

Recenzja rozprawy doktorskiej

Autor rozprawy: *mgr Krzysztof Hryniewicz*

Tytuł rozprawy: *"Kwazary o słabych liniach emisyjnych"*

Rozprawa dotyczy badań nowej klasy kwazarów o słabych liniach emisyjnych. Prototyp tej klasy obiektów (SDSSp J153259.96-003944.1, w skrócie SDSS 1533-00) został odkryty w 1999 roku przez Fana i jego współpracowników. W widmie odległego ($z=4.62$) jasnego punktowego źródła nie było silnych, szerokich linii emisyjnych, najbardziej charakterystycznych cech widma typowych kwazarów. O podobnym obiekcie pisał już szczegółowo McDowell i jego współpracownicy w 1995 roku, a mowa była o kwazarze PG 1407+265 (odkrytym w 1983 roku przez Schmidta i Greena). Tak rozpoczyna się historia niezwykle ciekawych i różnorodnych obiektów, będących przedmiotem przedstawionej tutaj rozprawy. Słabe linie emisyjne bądź ich brak mogłyby wskazywać, że są to po prostu obiekty typu BL Lac (blazary), które to właśnie posiadają słabe linie emisyjne lub nie mają takich linii w ogóle. Sytuacja jest jednak bardziej złożona, niezwykle obiekty nie wykazują innych podobieństw do blazarów niż te związane z emisyjnymi liniami widmowymi. Natomiast ich widmo ciągle w ultrafiolecie jest bardzo podobne do tego jakie obserwujemy w typowych kwazarach. Natura tych kwazarów wciąż jeszcze nie została wyjaśniona, a liczba obiektów o podobnych własnościach systematycznie rośnie. Temat rozprawy jest więc bardzo aktualny i możemy spodziewać się wkrótce kolejnych kroków milowych zniierzających do rozwiązania tej zagadki. Istnieje duża szansa, że znaczący wkład do przyszłych odkryć będzie miał właśnie autor tej rozprawy doktorskiej.

Rozprawa doktorska liczy 151 stron, składa się z krótkiego wstępu i sześciu rozdziałów. Rozpoczyna się od pewnej refleksji związanej z motywacją badań podjętych przez autora: dlaczego warto zajmować się nietypowymi obiektami i co w ten sposób można osiągnąć. Inspiracją do tej refleksji była rozmowa autora rozprawy z profesorem Lutzem Wisotzkim podczas szkoły letniej "Black Holes and Galaxy Evolution", która odbyła się kilka lat temu. Jest to bardzo dobry przykład tego jak należy korzystać z wyjazdów na szkoły i konferencje. Przykład, który świadczy o głębokim zaangażowaniu autora w realizowaną tematykę badawczą. Po tym wstępie autor skupił się w swojej pracy na obiektach radiowo cichych, które charakteryzują się słabymi liniami emisyjnymi w nadfioletowej części widma (Rozdział 1). Następnie przeprowadził analizę widma jednego z takich obiektów, obiektu którego był współodkrywcą (Rozdział 2). Dopasował do obserwowanego kontinuum widmo ciągle dysku akrecyjnego (Rozdział 3). Przeprowadził modelowanie procesów jonizacji mające na celu wyznaczenie właściwości ośrodka, który byłby odpowiedzialny za to co widzimy (Rozdział 4). Podjął się próby wyselekcjonowania innych obiektów o podobnych cechach (Rozdział 5). Na zakończenie przedyskutował hipotezy zmierzające do wyjaśnienia natury nowej klasy kwazarów (Rozdział 6).

Rozprawa opiera się na trzech opublikowanych już artykułach, które ukazały się w MNRAS (dwie prace) i A&A (jedna praca) oraz na dalszych dwóch wysłanych do recenzji do MNRAS i A&A. Rozdział 5 zawiera materiał jeszcze nieopublikowany.

Duże wrażenie zrobił na mnie fakt, że rozprawa doktorska jest poświęcona głównie jednemu obiektowi nowej klasy kwazarów, który został odkryty przez autora rozprawy we współpracy

z Bożeną Czerny, Markiem Nikolajukiem i Joanną Kuraszkiewicz. Obiekt należący do nowej klasy, znaleziony przy współudziale autora pracy doktorskiej, znany jest pod nazwą SDSS J094533.99+100950.1 (w skrócie SDSS J0945+1009). Widmo tego obiektu miało typowe kontinuum kwazara z nietypowymi słabymi liniami emisyjnymi z prawie nie istniejącymi liniami CIV i CIII] oraz słabą, ale dobrze widoczną linią MgII. Właśnie linia MgII posłużyła do sklasyfikowania tego obiektu jako kwazara. Obiekt ten ma również bardzo dobrze wyznaczone przesunięcie ku czerwieni, które wynosi $z=1.67$.

W Rozdziale 2 przedstawiona jest bardzo szczegółowa analiza widma tego obiektu. Analiza ta w dużej swej części została opublikowana w pracy Hryniewicz, Czerny, Nikolajuk i Kuraszkiewicz (2010). W rozprawie autor rozbudował dyskusję dotyczącą uwzględnienia emisji pasma żelaza i zaktualizował opis ekstynkcji w Drodze Mlecznej.

Jednym z niezwykle interesujących wyników pracy jest wyznaczenie globalnych parametrów fizycznych tego obiektu, na co pozwoliło istnienie linii MgII w jego widmie. W tekście rozprawy nie udało mi się jednak znaleźć przyczyn, dla których wielkości wyznaczone w rozprawie na stronach 32-34 są różne od tych opublikowanych w pracy Hryniewicz i inni (2010). Czy powodem jest inne dopasowanie kontinuum? Rozbieżność pomiędzy rozprawą a opublikowanym artykułem rozpoczyna się od wyznaczenia jasności monochromatycznej na długości fali 3000 Å i propaguje się na jasność bolometryczną kwazara, a ta z kolei wpływa na oszacowane tempo akrecji. Ponadto, nie została podana masa jaka została przyjęta do wyznaczenia tempa akrecji na stronie 34. Z wyrażenia na jasność Eddingtona wynikałoby, że masa supermasywnej czarnej dziury powinna wynosić $1.98 \times 10^9 M_{\odot}$, czyli że nie jest to żadna z wartości wyznaczonych na stronie 33 metodami opisanymi w pracy Kong i inni (2006).

W tym samym rozdziale, własności SDSS J0945+1009 porównano z innym, bardziej typowym kwazarem LBQS 2113-4538. Porównanie to jest o tyle cenne, że dane kwazara LBQS 2113-4538 zostały uzyskane w projekcie obserwacyjnym przy użyciu teleskopu SALT, w którym autor rozprawy aktywnie brał udział. Jego zadaniem był wybór obiektów do obserwacji. Autor rozprawy zdobył w ten sposób doświadczenie w przygotowywaniu i realizacji programów obserwacyjnych, co w przyszłości niewątpliwie zaowocuje w postaci skutecznego pozyskiwania danych niezbędnych do prawidłowej interpretacji obserwowanych obiektów. Zapowiedzią tych działań są wnioski złożone przez autora rozprawy o przyznanie czasu na teleskopach Europejskiego Obserwatorium Południowego. Rozdział drugi kończy się dość niespodziewanie. Krótkie podsumowanie przeprowadzonego porównania obu obiektów poprawiłoby efekt końcowy materiału prezentowanego w tej części pracy.

Rozdział 3 to dopasowanie widma modelowego dysku akrecyjnego do rozkładu energii widmowej kwazara SDSS J0945+1009 i kolejny bardzo ważny wynik rozprawy. Co prawda obiekt ten nie posiada typowych jak dla kwazara linii emisyjnych, ale posiada typowe kontinuum. Czy emisja promieniowania tego obiektu niesie ze sobą łatwą do wydobycia informację na temat warunków fizycznych panujących w dysku akrecyjnym wokół supermasywnej czarnej dziury, będącym podstawowym źródłem energii w kwazarach? Pełnej odpowiedzi na to pytanie jeszcze nie ma, ale pierwsze wyniki już są. Autor rozprawy pokazał bowiem, że za pomocą prostego modelu dysku akrecyjnego Novikova-Thorne'a bardzo dobrze udaje się odtworzyć szerokopasmowe widmo SDSS J0945+1009. Co więcej, korzystając z kontinuum dysku akrecyjnego i dopasowanej przy jego użyciu linii MgII dokonano wyznaczenia masy czarnej dziury i tempa akrecji w dysku, uzyskując bardzo dobrą zgodność między różnymi metodami oszacowania parametrów globalnych.

Rozdział 4 zawiera wyniki modelowania procesów fotojonizacji mające na celu wyznaczenie właściwości ośrodka, który byłby odpowiedzialny za obserwowane widmo kwazara. Udało się

uzyskać parę szczegółowych zależności pomiędzy wielkościami fizycznymi panującymi w otoczeniu dysku akrecyjnego w bardzo prostym modelu fotojonizacyjnym. Na tej podstawie, zbyt wcześnie jest na razie formułować ostateczne wnioski dotyczące obszaru, w którym powstają szerokie linie emisyjne. Rozdział ten bardzo trudno się czyta. Zaczynając od podrozdziału 4.2.1 wszystkie cytowane wykresy mają etykietę 4.2.1, która nie ma żadnego odpowiednika. Takiego rysunku po prosu nie ma. Rysunki 4.6 i 4.7 wydają się nie mieć żadnego odnośnika w tekście. Podsumowanie wyników w tym rozdziale byłoby szczególnie pomocne, gdyż tutaj nie jest jeszcze dostępny opublikowany artykuł w którym takie podsumowanie możnaby znaleźć.

Rozdział 5, zawierający próbę wyselekcjonowania innych obiektów o podobnych własnościach do tych jakie posiada SDSS J0945+1009 pokazuje olbrzymi potencjał badawczy autora rozprawy i dobrą perspektywę badań nowej klasy kwazarów o słabych emisyjnych liniach widmowych. Analiza odkrytego przez autora rozprawy obiektu pozwoliła na ograniczenie przestrzeni parametrów i możliwych interpretacji obserwowanych własności tego typu kwazarów, ale pozostawiła wiele pytań bez odpowiedzi, wskazała na możliwą degenerację parametrów w analizie, której usunięcie wymaga uzupełnienia danych o nowe obserwacje tego samego obiektu oraz wyselekcjonowania nowych obiektów. W rozdziale tym znajdujemy opis konstrukcji oprogramowania do selekcji kwazarów, poznajemy zastosowane algorytmy i w końcu samą charakterystykę wyselekcjonowanej próbki kwazarów o słabych liniach emisyjnych. Ogrom pracy wykonany przy tej selekcji jest imponujący. Zostały zastosowane najnowsze technologie przetwarzania i składowania danych. Autor rozprawy w celu efektywnej realizacji projektu nawiązał współpracę z Piotrem Wąsiewiczem, który zajął się informatyczną stroną projektu. Wkładem autora rozprawy w tę współpracę było doradzanie, współprojektowanie, testowanie i poprawianie budowanych rozwiązań. Kompetencje autora rozprawy, sposób w jaki przystępuje do rozwiązania problemu, metody jakie zostały opracowane, instrumenty jakie zostały przygotowane gwarantują iż wkrótce powinniśmy uzyskać wyjaśnienie natury ciekawych nietypowych kwazarów o słabych emisyjnych liniach widmowych. W odróżnieniu od dwóch poprzednich rozdziałów pracy doktorskiej ta część kończy się wyczerpującym, jasno sformułowanym podsumowaniem najważniejszych informacji i wyników.

Ostatni rozdział pracy jest pomysłowo skonstruowany. Autor rozprawy przytacza dziesięć hipotez mających na celu wyjaśnienie pochodzenia widma jednego z pierwszych analizowanych kwazarów o słabych liniach emisyjnych jakim był kwazar PG 1407+265. Następnie dyskutuje je w kontekście obecnie znanych kwazarów o słabych liniach emisyjnych oraz własnych wyników. Stanowi to podsumowanie postępu jaki dokonano w badaniach tego typu obiektów od roku 1995, kiedy to zostały opublikowane hipotezy McDowella i jego współpracowników.

O uwagach dotyczących samej redakcji pracy pisałam na bieżąco, przy omawianiu zawartości naukowej poszczególnych części rozprawy. Na zakończenie chciałam się jeszcze tylko podzielić pewnym spostrzeżeniem. Zauważyłam, że podobnie jak każdy język tak i język astronomiczny ulega powoli przemianom i takie wyrażenie jak B-V nie nazywa się już "wskaźnikiem barwy", ale jest "współczynnikiem koloru" lub "indeksem koloru", natomiast "temperatura barwy" przekształciła się w "temperaturę kolorową". Wdzierają się również do tekstu takie wyrażenia jak "kompozyt", z którymi wcześniej w kontekście astronomicznym nigdy się nie spotkałam.

Pomimo pewnych niedociągnięć redakcyjnych rozprawę oceniam bardzo wysoko. Uważam, że przedstawiona praca spełnia wszelkie ustawowe oraz zwyczajowe wymogi stawiane rozprawom doktorskim i dlatego z pełnym przekonaniem wnoszę o dopuszczenie mgr Krzysztofa Hryniewicza do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Szczecin, 14 listopada 2013 roku

dr hab. Ewa Szuszkiewicz, prof. US

Ewa Szuszkiewicz