



Centrum Fizyki Teoretycznej  
Polskiej Akademii Nauk

02-668 Warszawa, Al. Lotników 32/46

REGON 000844815

tel: (+48 22) 847 09 20, tel/fax: (+48 22) 843 13 69

email: [cft@cft.edu.pl](mailto:cft@cft.edu.pl)

[www.cft.edu.pl](http://www.cft.edu.pl)

Warszawa, 30. października, 2019

**Recenzja dorobku naukowego Pana dr Alexa Markowitza,**

**w związku z Jego postępowaniem habilitacyjnym**

Podstawą wniosku habilitacyjnego Pana dr Alexa Markowitza jest osiągnięcie naukowe pt. "Wyznaczanie przepływów akrecyjnych w aktywnych galaktykach Seyferta". Osiągnięcie to zostało opracowane na podstawie siedmiu artykułów specjalistycznych, które ukazały się w latach 2005-2014, w The Astrophysical Journal (5 prac), w Monthly Notices of the Royal Astronomical Society (1 praca) oraz w Publications of the Astronomical Society of Japan (1 praca). We wszystkich artykułach pan dr Markowitz jest pierwszym autorem. Prace są wieloautorskie, jednak przedstawione zostały oświadczenia współpracowników, nie pozostawiające wątpliwości, że wkład habilitanta był w tych pracach dominujący.

Dr Markowitz prezentuje w swym dorobku cykl badań poświęconych galaktykom Seyferta. Wybrane zostały galaktyki o różnych własnościach: o małej jasności (NGC 4258, IC 4329a), o wąskich liniach emisyjnych (Mrk 766), o szerokich liniach oraz absorpcji wskazującej na obecność zjonizowanego wiatru (NGC 3516, NGC 4593), radiowo głośne (Centaurus A).

Badania nad strukturą obszarów emitujących promieniowanie w galaktykach aktywnych (AGN) są istotne z punktu widzenia ich historii ewolucyjnej w kontekście aktywności centralnej czarnej dziury. Zwłaszcza w wypadku

najwyższych energii fotonów, obszary emitujące trudno rozdzielić morfologicznie, z uwagi na techniczne ograniczenia teleskopów. Dostępne są techniki spektroskopii rentgenowskiej, dzięki którym można uzyskać obraz geometrii emitującego obszaru w oparciu o dopasowanie widma promieniowania wynikającego z modelu teoretycznego, do danych obserwacyjnych. Ponadto, ważnych informacji o stanie materii w okolicy horyzontu czarnej dziury może dostarczyć badanie szybkiej zmienności czasowej promieniowania rentgenowskiego.

Metoda badawcza używana przez habilitanta w cyklu prac poświęconych galaktykom Seyferta ma wieloletnią tradycję i jest powszechnie stosowana przez wiele grup na świecie. Badania oparte na analizie widma gęstości mocy pozwalają na ustalenie częstotliwości, na których promieniowanie AGN jest najszybciej zmienne. W szczególności, interesujące parametry to częstotliwość przegięcia w widmie mocy, oraz częstotliwość oscylacji kwazi-periodycznej, o ile uda się te wartości ustalić na podstawie analizy szeregów czasowych. Wnioskowanie na temat fizyki w tych obiektach oparte jest na porównaniu widm mocy AGN z widmami mocy galaktycznych rentgenowskich układów podwójnych (GBH). Twierdzi się, że przeskalowując zmienność na skale odpowiadające małym masom czarnych dziur, można dostrzec występowanie różnych stanów widmowych oraz osobnych "modów" akrecji w AGN, tak jak to jest bezpośrednio obserwowane w wypadku konkretnych GBH.

Habilitant w pracy P1 (Markowitz & Uttley 2005), która jest bezpośrednią kontynuacją jego rozprawy doktorskiej, przeprowadza analizę słabo świecącej galaktyki NGC 4258 w oparciu o dane z satelity RXTE. W tym wypadku nie udało się stwierdzić przegięcia w widmie mocy. Przy okazji, uwaga redakcyjna: rysunek 10 w Autoreferacie kandydata jest błędnie wstawiony. Nie odpowiada on rysunkowi Fig. 3 w pracy P1, gdyż nie ma na nim danych galaktyki NGC 4258.

Wartość przegięcia ekstrapolowana z danych dla Cygnusa X-1, gdyby udało się to przegięcie wyznaczyć, odpowiadałaby masie czarnej dziury w tej galaktyce, ale pod warunkiem że inne fizyczne charakterystyki NGC 4258 byłyby takie same. Jak to jednak często bywa w sytuacji gdy parametry modelu są wzajemnie zdegenerowane, oprócz masy czarnej dziury istotne może być też tempo akrecji masy na nią, a także mod akrecji. Zatem autor postuluje tu scenariusz, w którym akrecja jest niewydajna promieniście, a wokół czarnej dziury mamy przepływ typu ADAF, zaproponowany przez Narayan & Yi (1995).

W pracy P3, Markowitz, Papadakis i in. (2007), autorzy stosują tę samą metodologię do obiektu Mrk 766, w oparciu o dane z satelity XMM-Newton. Widma mocy zostały wyznaczone dla trzech zakresów energii fotonów, przy czym stwierdzono przesuwanie się częstotliwości przegięcia wraz z energią. Wynik ten jest zgodny z teorią propagacji fluktuacji w dysku akrecyjnym, zaproponowaną w pracy Lyubraskii (1997). Autorzy zasugerowali ponadto istnienie oscylacji kwaziperiodycznej w tym obiekcie, aczkolwiek tego typu struktury w widmie mocy są nadal mało wyraźne w przypadku galaktyk AGN. Pozostaje też wątpliwość, skąd pochodzi obszar emitujący najtwardsze fotony rentgenowskie – możliwe, że jest to raczej korona nad dyskiem akrecyjnym. W konkluzjach, autorzy stwierdzają, że obiekt Mrk 766 nie jest analogiem Cygnusa X-1 w stanie widmowym określanym jako "Intermediate State". Szkoda, że dyskusja ta nie została uzupełniona w kontekście szczególnych własności galaktyk Narrow-Line Seyfert 1 (NLS1), do których należy Mrk 766. Galaktyki te są bowiem często uważane za analog obiektów GBH w stanie bardzo wysokim (Very High State), zob. np. Janiuk, Czerny & Madejski (2004).

Praca P2 (Markowitz i in. 2006) jest poświęcona badaniu profilu linii widmowej żelaza w galaktyce IC 4329. Zakres energii tej linii, 6.4-7 keV, odpowiada atomom żelaza o różnym stopniu jonizacji. Autorzy pracy dopasowali dokładny, kilkuskładnikowy model, uwzględniający poszerzenie linii emisyjnej wskutek ruchu materii w dysku akrecyjnym, a także efekt komptonizacji. Zaproponowano trzy możliwe warianty zestawów parametrów, które dawały podobnej jakości dopasowania modelu do obserwacji w sensie statystyki chi-2. Nie można było zatem na podstawie tak żmudnych badań oznaczyć fundamentalnych właściwości systemu, takich jak nachylenie płaszczyzny dysku do linii widzenia, czy też moment pędu czarnej dziury. Towarzysząca emisji struktura absorpcyjna żelaza, odkryta przez autorów w danych, wskazuje na obecność wypływu z dysku, tzw. Wiatru, o prędkości wynoszącej około 10% prędkości światła. Wydaje się to największym osiągnięciem tej pracy, gdyż dotychczas wiatry były potwierdzone jedynie w niewielkiej grupie obiektów o szerokich liniach absorpcyjnych, tzw. BAL-quasars, zaś tutaj autorzy pokazali, że mogą być cechą szerszej klasy AGN.

Prace P4, P5 i P6, z lat 2007-2009 dotyczą spektroskopii rentgenowskiej wykonanej dla kilku obiektów teleskopem Suzaku.

W artykule Markowitz, Takahashi, i in. (2007), autorzy przedstawiają analizę radiowo głośnego kwazara Centaurus A. Stwierdzono obecność linii emisyjnych pochodzących od zjonizowanych atomów żelaza, tlenu, neonu i magnezu, na

energiach poniżej 2 keV, a także progów absorpcyjnych. Instrument Suzaku, wyposażony w spektrometr rentgenowski o wyjątkowej czułości i stosunku sygnału do szumu, dostarczył bardzo dobrej jakości danych w zakresie miękkiego promieniowania X. Dokładne wyznaczenie profili linii jest ważne np. Z punktu widzenia modelowania frontów fal uderzeniowych rozchodzących się po wybuchu supernowej w ośrodku międzygwiazdowym. Obecność metali w galaktyce Centaurus A (S, Si, Ar, Ca, Ni) została przypisana niedawnej aktywności gwiazdotwórczej, wywołanej być może oddziaływaniem z inną galaktyką. Kontinuum rentgenowskie dopasowane przy użyciu kilku modeli potęgowych I jest zgodne z typowym opisem jądra galaktyki aktywnej, w której występuje kwazi-sferyczny gorący ośrodek akreujący oraz wielkoskalowy dżet.

W kolejnej pracy, przedmiotem badań jest galaktyka NGC 3516, w której stwierdzono obecność szerokiej linii emisyjnej żelaza. Jej profil pasuje do modelu emisji a dysku akrecyjnego otaczającego rotującą czarna dziurę o spinie powyżej  $a=0.5$ . Ten wynik wskazuje na możliwość produkcji relatywistycznego dżetu, potwierdzając wcześniejsze doniesienia (Miyaji i in. 1992).

Ostatnia praca z tego cyklu dotyczy linii żelaza w galaktyce NGC 4593. W tym obiekcie, linia żelaza jest albo wąska, co wskazywałoby na bardzo dużą odległość w dysku akrecyjnym na której linia powstaje, albo szeroka, co daje inną wartość na wewnętrzny promień dysku akrecyjnego. Autorzy sugerują zmianę geometryczną w obiekcie polegającą na odparowaniu wewnętrznego dysku akrecyjnego w okresie pomiędzy tymi obserwacjami. Nie jest jednak jasne, dlaczego dysk miałby odparować w ciągu 5 lat, jeśli tzw. scenariusze cykli aktywności AGN wywołanej niestabilnościami termicznymi dają skale czasowe rzędu setek lat (zob. też Janiuk, Czerny, Siemiginowska, i Szczerba, 2004).

Praca P7 (Markowitz i in. 2014) powstała kilka lat po poprzednim cyklu, ale można powiedzieć, że go ładnie domyka. Autorzy przedstawiają przekrojowo temat torusa w otoczeniu jądra AGN, na bazie obserwacji próbki galaktyk Seyferta typu 1 i 2 (oraz pośrednich). Dane pochodzą z archiwum satelity RXTE. Autorzy są zwolennikami popularnej ostatnio koncepcji, że torus absorbujący promieniowanie rentgenowskie ma morfologię kłaczkowatą. Oszacowane jest prawdopodobieństwo zaćmienia blasku AGN przez takie kłaczkowate torusy, w zależności od podtypu galaktyki.

Podsumowując, osiągnięciem habilitacyjnym dr Markowitza jest przede wszystkim doskonałe opanowanie warsztatu w zakresie pozyskiwania i analizy danych rentgenowskich dotyczących galaktyk aktywnych. Habilitant w niezwykle

skrupulatny sposób prowadził obserwacje z wielu różnych obserwatoriów satelitarnych, zajmując się zarówno dokładną spektroskopią, jak i analizą zmienności czasowej interesujących go źródeł. Dane na temat rozmaitych struktur obecnych w jądrach AGN mogą przynieść wartościowe wnioski dotyczące historii powstania tych obiektów w skali kosmologicznej, czy też ograniczenia na modele emisji rentgenowskiej i absorpcji promieniowania w towarzyszących im wyływach. Od strony teoretycznej, należy jednak stwierdzić, że dyskusja wyników obserwacji zaproponowana przez samego autora rozprawy nie wnosi wiele nowego w stosunku do powszechnie panujących koncepcji na temat struktury AGN i nie rozwiewa wątpliwości, które scenariusze czy też wartości parametrów są lepsze. Jest to jednak powszechna cecha modelowania fenomenologicznego.

Jeśli chodzi o pozostałe, zwyczajowe kryteria dla dorobku habilitacyjnego, to wskaźniki publikacyjne (indeks H=30, ponad 70 wieloautorskich prac w różnych zespołach, w tym 15 pierwszo-autorskich) stawiają Autora wśród najlepszych specjalistów z dziedziny astronomii rentgenowskiej. Jest osobą bardzo pracowitą i kontaktową, o czym świadczą liczne współprace. Od czasu swego zatrudnienia w Polsce zdążył już nawiązać kontakty z grupami naukowymi prof. Zdziarskiego w Warszawie, oraz prof. Ostrowskiego w Krakowie. Dr Markowitz kierował jednym grantem badawczym OPUS w Polsce, gdzie pracuje od 2017 roku, oraz kilkunastoma w USA (Uniwersytet Kalifornijski). Były to projekty obserwacyjne typu "Guest Observer" na różne instrumenty badawcze. Kandydat odbył też staż naukowy w Niemczech w Bambergu, jako stypendysta fundacji A. von. Humboldta. Prowadził wykłady ze wstępu do fizyki na Uniwersytecie Kalifornijskim w San Diego, był również opiekunem pomocniczym kilkorga licencjatów i magistrantów. Jako doktor habilitowany, będzie mógł przejąć pełną opiekę merytoryczną nad doktorantką w CAMK PAN.

Podsumowując, stwierdzam, że dorobek i osiągnięcia pana Alexa Mrakowitza spełniają kryteria ustawowe i zwyczajowe wymagania stawiane kandydatom, zatem rekomenduję komisji habilitacyjnej nadanie Mu stopnia naukowego doktora habilitowanego.

**dr hab. Agnieszka Janiuk**

profesor CFT PAN

Polska Akademia Nauk w Warszawie