



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, 11.07.2021 r.

Dr hab. Radosław Smolec, prof. CAMK PAN
Centrum Astronomiczne im. M. Kopernika PAN
ul. Bartycka 18
00-716 Warszawa
smolec@camk.edu.pl

Recenzja osiągnięcia naukowego doktora Marcina Hajduka stanowiącego podstawę ubiegania się o stopień naukowy doktora habilitowanego

Pan Marcin Hajduk uzyskał stopień doktora w 2009 na podstawie rozprawy „*Obserwacje kandydatów i obiektów bardzo późnego rozbłysku helowego*” przygotowanej pod kierunkiem prof. Krzysztofa Gęszickiego. Badania gwiazd centralnych mgławic planetarnych przewijają się więc przez całą karierę naukową doktora Hajduka.

Ocena osiągnięcia naukowego doktora Hajduka

Przedstawione do recenzji osiągnięcie naukowe pod tytułem „*Obserwacyjna weryfikacja ścieżek ewolucyjnych gwiazd post-AGB*” składa się z pięciu artykułów recenzowanych opublikowanych w latach 2010–2020. Trzy prace opublikowano w *Astronomy & Astrophysics*, dwie w *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*; są to uznane czasopisma o wysokim współczynniku wpływu. We wszystkich pracach doktor Hajduk jest pierwszym autorem; w jednej z prac opublikowanych w 2020 r. jedynym. Z oświadczeń współautorów jasno wynika, że wkład doktora Hajduka w powstanie każdej z prac był wiodący. Współautorzy brali udział w dyskusji wyników i redakcji tekstów, mieli udział w składanych wnioskach obserwacyjnych oraz wykonaniu i redukcji niektórych obserwacji. Relatywnie największy wkład współautorów dotyczy rachunków modelowych z wykorzystaniem kodów *cloudy* (Peter van Hoof) oraz kodu *PoWR* (Helge Todt oraz Karolina Borek).

W cyklu prac, doktor Hajduk koncentruje się na badaniu centralnych gwiazd mgławic planetarnych z wykorzystaniem metod spektroskopowych. Z wyjątkiem pierwszej pracy, niemal cały cykl poświęcony jest wyznaczaniu temperatur i temp jej zmian oraz pośrednio mas gwiazd centralnych mgławic planetarnych. Umożliwia to porównanie i weryfikację różnych modeli ewolucyjnych policzonych dla gwiazd post-AGB. Ten etap ewolucji gwiazd jest niezwykle trudny do modelowania, a wyniki rachunków ewolucyjnych są niepewne. Składa się na to wiele czynników, przede wszystkim zaś złożoność struktury i procesów fizycznych zachodzących wewnątrz gwiazd

na tak późnym etapie ewolucji. Gwiazda AGB posiada dwa oddziałujące ze sobą źródła energii w postaci powłok w których zachodzi synteza wodoru i helu. Pulsy termiczne w praktyce łamią część założeń, na których opierają się współczesne rachunki ewolucyjne. Wewnątrz, w krótkich skalach czasowych, rozwijają się warstwy konwektywne i zachodzą procesy mieszania materii. Gwiazda doświadcza silnej utraty masy. Rachunki ewolucyjne wymagają więc wysokiej rozdzielczości czasowo-przestrzennej i uwzględnienia szeregu złożonych procesów, z których większość modelowana jest za pomocą prostych sparametryzowanych modeli. Istnieje zaledwie kilka źródeł ścieżek ewolucyjnych, które z należytą starannością modelują ten etap ewolucji. Próba obserwacyjnej weryfikacji ścieżek ewolucyjnych gwiazd post-AGB oraz dostarczenie obserwabli umożliwiających testowanie przewidywań modeli ewolucyjnych są więc niezwykle wartościowe i mogą przyczynić się do lepszego zrozumienia późnej ewolucji mała i średnio masywnych gwiazd.

Głównym wynikiem pierwszej pracy cyklu, *Binary [WR] and wels central stars of planetary nebulae* (2010, MNRAS, 406, 626), oraz jednym z najważniejszych wyników w całym cyklu habilitacyjnym, jest odkrycie pierwszej gwiazdy centralnej w układzie podwójnym (wśród gwiazd centralnych mgławic planetarnych ubogich w wodór z liniami emisyjnymi w widmie). Odkrycie wyklucza scenariusz formowania takich gwiazd wyłącznie w wyniku zjawiska zlania się dwóch gwiazd na wcześniejszym etapie ewolucji (tzw. *mergera*). Zbadanie zmienności fotometrycznej łącznie 33 obiektów tego typu pozwoliło na określenie granic częstości występowania układów podwójnych wśród tych gwiazd na od 2 do 11 procent – znacząco mniej niż w przypadku gwiazd centralnych bez linii emisyjnych w widmie.

Praca *The evolving spectrum of the planetary nebula Hen 2-260* (2014, A&A, 567A, 15) poświęcona jest badaniu widm dla mgławicy planetarnej Hen 2-260 i ich ewolucji w czasie. Jest to pierwsza praca w cyklu, która szczegółowo dyskutuje stosowaną w kolejnych pracach metodę wyznaczania temperatury efektywnej gwiazdy centralnej w oparciu o modelowanie stosunku strumienia linii widmowych [OIII] 5007Å/Hβ. Modelowanie przeprowadzone z użyciem kodu cloudy prowadzi do oszacowania temperatury efektywnej gwiazdy centralnej. Analiza widm zebranych w różnych okresach czasu prowadzi do wyznaczenia tempa zmian temperatury efektywnej. Te dwie wielkości porównane z przewidywaniami modeli ewolucyjnych prowadzą do wyznaczenia masy gwiazdy centralnej. W tej, jak i w kolejnych pracach, widać dużą wagę przykładaną do wyeliminowania możliwości instrumentalnego pochodzenia zmian stosunku strumieni linii widmowych. Duży niedosyt pozostawia natomiast porównanie z modelami ewolucyjnymi – jest bardzo krótkie i pozbawione dyskusji. Choć modele ewolucyjne dla gwiazd post-AGB są obarczone szeregiem niepewności, wynikające z nich oszacowania mas zdają się być przyjmowane całkowicie bezkrytycznie. Analogiczne podejście do modeli ewolucyjnych znajdujemy w kolejnych pracach cyklu.

W pracy *Evolution of the central stars of young planetary nebulae* (2015, A&A, 573A, 65) metoda wyznaczania temperatury efektywnej i tempa jej zmian została zastosowana, z modyfikacjami, do znacznie liczniejszej grupy mgławic planetarnych, zawierającej zarówno obiekty z gwiazdami centralnymi z otoczką bogatą w wodór, jak i obiekty [WR] późnego typu ubogie w wodór. Ponownie widać dużą staranność w analizie danych archiwalnych. Sporą część pracy poświęcono badaniu możliwych efektów instrumentalnych czy błędów systematycznych. Na poziomie analizy stosunków strumieni linii widmowych [OIII] 5007Å/Hβ, zauważono wzrost w kilku młodych mgławicach planetarnych z gwiazdami centralnymi bogatymi w wodór. Analogicznych zmian nie zaobserwowano dla mgławic z gwiazdami centralnymi będącymi obiektami WR późnego typu, co wskazuje na znacznie wolniejsze tempo zmian ich temperatury. W zaledwie kilku zdaniach powyższe obserwacje powiązano z możliwymi różnymi kanałami ewolucyjnymi prowadzącymi do

powstania gwiazd centralnych różnych typów. Porównanie z przewidywaniami modeli ewolucyjnych (za pośrednictwem modelowania kodem fotojonizacyjnym cloudy) jest ponownie bardzo ubogie. Krótki rozdział 3.4 właściwie nie kończy żadna konkluzja; ta o zgodności obserwowanego wzrostu strumienia z ścieżkami ewolucyjnymi o określonych masach pojawia się dopiero w podsumowaniu. Brakuje dyskusji jak jednakowe dla wszystkich obiektów założenia przyjęte w modelowaniu kodem fotojonizacyjnym wpływają na uzyskane wyniki. Brakuje też jakiegokolwiek dyskusji źródeł niepewności modeli ewolucyjnych. Odnoszę wrażenie że nie wykorzystano w pełni potencjału zgromadzonych obserwacji spektroskopowych. Ciekawym wynikiem stanowiącym podstawę badań zaprezentowanych w ostatniej pracy cyklu jest obserwacja malejącego strumienia linii [OIII] 5007Å w obiekcie SwSt 1, wskazującego na malejącą temperaturę gwiazdy centralnej.

Kolejna praca, *Rapid evolution of [WC] stars in the Magellanic Clouds* (2020, A&A, 642, A71), to ponowne zastosowanie analizy stosunków strumieni linii widmowych [OIII] 5007Å/H β do określenia temperatur i tempa ich zmian dla 14 mgławic planetarnych, tym razem z Obłoków Magellana. Dla pięciu obiektów zaobserwowano wzrost temperatury, przy czym cztery z nich to ubogie w wodór gwiazdy typu [WC] z liniami emisyjnymi w widmie typowymi dla gwiazd [WR] ciągu węglowego. Do tej pory wyniki obserwacyjne porównywane były ze ścieżkami Bloeckera (1995). W tej pracy wykorzystano również nowsze zestawy ścieżek ewolucyjnych z pracy Miller Bertolami (2016) oraz pojawiły się pojedyncze zdania dyskusji niepewności ścieżek ewolucyjnych. Rodzą one jednak sporo wątpliwości, także co do wcześniejszych wyników zaprezentowanych w cyklu. We wstępie możemy przeczytać, że tempa wzrostu temperatury dla galaktycznych mgławic planetarnych wyznaczone były przez Gęsickiego i in. (2014). Aby uzyskać zgodność z rozkładem mas białych karłów, tempa ewolucji dla ścieżek Bloeckera należało zwiększyć o czynnik trzy. Ten wynik potwierdziły nowsze rachunki ewolucyjne Miller Bertolami (2016). Jak w świetle tych wyników należy interpretować zgodność wyznaczonych temperatur i temp ich zmian z rachunkami Bloeckera (1995) co stanowiło konkluzję wcześniejszych prac cyklu? W pracy użyto dwóch zestawów ścieżek ewolucyjnych, Miller Bertolami (2016) oraz Vassiliadis i Wood (1994) w celu porównania obserwowanych temp zmian temperatury dla obiektów z brakiem i obecnością linii emisyjnych w widmach, odpowiednio. W konkluzji czytamy „*We are not able to discriminate between Miller Bertolami (2016) and Vassiliadis & Wood (1994) or Bloeker (1995).*” Zdanie to jest niezrozumiałe z dwóch powodów. W pracy nie użyto w ogóle ścieżek ewolucyjnych Bloeckera, zaś dwa pierwsze zestawy ścieżek dotyczą obiektów palących wodór oraz hel i zostały użyte do porównania z różnymi obiektami, nie zaś dla tych samych obiektów. Zasadne zdaje się również pytanie czy można na równi stawiać rachunki ewolucyjne, w których jedne opierają się na współczesnych a inne na liczących już 50 lat, błędnych tablicach nieprzezroczystości.

Ostatnia praca 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) to szczegółowa analiza obserwacji mgławicy planetarnej SwSt 1, której gwiazda centralna, jak pokazano również we wcześniejszej pracy cyklu, zmniejsza temperaturę efektywną. Do analizy widm użyto, po raz pierwszy w cyklu, kodu atmosferycznego *Potsdam Wolf-Rayet code*, co umożliwiła współpraca z naukowcami z Niemiec. Na podstawie modelowania przeprowadzono analizę składu chemicznego oraz, modelując widma archiwalne, wyznaczono spadek temperatury gwiazdy centralnej z 42kK do 40.5kK. Podobnie jak we wcześniejszych pracach cyklu, do modelowania linii mgławicowych wykorzystano kod cloudy, uzyskując podobny spadek temperatury. Wniosek o zatrzymaniu spadku temperatury, czy nawet ponownym jej wzroście opiera się na jednej obserwacji z 2015 i biorąc pod uwagę rozrzut widoczny na rysunku 12, jest według mnie zbyt daleko idący. Niemniej SwSt 1 jest niewątpliwie ciekawym i niezwykle rzadkim obiektem, w którym najpewniej nastąpił późny puls termiczny.

Zgodnie z artykułem 219 ustawy *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce*, stopień doktora habilitowanego nadaje się m. in. za cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych stanowiących znaczny wkład w rozwój dyscypliny.

W cyklu prac dr Hajduk zademonstrował bardzo dobre warsztat pracy z danymi spektroskopowymi – analizuje dane zebrane przy pomocy szeregu teleskopów (VLT, SALT, teleskopy w SAO i w Toruniu), uzyskane w ramach napisanych i kierowanych przez siebie wniosków obserwacyjnych. Opisy analizy danych są zwięzłe i konkretne. Widać dużą wagę przywiązywaną do poprawnej interpretacji obserwacji uzyskiwanych przez różnych autorów, z wykorzystaniem różnych instrumentów oraz na przestrzeni kilku dekad. Opracowana i stosowana w niemal wszystkich pracach cyklu metoda wyznaczania temperatury efektywnej gwiazd centralnych oraz tempa jej zmian w czasie, jest niewątpliwie bardzo cennym narzędziem badania ewolucji gwiazd centralnych młodych mgławic planetarnych. Przed badaniami doktora Hajduka podobne badania ewolucji w „czasie rzeczywistym” ograniczały się do pojedynczych obiektów badanych z wykorzystaniem różnych metod. Badania takie są niezwykle ważne, ponieważ umożliwiają testowanie modeli ewolucyjnych, które dla późnych etapów ewolucji obarczone są szeregiem niepewności. Systematyczne badanie tempa i kierunku ewolucji centralnych gwiazd mgławic planetarnych jest więc cennym i wartościowym wynikiem stanowiącym ważny wkład w rozwój dyscypliny. Mam jednak wątpliwości czy wkład ten można nazwać znaczącym. Niestety, przedstawiony cykl prac jest niezwykle wąski tematycznie. Zaprezentowane osiągnięcie jest w znacznej mierze swego rodzaju monografią badań zmian temperatur centralnych gwiazd mgławic planetarnych z wykorzystaniem analizy stosunku strumienia linii [OIII] 5007Å/Hβ. Cztery z pięciu prac są niemal wyłącznie poświęcone temu właśnie zagadnieniu. We wszystkich tych pracach zastosowana metodologia jest niemal identyczna; różnice zdają się być subtelne, związane z użyciem danych z konkretnych źródeł, czy też badaniem różnych obiektów. Na poziomie modelowania widm, niezbędnego do uzyskania informacji o temperaturze, używany jest kod cloudy oraz w ostatniej pracy cyklu kod poczdamski służący modelowaniu atmosfer gwiazd WR. Jedynie pierwsza praca cyklu jest istotnie różna od pozostałych. Jej wynik – odkrycie pierwszego układu podwójnego wśród gwiazd centralnych mgławic planetarnych ubogich w wodór z liniami emisyjnymi w widmie – jest niewątpliwie znaczący; odkrycie wyklucza scenariusz formowania takich gwiazd wyłącznie w wyniku tzw. *mergera*. Bardzo uboga jest dyskusja uzyskiwanych wyników w kontekście modeli ewolucyjnych. Te w zasadzie przyjmowane są bezkrytycznie. W kolejnych pracach nie znajdujemy np. dyskusji wcześniej uzyskanych wyników w kontekście nowszych modeli ewolucyjnych. O ile można zrozumieć, że takich rozbudowanych dyskusji brakuje w kolejnych pracach recenzowanych dotyczących na przykład konkretnego obiektu, to oczekiwałbym dokładniejszego przedyskutowania zagadnienia i całościowego spojrzenia na uzyskane wyniki w autoreferacie. Jak wypadła tytułowa „*Obserwacyjna weryfikacja ścieżek ewolucyjnych gwiazd post-AGB*”?

Dlatego uważam, że cykl prac choć spełnia założenia artykułu 219 ustawy, to jednak pozostawia spory niedosyt. Za zasadne uważam przeprowadzenie kolokwium habilitacyjnego, podczas którego doktor Hajduk mógłby przedstawić bardziej kompleksowe spojrzenie na wyniki przedstawione we wszystkich pracach cyklu np. pod kątem nowszych rachunków ewolucyjnych. Zastanawiam się również, czy dobór prac wchodzących w skład osiągnięcia, nie mógłby być nieco inny, pokazując bardziej różnorodny aspekt badań mgławic planetarnych prowadzonych przez doktora Hajduka.

Ocena pozostałej aktywności naukowej doktora Hajduka

Po uzyskaniu stopnia doktora, dr Hajduk opublikował łącznie 18 prac recenzowanych, w tym 9, w których jest pierwszym autorem, uwzględniając pięć prac wchodzących w skład cyklu. Dodatkowo, dr Hajduk jest autorem lub współautorem kilkunastu doniesień konferencyjnych. Na podstawie serwisu NASA ADS, łączna liczba cytowań jego wszystkich prac wynosi 763, zaś indeks h wynosi 14. Są to dobre wskaźniki bibliometryczne na tym etapie kariery.

Doktor Hajduk dość regularnie prezentuje wyniki swoich badań podczas krajowych i międzynarodowych konferencji naukowych. Są to głównie wykłady zgłoszone (sześć po uzyskaniu stopnia doktora) oraz prezentacje w formie plakatu. W dorobku brakuje jednak wykładów zaproszonych.

Na uznanie zasługuje liczba uzyskanych grantów. Po uzyskaniu stopnia, doktor Hajduk uzyskał dwa granty Narodowego Centrum Nauki (OPUS oraz SONATA) a także z sukcesem wystąpił o bilateralny program DAAD oraz Program im. Bekkera Narodowej Agencji Wymiany Akademickiej. Wcześniej uczestniczył w realizacji kilku grantów jako wykonawca.

Na uznanie zasługuje również dość bogata (i ciągle rozwijana) sieć współpracy doktora Hajduka, zarówno z naukowcami w Polsce jak i za granicą. Na podkreślenie zasługuje fakt, że współpracownikami doktora Hajduka są uznani na świecie specjaliści w badaniu gwiazd post-AGB, co z pewnością świadczy o uznaniu wysokiej jakości badań prowadzonych przez doktora Hajduka w środowisku. Doktor Hajduk odbył szereg kilkutygodniowych staży naukowych w bardzo dobrych ośrodkach zagranicznych.

Zatrudnienie w stosunkowo małym (w dyscyplinie astronomii) ośrodku akademickim utrudnia zaangażowanie w pracę dydaktyczną oraz w sprawowanie opieki nad studentami. Z autoreferatu wynika jednak, że doktor Hajduk sprawował i sprawuje aktualnie opiekę lub współopiekę nad studentami studiów licencjackich, magisterskich i doktoranckich (łącznie trzy osoby).

Wyniki swoich badań doktor Hajduk popularyzuje poprzez artykuły popularnonaukowe (m.in. w *Uranii* oraz w *Delcie*) oraz podczas wykładów popularnych.

Aktywność naukową doktora Hajduka oceniam wysoko.

Podsumowanie

Uważam, że przedstawione do oceny osiągnięcia naukowe doktora Hajduka, choć zostawia pewien niedosyt, to spełnia zwyczajowe jak i ustawowe warunki ubiegania się o stopień doktora habilitowanego.

Radosław Smolec

Dr hab. Radosław Smolec

