

Uniwersytet Warszawski  
Wydział Fizyki  
Obserwatorium Astronomiczne

*Piotr Wielgórski*

*Nr albumu: 294546*

**Analiza wielobarwnych zależności  
okres-jasność dla wybranych  
gwiazd pulsujących w Obłokach  
Magellana**

*Praca magisterska  
na kierunku Astronomia*

Praca wykonana pod kierunkiem  
**prof. dra hab. Grzegorza Pietrzyńskiego**  
(Obserwatorium Astronomiczne UW)

Warszawa, lipiec 2014

## **Oświadczenie kierującego pracą**

Potwierdzam, że niniejsza praca została przygotowana pod moim kierunkiem i kwalifikuje się do przedstawienia jej w postępowaniu o nadanie tytułu zawodowego.

Data:

Podpis kierującego pracą:

## **Oświadczenie autora pracy**

Świadom odpowiedzialności prawnej oświadczam, że niniejsza praca dyplomowa została napisana przeze mnie samodzielnie i nie zawiera treści uzyskanych w sposób niezgodny z obowiązującymi przepisami.

Oświadczam również, że przedstawiona praca nie była wcześniej przedmiotem procedur związanych z uzyskaniem tytułu zawodowego w wyższej uczelni.

Oświadczam ponadto, że niniejsza wersja pracy jest identyczna z załączoną wersją elektroniczną.

Data:

Podpis autora pracy:

## **Streszczenie**

Korzystając z danych fotometrycznych z przeglądów OGLE (filtry  $V$ ,  $I$ ) oraz IRSF ( $J$ ,  $H$ ,  $K$ ), oraz okresów pulsacji, wyznaczonych przez zespół OGLE, po odczerwieniu danych, wyprowadzono zależności okres-jasność w pięciu filtrach oraz dwóch indeksach *wesenheit* dla cefeid klasycznych, cefeid anomalnych, cefeid II typu, OSARG-ów, mir oraz zmiennych półregularnych z Wielkiego i Małego Obłoku Magellana. Zależności okres-jasność dla gwiazd z Wielkiego Obłoku Magellana są zależnościami wzorcowymi i służą do pomiarów odległości do innych galaktyk, wykorzystano zatem wyprowadzone dla tej galaktyki zależności do wyznaczenia różnic modułów odległości Małego i Wielkiego Obłoku Magellana. Następnie utworzono prosty model obydwu galaktyk. W tym celu podzielono gwiazdy ze względu na przynależność do pól wydzielonych w Wielkim i Małym Obłoku Magellana w III fazie przeglądu OGLE i wykorzystując zależność okres-jasność wyznaczoną dla całej galaktyki zmierzono różnice modułów odległości środka danego pola i centrum galaktyki.

## **Słowa kluczowe**

cefeida, gwiazda pulsująca, zależność okres-jasność, Wielki Obłok Magellana, Mały Obłok Magellana

## **Dziedzina pracy (kody wg programu Socrates-Erasmus)**

13.7 Astronomia i Astrofizyka.

## **Tytuł pracy w języku angielskim**

Analysis of multicolour period-luminosity relations for pulsating stars in Magellanic Clouds



# Spis treści

<b>1. Wstęp</b> . . . . .	5
1.1. Pomiary odległości we Wszechświecie . . . . .	5
1.2. Gwiazdy pulsujące. Zależność okres-jasność dla gwiazd pulsujących jako świeca standardowa . . . . .	7
<b>2. Zależności okres-jasność w Wielkim i Małym Obłoku Magellana</b> .	11
2.1. Dane . . . . .	11
2.2. Wyznaczanie poprawek jasności . . . . .	11
2.2.1. Ekstynkcja . . . . .	11
2.2.2. Geometria Wielkiego Obłoku Magellana . . . . .	12
2.3. Dopasowywanie zależności . . . . .	15
2.4. Wyniki . . . . .	20
2.4.1. Cefeidy klasyczne . . . . .	20
2.4.2. Cefeidy anomalne . . . . .	26
2.4.3. Cefeidy II typu . . . . .	28
2.4.4. OSARG . . . . .	38
2.4.5. Miry . . . . .	43
2.4.6. Zmienne półregularne . . . . .	47
<b>3. Wzajemna odległość Obłoków Magellana</b> . . . . .	55
<b>4. Geometria Obłoków Magellana</b> . . . . .	61
4.1. Wielki Obłok Magellana . . . . .	61
4.2. Mały Obłok Magellana . . . . .	67

<b>5. Dyskusja wyników</b> . . . . .	71
5.1. Zależności okres-jasność . . . . .	71
5.2. Wzajemna odległość Obłoków Magellana . . . . .	72
5.3. Geometria Obłoków Magellana . . . . .	73
<b>6. Podsumowanie</b> . . . . .	75

# 1. Wstęp

Precyzyjna kalibracja skali odległości we Wszechświecie jest jednym z najważniejszych zadań współczesnej astronomii. Bez znajomości odległości niemożliwe jest stworzenie prawidłowego modelu Wszechświata czy też poznanie natury obiektów w nim istniejących. Wyznaczenie jej, jest niestety również zadaniem tak skomplikowanym, że pomimo istnienia wielu metod, wciąż poszukiwane są nowe. Pierwszy wiarygodny pomiar odległości do gwiazdy został wykonany w 1838 roku przez niemieckiego astronoma i matematyka Friedricha Bessela (1784-1846). Wykorzystał on fakt, że w wyniku ruchu orbitalnego Ziemi gwiazdy bliższe zmieniają swoje położenie na tle odleglejszych, czyli zjawisko paralaksy (Bessel, 1838). Niestety liczba gwiazd, dla których można było zastosować tą metodę była mocno ograniczona, ze względu na dokładność wymaganą do pomiarów zmian położenia gwiazd. Bezpośrednimi informacjami, jakie można było uzyskać o ciałach niebieskich były jasności obserwowane, prędkości radialne, skład chemiczny, zatem ewentualne nowe metody musiały ograniczać się tylko do tych parametrów. Na szczęście okazało się, że istnieją we Wszechświecie obiekty, które mają dość dokładnie określone jasności absolutne, czyli tzw. świece standardowe. Poprzez porównanie ich jasności obserwowanej z jasnością absolutną możliwe jest wyznaczenie odległości. Obecnie znanych jest wiele świec standardowych, a jednymi z najważniejszych są omawiane w niniejszej pracy zależności okres-jasność dla gwiazd pulsujących. Kalibracja tych zależności, jak również jasności absolutnych pozostałych świec standardowych, jest więc podstawą precyzyjnego wyznaczania odległości we Wszechświecie.

## 1.1. Pomiary odległości we Wszechświecie

Pomiary odległości do galaktyk odbywają się w sposób hierarchiczny (tzw. drabina odległości) i mogą być prowadzone dwiema drogami. Pierwsza z nich zaczyna się na pomiarach paralaks pobliskich gwiazd. Odległość do gwiazdy (w parsekach), której kąt paralaksy (wyrażony w sekundach łuku) wynosi  $\pi$  wyraża się wzorem:

$$D = \frac{1}{\pi}. \quad (1.1)$$

Jeżeli gwiazdy o zmierzonych paralaksach są jednocześnie świecami standardowymi, można skalibrować ich jasności absolutne. Następnie za pomocą tych świec mierzymy odległości do pobliskich galaktyk i obserwując w nich gwiazdy supernowe, kalibrujemy ich jasności absolutne, dzięki czemu możemy mierzyć odległości do dalszych galaktyk. Przykładami świec standardowych są gwiazdy pulsujące typu  $\delta$  *Cephei* i *RR Lyrae*, obszar diagramu Hertzsprunga-Russela zwany punktem odgięcia gałęzi czerwonych olbrzymów (TRGB, ang. Tip of the Red Giant Branch), gwiazdy supernowe. Jasność absolutna świecy standardowej  $M$ , jasność obserwowana  $m$  oraz odległość  $D$  wyrażona w parsekach są ze sobą związane formułą:

$$m - M = 5 \log D - 5 + a, \quad (1.2)$$

gdzie  $a$  oznacza ekstynkcję. Często zamiast odległości  $D$  podawana jest wielkość  $m - M$ , zwana modułem odległości. Problem na tej ścieżce pojawia się niestety już na samym początku. Liczba gwiazd, dla których obecnie możliwy jest wystarczająco dokładny pomiar paralaksy jest rzędu kilkuset, zatem nawet jeśli znajdzie się wśród tych gwiazd świeca standardowa, próbka będzie niewystarczająca do dokładnej kalibracji jasności absolutnej świecy. Dlatego praktyczne zastosowanie częściej znajduje druga ścieżka choć możliwe jest, że w niedalekiej przyszłości, dzięki pomiarom wystrzelonej w 2013 roku sondy *GAI*A, uda się zmierzyć z dużą dokładnością paralaksy ponad stu milionów gwiazd w Drodze Mlecznej (Turon et al., 2012).

Druga ścieżka rozpoczyna się na pobliskiej galaktyce- Wielkim Obłoku Magellana. Jest to jedna z najbliższych Drodze Mlecznej galaktyk, stanowiąca doskonałe laboratorium do badania różnego typu gwiazd, znajdujących się od nas w bardzo podobnej odległości. Jeśli uda się jakąś metodą zmierzyć dokładną odległość Obłoku, obserwując w nim gwiazdy będące świecami standardowymi można kalibrować ich jasności absolutne i mierzyć za ich pomocą odległości do odleglejszych galaktyk, w których obserwowane są supernowe. Dzięki temu kalibrowane są jasności absolutne supernowych, co pozwala mierzyć odległości do jeszcze odleglejszych galaktyk. Kluczem do dokładnej kalibracji skali odległości jest więc precyzyjne wyznaczenie odległości do Wielkiego Obłoku Magellana. Na temat odległości tej galaktyki opublikowano setki prac (Schaefer, 2008). Najdokładniejszy jak dotąd pomiar uzyskali Pietrzyński et al. (2013), wykorzystując do pomiaru układy podwójne czerwonych olbrzymów. Mierząc fizyczne oraz kątowe średnice gwiazd, wyznaczyli odległość do Wielkiego Obłoku Ma-



gellana z dokładnością sięgającą 2% na  $49,97kpc$  ( $m - M = 18,493$ ).

## 1.2. Gwiazdy pulsujące. Zależność okres-jasność dla gwiazd pulsujących jako świeca standardowa

Holenderski astronom David Fabricius (1564-1617) w 1596 roku zaobserwował, że jedna z gwiazd w gwiazdozbiornie Wieloryba, Mira Ceti, regularnie zmienia swoją jasność pojawiając się i znikając co kilka miesięcy. W późniejszych wiekach podobną zmienność odnotowywano u innych gwiazd m.in.  $\delta$  Cephei. Początkowo sądzono, że gwiazdy te są układami podwójnymi zaćmieniowymi lecz pod koniec XIX wieku August Ritter (1826-1908) zasugerował, że za zmiany jasności odpowiedzialne są zmiany powierzchni gwiazd, czyli pulsacje (Ritter, 1898), co w 1914 roku udowodnił Harlow Shapley (1885-1972) (Shapley, 1914). Przyczyną pulsacji jest istnienie wewnątrz gwiazdy na odpowiednio małej głębokości strefy, która jest bardziej nieprzezroczysta dla promieniowania niż warstwy sąsiednie. Warstwę taką może stanowić hel, w którym elektrony obsadzają wysokie stany energetyczne. Ciśnienie promieniowania pod tą warstwą sprawia, że jest ona unoszona do góry. W wyniku spadku temperatury w warstwie elektrony rekombinują i obsadzają niższe stany i staje się ona coraz bardziej przezroczysta tak, że promieniowanie pochodzące z wnętrza gwiazdy łatwiej wydobywa się na zewnątrz. Ciśnienie promieniowania spada i warstwa ponownie opada ku środkowi gwiazdy. Sytuacja taka zachodzi w sposób cykliczny, do momentu, aż w wyniku ewolucji zaniknie nieprzezroczysta warstwa, lub znajdzie się ona na głębokości uniemożliwiającej zachodzenie pulsacji.

W analogii do drgającej struny, pulsacje radialne gwiazd mogą zachodzić w sposób wielomodalny. Jeżeli cała gwiazda jednocześnie kurczy się albo rozszerza mówimy o pulsacjach w modzie podstawowym (odpowiada to drganiom struny, gdy istnieją tylko dwa węzły na końcach). Jeśli wewnątrz gwiazdy jest warstwa nie biorąca udziału w pulsacjach tzn. poniżej warstwy gwiazda kurczy się, powyżej rozszerza lub odwrotnie, to gwiazda pulsuje w pierwszym modzie wzbudzonym (pierwszym owertonie) i odpowiada to drganiom struny, gdy pojawia się na niej dodatkowy węzeł zlokalizowany na środku. Gdy istnieje więcej nieruchomych warstw mówimy kolejno o drugim, trzecim itd. modzie wzbudzonym. Może się zdarzyć, że gwiazda pulsuje w kilku modach

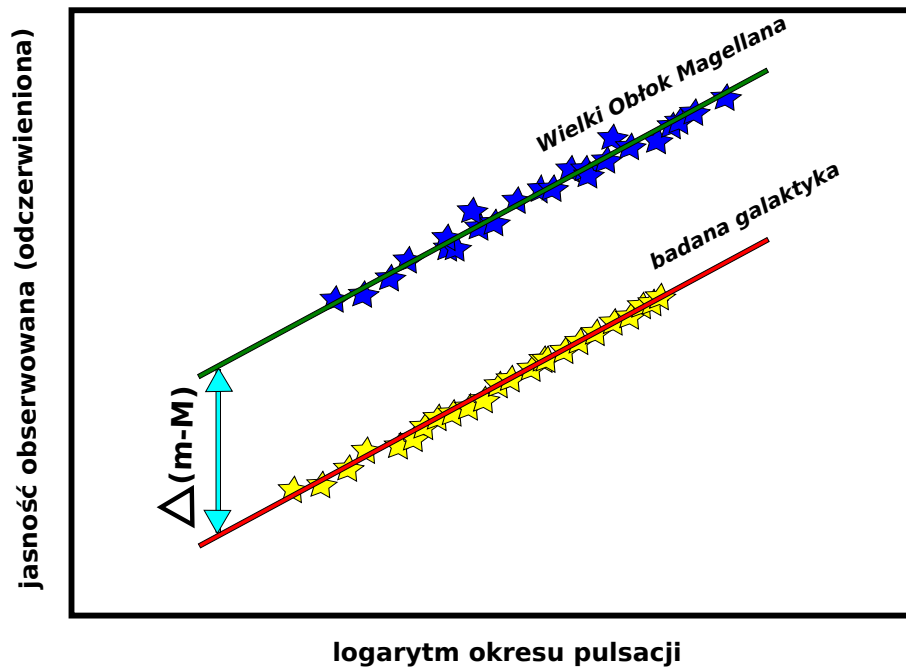
jednocześnie.

Wyróżnianych jest wiele typów gwiazd pulsujących, gdyż w zależności od parametrów fizycznych gwiazd oraz statusu ewolucyjnego pulsacje zachodzą w różny sposób. Najbardziej znane gwiazdy pulsujące- cefeidy klasyczne- są gwiazdami pierwszej populacji kończącymi syntezę wodoru w jądrze, czyli znajdującymi się na granicy ciągu głównego i tuż po nim. Ich masy wynoszą średnio kilkanaście mas Słońca a typy widmowe pomiędzy F5 i G5. Wspomniane wcześniej gwiazdy typu Mira Ceti są małomasywne (średnio około 2 mas Słońca) i znajdują się na gałęzi asymptotycznej diagramu Hertzsprunga-Russela. Są one gwiazdami zarówno pierwszej, jak i drugiej populacji o typach widmowych M i C. Innymi gwiazdami, omawianymi w niniejszej pracy są cefeidy anomalne, cefeidy II typu, OSARG-i (ang. OGLE Small Amplitude Red Giants) oraz zmienne półregularne.

W 1908 roku, amerykańska astronom Henrietta Swan Leavitt (1868-1921) po wykreśleniu zależności średniej jasności cefeid obserwowanych w Wielkim Obłoku Magellana od logarytmu okresu ich pulsacji zauważyła, że dłuższymi okresami pulsacji gwiazd odpowiadają większe jasności i zależność pomiędzy tymi parametrami ma charakter liniowy (Leavitt, 1908). Analogiczna zależność dla cefeid z Małego Obłoku Magellana również była linią o zbliżonym nachyleniu jednak nieco przesuniętą w kierunku mniejszych jasności. Wynikało z tego, że zależność ta może być uniwersalna dla cefeid. Późniejsze badania potwierdziły te przypuszczenia więc cefeidy, a właściwie ich zależność okres-jasność, były dobrymi kandydatami na świece standardowe. Obserwacje innych gwiazd pulsujących również wykazały istnienie tego typu zależności.

Aby wyznaczyć odległość korzystając z zależności okres-jasność należy znaleźć zależność wzorcową. Obserwując gwiazdy pulsujące w Wielkim Obłoku Magellana, możemy wykreślić dla nich obserwowaną zależność okres jasność. Ze względu na bliskość tej galaktyki, stosunkowo niewielką ekstynkcję i mnogość gwiazd pulsujących w niej występujących, zależności okres-jasność w niej obserwowane uznawane są za wzorcowe, czyli że dla danego typu gwiazd pulsujących w innych galaktykach nachylenie zależności jest identyczne jak w Wielkim Obłoku Magellana. Następnie do danych z badanej galaktyki dopasowujemy punkt zerowy zależności o nachyleniu takim jak w zależności wzorcowej. Różnica pomiędzy punktami zerowymi zależności dopasowanej dla badanej galaktyki i zależności wzorcowej jest różnicą modułów odległości galaktyki i Wielkiego Obłoku Magellana. Proces ten został zilustrowany na rysunku

1.1. Aby otrzymać moduł odległości galaktyki, do tej różnicy należy dodać moduł odległości Wielkiego Obłoku Magellana.



Rysunek 1.1: Schemat przedstawiający metodę wyznaczania różnicy modułów odległości pomiędzy galaktykami z wykorzystaniem zależności okres jasność.



## 2. Zależności okres-jasność w Wielkim i Małym Obłoku Magellana

### 2.1. Dane

Badanymi w niniejszej pracy gwiazdami pulsującymi są cefeidy klasyczne, anomalne oraz drugiego typu (BL Her, RV Tau, W Vir), miry, OSARG-i oraz zmienne półregularne. Do wyprowadzenia zależności okres-jasność dla tych gwiazd w Obłokach Magellana wykorzystano dane z dwóch przeglądów nieba. Zespół OGLE (Optical Gravitational Lensing Experiment) (Udalski et al., 1997) za pomocą znajdującego się w obserwatorium Las Campanas w Chile teleskopu warszawskiego o średnicy 1,3m prowadził obserwacje w pasmach V ( $0,543\mu m$ ) oraz I ( $0,809\mu m$ ). Katalog OGLE zawiera również okresy pulsacji gwiazd. Użyte dane zbierane były w ramach trzeciej fazy projektu OGLE (Udalski et al., 2008). Dane te zostały wzbogacone o 28 cefeid klasycznych pulsujących w modzie podstawowym o długich okresach pulsacji, obserwowanych w ramach głębokiego przeglądu Wielkiego Obłoku Magellana również prowadzonego przez zespół OGLE (Ulaczyk et al., 2013). Drugim projektem jest IRSF (Infrared Survey Facility) (Glass & Nagata, 2000), którego teleskop o średnicy zwierciadła 1,4m znajduje się w Południowoafrykańskim Obserwatorium Astronomicznym (ang. South African Astronomical Observatory). Obserwacje w ramach tego projektu prowadzone są w filtrach podczerwonych J ( $1,25\mu m$ ), H ( $1,63\mu m$ ) oraz K ( $2,14\mu m$ ). Dane z projektu IRSF zostały dowiązane do danych z katalogu OGLE.

### 2.2. Wyznaczanie poprawek jasności

#### 2.2.1. Ekstynkcja

W celu wyznaczenia ekstynkcji skorzystano z map poczerwienienia w Obłokach Magellana, opisanych w pracy Haschke et al. (2011). Na podstawie współrzędnych gwiazd, z map otrzymano dla nich różnicę ekstynkcji w filtrach V oraz I  $E(V - I)$ . W celu otrzymania  $E(B - V)$  wartość  $E(V - I)$  pomnożono, jak sugerują twórcy map, przez wynikającą z prawa poczerwienienia wartość 1.38. Do otrzymanego w ten

sposób poczerwienienia dodano wartość ekstynkcji powodowanej przez Galaktykę, która jak podaje Schlegel et al. (1997) w kierunku LMC wynosi średnio  $0.075mag$ , natomiast w kierunku SMC  $0.037mag$ .

Do obliczenia wartości poczerwienienia dla poszczególnych filtrów skorzystano z formuł opisanych w pracy Cardelli et al. (1989), przyjmując  $\frac{A(V)}{E(B-V)} = 3.1$ . Współczynniki  $\frac{A_\lambda}{A(V)}$ , pozwalające obliczyć ekstynkcję selektywną, przedstawia tabela 2.1.

$\frac{A_V}{A(V)}$	1.014
$\frac{A_I}{A(V)}$	0.585
$\frac{A_J}{A(V)}$	0.282
$\frac{A_H}{A(V)}$	0.180
$\frac{A_K}{A(V)}$	0.118

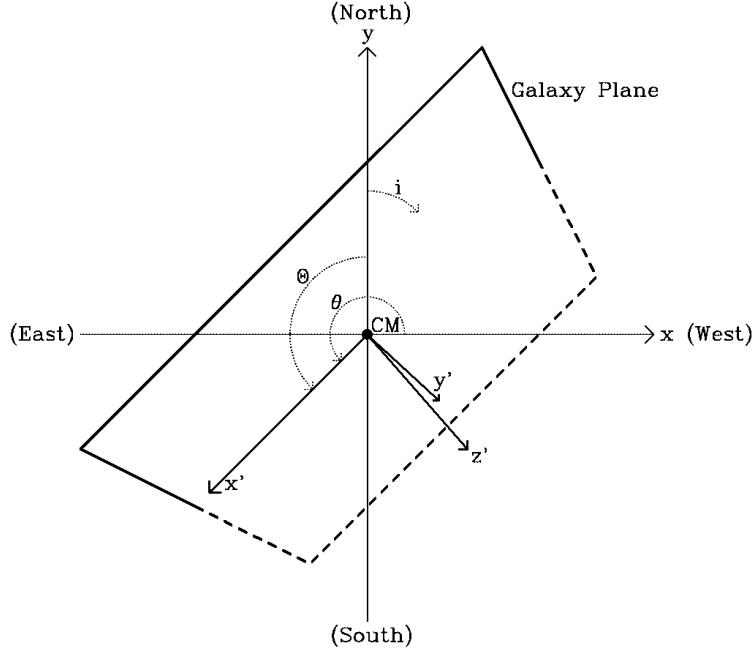
Tablica 2.1: Współczynniki pozwalające obliczyć ekstynkcję selektywną.

### 2.2.2. Geometria Wielkiego Obłoku Magellana

Niedokładność wyznaczenia zależności okres-jasność wynika również z różnych odległości do poszczególnych gwiazd. W przypadku Małego Obłoku Magellana, wyznaczenie wartości poprawek zmniejszających wpływ tego efektu jest obecnie niemożliwe, ze względu na zbyt słabą znajomość skomplikowanej geometrii tej galaktyki. Z kolei budowa Wielkiego Obłoku Magellana jest poznana dość dobrze, aby możliwe było wyznaczenie takich poprawek. Korzystając z modelu opisanego przez van der Marel & Cioni (2001) wyznaczono różnicę modułów odległości poszczególnych gwiazd, względem centrum LMC ( $\alpha = 5^h25^m06^s$ ,  $\delta = -69^\circ47'00''$ , (za Pietrzyński et al. (2013))).

Wielki Obłok Magellana modelowany jest jako płaszczyzna, co przedstawione jest na rysunku 2.1. Z płaszczyzną tą związany jest układ współrzędnych  $x'y'z'$ , którego początek znajduje się w centrum Wielkiego Obłoku Magellana. Drugi układ współrzędnych,  $xyz$ , również ma początek w centrum Obłoku i wiąże się z wyróżnionymi kierunkami na sferze niebieskiej. Oś  $y$  skierowana jest na północ, natomiast oś  $x$  w kierunku zachodnim. Oś  $x'$  leży w płaszczyźnie  $xy$  i pokrywa się z "linią węzłów" płaszczyzny Wielkiego Obłoku Magellana. Za kąt  $\theta$ , będący kątem pomiędzy osiami

$x$  i  $x'$  przyjęto wartość  $128^\circ$ , natomiast za kąt nachylenia płaszczyzny do kierunku widzenia  $i$ , czyli inklinację,  $28^\circ$  (Pietrzyński et al., 2013).



Rysunek 2.1: Model Wielkiego Obłoku Magellana z zaznaczonymi stosowanymi układami współrzędnych oraz kątami  $\theta$  i  $i$ , definiującymi położenie galaktyki względem kierunku widzenia (van der Marel & Cioni, 2001).

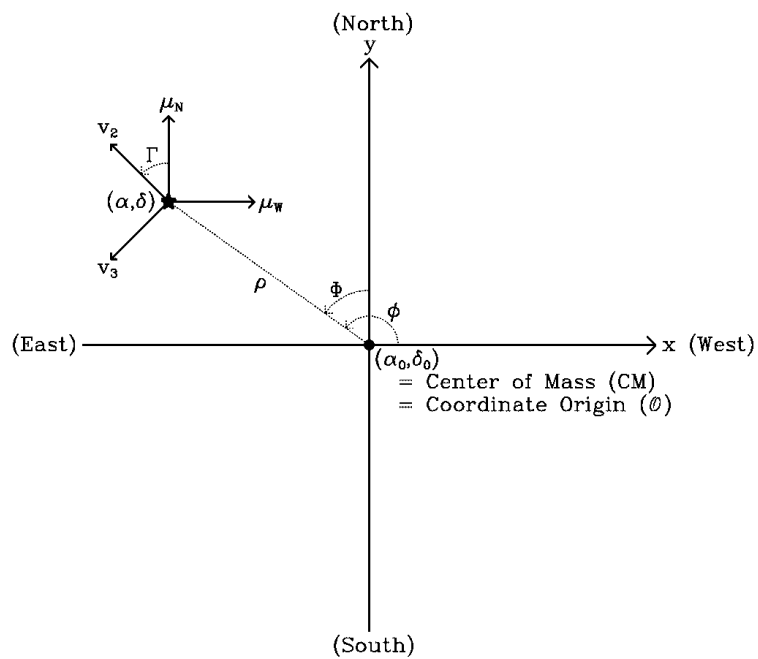
Na podstawie współrzędnych gwiazd wyznaczona została kątowa odległość gwiazdy  $\rho$  od centrum galaktyki oraz kąt  $\phi$  pomiędzy osią  $x$  i promieniem  $\rho$  (por. rysunek 2.2). Po przetransformowaniu współrzędnych  $\rho$  i  $\phi$  na  $x'$ ,  $y'$ , ( $z' = 0$ ) okazuje się, że odległość do gwiazdy  $D$  można obliczyć ze wzoru:

$$D = \frac{D_0 \cos i}{\cos i \cos \rho - \sin i \sin \rho \sin(\phi - \theta)}. \quad (2.1)$$

gdzie  $D_0$  jest odległością centrum Wielkiego Obłoku Magellana. Poprawka jasności  $\mu$ , wynikająca z różnicy odległości gwiazdy i centrum Wielkiego Obłoku Magellana wyraża się wzorem:

$$\mu = 5 \log \frac{D}{D_0}. \quad (2.2)$$

Otrzymaną w ten sposób poprawkę, należało odjąć od jasności gwiazd.



Rysunek 2.2: Schemat przedstawiający współrzędne  $\rho$  i  $\phi$  gwiazdy o rektascensji  $\alpha$  i deklinacji  $\delta$  (van der Marel & Cioni, 2001).



## 2.3. Dopasowywanie zależności

Oprócz zależności okres-jasność w pięciu wymienionych wcześniej filtrach, wyprowadzono również zależności dla indeksów wesenheit dla filtrów  $V$  i  $I$  oraz  $J$  i  $K$ . Współczynnik Wesenheit dla dwóch filtrów  $X$  oraz  $Y$  wyraża się wzorem:

$$W_{XY} = M_X - R_{XY}(M_Y - M_X), \quad (2.3)$$

gdzie  $M_X$  i  $M_Y$  oznaczają jasności w filtrach  $X$  i  $Y$ , natomiast  $R_{XY}$  jest wynikającym z prawa poczerwienienia stosunkiem poczerwienienia w filtrze  $X$  do różnicy poczerwienienia w filtrach  $Y$  i  $X$  ( $\frac{A(X)}{E(Y-X)}$ ). Dla filtrów  $V$  oraz  $I$   $R_{VI} = 1,55$  natomiast dla  $J$  i  $K$   $R_{JK} = 0,686$  (Soszynski et al., 2007). Można udowodnić, że indeks wesenheit jest wielkością niezależną od poczerwienienia.

Rysunki 2.3, 2.4, 2.5, 2.6, 2.7, 2.8, 2.9 (kolory na wszystkich wykresach odpowiadają tym samym typom gwiazd) pokazują zależności okres-jasność wszystkich badanych gwiazd z Wielkiego Obłoku Magellana dla wszystkich filtrów oraz użytych indeksów wesenheit. Widać, że w większości zależności mają charakter liniowy, jednak w niektórych przypadkach zależność przypomina kwadratową. W sytuacji, gdy nie było pewne, jaki jest charakter danej zależności dopasowano zarówno zależność liniową jak i kwadratową, a następnie wybierano tę, dla której mniejszy był rozrzut punktów.

Dla zależności liniowych należało więc dopasować prostą o równaniu:

$$M = \alpha \log(P) + \beta, \quad (2.4)$$

do kwadratowych natomiast parabolę

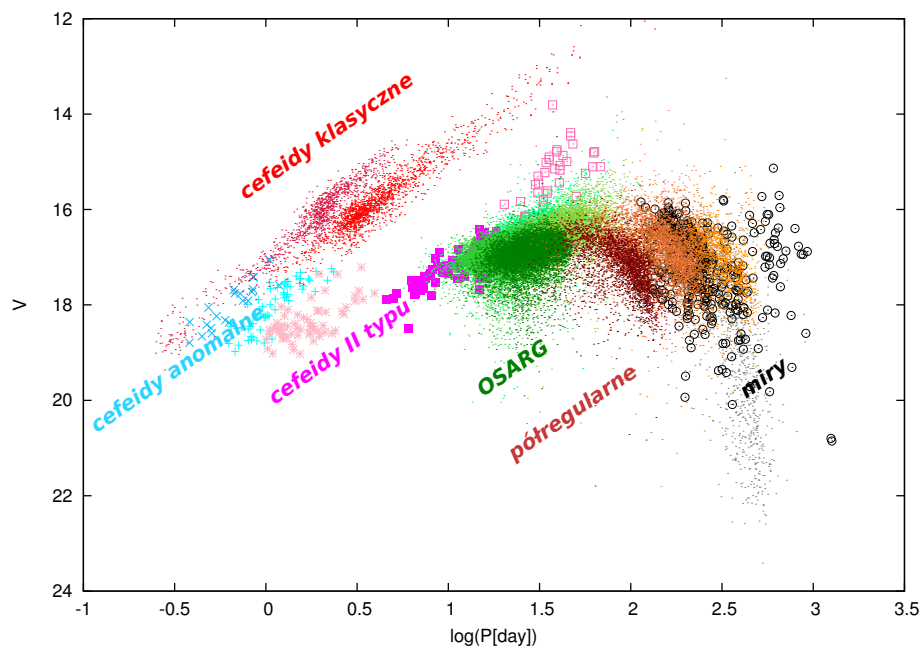
$$M = \alpha (\log(P))^2 + \beta \log(P) + \gamma. \quad (2.5)$$

Dopasowania zależności dokonano wykorzystując standardową metodę najmniejszych kwadratów, czyli szukano takich współczynników  $\alpha$ ,  $\beta$  i  $\gamma$ , które minimalizowały wyrażenie:

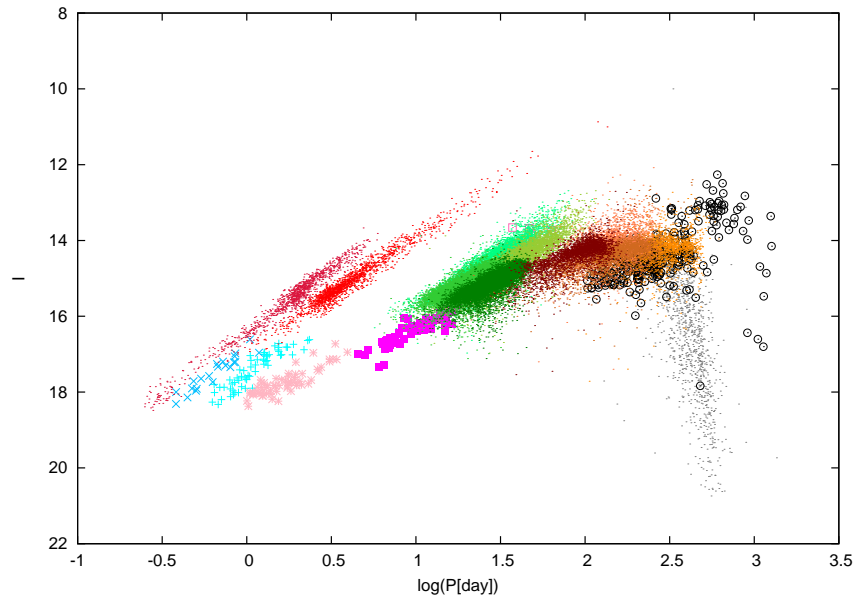
$$\sigma^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (m_i - M(\log P_i))^2, \quad (2.6)$$

gdzie  $N$  jest liczbą gwiazd,  $m_i$  jasnością  $i$ -tej gwiazdy w danym filtrze,  $M(\log P_i)$  jasnością gwiazdy, wynikającą z dopasowywanej zależności.

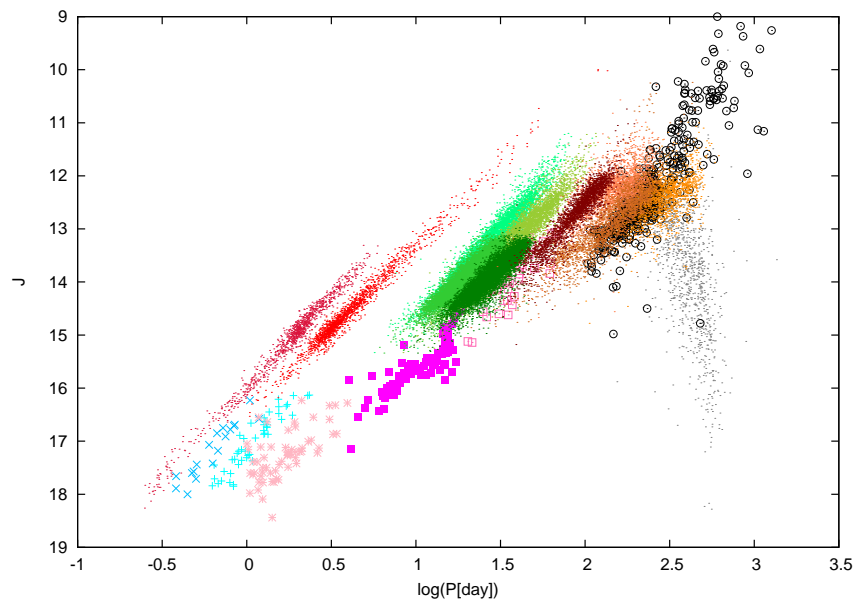
W celu precyzyjnego dopasowania dane odstające od otrzymanej zależności o więcej niż  $3\sigma$  były usuwane i zależność dopasowywano na nowo. Taki schemat wykonano dwukrotnie. W przypadku gwiazd z LMC, dla każdego pasma dopasowano trzy zależności- dla danych oryginalnych, odczerwienionych oraz odczerwienionych i poprawionych ze względu na różnice odległości gwiazd, natomiast dla Małego Obłoku Magellana po dwie: dla danych nieodczerwienionych oraz odczerwienionych.



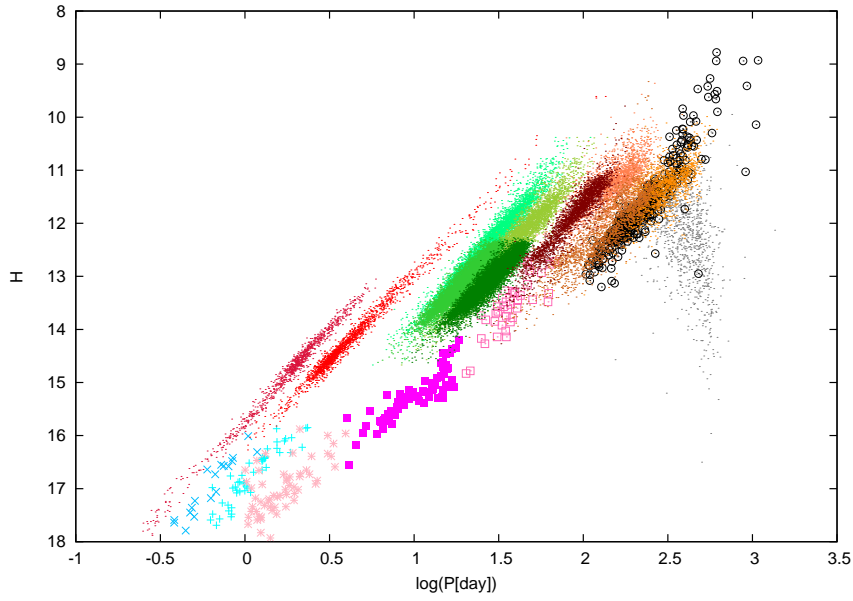
Rysunek 2.3: Jasność w filtrze  $V$  vs logarytm okresu pulsacji dla wszystkich badanych typów gwiazd pulsujących z Wielkiego Obłoku Magellana.



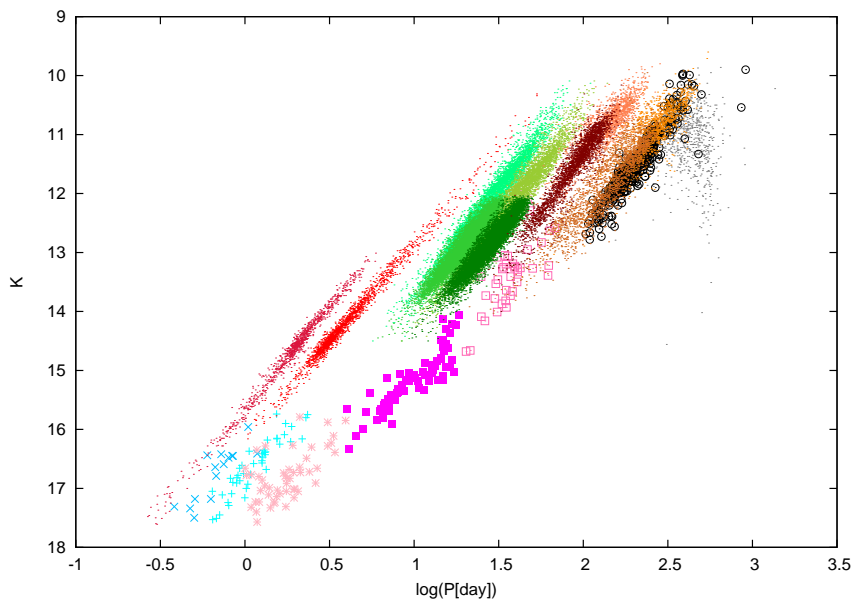
Rysunek 2.4: Jasność w filtrze  $I$  vs logarytm okresu pulsacji dla wszystkich badanych typów gwiazd pulsujących z Wielkiego Obłoku Magellana.



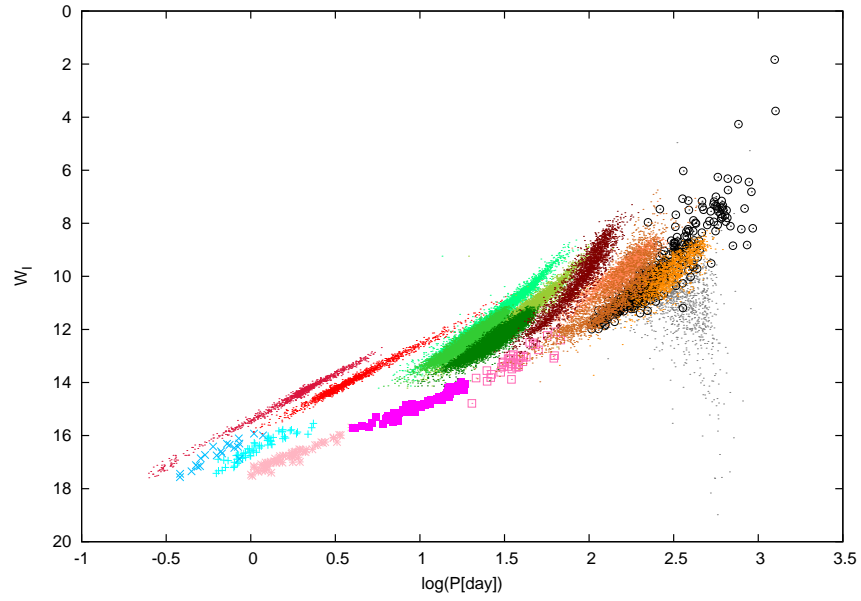
Rysunek 2.5: Jasność w filtrze  $J$  vs logarytm okresu pulsacji dla wszystkich badanych typów gwiazd pulsujących z Wielkiego Obłoku Magellana.



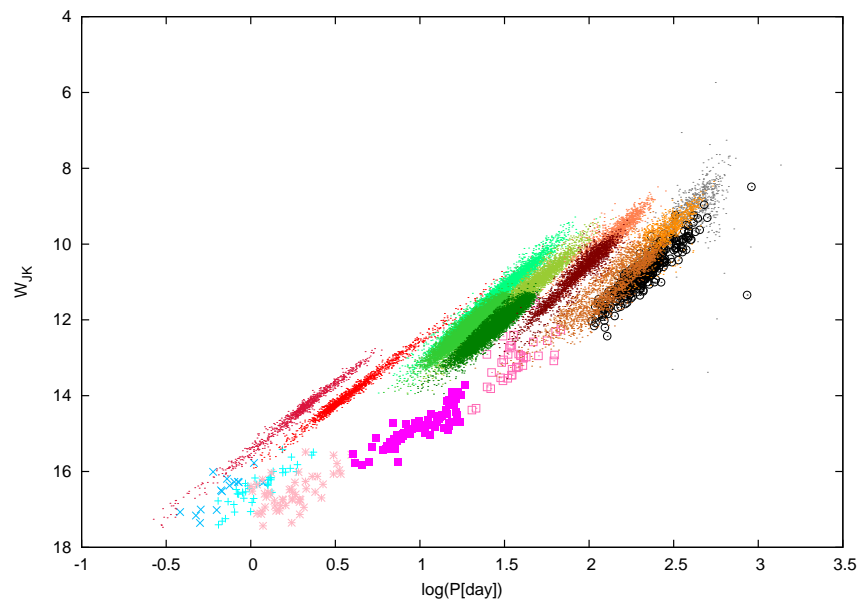
Rysunek 2.6: Jasność w filtrze  $H$  vs logarytm okresu pulsacji dla wszystkich badanych typów gwiazd pulsujących z Wielkiego Obłoku Magellana.



Rysunek 2.7: Jasność w filtrze  $K$  vs logarytm okresu pulsacji dla wszystkich badanych typów gwiazd pulsujących z Wielkiego Obłoku Magellana.



Rysunek 2.8: Indeks wesenheit  $W_I$  vs logarytm okresu pulsacji dla wszystkich badanych typów gwiazd pulsujących z Wielkiego Obłoku Magellana.



Rysunek 2.9: Indeks wesenheit  $W_{JK}$  vs logarytm okresu pulsacji dla wszystkich badanych typów gwiazd pulsujących z Wielkiego Obłoku Magellana.

## 2.4. Wyniki

### 2.4.1. Cefeidy klasyczne

W tabelach 2.2 i 2.3 zamieszczone zostały współczynniki zależności okres-jasność, otrzymane dla cefeid klasycznych pulsujących w modzie podstawowym w Wielkim i Małym Obłoku Magellana, odpowiadające dopasowaniu rozrzuty punktów  $\sigma$  oraz liczby gwiazd, które posłużyły do wyprowadzenia zależności  $N$ . Wszystkie zależności są zależnościami liniowymi.

Filtr	$\alpha$	$\beta$	$\sigma$	$N$
LMC				
$V$	$-2.769 \pm 0.021$	$17.537 \pm 0.014$	0.230	1796
	$-2.755 \pm 0.018$	$17.087 \pm 0.012$	0.199	1793
	$-2.753 \pm 0.018$	$17.089 \pm 0.012$	0.202	1796
$I$	$-2.966 \pm 0.015$	$16.886 \pm 0.010$	0.155	1773
	$-2.960 \pm 0.014$	$16.628 \pm 0.009$	0.142	1781
	$-2.958 \pm 0.014$	$16.630 \pm 0.009$	0.145	1783
$J$	$-3.112 \pm 0.011$	$16.431 \pm 0.007$	0.119	1752
	$-3.108 \pm 0.010$	$16.304 \pm 0.007$	0.114	1752
	$-3.108 \pm 0.011$	$16.307 \pm 0.007$	0.118	1756
$H$	$-3.214 \pm 0.009$	$16.176 \pm 0.006$	0.098	1749
	$-3.213 \pm 0.009$	$16.096 \pm 0.006$	0.095	1751
	$-3.205 \pm 0.009$	$16.094 \pm 0.006$	0.099	1752
$K$	$-3.244 \pm 0.009$	$16.112 \pm 0.006$	0.089	1752
	$-3.242 \pm 0.008$	$16.059 \pm 0.006$	0.088	1752
	$-3.238 \pm 0.009$	$16.058 \pm 0.006$	0.093	1755
$W_I$	$-3.329 \pm 0.008$	$15.903 \pm 0.005$	0.083	1779
	$-3.327 \pm 0.009$	$15.904 \pm 0.006$	0.087	1776
$W_{JK}$	$-3.329 \pm 0.008$	$15.884 \pm 0.005$	0.083	1746
	$-3.330 \pm 0.009$	$15.887 \pm 0.006$	0.089	1750

Tablica 2.2: Zależności okres-jasność dla cefeid klasycznych w modzie podstawowym w Wielkim Obłoku Magellana.

W przypadku Wielkiego Obłoku Magellana dla każdego filtru podane są trzy zestawy współczynników: pierwszy dla danych nieodczerwienionych, drugi dla danych odczerwienionych oraz trzeci dla danych odczerwienionych i poprawionych ze względu na geometrię Obłoku, dla indeksów wesenheit dwa zestawy: dla danych nieodczerwienionych, oraz poprawionych ze względu na geometrię. Dla Małego Obłoku Magellana dla filtrów podane są po dwie zależności: dla danych nieodczerwienionych i odczerwienionych, natomiast dla indeksów wesenheit jedna, dla danych nieodczerwienionych.

Filtr	$\alpha$	$\beta$	$\sigma$	$N$
SMC				
$V$	$-2.901 \pm 0.019$	$17.994 \pm 0.009$	0.271	2563
	$-2.905 \pm 0.018$	$17.776 \pm 0.009$	0.267	2569
$I$	$-3.129 \pm 0.015$	$17.411 \pm 0.007$	0.218	2581
	$-3.132 \pm 0.014$	$17.284 \pm 0.007$	0.214	2581
$J$	$-3.280 \pm 0.013$	$17.019 \pm 0.007$	0.193	2381
	$-3.281 \pm 0.013$	$16.957 \pm 0.006$	0.191	2378
$H$	$-3.365 \pm 0.012$	$16.755 \pm 0.006$	0.177	2374
	$-3.366 \pm 0.012$	$16.715 \pm 0.006$	0.175	2372
$K$	$-3.400 \pm 0.013$	$16.705 \pm 0.006$	0.176	2362
	$-3.400 \pm 0.012$	$16.678 \pm 0.006$	0.176	2362
$W_I$	$-3.474 \pm 0.010$	$16.499 \pm 0.005$	0.149	2532
$W_{JK}$	$-3.484 \pm 0.013$	$16.491 \pm 0.006$	0.177	2342

Tablica 2.3: Zależności okres-jasność dla cefeid klasycznych w modzie podstawowym w Małym Obłoku Magellana.

Przy porównaniu wyprowadzonych zależności w Wielkim i Małym Obłoku Magellana widoczne są dosyć spore różnice pomiędzy współczynnikami. Przyczyną tych różnic może być obecność załamania w zależnościach okres-jasność dla cefeid z Małego Obłoku Magellana w okolicy logarytmu okresu pulsacji wynoszącego 0,4 (EROS Collaboration et al., 1999). W celu sprawdzenia słuszności tej hipotezy, dane z tej galaktyki podzielono na te o logarytmach okresu mniejszych i większych niż 0,4 oraz dopasowano do nich zależności okres-jasność. Wyniki przedstawione są w tabelach 2.4 i 2.5.

Filtr	$\alpha$	$\beta$	$\sigma$	$N$
SMC				
$V$	$-3.033 \pm 0.066$	$18.038 \pm 0.015$	0.260	1615
	$-3.096 \pm 0.064$	$17.831 \pm 0.014$	0.252	1612
$I$	$-3.257 \pm 0.053$	$17.451 \pm 0.012$	0.210	1621
	$-3.297 \pm 0.053$	$17.331 \pm 0.012$	0.207	1621
$J$	$-3.437 \pm 0.051$	$17.066 \pm 0.012$	0.190	1472
	$-3.463 \pm 0.051$	$17.009 \pm 0.012$	0.188	1470
$H$	$-3.530 \pm 0.047$	$16.802 \pm 0.011$	0.175	1467
	$-3.542 \pm 0.047$	$16.765 \pm 0.011$	0.175	1468
$K$	$-3.571 \pm 0.048$	$16.754 \pm 0.011$	0.176	1457
	$-3.561 \pm 0.048$	$16.725 \pm 0.011$	0.176	1457
$W_I$	$-3.606 \pm 0.038$	$16.535 \pm 0.009$	0.147	1591
$W_{JK}$	$-3.670 \pm 0.051$	$16.542 \pm 0.012$	0.189	1452

Tablica 2.4: Zależności okres-jasność dla cefeid klasycznych pulsujących w modzie podstawowym o logarytmie okresu pulsacji mniejszym od 0,4 w Małym Obłoku Magellana.

Tabele 2.6 oraz 2.7 zawierają współczynniki zależności okres-jasność dla cefeid klasycznych w pierwszym owertonie. Wszystkie zależności mają charakter liniowy.



Filtr	$\alpha$	$\beta$	$\sigma$	$N$
SMC				
$V$	$-2.645 \pm 0.036$	$17.792 \pm 0.026$	0.281	949
	$-2.661 \pm 0.035$	$17.584 \pm 0.026$	0.275	951
$I$	$-2.937 \pm 0.027$	$17.258 \pm 0.020$	0.222	959
	$-2.945 \pm 0.026$	$17.135 \pm 0.019$	0.218	959
$J$	$-3.096 \pm 0.023$	$16.868 \pm 0.017$	0.185	905
	$-3.097 \pm 0.023$	$16.806 \pm 0.017$	0.183	904
$H$	$-3.187 \pm 0.021$	$16.608 \pm 0.015$	0.166	902
	$-3.189 \pm 0.021$	$16.570 \pm 0.015$	0.165	902
$K$	$-3.205 \pm 0.021$	$16.548 \pm 0.015$	0.161	898
	$-3.206 \pm 0.021$	$16.523 \pm 0.015$	0.160	898
$W_I$	$-3.331 \pm 0.019$	$16.386 \pm 0.014$	0.146	941
$W_{JK}$	$-3.307 \pm 0.020$	$16.350 \pm 0.015$	0.150	891

Tablica 2.5: Zależności okres-jasność dla cefeid klasycznych pulsujących w modzie podstawowym o logarytmie okresu pulsacji większym od 0,4 w Małym Obłoku Magellana.

Filtr	$\alpha$	$\beta$	$\sigma$	$N$
LMC				
$V$	$-3.196 \pm 0.026$	$17.051 \pm 0.009$	0.237	1194
	$-3.211 \pm 0.021$	$16.611 \pm 0.008$	0.198	1188
	$-3.209 \pm 0.022$	$16.612 \pm 0.008$	0.199	1188
$I$	$-3.285 \pm 0.017$	$16.404 \pm 0.006$	0.162	1200
	$-3.296 \pm 0.016$	$16.152 \pm 0.006$	0.144	1201
	$-3.290 \pm 0.016$	$16.151 \pm 0.006$	0.147	1202
$J$	$-3.391 \pm 0.015$	$15.956 \pm 0.005$	0.126	1140
	$-3.395 \pm 0.014$	$15.834 \pm 0.005$	0.120	1140
	$-3.391 \pm 0.014$	$15.834 \pm 0.005$	0.123	1140
$H$	$-3.444 \pm 0.012$	$15.703 \pm 0.004$	0.100	1128
	$-3.444 \pm 0.012$	$15.624 \pm 0.004$	0.097	1130
	$-3.436 \pm 0.012$	$15.623 \pm 0.004$	0.102	1131
$K$	$-3.434 \pm 0.013$	$15.627 \pm 0.004$	0.097	1115
	$-3.433 \pm 0.012$	$15.574 \pm 0.004$	0.096	1114
	$-3.426 \pm 0.013$	$15.574 \pm 0.005$	0.101	1116
$W_I$	$-3.451 \pm 0.009$	$15.399 \pm 0.003$	0.081	1186
	$-3.446 \pm 0.010$	$15.398 \pm 0.004$	0.088	1190
$W_{JK}$	$-3.463 \pm 0.014$	$15.398 \pm 0.005$	0.104	1112
	$-3.462 \pm 0.014$	$15.400 \pm 0.005$	0.109	1113

Tablica 2.6: Zależności okres-jasność dla cefeid klasycznych w pierwszym owertonie dla Wielkiego Obłoku Magellana.

Filtr	$\alpha$	$\beta$	$\sigma$	$N$
SMC				
$V$	$-3.174 \pm 0.034$	$17.373 \pm 0.008$	0.282	1606
	$-3.176 \pm 0.033$	$17.153 \pm 0.008$	0.277	1606
$I$	$-3.353 \pm 0.027$	$16.828 \pm 0.007$	0.231	1623
	$-3.348 \pm 0.027$	$16.701 \pm 0.007$	0.228	1624
$J$	$-3.458 \pm 0.025$	$16.460 \pm 0.006$	0.204	1507
	$-3.457 \pm 0.025$	$16.399 \pm 0.006$	0.203	1508
$H$	$-3.548 \pm 0.023$	$16.225 \pm 0.006$	0.185	1504
	$-3.547 \pm 0.023$	$16.185 \pm 0.006$	0.185	1504
$K$	$-3.565 \pm 0.024$	$16.173 \pm 0.006$	0.185	1487
	$-3.565 \pm 0.024$	$16.147 \pm 0.006$	0.185	1487
$W_I$	$-3.625 \pm 0.020$	$15.971 \pm 0.005$	0.163	1600
$W_{JK}$	$-3.624 \pm 0.024$	$15.974 \pm 0.006$	0.182	1470

Tablica 2.7: Zależności okres-jasność dla cefeid klasycznych w pierwszym owertonie dla Małego Obłoku Magellana.

## 2.4.2. Cefeidy anomalne

Cefeidy anomalne są znacznie mniej liczne niż cefeidy klasyczne. W Małym Obłoku Magellana są one praktycznie nieobserwowane dlatego zależność okres-jasność dla tych gwiazd wyprowadzono tylko dla Wielkiego Obłoku Magellana. W tabelach 2.8 oraz 2.9 przedstawione są współczynniki zależności odpowiednio dla cefeid anomalnych w modzie podstawowym i cefeid anomalnych w pierwszym owertonie. Podobnie jak w przypadku cefeid klasycznych wszystkie zależności mają charakter liniowy.

Filtr	$\alpha$	$\beta$	$\sigma$	$N$
LMC				
<i>V</i>	$-2.944 \pm 0.236$	$18.149 \pm 0.035$	0.256	61
	$-2.852 \pm 0.209$	$17.718 \pm 0.031$	0.227	61
	$-2.838 \pm 0.215$	$17.716 \pm 0.032$	0.233	61
<i>I</i>	$-3.006 \pm 0.181$	$17.543 \pm 0.027$	0.196	61
	$-2.953 \pm 0.168$	$17.294 \pm 0.025$	0.182	61
	$-2.940 \pm 0.174$	$17.292 \pm 0.026$	0.189	61
<i>J</i>	$-3.320 \pm 0.200$	$17.149 \pm 0.030$	0.195	47
	$-3.286 \pm 0.197$	$17.026 \pm 0.030$	0.192	47
	$-3.276 \pm 0.197$	$17.027 \pm 0.030$	0.192	47
<i>H</i>	$-3.118 \pm 0.192$	$16.886 \pm 0.030$	0.197	50
	$-3.097 \pm 0.191$	$16.808 \pm 0.029$	0.196	50
	$-3.085 \pm 0.193$	$16.811 \pm 0.030$	0.198	50
<i>K</i>	$-2.923 \pm 0.190$	$16.781 \pm 0.030$	0.184	45
	$-2.905 \pm 0.191$	$16.729 \pm 0.030$	0.185	45
	$-2.891 \pm 0.194$	$16.731 \pm 0.031$	0.188	45
<i>W<sub>I</sub></i>	$-3.093 \pm 0.142$	$16.602 \pm 0.021$	0.156	62
	$-3.076 \pm 0.149$	$16.599 \pm 0.022$	0.163	62
<i>W<sub>JK</sub></i>	$-2.889 \pm 0.231$	$16.534 \pm 0.035$	0.214	44
	$-2.880 \pm 0.234$	$16.535 \pm 0.036$	0.217	44

Tablica 2.8: Zależności okres-jasność dla cefeid anomalnych w modzie podstawowym.

Filtr	$\alpha$	$\beta$	$\sigma$	$N$
LMC				
<i>V</i>	$-2.991 \pm 0.376$	$17.437 \pm 0.088$	0.226	21
	$-3.037 \pm 0.378$	$17.018 \pm 0.088$	0.227	21
	$-3.063 \pm 0.383$	$17.016 \pm 0.090$	0.230	21
<i>I</i>	$-3.044 \pm 0.247$	$16.911 \pm 0.0578$	0.148	21
	$-3.070 \pm 0.251$	$16.670 \pm 0.059$	0.151	21
	$-3.096 \pm 0.255$	$16.667 \pm 0.060$	0.153	21
<i>J</i>	$-3.351 \pm 0.323$	$16.497 \pm 0.079$	0.183	18
	$-3.365 \pm 0.327$	$16.379 \pm 0.079$	0.185	18
	$-3.389 \pm 0.329$	$16.381 \pm 0.080$	0.186	18
<i>H</i>	$-3.525 \pm 0.340$	$16.245 \pm 0.083$	0.193	18
	$-3.534 \pm 0.342$	$16.169 \pm 0.083$	0.194	18
	$-3.558 \pm 0.341$	$16.171 \pm 0.083$	0.193	18
<i>K</i>	$-2.898 \pm 0.500$	$16.255 \pm 0.106$	0.238	15
	$-2.913 \pm 0.501$	$16.204 \pm 0.106$	0.238	15
	$-2.929 \pm 0.508$	$16.207 \pm 0.107$	0.241	15
<i>W<sub>I</sub></i>	$-3.126 \pm 0.328$	$16.097 \pm 0.077$	0.197	21
	$-3.151 \pm 0.325$	$16.094 \pm 0.076$	0.195	21
<i>W<sub>JK</sub></i>	$-2.758 \pm 0.620$	$16.075 \pm 0.131$	0.294	15
	$-2.774 \pm 0.627$	$16.078 \pm 0.132$	0.298	15

Tablica 2.9: Zależności okres-jasność dla cefeid anomalnych w pierwszym owertonie.

### 2.4.3. Cefeidy II typu

Zależności okres-jasność dla cefeid II typu (BL Her, RV Tau, W Vir) przedstawione są w tabelach 2.10, 2.11, 2.12, 2.13, 2.14, 2.15. Jak widać na rysunkach 2.3-2.9 w każdym filtrze trzy zależności dla cefeid II typu łączą się, zatem można dopasować wspólne zależności okres jasność dla tych trzech typów gwiazd. Tabele 2.16, 2.17 przedstawiają zależności wspólne dla gwiazd BL Her i W Vir, natomiast tabele 2.18 oraz 2.19 dla RV Tau i W Vir.

Filtr	$\alpha$	$\beta$	$\sigma$	$N$
LMC				
<i>V</i>	$-1.685 \pm 0.263$	$18.739 \pm 0.071$	0.304	61
	$-1.816 \pm 0.262$	$18.340 \pm 0.071$	0.304	62
	$-1.811 \pm 0.261$	$18.337 \pm 0.070$	0.303	62
<i>I</i>	$-1.997 \pm 0.168$	$18.179 \pm 0.046$	0.194	61
	$-1.967 \pm 0.142$	$17.928 \pm 0.038$	0.163	60
	$-1.964 \pm 0.143$	$17.926 \pm 0.039$	0.165	60
<i>J</i>	$-1.986 \pm 0.316$	$17.689 \pm 0.085$	0.360	59
	$-1.933 \pm 0.294$	$17.534 \pm 0.079$	0.334	58
	$-1.936 \pm 0.296$	$17.532 \pm 0.080$	0.337	58
<i>H</i>	$-2.036 \pm 0.313$	$17.431 \pm 0.084$	0.356	57
	$-2.039 \pm 0.313$	$17.352 \pm 0.084$	0.356	57
	$-2.040 \pm 0.315$	$17.351 \pm 0.084$	0.358	57
<i>K</i>	$-1.708 \pm 0.313$	$17.211 \pm 0.089$	0.328	50
	$-1.715 \pm 0.313$	$17.161 \pm 0.090$	0.329	50
	$-1.718 \pm 0.316$	$17.159 \pm 0.090$	0.332	50
<i>W<sub>I</sub></i>	$-2.610 \pm 0.119$	$17.378 \pm 0.032$	0.135	60
	$-2.607 \pm 0.125$	$17.376 \pm 0.034$	0.142	60
<i>W<sub>JK</sub></i>	$-1.715 \pm 0.349$	$16.961 \pm 0.100$	0.367	50
	$-1.717 \pm 0.352$	$16.959 \pm 0.101$	0.370	50

Tablica 2.10: Zależności okres-jasność dla gwiazd typu BL Her w Wielkim Obłoku Magellana.

Filtr	$\alpha$	$\beta$	$\sigma$	$N$
SMC				
$V$	$-2.655 \pm 0.875$	$19.219 \pm 0.244$	0.464	17
	$-2.700 \pm 0.896$	$19.006 \pm 0.250$	0.476	17
$I$	$-2.566 \pm 0.692$	$18.567 \pm 0.193$	0.367	17
	$-2.592 \pm 0.706$	$18.445 \pm 0.197$	0.375	17
$J$	$-2.676 \pm 0.775$	$18.198 \pm 0.224$	0.403	15
	$-2.683 \pm 0.781$	$18.136 \pm 0.226$	0.407	15
$H$	$-2.896 \pm 0.700$	$17.951 \pm 0.202$	0.364	15
	$-2.901 \pm 0.706$	$17.912 \pm 0.204$	0.367	15
$K$	$-2.232 \pm 0.636$	$17.599 \pm 0.194$	0.307	13
	$-2.232 \pm 0.638$	$17.572 \pm 0.195$	0.307	13
$W_I$	$-2.429 \pm 0.480$	$17.558 \pm 0.134$	0.255	17
$W_{JK}$	$-2.232 \pm 0.675$	$17.323 \pm 0.206$	0.325	13

Tablica 2.11: Zależności okres-jasność dla gwiazd typu BL Her w Małym Obłoku Magellana.

Filtr	$\alpha$	$\beta$	$\sigma$	$N$
LMC				
$V$	$-3.120 \pm 0.734$	$20.341 \pm 1.157$	0.561	42
	$-3.094 \pm 0.739$	$19.876 \pm 1.165$	0.565	42
	$-3.079 \pm 0.749$	$19.853 \pm 1.180$	0.572	42
$I$	$-3.266 \pm 0.504$	$19.685 \pm 0.794$	0.385	42
	$-3.251 \pm 0.509$	$19.417 \pm 0.802$	0.387	42
	$-3.235 \pm 0.520$	$19.394 \pm 0.819$	0.397	42
$J$	$-3.336 \pm 0.383$	$19.190 \pm 0.604$	0.292	40
	$-3.328 \pm 0.389$	$19.059 \pm 0.614$	0.297	40
	$-3.313 \pm 0.401$	$19.036 \pm 0.631$	0.306	40
$H$	$-3.249 \pm 0.384$	$18.674 \pm 0.605$	0.293	40
	$-3.244 \pm 0.388$	$18.590 \pm 0.611$	0.296	40
	$-3.230 \pm 0.398$	$18.568 \pm 0.628$	0.304	40
$K$	$-3.347 \pm 0.527$	$18.630 \pm 0.831$	0.402	40
	$-3.344 \pm 0.529$	$18.575 \pm 0.834$	0.404	40
	$-3.329 \pm 0.539$	$18.552 \pm 0.850$	0.411	40
$W_I$	$-3.492 \pm 0.359$	$18.669 \pm 0.566$	0.275	42
	$-3.476 \pm 0.368$	$18.646 \pm 0.580$	0.281	42
$W_{JK}$	$-3.355 \pm 0.676$	$18.246 \pm 1.066$	0.516	40
	$-3.340 \pm 0.685$	$18.223 \pm 1.080$	0.523	40

Tablica 2.12: Zależności okres-jasność dla gwiazd typu RV Tau w Wielkim Obłoku Magellana.



Filtr	$\alpha$	$\beta$	$\sigma$	$N$
SMC				
$V$	$-1.867 \pm 2.529$	$18.397 \pm 3.908$	0.805	9
	$-1.686 \pm 2.453$	$17.882 \pm 3.790$	0.781	9
$I$	$-1.670 \pm 2.463$	$17.251 \pm 3.807$	0.784	9
	$-1.565 \pm 2.410$	$16.954 \pm 3.723$	0.767	9
$J$	$-0.251 \pm 2.960$	$14.413 \pm 4.633$	0.765	8
	$-0.125 \pm 2.907$	$14.148 \pm 4.550$	0.751	8
$H$	$-0.015 \pm 3.004$	$13.673 \pm 4.702$	0.776	8
	$0.066 \pm 2.966$	$13.504 \pm 4.642$	0.766	8
$K$	$-0.439 \pm 3.142$	$14.180 \pm 4.918$	0.812	8
	$-0.386 \pm 3.116$	$14.069 \pm 4.877$	0.805	8
$W_I$	$-1.365 \pm 2.536$	$15.475 \pm 3.919$	0.807	9
$W_{JK}$	$-0.568 \pm 3.572$	$14.020 \pm 5.591$	0.923	8

Tablica 2.13: Zależności okres-jasność dla gwiazd typu RV Tau w Małym Obłoku Magellana.

Filtr	$\alpha$	$\beta$	$\sigma$	$N$
LMC				
$V$	$-2.241 \pm 0.203$	$19.506 \pm 0.209$	0.282	75
	$-2.233 \pm 0.173$	$19.054 \pm 0.178$	0.240	75
	$-2.248 \pm 0.174$	$19.067 \pm 0.179$	0.241	75
$I$	$-2.404 \pm 0.138$	$18.720 \pm 0.142$	0.192	76
	$-2.392 \pm 0.122$	$18.450 \pm 0.126$	0.170	76
	$-2.404 \pm 0.124$	$18.460 \pm 0.127$	0.172	76
$J$	$-2.325 \pm 0.169$	$17.968 \pm 0.171$	0.252	77
	$-2.319 \pm 0.167$	$17.838 \pm 0.168$	0.248	77
	$-2.332 \pm 0.166$	$17.849 \pm 0.168$	0.248	77
$H$	$-2.364 \pm 0.140$	$17.618 \pm 0.141$	0.208	76
	$-2.361 \pm 0.139$	$17.536 \pm 0.141$	0.207	76
	$-2.373 \pm 0.139$	$17.546 \pm 0.141$	0.207	76
$K$	$-2.452 \pm 0.150$	$17.604 \pm 0.152$	0.224	76
	$-2.450 \pm 0.150$	$17.550 \pm 0.152$	0.224	76
	$-2.462 \pm 0.150$	$17.560 \pm 0.152$	0.224	76
$W_I$	$-2.580 \pm 0.063$	$17.421 \pm 0.065$	0.096	77
	$-2.592 \pm 0.066$	$17.432 \pm 0.068$	0.101	77
$W_{JK}$	$-2.466 \pm 0.146$	$17.287 \pm 0.148$	0.217	75
	$-2.479 \pm 0.147$	$17.297 \pm 0.148$	0.217	75

Tablica 2.14: Zależności okres-jasność dla gwiazd typu W Vir w Wielkim Obłoku Magellana.

Filtr	$\alpha$	$\beta$	$\sigma$	$N$
SMC				
$V$	$-2.522 \pm 0.316$	$20.042 \pm 0.336$	0.192	10
	$-2.535 \pm 0.277$	$19.863 \pm 0.295$	0.168	10
$I$	$-2.713 \pm 0.201$	$19.370 \pm 0.214$	0.122	10
	$-2.720 \pm 0.182$	$19.267 \pm 0.193$	0.110	10
$J$	$-3.078 \pm 0.459$	$19.076 \pm 0.496$	0.270	9
	$-3.083 \pm 0.455$	$19.028 \pm 0.491$	0.268	9
$H$	$-3.059 \pm 0.445$	$18.702 \pm 0.481$	0.262	9
	$-3.062 \pm 0.443$	$18.672 \pm 0.479$	0.261	9
$K$	$-3.269 \pm 0.517$	$18.855 \pm 0.559$	0.305	9
	$-3.271 \pm 0.516$	$18.835 \pm 0.557$	0.304	9
$W_I$	$-3.009 \pm 0.158$	$18.329 \pm 0.168$	0.096	10
$W_{JK}$	$-3.400 \pm 0.580$	$18.704 \pm 0.627$	0.342	9

Tablica 2.15: Zależności okres-jasność dla gwiazd typu W Vir w Małym Obłoku Magellana.

Filtr	$\alpha$	$\beta$	$\sigma$	$N$
LMC				
$V$	$-1.519 \pm 0.061$	$18.725 \pm 0.048$	0.304	136
	$-1.536 \pm 0.060$	$18.308 \pm 0.047$	0.295	138
	$-1.536 \pm 0.060$	$18.306 \pm 0.047$	0.295	138
$I$	$-1.891 \pm 0.043$	$18.175 \pm 0.034$	0.210	138
	$-1.908 \pm 0.036$	$17.930 \pm 0.029$	0.177	136
	$-1.923 \pm 0.038$	$17.943 \pm 0.030$	0.186	137
$J$	$-2.086 \pm 0.058$	$17.722 \pm 0.046$	0.279	134
	$-2.099 \pm 0.056$	$17.611 \pm 0.044$	0.268	133
	$-2.098 \pm 0.056$	$17.610 \pm 0.044$	0.269	133
$H$	$-2.261 \pm 0.056$	$17.509 \pm 0.044$	0.267	132
	$-2.241 \pm 0.058$	$17.410 \pm 0.045$	0.276	133
	$-2.243 \pm 0.058$	$17.409 \pm 0.045$	0.277	133
$K$	$-2.184 \pm 0.062$	$17.327 \pm 0.050$	0.281	127
	$-2.200 \pm 0.060$	$17.293 \pm 0.049$	0.272	126
	$-2.201 \pm 0.061$	$17.293 \pm 0.049$	0.273	126
$W_I$	$-2.537 \pm 0.022$	$17.374 \pm 0.017$	0.106	136
	$-2.538 \pm 0.023$	$17.374 \pm 0.018$	0.111	136
$W_{JK}$	$-2.293 \pm 0.068$	$17.097 \pm 0.055$	0.306	127
	$-2.294 \pm 0.068$	$17.096 \pm 0.055$	0.307	127

Tablica 2.16: Zależności okres-jasność dla gwiazd typu BL Her i W Vir w Wielkim Obłoku Magellana.

Filtr	$\alpha$	$\beta$	$\sigma$	$N$
SMC				
$V$	$-1.622 \pm 0.196$	$19.016 \pm 0.134$	0.419	27
	$-1.593 \pm 0.200$	$18.789 \pm 0.137$	0.427	27
$I$	$-1.900 \pm 0.153$	$18.442 \pm 0.105$	0.327	27
	$-1.873 \pm 0.156$	$18.311 \pm 0.107$	0.333	27
$J$	$-2.241 \pm 0.184$	$18.126 \pm 0.129$	0.376	24
	$-2.231 \pm 0.186$	$18.061 \pm 0.130$	0.379	24
$H$	$-2.306 \pm 0.171$	$17.841 \pm 0.120$	0.349	24
	$-2.300 \pm 0.172$	$17.799 \pm 0.120$	0.351	24
$K$	$-2.169 \pm 0.175$	$17.626 \pm 0.128$	0.339	22
	$-2.164 \pm 0.175$	$17.598 \pm 0.128$	0.340	22
$W_I$	$-2.305 \pm 0.107$	$17.552 \pm 0.073$	0.229	27
$W_{JK}$	$-2.198 \pm 0.190$	$17.362 \pm 0.139$	0.368	22

Tablica 2.17: Zależności okres-jasność dla gwiazd typu BL Her i W Vir w Małym Obłoku Magellana.

Filtr	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\sigma$	$N$
LMC					
$V$	$-1.198 \pm 0.071$	$0.054 \pm 0.090$	$18.407 \pm 0.123$	0.395	117
	$-1.192 \pm 0.065$	$0.020 \pm 0.050$	$17.989 \pm 0.113$	0.361	116
	$-1.162 \pm 0.066$	$-0.052 \pm 0.092$	$18.030 \pm 0.114$	0.366	116
$I$	$-1.248 \pm 0.052$	$0.235 \pm 0.073$	$17.328 \pm 0.090$	0.288	119
	$-1.220 \pm 0.051$	$0.182 \pm 0.071$	$17.096 \pm 0.087$	0.280	119
	$-1.192 \pm 0.052$	$0.114 \pm 0.072$	$17.134 \pm 0.089$	0.284	119
$J$	$-0.857 \pm 0.049$	$-0.752 \pm 0.068$	$17.270 \pm 0.084$	0.269	117
	$-0.855 \pm 0.049$	$-0.748 \pm 0.068$	$17.139 \pm 0.084$	0.269	117
	$-0.832 \pm 0.050$	$-0.801 \pm 0.069$	$17.168 \pm 0.085$	0.272	117
$H$	$-0.748 \pm 0.046$	$-0.995 \pm 0.064$	$17.003 \pm 0.079$	0.252	117
	$-0.747 \pm 0.046$	$-0.992 \pm 0.064$	$16.919 \pm 0.079$	0.253	117
	$-0.724 \pm 0.047$	$-1.046 \pm 0.065$	$16.948 \pm 0.080$	0.256	117
$K$	$-0.614 \pm 0.051$	$-1.383 \pm 0.071$	$17.146 \pm 0.086$	0.277	115
	$-0.612 \pm 0.051$	$-1.383 \pm 0.071$	$17.092 \pm 0.087$	0.277	115
	$-0.587 \pm 0.052$	$-1.443 \pm 0.071$	$17.124 \pm 0.087$	0.280	115
$W_I$	$-0.839 \pm 0.026$	$-0.897 \pm 0.035$	$16.599 \pm 0.043$	0.139	116
	$-0.817 \pm 0.027$	$-0.949 \pm 0.037$	$16.628 \pm 0.045$	0.143	116
$W_{JK}$	$-0.373 \pm 0.056$	$-1.972 \pm 0.076$	$17.138 \pm 0.093$	0.297	114
	$-0.372 \pm 0.054$	$-1.943 \pm 0.073$	$17.111 \pm 0.089$	0.286	113

Tablica 2.18: Zależności okres-jasność dla gwiazd typu RV Tau i W Vir w Wielkim Obłoku Magellana.

Filtr	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\sigma$	$N$
SMC					
$V$	$-0.764 \pm 0.085$	$-1.539 \pm 0.122$	$19.802 \pm 0.160$	0.550	19
	$-0.737 \pm 0.084$	$-1.656 \pm 0.119$	$19.694 \pm 0.157$	0.540	19
$I$	$-0.422 \pm 0.081$	$-2.358 \pm 0.116$	$19.403 \pm 0.152$	0.524	19
	$-0.407 \pm 0.080$	$-2.426 \pm 0.114$	$19.341 \pm 0.150$	0.517	19
$J$	$0.342 \pm 0.081$	$-4.143 \pm 0.117$	$19.736 \pm 0.155$	0.541	17
	$0.354 \pm 0.081$	$-4.188 \pm 0.116$	$19.714 \pm 0.154$	0.538	17
$H$	$0.423 \pm 0.083$	$-4.349 \pm 0.119$	$19.498 \pm 0.158$	0.551	17
	$0.431 \pm 0.082$	$-4.378 \pm 0.118$	$19.484 \pm 0.158$	0.549	17
$K$	$0.511 \pm 0.086$	$-4.750 \pm 0.124$	$19.753 \pm 0.165$	0.575	17
	$0.515 \pm 0.086$	$-4.769 \pm 0.124$	$19.744 \pm 0.164$	0.572	17
$W_I$	$0.107 \pm 0.082$	$-3.627 \pm 0.117$	$18.785 \pm 0.154$	0.529	19
$W_{JK}$	$0.626 \pm 0.096$	$-5.167 \pm 0.138$	$19.765 \pm 0.184$	0.642	17

Tablica 2.19: Zależności okres-jasność dla gwiazd typu RV Tau i W Vir w Małym Obłoku Magellana.

#### 2.4.4. OSARG

Gwiazdy typu OSARG dzielą się ze względu na położenie na diagramie Hertzsprunga-Russela na położone na gałęzi asymptotycznej (ang. Asymptotic Giant Branch, w skrócie AGB), oraz na należące do gałęzi czerwonych olbrzymów (ang. Red Giant Branch, czyli RGB). Są to gwiazdy pulsujące z nieregularnymi okresami, jednak dla każdej gwiazdy obserwowane są dwa główne okresy pulsacji, dla których istnieją zależności okres jasność, zatem dla OSARG-ów AGB i RGB wyróżniamy po dwie sekwencje: sekwencję A i B (Soszyński et al., 2009). Ze względu na trudności przy oddzieleniu OSARG-ów AGB i RGB w Małym Obłoku Magellana, zależności wyprowadzone zostały tylko dla danych z Wielkiego Obłoku Magellana. Dopasowane do OSARG-ów AGB zależności dla sekwencji A umieszczone są w tabeli 2.20, dla sekwencji B 2.21, dla RGB sekwencji A 2.22, a dla sekwencji B w tabeli 2.23. W tabelach znajdują się współczynniki zarówno zależności liniowych jak i kwadratowych. Gdy zależność jest liniowa, za wartość  $\gamma$  wstawiono 0.



Filtr	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\sigma$	$N$
LMC					
$V$	$-1.564 \pm 0.017$	$18.843 \pm 0.023$	0	0.251	8444
	$-1.594 \pm 0.016$	$18.459 \pm 0.022$	0	0.244	8465
	$-1.591 \pm 0.016$	$18.457 \pm 0.022$	0	0.245	8467
$I$	$2.846 \pm 0.011$	$18.692 \pm 0.016$	0	0.174	8465
	$-2.861 \pm 0.011$	$18.468 \pm 0.015$	0	0.169	8483
	$-2.862 \pm 0.011$	$18.472 \pm 0.016$	0	0.171	8489
$J$	$-3.471 \pm 0.009$	$18.247 \pm 0.013$	0	0.142	8534
	$-3.478 \pm 0.009$	$18.139 \pm 0.013$	0	0.139	8535
	$-3.478 \pm 0.009$	$18.139 \pm 0.013$	0	0.141	8539
$H$	$-3.613 \pm 0.009$	$17.623 \pm 0.012$	0	0.130	8529
	$-3.618 \pm 0.008$	$17.553 \pm 0.012$	0	0.128	8525
	$-3.615 \pm 0.009$	$17.550 \pm 0.012$	0	0.131	8539
$K$	$-3.788 \pm 0.008$	$17.624 \pm 0.011$	0	0.125	8552
	$-3.792 \pm 0.008$	$17.579 \pm 0.011$	0	0.124	8550
	$-3.790 \pm 0.008$	$17.579 \pm 0.012$	0	0.127	8557
$W_I$	$-1.536 \pm 0.022$	$-0.632 \pm 0.031$	$15.617 \pm 0.043$	0.136	8468
	$-1.546 \pm 0.022$	$-0.603 \pm 0.031$	$15.598 \pm 0.044$	0.137	8474
$W_{JK}$	$-4.010 \pm 0.008$	$17.201 \pm 0.011$	0	0.121	8548
	$-4.011 \pm 0.008$	$17.202 \pm 0.011$	0	0.125	8557

Tablica 2.20: Zależności okres-jasność dla OSARG-ów AGB sekwencja A.

Filtr	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\sigma$	$N$
LMC					
<i>V</i>	$-1.531 \pm 0.017$	$19.012 \pm 0.025$	0	0.255	8450
	$-1.562 \pm 0.016$	$18.634 \pm 0.025$	0	0.247	8467
	$-1.558 \pm 0.016$	$18.629 \pm 0.025$	0	0.248	8469
<i>I</i>	$-2.794 \pm 0.012$	$19.013 \pm 0.018$	0	0.183	8485
	$-2.807 \pm 0.012$	$18.787 \pm 0.018$	0	0.178	8502
	$-2.806 \pm 0.012$	$18.787 \pm 0.018$	0	0.180	8510
<i>J</i>	$-3.394 \pm 0.010$	$18.617 \pm 0.015$	0	0.156	8566
	$-3.401 \pm 0.010$	$18.507 \pm 0.015$	0	0.154	8578
	$-3.402 \pm 0.010$	$18.511 \pm 0.015$	0	0.156	8584
<i>H</i>	$-3.538 \pm 0.009$	$18.015 \pm 0.014$	0	0.146	8582
	$-3.543 \pm 0.009$	$17.945 \pm 0.014$	0	0.145	8576
	$-3.542 \pm 0.009$	$17.945 \pm 0.014$	0	0.147	8583
<i>K</i>	$-3.704 \pm 0.009$	$18.025 \pm 0.014$	0	0.144	8605
	$-3.708 \pm 0.009$	$17.981 \pm 0.014$	0	0.143	8604
	$-3.710 \pm 0.009$	$17.986 \pm 0.014$	0	0.146	8613
<i>W<sub>I</sub></i>	$-1.283 \pm 0.021$	$-0.883 \pm 0.033$	$16.118 \pm 0.050$	0.158	8504
	$-1.278 \pm 0.021$	$-0.898 \pm 0.033$	$16.130 \pm 0.050$	0.159	8508
<i>W<sub>JK</sub></i>	$-3.920 \pm 0.009$	$17.623 \pm 0.014$	0	0.143	8614
	$-3.922 \pm 0.009$	$17.627 \pm 0.014$	0	0.146	8618

Tablica 2.21: Zależności okres-jasność dla OSARG-ów AGB sekwencja B.

Filtr	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\sigma$	$N$
LMC					
$V$	$-0.874 \pm 0.022$	$18.027 \pm 0.029$	0	0.236	9680
	$-0.875 \pm 0.021$	$17.593 \pm 0.027$	0	0.220	9688
	$-0.869 \pm 0.021$	$17.588 \pm 0.027$	0	0.220	9687
$I$	$-2.210 \pm 0.015$	$17.995 \pm 0.020$	0	0.163	9721
	$-2.205 \pm 0.014$	$17.738 \pm 0.019$	0	0.154	9726
	$-2.206 \pm 0.015$	$17.742 \pm 0.019$	0	0.155	9731
$J$	$-2.899 \pm 0.012$	$17.650 \pm 0.015$	0	0.125	9815
	$-2.900 \pm 0.011$	$17.530 \pm 0.015$	0	0.122	9817
	$-2.896 \pm 0.012$	$17.528 \pm 0.015$	0	0.124	9840
$H$	$-3.194 \pm 0.010$	$17.229 \pm 0.014$	0	0.113	9852
	$-3.197 \pm 0.010$	$17.156 \pm 0.014$	0	0.112	9863
	$-3.193 \pm 0.011$	$17.153 \pm 0.014$	0	0.114	9875
$K$	$-3.407 \pm 0.010$	$17.288 \pm 0.013$	0	0.110	9890
	$-3.407 \pm 0.010$	$17.238 \pm 0.013$	0	0.109	9878
	$-3.406 \pm 0.010$	$17.239 \pm 0.014$	0	0.112	9895
$W_I$	$-2.384 \pm 0.026$	$1.794 \pm 0.034$	$14.104 \pm 0.044$	0.140	9888
	$-2.391 \pm 0.026$	$1.813 \pm 0.034$	$14.095 \pm 0.045$	0.142	9891
$W_{JK}$	$-3.759 \pm 0.011$	$17.041 \pm 0.014$	0	0.115	9913
	$-3.759 \pm 0.011$	$17.043 \pm 0.014$	0	0.119	9924

Tablica 2.22: Zależności okres-jasność dla OSARG-ów RGB sekwencja A.

Filtr	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\sigma$	$N$
LMC					
$V$	$-0.843 \pm 0.022$	$18.107 \pm 0.032$	0	0.237	9679
	$-0.837 \pm 0.020$	$17.664 \pm 0.029$	0	0.220	9684
	$-0.836 \pm 0.020$	$17.666 \pm 0.030$	0	0.221	9688
$I$	$-2.147 \pm 0.015$	$18.225 \pm 0.022$	0	0.167	9725
	$-2.137 \pm 0.015$	$17.959 \pm 0.021$	0	0.159	9737
	$-2.138 \pm 0.015$	$17.963 \pm 0.021$	0	0.161	9752
$J$	$-2.813 \pm 0.012$	$17.946 \pm 0.018$	0	0.134	9854
	$-2.811 \pm 0.012$	$17.822 \pm 0.017$	0	0.131	9850
	$-2.811 \pm 0.012$	$17.823 \pm 0.018$	0	0.133	9855
$H$	$-3.096 \pm 0.011$	$17.551 \pm 0.017$	0	0.125	9901
	$-3.095 \pm 0.011$	$17.472 \pm 0.016$	0	0.124	9912
	$-3.095 \pm 0.011$	$17.473 \pm 0.017$	0	0.126	9910
$K$	$-3.302 \pm 0.011$	$17.630 \pm 0.016$	0	0.124	9937
	$-3.302 \pm 0.011$	$17.580 \pm 0.016$	0	0.124	9939
	$-3.301 \pm 0.011$	$17.581 \pm 0.017$	0	0.126	9937
$W_I$	$-1.893 \pm 0.024$	$1.225 \pm 0.035$	$14.587 \pm 0.040$	0.158	9930
	$-1.897 \pm 0.024$	$1.240 \pm 0.035$	$14.576 \pm 0.050$	0.158	9927
$W_{JK}$	$-3.642 \pm 0.012$	$17.416 \pm 0.017$	0	0.132	9969
	$-3.642 \pm 0.012$	$17.419 \pm 0.018$	0	0.134	9971

Tablica 2.23: Zależności okres-jasność dla OSARG-ów RGB sekwencja B.

## 2.4.5. Miry

Wśród mir wyróżnia się dwie grupy: miry o atmosferze bogatej w węgiel, oraz miry o atmosferze bogatej w tlen (Soszyński et al., 2009). W przypadku mir węglowych większość zależności oceniono na kwadratowe, podczas gdy dla tlenowych prawie wszystkie zależności mają charakter liniowy. Wyniki dla tych gwiazd przedstawiono w tabelach 2.24, 2.25, 2.26, 2.27.

Filtr	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\sigma$	$N$
LMC					
<i>V</i>	$6.512 \pm 0.057$	$-23.160 \pm 0.147$	$35.281 \pm 0.378$	1.196	961
	$6.440 \pm 0.057$	$-22.744 \pm 0.146$	$34.252 \pm 0.375$	1.189	961
	$6.480 \pm 0.057$	$-22.942 \pm 0.147$	$34.497 \pm 0.376$	1.190	961
<i>I</i>	$19.194 \pm 0.052$	$-89.155 \pm 0.134$	$118.195 \pm 0.346$	1.095	1174
	$19.122 \pm 0.051$	$-88.775 \pm 0.133$	$117.438 \pm 0.345$	1.093	1174
	$19.911 \pm 0.052$	$-92.882 \pm 0.134$	$122.777 \pm 0.347$	1.097	1175
<i>J</i>	$12.875 \pm 0.038$	$-60.822 \pm 0.100$	$84.726 \pm 0.258$	0.818	1086
	$12.245 \pm 0.039$	$-57.641 \pm 0.100$	$80.590 \pm 0.259$	0.821	1087
	$12.841 \pm 0.038$	$-60.635 \pm 0.100$	$84.345 \pm 0.259$	0.818	1086
<i>H</i>	$8.779 \pm 0.030$	$-42.567 \pm 0.079$	$63.456 \pm 0.205$	0.648	1084
	$8.655 \pm 0.030$	$-41.944 \pm 0.079$	$62.598 \pm 0.206$	0.650	1085
	$8.682 \pm 0.031$	$-42.078 \pm 0.080$	$62.764 \pm 0.206$	0.652	1085
<i>K</i>	$7.275 \pm 0.018$	$-37.333 \pm 0.048$	$58.849 \pm 0.123$	0.388	911
	$7.239 \pm 0.018$	$-37.141 \pm 0.048$	$58.545 \pm 0.123$	0.388	911
	$7.261 \pm 0.018$	$-37.249 \pm 0.048$	$58.682 \pm 0.123$	0.390	911
<i>W<sub>I</sub></i>	$14.962 \pm 0.045$	$-75.725 \pm 0.115$	$106.679 \pm 0.294$	0.932	946
	$14.994 \pm 0.045$	$-75.881 \pm 0.115$	$106.870 \pm 0.295$	0.934	946
<i>W<sub>JK</sub></i>	$-3.902 \pm 0.086$	$19.245 \pm 0.221$	0	0.310	905
	$-3.900 \pm 0.086$	$19.243 \pm 0.222$	0	0.312	905

Tablica 2.24: Zależności okres-jasność dla gwiazd typu Mira Ceti węglowych w Wielkim Obłoku Magellana.

Filtr	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\sigma$	$N$
SMC					
$V$	$-0.824 \pm 0.054$	$12.340 \pm 0.138$	$-6.721 \pm 0.352$	1.119	260
	$-0.813 \pm 0.054$	$12.221 \pm 0.139$	$-6.701 \pm 0.352$	1.122	260
$I$	$2.920 \pm 0.045$	$-8.333 \pm 0.116$	$18.738 \pm 0.299$	0.949	304
	$2.952 \pm 0.045$	$-8.528 \pm 0.117$	$18.901 \pm 0.299$	0.951	304
$J$	$7.384 \pm 0.031$	$-34.719 \pm 0.081$	$54.503 \pm 0.208$	0.660	260
	$7.426 \pm 0.032$	$-34.953 \pm 0.081$	$54.762 \pm 0.208$	0.661	260
$H$	$7.023 \pm 0.027$	$-35.026 \pm 0.069$	$56.165 \pm 0.176$	0.558	262
	$7.057 \pm 0.027$	$-35.214 \pm 0.069$	$56.382 \pm 0.176$	0.560	262
$K$	$5.082 \pm 0.018$	$-27.107 \pm 0.045$	$47.409 \pm 0.115$	0.366	255
	$5.099 \pm 0.018$	$-27.205 \pm 0.045$	$47.519 \pm 0.115$	0.367	255
$W_I$	$17.637 \pm 0.040$	$-88.868 \pm 0.102$	$123.315 \pm 0.259$	0.823	259
$W_{JK}$	$-3.727 \pm 0.188$	$19.064 \pm 0.483$	0	0.353	256

Tablica 2.25: Zależności okres-jasność dla gwiazd typu Mira Ceti węglowych w Małym Obłoku Magellana.

Filtr	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\sigma$	$N$
LMC					
$V$	$0.886 \pm 0.164$	$14.996 \pm 0.390$	0	0.657	446
	$0.922 \pm 0.169$	$14.490 \pm 0.400$	0	0.675	449
	$0.918 \pm 0.168$	$14.504 \pm 0.400$	0	0.674	449
$I$	$-1.491 \pm 0.095$	$17.897 \pm 0.227$	0	0.402	458
	$-1.502 \pm 0.093$	$17.668 \pm 0.222$	0	0.393	457
	$-1.504 \pm 0.093$	$17.677 \pm 0.222$	0	0.393	457
$J$	$-4.140 \pm 0.096$	$22.103 \pm 0.227$	0	0.374	412
	$-4.120 \pm 0.095$	$21.938 \pm 0.225$	0	0.369	411
	$-4.120 \pm 0.095$	$21.941 \pm 0.226$	0	0.372	411
$H$	$-3.888 \pm 0.069$	$20.829 \pm 0.161$	0	0.218	385
	$-3.878 \pm 0.067$	$20.730 \pm 0.158$	0	0.214	384
	$-3.878 \pm 0.068$	$20.734 \pm 0.160$	0	0.216	384
$K$	$-3.830 \pm 0.068$	$20.355 \pm 0.158$	0	0.167	353
	$-3.831 \pm 0.068$	$20.308 \pm 0.157$	0	0.166	353
	$-3.829 \pm 0.069$	$20.306 \pm 0.160$	0	0.169	353
$W_I$	$-2.511 \pm 0.020$	$6.432 \pm 0.048$	$9.017 \pm 0.115$	0.363	438
	$-2.531 \pm 0.021$	$6.548 \pm 0.049$	$8.863 \pm 0.116$	0.369	439
$W_{JK}$	$-3.854 \pm 0.083$	$19.687 \pm 0.193$	0	0.213	355
	$-3.852 \pm 0.083$	$19.686 \pm 0.194$	0	0.214	355

Tablica 2.26: Zależności okres-jasność dla gwiazd typu Mira Ceti tlenowych w Wielkim Obłoku Magellana.

Filtr	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\sigma$	$N$
SMC					
$V$	$-1.378 \pm 0.643$	$19.901 \pm 1.674$	0	0.812	34
	$-1.440 \pm 0.630$	$19.841 \pm 1.641$	0	0.795	34
$I$	$-2.526 \pm 0.525$	$20.254 \pm 1.375$	0	0.693	36
	$-2.563 \pm 0.518$	$20.222 \pm 1.358$	0	0.684	36
$J$	$-4.989 \pm 0.348$	$24.497 \pm 0.910$	0	0.426	31
	$-5.002 \pm 0.345$	$4.468 \pm 0.904$	0	0.423	31
$H$	$-4.405 \pm 0.383$	$22.320 \pm 0.998$	0	0.461	29
	$-4.412 \pm 0.381$	$22.300 \pm 0.993$	0	0.458	29
$K$	$-3.924 \pm 0.408$	$20.911 \pm 1.006$	0	0.277	17
	$-3.933 \pm 0.407$	$20.906 \pm 1.002$	0	0.276	17
$W_I$	$0.899 \pm 0.023$	$-10.096 \pm 0.061$	$29.625 \pm 0.159$	0.526	36
$W_{JK}$	$-3.407 \pm 0.540$	$18.971 \pm 1.330$	0	0.366	17

Tablica 2.27: Zależności okres-jasność dla gwiazd typu Mira Ceti tlenowych w Małym Obłoku Magellana.



## 2.4.6. Zmienne półregularne

Podobnie jak miry, gwiazdy zmienne półregularne dzielą się ze względu na obfitość w atmosferze węgla i tlenu. Oprócz tego, oba podtypy tych gwiazd dzielą się na dwie sekwencje  $C$  oraz  $C'$ , które mogą są dobrze rozdzielone na wykresie  $\log(P) - W_{JK}$  (Soszyński et al., 2009). Współczynniki zależności okres-jasność dla tych gwiazd przedstawione są w tabelach 2.28, 2.29, 2.30, 2.31, 2.32, 2.33, 2.34, 2.35.

Filtr	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\sigma$	$N$
LMC					
$V$	$3.045 \pm 0.026$	$-13.101 \pm 0.064$	$30.779 \pm 0.158$	0.499	1841
	$4.030 \pm 0.025$	$-17.879 \pm 0.062$	$36.122 \pm 0.152$	0.481	1836
	$3.958 \pm 0.025$	$-17.541 \pm 0.062$	$35.728 \pm 0.153$	0.484	1838
$I$	$-0.734 \pm 0.061$	$16.041 \pm 0.149$	0	0.333	1841
	$-0.749 \pm 0.060$	$15.827 \pm 0.147$	0	0.328	1842
	$-0.754 \pm 0.060$	$15.841 \pm 0.148$	0	0.330	1843
$J$	$-1.646 \pm 0.059$	$16.453 \pm 0.144$	0	0.316	1702
	$-1.646 \pm 0.059$	$16.330 \pm 0.144$	0	0.315	1703
	$-1.648 \pm 0.059$	$16.339 \pm 0.145$	0	0.316	1704
$H$	$-2.291 \pm 0.054$	$16.986 \pm 0.133$	0	0.290	1690
	$-2.292 \pm 0.054$	$16.911 \pm 0.133$	0	0.291	1692
	$-2.311 \pm 0.054$	$16.963 \pm 0.134$	0	0.293	1693
$K$	$-2.795 \pm 0.057$	$17.664 \pm 0.138$	0	0.244	1251
	$-2.792 \pm 0.057$	$17.605 \pm 0.139$	0	0.245	1252
	$-2.799 \pm 0.058$	$17.625 \pm 0.139$	0	0.246	1252
$W_I$	$-0.217 \pm 0.020$	$-3.454 \pm 0.049$	$19.730 \pm 0.120$	0.380	1871
	$-0.191 \pm 0.020$	$-3.576 \pm 0.049$	$9.876 \pm 0.120$	0.379	1869
$W_{JK}$	$-3.761 \pm 0.059$	$18.889 \pm 0.142$	0	0.249	1235
	$-3.777 \pm 0.059$	$18.932 \pm 0.143$	0	0.251	1235

Tablica 2.28: Zależności okres-jasność dla gwiazd zmiennych półregularnych węglowych sekwencja C w Wielkim Obłoku Magellana.

Filtr	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\sigma$	$N$
SMC					
$V$	$3.914 \pm 0.027$	$-16.436 \pm 0.065$	$33.924 \pm 0.156$	0.493	623
	$3.987 \pm 0.027$	$-16.786 \pm 0.064$	$34.122 \pm 0.154$	0.487	622
$I$	$-0.538 \pm 0.102$	$15.812 \pm 0.244$	0	0.299	616
	$-0.550 \pm 0.102$	$15.719 \pm 0.243$	0	0.298	616
$J$	$-1.462 \pm 0.111$	$16.384 \pm 0.266$	0	0.302	540
	$-1.464 \pm 0.111$	$16.328 \pm 0.266$	0	0.302	540
$H$	$-2.087 \pm 0.096$	$16.922 \pm 0.230$	0	0.259	535
	$-2.089 \pm 0.096$	$16.887 \pm 0.230$	0	0.260	535
$K$	$-2.867 \pm 0.085$	$18.263 \pm 0.203$	0	0.221	523
	$-2.868 \pm 0.085$	$18.240 \pm 0.203$	0	0.221	523
$W_I$	$0.146 \pm 0.018$	$-5.157 \pm 0.043$	$22.104 \pm 0.103$	0.328	634
$W_{JK}$	$-4.013 \pm 0.086$	$19.979 \pm 0.207$	0	0.221	518

Tablica 2.29: Zależności okres-jasność dla gwiazd zmiennych półregularnych węglowych sekwencja C w Małym Obłoku Magellana.

Filtr	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\sigma$	$N$
LMC					
$V$	$3.103 \pm 0.035$	$-12.243 \pm 0.077$	$28.711 \pm 0.167$	0.528	2618
	$3.166 \pm 0.035$	$-12.492 \pm 0.075$	$28.512 \pm 0.163$	0.515	2622
	$3.077 \pm 0.034$	$-12.098 \pm 0.075$	$28.083 \pm 0.163$	0.515	2621
$I$	$-1.347 \pm 0.050$	$17.034 \pm 0.109$	0	0.341	2614
	$-1.325 \pm 0.049$	$16.733 \pm 0.107$	0	0.333	2616
	$-1.314 \pm 0.050$	$16.709 \pm 0.108$	0	0.335	2618
$J$	$-2.150 \pm 0.047$	$16.960 \pm 0.101$	0	0.309	2457
	$-2.133 \pm 0.046$	$16.797 \pm 0.101$	0	0.305	2456
	$-2.130 \pm 0.047$	$16.791 \pm 0.101$	0	0.306	2456
$H$	$-2.674 \pm 0.042$	$17.077 \pm 0.090$	0	0.269	2395
	$-2.671 \pm 0.041$	$16.992 \pm 0.090$	0	0.268	2396
	$-2.669 \pm 0.041$	$16.987 \pm 0.090$	0	0.268	2395
$K$	$-3.044 \pm 0.041$	$17.365 \pm 0.087$	0	0.220	1747
	$-3.045 \pm 0.041$	$17.314 \pm 0.086$	0	0.219	1747
	$-3.045 \pm 0.041$	$17.317 \pm 0.088$	0	0.223	1751
$W_I$	$-1.698 \pm 0.019$	$2.433 \pm 0.041$	$12.682 \pm 0.089$	0.280	2623
	$-1.715 \pm 0.019$	$2.504 \pm 0.041$	$12.609 \pm 0.089$	0.281	2622
$W_{JK}$	$-3.847 \pm 0.037$	$18.010 \pm 0.078$	0	0.197	1713
	$-3.834 \pm 0.038$	$17.985 \pm 0.080$	0	0.202	1717

Tablica 2.30: Zależności okres-jasność dla gwiazd zmiennych półregularnych węglowych sekwencja C' w Wielkim Obłoku Magellana.

Filtr	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\sigma$	$N$
SMC					
$V$	$2.967 \pm 0.038$	$-11.042 \pm 0.082$	$26.953 \pm 0.175$	0.555	716
	$2.912 \pm 0.038$	$-10.829 \pm 0.082$	$26.532 \pm 0.175$	0.556	717
$I$	$-1.166 \pm 0.106$	$16.879 \pm 0.226$	0	0.339	716
	$-1.183 \pm 0.106$	$16.788 \pm 0.225$	0	0.338	716
$J$	$-2.145 \pm 0.096$	$17.334 \pm 0.205$	0	0.289	642
	$-2.145 \pm 0.095$	$17.274 \pm 0.204$	0	0.288	641
$H$	$-2.835 \pm 0.084$	$17.851 \pm 0.179$	0	0.251	637
	$-2.839 \pm 0.084$	$17.821 \pm 0.179$	0	0.252	637
$K$	$-3.521 \pm 0.074$	$18.798 \pm 0.157$	0	0.212	616
	$-3.514 \pm 0.074$	$18.758 \pm 0.157$	0	0.211	615
$W_I$	$-0.664 \pm 0.021$	$-2.570 \pm 0.044$	$18.970 \pm 0.094$	0.297	720
$W_{JK}$	$-4.533 \pm 0.066$	$19.941 \pm 0.142$	0	0.190	607

Tablica 2.31: Zależności okres-jasność dla gwiazd zmiennych półregularnych węglowych sekwencja C' w Małym Obłoku Magellana.

Filtr	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\sigma$	$N$
LMC					
<i>V</i>	$3.449 \pm 0.032$	$-13.057 \pm 0.070$	$28.966 \pm 0.149$	0.470	2461
	$3.383 \pm 0.032$	$-12.784 \pm 0.070$	$28.249 \pm 0.148$	0.469	2469
	$3.375 \pm 0.032$	$-12.752 \pm 0.070$	$28.219 \pm 0.148$	0.469	2468
<i>I</i>	$-1.442 \pm 0.028$	$17.541 \pm 0.059$	0	0.250	2434
	$-1.434 \pm 0.028$	$17.277 \pm 0.059$	0	0.251	2447
	$-1.441 \pm 0.028$	$17.292 \pm 0.059$	0	0.251	2446
<i>J</i>	$-2.743 \pm 0.028$	$18.785 \pm 0.060$	0	0.245	2268
	$-2.744 \pm 0.028$	$18.664 \pm 0.060$	0	0.244	2271
	$-2.743 \pm 0.028$	$18.664 \pm 0.060$	0	0.244	2269
<i>H</i>	$-2.963 \pm 0.030$	$18.445 \pm 0.065$	0	0.266	2267
	$-2.962 \pm 0.030$	$18.365 \pm 0.065$	0	0.265	2267
	$-2.966 \pm 0.030$	$18.374 \pm 0.065$	0	0.265	2267
<i>K</i>	$-3.207 \pm 0.031$	$18.682 \pm 0.066$	0	0.267	2250
	$-3.207 \pm 0.031$	$18.629 \pm 0.066$	0	0.267	2250
	$-3.210 \pm 0.031$	$18.638 \pm 0.066$	0	0.268	2250
<i>W<sub>I</sub></i>	$-3.341 \pm 0.034$	$8.196 \pm 0.074$	$8.498 \pm 0.158$	0.500	2494
	$-3.349 \pm 0.034$	$8.225 \pm 0.074$	$8.471 \pm 0.158$	0.500	2494
<i>W<sub>JK</sub></i>	$-3.561 \pm 0.035$	$18.683 \pm 0.074$	0	0.301	2248
	$-3.564 \pm 0.035$	$18.692 \pm 0.075$	0	0.302	2248

Tablica 2.32: Zależności okres-jasność dla gwiazd zmiennych półregularnych tlenowych sekwencja C w Wielkim Obłoku Magellana.

Filtr	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\sigma$	$N$
SMC					
$V$	$0.250 \pm 0.027$	$-1.597 \pm 0.056$	$18.968 \pm 0.113$	0.360	287
	$0.172 \pm 0.027$	$-1.318 \pm 0.055$	$18.514 \pm 0.112$	0.355	287
$I$	$-2.041 \pm 0.098$	$18.958 \pm 0.199$	0	0.282	291
	$-2.059 \pm 0.097$	$18.871 \pm 0.197$	0	0.280	291
$J$	$-2.643 \pm 0.102$	$18.897 \pm 0.208$	0	0.276	250
	$-2.650 \pm 0.102$	$18.852 \pm 0.208$	0	0.276	250
$H$	$-2.994 \pm 0.110$	$18.839 \pm 0.223$	0	0.295	249
	$-3.000 \pm 0.110$	$18.813 \pm 0.224$	0	0.295	249
$K$	$-3.180 \pm 0.112$	$18.955 \pm 0.228$	0	0.300	250
	$-3.184 \pm 0.112$	$18.938 \pm 0.228$	0	0.300	250
$W_I$	$-1.370 \pm 0.025$	$0.949 \pm 0.052$	$15.526 \pm 0.106$	0.335	292
$W_{JK}$	$-3.516 \pm 0.127$	$18.936 \pm 0.260$	0	0.340	249

Tablica 2.33: Zależności okres-jasność dla gwiazd zmiennych półregularnych tlenowych sekwencja C w Małym Obłoku Magellana.

Filtr	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\sigma$	$N$
LMC					
$V$	$6.645 \pm 0.035$	$-23.335 \pm 0.068$	$37.317 \pm 0.133$	0.419	2909
	$6.512 \pm 0.035$	$-22.806 \pm 0.068$	$36.364 \pm 0.131$	0.414	2911
	$6.539 \pm 0.035$	$-22.915 \pm 0.068$	$36.473 \pm 0.131$	0.414	2911
$I$	$-1.914 \pm 0.031$	$18.104 \pm 0.059$	0	0.231	2909
	$-1.902 \pm 0.030$	$17.832 \pm 0.058$	0	0.226	2911
	$-1.905 \pm 0.030$	$17.840 \pm 0.059$	0	0.227	2913
$J$	$-3.571 \pm 0.023$	$19.635 \pm 0.045$	0	0.169	2697
	$-3.563 \pm 0.023$	$19.500 \pm 0.045$	0	0.168	2700
	$-3.570 \pm 0.023$	$19.517 \pm 0.045$	0	0.170	2702
$H$	$-3.712 \pm 0.022$	$19.053 \pm 0.043$	0	0.161	2690
	$-3.704 \pm 0.022$	$18.962 \pm 0.043$	0	0.160	2690
	$-3.707 \pm 0.022$	$18.970 \pm 0.043$	0	0.163	2693
$K$	$-3.987 \pm 0.022$	$19.282 \pm 0.043$	0	0.157	2648
	$-3.981 \pm 0.022$	$19.220 \pm 0.042$	0	0.156	2645
	$-3.989 \pm 0.022$	$19.238 \pm 0.043$	0	0.158	2647
$W_I$	$-3.697 \pm 0.029$	$6.389 \pm 0.057$	$11.673 \pm 0.111$	0.350	2957
	$-3.695 \pm 0.029$	$6.377 \pm 0.057$	$11.690 \pm 0.111$	0.351	2957
$W_{JK}$	$-4.268 \pm 0.022$	$19.025 \pm 0.043$	0	0.157	2629
	$-4.266 \pm 0.022$	$19.022 \pm 0.043$	0	0.159	2629

Tablica 2.34: Zależności okres-jasność dla gwiazd zmiennych półregularnych tlenowych sekwencja C' w Wielkim Obłoku Magellana.

Filtr	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\sigma$	$N$
SMC					
$V$	$0.362 \pm 0.027$	$-2.707 \pm 0.052$	$20.527 \pm 0.098$	0.312	338
	$0.259 \pm 0.026$	$-2.398 \pm 0.050$	$20.091 \pm 0.095$	0.300	337
$I$	$-3.152 \pm 0.099$	$20.544 \pm 0.187$	0	0.206	336
	$-3.201 \pm 0.097$	$20.510 \pm 0.183$	0	0.200	335
$J$	$-4.087 \pm 0.088$	$20.947 \pm 0.166$	0	0.168	278
	$-4.098 \pm 0.087$	$20.907 \pm 0.166$	0	0.168	278
$H$	$-4.274 \pm 0.084$	$20.477 \pm 0.159$	0	0.160	277
	$-4.281 \pm 0.084$	$20.452 \pm 0.159$	0	0.160	277
$K$	$-4.253 \pm 0.078$	$20.174 \pm 0.147$	0	0.133	270
	$-4.255 \pm 0.078$	$20.153 \pm 0.147$	0	0.133	270
$W_I$	$-2.454 \pm 0.016$	$3.276 \pm 0.031$	$13.906 \pm 0.059$	0.186	339
$W_{JK}$	$-4.579 \pm 0.081$	$20.038 \pm 0.152$	0	0.139	27

Tablica 2.35: Zależności okres-jasność dla gwiazd zmiennych półregularnych tlenowych sekwencja C' w Małym Obłoku Magellana.



### 3. Wzajemna odległość Obłoków Magellana

Przyjmując zależności okres-jasność dla gwiazd z Wielkiego Obłoku Magellana za wzorcowe, można wyznaczyć różnice modułów odległości Małego i Wielkiego Obłoku Magellana. Metoda wyznaczania tej różnicy została przedstawiona w rozdziale 1.2. Do danych dla gwiazd z Małego Obłoku Magellana należało dopasować punkt zerowy zależności o nachyleniu identycznym jak w Wielkim Obłoku Magellana, wtedy różnica modułów odległości jest różnicą punktów zerowych zależności z Małego i Wielkiego Obłoku Magellana.

Wiele zależności z Wielkiego Obłoku Magellana jest dopasowane z dużym błędem, wynikającym z rozrzutu danych, dlatego wyznaczenie odległości za ich pomocą byłoby niedokładne. Do pomiarów wybrano więc najlepiej dopasowane zależności, wyznaczone, w przypadku filtrów, na podstawie danych odczerwionych, natomiast w przypadku indeksów wesenheit na podstawie danych nieodczerwionych. W przypadku cefeid klasycznych zależności dla wszystkich filtrów i indeksów wesenheit wyznaczone są dość dokładnie więc wykorzystano każdą z nich. Dość dobrze wyznaczone są także zależności dla gwiazd W Vir w indeksie wesenheit  $W_I$ , zmiennych półregularnych w filtrze  $K$  oraz indeksie wesenheit  $W_{JK}$ , OSARG-ów w indeksie wesenheit  $W_{JK}$  oraz mir w filtrze  $K$ .

Punkty zerowe zależności o nachyleniu identycznym jak w Wielkim Obłoku Magellana do danych (odczerwionych w przypadku filtrów, nieodczerwionych w przypadku indeksów wesenheit) dla gwiazd z Małego Obłoku Magellana dopasowano za pomocą metody najmniejszych kwadratów. Po pierwszym dopasowaniu odrzucane były punkty odstające od zależności o więcej niż  $3\sigma$  i zależność dopasowywano ponownie. Różnice modułów odległości, będące różnicą pomiędzy punktami zerowymi zależności otrzymanej i zależności wzorcowej dla cefeid klasycznych zamieszczone są w tabeli 3.1. Jak wspomniano w rozdziale 2.4.1, w przypadku cefeid klasycznych pulsujących w modzie podstawowym w Małym Obłoku Magellana, dla logarytmu okresu wynoszącego około 0,4 prawdopodobnie występuje załamanie zależności dlatego dla każdego filtru podane są dwa wyniki. Pierwszy wynik jest różnicą modułów odległości po dopasowaniu zależności do cefeid z Małego Obłoku Magellana o logarytmie

okresu większym od 0,4, natomiast drugi pochodzi od dopasowania zależności dla wszystkich cefeid fundamentalnych.

Wyznaczanie odległości w przypadku gwiazd W Vir oraz półregularnych przebiegało identycznie jak w przypadku cefeid. Bardziej problematyczne okazało się wyznaczenie odległości za pomocą OSARG-ów. Ze względu na trudności w rozdzieleniu gwiazd leżących na AGB i RGB dla Małego Obłoku Magellana należało dopasować punkty zerowe wszystkich zależności w indeksie wesenheit  $W_{JK}$  dla tych gwiazd jednocześnie. Wyniki przedstawione są w tabeli 3.2.

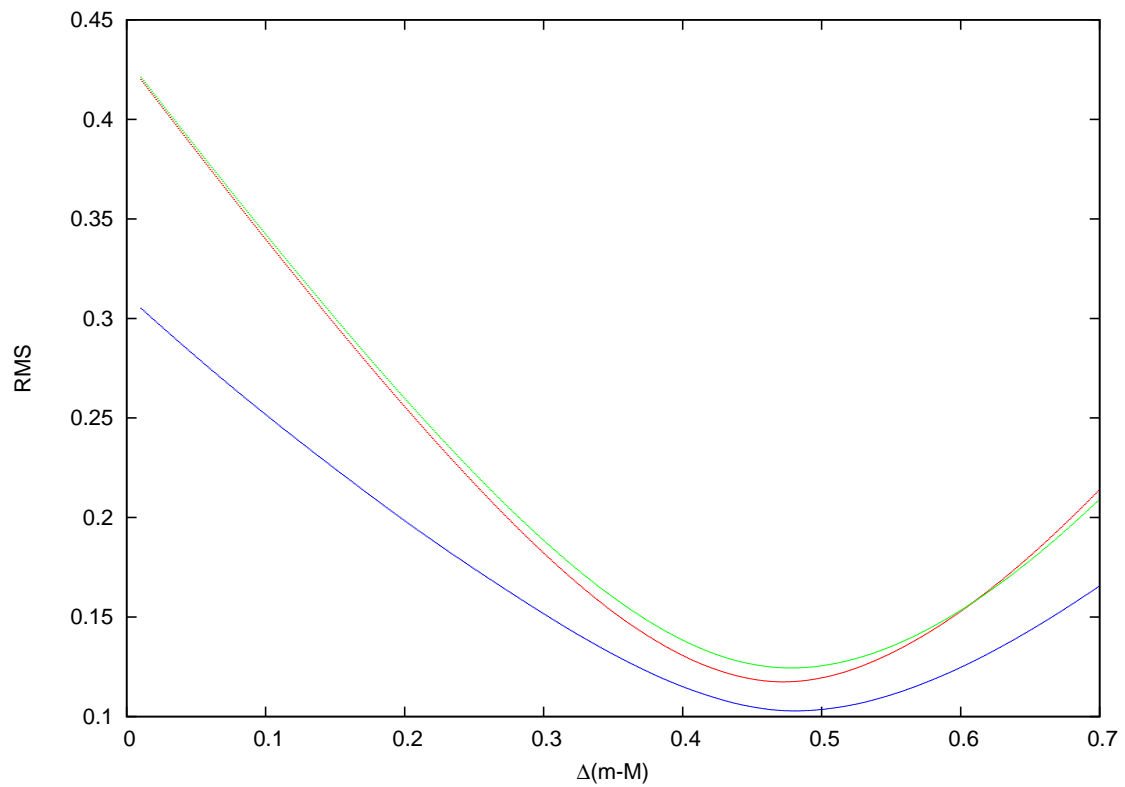
Rysunek 3.1 przedstawia zależność średniego odchylenia danych ( $RMS \equiv \sigma$ ) od dopasowywanych zależności dla OSARG-ów od różnic modułów odległości Małego i Wielkiego Obłoku Magellana. Linia zielona odpowiada dopasowywaniu dwóch zależności (dla gwiazd AGB i RGB) dla sekwencji A, czerwona zależności dla sekwencji B, oraz niebieska wszystkich czterech zależności (AGB sekwencja A i B oraz RGB sekwencja A i B) jednocześnie. Najlepiej pasujące do gwiazd z Małego Obłoku Magellana zależności, przy jednoczesnym dopasowywaniu punktów zerowych wszystkich zależności, przedstawia rysunek 3.2.

Filtr	$\Delta(m - M)$	$\sigma_{\Delta(m-M)}$
Cefeidy klasyczne w modzie podstawowym		
<i>V</i>	0.562	0.277
	0.632	0.274
<i>I</i>	0.521	0.222
	0.591	0.226
<i>J</i>	0.512	0.188
	0.584	0.205
<i>H</i>	0.494	0.170
	0.560	0.187
<i>K</i>	0.489	0.162
	0.558	0.189
<i>W<sub>I</sub></i>	0.483	0.147
	0.543	0.165
<i>W<sub>JK</sub></i>	0.482	0.154
	0.545	0.194
Cefeidy klasyczne w pierwszym owertonie		
<i>V</i>	0.550	0.281
<i>I</i>	0.543	0.231
<i>J</i>	0.556	0.209
<i>H</i>	0.548	0.192
<i>K</i>	0.555	0.195
<i>W<sub>I</sub></i>	0.552	0.175
<i>W<sub>JK</sub></i>	0.553	0.202

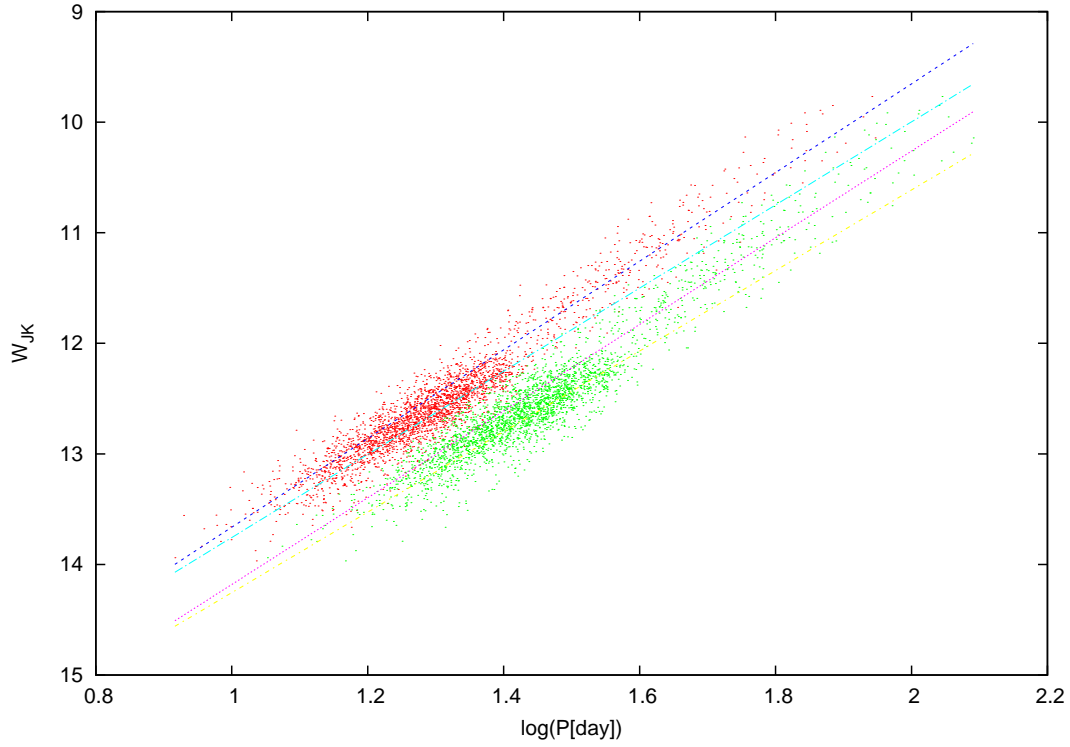
Tablica 3.1: Różnica modułów odległości Małego i Wielkiego Obłoku Magellana wyznaczona na podstawie zależności okres-jasność dla cefeid klasycznych.

Filtr	$\Delta(m - M)$	$\sigma_{\Delta(m-M)}$
WVir		
$W_I$	0.459	0.126
półregularne węglowe sekwencja C		
$K$	0.447	0.229
$W_{JK}$	0.474	0.217
półregularne węglowe sekwencja C'		
$K$	0.448	0.222
$W_{JK}$	0.482	0.236
półregularne tlenowe sekwencja C		
$K$	0.357	0.298
$W_{JK}$	0.343	0.338
półregularne tlenowe sekwencja C'		
$K$	0.418	0.138
$W_{JK}$	0.429	0.139
OSARG sekwencja A		
$W_{JK}$	0.472	0.117
OSARG sekwencja B		
$W_{JK}$	0.478	0.124
OSARG sekwencja A+B		
$W_{JK}$	0.481	0.103
Miry węglowe		
$K$	0.368	0.402
Miry tlenowe		
$K$	0.348	0.268

Tablica 3.2: Różnica modułów odległości Małego i Wielkiego Obłoku Magellana wyznaczona na podstawie zależności okres-jasność gwiazd WVir, półregularnych, OSARG i mir.



Rysunek 3.1: Średnie odchylenie danych z Małego Obłoku Magellana od dopasowanych zależności okres-jasność dla OSARG-ów vs różnica modułów odległości Małego i Wielkiego Obłoku Magellana (linia zielona odpowiada dopasowywaniu dwóch zależności (dla gwiazd AGB i RGB) dla sekwencji A, czerwona zależności dla sekwencji B, oraz niebieska wszystkich czterech zależności (AGB sekwencja A i B oraz RGB sekwencja A i B) jednocześnie).



Rysunek 3.2: Dopasowane do danych dla OSARG-ów z Małego Obłoku Magellana zależności o nachyleniu identycznym jak zależności dla OSARG-ów w Wielkim Obłoku Magellana. Kolorem czerwonym zaznaczono sekwencję A, zielonym sekwencję B dla połączonych danych gwiazd AGB i RGB, linia ciemno-niebieska jest zależnością dla OSARG-ów AGB sekwencji A, jasno-niebieska dla OSARG-ów RGB sekwencji A, różowa dla AGB sekwencji B, żółta dla RGB sekwencji B.

## 4. Geometria Obłoków Magellana

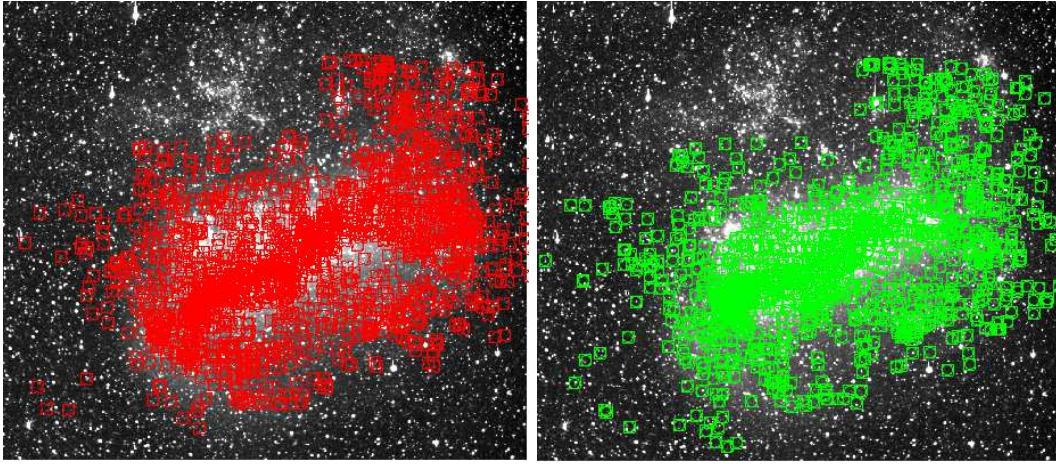
Zależność okres jasność może służyć również jako dobre narzędzie do badania geometrii galaktyk. Gdy znamy zależność okres jasność dla danego typu gwiazd w galaktyce, zakładając, że rozrzut punktów spowodowany jest różnymi odległościami gwiazd, możemy mierzyć różnicę pomiędzy odległością gwiazdy a odległością centrum galaktyki. Wykorzystując więc wyprowadzone wcześniej zależności okres-jasność dla gwiazd z Wielkiego i Małego Obłoku Magellana, można teraz utworzyć modele tych galaktyk.

Do badania geometrii wykorzystane zostały zależności dla danych odczerwienionych dla filtru K oraz indeksu wesenheit  $W_I$  dla cefeid klasycznych pulsujących w modzie podstawowym oraz pierwszym owertonie, ze względu na najmniejsze średnie odchylenie tych gwiazd od dopasowanych zależności. Gwiazdy zostały podzielone ze względu na przynależność do pól wydzielonych w Obłokach Magellana na potrzeby III fazy projektu OGLE (pełną listę pól znaleźć można pod adresem <http://ogle.astrouw.edu.pl/>). Analogicznie jak przy wyznaczaniu różnic modułów odległości Małego i Wielkiego Obłoku Magellana, mierzono różnicę modułów odległości środka danego pola i centrum galaktyki poprzez dopasowanie punktu zerowego zależności okres-jasność o nachyleniu wyznaczonym z wszystkich gwiazd w galaktyce do gwiazd leżących w polu. Różnica punktów zerowych tych dwu zależności jest różnicą modułów odległości środka pola i centrum Obłoku.

### 4.1. Wielki Obłok Magellana

Na rysunku 4.1 przedstawiony jest rozkład cefeid klasycznych pulsujących w modzie podstawowym oraz w pierwszym owertonie w Wielkim Obłoku Magellana. Widać, że gwiazdy rozłożone są w galaktyce dosyć równomiernie, można więc przyjąć, że wyznaczone punkty zerowe zależności okres-jasność odnoszą się do centrum Obłoku.

Wielki Obłok Magellana został podzielony przez zespół OGLE na 115 pól o wymiarach  $36' \times 36'$ . Po podzieleniu gwiazd ze względu na przynależność do poszczególnych pól odrzucono pola, w których znajdowało się mniej niż 5 gwiazd każdego typu. Następnie do danych dopasowano punkty zerowe zależności okres-jasność, której nachylenie było identyczne z nachyleniem zależności wyznaczonej dla wszystkich gwiazd

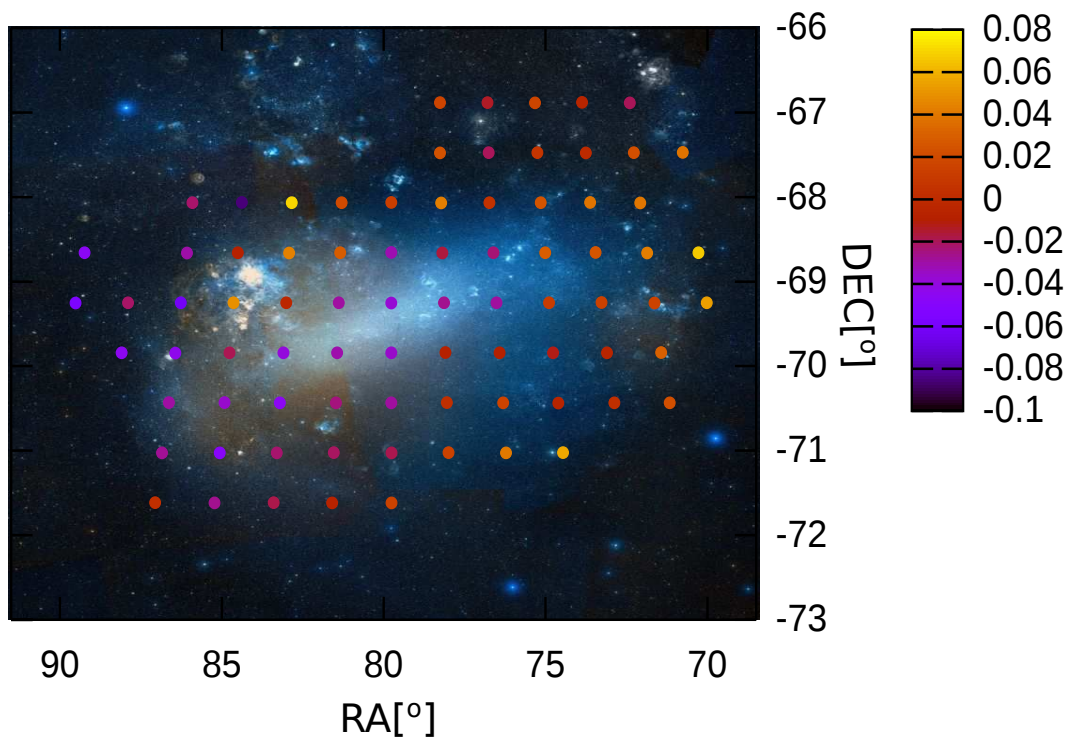


Rysunek 4.1: Lewy panel: położenie cefeid klasycznych w modzie podstawowym w Wielkim Obłoku Magellana. Prawy panel: to samo dla cefeid klasycznych w pierwszym owertonie.

danego typu w Wielkim Obłoku Magellana. W ten sposób wyznaczono średnią różnicę modułów odległości gwiazd leżących w danym polu i centrum Wielkiego Obłoku Magellana. Ostateczna wartość powstała z uśrednienia wyników otrzymanych dla cefeid pulsujących w modzie podstawowym i w pierwszym owertonie w filtrze  $K$  oraz indeksie wesenheit  $W_I$ . Numery i współrzędne środków pól oraz otrzymane różnice modułów odległości przedstawione zostały w tabeli 4.1. Wartości ujemne odpowiadają obszarom znajdującym się bliżej niż centrum galaktyki.

Wyniki zilustrowane zostały na rysunku 4.2. Na tle Wielkiego Obłoku Magellana zaznaczone zostały środki pól. Kolory odpowiadają otrzymanym różnicom modułów odległości środków pól i centrum galaktyki.





Rysunek 4.2: Model Wielkiego Obłoku Magellana. Na tle galaktyki naniesione są punkty, pokazujące środki pól, na które podzielony został Obłok przez zespół OGLE. Kolory punktów odpowiadają różnicom modułów odległości środka pola i centrum galaktyki.

Pole	$\alpha[^\circ]$	$\delta[^\circ]$	$\Delta(m - M)$
<i>LMC100</i>	79.759167	-69.251944	-0.038
<i>LMC101</i>	79.762917	-68.655278	-0.032
<i>LMC102</i>	79.764167	-68.063333	0.012
<i>LMC103</i>	79.762083	-69.840556	-0.036
<i>LMC104</i>	79.760000	-70.434167	-0.029
<i>LMC105</i>	79.756667	-71.025278	-0.019
<i>LMC106</i>	79.754167	-71.615833	0.015
<i>LMC107</i>	78.256250	-66.882500	0.016
<i>LMC108</i>	78.257917	-67.477778	0.023
<i>LMC109</i>	78.222083	-68.068333	0.042
<i>LMC110</i>	78.181667	-68.661667	-0.017
<i>LMC111</i>	78.136250	-69.250556	-0.027
<i>LMC112</i>	78.089583	-69.839167	-0.009
<i>LMC113</i>	78.045417	-70.430000	0.0022
<i>LMC114</i>	77.995417	-71.022778	0.015
<i>LMC115</i>	76.790417	-66.883056	-0.014
<i>LMC116</i>	76.753750	-67.474722	-0.020
<i>LMC117</i>	76.730417	-68.066111	0.005
<i>LMC118</i>	76.605833	-68.656944	-0.023
<i>LMC119</i>	76.510417	-69.250556	-0.029
<i>LMC120</i>	76.415833	-69.841111	-0.009
<i>LMC121</i>	76.310000	-70.433056	0.015
<i>LMC122</i>	76.220417	-71.023611	0.040
<i>LMC123</i>	75.325000	-66.883333	0.017
<i>LMC124</i>	75.251250	-67.474167	0.006
<i>LMC125</i>	75.150417	-68.065000	0.024
<i>LMC126</i>	75.010000	-68.658611	0.029
<i>LMC127</i>	74.890000	-69.248333	0.011
<i>LMC128</i>	74.765000	-69.840000	-0.012
<i>LMC129</i>	74.602500	-70.435278	-0.006
<i>LMC130</i>	74.461667	-71.022222	0.057
<i>LMC131</i>	73.869167	-66.879444	-0.006

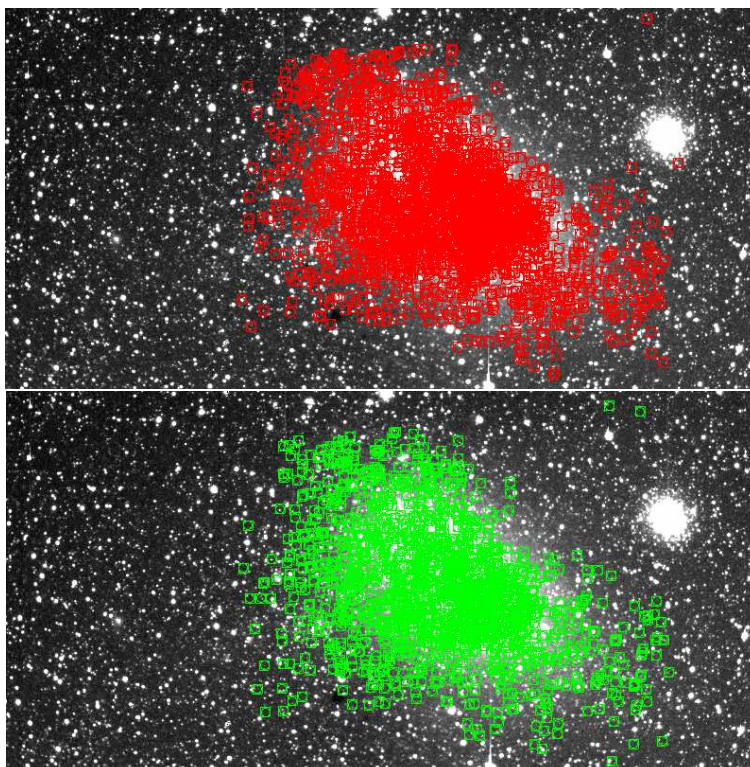
<i>LMC132</i>	73.752500	-67.476667	-0.002
<i>LMC133</i>	73.621667	-68.063056	0.039
<i>LMC134</i>	73.455000	-68.655000	0.025
<i>LMC135</i>	73.271667	-69.247500	0.014
<i>LMC136</i>	73.098750	-69.840278	-0.005
<i>LMC137</i>	72.875833	-70.433611	0.003
<i>LMC138</i>	72.394583	-66.885278	-0.020
<i>LMC139</i>	72.271667	-67.475000	0.022
<i>LMC140</i>	72.075833	-68.068056	0.039
<i>LMC141</i>	71.861250	-68.660000	0.042
<i>LMC142</i>	71.632917	-69.252222	0.015
<i>LMC143</i>	71.429583	-69.838611	0.030
<i>LMC144</i>	71.167500	-70.433611	0.022
<i>LMC146</i>	70.762500	-67.471389	0.038
<i>LMC148</i>	70.278333	-68.657500	0.067
<i>LMC149</i>	70.021250	-69.249167	0.054
<i>LMC159</i>	81.297500	-68.066111	0.019
<i>LMC160</i>	81.337083	-68.656667	0.028
<i>LMC161</i>	81.385417	-69.249722	-0.030
<i>LMC162</i>	81.430417	-69.840000	-0.031
<i>LMC163</i>	81.467500	-70.431944	-0.025
<i>LMC164</i>	81.535000	-71.023056	-0.021
<i>LMC165</i>	81.587083	-71.616944	-0.007
<i>LMC166</i>	82.833750	-68.064167	0.070
<i>LMC167</i>	82.915000	-68.658889	0.043
<i>LMC168</i>	83.005833	-69.250000	-0.003
<i>LMC169</i>	83.095000	-69.840556	-0.040
<i>LMC170</i>	83.200417	-70.431389	-0.046
<i>LMC171</i>	83.294167	-71.025000	-0.023
<i>LMC172</i>	83.393333	-71.615000	-0.019
<i>LMC173</i>	84.372083	-68.063889	-0.086
<i>LMC174</i>	84.499167	-68.657222	-0.009

<i>LMC175</i>	84.634583	-69.250278	0.049
<i>LMC176</i>	84.756667	-69.841667	-0.020
<i>LMC177</i>	84.908333	-70.430278	-0.037
<i>LMC178</i>	85.058750	-71.024167	-0.049
<i>LMC179</i>	85.217917	-71.616111	-0.027
<i>LMC181</i>	85.898750	-68.066111	-0.022
<i>LMC182</i>	86.066667	-68.658889	-0.031
<i>LMC183</i>	86.261667	-69.249722	-0.062
<i>LMC184</i>	86.430000	-69.842500	-0.044
<i>LMC185</i>	86.628333	-70.430833	-0.030
<i>LMC186</i>	86.838333	-71.023333	-0.028
<i>LMC187</i>	87.052500	-71.614444	0.0025
<i>LMC190</i>	87.888333	-69.248611	-0.022
<i>LMC191</i>	88.083750	-69.840000	-0.045
<i>LMC196</i>	89.227917	-68.658056	-0.047
<i>LMC197</i>	89.511250	-69.251667	-0.057

Tablica 4.1: Pierwsza kolumna zawiera nazwy pól wydzielonych w ramach III fazy projektu OGLE w Wielkim Obłoku Magellana, druga i trzecia odpowiednio rektascensję i deklinację środków pól, czwarta średnią różnicę pomiędzy modułami odległości cefeid klasycznych znajdujących się w danym polu i centrum galaktyki.

## 4.2. Mały Obłok Magellana

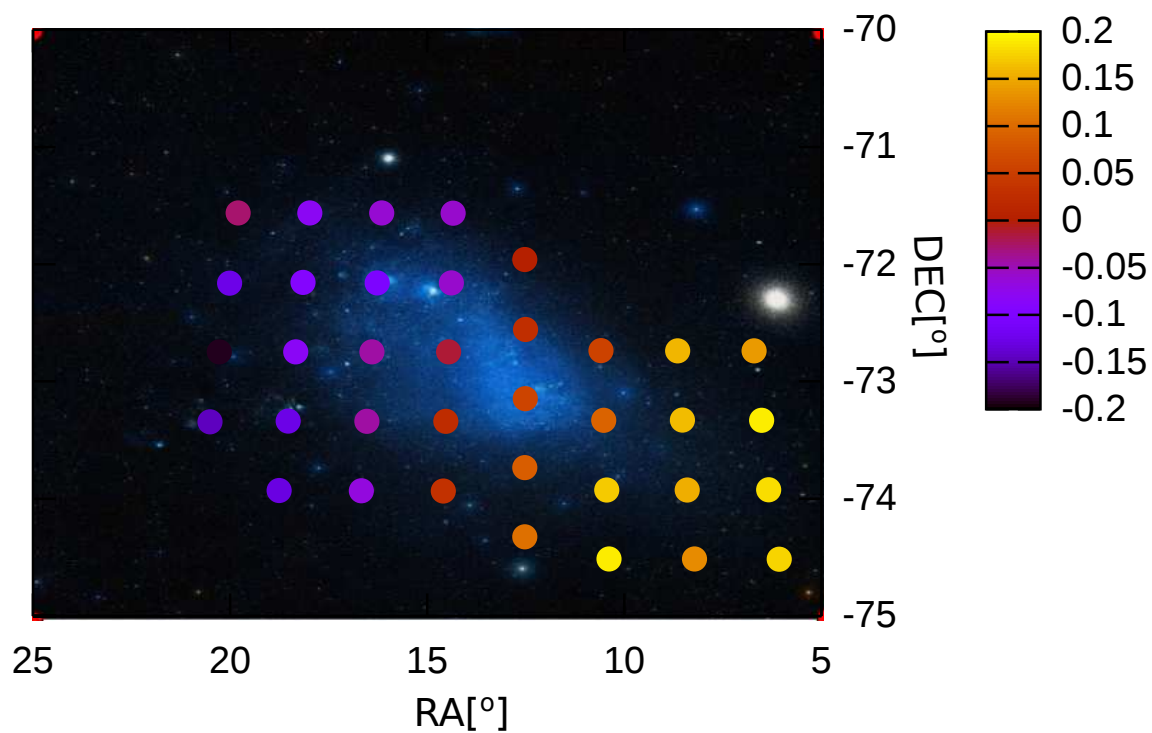
Rysunek 4.3 przedstawia rozkład cefeid klasycznych w modzie podstawowym i pierwszym owertonie w Małym Obłoku Magellana. Podobnie jak w Wielkim Obłoku Magellana cefeidy rozłożone są dość jednorodnie w galaktyce, więc można przyjąć, że wyprowadzone zależności odnoszą się do centrum Obłoku.



Rysunek 4.3: Górny panel: rozkład cefeid klasycznych pulsujących w modzie podstawowym w Małym Obłoku Magellana. Dolny panel: to samo dla cefeid klasycznych w pierwszym owertonie.

Modelowanie Małego Obłoku Magellana przebiegało w identyczny sposób jak w przypadku Wielkiego Obłoku Magellana. Jediną różnicą była konieczność stosowania w przypadku cefeid klasycznych w modzie podstawowym dwu zależności- jednej dla gwiazd o logarytmie okresu pulsacji mniejszym od 0,4 oraz drugiej dla pozostałych gwiazd. Otrzymane wyniki przedstawione są w tabeli 4.2 oraz zilustrowane zostały na tle Małego Obłoku Magellana na rysunku 4.4. Tak jak dla Wielkiego Obłoku Magellana ujemne wartości różnic modułów odległości odpowiadają obszarom

położonym bliżej Ziemi.



Rysunek 4.4: Model Małego Obłoku Magellana. Na tle galaktyki naniesione są punkty, pokazujące środki pól, na które podzielony został Obłok przez zespół OGLE. Kolory punktów odpowiadają różnicom modułów odległości środka pola i centrum galaktyki.

Pole	$\alpha[^\circ]$	$\delta[^\circ]$	$\Delta(m - M)$
<i>SMC100</i>	12.512083	-73.144444	0.057
<i>SMC101</i>	12.501667	-72.555000	0.026
<i>SMC102</i>	12.520833	-71.957222	0.001
<i>SMC103</i>	12.520000	-73.733333	0.086
<i>SMC104</i>	12.520833	-74.323056	0.104
<i>SMC105</i>	14.456667	-72.744722	-0.014
<i>SMC106</i>	14.522917	-73.338056	0.023
<i>SMC107</i>	14.591250	-73.931667	0.032
<i>SMC108</i>	14.385417	-72.156667	-0.060
<i>SMC109</i>	14.337083	-71.563333	-0.059
<i>SMC110</i>	16.399167	-72.745833	-0.045
<i>SMC111</i>	16.525000	-73.337222	-0.044
<i>SMC112</i>	16.670417	-73.930000	-0.067
<i>SMC113</i>	16.263333	-72.157778	-0.103
<i>SMC114</i>	16.153333	-71.561667	-0.062
<i>SMC115</i>	18.330833	-72.745000	-0.083
<i>SMC116</i>	18.521667	-73.335556	-0.128
<i>SMC117</i>	18.751667	-73.928889	-0.131
<i>SMC118</i>	18.147083	-72.153333	-0.094
<i>SMC119</i>	17.975417	-71.561111	-0.081
<i>SMC120</i>	20.271667	-72.746111	-0.193
<i>SMC121</i>	20.505000	-73.343056	-0.146
<i>SMC123</i>	20.009583	-72.159444	-0.127
<i>SMC124</i>	19.790000	-71.562222	-0.028
<i>SMC125</i>	10.517500	-73.329167	0.091
<i>SMC126</i>	10.590833	-72.735556	0.055
<i>SMC128</i>	10.442500	-73.923611	0.170
<i>SMC129</i>	10.382917	-74.511667	0.190
<i>SMC130</i>	8.525417	-73.327500	0.161
<i>SMC131</i>	8.641667	-72.736389	0.158
<i>SMC133</i>	8.403750	-73.923333	0.152
<i>SMC134</i>	8.218750	-74.511667	0.127

<i>SMC135</i>	6.515833	-73.329167	0.190
<i>SMC136</i>	6.702917	-72.737222	0.138
<i>SMC138</i>	6.339167	-73.921389	0.182
<i>SMC139</i>	6.068750	-74.513333	0.176

Tablica 4.2: Pierwsza kolumna zawiera nazwy pól wydzielonych w ramach III fazy projektu OGLE w Małym Obłoku Magellana, druga i trzecia odpowiednio rektascensję i deklinację środków pól, czwarta średnią różnicę pomiędzy modułami odległości cefeid klasycznych znajdujących się w danym polu i centrum galaktyki.



## 5. Dyskusja wyników

### 5.1. Zależności okres-jasność

Porównując zależności okres-jasność wyznaczone z danych nieodczerwienionych, odczerwienionych, oraz, w przypadku Wielkiego Obłoku Magellana, odczerwienionych i poprawionych ze względu na geometrię tej galaktyki dla niemal wszystkich zależności odczerwienienie danych znacznie zmniejsza ich średnie odchylenie od dopasowanych zależności, natomiast poprawki ze względu na geometrię zmniejszają w niewielkim stopniu bądź też w wielu przypadkach zwiększają rozrzut danych.

Najlepiej dopasowanymi zależnościami okres-jasność spośród zaprezentowanych są zależności dla cefeid klasycznych w modzie podstawowym i pierwszym owertonie. Otrzymane współczynniki są również zgodne z wynikami otrzymanymi przez innych autorów np. Bono et al. (2013), Udalski et al. (1999). Różnice pomiędzy zależnościami dla cefeid klasycznych w modzie podstawowym z Wielkiego i Małego Obłoku Magellana potwierdzają, że w okolicy logarytmu okresu pulsacji 0,4 w Małym Obłoku Magellana istnieje załamanie zależności.

Zależności okres-jasność dla cefeid anomalnych, ze względu na bardzo małą liczebność tych gwiazd nie posiadają zbyt wielu wyznaczeń. Porównując współczynniki otrzymanych zależności z wyznaczonymi przez Fiorentino & Monelli (2012) widoczne są dość duże różnice.

Zależności okres-jasność dla cefeid II typu są zbliżone do zależności otrzymanych przez Matsunaga et al. (2011) (filtry  $J$ ,  $H$ ,  $K$ , oraz indeks wesenheit  $W_I$ ). W pracy tej nie zostały jednak uwzględnione gwiazdy typu RV Tau.

W przypadku OSARG-ów otrzymane zależności można porównać z zależnościami otrzymanymi przez Soszynski et al. (2007). Zależności dla OSARG-ów AGB zostały w tej pracy oznaczone dla sekwencji A jako  $a_3$ , dla sekwencji B  $a_2$ , natomiast dla OSARG-ów RGB dla sekwencji A  $b_3$ , a dla sekwencji B  $b_2$ . Większe różnice występują w przypadku zależności w indeksie wesenheit  $W_I$ , która dla tych gwiazd ma charakter kwadratowy. W tej samej pracy opisane zostały również zależności okres-jasność dla mir oraz zmiennych półregularnych, jednak te dwa typy gwiazd zostały połączone i wyprowadzono dla nich wspólne zależności, które dość znacznie różnią się od otrzymanych w niniejszej pracy.

## 5.2. Wzajemna odległość Obłoków Magellana

Otrzymane różnice modułów odległości Obłoków Magellana dla cefeid klasycznych są nieco różne dla gwiazd pulsujących w modzie podstawowym i pierwszym owertonie. Dodatkowo, dla cefeid w modzie podstawowym różnica modułów maleje ze wzrostem długości fali filtru, co może wynikać z błędów systematycznych związanych z wyznaczeniem ekstynkcji (która jest większa dla krótszych fal). Dla cefeid klasycznych w modzie podstawowym w indeksach wesenheit, które są niezależne od poczerwienienia oraz dla filtru  $K$ , w którym ekstynkcja jest najmniejsza, wyznaczone różnice modułów odległości są bardzo zbliżone. Bardzo bliskie tym wartościom są również te otrzymane za pomocą gwiazd typu OSARG, W Vir, oraz w indeksie wesenheit dla zmiennych półregularnych. Wartości wyznaczone dla mir oraz dla zmiennych półregularnych w filtrze  $K$  są natomiast znacznie mniejsze od pozostałych. Porównując otrzymane wyniki z wynikami z innych prac (5.1) widać zgodność pomiarów wykonywanych tymi samymi metodami. Otrzymane wyniki dla cefeid klasycznych w modzie podstawowym (w filtrze  $K$  oraz indeksach wesenheit) o logarytmie okresu pulsacji większym od 0,4, dla OSARG-ów, gwiazd typu W Vir oraz zmiennych półregularnych węglowych (w indeksie wesenheit) są również bardzo bliskie wartości otrzymanej za pomocą pomiarów średnic gwiazd w układach podwójnych z pracy Graczyk et al. (2014).

<i>metoda</i>	$\Delta(m - M)$	<i>praca</i>
<i>PLR <math>\delta Cep</math></i>	$0.482 \pm 0.008$	Matsunaga et al. (2011)
<i>PLR <math>\delta Cep (F)</math></i>	$0.48 \pm 0.03$	Inno et al. (2013)
<i>PLR <math>\delta Cep (1O)</math></i>	$0.52 \pm 0.03$	Inno et al. (2013)
<i>EB</i>	$0.472 \pm 0.026$	Graczyk et al. (2014)
<i>PLR W Vir</i>	$0.40 \pm 0.07$	Matsunaga et al. (2011)
<i>PLR RR Lyr</i>	$0.327 \pm 0.002$	Szewczyk et al. (2009)

Tablica 5.1: Różnice modułów odległości Małego i Wielkiego Obłoku Magellana (*PLR*- zależność okres-jasność, *EB*- układy podwójne zaćmieniowe, *F*- mod podstawowy, *1O*- pierwszy owerton).

Duża różnica występuje również pomiędzy wynikami otrzymanymi dla wszystkich

cefeid klasycznych w modelu podstawowym z Małego Obłoku Magellana oraz tymi o logarytmie okresu większym od 0,4. Widać więc, że dokładne sprawdzenie istnienia załamania zależności okres-jasność dla logarytmu okresu 0,4 jest konieczne dla dokładnego wyznaczenia odległości za pomocą tych gwiazd.

### 5.3. Geometria Obłoków Magellana

Zarówno w przypadku Wielkiego jak i Małego Obłoku Magellana widać wyraźne nachylenie tych galaktyk względem płaszczyzny prostopadłej do kierunku widzenia i galaktyki te nachylone są w podobny sposób: wschodnia część znajduje się bliżej niż część zachodnia. Nachylenie to jest zgodne z wynikami otrzymanymi w pracach Haschke et al. (2012a), Haschke et al. (2012b). Utworzone modele mogą zostać wykorzystane wprost do wyznaczenia poprawek jasności gwiazd, związanych z geometrią Obłoków Magellana.



## 6. Podsumowanie

Głównym celem pracy było wyprowadzenie zależności okres-jasność dla cefeid klasycznych, cefeid anomalnych, cefeid drugiego typu, OSARG-ów, mir oraz zmiennych półregularnych w Obłokach Magellana na podstawie danych pochodzących z projektów OGLE oraz IRSF. W przypadku Wielkiego Obłoku Magellana, dla każdego typu gwiazd w filtrach  $V$ ,  $I$ ,  $J$ ,  $H$ ,  $K$  dopasowano po trzy zależności: dla danych nieodczerwienionych, odczerwienionych oraz odczerwienionych i poprawionych ze względu na geometrię Obłoku, natomiast dla indeksów wesenheit po dwie zależności: dla danych nieodczerwienionych oraz dla danych poprawionych ze względu na geometrię Wielkiego Obłoku Magellana. Dla Małego Obłoku Magellana nie wyznaczono poprawek geometrycznych, więc dla filtrów wyprowadzono po dwie zależności, dla indeksów wesenheit po jednej. Znaczne różnice w nachyleniu zależności okres-jasność dla cefeid klasycznych pulsujących w modzie podstawowym są dowodem na istnienie załamania zależności w okolicy logarytmu okresu pulsacji wynoszącego 0,4.

Zależności okres-jasność dla gwiazd z Wielkiego Obłoku Magellana uznawane są za zależności wzorcowe i służą do wyznaczania odległości do innych galaktyk. Wykorzystując wyprowadzone dla gwiazd z Wielkiego Obłoku Magellana zależności okres-jasność zmierzono różnicę modułów odległości Małego i Wielkiego Obłoku Magellana. W większości otrzymane wyniki są zgodne z wyznaczeniami otrzymanymi w innych pracach. Zależności okres-jasność dla cefeid klasycznych pozwoliły również na utworzenie prostych modeli Obłoków Magellana, pozwalających obliczać poprawki do jasności gwiazd, związane z geometrią tych galaktyk.

## Podziękowania

Dziękuję Fundacji na rzecz Nauki Polskiej, za stypendium (program TEAM), w ramach którego powstała niniejsza praca.



# Bibliografia

- Bessel, F. W. 1838, MNRAS, 4, 152
- Bono, G., Inno, L., Matsunaga, N., et al. 2013, in IAU Symposium, Vol. 289, IAU Symposium, ed. R. de Grijs, 116–125
- Cardelli, J. A., Clayton, G. C., & Mathis, J. S. 1989, in IAU Symposium, Vol. 135, Interstellar Dust, ed. L. J. Allamandola & A. G. G. M. Tielens, 5P
- EROS Collaboration, Bauer, F., Afonso, C., et al. 1999, A&A, 348, 175
- Fiorentino, G. & Monelli, M. 2012, A&A, 540, A102
- Glass, I. S. & Nagata, T. 2000, Monthly Notes of the Astronomical Society of South Africa, 59, 110
- Graczyk, D., Pietrzyński, G., Thompson, I. B., et al. 2014, ApJ, 780, 59
- Haschke, R., Grebel, E. K., & Duffau, S. 2011, AJ, 141, 158
- . 2012a, AJ, 144, 106
- . 2012b, AJ, 144, 107
- Inno, L., Matsunaga, N., Bono, G., et al. 2013, ApJ, 764, 84
- Leavitt, H. S. 1908, Annals of Harvard College Observatory, 60, 87
- Matsunaga, N., Feast, M. W., & Soszyński, I. 2011, MNRAS, 413, 223
- Pietrzyński, G., Graczyk, D., Gieren, W., et al. 2013, Nature, 495, 76
- Ritter, A. 1898, ApJ, 8, 293

- Schaefer, B. E. 2008, *AJ*, 135, 112
- Schlegel, D. J., Finkbeiner, D. P., & Davis, M. 1997, in *Bulletin of the American Astronomical Society*, Vol. 29, American Astronomical Society Meeting Abstracts, 1354
- Shapley, H. 1914, *ApJ*, 40, 448
- Soszyński, I., Udalski, A., Szymański, M. K., et al. 2009, *Acta Astron.*, 59, 239
- Soszynski, I., Dziembowski, W. A., Udalski, A., et al. 2007, *Acta Astron.*, 57, 201
- Szewczyk, O., Pietrzyński, G., Gieren, W., et al. 2009, *AJ*, 138, 1661
- Turon, C., Luri, X., & Masana, E. 2012, *Ap&SS*, 341, 15
- Udalski, A., Kubiak, M., & Szymanski, M. 1997, *Acta Astron.*, 47, 319
- Udalski, A., Szymanski, M., Kubiak, M., et al. 1999, *Acta Astron.*, 49, 201
- Udalski, A., Szymanski, M. K., Soszynski, I., & Poleski, R. 2008, *Acta Astron.*, 58, 69
- Ulaczyk, K., Szymański, M. K., Udalski, A., et al. 2013, *Acta Astron.*, 63, 159
- van der Marel, R. P. & Cioni, M.-R. L. 2001, *AJ*, 122, 1807