

Wstęp

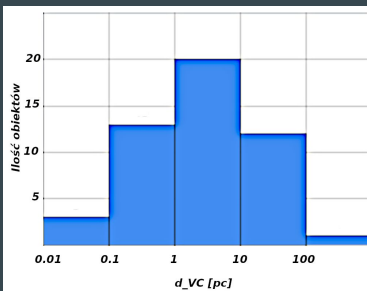
Układy podwójne i wielokrotne stanowią większość obserwowanych gwiazd - ponad 50% gwiazd w okolicach Słońca pozwala zakładać, że podobna sytuacja zachodzi w całej Galaktyce. Układy hierarchiczne zaczęto badać na większą skalę stosunkowo niedawno (Tokovinin 1997, Zakirov 2008, Zakirov 2009, Zakirov 2010, Duchêne i Kraus 2013). Są one interesujące z kilku powodów: pozwalają weryfikować mechanizmy powstawania gwiazd wielokrotnych, są miejscami interesujących zjawisk dynamicznych, a także są progenitorami niektórych rzadkich produktów ewolucji gwiazd, takich jak błądźnitni maruderzy (za: Tokovinin 2018). Obecnie znanych jest około 2000 układów wielokrotnych, z których większość zebrana jest w Multiple Star Catalog (MSC) (Tokovinin 1997, Tokovinin 2018).

Misja Gaia dostarcza informacji na temat położenia i prędkości gwiazd z precyzją nieosiągalną do tej pory. W najnowszym wydaniu danych (Gaia Early Data Release 3 - EDR3, Gaia Collaboration 2021) znajduje się ponad 18 miliardów obiektów, dla których z niezwykłą dokładnością wykonana została nie tylko astrometria, ale także pomiary spektroskopowe i fotometryczne. Dane fotometryczne mają dokładność rzędu 1 milimagnitudo dla obiektów jaśniejszych niż 13 mag. Dla 72 miliona gwiazd z zakresu jasności 4-13 mag wykonano także pomiary prędkości radialnych z dokładnością nawet do 0.2-0.3 km/s.

Metodologia

Jako punkt wyjścia poszukiwania nowych składników układów wielokrotnych posłużył katalog z publikacji Zakirov 2010, zawierający 240 układów zaćmieniowych z efektem LITE (*light-time effect*). Efekt ten objawia się jako okresowe i synchroniczne zmiany momentów zaćmienia w minimach pierwotnych i wtórnych głównego układu zaćmieniowego (CBS, *close binary system*). Zjawisko to tłumaczone jest zazwyczaj jako wpływ grawitacyjny trzeciego składnika lub też przez aktywność magnetyczną składników układu zaćmieniowego. Transfer masy pomiędzy składnikami może również doprowadzić do sytuacji, w której zmianie ulegają momenty zaćmienia - jeśli dysponujemy zbyt małą ilością danych sytuacja ta może być błędnie interpretowana jako efekt LITE. Lista obiektów z publikacji Zakirov 2010 składa się głównie z układów o trzech składnikach (główna para zaćmieniowa oraz komponent powodujący efekt LITE), toteż odkrycie składnika wizualnego sprawia, iż mamy do czynienia z układem hierarchicznym składającym się z czterech gwiazd.

Dla każdego z 240 obiektów dokonano analizy gwiazd znajdujących się w odległości kątowej do 30". Spośród nich wybrano takie, które w danych Gaia EDR3 charakteryzowały się porównywalną paralaksą oraz ruchami własnymi z CBS. Dla tej grupy wykorzystano dane z publikacji Bailer-Jones 2021, która zawiera odległości fotogeometryczne i geometryczne przeliczone na podstawie paralaksy i jasności obiektów w różnych filtrach. Dzięki temu możliwe było wyliczenie współrzędnych prostokątnych dla obiektów oraz ich potencjalnych towarzyszy, a następnie odległości przestrzennej między nimi. Histogram względnych odległości przedstawia rysunek 1. Na podstawie tych odległości przeliczono również ruchy własne w rektascensji i deklinacji na prędkości w km/s.



Rysunek 1. Histogram względnych odległości towarzyszy wizualnych (VC) od CBS. Spośród 240 obiektów początkowych 48 ma potencjalne VC, w tym układ RW Tau ma dwa VC. Największa separacja występuje w przypadku układu RX Gem - 102.75 ± 13.78 pc, najmniejszą zaś dla SV Cam. V523 CAs i XY UMa - poniżej 0,1 pc.

Układ	p (mas)	d_VC (pc)	v_VC (km/s)
RY Aqr	6,2888 ± 0,0179	0,24 ± 0,76	1,05 ± 0,26
SV Cam	11,8647 ± 0,0157	0,02 ± 0,27	0,73 ± 0,14
RZ Cas	15,314 ± 0,026	0,36 ± 0,19	1,62 ± 0,03
V523 Cas	14,951 ± 0,017	0,05 ± 0,12	0,28 ± 0,09
V700 Cyg	6,1948 ± 0,0159	0,68 ± 0,61	0,38 ± 0,20
TD Dra	6,0571 ± 0,0179	0,69 ± 0,84	0,97 ± 0,15
WW Dra	6,4798 ± 0,0152	0,55 ± 0,57	0,60 ± 0,18
AK Her	9,5586 ± 0,0166	0,27 ± 0,39	1,14 ± 0,13
SW Lac	14,0531 ± 0,0205	0,28 ± 0,29	2,97 ± 0,10
AM Leo	8,0369 ± 0,02	0,14 ± 0,73	0,75 ± 0,14
UV Leo	23,5246 ± 0,0228	0,33 ± 0,52	1,33 ± 0,08
AR Lac	10,9786 ± 0,0216	0,11 ± 0,14	1,363 ± 0,05
XY UMa	14,7223 ± 0,0137	0,02 ± 0,23	2,27 ± 0,12

Tabela 1. Tabela przedstawia najbardziej obiecujących kandydatów na układy hierarchiczne ze składnikami wizualnymi. Kolumny przedstawiają kolejno: oznaczenie głównej pary zaćmieniowej, paralaksę obiektu wg EDR3, wyliczoną odległość przestrzenną towarzysza wizualnego (Visual Component, VC) od pary zaćmieniowej, wyliczoną prędkość VC względem pary zaćmieniowej (na podstawie ruchów własnych).

Dyskusja wyników

Znaleziono 49 kandydatów na składniki wizualne układów hierarchicznych z układem zaćmieniowym z efektem LITE, w dziesięciu przypadkach są to nowe odkrycia. Dokładność wyznaczenia odległości przestrzennych składników sięga w kilkunastu przypadkach dziesiątych części parseków. Wartości błędów wraz z spadkiem paralaksy - przy obliczaniu odległości VC-CBS ta wartość najbardziej odpowiada za niepewność wyniku. Znikoma jest wartość błędów wprowadzana przez niepewności położenia obiektów w rektascensji i deklinacji, w większości przypadków astrometria ma dokładność poniżej 0,02 mas. Błędy wyznaczeń względnych prędkości VC-CBS osiągają wartość nawet 30 m/s, niestety nie uwzględniają one prędkości radialnych obiektów, a jedynie prędkości wyliczone na podstawie ruchów własnych.

Takie dokładne wyznaczenie parametrów pozwoli w najbliższej przyszłości badać bezpośrednio szerokie orbity w takich układach hierarchicznych. Stosunkowo duża próbka daje możliwość przeprowadzenia analizy statystycznej układów hierarchicznych, a także pozwala testować teorie opisujące powstawanie i ewolucję takich układów.

Najpoważniejszym problemem zagadnieniu wyznaczania jest obecnie brak prędkości radialnych dla większości VC - są to obiekty o jasnościach 10-19 magnitudo, które z powodu jasności mniejszej niż CBS oraz nierzadko małej odległości kątowej od układu zaćmieniowego mogą powodować trudności przy obserwowaniu spektroskopowych prowadzonych z powierzchni Ziemi. Oczekiwane następnych wydań danych z satelity Gaia (DR3 i kolejne) zawierające udogodnioną astrometrię, paralaksy oraz pomiary prędkości radialnych obiektów dają nadzieję na rozwiązanie tej trudności, natomiast obecnie planowane jest określenie zakresu prędkości radialnych VC, w jakich możliwe są zamknięte orbity wyliczone na podstawie pozostałych parametrów.

Literatura:

Andrews, J. J., Chanamé, J., Agüeros, M. A., *Wide binaries in Tycho-Gaia: search method and the distribution of orbital separations* MNRAS, 472, 675-699 (2017)

Bailer-Jones, C. A. L. et al., *Estimating Distances from Parallaxes. V. Geometric and Photogeometric Distances to 147 Billion Stars in Gaia Early Data Release 3* AJ, 161, 147 (2021)

Duchêne, G., Kraus, A., *Stellar Multiplicity*. Annu. Rev. Astron. Astrophys., 51, 269-310 (2013)

El-Badry, K., Rix, H.-W., and Heintz, T. M., *A million binaries from Gaia EDR3: sample selection and validation of Gaia parallaxes and uncertainties* MNRAS, Advance Access (DOI 10.1093/mnras/stab323)

Mugrauer, M., Michel, K.-U., *Gaia search for stellar companions of TESS Objects of Interest* Astron. Nachr., 341, 996-1030 (2020)

Mugrauer, M., Michel, K.-U., *Gaia search for stellar companions of TESS Objects of Interest II* arXiv:2105.04625 (2021)

Pearce, L. A. et al., *Orbital Parameter Determination for Wide Stellar Binary Systems in the Age of Gaia* ApJ, 894, 115 (2020)

Raghavan, D. et al., *A Survey of Stellar Families: Multiplicity of Solar-type Stars* ApJS, 190, 1 (2010)

Sapozhnikov, S. A. et al., *Binary Star Population with Common Proper Motion in Gaia DR2* Astron. Rep., 64, 756-768. (2020)

Gaia Collaboration, Smart, R. L. et al., *Gaia Early Data Release 3: The Gaia Catalogue of Nearby Stars* A&A, 649, A6 (2020)

Tokovinin, A., *MSC - a catalogue of physical multiple stars* Astron. Astrophys. Suppl. Ser., 124, 75-84 (1997)

Tokovinin, A., *From Binaries to Multiples. I. Data on F and G Dwarfs within 67 pc of the Sun* AJ, 147, 86 (2014)

Tokovinin, A., *From Binaries to Multiples. II. Hierarchical Multiplicity of F and G Dwarfs* AJ, 147, 87 (2014)

Tokovinin, A., *The updated Multiple Star Catalog* ApJS, 235, 6 (2018)

Zakirov, M. M., *Close Binaries in Multiple-Star Systems. I. Eclipsing Variables in Orbital Visual Binaries* Kinemat. Phys. Celest. Bodies, 24, 25-35 (2008)

Zakirov, M. M., *Close Binaries in Multiple-Star Systems. II. Eclipsing Variables in Visual Binary and Multiple Systems* Kinemat. Phys. Celest. Bodies, 25, 115-144 (2009)

Zakirov, M. M., *Close Binaries in Multiple-Star Systems. III. Eclipsing Variables with LITE effect* Kinemat. Phys. Celest. Bodies, 26, 269-301 (2010)