Gaussa splecionego z eksponentyjalną funkcji odpowiedzi, odpowiadającą modelowi rozpraszania fal przez tzw. cienki ekran. Wyznaczone czasy rozpraszania na różnych częstotliwościach posłużyły następnie do oszacowania indeksu skalowania częstotliwościowego, którego wartość odzwierciedla widmo turbulencji ośrodka międzygwiazdowego. Jest to jedna z niezależnych dróg wnioskowania o fluktuacjach ośrodka i mechanizmach energii turbulentnej. Omawiana praca prawie dwukrotnie powiększa liczbę zbadanych pod tym względem pulsarów.

Ważnym wnioskiem pracy jest potwierdzenie wcześniejszych rezultatów Loehmer i in. (2004), że widmo przestrzennych fluktuacji gęstości ośrodka może odbiegać od zakładanego często w modelach widma Kołmogorowa. Niezgodność pojawia się dla większych wartości miary dyspersji DM, przy czym w pracy dr Lewandowskiego ta niezgodność pojawia się już od  $DM \sim 200 \text{ cm}^{-3} \text{ pc}$ . Habilitant bardzo wnikliwie rozpatruje możliwe źródła błędów pomiarowych, oraz wnikliwie analizuje inne sposoby wyjaśnienia obserwowanych zależności, w tym sensowność zakładania w modelach jednorodnej i izotropowej turbulencji ośrodka międzygwiazdowego.

Wielkość analizowanej próbki pulsarów i ważność uzyskanych wyników zostały już zauważone i docenione, praca ta ma już kilkanaście cytowań (bez samocytowań, według ADS). Oszacowane w niej parametry są punktem wyjścia do dalszych badań i modelowań składu i struktury ośrodka w Galaktyce (np. Xu i Zhang, 2016, arXiv:1610.03011; Cowsik i Madziwanussinov, 2016, ApJ 827, 119). Służą one także do zaplanowania badań naukowych dla przyszłego interferometru SKA (Han i in., 2014, arXiv:1412.8749).

Praca 4 (MNRAS 449, 1570, 2015) jest rozwinięciem pracy 3. Zestawiono w niej wyniki pomiarów parametrów rozpraszania ośrodka międzygwiazdowego uzyskane dla próbki 60 pulsarów. Część wyników otrzymano z własnych obserwacji przy użyciu interferometru GMRT, inne uzyskano dla archiwalnych danych, wziętych z baz profili pulsarów EPN i ATNF, wreszcie dołączono wyniki z wcześniejszych publikacji. Zebrany materiał umożliwił wyznaczenie metodą funkcji struktury skal rozpraszania dla wszystkich pulsarów, a następnie indeksu skalowania dla 33 obiektów, dla których odpowiednie dane były dostępne dla przynajmniej trzech częstotliwości. Jednym z głównych rezultatów dalszej analizy tych danych była rewizja poglądu o zależności indeksu skalowania  $\alpha$  od miary dyspersji DM. W porównaniu z pracą 3 dla obecnej próbki niezgodność z wartością  $\alpha=4.0$  obserwowana jest tylko dla  $DM>700 \text{ cm}^{-3} \text{ pc}$ . Innym ważnym wynikiem pracy jest według mnie wykazanie niezgodności teoretycznego związku pomiędzy czasem rozproszenia i pasmem dekorelacji (prowadzącego do stałej  $C_{1\sim 1}$ ) oraz oszacowaniami obserwacyjnymi ( $C_{1\sim 5}$ ). Niezgodność ta najpewniej wynika ze zbyt uproszczonego podejścia stosowanego do modelowania zjawisk dyfrakcji i scyntylacji i jest wyzwaniem dla teoretyków.

Dużym atutem tej pracy jest utworzenie obszernej bazy danych z rzetelnie oszacowanymi parametrami rozpraszania. Autorzy kilku najnowszych artykułów o pulsarach powołują się właśnie na pracę nr 4, chcąc pokazać obserwacyjne przesłanki dla nietypowych widm turbulencji ośrodka międzygwiazdowego (np. Zhu i in., 2015, ApJ 809, 41) czy zależności poszerzeń pulsów od częstotliwości obserwacji (Stovall i in., 2015, ApJ 808, 156). Praca w ciągu roku zebrała już 9 cytowań (bez autocytowań, źródło ADS).

W pracy 5 (Lewandowski i in. MNRAS 454, 2517, 2015) habilitant przedstawia wyniki zaprojektowanego przez siebie projektu obserwacyjnego na interferometr GMRT dla 10 pulsarów, którego celem było precyzyjne wyznaczenie parametrów zjawiska rozpraszania. Zdecydowano się na jednoczesne obserwacje na wielu częstotliwościach. Jest to słuszny wybór, dający większe możliwości interpretacyjne (zob. wspomniana praca Sobey i in., 2015) oraz łatwiejszą identyfikację zakłóceń i artefaktów w odbieranym sygnale.

W odróżnieniu od wcześniejszych prac habilitanta w tym projekcie użyto bardziej złożonej metody do reprezentacji profilu własnego pulsara, poprzez złożenie go jako sumy odpowiednio dobranych profili Gaussa. Ponadto rozszerzono metody szacowania niepewności indeksu skalowania. Okazuje się, że powtórzona następnie analiza zależności statystycznych z pracy 4 na zwiększonej próbie pulsarów o obserwowane w tym projekcie obiekty, nic wniosła nowych elementów, ale potwierdziła wyznaczone wcześniej trendy. Wyłania się z tego taki obraz turbulentnego ośrodka Drogi Mlecznej, w którym tzw. siła fluktuacji ( $C_{ne}^2$ ) zależy głównie od kierunku widzenia danego pulsara, a nie od pozycji w Galaktyce. Jedynie bardzo duże wartości siły fluktuacji wymagają położenia pulsarów poza ramieniem Strzelca, w ramieniu Tarczy lub poza nim.

W ostatniej pracy (Lewandowski i in. ApJ 808, 18, 2015) zaproponowano modelowanie widm pulsarów o silnych załamaniach na częstotliwościach w okolicach 1 GHz (tzw. pulsary GPS). Główną ideą modelu jest wyjaśnienie załamań widm od strony dłuższych fal poprzez procesy termicznej absorpcji swobodno-swobodnej promieniowania radiowego pulsarów podczas propagacji sygnału do obserwatora. W pracy zastosowano z sukcesem ten model do wyjaśnienia ewolucji czasowej widma magnetara SGR J1745-2900, który wykazuje zagięcie widma i jego przesuwanie w czasie w kierunku fal dłuższych.

Analizowane przez dr Lewandowskiego procesy absorpcji termicznej promieniowania radiowego są znane również w innych aspektach fizyki ośrodka międzygwiazdowego. Tłumaczą one globalne widma radiowe niektórych galaktyk, w których widać załamania zarówno na niskich częstotliwościach (np. M82) jak i w okolicach gigaherców (Clemens i in. MNRAS 405, 887, 2015). Te ostatnie występują w galaktykach o szczególnie dużej emisji w podczerwieni (tzw. obiekty LIRG), często związanej z oddziaływującymi grawitacyjnie galaktykami i „mergerami”. Załamania widm w tym wypadku tłumaczono populacją młodych, gęstych pozostałości po supernowych, zdolnych absorbować promieniowanie radiowe w procesie swobodno-swobodnym. Ewoluuje one następnie w czasie, rozprężając się, zmniejszając gęstość ośrodka i prowadząc do ewolucji widm radiowych. Idee te przypominają sposoby modelowania magnetara SGR J1745-2900 przedstawione

w pracy habilitanta. Nietrudno w tym wypadku dojść do wniosku, że wyniki dr Lewandowskiego są w tym kontekście bardzo istotne, mają daleko szersze znaczenie dla zrozumienia fizyki ośrodka międzygwiazdowego, niż tylko dla wyjaśnienia widm pulsarów GPS. Możliwość wyznaczenia z obserwacji pulsarów parametrów DM, EM i kształtów widm radiowych, stanowi unikatową możliwość szacowania dzięki nim, w oparciu o konkretne modelowanie, wartości gęstości, rozmiarów i temperatury plazmy w wyrzucanej, ekspandującej materii podczas rozbłysku magnetara. Ciekawe, że w tym wypadku modele sugerują raczej chłodną materię. W pracach o ośrodku międzygwiazdowym postulowano istnienie takiej chłodnej fazy zjonizowanego ośrodka w niektórych galaktykach (Israel i Mahoney, ApJ 352, 30, 1990). Nigdy jednak nie udało się takiej materii bezpośrednio zaobserwować. Wyniki dr Lewandowskiego wskazywałyby po raz pierwszy na warunki w jakich dochodzić może do powstania takiej chłodnej plazmy. Warto przy tym zauważyć, że uwzględnienie następnych danych obserwacyjnych dla wspomnianego magnetara, z sierpnia 2013 r., w pełni potwierdziło adekwatność hipotezy termicznej absorpcji (Pennucci i in., ApJ 808, 81, 2015).

W pracy dr Lewandowskiego brakuje mi natomiast ilościowej analizy dobroci dopasowania modelu do danych. Widać bowiem, że model nie tłumaczy płaskiego charakteru maksimum, co powinno zostać zinterpretowane.

Podsumowując, uważam, że przedstawiony przez habilitanta cykl prac jest spójną całością, o klarownie sformułowanym temacie. Wyznaczanie parametrów dyfrakcji i scyntylacji było do tej pory wielokrotnie prowadzone ale nigdy nie na tak szeroką skalę (szczególnie prace 4 i 5). Uzyskane wyniki stanowią znaczący wkład autora w rozwój badań ośrodka międzygwiazdowego za pomocą pulsarów i zostały już dostrzeżone przez specjalistów w tej dziedzinie. Nie ulega wątpliwości, że dr Wojciech Lewandowski jest wytrawnym obserwatorem i interpretatorem danych, a ilość przeprowadzonych sesji obserwacyjnych, w których uczestniczył jest imponująca (np, prace 1 i 2). Habilitant nie boi się wyzwań naukowych i podejmuje się z powodzeniem badań w nowych tematach badawczych (szczególnie praca 6).

### **Ocena aktywności naukowej i współpracy międzynarodowej**

Dorobek naukowy dr Lewandowskiego po doktoracie to 17 prac recenzowanych z bazy JCR (włączając osiągnięcia naukowe) i 16 prac konferencyjnych. W żadnej z prac recenzowanych poza osiągnięciem naukowym habilitant nie jest pierwszym autorem, a jego wkład w ich powstanie waha się od 5% do 35%. Zatem wszystkie najważniejsze prace naukowe zebrano w „osiągnięciu”. Tematyka prac poza osiągnięciem również związana jest z pulsarami, a w ostatnich latach zainteresowanie habilitanta zmierza w kierunku badań GPS-owych pulsarów.

Łączna liczba cytowań publikacji wynosi 215 (według ADS) a indeks Hirscha wynosi 9. Średnia liczba cytowań wynosi około 6. Nie są to imponujące liczby, ale na uwagę zasługuje stosunkowo duży sumaryczny impact factor (92.7) jednoznacznie mówiący, że habilitant publikuje w bardzo dobrych czasopismach naukowych. W momencie pisania recenzji indeks Hirscha wynosi już 10 (ADS), a liczba cytowań 275 (ADS). Wyniki bibliometryczne wskazują zatem na aktywność publikacyjną habilitanta na dobrym poziomie, szczególnie w ostatnich pięciu latach, biorąc pod uwagę zakres tematyczny badań i to iż prace nie są wynikiem wieloosobowych konsorcjów.

Dorobek naukowy habilitanta jest po części wynikiem ośmioletniej współpracy międzynarodowej z National Centre for Radio Astronomy w Pune (India), w którym to ośrodku habilitant przebywał pięciokrotnie na kilkutygodniowych stażach naukowych. Szkoda, że do tej pory dłuższe wyjazdy naukowe związane były jedynie z tym jednym instytutem. Tym niemniej, owocem tej współpracy jest m.in. udział dr Lewandowskiego w aż 14 projektach obserwacyjnych wykonywanych interferometrem GMRT. Wszystkie te projekty dotyczyły pulsarów, a w czterech z nich habilitant był wiodącym badaczem i pierwszym autorem wniosków obserwacyjnych (ocenianych na zasadach konkursowych). W swoich badaniach dr Lewandowski uczestniczył także w realizacji pięciu projektów obserwacyjnych z wykorzystaniem 100-m radioteleskopu w Effelsbergu. Realizacja tak wielu projektów obserwacyjnych bardzo dobrze świadczy o aktywności

naukowej habilitanta i zaangażowaniu w organizację badań i przeprowadzanie obserwacji pulsarów na największych interferometrach i radioteleskopach na świecie. W latach 2008-2011 dr Lewandowski był również wykonawcą w dwóch grantach MNiSW, a obecnie jest wykonawcą w dwóch grantach Naukowego Centrum Nauki poświęconym badaniom pulsarów.

Doktor Wojciech Lewandowski był współorganizatorem jednej międzynarodowej konferencji poświęconej pulsarom (na Uniw. Zielonogórskim) i jednocześnie był głównym redaktorem materiałów pokonferencyjnych opublikowanych w 2012 r. w wydawnictwie Astronomical Society of the Pacific. Habilitant aktywnie uczestniczył w dziesięciu międzynarodowych konferencjach i szkołach naukowych. Na pięciu z nich wygłaszał referaty z zakresu własności widm pulsarów co dowodzi uznania jego specjalistycznej wiedzy w tym zakresie. Jako szczególne osiągnięcie można uznać uczestnictwo w „Radio Astronomy School 2007” (w NCRA w Pune, India), gdzie habilitant wygłaszał cały cykl pięciu wykładów o odkrywaniu pulsarów i ich chronometrażu. Doktor Wojciech Lewandowski wygłaszał również referaty i seminaria w krajowych instytucjach naukowych oraz na zaproszenie w NCRA w Pune. Miałem okazję dwukrotnie przysłuchiwać się wystąpieniom habilitanta (w 2015 i 2016 r.) na seminarium w Obserwatorium Astronomicznym UJ oraz podczas warsztatów „LOFAR - Wszechświat na niskich częstotliwościach radiowych”. Oba były znakomite.

Zdobyte doświadczenie we współpracy międzynarodowej, realizacja wielu projektów obserwacyjnych na najlepszych instrumentach radioastronomicznych na świecie, aktywne uczestnictwo w konferencjach naukowych to główne atuty habilitanta, który dojrzał już do samodzielnej pracy naukowej i samodzielnego zdobywania na nie środków finansowych.

### **Ocena dorobku dydaktycznego i popularyzatorskiego**

Dr Wojciech Lewandowski może pochwalić się świetnym dorobkiem dydaktycznym. Powierzano mu prowadzenie wielu różnych zajęć dydaktycznych w formie ćwiczeń, zajęć laboratoryjnych, wykładów i seminariów, dla studentów m.in. astronomii i fizyki, dla studentów studiów dziennych jak i zaocznych. Zajęcia dydaktyczne habilitant prowadził zarówno na Uniwersytecie Mikołaja Kopernika jak i na Uniwersytecie Zielonogórskim.

Siedmiokrotnie (mniej więcej raz do roku) prowadził wykłady popularyzatorskie m.in. podczas festiwalu nauki oraz okazjonalnie w Planetarium w Olsztynie.

Habilitant sprawował opiekę nad sześcioma magistrantami i dwoma doktorantami, a w chwili obecnej jest opiekunem pomocniczym trzech doktorantów. Jest to świetny wynik. Dodatkowo dr Lewandowski recenzował do tej pory sześć prac magisterskich.

Dorobek dydaktyczny habilitanta oceniam zatem jako bardzo dobry, a popularyzatorski jako przyzwoity. Przygotowanie tak wielu różnorodnych zajęć dydaktycznych z pewnością wiązało się z bardzo dużym zaangażowaniem kandydata w dydaktykę i było dużym obciążeniem czasowym.

### **Wniosek końcowy**

Przedstawione osiągnięcie naukowe stanowi znaczący wkład habilitanta do badań nad wpływem zjawisk rozpraszania, scyntylacji i absorpcji termicznej na obserwowane sygnały radiowe pochodzące od pulsarów. Kandydat wykazuje istotną aktywność naukową, zdobył doświadczenie we współpracy międzynarodowej i ma bardzo dobre kwalifikacje dydaktyczne. W moim przekonaniu spełnia ustawowe i zwyczajowe wymagania stawiane kandydatom do stopnia doktora habilitowanego i wnoszę o dopuszczenie go do kolejnego etapu postępowania habilitacyjnego.



dr hab. Krzysztof T. Chyży