

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr Marka Górskiego  
pt.

**Precyzyjne wyznaczenia odległości do wybranych galaktyk Grupy Lokalnej**

Praca doktorska pana Marka Górskiego zawiera materiał naukowy podzielony na 12 numerowanych rozdziałów, dzielonych w razie potrzeby na podrozdziały, a w przypadku najobszerniejszego z nich rozdziału 5., również na pod-podrozdziały. Siedem pierwszych rozdziałów zawiera właściwą merytoryczną część rozprawy, po czym następują Podziękowania (Rozdział 8.) i Bibliografia (Rozdział 9.) oraz trzy Dodatki A, B, C sygnowane w spisie treści jako rozdziały 10-12. Poza tą numeracją, między rozdziałami 9. i 10. umieszczono nieuwzględnione w Spisie treści Spisy rysunków (s. 83) i tabel (s. 89). Celowość ich umieszczenia – najprawdopodobniej w ostatniej chwili – budzi moje zastrzeżenia, zwłaszcza, że zamiast symbolicznego, jednozdaniowego określenia tytułów rysunków i tabel, przekopiowano w całości ich długie, szczegółowe opisy bez samego obiektu (rysunku, tabeli) zupełnie niezrozumiałe. Niemniej, treść trzonu rozprawy w pełni odpowiada jej tytułowi, a dodatki A (skrótów stosowane w pracy) i B (wskaźniki odległości i świece standardowe) są świetnym pomysłem i świadczą o dbałości autora o czytelnika. Dodatek C (dziennik obserwacji JK cefeid w M33) mógł być równie dobrze dołączony w postaci elektronicznej. Przegląd metod wyznaczania odległości (Dodatek B), od którego rozpocząłem lekturę, równi naturalne miejsce miałyby w nieco bardziej rozszerzonym Wstępie. W dostarczonym mi egzemplarzu dysertacji zabrakło wymaganego Ustawą (art. 13., p. 6.) streszczenia rozprawy w języku angielskim, które jednak na szczęście bez trudu można znaleźć na stronach internetowych UW (<http://apd.uw.edu.pl/pl/diplomas/129788/>).

Rozprawa pana Marka Górskiego, stanowi próbę precyzyjnego wyznaczenia odległości do kilku najbliższych galaktyk Grupy Lokalnej, kilkoma metodami fotometrycznymi: (1) korzystając z zależności okres-jasność dla cefeid, (2) kalibrując jasność wierzchołka gałęzi czerwonych olbrzymów (w skrócie TRGB) oraz (3) tzw. Red Clump na opartych na fotometrii podczerwonej diagramach HR. Przedmiotem dociekań jest jednak nie tylko tytułowa odległość, ale może nawet przede wszystkim określenie błędów, zwłaszcza systematycznych tych odległości, a więc ograniczenia tych metod. W imponderabiliach, czuje się, że strategicznym celem pracy jest wykazanie, że zastosowana przez team Araucaria (do którego autor ma szczęście należeć i wraz z którym opublikował ponad 10 prac naukowych) metoda oparta o porównanie kątowych i rzeczywistych rozmiarów składników układów zaćmieniowych – jest najlepsza na świecie! Stosując ją do LMC (Pietrzyński i in. 2013) i SMC (Graczyk i in. 2014), autorzy chwalać się nieosiągalną do niedawna precyzją bliską 2%. Na ten wynik złożyły się z jednej strony znakomite fotometryczne i spektroskopowe obserwacje starannie wyselekcjonowanych układów zaćmieniowych, z drugiej nienaganne wyznaczenia ich parametrów fizycznych, ale z trzeciej strony ograniczone są określoną właśnie na poziomie 2% kalibracją zależności jasność powierzchniowa wskaźnik barwy ( $V-K)_0$  (Di Benedetto 2005).

Badanie błędów systematycznych jest trudne, uciążliwe i w dodatku prawie zawsze łatwe do zakwestionowania (zwłaszcza gdy „trzeba” wykazać, że takich błędów nie ma). Autor stosuje specjalną, choć jak twierdzi powszechnie używaną metodę losowań, w literaturze nazywaną *bootstrap* (Efron 1997). Co autor założył, to wykazał. Jeżeli uzyskiwane wartości błędów systematycznych okazywały się „niebezpiecznie” małe, duże były rozbieżności wyników własnych (TRGB) lub w porównaniu z innymi autorami (cefeidy w M33).

Dla astronoma takiego jak ja, który całe życie zajmował się nie więcej niż kilkunastoma, na ogół nader osobliwymi gwiazdami – w tym 2-3 „gwiazdami życia” – badania, w których prowadzi się jednoczesne obserwacje i jednolitą analizę wielu tysięcy, a czasem nawet milionów gwiazd musi budzić zachwyt i szacunek. Metody, polegające na poszukiwaniu charakterystycznych spowolnień ewolucji (Red Clump/Czerwona Klika) lub gwałtownych zwrotów ewolucji (TRGB) w obrębie dużych jasności absolutnych w podczerwieni, osłabia zależność otrzymywanych modułów odległości od poczerwienienia międzygwiazdowego. Autor przeanalizował dane tysięcy gwiazd z katalogów OGLE

(V,I) i IRSF ((J,K) czterech galaktyk i wyznaczył w nich jasności wierzchołków gałęzi czerwonych olbrzymów (Rozdział 5). Chyba jeszcze większą ilość pomiarów fotometrycznych V,I z Teleskopu Hubble'a dla 15 galaktyk wykorzystał do wyznaczenia w nich średniej jasności Red Clump (Rozdział 6) i porównuje z położeniem wyznaczonych przez Jacobsa i in. (2009) jasnościami TRGB. Wreszcie w Rozdziale 4., autor może pochwalić się również samodzielną redukcją około 200 obserwacji w filtrach J i K dla 26 cefeid z galaktyki M33. Ciekawe czy zmiana punktów zerowych kalibracji TRGB (patrz zakończenie niniejszej recenzji) zbliżyłaby wyznaczenia Kima i in. (2002) z TRGB (Tabela 3) do tych uzyskanych przez autora z cefeid?

Obowiązkiem recenzenta jest również wytknięcie autorowi błędów i wad zauważonych w rozprawie. Spośród niedociągnięć lub pomyłek redakcyjnych bądź typograficznych, pomijając literówki i drobne błędy pisowni, mogę wymienić:

- s. 11: zamiana opisów osi na rysunku;
- s. 12: niepotrzebna ekstynkcja całkowita  $A$  we wzorze (3);
- s. 14: niespójna wartość  $R_V = 2.953$  w Tabeli 2 i na stronie poprzedniej  $R_V = 3.1$ , i jeszcze w innym miejscu  $R_V = 3.24$  przy ciągłym powoływaniu się na to samo źródło (Schlegel i in. 1998); budzi to obawy co do zbyt różnych realizacji systemów fotometrycznych użytych do analizy niezredukowanych do jednego systemu;
- s. 18: niespójność ilości obserwacji w paśmie K (3-6) – na s. 16 "sześć razy";
- s. 33, 39, 40, 50, 56, 60: w prawych panelach rysunków czasem słabo widać obcięcie; na Rys. 17 i 23 nakładają się liczby opisujące poziome osie; może lepsza byłaby skala logarytmiczna w prawych panelach dla uwypuklenia obcięcia;
- s. 68: „rysunek 26” a nie „25”

Wśród wątpliwości i niedostatków merytorycznych, mój niepokój budzą:

1. Wielu astronomów nie zdaje sobie sprawy, że linowe rozwinięcie 1. stopnia względem wskaźnika barwy, podczas transformacji pomiędzy systemami fotometrycznymi jest słuszne póki widmo można przybliżyć rozkładem Wiena, opisującym stronę krótkofalową i maksimum widma. W przypadku gwiazd gorętszych od A0 ( $B-V < 0$ ), widmo w podczerwieni daleko odchodzi od takiego rozkładu i stosowanie do nich transformacji danej wzorem (1) ze strony 10. prowadzi do błędów. Na szczęście wszystkie gwiazdy analizowane w rozprawie to gwiazdy chłodne.
2. Rozrzut punktów na diagramach okres-jasność (Rys. 7) wydaje się dużo większy niż dokładność fotometrii JK. Amplituda zmian w tym zakresie jest mała, a odchyłki jasności J i K wydają się takie same dla odpowiednich gwiazd pomimo, że w barwie K jest to średnia aż sześciu (3-6?) pomiarów. Być może, więc błąd wynika z niedokładności okresu. Szkoda, że autor nie podjął próby chronometrażowej analizy swoich danych i nie sfazował ich z zakładanym okresem.
3. Autor nigdzie nie wykorzystuje informacji o wskaźnikach barwy analizowanych gwiazd i nie próbuje analizować diagramów kolor-kolor. Średnie kolory obliczane dla setek analizowanych punktów, mogłyby dać niezależną informację tak o ekstynkcji międzygwiazdowej (mimo małej wartości w podczerwieni) jak być może byłyby drogą do jakiejś separacji efektów związanych z metalicznością i wymieszaniem populacji.

Autorowi trochę brak odwagi by sformułować jasne wnioski ze swoich badań. Jednym z nich wydaje się, że mimo ogromnej statystyki średnia jasność gwiazd Red Clump nie spełnia w tej chwili kryterium dobrej świecy standardowej. Oczywiście dalsze badania, w tym postulowane w tej recenzji bardziej szczegółowa analiza osi kolorów (poziomej) prezentowanych diagramów HR (kolor-jasność) może tę pesymistyczną sytuację zmienić. Zostawmy jednak Red Clump bez żalu, bo są one o ok. 4 magnitudo (sześć razy bliżej w skali odległości) słabsze od TRGB!

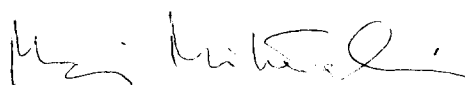
Zupełnie natomiast nie rozumiem, dlaczego autor unika zjedzenia przysłowiowej wisienki na szczycie ukręconego własnoręcznie tortu. Taką „wisienką” uważam powinno być jawne poprawienie punktów zerowych kalibracji danych wzorami (7-10) jasności bolometrycznej oraz IJK wierzchołka gałęzi czerwonych olbrzymów (TRGB). Zdumiewająca zbieżność między odpowiednimi podczerwonymi i bolometrycznym modułami odległości 4 galaktyk grupy lokalnej (Tabela 15) w pełni uzasadnia taką poprawkę, nawet jeśli ma charakter wyłącznie empiryczny. Cytowane w rozprawie kalibracje dane wzorami 7-10, z prac Ferraro i in. (2000), Bellazzini i Ferraro (2001) oraz Valenti, Ferraro i Orglia (2004) zostały wykonane w oparciu o fotometrię od 9 do 24 gromad kulistych w zakresie metaliczności ok. -2.2 do ok. -0.2 dex. W obrębie gromady kulistej możemy zakładać zarówno jednakowy wiek jak i metaliczność jej członków, a więc co za tym idzie obecność wyłącznie efektów ewolucyjnych, przy zupełnym braku przeklinanych przez autora efektów populacyjnych. Tymczasem wyniki autora dają prawdopodobnie pierwszą możliwość kalibracji uwzględniającej efekty populacyjne, a więc efekty mieszania w tych samych regionach diagramu HR gwiazd o różnych metalicznościach i etapach ewolucji. Nawet jeśli tego do końca nie rozumiemy, to wynik w sposób statystyczny i jak się wydaje bardzo dobry uwzględnia te efekty dla czterech badanych galaktyk. Badając kolejne galaktyki, być może uda się odnaleźć zależność punktów zerowych od jakichś prostych parametrów fotometrycznych lub nawet ich typu morfologicznego.

Wydaje się, że możliwość zaproponowania lepszego narzędzia określania odległości kolejnych galaktyk w oparciu o nowe kalibracje punktów zerowych jasności TRGB w galaktykach (a nie gromadach kulistych) może być najważniejszym i najbardziej rozwojowym wynikiem rozprawy. Taki wynik, opublikowany na podstawie doktoratu, powinien zapewnić dziesiątki cytowań, zarówno badaczy stosujących tę metodę do wyznaczania odległości do kolejnych galaktyk, jak również krytyków lub zwolenników metody, próbujących ją zrozumieć i wytłumaczyć.

Niesłusznym wzorem wielu fotometrystów, autor czuje jakby respekt w stosunku do danych spektroskopowych, zwłaszcza dotyczących metaliczności. Badania spektroskopowe oczywiście też obdarzone są błędami, w tym systematycznymi, wynikającymi głównie z efektów selekcji obserwacyjnej. Jednocześnie spektroskopia, nigdy nie dostarczy takiej statystyki danych, jaką dostarcza masowa fotometria. Rozprawa pana Marka Górskiego stanowi ważny wkład w analizę i wykorzystanie takich danych. W niektórych miejscach oczekiwałem nieco szerszego komentarza, jednak mając szczęście wysłuchania seminarium autora, mogę stwierdzić, że jest on prawdziwym erudyta w zakresie swojej problematyki badawczej, a jego praca jest dla mnie podstawą do określenia jej jako w pełni spełniającej formalne i ustawowe wymogi stawiane dziś rozprawom doktorskim. Wnoszę więc o kontynuowanie przewodu i dopuszczenie pana mgr Marka Górskiego do publicznej obrony swojej pracy.

Wszystkie cytowania w powyższej recenzji zgodne z cytowaniami i listą referencyjną (bibliografią) w rozprawie.

Toruń, 20 października 2014



dr hab. Maciej Mikołajewski

(prof. UMK)