

prof. dr hab. Grzegorz Pojmański
Obserwatorium Astronomiczne
Uniwersytetu Warszawskiego
Al. Ujazdowskie 4
00-478 Warszawa

Warszawa, 25 czerwca 2021 r.

Ocena osiągnięcia naukowego dr Marcina Hajduka p.t. „Obserwacyjna weryfikacja ścieżek ewolucyjnych gwiazd post-AGB” będącego podstawą ubiegania się o nadanie mu stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie astronomia, przeprowadzona w związku z postępowaniem przed Radą Dyscypliny Astronomii na Wydziale Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej Uniwersytetu Mikołaja Kopernika.

Domeną badań naukowych prowadzonych przez dr Marcina Hajduka od początku jego kariery są obiekty związane z późnymi etapami ewolucji gwiazd: mgławice planetarne i ich gwiazdy centralne, gwiazdy symbiotyczne czy mergery. Świadczą o tym tematy prac licencjackiej i magisterskiej, rozprawy doktorskiej a także ponad 70 publikacji (30 recenzowanych, w tym 10 pierwszoautorskich), z których większość powstała po doktoracie obronionym w 2009 roku. Prace te były cytowane w sumie blisko 700 razy. Najczęściej cytowana (276 razy) jest „*V1309 Scorpii: merger of a contact binary*”, (2011, *A&A*, 528A, 114), której habilitant był drugim autorem.

Zakres prowadzonych badań jest bardzo szeroki: od obserwacji zmienności fotometrycznej, poprzez spektroskopię w dziedzinie ultrafioletowej, widzialnej i podczerwonej, obserwacje radiowe i satelitarne po analizę własności fizycznych badanych obiektów i weryfikację modeli teoretycznych. W swoich badaniach habilitant wykorzystuje zarówno obserwacje historyczne jak i własne, wykonane przy użyciu nowoczesnego instrumentarium (HST, SALT, VLT, LOFAR).

Gwiazdy i otaczające je mgławice, którymi zajmuje się dr Hajduk, stanowią bardzo ważną i wciąż niewystarczająco zrozumianą grupę obiektów wędrujących po diagramie Hertzsprunga-Russela, niekiedy bardzo szybko. Modele gwiazd pod koniec ewolucji na na asymptotycznej gałęzi olbrzymów są niepewne, między innymi z powodu wielu zjawisk (ekspansji otoczki, utraty masy, konwekcji i mieszania, procesów termojądrowych w skorupach) zachodzących w podobnych skalach czasowych. W modelowaniu trzeba się mierzyć z procesami turbulentnymi, oraz niestabilnością, która może pojawiać podczas rozbłysków helowych. Pulsy termiczne, charakterystyczne dla ewolucji na AGB, zgodnie z wieloma modelami mogą pojawiać się także przed osiągnięciem maksymalnej temperatury (LTP) jak i nawet na gałęzi stygnących białych karłów (VLTP). Powoduje to powrót gwiazdy do obszaru olbrzymów i zakreślanie rozległych pętli na diagramie H-R. Przy okazji VLTP warstwa konwektywna może sięgać powierzchni gwiazdy powodując skonsumowanie resztek wodoru z otoczki. Jest to jeden z możliwych scenariuszy powstawania gwiazd centralnych [WC] ubogich w wodór. Inne scenariusze obejmują ewolucję w układzie podwójnym, czy zjawiska typu nowej. Różne scenariusze prowadzą do innych predykcji dotyczących obecności i natury układu podwójnego czy składu chemicznego i własności kinematycznych mgławicy planetarnej.

Ustalenie charakteru i statusu ewolucyjnego gwiazd centralnych mgławic planetarnych, ich położenia na diagramie H-R oraz kierunku chwilowej ewolucji jest więc niezbędnym narzędziem weryfikacji licznych hipotez i modeli gwiazd na tym późnym, interesującym etapie życia.

Ten właśnie aspekt adresowany jest w cyklu 5 artykułów przedstawionych przez habilitanta jako

osiągnięcie naukowe.

W pierwszej pracy, zatytułowanej „*Binary [WR] and wels central stars of planetary nebulae* (2010, *MNRAS* 406, 626)” poświęcona została próbie ustalenia, czy ewolucja w układach podwójnych ma wpływ na powstawanie gwiazd typu [WC]. W tym celu autor postanowił poszukać gwiazd centralnych mgławic planetarnych ubogich w wodór znajdujących się w układach podwójnych i zmierzyć ich odsetek.

Obserwacjom fotometrycznym w filtrze I (słabo czułym na linie emisyjne mgławicy) poddanych zostało 15 obiektów (zanalizowano także 18 dodatkowych z bazy danych OGLE). Tylko w jednym przypadku odkryto charakterystyczną zmienność, którą można powiązać z istnieniem układu podwójnego. Okres orbitalny został wyznaczony z dokładnością do czynnika 2 (0.63 lub 1.26 dnia) ze względu na stosunkowo małą precyzję fotometrii i niewystarczającą archiwalne dane spektroskopowe z teleskopu NTT. Odkrycie pierwszej gwiazdy [WC] w układzie podwójnym - PNG222.8 – 04.2, dowiodło, że nie wszystkie gwiazdy tego typu są efektem procesu zlewiania się gwiazd (mergera). Stosunkowo długi okres orbitalny (ostatecznie zweryfikowany później na 1,26 d) jest wyraźnie dłuższy od średniej charakterystycznej dla gwiazd centralnych mgławic planetarnych, co może świadczyć o z intensywniej utracie masy przez gwiazdę [WC] lub z odmienną ewolucją układu podczas fazy wspólnej otoczki.

W pracy „*Evolution of the central stars of young planetary nebulae*” (2015, *A&A* 573A, 65), autorzy skupili się na badaniu zmian temperatury gwiazdy centralnej, które są dobrym wskaźnikiem kierunku chwilowych zmian ewolucyjnych. W tym celu porównane zostały archiwalne i nowe (uzyskane za pomocą teleskopów w SAAO i Toruniu) pomiary stosunku strumieni linii emisyjnych [OIII] 5007Å / Hβ mgławic planetarnych dla kilkudziesięciu obiektów. Wyniki porównano z modelami jonizacyjnymi policzonymi kodem *Cloudy* dla ścieżek ewolucyjnych gwiazd o masach 0.605, 0.625 i 0.695. Zmierzono roczne zmiany stosunku natężeń tych linii w zakresie od -1.5 do +4%, przy czym największe wartości odnotowano dla gwiazd centralnych o temperaturach 34-40 tys. K. Dla gwiazd gorętszych linia OIII staje się zbyt słaba, a dla chłodniejszych tempo zmian jest zbyt małe. Zaobserwowano, że mniej więcej połowa spośród chłodnych gwiazd centralnych znajduje się powyżej ciągu ewolucyjnego dla masy 0.605 M_{\odot} , a druga połowa poniżej, co jest zgodne ze średnią masą gwiazd centralnych mgławic planetarnych wynoszącą około 0.61 M_{\odot} . Wśród zbadanych gwiazd wyróżniają się dwa obiekty: SwSt1, dla którego zmierzono malejący stosunek strumienia OIII/ Hβ (1.5% na rok), oraz Hen 2-260 o szybko zwiększającym się stosunku (4% rocznie). Obiekty te zostały szczegółowo zbadane w kolejnych pracach cyklu.

W artykule „*The evolving spectrum of the planetary nebula Hen 2-260*” (2014, *A&A*, 567A, 15) zajęto się szczegółowo gwiazdą centralną mgławicy planetarnej Hen 2-260. Wykonano obserwacje fotometryczne teleskopem 1 m. w SAAO, pozyskano obrazy mgławicy z teleskopu Hubble’a (szeroko i wąskopasmowe: continuum, Hα, OIII) oraz widma - dużej rozdzielczości z VLT i małej z SAAO. W zakresie fotometrycznym stwierdzono zmienność obiektu na poziomie 0.1 mag, ale jej charakteru nie udało się z jednoznacznie ustalić.

Pomiary linii emisyjnych OIII, HeI, ArIII, SIII pokazały systematyczny wzrost strumienia pomiędzy rokiem 2001 i 2012, co wskazuje na wzrost temperatury gwiazdy centralnej.

Wykorzystując toruński kod fotojonizacyjny oraz obrazy z HST dopasowano model rozkładu gęstości i profilu prędkości radialnej w mgławicy. Korzystając z kodu *Cloudy* oraz modeli atmosfer *TLUSTY* stworzono siatkę modeli widm obiektu, a następnie dopasowano je do obserwacji z różnych epok.

W ten sposób zmierzono zmiany temperatury gwiazdy centralnej, która wzrosła od 34,9 tys. K do 35,3 tys. K pomiędzy 2001 i 2012 rokiem (wzrost średnio o ok. 45 K/rok). To z kolei pozwoliło na

dopasowanie modeli ewolucyjnych gwiazd centralnych i wyznaczenie masy gwiazdy centralnej – 0.626 masy Słońca.

Kolejna praca zatytułowana “*Rapid evolution of [WC] stars in the Magellanic Clouds*” (2020, *A&A*, 642, A71) jest jedyną jednoautorską pracą habilitanta w cyklu. Zamierzeniem autora było ustalenie tempa zmian temperatury gwiazd centralnych w Obłokach Magellana. Autor obserwował 14 mgławic planetarnych, których rozmiary kątowe są z racji odległości bardzo małe, zatem obserwuje się złożone widmo gwiazdy i mgławicy. Analiza spektroskopowa pozwoliła zidentyfikować w próbce 3 nowe obiekty z liniami CII, CIV i HII, które sklasyfikowano jako [WC11]. Zwiększyło to do 10. liczbę mgławic ubogich w wodór w Obłokach Magellana. Porównanie zmierzonych stosunków linii [OII], 5007 / H β z obserwacjami opublikowanymi wcześniej oraz dopasowanie modeli jonizacyjnych pozwoliło na zmierzenie wiekowych zmian temperatury gwiazd centralnych. W pięciu przypadkach zaobserwowano wzrost temperatury na poziomie 10-25 K/rok. 11 z 14 badanych obiektów to mgławice stosunkowo młode. Pięć z nich wykazuje ewolucję linii [OIII] 5007. Są to najprawdopodobniej najjaśniejsze i najbardziej masywne gwiazdy w próbce. Cztery z tych obiektów są typu [WC]. Ich masy mieszczą się w przedziale 0.613-0.693 M_{\odot} . Dla gwiazd nie wykazujących zmian stosunków strumieni górne oszacowanie masy wynosi 0.53 M_{\odot} . Wynika z tego, że gwiazdy [WC] w Obłokach Magellana są bardziej masywne niż gwiazdy centralne bogate w wodór.

Ostatnia praca z cyklu, “*The cooling-down central star of the planetary nebula SwSt 1: a late thermal pulse in a massive post-AGB star?*” (2020, *MNRAS*, 498, 1205), stanowi obszerną analizę mgławicy planetarnej SwSt1, dla której kilka lat wcześniej (2 praca cyklu) zaobserwowano spadek temperatury gwiazdy centralnej. Obiekt, w którym zaobserwowano zarówno zmiany stosunku natężeń linii mgławicy jak i zmiany widma gwiazdy jest bardzo młodym obiektem - jego wiek kinematyczny to zaledwie 190 (jak podano w *Autoreferacie*) czy 290 lat (w artykule). Obiekt obserwowany był przy użyciu spektrografów UVES na VLT, HERMES na teleskopie Mercatora i HRS na teleskopie SALT. Uzyskano również wysokiej rozdzielczości obrazy z teleskopu Hubble’a. Analiza danych polegała na policzeniu siatki modeli atmosfer gwiazdowych przy użyciu kodu *PoWR* (Potsdam Wolf-Rayet) uwzględniającego efekty non-LTE w sferycznym, ustalonym wpływie materii i dopasowaniu ich do obserwacji. Modelowanie linii widmowych pozwoliło na dopasowanie obfitości pierwiastków: wodoru (5%), helu (42%), węgla (50%), tlenu (3%), azotu (0,05%), neonu (0,2%) i krzemu (0,1%). Widmo gwiazdy zmienia się w czasie i wskazuje na spadek temperatury z 42 tys. K przed 1976 r. do 40,5 tys. K ponad trzydzieści lat później. Analiza wielu silnie wzbudzonych linii emisyjnych tlenu i żelaza wykazała spadek strumienia w tych liniach, odpowiadający zmianie temperatury centralnej od 41,7 tys. K do 39,2 tys. K pomiędzy 1976 a 2015 rokiem. Pomimo szeroko zakrojonej kampanii obserwacyjnej i szczegółowej analizie spektralnej autorom nie udało się jednak jednoznacznie ustalić ścieżki ewolucyjnej gwiazdy. Jedną z możliwości jest VLTP (bardzo późny błysk helowy), ale na to mogło być za mało czasu. Inną możliwością jest ewolucja w układzie podwójnym, ale brak jest na to obserwacyjnych dowodów. Autorzy postulują późny błysk helowy (LTP) masywnej gwiazdy post-AGB.

Podsumowując prace habilitanta stwierdzić należy, że zajmuje się w nich tematem bardzo ważnym i wciąż bardzo słabo zbadanym – czyli ewolucją gwiazd opuszczających asymptotyczną gałąź olbrzymów. Do zrozumienia tego etapu ewolucji gwiazd potrzebne są zarówno nowoczesne modele, uwzględniające wiele równoczesnych, szybko zmiennych, często dalekich od równowagi procesów fizycznych (wiatr gwiazdowy, konwekcja, non-LTE i inne) jak i obserwacje, które stanowią ostateczne narzędzie weryfikujące słuszność hipotez i modeli. Dr Hajduk od wielu lat zajmuje się tym drugim – zbieraniem i analizowaniem danych obserwacyjnych pod kątem zrozumienia ewolucji gwiazd post-AGB.

Przedstawiony cykl artykułów spełnia wymagania stawiane w Art. 219, ust. 1, pkt 2 Ustawy o szkolnictwie wyższym i nauce, gdyż niewątpliwie stanowi on *znaczny wkład w rozwój określonej dyscypliny*, w szczególności prezentuje nowe, oryginalne badania w zakresie spektroskopii i fotometrii gwiazd centralnych, zawiera odkrycie układu podwójnego z gwiazdą WC, zidentyfikowanie 3 nowych obiektów [WC] w Obłokach Magellana, obliczenia modelowe dla wielu mgławic planetarnych i ich gwiazd centralnych, wyznaczenie mas niektórych obiektów oraz tempa i kierunku ewolucji temperatury gwiazd. Wyniki te nie pozwoliły na jednoznaczne odrzucenie lub potwierdzenie różnych hipotez naukowych dotyczących gwiazd post-AGB, ale niewątpliwie są ważnym elementem dalszych badań nad tymi obiektami. Starsze prace z cyklu (2010-2015) są cytowane odpowiednio 28,7,10 razy, natomiast młodsze (2020) jeszcze nie.

Większość prac habilitanta to prace wieloautorskie, zasadnym więc jest pytanie o to czy przedstawione przez dr Hajduka osiągnięcie naukowe jest zgodne z art 219 ust.2 Ustawy, który stanowi, że *Osiągnięcie może stanowić część pracy zbiorowej, jeżeli opracowanie wydzielonego zagadnienia jest indywidualnym wkładem osoby ubiegającej się o stopień doktora habilitowanego.*

Chociaż wskazanie jednego „wydzielonego zagadnienia” wśród wielu przenikających się działań, którymi zajmował się dr Hajduk w prezentowanym cyklu publikacji nie jest oczywiście możliwe, to jednak odpowiedź na pytanie jest twierdząca: poszczególne zagadnienia takie jak aplikacja o czas obserwacyjny, wykonanie obserwacji, ich opracowanie i analiza, wybór danych archiwalnych, modelowanie numeryczne czy dyskusja wyników to zagadnienia, które są w pracach indywidualnym wkładem poszczególnych współautorów, w tym habilitanta.

Z drugiej strony, oświadczenia współautorów dość precyzyjnie określają jaki był ich wkład do poszczególnych publikacji. I tak:

- prof. Gęsicki był autorem obliczeń fotojonizacyjnych w pracach 1. i 3.
- prof. Zijlstra podkreślił, że dr Hajduk był inicjatorem wszystkich badań.
 - w pracy 1. uczestniczył w interpretacji wyników.
 - w pracy 3. aplikował o czas SALT, dostarczył obrazy HST i widma VLT oraz dyskutował wyniki.
 - w pracy 2. uczestniczył w aplikacji o czas SALT i komentował manuskrypt
 - w pracy 4. uczestniczył w aplikacji o czas VLT, interpretacji wyników i redakcji
- dr. van Hoff
 - w pracy 3. pomógł dr Hajdukowi w zastosowaniu kodu *Cloudy*, aplikacji o czas na SALT i dostarczył listę linii widmowych wykorzystanych w pracy
 - w pracy 2. uczestniczył w aplikacji o czas na SALT i doradzał w stosowaniu kodu *Cloudy*.
 - w pracy 5. uczestniczył w aplikacji o czas na VLT i dostarczył widma z HERMESa
- dr Helge Todt w pracy 5.
 - pomagała dr Hajdukowi w zastosowaniu kodu *PoWR*
 - dokonała digitalizacji widm Alera z 1977 r.
 - uczestniczyła w dyskusji wyników
- prof. Hamann w pracy 5.
 - jego grupa udostępniła kod *PoWR* i pomogła w jego zastosowaniu
 - uczestniczył w dyskusji wyników
- mgr Górny pomógł przy przygotowaniu obserwacji teleskopem Radcliffe 1.9m w pracy 3.
- mgr Gładkowski wykonał kilka widm teleskopem Radcliffe 1,9m w pracy 3.
- mgr Borek pomagała przy dopasowaniu modeli atmosferycznych kodem *PoWR* w pracy 5.

Jak widać szeroka współpraca naukowa nie chce ściśle wpisywać się w ustawowe, formalne wymagania. W ocenie osiągnięcia naukowego dr Hajduka należy się więc posłużyć zdrowym

rozsądkiem, który wskazuje, że istotne wyniki naukowe uzyskano z jego inicjatywy i dzięki jego wiodącej roli w projekcie.

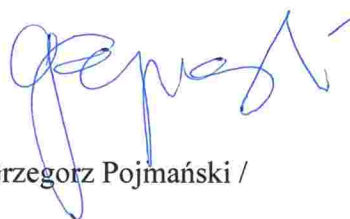
W tym miejscu trzeba jednak zaznaczyć, że lektura *Autoreferatu*, który habilitant napisał w pierwszej osobie, prowadzi do pewnego dysonansu poznawczego: W *Omówieniu cyklu* publikacji nazwiska współautorów pojawiają się tylko (z jednym wyjątkiem) w cytowaniach do ich wcześniejszych publikacji i nie ma możliwości zidentyfikowania ich wkładu. Tymczasem część obliczeń jonizacyjnych, digitalizacja widm, pozyskanie niektórych obserwacji i przede wszystkim interpretacja części wyników, stanowi, zgodnie z oświadczeniami, wkład współautorów, który w *Autoreferacie* powinien być jasno wskazany.

Ostatni formalny wymóg Ustawy to Art. 219, ust 1., pkt 3, który stanowi, że kandydat *wykazuje się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej.*

Także w tym przypadku dr. Hajduk spełnia wymagania, ponieważ współpracuje naukowo z międzynarodową grupą badaczy z instytucji takich jak UMK Toruń, University of Manchester, Universitaet Potsdam, Royal Observatory of Belgium czy Radboud University w Holandii. Istotną aktywnością naukową jest też niewątpliwie udział w licznych (ponad 40, z czego 20 jako PI) aplikacjach o czas obserwacyjny oraz aplikacja i kierowanie dwoma grantami NCN (a także rola wykonawcy w kilku innych).

Warto podkreślić, że habilitant wykazuje się aktywnością także na innych polach: prowadził zajęcia dydaktyczne na uczelni i w szkole średniej, wykłady popularne oraz warsztaty z fizyki i astronomii, uczestniczył w Festiwalu Nauki i Sztuki.

Konkludując uważam, że przedstawione do oceny osiągnięcia naukowe dr. Marcina Hajduka w postaci cyklu 5 recenzowanych prac opublikowanych w czasopiśmie naukowych oraz istotna aktywność naukowa realizowana w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej, w szczególności zagranicznej wypełniają ustawowe wymagania stawiane kandydatom do stopnia doktora habilitowanego. Z przekonaniem popieram wnioski o nadanie mu stopnia doktora habilitowanego.



/ Grzegorz Pojmański /