

dr hab. **Jerzy Krzesiński**, prof. UJ
Obserwatorium Astronomiczne
Uniwersytetu Jagiellońskiego
ul. Orla 171, 30-244 Kraków

Recenzja pracy doktorskiej pt.:

"Badanie gorących obiektów w kierunku zgrubienia centralnego Galaktyki z wykorzystaniem fotometrii wielobarwnej".

autor: **Przemysław Bruś**

promotor: prof. dr hab. Andrzej Pigulski
promotor pomocniczy dr Zbigniew Kołaczkowski

Praca zawiera opis i analizę wielobarwnych danych archiwalnych (OGLE-III,IV¹, VPHAS²) oraz własnych obserwacji fotometrycznych CCD autora (wykonanych za pomocą 1-m teleskopu CTIO³ w filtrach UBVI_c) ponad 4 mln obiektów z pól na kierunku do zgrubienia centralnego Galaktyki (**rozdział 2**). W sumie analizę przeprowadzono na danych pokrywających obszar nieba o powierzchni ponad 7 stopni kwadratowych.

Przygotowanie danych do analizy wymagało wykonania wstępnej redukcji obserwacji CCD, opracowania nowych metod poszukiwania obrazów gwiazd na zdjęciach CCD w gęstych polach, znajdowania współrzędnych obiektów w różnych zestawach danych, wyznaczania ich jasności oraz standaryzacji danych do systemu fotometrycznego UBVI_c (**rozdziały 3 i 4, przejście z system fotometrycznego u do U, rozdział 4**). W dalszej kolejności wyslekcjonowano gwiazdy z nadwyżką ultrafioletu oraz podjęto próbę wskazania wśród nich obiektów zwartych (**rozdział 5**). Następnie przeprowadzono analizę krzywych jasności kilkudziesięciu gwiazd wykazujących zmienność (60 nowych oraz 22 znanych gwiazd zmiennych, **rozdział 6**).

W szczególności, w celu wyselekcjonowania gorących obiektów wykonano szereg diagramów magnitudo-barwa oraz diagramów dwuwskaznikowych (**rozdział 5, rys. 5.2-5.6**), na podstawie których wytypowano obiekty z nadwyżką ultrafioletu. Wykorzystując dane fotometryczne G , G_{BP} , G_{RP} , astrometryczne i paralaksy gwiazd z katalogu Gaia DR2 utworzono wykresy magnitudo-barwa, absolutne magnitudo-barwa dla badanych gwiazd (**rozdział 5, rys. 5.7, 5.9, 5.10, 5.13**) celem rozdzielenia gwiazd ciągu głównego od obiektów zwartych.

Z powodu braku współczynników absorpcji całkowitej w paśmie G dla badanych obiektów, błędów paralax jak również błędów metody wykorzystującej zredukowane ruchy własne do określenia odległości (opartej o statystykę tj. założenie, że obiekty znajdujące się bliżej Słońca statystycznie mają większe ruchy własne) próba powiodła się tylko częściowo. Ostatecznie jedynie kandydaty na białe karły zostały z dużym prawdopodobieństwem poprawnie wskazane. Separacja pozostałych obiektów zwartych od gwiazd ciągu głównego w próbce obiektów z nadwyżką ultrafioletu okazała się niejednoznaczna. Dlatego w dalszej części pracy krzywe jasności badanych gwiazd przeskukano pod kątem zmienności (**rozdział 6**).

W tym celu przygotowano periodogramy krzywych jasności, wyznaczono częstotliwości orbitalne, pulsacyjne i przeprowadzono analizę zmienności okresów pulsacyjnych oraz zmian amplitudy. Dla każdego obiektu zmiennego przygotowane zostały również sfazowane krzywe zmian jasności (z wybranymi okresami), przeprowadzono klasyfikację typów zmienności oraz wskazano położenie znalezionych gwiazd zmiennych na diagramach barwa-jasność (**rozdział 6, rys. 6.23-6.28 oraz 6.51-6.54**).

Niestety liczbowe określenie liczby znalezionych kandydatek na nowe gwiazdy zmienne wymaga większego wysiłku, gdyż autor niekonsekwentnie umieszczał zestawienia zmiennych, ich opisy w tekście oraz opisy pod tabelami. Możemy się więc dowiedzieć, że autor znalazł 6 nowych kandydatek na układy kataklizmiczne, 4 nowe układy zaćmieniowe lecz o ile tabela 6.2 zawiera "nowe kandydatki na gwiazdy zmienne" (tu ukł. kataklizmiczne), to pod tabelą 6.5 znajdujemy opis "zestawienie omawianych układów" (w domyśle zaćmieniowych), a brakuje już informacji, które z nich są nowymi układami. Żeby się tego dowiedzieć należy poszukać w tekście pracy (4 są nowe od #7 do #10). Jednak nie potrafiłem określić dokładnej liczby nowych układów podwójnych niezaćmieniowych, w podrozdziale o niezaćmieniowych układach podwójnych (str. 151). Autor pisze, że w tej grupie "znalazło się 5 takich gwiazd": jedna jest w bazie CTIO (brak numeru która), 2 gwiazdy (#2 i #3) są w katalogu Gai gwiazd zmiennych o dużych amplitudach zmienności (przypuszczam, że nie ta co występuje w bazie CTIO), jedna (#1) jest w OGLE sklasyfikowana tam jako zmienna δ Sct (notabene autor nie potwierdza tej klasyfikacji), natomiast w tabeli 6.7 zestawiającej "niezaćmieniowe układy podwójne" zawarł informacje nt. występowania danego obiektu w bazach VPHAS+OGLE lub CTIO (okazuje się, że każdy obiekt należy do którejś z tych baz danych). Wobec tego nie można się domyślić czy wszystkie gwiazdy to nowe kandydatki czy żadna.

Natomiast z pracy jasno wynika, że znalezionych zostało 9 kandydatek na gorące podkarły typu B, 3 kandydatki na białe karły i 1 obiekt typu BLAP. Opis pod tabelą 6.9 również mówi o kandydatkach, a więc jak przypuszczam nowych zmiennych.

Najciekawszym odkryciem okazało się 5 krótkookresowych kandydatek na gwiazdy typu heartbeat, które w związku z krótkim okresem orbitalnym (poniżej 3 dni, a w większości poniżej lub blisko 1 godziny) powinny mieć mimośród orbity równy zero. Tymczasem jako układy typu heartbeat ich orbity muszą być silnie eliptyczne.

Do pozostałych gwiazd zmiennych, których zmienności nie dało się jednoznacznie określić autor zaliczył 29 gwiazd (8 jednookresowych, 4 z modulowaną amplitudą oraz 17 innych). Prawdopodobnie wszystkie za wyjątkiem jednej gwiazdy (#1, z katalogu GAIA gwiazd o dużych amplitudach zmienności) to nowe kandydatki na zmienne.

W sumie w pracy doliczyć się można 60 obiektów, które prawdopodobnie są nowymi gwiazdami zmiennymi, co potwierdza autor w swojej rozprawie w podsumowaniu ([rozdział 7](#)).

W pracy w zasadzie trudno znaleźć błędy ortograficzne czy literówki, a rysunki są jasno przedstawione i dosyć poprawnie opisane (choć czasem brak konsekwencji w opisach j.w.).

Do ujemnych niemerytorycznych stron pracy zaliczyłbym:

-nadmiar skrótów myślowych utrudniających zorientowanie się jaka była intencja i wnioski autora. Często rozwiązanie opisywanego problemu znaleźć można parę stron dalej. Stąd prawdopodobnie kilka uwag do autora (załączonych niżej) nadal może zawierać zarzuty, które później zostały wyjaśnione, gdyż zdążyłem o nich zapomnieć, a uwaga nie została usunięta.

-żargonowe zwroty: "zapalenie helu", "de-trendowanie", "biały karzeł ściąga materię z towarzysza", "efekt bliskości", "relacja" zamiast linia (w odniesieniu do przebiegu teoretycznego ciągu głównego na wykresach barwa-barwa), "część z nich to blendy" w odniesieniu do obrazów gwiazd nachodzących na siebie czy inne żargonowe sformułowania.

-niefortunny autor przyjął oznaczanie gwiazd zmiennych w pracy (a było ich 82) w każdym rodziale tymi samymi numerami od 1 do maksymalnej liczby gwiazd danego typu omawianego w podrozdziale. Czasami oprócz oznaczenia numerycznego dochodziło oznaczenie w postaci numeru z (zupełnie niepotrzebnym) apostrofem. W konsekwencji, żeby zrobić notatkę o gwieździe

zmiennej należało oprócz numeru gwiazdy dopisać tytuł podrozdziału, w którym można było znaleźć informację o obiekcie. Z tego powodu porównanie numerów gwiazd w podsumowaniu z opisanymi w wcześniejszych rozdziałach było trudniejsze. Numeracja kolejnymi niepowtarzającymi się liczbami byłaby znacznie wygodniejsza i umożliwiłaby stworzenie jednej podsumowującej tabeli znalezionych gwiazd zmiennych, a tej niestety zabrakło.

-nie działające linki (niektóre) wskazane w pracy (patrz załącznik).

Natomiast używane przez autora określenie "szeregi czasowe" do fotometrii fotoelektrycznej (lub danych fotometrycznych) pokazuje brak odpowiednio dobrego tłumaczenia "time-series photometry" w astronomii na język polski. W konsekwencji mówiąc o danych fotometrycznych trudno odróżnić jednokrotne obserwacje w kilku filtrach danego pola na niebie od długotrwałych obserwacji fotometrycznych mających na celu uzyskanie całych krzywych zmian jasności, a nie tylko wartości magnitudo obiektów w poszczególnych filtrach. Wobec tego zwrot "szeregi czasowe" uznaję za logiczny i umożliwiający autorowi rozróżnienie dwóch rodzajów pomiarów fotometrycznych lecz nie mam pomysłu na inne określenie.

Kolejny określenie "swoisty wskaźnik barwy", moim zdaniem należałoby upowszechnić w innych ośrodkach w Polsce.

Poza tym, na rysunkach przedstawiających periodogramy przydałoby się zaznaczyć poziomy detekcji. Co prawda autor opisuje, że poziom detekcji ustalono na 5 sigma, a poziom detekcji będzie różny w zależności od stopnia wybielania periodogramów jednak w moim odczuciu orientacyjna linia poziomu detekcji ułatwiłaby przeglądanie periodogramów. Autor również nie podaje częstotliwości Nyquista ani nie pokazuje okien spektralnych.

Pełne zestawienie niejasności i komentarze pozostawiam w załączniku.

Pomijając uwagi związane z liczeniem nowych kandydatek na nowe gwiazdy zmienne oraz niemerytoryczne zarzuty, praca przedstawia dobry materiał obserwacyjny, pokazuje profesjonalne podejście autora do danych, ich analizy oraz interpretacji wyników.

Za główne osiągnięcia autora pracy uważam:

1. Wprowadzenie ciekawej i nowatorskiej "metody siatki" do poszukiwania gwiazd w gęstych polach, dobrze zobrazowane kryteria doboru parametru d (rys. 3.5, rozdział 3).
2. Staranną redukcję danych oraz wyznaczenie jasności standardowych (wtórne standardy) niemal 2.5 mln gwiazd (filtry: UBVIC) obiektów obserwowanych teleskopem CTIO oraz ponad 1 mln gwiazd z OGLE-III (filtry: UVI).
3. Stworzenie oprogramowania do analizy danych i udostępnienie ich na stronach internetowych.
4. Identyfikację dziesiątek nowych gwiazd zmiennych oraz ponowną analizę niektórych krzywych jasności znanych gwiazd zmiennych, które znalazły się w danych autora.
5. Bardzo dobrą prezentację diagramów barwa-barwa, magnitudo-barwa, absolutne magnitudo-barwa z uwzględnieniem położenia gwiazd zmiennych i naniesionymi poprawkami pozycji obiektów zmiennych po uwzględnieniu pomiarów z OGLE-IV.
6. Dobry dodatek w postaci podrozdziału o Ekstynkcji międzygwiazdowej.

Do wyjaśnienia pozostaje jednak kilka problemów:

1. str. 64: Być może czegoś nie zrozumiałem lecz dlaczego wskaźnik E (odległość obiektu od brzegu CCD) miałby wskazywać zależność od filtra użytego do obserwacji?

2. str. 87, rys. 4.5: Nakładanie się punktów rzeczywiście wskazuje na poprawną transformację natomiast zastanawiające jest niewielkie przesunięcie pktów CTIO w stronę niebieską (przez co czerwone pkty z lewej strony diagramu wyraźnie są lepiej widoczne niż szare). Czy jest to związane z systematycznym przesunięciem we wskaźnikach barwy U-V (może różnym zasięgiem OGLE-III i CITO)?

3. str. 97, zdanie: "Ponieważ gwiazdy na większych odległościach są słabsze, ale też średnio mocniej poczerwienione, gwiazdy ciągu głównego tworzą na rysunku 5.6 wspomniany szeroki ciąg."

- wykres z rys. 5.6 tworzy odpowiednik diagramu HR gdyż założono, że wszystkie gwiazdy są w tej samej odległości, czy autor mimo wszystko ma na myśli zmiany odległości w ramach tej samej grupy gwiazd ze zgrubienia galaktycznego? Czy poczerwienienie rzeczywiście może prowadzić do poszerzenia w dolnej części diagramu, a może poszerzenie w tej części wynika po prostu z większych błędów wyznaczania jasności słabych obiektów?

4. str. 142, zdanie: "Po trzecie, okres orbitalny układu #1 pasuje do gwiazd typu HW Vir."

- przy tak krótkim okresie (2.98 h), efekt odbicia jest znacznie słabiej widoczny w gw. #1 niż np. w krzywej jasności gwiazdy #4 z rys. 6.12 o okresie 4.44 h. Z czego mogą wynikać różnice?

5. str. 145, diagram O-C rys. 6.17: Czy parabola widoczna na diagramie mogłaby wynikać ze zwykłego zbliżania i oddalania się układu od Słońca po prostej (Pajdosz 1995, A&A. 295, L17)?

6. str. 178, zdanie: "Obiekt #2 również może być układem typu HBS (heart beat star), co sugeruje kształt krzywej blasku widocznej na rysunku 6.41. Jest to jedyna gwiazda, w której widać nieznaczący spadek jasności po maksimum. Przypuszczalnie odpowiada za to częściowe zaćmienie składników."

- czy spadek jasności po maksimum nie jest po prostu chwilową zmianą spowodowaną pływowym odkształceniem składnika w peryastronie (szybkogasnąca pulsacją)?

Komentarze do autora (nie wymagające odpowiedzi).

Komentarz 1. str. 102: RCG w zasadzie też jest widoczny na rys. 5.9 w okolicy (1.8, 16.5) choć jest znacznie bardziej rozmyty w pionie niż na rys. 5.10, co wiąże się z gorszym określeniem jasności absolutnej na podstawie ruchów własnych z powodu ich statystycznych własności i wprowadzonych założeń.

Komentarz 2. str. 107: "Biorąc pod uwagę błędy wyznaczenia jasności G_{μ} oraz M_G , zdecydowanie bardziej wiarygodny jest podział przedstawiony na wykresie 5.9..." - niekoniecznie, wszak na wykresie 5.10 dało się zauważyć wyraźne zgrupowanie gwiazd RCG, podczas gdy na rys. 5.9 RCG jest bardzo rozmyty. Tym samym gwiazdy z ciągu głównego i gorące podkarły mogą się "przenikać" na rysunku 5.9 bardziej niż na rys. 5.10.

Komentarz 3. str. 137: “Faza wspólnej otoczki oznacza, że mamy do czynienia z układem podwójnym złożonym z gwiazdy ciągu głównego i gwiazdy przebywającej na asymptotycznej gałęzi olbrzymów (ang. asymptotic giant branch, AGB).” - trudno się zgodzić z takim ogólnym stwierdzeniem, gorące podkarły typu B nie przechodzą fazy AGB, a jednak wspólna otoczka w układach podwójnych ze składnikiem sdB jest tworzona. Dzieje się to w fazie RGB (Red Giant Branch), Xiong et al. 2017, A&A 599, A54. Więc opis w pracy wymaga przerehabilitacji tym bardziej, że omawia powstawanie układów zaćmieniowych typu HW Vir.

Podsumowanie:

Poza wskazanymi brakami oraz niejasnościami należy uznać, że jest to dobrze przygotowana rozprawa zawierająca oryginalne rozwiązania, interesujące wyniki oraz dobry materiał na publikację. Autor wykazał się niezwykłą starannością podczas redukcji i analizie danych oraz wyciąganiu wniosków pokazując dobre przygotowanie do pracy naukowej. Jego rozprawa spełnia moim zdaniem wszystkie zwyczajowe oraz ustawowe kryteria stawiane pracom doktorskim, wobec tego wnoszę o dopuszczenie mgra Przemysława Brusia do dalszych etapów postępowania doktorskiego.



.....
Podpis recenzenta

¹ OGLE: *Optical Gravitational Lensing Experiment*

² VPHAS: *The VST Photometric H α Survey of the Southern Galactic Plane and Bulge*

³ CTIO: *Cerro Tololo Inter-American Observatory*

Załącznik:

Pozostałe uwagi i komentarze do autora:

Wstęp.

(str. 12,13): "Tak opracowane obserwacje (wykonane za pomocą 1-m teleskopu) pozwoliły zwielokrotnić powierzchnię badanych obszarów..."

- brak opisu dot. "opracowania obserwacji" (jak opracowane?) oraz "zwielokrotnienia powierzchni" (względem czego zwiększona powierzchnia?).

Rozdział 1.

str. 16, (pod wzorem 1): "Przekształcając równanie 1.1 do innej postaci..." - jakiej?

str. 17: wzór 1.4: "Jasność gwiazdy w paśmie p możemy zapisać w postaci:" - nie wiem czy p ma odpowiadać funkcji $p(\lambda)$ we wzorze 1.4 (gdzie p jest czułością widmową odbiornika) czy miało odnosić się do przepuszczalności filtra czyli $\phi(\lambda)$? Zakładam, że oznaczenie pasma (w paragrafie poniżej wzoru 1.4) "p" jest niezależne od oznaczeń funkcji we wzorze 1.4. Możliwe również, że omyłkowo opis $p(\lambda)$ i $\phi(\lambda)$ pod wzorem 1.4 jest zamieniony. Ostatecznie zamieniając opis, usunie się problem.

str. 18: "Można stworzyć jednak jego namiastkę, odkładając na osi poziomej wskaźnik barwy, a na pionowej jasność..."

- zdanie wcześniej autor pisze o trudności wynikającej z braku znajomości odległości do gwiazd przy konstruowaniu diagramu HR. Jednak jeżeli na osi pionowej odłoży się po prostu "jasność", zamiast jasności absolutnej lub jej odpowiednika, wtedy nadal nie będzie można wyróżnić na diagramie ciągu głównego chyba, będą to gwiazdy w tej samej odległości od obserwatora.

str. 21: "Są to gwiazdy o małej zawartości metali i wolno rotujące wokół centrum Galaktyki."

- choć zrozumiałe lepiej użyć zwrotu "wolno obiegające centrum Galaktyki". Rotacja bardziej kojarzy się z obrotem wokół własnej osi.

str. 22: użycie kamer CCD "... wiązało się ze zwiększeniem jakości fotometrii, jak i pokryciem przestrzennym." - zamiast "pokrycie przestrzenne" należałoby napisać "pole widzenia", a może nie chodziło o pole widzenia?

str. 22: obserwacje fotometryczne SDSS pokrywają łącznie ~14 tys. stopni kwadratowych (nie 6500). Na stronie przeglądu Sloan Digital Sky Survey DR7 (<https://classic.sdss.org/legacy/>) można znaleźć informację: "*The SDSS Legacy Survey provided a uniform, well-calibrated map in ugriz of more than 7,500 square degrees of the North Galactic Cap, and three stripes in the South Galactic Cap totaling 740 square degrees.*" Dane SDSS DR7 nie zakończyły jednak obserwacji fotometrycznych, te skończyły się w roku 2009 i w sumie DR7+DR9 pokryły ponad 14 tys stopni kwadratowych nieba (<https://www.sdss4.org/dr16/imaging/>):

"The SDSS imaging camera took its first science quality data the night of September 19, 1998, and was the world's most productive wide-field imaging facility until its last night of science quality data on November 18, 2009. In between it took a total of around 35,000 square degrees of images, covering a unique footprint of 14,055 square degrees of sky."

Nie jest również oczywiste oszacowanie dot. liczby gwiazd, dla których w SDSS otrzymano wielobarwną fotometrię (48 mln) - brak podania ograniczenia zasięgu w magnitudo dla poszczególnych filtrów (np. przy zasięgu do 22 mag we wszystkich filtrach SDSS będzie to ~51 mln), sposobu w jaki tę liczbę oszacowano lub źródła danych.

Podobnie dalej przeczytać można, że pomiary spektroskopowe wykonano dla 60 tys. gwiazd typu F,G), gdzie nie ma podanych ograniczeń w magnitudo lub źródła tych informacji.

Pisząc o granicach cienkiego i grubego dysku galaktycznego autor wspomina o danych z publikacji Robin et al. (2003) oraz powołuje się na rys. 8 z publikacji Ivezić et al. (2008). Wnioskując, że cienki dysk rozciąga się do 1 kpc od płaszczyzny Galaktyki, a gruby dysk do 2.5 kpc, kończąc się na 5 kpc. Jak widać granica górna jest słabo określona (2.5 czy 5 kpc).

Przyjmując za granicę między dyskami cienki/gruby równą liczebność gwiazd z obu dysków, granica między dyskiem cienkim i grubym rzeczywiście wynosi ok. 1kpc, natomiast Ivezić et al. (2008) wspomina o równej liczebności gwiazd dysku grubego i halo Galaktyki w odległości 2.5 kpc od płaszczyzny Galaktyki. Natomiast pisząc o $z \sim 5$ kpc Ivezić et al. (2008) zauważa, że liczebność gwiazd halo przy takich "z" wynosi już 90%, więc jest to głęboko w halo galaktycznym. Odstępstwa można doszukiwać się na kierunku Jednoróżca, gdzie metaliczność gwiazd jest większa niż na pozostałych

kierunkach i prawdopodobnie na tym kierunku gruby dysk może sięgać do 5 kpc, jednak w pracy Ivezica et al. (2008) nie znajdujemy ścisłej informacji o liczebności gwiazd (z różnych składowych) na tym kierunku.

str. 2: ostatnie zdanie: "można opisać rozkładami ciągłym." - może "ciągłymi"?

str. 23, Halo:

"cechują się one szeroką obfitością metali" - mam pewne wątpliwości czy "obfitość" może być "szeroka".

Rozdział 2.

str. 27: Autor podaje średnicę teleskopu CTIO, pomijając średnice pozostałych teleskopów z danych których korzysta (OGLE, VPHAS). O średnicy teleskopu OGLE dowiadujemy się dopiero w podrozdziale 2.3.1.

W przypadku projektu OGLE można zauważyć, że na stronie 12 podano referencje do pracy Paczyński (1986), a na stronie 27 referencje odnoszą się już do pracy Udalskiego i in. (1992).

str. 41. Dopiero na tej stronie rozwinięto skrót SDSS, chociaż pojawił się on już na stronie 22, a dobrze by było wyjaśnić znaczenia skrótów w momencie ich pierwszej wzmianki w tekście. Podobnie OGLE (rozwinięcie skrótu na stronie 36, a pierwsza wzmianka poza abstraktem jest na stronie 12) czy VPHAS+.

link (5) https://www.eso.org/sci/facilities/paranal/instruments/omegacam/doc/VST-MAN-OCM-23100-3110_p102_v1.pdf

do kamery Omega nie działa.

Mam również wątpliwości czy opis formatu fits dla astronomów jest konieczny.

str. 42: "Korzystając z tabeli fotometrycznej i odpowiadającego jej obrazu wykonanego w filtrze i..." - brakuje informacji (po wprowadzeniu odniesienia do OGLE), że ponownie autor pisze o danych VPHAS+.

"W przypadku pasma u problem kompletności list nie powinien występować..." - jakich list? Prawdopodobnie "tabel fotometrycznych". Lista nie została wcześniej zdefiniowana.

Podobnie niżej na stronie "W przypadku pasma u problem kompletności list nie powinien występować..."

Rozdział 3.

str. 50: "Jeśli obiekt taki zostanie zarejestrowany i nie trafi na pierwotną listę, to utracimy o nim częściową informację." - czym jest pierwotna lista? Czy nie po to prowadzone jest poszukiwanie gwiazd na zdjęciach, żeby uzupełnić listę by była jak najbardziej kompletna?

str. 51: link (3) <http://www.astro.wisc.edu/sirtf/daophot2.pdf> nie działa.

"dopasowanie gotowej funkcji PSF do.." - co oznacza "gotowej" w jaki sposób uzyskanej?

"Zazwyczaj parametr ten powinien być dwa razy większy niż FWHM⁴ funkcji, która rozmywa punktowe obrazy gwiazd na obrazie." - zdanie niejasne.

"...wraz z filtrowaniem gwiazd po błędach..." - żargon.

"...liczba przedziałów d mieszczących..." - wcześniej d było określone jako "parametr".

"Następnie DAOPHOT wykorzystuje taką listę do znalezienia jasności aperturowych, która zapisywana jest do nowego pliku." - niejasne która lista (zakładając, że lista to plik wejściowy ze współrzędnymi oczek siatki równomiernie rozmieszczonych z odstępem d w obu współrzędnych X,Y CCD) jest zapisywana do nowego pliku? Przypuszczam, że wejściowa lista po odrzuceniu złych pktów siatki, tzn. tych dla których DAOPHOT nie policzył jasności, zapisywana jest na inny czyli nowy plik. Dalej autor pisze: "W kolejnym kroku przefiltrowaną listę z jasnościami aperturowymi trzeba przekazać do programu ALLSTAR." - i ponownie, określenie "przefiltrowanej listy" nie jest jasne i należy się zastanowić czy przefiltrowanie odnosi się do listy z usuniętymi złymi pkt-ami siatki (tj. do wspomnianego nowego pliku) czy też do listy wybranych najjaśniejszych gwiazd, służących do policzenia modelu PSF.

"Ostatecznie algorytm ten wymusza ewolucję oczek siatki tak, by zbiegły się do obrazów gwiazd lub zostały odrzucone (rysunek 3.3)." - nie jest jasne czy w kolejnych krokach wykonywana jest sekwencja DAOPHOT -> odrzucanie złych gwiazd o błędnych jasnościach aperturowych -> ALLSTAR -> odrzucenie obiektów z dużymi błędami PSF czy już do

końca współrzędne wejściowe i odrzucanie gwiazd z listy robione jest programem ALLSTAR -> odrzucenie obiektów z dużymi błędami PSF?. Z dalszego opisu wydaje się, że DAOPHOT w metodzie siatki używany jest jedynie w pierwszej iteracji.

str. 54/55: W tekście jest mowa o rys. 3.5 i parametrze $d=5,0$ pikseli, natomiast pod rysunkiem $d=5.5$.

Można było również wspomnieć o programie FIND przy opisie iteracji i wyznaczaniu modelu PSF na stronie 51.
str. 60: ostatnie zdanie na stronie: "dryf" - dryft.

str. 73: "Aby pozbyć się podwójnych gwiazd, wyszukaliśmy wspólne.." - nakładających się obrazów gwiazd (bo prawdopodobnie o takie chodzi, nie o gwiazdy podwójne).

str. 74: "Do tego doliczymy ponad 450 000 obiektów, których jasności nie byliśmy w stanie zestandaryzować." - nie jest jasne do której liczby należy "doliczyć" 450 tys obiektów - do tych z kompletem UBVIC (460 tys) czy do klasy AXXX (156 tys). A może uzyskano jasności standardowe dla 2450 tys obiektów oraz jasności bez standaryzacji dla 450 tys obiektów?

Rozdział 4.

str. 76: "Ponieważ zależało nam tylko na dodaniu WCS do nagłówek obrazów, okroiliśmy każdą z list, pozostawiając ~10% najjaśniejszych gwiazd. Pozwoliło to przyspieszyć obliczenia." - nie jest jasne do czego użyto 10% najjaśniejszych gwiazd, do uzyskania współrzędnych?

Rozdział 5.

str. 89: Co oznaczają liczby w nawiasach "standardowymi (17) i instrumentalnymi (3)"? Przydałaby się informacja, która pojawia się dopiero na początku strony 91.

str. 91, rys. 5.2: brak referencji do czarnej krzywej (gdy do brązowej jest podana).

str.92: "Następnie za pomocą kilku linii wytyczyliśmy na obu diagramach obszary, w obrębie których znajdowało się 40 spośród 41 wspomnianych gwiazd..." - dlaczego 1 gwiazda została wykluczona? Wyjaśnienie pojawia się dopiero 4 strony dalej.

str. 97: "Głównym celem misji (GAIA) jest stworzenie trójwymiarowej mapy Drogi Mlecznej dzięki pomiarom ponad miliarda obiektów." - pomiarom astrometrycznym oraz odległości do ponad miliarda obiektów.

str. 100: "...(-0,345,-2,757) [mas/rok] (rysunek 5.8)." - jednostki mieszane z j. angielskiego (mas) i polskiego (rok) jednocześnie.

str. 101/102: "W szczególności interesujące są te, które występują na lewo od ciągu głównego poniżej wyznaczonej na rysunku granicy oddzielającej gwiazdy ciągu głównego od obiektów zwartych." - bardzo nieprecyzyjne określenie położenia białych karłów, podczas gdy na rys. 5.2 mamy dwie linie i kolory odróżniające gwiazdy ciągu głównego, gorące podkarły i białe karły.

str. 103: "...gwiazdy RCG na rysunku 5.11 grupują się w okolicach punktu (1,2, 0,5)..." - zastosowanie przecinka do prezentacji cyfr dziesiętnych oraz jako separatora zmniejsza czytelność, (1.2, 0.5) wydaje się łatwiejsze do ustalenia liczb dziesiętnych. Podobnie dalej w tekście.

str. 105: Gdzieś zgubiła się informacja o liczbie gwiazd, dla których udało się znaleźć paralaksę w danych GAIA.

str. 106, rys. 5.12: Przerwana linia oddzielająca obiekty z dużymi i małymi błędami na rysunku nie ma podanej wartości.

str. 107: Podając liczbowo przedziały ufności dla Bailer-Jones et al (2018) należałoby napisać jakie przedziały ufności były przyjęte dla obiektów przedstawianych przez autora. Na stronie 103, możemy znaleźć jedynie wzmiankę, że przedziały ufności są "dosyć szerokie".

"Obiekty z najmniejszym rozrzutem jasności M_G naniesiliśmy ponownie..." - czyli z jakim, poniżej 1.1 mag?

str. 108: "Różnica polega na tym, że dla jasności $M_G < 3,0$ mag nie pojawiają się obiekty oznaczone jako zwarte (niebieskie punkty)." - które niebieskie pky na którym rysunku? Na rys. 5.13 czy 5.10? Żeby zorientować się, o którym rysunku autor myślał, trzeba ponownie przeanalizować oba, gdyż tekst nie jest precyzyjny.

str. 109, rys. 5.13: Pomimo, że opis można znaleźć w tekście (choć niepełny), pod rysunkiem przydałby się opis obszarów (1,2,3) i typów gwiazd (ciąg główny, sdB/o, białe karły), które mogą się w nich znaleźć względem przerywanych prostych 1,2,3. podobnie w tabeli 5.1 można było zaznaczyć obszary z rysunku 5.13.

str. 111: "przy czym najwięcej jest białych karłów o masie $0,59M_{\odot}$." - brak referencji.

"W zależności od masy początkowej historia ewolucji do stadium białego karła wygląda różnie, co przekłada się na odmienny skład chemiczny widoczny w widmach tych gwiazd." - bardzo enigmatyczne stwierdzenie.

str. 114: " Wśród gwiazd typu sdOV możemy wyróżnić dwie grupy. Do pierwszej należą gwiazdy pola. Znane są tylko trzy obiekty tego typu: SDSS J160043.6+074802.9 pulsująca z okresami około 100 s (Woudt et al., 2006), EO Ceti (Østensen, 2012) i EC 03089–6421 pulsująca z okresami około 30 s (Kilkenny, Worters, & Østensen, 2017; Kilkenny, Worters, & Lynas-Gray, 2019). Do drugiej grupy należy pięć gwiazd wchodzących w skład gromady kulistej! Centauri, które zmieniają jasność z okresami 85–125 s (Randall et al., 2016a). Gorące podkarły sdOV pulsują w modach p. Ostatnia grupa reprezentowana jest tylko przez jeden obiekt (He-sdBV), który wykazuje pulsacje w nieradialnych modach g z dwoma okresami 1950 i 2900 s (Ahmad & Jeffery, 2005)." - bardzo pomieszany podział na grupy. Skoro "Gorące podkarły sdOV pulsują w modach p." to następne zdanie wydaje się odnosić do tej właśnie grupy: "Ostatnia grupa reprezentowana jest tylko przez...". Tym bardziej, że pierwsze zdanie tego paragrafu mówi wyraźnie o dwóch grupach. Pod rysunkiem 5.15 przydałby się opis z Randall et al. (2016b).

str. 115: "Okresowe zmiany wskaźnika barwy ($V - I$) sugerują, że mamy w tym przypadku do czynienia z pulsacjami." - ostrożnie, zmiany (okresowe) wskaźnika barwy mogą również występować w układach zmiennych w czasie zaćmień.

Rozdział 6.

str.120: "Ze względu na fakt, że pomiędzy pomiarami z OGLE-III i OGLE-IV występują pewne rozbieżności, zdecydowaliśmy się nie łączyć danych z obu faz." - niezupełnie zgadzam się z takim podejściem. Długie dane pozwalają uzyskać FT o mniejszym szumie i większej zdolności rozdzielczej. Natomiast podział danych pozwala zauważyć w której części danych zachodziły np. zmiany amplitud, zmiany faz pulsacji, pojawianie się nowych częstotliwości itp. Przyznaję jednak, że podejście autora jest ostrożne i prawdopodobnie miało na celu sprawdzenie czy w różnych zestawach danych miał do czynienia z tymi samymi czy różnymi obiektami. - ostatecznie, wyjaśnienie znajdujemy na stronie 130: "Takie źle zidentyfikowane obiekty można dość łatwo wskazać, porównując fotometrię z obydwu faz projektu OGLE (rysunek 6.6)."

str. 121: "Takie odstające punkty nie powinny być brane pod uwagę podczas liczenia periodogramu." - "liczenie programu" nie jest najlepszym określeniem, może "brane pod uwagę podczas analizy krzywych jasności" itp.?

str. 125: "Po dopasowaniu funkcji interpolującej, punkty te były przywracane i brane pod uwagę podczas odejmowania trendu." - niezrozumiałe, w jaki sposób odrzucone, a następnie przywrócone pky były "brane pod uwagę" przy odejmowaniu trendu?

"Jeśli takie podejście usuwało zbyt dużo punktów, np. w przypadku krzywej blasku gwiazdy zmiennych, to rzeczywiście wskazywaliśmy minimalną i maksymalną wartość jasności. Pomiary, które nie mieściły się pomiędzy tymi granicami, zostały ostatecznie odrzucone." - w jaki sposób w zautomatyzowanym procesie analizy określany był poziom "zbyt dużej liczby punktów odrzuconych"?

"Obliczenia periodogramów wykonaliśmy w szerokim zakresie częstotliwości od 0 do 1000 d^{-1} z krokiem $0,00005 \text{ d}^{-1}$." - brak podania częstotliwości Nyquista.

str. 126: "...występowały dodatkowe częstotliwości związane z efektami instrumentalnymi. Były one równe odwrotności doby gwiazdowej i jej aliasom." - to raczej będą aliasy związane cyklem obserwacyjnym, nie "instrumentem".

str. 127: czy "częstotliwości bazowe" to częstotliwości podstawowe?

str. 130, pkt. 2: "W przypadku drugim (dwa środkowe obrazy) występuje problem z kontaminacją. Pozycja czerwonego okręgu w przybliżeniu pokrywa się z fotocentrum gwiazdy, natomiast do jej profilu zostaje dopasowanych więcej obiektów (wianuszek złotych okręgów wokół centralnej gwiazdy na prawym obrazie)... Ich dopasowanie może skutkować niepoprawną jasnością centralnej gwiazdy, a co za tym idzie, wskaźnika barwy." - w rozdziale XXX str. 51 i 52 autor opisuje, jak starannie usuwane są obrazy gwiazd pola, wobec tego obrazy gwiazd z "wianuszkami" również powinny zostać usunięte. Nie do końca jest zrozumiałe w czym tkwi problem dopasowania PSF do większej liczby obiektów? Czy są to obiekty pola, których nie dało się odróżnić z powodu zlewania się obrazów czy przygotowanej błędnej listy gwiazd?

str. 131: "Należy do nich 461 obiektów, które leżą wewnątrz czerwonego okręgu, co stanowi około 70% gwiazd, dla których posiadaliśmy jasności OGLE-III i OGLE-IV." - jak został określony promień okręgu? - promień podano po rysunku 6.7, nie w tekście.

str. 132, Nowe Klasyczne: "Za wzrost jasności odpowiedzialny jest termojądrowy wybuch materii, która opada na białego karła." - raczej materii już zgromadzonej na powierzchni białego karła. Nowe karłowate: "Okresowe wybuchy są skutkiem niestabilności w dysku akrecyjnym..." - raczej gwałtowne pojaśnienia, nie "wybuchy" (nie ma syntezy termojądrowej). Podobnie dla nowopodobnych: "Brak wybuchów tłumaczy się większym tempem akrecji niż w przypadku nowych karłowatych." Dobrze byłoby podać referencje (może z wyjątkiem referencji w Nowopodobnych, gdzie podano Dhillona 1996). Słowo "wybuch" niepoprawnie użyte (tj. tam gdzie fizycznie wybuchu nie ma, jest natomiast wyjaśnienie) pojawia się jeszcze kilka razy w dalszym tekście.

str. 136: "W nawiązaniu do tabeli 5.1, gwiazda #9 należy do grupy obiektów zwartych z wyjątkiem białych karłów, która została określona na podstawie tylko ruchów własnych." - nieścisłe określenie lub odniesienie do wcześniej nazwanej grupy. Bez np. pogrubionego lub podkreślonego tekstu i wskazania strony gdzie nazwa "obiektów zwartych z wyjątkiem białych karłów" została wprowadzona, zdanie źle się czyta.

str. 138,139, rys. 6.12: "Pomiędzy zaćmieniami widać wyraźne zmiany jasności wynikające z efektów bliskości." - "efekt bliskości" bez zdefiniowania, brzmi jak żargonowe stwierdzenie lub bezpośrednie tłumaczenie z j. angielskiego, być może należałoby użyć po prostu określenia: efekt odbicia światła, ewentualnie zdefiniować najpierw pojęcie "efektu bliskości" (gdyż autor posługuje się nim w pracy wiele razy) dopisując pozostałe efekty związane z niewielką odległością składników od siebie oraz znaczącymi zmianami prędkości radialnej, jak eliptyczność (grawitacyjna deformacja wtórnego składnika) i wzmocnienie dopplerowskie. Może należałoby również dodać soczewkowanie grawitacyjne lecz jest to raczej efekt wpływający głównie na głębokości minimum (Marsh 2001, MNRAS, 324, 547, Bloemen et al. 2011, MNRAS, 410, 1787).

str. 139: "Mając doświadczenie z gęstymi polami gwiazdowymi, zdecydowaliśmy się nie zwiększać promienia poszukiwań w obawie przed błędną identyfikacją obiektów po współrzędnych, jeśli nie możemy zweryfikować ich na obrazach." - przydałoby się bardziej szczegółowe wyjaśnienie dlaczego gwiazdy #4 nie można było włączyć do analizy skoro autor wykazuje ją wśród gwiazd obserwowanych w ramach swojej pracy. Stwierdzenie "mając doświadczenie z gęstymi polami" nie za dobrze wskazuje na problem jaki autor napotkał. Np. czy pozycja gwiazdy nie została ostatecznie poprawnie ustalona?

str. 142: Opisując dopasowanie 3-ch sinusoid do krzywej zmian jasności (po usunięciu zaćmień) autor podaje enigmatyczne stwierdzenie: "trzy sinusoidy odpowiednio przesunięte względem ϕ " bez informacji jak przesunięcia zostały ustalone, z dopasowania czy w inny sposób?

str. 143: Natura programu do wytypowania składników układów podwójnych nie została wyjaśniona. Można się domyślać, że program tworzył model układu na podstawie podawanych parametrów lecz brak dodatkowego opisu pozostawia wątpliwości. O modelowaniu krzywych zmian jasności układów dowiadujemy się dopiero po przedstawieniu wyników w tabeli 6.4.

str. 144: "Najprawdopodobniej za zmiany pomiędzy zaćmieniami odpowiedzialny jest inny mechanizm." - inny niż co?

str. 149,150: "... obiekt #1 ma najmniejszy wskaźnik barwy (U-C)= 0.449 mag..." - jak wyznaczono wskaźnik barwy? Czy jest to średnia z krzywej czy wskaźnik wykazuje zmienność od fazy? Czy "wrażenie", że w krzywej występuje efekt odbicia można jakoś obiektywnie potwierdzić?

str. 152: "Na diagram ten naniesliśmy również relacje dla niepoczerwienionych gwiazd ciągu głównego.." - jaką relację? Teoretyczny przebieg ciągu głównego? O ile dla gwiazdy #1 wyraźnie napisano, że nie jest to gwiazda typu δ Sct, o tym, że gwiazda DSCT-05865 jest δ Sct dowiadujemy się dopiero z opisu pod rysunkiem 6.23.

str 153, rys. 6.23: Brak informacji o pozostałych symbolach czarne i brązowe pky.

str. 153,154: "Wykorzystując pomiary CTIO spróbaliśmy oszacować typ widmowy obiektów przedstawionych w tej sekcji. W tym celu naniesliśmy na diagram (U – B) vs (B – V) linie poczerwienienia zaczepona w miejscu występowania gwiazdy #5 (rysunek 6.24)." - po tym zdaniu można się było spodziewać, że zostanie przedstawiony opis wielu obiektów, tymczasem tekst oraz rys. 6.24 opisuje jedynie gwiazdę #5. Możliwe, że autor miał na myśli rys. 6.25.

str. 154, rys. 6.24: brak referencji do niebieskiej linii (teoretyczny ciąg białych karłów).

"... rysunek 6.24 sugeruje, że przynajmniej jeden z nich to obiekt gorący" - jednak na rysunku nie widzimy pozostałych obiektów z rys. 6.22.

str. 161, rys 6.29: Niejasne stwierdzenie "w oparciu o kelejne residua". Domyślać się należy, że chodzi o częstotliwości wyznaczone po wybieleniu częstotliwości dominujących.

str. 162: "W periodogramie tego obiektu znaleźliśmy cztery częstotliwości, z czego trzy są częstotliwościami niezależnymi. Taka kombinacja częstotliwości skłoniła nas do konstrukcji diagramu O – C..." - bardzo enigmatyczne stwierdzenie. Dalej "Diagram ten przygotowaliśmy w oparciu o pomiary z faz OGLE-III i OGLE-IV. Z obu zestawów danych otrzymaliśmy nieznacznie różniące się częstotliwości dominujące. Z tego powodu do konstrukcji diagramu O – C Wybraliśmy częstotliwość, która leżała pomiędzy nimi.." - czyli jaką, średnią? Czy częstotliwość wyznaczona ze wszystkich danych nie byłaby lepsza?

str. 162: "Diagram ten przygotowaliśmy w oparciu o pomiary z faz OGLE-III i OGLE-IV." - może dla zestawu danych OGLE-III oraz OGLE-IV?

"Mozemy zauważyć, że zmiany okresu są dość gładkie.." - gdzie możemy zauważyć, brak odniesienia do górnego panelu rysunku 6.31.

str. 164: "Wiele jednak wskazuje na to, że obserwowane w nich zmiany są wynikiem pulsacji białych karłów." - wiele czyli co? Można było wypunktować.

str. 171, rys. 6.41: Brak opisu osi X.

str. 173: "W obu przypadkach na diagramach O – C dopasowaliśmy do punktów pomiarowych funkcje kwadratowe." - mylące stwierdzenie, gdy o pky na diagramie O-C (pky pomiarowe to raczej pky obserwacyjne).

"Dla pozostałych obiektów skonstruowaliśmy dodatkowo diagramy O – C (rysunek 6.43)." - dla jakich częstotliwości, przydałoby się podać numery gwiazd i częstotliwości. Bez tego trzeba skakać po tekście i poszukiwać informacji.

str. 181: "Pewna ciekawostką jest obiekt #10, który według bazy VSX znajduje się 0,4" od OGLE-BUL-SC21-V1496. Zgodnie z opisem jest to gwiazda pulsująca z okresem 11,272 d. Wizualna inspekcja obrazów potwierdziła, że to ten sam obiekt. Najpewniej jest to przypadkowa, błędna klasyfikacja." - zdanie niejasne. Błędna klasyfikacja czyli przypisanie błędnego typu zmienności w katalogu VSX? A jeżeli tak to jak sklasyfikowano gwiazdę w VSX?

str. 199: "Warto zaznaczyć, że najjasniejsze kandydatki na gorące podkarły i białe karły mogą zostać objęte obserwacjami spektroskopowymi w celu potwierdzenia ich natury." - ze względu na ekstremalnie gęste pola z jakim autor miał do czynienia wykonanie spektroskopii wydaje się bardzo problematyczne.