

wpłynęło dnia 27.08.2019
*gla*Recenzja rozprawy doktorskiej mgr Pauliny Karczmarek
zatytułowanej**Wpływ ewolucji w układach podwójnych na własności gwiazd pulsujących
na przykładzie cefeid oraz gwiazd typu RR Lutni**

Odwołując się do tekstu rozprawy podaję trzy liczby, które identyfikują stronę, akapit i wiersz liczony od góry akapitu.

Pani Karczmarek ukończyła studia astronomiczne na Uniwersytecie Mikołaja Kopernika w roku 2012, przedstawiając pracę magisterską pt. „Analiza ewolucji gwiazd pulsujących w układach podwójnych przy wykorzystaniu kodu StarTrack”, którą napisała pod opieką dra hab. Macieja Mikołajewskiego i ówczesnego dra hab. Grzegorza Pietrzyńskiego. W tym samym roku podjęła studia doktoranckie w Obserwatorium Astronomicznym Uniwersytetu Warszawskiego, dołączając jednocześnie do cieszącego się międzynarodową renomą zespołu naukowego ARAUCARIA, w którym pracuje do dzisiaj.

Jest autorką 43 prac i komunikatów naukowych, w tym 31 recenzowanych, w tym czterech pierwszoautorskich, cytowanych łącznie ponad 800 razy. Dorobek ten bez wątpienia stanowi wystarczającą podstawę do ubiegania się o stopień naukowy doktora.

Jako członkini ARAUCARII, p. Karczmarek skupia swoją działalność na zagadnieniach związanych z precyzyjną kalibracją tzw. świec standardowych umożliwiających pomiar odległości do obiektów pozagalaktycznych. W przedstawionej rozprawie analizowane są dwa czynniki, które potencjalnie mogą zafałszować kluczowy przy wyznaczaniu odległości związek okres – jasność dla gwiazd pulsujących (P-L):

- „zanieczyszczenie” populacji gwiazd pulsujących przez obiekty należące do odkrytej kilka lat temu klasy BEP (*Binary Evolution Pulsator*)
- przynależność cefeid do układów podwójnych.

Wagę naukową takich analiz trudno jest przecenić nawet w przypadkach, gdy znaczenie „podejrzanych” czynników okazuje się niewielkie. Z tego punktu widzenia dobór tematu rozprawy oceniam jako prawidłowy, a osiągnięte w niej wyniki jako znaczące i wartościowe. Badania opisane w rozprawie mają także ważny aspekt użyteczny – p. Karczmarek dowodzi, że obserwacje gwiazd typu RR Lyr w bliskiej podczerwieni umożliwiają wyznaczenie odległości do galaktyk Grupy Lokalnej z precyzją nieosiągalną w zakresie widzialnym.

Licząca prawie 200 stron rozprawa składa się z wprowadzenia i trzech rozdziałów szczegółowo relacjonujących przeprowadzone badania. Zawiera ponadto podsumowanie, spis tabel, spis rysunków, dwa dodatki i niezwykle obszerną bibliografię (ponad 550 pozycji). Całość jest poprzedzona krótkim streszczeniem oraz – co uważam za warte upowszechnienia w pracach doktorskich – zestawieniem używanych skrótów i spisem wartości jednostek fizycznych. Struktura rozprawy jest poprawna; układ treści – przejrzysty. Wiele do życzenia pozostawia natomiast styl autorki, miejscami niejasny lub nawet bardzo niejasny. Chlubnym wyjątkiem jest tu zawarte w Rozdz. 5 podsumowanie. Ilustracje są wyczerpująco opisane, i – poza nielicznymi wyjątkami – czytelne. Bodaj najsłabiej czytelną z nich jest Rys. 4.8, w którego lewej dolnej części poszczególne punkty nakładają się na siebie i/lub rozmazują, nie przekazując czytelnikowi praktycznie żadnej informacji.

We wprowadzeniu autorka omawia ogólną klasyfikację gwiazd pulsujących, ich ścieżki ewolucyjne oraz podstawy mechanizmu pulsacji, po czym przechodzi do zależności P-L, podkreślając fakt, iż *w trakcie długoletnich obserwacji zmieniły one* [gwiazdy pulsujące – M.R.]

swój wizerunek z prostych, radialnie pulsujących obiektów na takie, w których różnorodność modów pulsacji – także nieradialnych – świadczy o ich skomplikowanej strukturze i nietrywialnych procesach zachodzących w ich wnętrzach (11,2,1-4). Na następnych stronach zaznajamia czytelnika z problemami „drabiny odległości” i jej trudnych do oszacowania błędów systematycznych, zapewne przynajmniej po części związanych z nieoczekiwanym bogactwem zjawisk składających się na obserwowane pulsacje gwiazdowe, po czym przedstawia najważniejsze osiągnięcia zespołu ARAUCARIA. Kolejny podrozdział traktuje o gwiazdowych układach podwójnych. Autorka podkreśla, że należy do nich aż 80% jasnych cefeid, co sygnalizuje konieczność zbadania wpływu tego faktu na kalibrację zależności P-L. W końcowym podrozdziale omówione są naukowe cele rozprawy i ich wzajemne powiązania.

W mojej opinii całość wstępu jest wyczerpującym wprowadzeniem w tematykę pracy, muszę jednak wytknąć dwa znalezione w nim uchybienia merytoryczne. We wnętrzu gwiazdy grawitacja nie jest równoważona przez ciśnienie promieniowania (2,3,2), lecz przez gradient ciśnienia całkowitego. Jądro gwiazdy zostaje „oddegenerowane” w następstwie błysku helowego, a nie przed nim, jak sugeruje zdanie *Faza RG kończy się, gdy jądro osiąga masę około $0.5 M_{\odot}$ i temperaturę około 10^8 K, co znosi degenerację i rozpoczyna termosyntezę helu* (7,9,3-11).

Znalazłem też sporo usterek formalnych, z których przytoczę tu dwie. Czytamy m. in. *Analiza ... pozwala uzyskać informacje o ... szerokości lub odległości do układu* (20,1,4-5). Owszem, mówi się o szerokich układach podwójnych, ale zastąpienie „wielkiej półosi” (lub – w ostateczności – „rozmiarów”) układu jego „szerokością” wydaje mi się raczej niefortunne. Dalej p. Karczmarek pisze *Jednakże zależność P-L jeszcze nie uwzględnia podwójności gwiazd pulsujących. Oznacza to, że populacja cefeid lub gwiazd RRL, na której się opiera jest najprawdopodobniej populacją mieszaną, złożoną z gwiazd i pojedynczych, i podwójnych* (22,3.1-3). Pierwsze z tych zdań nie implikuje drugiego, a całość nabiera sensu dopiero po zamianie „oznacza to, że” na „pomimo, iż”. Chyba o to chodziło autorce? Dalsze przykłady usterek formalnych podaję w dodatku do recenzji.

Rozdział 2 traktuje o przydatności gwiazd typu RR Lyr do pomiarów odległości galaktyk Carina i Fornax. Otrzymane w nim wyniki z jednej strony stanowią kolejne osiągnięcia w cyklu badań ARAUCARII, z drugiej zaś – część bazy empirycznej, do której nawiązują teoretyczne badania zrelacjonowane w Rozdz. 3. Pomiary opierają się na danych zebranych przez autorkę w pasmach J i K, a następnie starannie przez nią zredukowanych i sfotometrowanych. Odległości otrzymane przez p. Karczmarek przy zastosowaniu pięciu zaczerpniętych z literatury kalibracji PLZ są najdokładniejsze z dotychczasowych, co samo w sobie warte jest odnotowania. Zwraca też uwagę szczegółowa i wyczerpująca analiza błędów.

Ogólne korzystne wrażenie jest jednak osłabione przez zbijające czytelnika z tropu zdanie *Otrzymane jasności obserwowane w systemie UKIRT zostały przetransformowane do powyższych systemów za pomocą formuł zawartych w publikacji Carpenter (2001)* (40,3,4-6). Jeśli się nie mylę, autorka dokonała transformacji odwrotnej, tj. sprowadziła jasności otrzymane z różnych kalibracji PLZ do systemu UKIRT. Ponadto chętnie dowiedziałbym się, co – poza spójnością z wcześniejszymi pracami ARAUCARII – zadecydowało o wyborze kalibracji 2.8 – 2.12 spośród dwunastu wymienionych w tabeli A.1, i dlaczego kalibracja Dékány'ego została pominięta przy wyznaczaniu odległości galaktyki Fornax. Dobrze byłoby też umieścić w sąsiedztwie zależności 2.8 – 2.12 informację, w jaki sposób przeliczano podane na str. 43 wartości $[Fe/H]$ na $\log(Z)$. I ostatnia uwaga do Rozdz. 2 – na str. 41, w. 1 od dołu, autorka pisze *Bias Malmquista powoduje, że tylko najjaśniejsze spośród gwiazd RRc są obserwowane, podczas gdy słabsze obiekty – znalazły się poniżej progu detekcji – nie trafiają do próbki* (48,3.1-49,1,1-2). Jednak na rysunku 2.3 kompletność obserwacji wydaje się maleć dopiero dla gwiazd wyraźnie słabszych od RR Lyr, więc dyskusowanie efektu Malmquista jest chyba zbyt precyzyjne.

W rozdziale 3 p. Karczmarek bada możliwość zafałszowania relacji P-L przez BEPy, czyli pulsujące gwiazdy o strukturze zmodyfikowanej w następstwie oddziaływań związanych z ich przynależnością do układów podwójnych. Posługuje się przy tym metodą syntezy populacji, w której stosowaniu ma duże doświadczenie, bowiem opanowała ją jeszcze podczas pisania pracy magisterskiej. Używane przez autorkę narzędzie to wielokrotnie sprawdzony i przetestowany program StarTrack autorstwa Krzysztofa Belczyńskiego. P. Karczmarek zmodyfikowała go w taki sposób, by dokładniej opisywał ewolucję gwiazd o niewielkich masach będących progenitorami pulsatorów typu RR Lyr. W pół miliona wymodelowanych przez nią układów podwójnych powstało prawie 30000 BEPów (a raczej manifestacji BEPów, bowiem dany obiekt był identyfikowany jako odrębny BEP za każdym razem, gdy przechodził przez pas niestabilności; oczywiście jest to metodologicznie poprawne). Trzeba tu zaznaczyć, że podczas obliczeń faworyzowany był zwykły transfer masy, co uzyskano dzięki ograniczeniu możliwości wystąpienia fazy wspólnej otoczki. Otrzymane liczby BEPów są zatem górnymi limitami, o czym jednak autorka nie wspomina.

Po szczegółowym omówieniu wyników obliczeń (może nawet nieco zbyt szczegółowym, zważywszy niewielkie znaczenie niektórych detali dla zasadniczego problemu atakowanego w rozdziale 3; ich przykładem mogą być dane zawarte w tabeli 3.1) p. Karczmarek umiejscawia parametry jedyne go znanego BEPa – OGLE-BLG-RRL-02792 – w histogramach obrazujących rozkłady analogicznych parametrów wymodelowanej populacji. Trudno tu oczywiście mówić o zgodności teorii z obserwacją, ale żadne oczywiste sprzeczności się nie pojawiają. Istotne jest, że zakres jasności BEPów pokrywa się z zakresem wyznaczonym przez gwiazdy pulsujące od RR Lyr po cefeidy klasyczne. Konkluzja, zgodnie z którą wpływ BEPów na relację P-L dla RR Lyr i cefeid klasycznych jest zanedbywalnie mały, brzmi optymistycznie i ma istotną wagę naukową, zaś interesująca sugestia, że BEPami może być znaczny procent cefeid anomalnych, niewątpliwie zasługuje na weryfikację.

Uwaga merytoryczna: autorka pisze *gwiazda posiadająca masę 0.26 M na ciągu głównym wieku zerowego (ang. zero age main sequence, ZAMS) nie doszłaby w czasie Hubble’a do IS.* (60,3,13-15). Takie gwiazdy nie zapalają helu i najprawdopodobniej w ogóle nie dochodzą do stadium czerwonego olbrzyma (Laughlin et al. 1997, ApJ 482,420). I dwie uwagi formalne: na str. 62 autorka zakłada metaliczność słoneczną, ale wyjaśnienie, dlaczego akurat tę a nie inną, znajduje się dopiero na stronach 88-89. Podobnie jest z niekonserwatywnym transferem masy – założenie, że połowa masy wypływającej z donora wydostaje się poza układ pojawia się na str. 63, ale jego uzasadnienie dopiero na str. 89.

Rozdział 4 jest poświęcony badaniom wpływu cefeid będących składnikami układów podwójnych na punkt zerowy i nachylenie relacji P-L w środowiskach o różnej metaliczności dla uproszczenia obiekty te nazywam dalej cefeidami podwójnymi). Autorka stawia pytanie *o ile magnitudo w różnych pasmach przesunięty jest punkt zerowy kalibracji P-L, wyznaczony w oparciu o cefeidy, których znaczący odsetek stanowią nierozpoznane układy podwójne*, i aby znaleźć odpowiedź ponownie posługuje się metodą syntezy populacji. Śledzi mianowicie ewolucję 200 000 układów podwójnych, w których identyfikuje od ok. 38000 ($Z = 0.02$) do ok. 90000 ($Z = 0.004$) cefeid, po czym otrzymane w ten sposób „surowe” populacje przetwarza na syntetyczne populacje obserwowane i skaluje je do gwiazdowych mas Drogi Mlecznej oraz Obłoków Magellana. Następnie (co godne podkreślenia) ocenia realistyczność symulacji poprzez porównanie

- liczb rzeczywistych cefeid w tych trzech galaktykach z liczbami cefeid symulowanych,
- otrzymanych zależności M-L z zależnościami opublikowanymi w literaturze
- obserwowanych parametrów układów podwójnych z cefeidą z rozkładami tych parametrów w populacji syntetycznej.

Ogólny wynik tych testów jest zadowalający, choć w pierwszym z nich liczba symulowanych cefeid w Małym Obłoku Magellana jest kilkakrotnie za mała, a w trzecim trudno wysnuwać statystycznie znaczące wnioski ze względu na niewielką liczbę układów rzeczywistych. Najlepiej wypadł drugi test, czego autorka jednak słusznie nie przecenia, podkreślając zależność modeli od bardzo powierzchownie traktowanego overshootingu i praktycznie pomijanej w StarTracku rotacji.

W następnych podrozdziałach p. Karczmarek dowodzi, że cefeid podwójnych w znacznej większości przypadków nie da się obserwacyjnie odróżnić od cefeid pojedynczych, co w związku częstym występowaniem tych pierwszych (wśród jasnych cefeid – do 80%) sygnalizuje potencjalną możliwość znaczącego zafałszowania relacji P-L i popełniania systematycznych błędów przy wyznaczaniu odległości.

W najważniejszych dla tej części rozprawy podrozdziałach 4.6 – 4.8 efekt przesunięcia punktu zerowego Δm zostaje skwantyfikowany w zależności od procentowej zawartości cefeid podwójnych w badanej populacji C_{bin} oraz metaliczności tej populacji. Stwierdzenie, że metaliczność Z jest istotnym czynnikiem wpływającym na wartość Δm , i że wartość ta rośnie liniowo z C_{bin} (przy czym tym szybciej, im większe jest Z i im krótsze fale obejmuje filtr używany podczas obserwacji) uważam za najważniejszy wynik rozprawy i znaczące osiągnięcie naukowe autorki. Fakt, że – jak czytamy w podsumowaniu – *różnice w punkcie zerowym wywołane światłem od towarzysza mają znikomy wpływ na wyznaczenia odległości, ponieważ są zanedbywalnie małe w porównaniu z wartościami niepewności systematycznych, którymi obecnie obciążone są zależności P-L dla cefeid*, nie ma tu większego znaczenia, bowiem systematyczne błędy drabiny odległości są stopniowo eliminowane i prędzej czy później wyniki p. Karczmarek znajdą zastosowanie w praktyce.

Przy całym uznaniu dla ogromu pracy wykonanej przez p. Karczmarek i osiągniętych przez nią wyników muszę jednak wypunktować szereg uchybień, jakie znalazłem w Rozdz. 4.

Autorka zalicza do cefeid obiekty, które *znajdują się wewnątrz IS i przejawiają stabilne pulsacje* (102,2,4), a dwie strony dalej stwierdza *Przypadki z rysunków 4.3 (c) i (d) nie spełniają warunku stabilności pulsacji* (104,3,10). Nie podaje jednak kryterium, za pomocą którego określa, czy dana gwiazda przejawia stabilne pulsacje, a przynajmniej takiego kryterium nie znalazłem.

(102,1,7-8) *Algorytm filtrujący dopuszcza sytuację, w której gwiazda przechodzi przez IS będąc w przerwie Hertzsprunga (ang. Hertzsprung Gap, HG). Jest to jej pierwsze przejście przez IS i jeśli jedyne – taka gwiazda jest pomijana i nie wchodzi do ostatecznej próbki.* Trzy strony dalej czytamy *W danej analizie konkretna gwiazda może pojawić się więcej niż raz, gdy przechodzi przez pas nie-stabilności po raz pierwszy (IS1), drugi (IS2) lub trzeci (IS3), ponieważ wszystkie przejścia przez IS są traktowane indywidualnie* (105,1,3-6). Zatem przejście przez IS w HG zalicza daną gwiazdę do cefeid, ale tylko wtedy, jeśli później przechodzi ona ponownie przez IS. Pomijanie przejść przez IS w HG, po których gwiazda nie przechodzi ponownie przez IS, wydaje się niekonsekwentne i przydałoby się jakieś wyjaśnienie.

(113,4,4-7) Brak jednoznacznej informacji, że czas jest liczony od chwili obecnej wstecz. Symbol t_0 raz jest opisywany jako czas narodzin gwiazdy, a raz jako jej wiek.

(114,2,całość) Z treści tego akapitu wynika, że średnia masa gwiazdy w wygenerowanej populacji wynosi $22 M_{\odot}$. Dopiero dodatkowe informacje, których brak jest w pracy, pozwoliły mi zrozumieć, że jest inaczej.

(115,1,7-9) Zgodnie z podaną tu definicją, dzieląc liczby z drugiej kolumny tabeli 4.6 przez odpowiednie współczynniki skalujące z wiersza (115,1,7) otrzymujemy niepodawane przez autorkę liczności „syntetycznych obserwowanych populacji”. Są dziwnie małe: 18, 20 i 3 – odpowiednio dla SMC, LMC i MW. W tym ostatnim przypadku można mieć wątpliwości co do zasadności ekstrapolowania takiej próbki na całą dużą galaktykę.

(135,2,5-6) *na rysunku 4.18 punkty otoczone czerwoną obwódką oznaczają, że towarzyszem cefeidy jest gwiazda podobnych rozmiarów.* Na Rys. 4.18 nie widzę takich punktów.

(136,2,1) *Jeśli układ jest mocno ekscentryczny, zaćmienia następują blisko po sobie.* To zdanie jest nieprecyzyjne (sugestia: zaćmienie wtórne zbliża się w fazie do zaćmienia głównego). Co więcej, w ogólności jest nieprawdziwe, ponieważ nawet w układzie o dużej ekscentryczności zaćmienie wtórne może przypadać dokładnie na fazę 0.5.

(136,2,7-9) *nawet obiekty na szerokich orbitach mogą mieć jedno zaćmienie, gdy składniki są blisko siebie, a linia przechodząca przez ich środki tworzy z kierunkiem obserwacji kąt inklinacji.* Nie rozumiem, dlaczego „nawet” na szerokich orbitach? Poza tym, inklinacja i jest zdefiniowana jako kąt między płaszczyzną orbity i płaszczyzną prostopadłą do linii widzenia (zaćmienia są możliwe tylko dla i bliskiego 90°). Linia przechodząca przez środki gwiazd leży w płaszczyźnie orbity, w zaćmieniu tworzy więc z linią widzenia kąt 90° minus i .

142,2,8-9 *Po wprowadzeniu towarzyszy do próbki, punkt zerowy zależności P-L liczony jest ponownie przy ustalonym i niezmiennym współczynniku nachylenia...* Czytelnik chciałby się dowiedzieć, w jaki sposób wybierano cefeidy, którym „dodawano towarzyszy” i odpowiednio zwiększano ich jasność, a ponadto - czy tego wyboru dokonywano tylko jeden raz, czy też powtarzano go wielokrotnie, w związku z czym parametry Δm i α podane na Rys. 4.21 – 4.23 i Tab. 4.12 są średnimi z wielu wyborów.

Rys. 4.21 – 4.23 Szkoda, że autorka nie napisała, co jest przyczyną nieciągłości widocznej na wykresie P-L dla $\log(P) = \sim 1.35$.

Styl i przejrzystość recenzowanej rozprawy pozostawiają miejscami wiele do życzenia. Znalazłem też uchybienia merytoryczne, które jednak nie mają wpływu na wyniki zrelacjonowanych w niej badań. Na korzyść autorki świadczy zademonstrowana przez nią biegłość w prowadzeniu obserwacji i posługiwaniu się techniką syntezy populacji, a przede wszystkim to, że osiągnięte wyniki są ciekawe i naukowo wartościowe. Reasumując uważam, że rozprawa p. Karczmarek spełnia ustawowe i zwyczajowe wymagania stawiane rozprawom doktorskim i wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Warszawa, 27.08.2019

Michał Różyczka
prof. dr hab. Michał Różyczka

Dotatek: zauważone usterki formalne

Streszczenie

1,2,2 *stworzony przez Belczynski et al.*

sugestia: opisany w pracy Belczynski et al.

2,2,4 *donosi publikacja Soszyński et al.*

sugestia: donoszą Soszyński et al.

2,2,5 *opisany obszerniej przez autorów Pietrzyński et al. (2012) oraz Smolec et al.*

sugestia: opisany obszerniej w pracach Pietrzyński et al. (2012) oraz Smolec et al.

2,3,4 *powoduje systematyczne zawyżenie zależności okres-jasność.*

sugestia: jest źródłem systematycznego błędu popełnianego przy wyznaczaniu zależności okres-jasność.

3,2,5 *Wstęp poprzedza spis*

sugestia: Przed wstępem umieściłam spis lub Wstęp jest poprzedzony spisem

3,2,14 *stosowane są przedrostki do jednostki czasu*

sugestia: używam skrótowych oznaczeń jednostek czasu

Abstract

2,2,8 *are expected to populate the instability strip, in the areas of both RRL stars and*

sugestia: are expected to reside in the instability strip among both RRL stars and

Rozdział 1

2,1,3 *w sferach częściowej jonizacji helu.*

w **strefach** częściowej jonizacji helu.

2,2,3 *grupujących się na diagramie Hertzsprunga-Russella (HR) w typy gwiazd pulsujących:*

sugestia: grupujących się na diagramie Hertzsprunga-Russella (HR) w obszarach zajętych przez

2,2,8 *Zgodnie z prawem Kramera*

Zgodnie z prawem **Kramersa**

2,3,2 *z wystarczającą dokładnością – rozdzielczością czasową, przestrzenną lub czułością.*

W kontekście reszty zdania termin „rozdzielczość przestrzenna” jest niezrozumiały

7,2,5 *Dalsza ewolucja jest rozległa i kompleksowa, jednak na potrzeby tej pracy można ją pominąć*

sugestia: Dalsza ewolucja nie jest już związana z tematyką tej pracy. Można ją pominąć

11,3,11 *Pomiar zaobserwowanego w 1997 roku rozbłysku gamma*

Pomiar **odległości** zaobserwowanego w 1997 roku rozbłysku gamma

12,2,1 *Są to gwiazdy o ustalonej jasności*

W ogólności chodzi o **obiekty** o ustalonej jasności

20,4,1 *jeśli jedna lub obie gwiazdy układu są pulsujące*
sugestia: *jeśli jedna lub obie gwiazdy układu pulsują*

Rozdział 2

27,przypis *także w tym, na których opiera się niniejsza praca*
także w **tych**, na których opiera się niniejsza praca

32,2,8 2AMSS
2MASS

33,3,1-3 *Obserwacje gwiazd RRL w galaktykach Carina i Fornax były jednoepokowe, co oznacza, że dane pole było odwiedzone przez teleskop jedynie raz. W nielicznych przypadkach gwiazdy mają więcej niż jedną obserwację: gdy dane pole obserwowane było więcej niż raz*
Drugie zdanie jest sprzeczne z pierwszym

44,2,3-5 *Największe różnice w modułach odległości – 0.050 mag (Fornax) i 0.064 mag (Carina) – występują między kalibracjami Bono (Carina) i Catelan (Fornax) oraz kalibracją Sollima (dla obu galaktyk).*
Zdanie sformułowane bardzo niezręcznie. Sugestia: Dla galaktyki Fornax największa różnica w modułach odległości występuje między kalibracjami Bono i Catelan (0.050 mag), zaś dla galaktyki Carina – między kalibracjami Bono i Sollima (0.064 mag).

44,2,6 *Warte uwagi jest, że występuje w każdym z serii pięciu wyznaczeń*
Sugestia: *Warte uwagi jest, że ten sam efekt występuje w każdym z serii pięciu wyznaczeń*

45,3,5 *związaną w wyznaczeniu*
związaną z wyznaczeniem

45,przypis *Zmiany rozmiarów kątowego do liniowego są proporcjonalne do odległości do gwiazdy.*
Co to znaczy?

45,przypis *Ridpath, 2012*
Link podany w bibliografii prowadzi do hasła „combined magnitude”

Rozdział 3

66,3,3 *W przypadku 3.5% układów*
W 3.5% przypadków

66,3,4 *jedno lub dodatkowo dwa dodatkowe przejścia*
jedno lub dwa dodatkowe przejścia

67,1,2 *traktowanych jest jako odrębne zjawiska*
potraktowano jako odrębne zjawiska

67,2,12 część z tych, które to zrobią ponownie wchodzi w IS
część z tych, które to zrobią, ponownie wchodzi w IS

68,3,9 Gwiazdy z grupy A to przeszłe BEP-y
Gwiazdy z grupy A to **przyszłe** BEP-y

70, podpis pod Rys. 3.2 *Zależność początkowej separacji składników i początkowej ekscentryczności. Korzystne kombinacje parametrów orbitalnych zajmują ...*

Zależność od czego? Sugestia: Parametry orbitalne układów, w których powstały BEPy zajmują ...

72,2,1-3 gwiazdy pojawiają się wewnątrz IS jako BEP-y typów RGB-core, HeB-core lub AGB-core i mogą przechodzić przez IS więcej niż raz w czasie ewolucji jednej gwiazdy, jednakże ich odsetek jest niewielki (3.5% populacji)

sugestia: gwiazdy pojawiają się wewnątrz IS jako BEP-y typów RGB-core, HeB-core lub AGB-core. Tylko niewielki ich odsetek (3.5%) przechodzi przez IS więcej niż jeden raz.

81,2,1-2 Parametry fizyczne i orbitalne pierwszego odkrytego BEP-a są najbardziej zbliżone do jednego układu podwójnego z syntetycznej populacji o następującej charakterystyce

sugestia: Parametry fizyczne i orbitalne pierwszego odkrytego BEP-a są najbardziej zbliżone do układu podwójnego z syntetycznej populacji o następującej charakterystyce

Rozdział 4

97, 1,1 utrudniając a czasem uniemożliwiając prawidłową detekcję promienia cefeidy
sugestia: utrudniając, a czasem uniemożliwiając prawidłowy **pomiar** promienia cefeidy

98,2,16-17 jednak ogólny obraz ich ewolucji jest najlepiej poznany spośród wszystkich wskaźników odległości.

sugestia: jednak wśród wszystkich obiektów pełniących rolę wskaźników odległości są one tymi, których ewolucję poznano najlepiej.

100,przypis współoddziałujących z ruchami radiacyjnymi (związanymi z pulsacjami)
współoddziałujących z ruchami **radialnymi** (związanymi z pulsacjami)

102,2,7-8 doświadczają więcej niż jednego tylko przejścia przez IS w przerwie Hertzsprunga na diagramie HR

sugestia: co najmniej raz przechodzą przez IS po przejściu przez przerwę Hertzsprunga

113,2,2-3 aby możliwe było dokonanie porównania z cefeidami w trzech galaktykach

sugestia: aby można było porównać je z cefeidami obserwowanymi w trzech galaktykach

136,3,3 $R_A = 69 M_\odot$, $R_B = 1.5 M_\odot$
 $R_A = 69 R_\odot$, $R_B = 1.5 R_\odot$

Informacje w Rozdz. 4.7.4 i 4.7.7 częściowo się pokrywają.

Wg spisu treści bibliografia, spis tabel i spis rysunków zaczynają się na str. 163, 167 i 183. W tekście – na str. 16, 183 i 185.