

**Ocena osiągnięć naukowo-badawczych w postępowaniu habilitacyjnym
dr. Alexa Gary'ego Markowitza
na podstawie osiągnięcia naukowego pt.:**

Wyznaczanie przepływów akrecyjnych w aktywnych galaktykach Seyferta

Dr Alex Gary Markowitz jest od niemal trzech lat adiunktem w Centrum Astronomicznym im. Mikołaja Kopernika PAN w Warszawie. Jest on jednocześnie zatrudniony na stanowisku samodzielnego pracownika naukowego w Centrum Astrofizyki i Nauk Kosmicznych Uniwersytetu Kalifornijskiego w San Diego (UCSD) w USA. Z ośrodkiem tym dr Markowitz związany jest od 2007 roku. Alex Markowitz uzyskał stopień doktora nauk fizycznych w zakresie astronomii w 2003 roku w Uniwersytecie Kalifornijskim w Los Angeles, USA. Po obronie doktoratu przez trzy lata przebywał na stażu podoktorskim w Centrum Lotów Kosmicznych NASA im. R. Goddarda oraz Uniwersytecie Johns Hopkinsa w stanie Maryland w USA. Będąc zatrudnionym w UCSD, w latach 2011-2014 odbył także trzyletni staż naukowy w Obserwatorium Karla Remeisa w Bamberg oraz Centrum Astrofizyki Częstek Elementarnych w Erlangen w Niemczech jako laureat prestiżowego stypendium im. Alexandra Humboldta dla wybitnych uczonych.

Ocena osiągnięcia naukowego

Na osiągnięcie naukowe dr. Markowitza, wskazane w postępowaniu habilitacyjnym, składa się siedem publikacji. Przewodnim tematem tych prac jest badanie akrecji materii na supermasywne czarne dziury w aktywnych jądrach galaktyk typu Seyferta. Aktywne jądra galaktyk znajdują się w centrum zainteresowań współczesnej astrofizyki. W szczególności zrozumienie mechanizmów akrecji kształtuje nasz obraz powstawania supermasywnych czarnych dziur, procesów odpowiedzialnych za aktywność galaktycznych jąder czy wpływu różnorodnych przejawów aktywności jąder na ewolucję galaktyk macierzystych. Badania procesów akrecji w aktywnych galaktykach mogą także istotnie pomóc w poznaniu natury innych obiektów, których działanie związane jest z tym zjawiskiem, takich jak występujące w Galaktyce rentgenowskie układy podwójne, w których czarna dziura stanowi składnik zwarty. Najlepsze obrazowanie bliskiego sąsiedztwa supermasywnej czarnej dziury oferują obserwacje prowadzone w zakresie rentgenowskim. Promieniowanie to emitowane jest przez zwartą, optycznie cienką i gorącą koronę. Jest ona bardzo dobrze widoczna w aktywnych galaktykach Seyferta, a wiele takich obiektów znajduje się stosunkowo blisko Galaktyki. Z uwagi na to badania mechanizmów akrecji w galaktykach aktywnych skupiają się na źródłach tego typu.

Dr Alex Markowitz jest uznanym w świecie specjalistą w dziedzinie obserwacyjnych badań własności akrecji w jasnych rentgenowsko pobliskich aktywnych galaktykach Seyferta. Jak wynika z autoreferatu oraz listy publikacji, dr Markowitz zajmuje się tym zagadnieniem od początku swojej pracy naukowej. Swoje najważniejsze osiągnięcia naukowe dzieli na trzy tematy badawcze: (1) mapowanie morfologii i własności fizycznych gazów w torusie molekularno-pyłowym otaczającym dysk akrecyjny oraz w obszarze szerokich linii widmowych, (2) badanie wewnętrznych przepływów akrecyjnych przy użyciu spektroskopii rentgenowskiej oraz (3) badanie zmienności kontinuum rentgenowskiego i analogii pomiędzy aktywnymi jądrami galaktyk i rentgenowskimi układami podwójnymi. W zasadzie wszystkie publikacje, dla których habilitant deklaruje swój wkład na poziomie większym niż 5% (co można uznać za wkład znaczący), można przypisać do jednego z tych tematów. Jako swoje osiągnięcie naukowe dr Markowitz wskazał publikacje, w powstaniu których jego wkład był dominujący (co najmniej 55%, co

wynika z deklaracji habilitanta i oświadczeń współautorów). Nie należy jednak tej uwagi odczytywać jako zarzut, ponieważ wskazane tematy są obszerne i składa się na nie wiele interesujących szczegółowych zagadnień badawczych. Dr Markowitz jest także pierwszym autorem tych prac, które powstały przy udziale dwóch lub trzech współautorów (prace P1, P2, P6, P7) lub w małych zespołach badawczych (P3-P5). W świetle tego dziwi jednak fakt, że trzy prace napisane samodzielnie (#13, 33 i 38) oraz praca #30, w której dr Markowitz jest pierwszym autorem z 80% udziałem, które to prace należałoby przypisać do tematyki (3, prace #13, 33 i 38) oraz (2, praca #30), nie zostały włączone do cyklu publikacji składającego się na osiągnięcie naukowe kandydata. Publikacja P1 oraz samodzielna praca #13 powstały wkrótce po obronie doktoratu, bez udziału promotora pracy doktorskiej dr. Markowitza – dr. Ricka Edelsona. Świadczy to o dużej samodzielności i dojrzałości naukowej habilitanta, osiągniętych już na początku jego kariery naukowej. Prace wskazane jako osiągnięcie naukowe zostały opublikowane w wiodących czasopismach naukowych o międzynarodowym zasięgu. Przyzwoita, a w przypadku publikacji P2, P4 i P7 duża, liczba cytowań świadczy o tym, że prace te zyskały uwagę środowiska naukowego i wywierają istotny wpływ na uprawianą przez dr. Markowitza dziedzinę astrofizyki.

Opis najważniejszych wyników prac P1-P7

Praca P7 przedstawia wyniki analizy zmienności czasowej gęstości kolumnowej oraz własności widmowych gazów absorbujących promieniowanie rentgenowskie na linii widzenia przeprowadzonej dla dużej próbki galaktyk Seyferta wielu typów. Systematyczne poszukiwania przypadków absorpcji, świadczących o przechodzeniu obłoków gazu przez linię widzenia, przy wykorzystaniu danych długookresowego monitoringu uzyskanych za pomocą satelity RXTE, pozwoliły po raz pierwszy dobrze ograniczyć parametry popularnego modelu torusa ze zgęstnieniami. Uzyskano dobre oszacowania na odległości obłoków od czarnej dziury oraz ich własności, takie jak rozmiar, średnia gęstość i masa. Pozwoliło to wysnuć wnioski dotyczące ciągłego rozkładu obłoków względem płaszczyzny równikowej oraz określić prawdopodobieństwo zaobserwowania zaćmień w zależności od parametrów modelu dla różnych typów galaktyk Seyferta. Bogaty zestaw danych opracowanych w publikacji P7 stanowi ważne źródło referencyjne.

Powiązana tematycznie z P7 publikacja P4 omawia wnioski z przeprowadzonej analizy spektroskopowej materii torusa w radiogalaktyce Centaurus A. Dzięki wysokiej jakości danych z rentgenowskiego satelity Suzaku, zmierzono skład chemiczny gazu, wskazując na dużą zawartość metali. Pomiar ten nasuwa ciekawą sugestię, że gaz wzbogacony w metale prawdopodobnie nie pochodzi z halo galaktyki macierzystej, ale raczej powstał wskutek procesów towarzyszących zlewaniu się galaktyk, do którego doszło w historii ewolucji tej aktywnej galaktyki.

Prace P2, P5 i P6 przedstawiają wyniki szerokopasmowej spektroskopii rentgenowskiej wysokiej rozdzielczości uzyskanej dla trzech pobliskich i jasnych galaktyk Seyferta. Rozdzielenie różnych składowych widm i dokładne modelowanie profilu linii widmowych, takich jak np. Fe $K\alpha$, pozwala badać przepływy akrecyjne, w tym geometrię dysku akrecyjnego oraz wypływy materii z jądra galaktyki aktywnej, oraz wyznaczyć spin supermasywnej czarnej dziury. Znajomość spinów czarnych dziur jest niezwykle istotna dla zrozumienia ewolucji tych obiektów, a także fizyki procesów akrecji. W pracy P2 badano morfologię wewnętrznej części dysku akrecyjnego w galaktyce IC 4329a. Skrupulatna analiza linii dyskowych pozwoliła jednoznacznie zidentyfikować istnienie dwóch wierzchołków emisji przy energiach 6,4 keV oraz 7,0 keV, umożliwiając dokładne modelowanie położenia radialnego składników. Okryto także nową wąską linię absorpcyjną przy energii 7,7 keV, która prawdopodobnie pochodzi od żelaza w wysoce zjonizowanym relatywistycznym wietrze emanującym z dysku akrecyjnego – składnika często

obserwowanego w jasnych kwazarach, po raz pierwszy odkrytego tu dla tak blisko położonej galaktyki aktywnej. Modelowanie w P5 złożonego widma absorpcji oraz linii emisyjnych żelaza w źródle NGC 3516 potwierdziło obecność cienkiego dysku wokół czarnej dziury. Z profilu szerokiego składnika Fe K α zniekształconego efektami relatywistycznymi wywnioskowano, że linia ta powstaje w najbardziej wewnętrznych częściach dysku w odległości zaledwie kilku promieni grawitacyjnych. W pracy P6, ostatniej z tej tematyki, badano długookresową ewolucję profilu linii Fe K podczas znacznego osłabiania strumienia ciągłej emisji w twardym zakresie rentgenowskim w galaktyce NGC 4593. Obserwowane własności tłumaczono wyparowaniem dysku związanym ze spadkiem jasności źródła lub zmianą w natężeniu kontinuum oświetlającego wewnętrzną część cienkiego dysku – scenariusz preferowany przez autorów pracy.

Prace P1 i P3 badają analogie pomiędzy aktywnymi jądrami galaktyk i rentgenowskimi układami podwójnymi. Stosują one metodę analizy funkcji gęstości mocy wyznaczonej na podstawie krzywych zmian blasku w zakresie rentgenowskim. Metodę tę dr Markowitz używał w badaniach pobliskich galaktyk Seyferta podczas pracy nad swoim doktoratem. Zakres swoich badań rozszerzył on w pracy P1 na aktywne galaktyki o niskiej jasności, mające znacząco niższe tempa akrecji niż typowe galaktyki Seyferta. Badanie w P1 źródła NGC 4258 podtrzymuje hipotezę, według której galaktyki Seyferta o niskiej jasności odpowiadają słabym wysokoenergetycznym stanom obserwowanym w rentgenowskich układach podwójnych. W pracy P3 badano zależność od energii funkcji gęstości mocy dla aktywnej galaktyki Mrk 766. Wykryta zależność jest zgodna z modelem propagacji fluktuacji strumienia akrecji w dysku, gdzie twardsze promieniowanie generowane jest bliżej czarnej dziury. W pracy P3 po raz pierwszy znaleziono przesłanki na istnienie oscylacji quasi-periodycznych, jakie często obserwuje się w rentgenowskich układach podwójnych.

Powyższe wyniki są znaczące dla rozwoju badań akrecji w układach zawierających czarną dziurę. Obok inicjowania i prowadzenia prac badawczych, główny wkład habilitanta w powstanie prac P1-P7 polegał na przeprowadzeniu redukcji danych, uzyskiwaniu widm, krzywych zmian blasku, funkcji gęstości mocy i modelowaniu danych. Dorobek zgłoszony przez dr. Markowitza jako osiągnięcie naukowe oceniam więc jako bardzo dobry.

Ocena istotnej aktywności naukowej habilitanta

Dr Alex Markowitz opublikował wg bazy NASA ADS 77 prac naukowych, w tym 68 po obronie doktoratu. Były one cytowane łącznie 3710 razy ze wskaźnikiem Hirscha $h=31$. Jest to wybitny wynik, zważywszy na to, że tylko niewielka część prac wykonana była w zespołach wieloautorskich. Jak zaznaczono wyżej, dorobek niebędący częścią osiągnięcia naukowego dr. Markowitza stanowi zasadniczo kontynuację i rozwinięcie badań zawartych w trzech ogólnych tematach badawczych siedmiu prac cyklu. Wiele wartościowych wyników habilitant uzyskał, kierując pracą swoich młodszych współpracowników, co jest naturalnym etapem kariery naukowej. Na szczególną uwagę zasługuje zaangażowanie dr. Markowitza w prace nad przeglądem wszystkich aktywnych galaktyk obserwowanych przez satelitę RXTE i wyznaczenie ich widm, czy systematyczne poszukiwania linii dyskowych w zbiorach galaktyk Seyferta obserwowanych przez Suzaku, z których wyznaczono rozkład spinów czarnych dziur. Habilitant specjalizuje się w metodach redukcji, analizy i modelowania danych z satelitów rentgenowskich. Jego umiejętności są znane i doceniane w środowisku naukowym. W wielu pracach z ostatnich lat, które dotyczą nie tylko galaktyk Seyferta, ale także innych typów galaktyk aktywnych, rentgenowskich układów podwójnych, a nawet pulsara rentgenowskiego, dr Markowitz uczestniczy jako

ekspert od analizy spektralnej i zmienności obiektów. Łączny dorobek habilitanta w postaci publikacji naukowych należy ocenić jako znakomity.

Biorąc pod uwagę dotychczasowy charakter zatrudnienia dr. Markowitza na stanowisku samodzielnego pracownika naukowego w Uniwersytecie Kalifornijskim w San Diego i adiunkta w jednostce Polskiej Akademii Nauk, dorobek dydaktyczny habilitanta oceniam jako dobry. Na dorobek ten składają się wykłady z różnych części wstępu do fizyki prowadzone w UCSD, a przede wszystkim opieka naukowa nad młodymi badaczami – studentami różnych stopni kształcenia w UCSD oraz w Obserwatorium Karla Remeisa/Centrum Astrofizyki Cząstek Elementarnych w Erlangen (łącznie czworo studentów, dla których dr Markowitz pełnił rolę opiekuna lub promotora pomocniczego) i obecnie nad doktorantem w CAMK PAN oraz post-dokiem w UCSD. Dr Markowitz ma także osiągnięcia w popularyzacji nauki. Warty szczególne podkreślenia jest jego wiodąca rola w tworzeniu publicznej bazy danych zawierającej krzywe zmian blasku oraz widma aktywnych galaktyk obserwowanych przez RXTE.

Habilitant regularnie prezentuje wyniki swoich badań na konferencjach międzynarodowych oraz na seminariach w ośrodkach naukowych i akademickich na świecie. Był on pięciokrotnie zapraszany do wygłoszenia referatów na konferencjach za granicą. Imponuje lista realizowanych projektów badawczych, w których dr Markowitz występuje w roli kierownika. Wiele z tych projektów zostało przyznanych na realizację badań z wykorzystaniem obserwatoriów satelitarnych – programy typu „guest observer”. Warto w tym miejscu zaznaczyć, że habilitant uczestniczył w komitetach naukowych użytkowników RXTE czy Suzaku, a obecnie misji ATHENA; brał on również udział w komitetach przydzielający czas obserwacyjny satelitów NuSTAR, Suzaku, Chandra, RXTE oraz XMM-Newton, w tym dwukrotnie w charakterze wiceprzewodniczącego sesji.

Podsumowanie

Zarówno rozprawę habilitacyjną, jak i pozostały dorobek naukowy dr. Alexa Markowitza oceniam bardzo wysoko. Uważam, że osiągnięte przez habilitanta wyniki naukowe stanowią istotny wkład w rozwój obserwacyjnej astrofizyki aktywnych jąder galaktyk i stawiają dr. Markowitza w gronie najlepszych naukowców w tej dziedzinie nauki. Stwierdzam, że osiągnięcia naukowe, a także pozostały dorobek naukowy spełniają ustawowe i zwyczajowe wymagania stawiane kandydatom do uzyskania stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk fizycznych, i wnoszę o dopuszczenie pana dr. Markowitza do dalszych etapów przewodu habilitacyjnego.

dr hab. Jacek Niemiec

Kraków, 31 października 2019 r.

