

Gwiazdy zmienne typu RR Lyr zmieniające mod pulsacji.

Maksymilian Celiński, Igor Jaworski, Robert Kowalczyk,
Agnieszka Okrzesik, Zofia Piszczek

Zespołowy Projekt Studencki grupa prof. Radosława Poleskiego

Gwiazdy typu RR Lyrae są gwiazdami zmiennymi, pulsującymi w jednym lub dwóch modach radialnych. Obserwując i analizując jasności takich gwiazd, rozróżniamy mod pulsacji na podstawie długości okresu i kształtu krzywej zmiany blasku. Czasami zdarza się, iż gwiazda zmieni swój mod pulsacji. Jest to bardzo rzadkie zjawisko i słabo zbadane. Znanych jest zaledwie kilka przypadków zmiany modu pulsacji, które zostały wyłonione z setek tysięcy obserwowanych gwiazd RR Lyr.

1 Cel projektu

Celem projektu jest przeszukanie bazy danych projektu OGLE, dostępnej w systemie Obserwatorium Astronomicznego Uniwersytetu Warszawskiego, i próba znalezienia w niej gwiazd RR Lyr, u których jeden z modów pulsacji zniknął bądź pojawił się nowy. Na podstawie znalezionej liczby takich przypadków, podjęto próbę oszacowania jak często takie zjawisko występuje wśród gwiazd RR Lyr.

2 Wykonanie projektu

Pierwszym krokiem w projekcie było wykonanie listy znalezionych do tej pory RR Lyrae, które zmieniły swój mod pulsacji. W tym celu przyjrano się pracom naukowym, które dotyczą gwiazd zmiennych pulsujących. Poszukując słów kluczowych, wyodrębniono kilkanaście prac, wspominających o zmianach w modach pulsacji. W poniższej Tabeli 1. przedstawiono znalezione w tych pracach obiekty. (Każdej znalezionej gwiazdzie przyporządkowano numer. W poniższej rozpisce każdemu numerowi przyporządkowana jest praca, w której dana gwiazda została wspomniana).

Tabela 1: Znalezione w publikacjach gwiazdy RR Lyr, które zmieniły swój mod pulsacji.

Referencje	Gwiazda	Mod pierwotny	Mod po zmianie
Soszynski et al. [2014a]	OGLE-BLG-RRLYR-12245	RRd	RRab
Drake et al. [2014]	V21 M68	RRd	RRab
Drake et al. [2014]	V442 Her	RRc	RRab
Drake et al. [2014]	V15 M4	RRc	RRab
Drake et al. [2014]	V18 M5	RRc	RRab
Clement and Goranskij [1999]	V79 M3	RRab	RRc
Clementini et al. [1994]	V15 M4	RRab	RRc
Khruslov et al. [2017]	USNO-B1.0 1171-0309158	RRc	RRab
Kains et al. [2015]	V33 M68	RRd	RRc
Kains et al. [2015]	V45 M68	RRd	RRc
Kains et al. [2015]	V7 M68	RRd	RRc
Smolec et al. [2015]	V13 M3	RRd	RRab
Jurcsik et al. [2014]	V44 M3	RRd	RRab
Jurcsik et al. [2014]	V99 M3	RRd	RRab
Jurcsik et al. [2014]	V166 M3	RRd	RRab
Jurcsik et al. [2014]	V119 M3	RRab	RRd
Soszynski et al. [2014b]	OGLE-BLG-RRLYR-07226	RRd	RRab
Soszynski et al. [2014b]	OGLE-BLG-RRLYR-12245	RRab	RRd

Następnie napisano programy, które miały pomóc znaleźć nowe gwiazdy RR Lyrae zmieniające mod pulacji. W pierwszej kolejności, wyodrębniono z bazy danych OGLE gwiazdy z dysku galaktycznego, sklasyfikowane jako RR Lyr i posiadające przynajmniej 100 pomiarów jasności (liczba 100 pomiarów została uznana za minimum, przy której można dokonać odpowiedniej analizy danych).

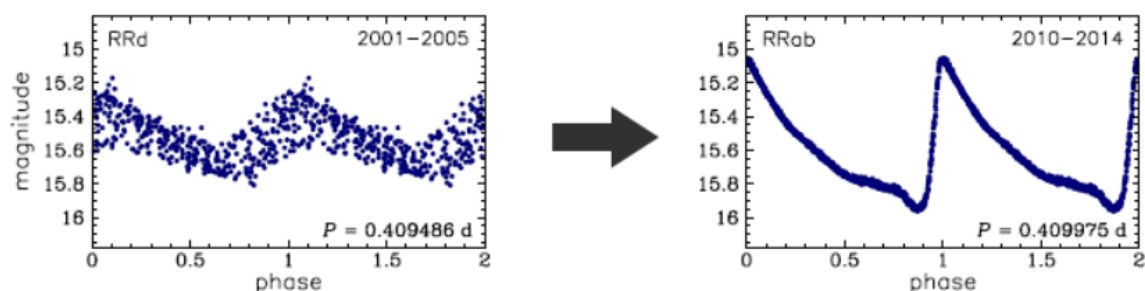
Pierwszy program dopasowywał szereg Fouriera do pomiarów jasności w czasie. Zwracał on listę gwiazd oraz amplitudy ich jasności: amplitudę wszystkich pomiarów, kilkudziesięciu pierwszych i kilkudziesięciu ostatnich. Kolejny program sprawdzał czy są wśród gwiazd takie, dla których jedna z amplitud - końcowa bądź początkowa - maleje lub rośnie co najmniej pięć razy. W ten sposób z listy kilkudziesięciu tysięcy początkowych kandydatek wyselekcjonowano kilkaset najbardziej obiecujących gwiazd.

Finalnie, napisano program, który rysował 4 wykresy: zależności wszystkich pomiarów jasności od czasu (bez fazowania i po fazowaniu) oraz zależności jasności od fazy dla pierwszych i ostatnich epok. Pierwotnie dopasowywano 4 wyrazy szeregu Fouriera dla typu RRab oraz 1 wyraz dla RRc, i pod uwagę brano 50 pierwszych i 50 ostatnich pomiarów jasności. Dla tych kryteriów znaleziono nieco ponad 150 obiecujących gwiazd. Zauważono, że otrzymane w ten sposób wyniki są zbyt nieprecyzyjne lub wykryta zmiana amplitudy wynika z braku pełnego pokrycia fazy przez obserwacje. Postanowiono zmienić kryteria tak, aby program dopasowywał 3 wyrazy dla typu RRab. Tym sposobem, grupę gwiazd będących kandydatkami na takie, które zmieniały mod pulsacji, zawężono do 75. Na koniec, liczba wyrazów pozostała taka sama, jednak liczbę epok zwiększono do 100. Te kryteria ponownie zawęziły zbiór gwiazd, tym razem do ostatecznej grupy 30 gwiazd.

Ostatnim krokiem projektu było określenie częstości zachodzenia badanego zjawiska. W bazie danych widnieje czas dokonania pomiaru w dniach juliańskich. Postanowiono napisać program, który policzy średni czas z ostatnich 100 pomiarów, pomniejszony o średni czas z pierwszych 100. Pod uwagę brano tylko gwiazdy posiadające co najmniej 200 pomiarów (34 220 obiektów odrzucono). Powtórzono proces dla liczby 34 375 gwiazd i zsumowano poszczególne wyniki. W ten sposób ustalono jaki był łączny czas obserwacji, w którym nie znaleziono szukanych przypadków.

3 Wykresy

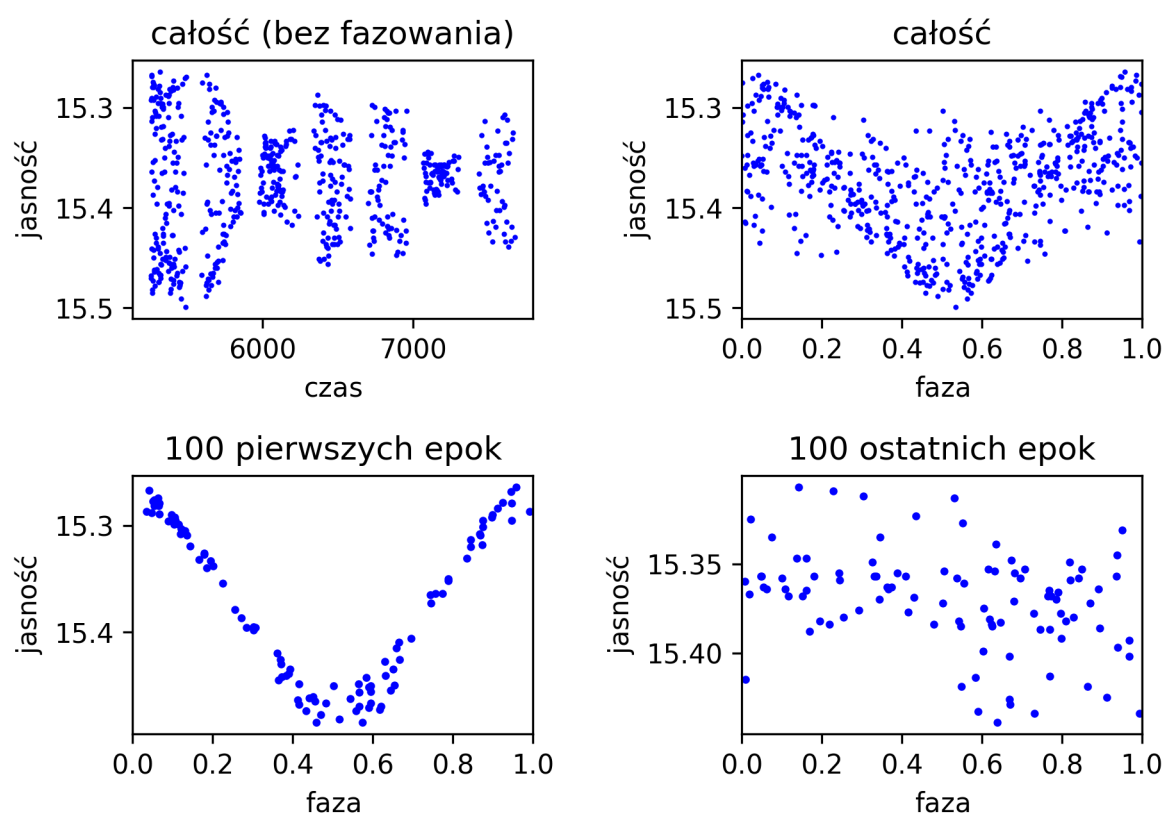
Poszukiwano gwiazd RR Lyr, które zmieniają mod pulsacji. Dzięki odkrytym do tej pory przypadkom wiemy, jak wygląda i zmienia się przykładowy wykres czas-jasność dla tych rzadkich obiektów. Jedną z odkrytych gwiazd tego typu jest OGLE-BLG-RRLYR-12245, której zmiana pulsacji przedstawia rysunek poniżej ?.



Rysunek 1: Zmiana w modzie pulsacji gwiazdy OGLE-BLG-RRLYR-12245.

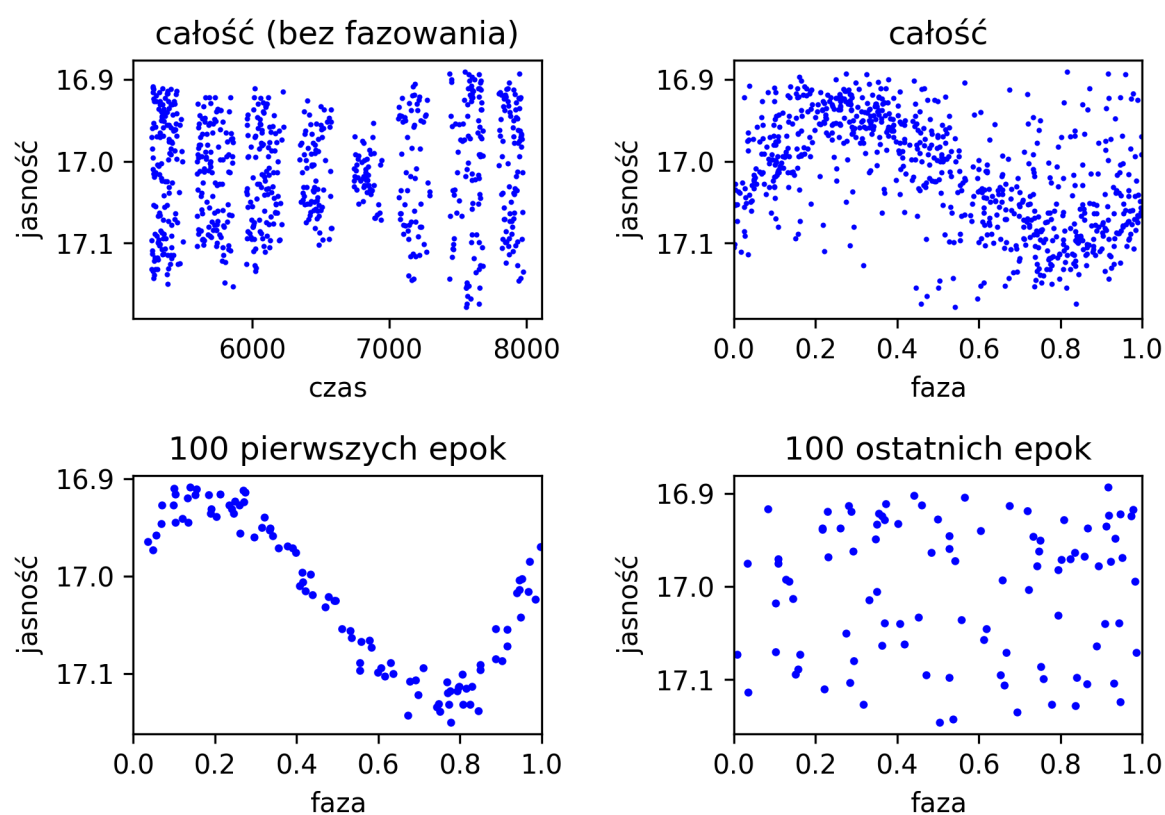
Ostatecznie otrzymano wykresy dla 30 najbardziej obiecujących kandydatek. Po przejrzaniu wszystkich uzyskanych wykresów nie stwierdzono, aby jakakolwiek gwiazda z wyłonionej listy była w rzeczywistości obiektem zmieniającym mod pulsacji. W otrzymanych przypadkach zmiany amplitudy albo okresu nie przedstawiają zmiany modu pulsacji, albo wskazują na efekt Błażki. Stwierdzono, że efekt ten jest przeważającym zjawiskiem odpowiedzialnym za zmiany w amplitudach i rozmycie wykresów fazowych. Na poniższych ilustracjach przedstawiono otrzymane wykresy dla 3 losowych gwiazd z grona finalnych 30:

OGLE-BLG-RRLYR-07153, stosunek amplitud: 7.08



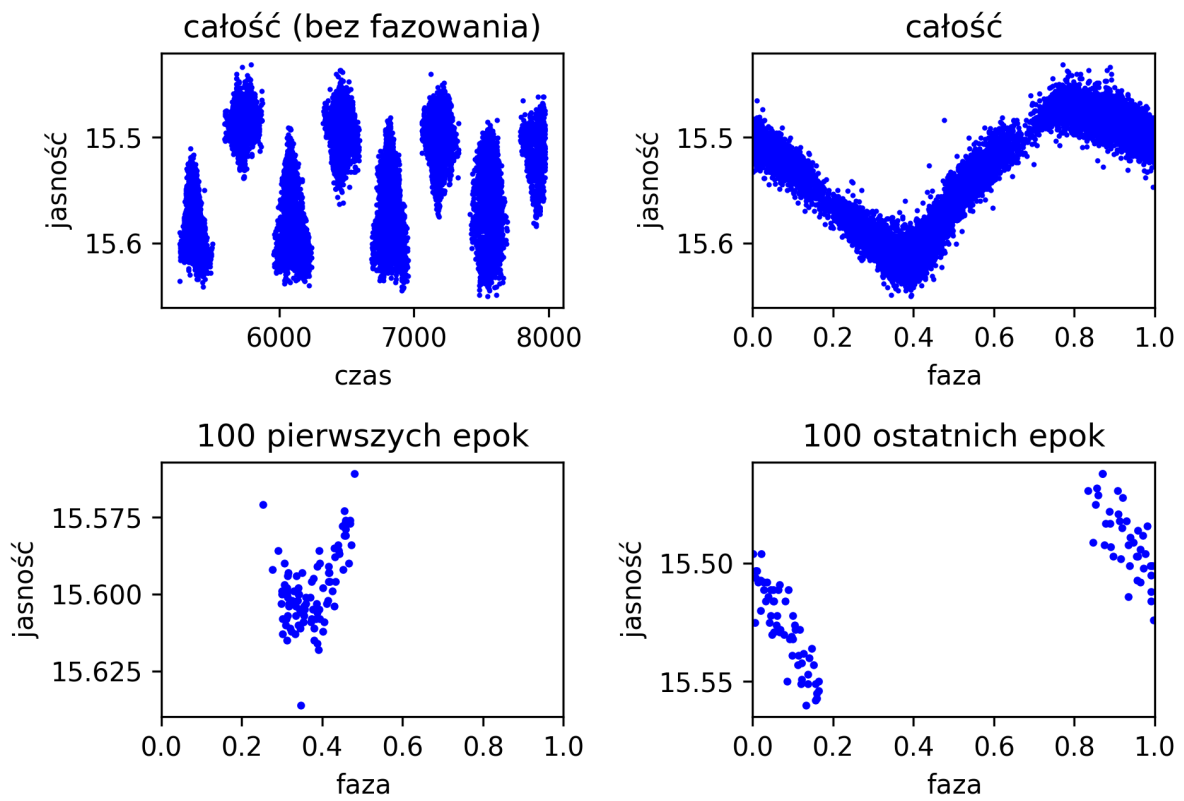
Rysunek 2: Wykres dla gwiazdy OGLE-BLG-RRLYR-07153.

OGLE-BLG-RRLYR-17145, stosunek amplitud: 21.55



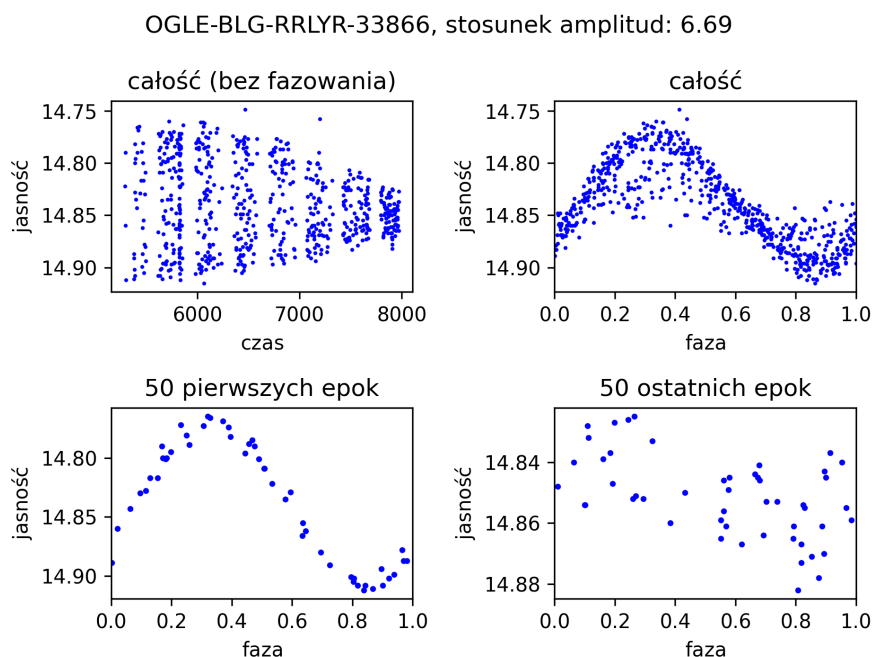
Rysunek 3: Wykres dla gwiazdy OGLE-BLG-RRLYR-17145.

OGLE-BLG-RRLYR-38871, stosunek amplitud: 11.32



Rysunek 4: Wykres dla gwiazdy OGLE-BLG-RRLYR-38871.

Wartym wspomnienia jest szczególnie przypadek gwiazdy, który został zauważony jeszcze na wcześniejszym etapie 150 obiecujących kandydatów. Początkowo został on uznany za najlepszy wynik poszukiwań ze względu na obiecujący i wyraźny przebieg zmian. Widać na nim ewidentny spadek amplitudy pulsacji wraz z kolejnymi obserwacjami. Ostatecznie został on sklasyfikowany jako najbardziej ewidentny efekt Błazki spośród badanej bazy danych.



Rysunek 5: Wykres dla gwiazdy OGLE-BLG-RRLYR-33866 - najlepiej widoczny efekt Błazki.

4 Wyniki i podsumowanie

W pierwszym etapie projektu przeszukano publikacje naukowe w celu znalezienia już znanych gwiazd RR Lyr zmieniających mod pulsacji. Lista odszukanych gwiazd znajduje się w Tabeli 1.

W dalszej części projektu poddano analizie 68 595 gwiazd z bazy danych OGLE, sklasyfikowanych jako RR Lyrae. Gwiazdy o nazwach od OGLE-BLG-RRLYR-00001 do OGLE-BLG-RRLYR-68595 zostały przebadane pod kątem istnienia zmiany modu pulsacji, zgodnie z rozdziałem 2. Analizowano tylko gwiazdy RRab i RRc. Początkowo uzyskano 150 obiecujących wyników a po ulepszeniu kryterium poszukiwań - najlepsze 30. Przykładowe

wykresy krzywych blasku tych 30 gwiazd znajdują się na rysunkach 2, 3 i 4.

Po przejrzeniu wszystkich wykresów i konsultacji z profesorem Radosławem Poleskim, opiekunem grupy, ustalono, że żadna z wyłonionych 30 gwiazd nie jest obiektem zmieniającym mod pulsacji. Ustalono, że większość wyników przedstawia jakąś formę efektu Błażki. Wyróżnić można tutaj obiekt z rysunku 5, który to najlepiej ten efekt obrazuje.

Wśród badanych 68 595 gwiazd znajdowało się 34 375 obiektów o co najmniej 200 punktach obserwacji. Policzone, że w tej bazie 34 375 gwiazd łączny czas obserwacji wszystkich obiektów wynosi 115 335 497,74 dni. Daje nam to przestrzeń obserwacji rzędu 315 771 lat.

Ponieważ nie udało się znaleźć ani jednej gwiazdy zmieniającej mod pulsacji w badanej bazie danych, możemy jedynie ustalić, że szukane zjawisko zachodzi rzadziej niż raz na 300 tysięcy lat.

Literatura

Clement, C. M. and Goranskij, V. P. (1999). The mode change of the rr lyrae variable v79 in m3. *The Astrophysical Journal*, 513(2):767.

Clementini, G., Merighi, R., Pasquini, L., Cacciari, C., and Gouiffes, C. (1994). BVRI photometric photometry and radial velocity data for four RR Lyrae stars in the globular cluster NGC 6121: the strange case of V15. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 267(1):83–102.

Drake, A. J., Graham, M. J., Djorgovski, S. G., Catelan, M., Mahabal, A. A., Torrealba, G., García-Álvarez, D., Donalek, C., Prieto, J. L., Williams, R., Larson, S., Christensen, E., Belokurov, V., Koposov, S. E., Beshore, E., Boattini, A., Gibbs, A., Hill, R., Kowalski, R., Johnson, J., and Shelly, F. (2014). The catalina surveys periodic variable star catalog. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 213(1):9.

Jurcsik, J., Smitola, P., Hajdu, G., and Nuspl, J. (2014). On the modulation of rr lyrae stars in the globular cluster m3. *The Astrophysical Journal*, 797(1):L3.

Kains, N., Bramich, D. M., Arellano Ferro, A., and Figuera Jaimes, R. (2015). Rr lyrae mode switching in globular cluster m 68 (ngc 4590). *Astronomy and Astrophysics*, 582:A119.

Khruslov, A., Kusakin, A., and Reva, I. (2017). Usno-b1.0 1171-0309158: An rr lyrae star that switched from a double- to single-mode pulsation. *Acta Astronomica*, 67(4):317–327.

- Smolec, R., Soszyński, I., Udalski, A., Szymański, M. K., Pietrukowicz, P., Skowron, J., Kozłowski, S., Poleski, R., Moskalik, P., Skowron, D., Pietrzyński, G., Wyrzykowski, , Ulaczyk, K., and Mróz, P. (2015). Intriguing triple-mode rr lyrae star with period doubling. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 447(4):3873–3879.
- Soszynski, I., Dziembowski, W., Udalski, A., Szymanski, M., Kubiak, M., Pietrzynski, G., Wyrzykowski, L., Ulaczyk, K., Poleski, R., Kozłowski, S., Pietrukowicz, P., Skowron, J., and Mroz, P. (2014a). Ogle-blg-rrlyr-12245: An rr lyrae star that switched from a double- to single-mode pulsation. *Acta Astronomica*, 64:1–9.
- Soszynski, I., Udalski, A., Szymanski, M., Pietrukowicz, P., Mroz, P., Skowron, J., Kozłowski, S., Poleski, R., Skowron, D., Pietrzynski, G., Wyrzykowski, L., Ulaczyk, K., and Kubiak, M. (2014b). Over 38 000 rr lyrae stars in the ogle galactic bulge fields. *Acta Astronomica*, 64:177–196.