

Recenzja rozprawy doktorskiej mgra Bartłomieja Zgirskiego pt. *Selected methods of precision distance determinations to nearby galaxies*

Tematem pracy są wybrane metody wyznaczania odległości za pomocą tzw. świec standardowych. W pierwszej kolejności autor na nowo kalibruje jasność absolutną węglowych gwiazd ze szczytu gałęzi asymptotycznej (AGB) oraz gwiazd typu RR Lyrae, a następnie używa ich do wyznaczenia odległości od kilku galaktyk. Dodatkowo autor stosuje metodę Baadego–Wesselinka do dwóch galaktycznych gwiazd typu RR Lyrae celem wyznaczenia tzw. czynnika rzutowania (p -factor) mając w dalszym zamyśle zastosowanie tej metody (wraz z kalibracją jasności powierzchniowej) także do wyznaczania odległości. Warto podkreślić, że wszystkie omawiane metody dotyczą podczerwonego zakresu widmowego.

Przedstawiona praca składa się z 5 rozdziałów oraz dodatku w postaci krzywych blasku badanych gwiazd typu RR Lyrae. Po Wstępie opisującym cel pracy autor przedstawia w Rozdziale 2 wykorzystany materiał obserwacyjny. Są to przede wszystkim obserwacje podczerwone oraz wizualne gwiazd typu RR Lyrae zebrane przez autora samodzielnie w obserwatorium Cerro Armazones w Chile. Uzupełnienie stanowią widma wysokiej rozdzielczości dwóch gwiazd typu RR Lyrae. Zarówno dane fotometryczne, jak i spektroskopowe zostały zredukowane przez autora pracy z zastosowaniem gotowych pakietów obliczeniowych.

Rozdziały 3 i 4 zawierają wyniki analizy danych obserwacyjnych, odpowiednio, gwiazd węglowych AGB oraz gwiazd typu RR Lyrae. Rozdział 4 podzielony jest dodatkowo na dwie części, z których pierwsza dotyczy kalibracji jasności absolutnej, a druga metody Baadego–Wesselinka oraz kalibracji jasności powierzchniowej. Na początku każdej wyróżnionej części pracy przedstawione jest podsumowanie stanu wiedzy na dany temat. W sposób kompetentny opisane są badane obiekty, ich przydatność do wyznaczania odległości oraz najnowsze wyniki.

Szczegółowa analiza materiału obserwacyjnego gwiazd węglowych przedstawiona jest w Rozdziale 3. Autor proponuje nową kalibrację jasności absolutnej w podczerwonym paśmie J i stosuje ją do wyznaczenia odległości 9 galaktyk. Kluczowa jest w tym podejściu średnia jasność gwiazd AGB w danej galaktyce. Gwiazdy te na wykresie barwa – jasność w paśmie J reprezentowane są przez dość zwarty obszar o stałej jasności (tzw. obszar JAGB). W tym celu mgr B. Zgirski wykorzystuje bardzo wyrafinowaną statystycznie metodę opartą na funkcji rozkładu gwiazd względem jasności, która uwzględnia symetryczny wkład od gwiazd AGB oraz zanieczyszczenie pochodzące od gwiazd i galaktyk tła. Rys. 10 wskazuje na dość silną zależność średniej jasności od przyjętego zakresu jasności ΔJ . O ile wzrost jasności dla dużych ΔJ można wytłumaczyć zwiększonym wkładem słabszych obiektów tła, o tyle nie bardzo jasna jest przyczyna spadku jasności od strony małych ΔJ . Ciekawe jak wygląda zależność średniej jasności od zakresu wskaźnika barwy.

Autor kalibruje średnią jasność absolutną JAGB za pomocą Obłoków Magellana przyjmując wyznaczone metodą układu podwójnego odległości do tych galaktyk. Biorąc pod uwagę różne bazy danych obserwacyjnych oraz metody wyznaczania jasności średniej uzyskane przez doktoranta wyniki porównują się w zgodzie z innymi wyznaczeniami. To pierwszy ważny wynik. Drugim jest zastosowanie wyznaczonej średniej jasności JAGB do wyznaczenia odległości 9 galaktyk (włączając SMC). Wartości

uzyskane przez mgra B. Zgirskiego są zgodne z wyznaczeniami opartymi na kalibracji jasności absolutnej cefeid klasycznych (widać to bardzo dobrze na Rys. 16; jedynym niewytłumaczalnym wyjątkiem jest NGC247). Warto zauważyć, że przedstawione wyniki zostały opublikowane przez doktoranta w czasopiśmie ApJ.

W obszernym Rozdziale 4 autor skupia się na gwiazdach typu RR Lyrae. Głównym celem jest tutaj ponowne wyznaczenie zależności okres – jasność absolutna (PL) oraz okres – metaliczność – jasność absolutna (PZL) dla tej klasy gwiazd pulsujących w oparciu o własne obserwacje *HJK* próbki 28 gwiazd. Autor wyznacza średnie jasności ważone strumieniem, a z nich jasności absolutne z uwzględnieniem właściwej poprawki na ekstynkcję międzygwiazdową oraz odległości uzyskanej czterema metodami opartymi w zasadzie na paralaksach pomierzonych w ramach misji GAIA. Nie bardzo rozumiem dlaczego autor nie używa litery π na oznaczenie paralaksy.

Zależności PL wyznaczone są poprzez dopasowanie linii prostej do odpowiednich danych z podziałem na trzy grupy gwiazd: tylko gwiazdy RRab, tylko gwiazdy RRc, wszystkie gwiazdy RR Lyrae, przy czym okresy gwiazd RRc sprowadzone są do okresu modu podstawowego (tzw. "fundamentalizacja" okresu). Należy zauważyć, że analizowana próbka gwiazd jest raczej małoliczna, a gwiazd podtypu RRc jest tylko 7. Wprawdzie, jak słusznie zauważa autor, zależności PL dla gwiazd RRab i RRc nie muszą mieć takie samo nachylenie, ale można było pokusić się o jednoczesne dopasowanie dwóch linii prostych o tym samym współczynniku kierunkowym do parametrów gwiazd RRab i RRc (bez poprawki okresu) z dodatkową niewiadomą w postaci przesunięcia w $\log(P/d)$ dla gwiazd RRc. Doktorant przeprowadził bardzo dokładną analizę błędów wyznaczenia jasności absolutnej. Czy w dopasowaniach były one uwzględnione poprzez ważenie? Autor poświęca sporo miejsca na dyskusję uzyskanych zależności PL i PZL oraz ich porównanie z innymi wyznaczeniami, w szczególności z wynikami Cusano i in. (2021) opartymi na ponad 22 tys. gwiazd RR Lyrae z LMC. Zwieńczeniem tej części rozprawy doktorskiej jest wyznaczenie modułów odległości dla kilku pobliskich galaktych, w tym obu Obłoków Magellana. Doktorant zauważa niepokojącą niezgodność pomiędzy własnymi wartościami i uzyskanymi z innych kalibracji i metod (red clump, TRGB). Stwierdza, że wyjaśnienie tych niezgodności wymaga dalszych badań oraz dokładniejszych paralaks z misji GAIA.

Ostatnia część pracy mgra B. Zgirskiego poświęcona jest zastosowaniu metody Baadego-Wesselinka oraz kalibracji jasności powierzchniowej (IRSB) w funkcji swoistego wskaźnika barwy $(V - K)_0$ do wyznaczenia czynnika rzutowania dla dwóch gwiazd typu RR Lyrae. Autor bardzo szczegółowo opisuje obie metody i przedstawia prosty model, w którym zmiany średnicy kątowej gwiazdy zależą od odpowiedniej całki z prędkości radialnej atmosfery gwiazdy. Według mnie uwzględnienie w dopasowaniu modelu do obserwacji przesunięcia fazowego $\Delta\phi$ pomiędzy krzywą blasku a krzywą prędkości radialnych jest niezbędne (widać to wyraźnie na Rys. 50). Dlatego pokazywanie dopasowań z $\Delta\phi$ nie ma sensu. Nasuwa się pytanie, czy $\Delta\phi$ nie można było wyznaczyć niezależnie bezpośrednio z krzywych blasku i prędkości radialnych. Uzyskane wyniki są ważne, ponieważ metoda Baadego-Wesselinka może być używana do wyznaczania odległości gwiazd pulsujących, a do jej właściwej kalibracji niezbędna jest znajomość zależności czynnika rzutowania od okresu pulsacji, czy też metaliczności.

Układ pracy jest poprawny. Tekst napisany jest w sposób zrozumiały. Autor nie uniknął drobnych błędów typograficznych związanych ze specyfiką zastosowanego systemu składu tekstu LaTeX. Są to np. wcięcia akapitowe po wzorach wystawionych, czy też użycie czcionki pochyłej w indeksach parametrów fizycznych (np. λ_{eff} zamiast λ_{eff}) lub samych wielkościach (np. $[Fe/H]$ zamiast $[Fe/H]$).

Praca zawiera także następujące drobne usterki merytoryczne, wynikające przeważnie z nieupraw-

nionych uproszczeń myślowych. Autor niekiedy myli odległość z modułem odległości ("distances are smaller by 0.013 mag"). Poczzerwienie (reddening) dotyczy jedynie wskaźników barwy, a nie jasności widomych (apparent magnitudes), dlatego według mnie określenia "unreddened magnitudes", "apparent (reddened) mean magnitudes", "dereddened V-band magnitude" itp. są niepoprawne. Właściwsze byłoby użycie np. "extinction-corrected magnitudes". W moim przekonaniu istnieje również wyraźna różnica pomiędzy parametrem fizycznym (np. odległością r), a pochodną wielkością bezwymiarową (np. parametr $x = r/pc$). W wielu wzorach pokazanych w pracy autor używa właśnie takich bezwymiarowych wielkości. Np. we wszystkich zależnościach okres – jasność absolutna P w istocie oznacza wielkość bezwymiarową równą okres podzielony przez dobę. Napisanie, że "period P is expressed in d" nie zmienia czegokolwiek, ponieważ P nadal jest parametrem z jednostką, zatem jest błędne. Tego typu uproszczenia prowadzą do karkołomnego stwierdzenia na str. 82, że "mas×kpc=AU"!

Praca mgra B. Zgirskiego zawiera oryginalne i wartościowe wyniki oparte w znacznym stopniu na samodzielnie zebranych materiałach obserwacyjnych. Autor wykazał się umiejętnością redukcji i opracowania danych fotometrycznych, spektroskopowych oraz astrometrycznych. Opis uzyskanych wyników jest poprawny, dodatkowo uzupełniony jest ich szczegółowym porównaniem z wynikami innych astronomów. Wskazuje to na bardzo dobrą orientację autora w tematyce pracy. Uzyskane dane obserwacyjne są bardzo wartościowe i stanowią trwały przyczynek do badań nad metodami wyznaczania odległości za pomocą kalibracji jasności absolutnej.

Podsumowując stwierdzam, że przedstawiona rozprawa spełnia formalne i zwyczajowe wymogi stawiane pracom doktorskim. Wnoszę o dopuszczenie mgra B. Zgirskiego do dalszych etapów przewodu doktorskiego.