

УДК 524.383-33

ТОЧНЫЕ МАССЫ, ВОЗРАСТЫ И ОРБИТАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ДВОЙНЫХ СИСТЕМ HIP 11352, HIP 70973 и HIP 72479

© 2021 Я. М. Аль-Тавалбей^{1*}, А. М. Хуссейн¹, А. А. Таани²,
А. А. Абушатгал³, Н. А. Юсуф⁴, М. К. Мардини^{5,6}, Ф. А. Сулейман¹,
Х. М. Аль-Найми⁷, А. М. Хасавней⁸, М. А. Аль-Вардат^{7,1**}

¹Департамент физики, Факультет науки, Университет Аль-Баят, Эль-Мафрак, 25113 Иордания

²Департамент физики, Факультет науки, Университет прикладных наук Аль-Балка, Салт, 19117 Иордания

³Департамент физики, Университет Аль-Хусейна бин Талала, Маан, 71111 Иордания

⁴Департамент физики, Университет Ярмук, Ирбид, 21163 Иордания

⁵Ведущая лаборатория оптической астрономии, Национальные астрономические обсерватории Китайской академии наук, Пекин, 100101 Китай

⁶Университет Китайской академии наук, Пекин, 100049 Китай

⁷Департамент прикладной физики и астрономии, Университет Шарджа, Шарджа, Объединенные Арабские Эмираты

⁸Региональный учебный центр космической науки и техники для западной Азии-ООН, Амман, 11941 Иордания

Поступила в редакцию 9 апреля, 2020; после доработки 11 декабря, 2020; принята к публикации 11 декабря, 2020

В настоящей работе мы уточнили орбитальные элементы и вычислили с высокой точностью полные массы для трех визуальных тесных двойных систем: HIP 11352, HIP 70973 и HIP 72479. Вычисления были выполнены на основе оценки последних измерений тригонометрических параллаксов Gaia DR2 и Hipparcos. Морфология и кинематика орбит были сопоставлены с наблюдательными данными из Четвертого каталога интерферометрических измерений двойных звезд и сравнены с орбитами, ранее опубликованными в Шестом каталоге орбит визуально-двойных звезд. Вычисление орбитальных элементов позволяет определить суммы масс для трех систем: $1.81 \pm 0.17 M_{\odot}$, $1.83 \pm 0.07 M_{\odot}$ и $1.61 \pm 0.26 M_{\odot}$ для HIP 11352, HIP 70973 и HIP 72479 соответственно. Такие оценки указывают на то, что оба компонента этих систем принадлежат звездам Главной последовательности. Этот факт позволяет получить важную информацию об эволюции данных систем.

Ключевые слова: двойные: тесные — двойные: визуальные — звезды: фундаментальные параметры — звезды: индивидуальные: HIP 11352, HIP 70973, HIP 72479

1. ВВЕДЕНИЕ

Кратные системы звезд — это системы, состоящие из двух или более звезд, вращающихся вокруг своего центра масс, тогда как двойные звезды состоят из двух звезд, вращающихся вокруг их общего барицентра (Heintz 2012). Визуальные тесные двойные системы (ВТДС) обычно сложно обнаружить: они могут казаться одиночными звездами даже при наблюдениях на больших телескопах, поэтому для их изучения применяются методы высокого разрешения и высокоточного мониторинга.

Важность исследования двойных звезд обусловлена тем фактом, что более 50% галактических звездных систем являются двойными (Aitken 1964, Cai et al. 2012, Hilditch 2001, Wei et al. 2010).

Звездные массы — это либо полная масса системы, либо массы ее отдельных компонентов. Они являются наиболее важным параметром для понимания формирования и эволюции звезд. За последние десятилетия точность измерений параметров улучшилась благодаря совершенствованию наблюдательных методов и использованию данных космических миссий, таких как Hipparcos и Gaia. Эти методы и миссии позволяют уточнить информацию о физических и орбитальных элементах ВТДС, что показано в данной работе.

*E-mail: yamam.mahmoud82@gmail.com

**E-mail: malwardat@sharjah.ac.ae

Полная масса двойной системы может быть найдена при расчете орбиты системы, а для определения масс ее отдельных компонентов нужны более точные вычислительные методы, такие как комплексный метод Аль-Вардата для анализа ВТДС и кратных систем (Al-Wardat 2002; 2008; 2009; 2012, Al-Wardat et al. 2017, Al-Wardat et al. 2014a; b, Al-Wardat et al. 2016, Al-Wardat et al. 2013, Al-Wardat and Widyan 2009, Al-Wardat et al. 2014c, Masda et al. 2019). Реальные оценки других величин двойной системы, таких как орбитальные параметры звезд, их возраст и плотность, могут дать косвенную информацию о ее формировании и эволюции, что особенно важно для галактической динамики (Mardini et al. 2019a; b; c, Placco et al. 2020). Они также позволяют определить эмпирические соотношения «масса—светимость» (СМС), по которым можно оценить массу одиночных звезд (Hilditch 2001, Malkov et al. 2019).

Некоторые современные методы наземных наблюдений, такие как спекл-интерферометрия или получение высококонтрастных изображений с помощью адаптивной оптики, позволили разрешить ВТДС и измерить их относительные положения с высоким пространственным разрешением (Al-Wardat 2002, Bartkevicius and Gudas 2001, Duchêne and Kraus 2013, Таани 2016). Однако обзор миссии Gaia (Gaia DR2¹) предоставляет прекрасную возможность исследования звезд такого типа и должен значительно расширить наши знания о галактических ВТДС в ближайшее десятилетие (см. Gaia Collaboration (2018)).

Двойные звезды (ДЗ) стали одной из наиболее важных целей при поиске экзопланет, особенно планет земного типа (Abushattal et al. 2019, Barnes et al. 2019). Также ДЗ представляют собой ценный источник информации при изучении одного из самых значимых параметров, а именно масс отдельных звезд системы, которые можно достаточно точно определить путем сочетания оценки соотношения масс, полученного из спектроскопии двойной системы со сдвоенными линиями, и полной массы системы, измеренной в результате визуального наблюдения (Abushattal et al. 2020, Karino et al. 2019). Настоящая работа является попыткой дополнить более ранние исследования, в которых использовались несколько наблюдательных и надежных аналитических методов (см. Al-Wardat (2002; 2008; 2012), Masda et al. (2018)). Эти методы — спекл-интерферометрия, спектrophотометрия, моделирование атмосфер и динамический анализ ВТДС. Они позволили нам определить полный набор физических и геометрических параметров, включающий эффективные температуры, ускорение свободного падения, радиусы, массы,

орбитальные параметры, абсолютные величины, плотности, спектральные классы и классы светимости компонентов ВТДС. Основной целью данной работы является уточнение орбитальных элементов трех отобранных ВТДС: HIP 11352, HIP 70973 и HIP 72479, а также вычисление их точных сумм масс и улучшение нашего понимания механизмов их формирования и эволюции в частности и для ВТДС в целом. Эти системы принадлежат ВТДС Главной последовательности с длинными орбитальными периодами (годы), расстояния между компонентами систем менее 0''5; имеющиеся новые измерения их относительных положений могут быть использованы для уточнения их орбит и орбитальных элементов. Орбиты систем были построены с применением решения задачи двух тел (Hahn and Lindquist 1964) и уравнений Кеплера (Russell 1964). Эти орбиты сопоставлялись с наблюдательными данными из Четвертого каталога интерферометрических измерений с помощью программы Токовинина (Tokovinin 1992).

2. АРХИВНЫЕ ДАННЫЕ

Прямое восхождение α_{2000} , склонение δ_{2000} , покраснение, визуальное поглощение A_v , видимая величина m_v , показатель цвета $B - V$, видимые визуальные и синие величины по данным Tycho, тригонометрический параллакс из каталогов Hipparcos и Tycho в обработке Ф. фон Лиувена (Hipparcos) и Gaia DR2 2018 для HIP 11352, HIP 70973 и HIP 72479 приведены в таблице 1.

HIP 11352 (Gaia DR2 326940164774368384, HD 15013, WDS J02262+3428AB) классифицирована как объект спектрального класса G5 (SIMBAD). Звезда находится в созвездии Треугольника на расстоянии 134.17 световых лет от Земли. Система имеет абсолютную величину 4.83 и видимую величину 8.00.

HIP 70973 (Gaia DR2 3641365877340584064, HD 127352, WDS J14310-0548AB) классифицирована как K0V (SIMBAD). Система находится в созвездии Девы на расстоянии 134.17 световых лет. Кроме того, абсолютная величина системы составляет 4.76, а видимая — 7.68.

Система *HIP 72479* (HD 130669, WDS J14492+1013AB) классифицирована как K2V (SIMBAD). Она находится на расстоянии 144.38 световых лет от Земли в созвездии Волопаса. Система имеет абсолютную величину 5.34 и видимую 8.42.

Из параметров компонентов систем HIP 72479 и HIP 70973 и их положений на эволюционных треках ясно, что они являются звездами солнечного типа на Главной последовательности и находятся на ранних стадиях своей жизни (Al-Wardat 2012).

¹<http://www.esa.int/science/gaia>

Таблица 1. Параметры систем HIP 11352, HIP 70973 и Hip 72479

Свойство	HIP 11352	HIP 70973	HIP 72479	Источник данных
α_{2000}	02 ^h 26 ^m 09 ^s .59	14 ^h 31 ^m 00 ^s .62	14 ^h 49 ^m 13 ^s .62	SIMBAD*
δ_{2000}	+34°28′10″.031	−05°48′08″.46	+10°12′52″.06	—
$E(B - V)$	0.058 ± 0.0013	0.0429 ± 0.0010	0.0230 ± 0.0003	Schlafly and Finkbeiner (2011)**
A_V , mag	0.1785	0.1344	0.0711	Schlafly and Finkbeiner (2011)**
m_V , mag	8.00	7.68	8.42	ESA (1997)
$(B - V)$, mag	0.741 ± 0.013	0.775 ± 0.011	0.866 ± 0.007	—
B_T , mag	8.91 ± 0.013	8.67 ± 0.014	9.54 ± 0.020	Hog et al. (2000)
V_T , mag	8.09 ± 0.011	7.78 ± 0.011	8.534 ± 0.014	—
$\pi_{\text{HIP 1997}}$, mas	23.19 ± 1.21	26.04 ± 1.04	24.21 ± 1.29	ESA (1997)
$\pi_{\text{HIP 2007}}$, mas	24.31 ± 0.99	24.31 ± 0.89	22.59 ± 1.23	van Leeuwen (2007)
$\pi_{\text{Gaia 2018}}$, mas	22.5156 ± 0.1082	24.3540 ± 0.2567		Gaia Collaboration (2018)

* <http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/sim-fid>;

** <https://irsa.ipac.caltech.edu/applications/DUST/>

3. МОДИФИЦИРОВАННЫЕ ОРБИТЫ

Для решения задачи двух тел мы воспользовались методом наименьших квадратов из программы Токовина ORBITX; для определения орбит каждой из трех систем применялись законы Кеплера. Модификации орбит выполнены на основе новых измерений их относительных положений, взятых из Четвертого каталога интерферометрических измерений двойных звезд, которые включают параметры (ρ, θ) . Новые наблюдательные данные, использованные в настоящей работе для модификаций орбит, помечены «**» для того, чтобы отличить их от данных, полученных ранее. Точки наблюдений следующие: последние пять точек для системы HIP 11352 найдены в период с 2007.818 до 2012.6777 (что покрывает примерно 265° орбиты); последние тринадцать точек для системы HIP 70973 определены в период с 2001.2737 по 2014.3032 (что покрывает около 99°); последние двенадцать точек системы HIP 2479 получены в период с 2001.2709 по 2015.3381 (около 227°). Таблицы 2, 3 и 4 дают значения позиционных углов θ и расстояний ρ и их погрешностей для трех систем.

Орбита HIP 11352 была ранее построена Balega et al. (2005) и модифицирована Docobo et al. (2018); последняя опубликована в Шестом каталоге орбит визуальных двойных звезд.

Мы представляем значения орбитальных элементов: орбитальный период в годах, эпоха прохождения периастра, эксцентриситет, большая по-

луось в угловых секундах, позиционный угол восходящих узлов в градусах, долгота периастра в градусах и наклонение в градусах. Все эти параметры с соответствующими значениями ошибок представлены в таблицах 5, 6 и 7 вместе с предыдущими значениями.

На рис. 1 показана модифицированная орбита HIP 11352 вместе с предыдущей, а также графики невязок. В таблице 5 перечислены модифицированные орбитальные элементы из настоящей работы вместе с элементами из работ Balega et al. (2005) и Docobo et al. (2018) для сравнения.

Аналогично модифицированные орбиты систем HIP 70973 и HIP 72479 вместе с предыдущими орбитами и невязками показаны на рис. 2 и рис. 3 соответственно.

Средние оценки невязок для HIP 11352 составляют $-0^{\circ}39$ для θ и $0''00054$ для ρ . Средние оценки невязок для HIP 70973 составляют $0^{\circ}05$ для θ и $0''00017$ для ρ . Средние оценки невязок для HIP 72479 составляют $-1^{\circ}13$ для θ и $0''0002$ для ρ .

Кроме того, получены суммы масс систем HIP 70973 и HIP 72479: $1.815 M_{\odot}$ и $1.64 M_{\odot}$ соответственно. Период систем составляет 22.89 года (т.е. 22 года 10 месяцев и около 20 дней) с прохождением периастра (две звезды достигают максимального сближения) в 2016.56 (т.е. 25 июля 2016 года) и 10.06 лет (т.е. 10 лет и примерно 20 дней) с прохождением периастра в 1987.992,

Таблица 2. Позиционные измерения и погрешности для системы HIP 11352

Эпоха	θ , degr	ρ , arcsec	$(O - C)_\theta$, degr	$(O - C)_\rho$, arcsec	Ссылка
1991.25	177	0.133	-14.3	0.005	ESA (1997)
1997.8242	186.8	0.122	2.3	-0.001	Horch et al. (1999)
1998.7747	202.9	0.127	-0.1	0.001	Balega et al. (2002)
1998.7773	202.7	0.126	-0.3	-0.000	Balega et al. (2002)
1998.9246	205.8	0.124	-0.2	0.000	Horch et al. (2002)
1999.813	228.3	0.0965	-0.4	0.000	Balega et al. (2004)
1999.8856	230.1*	0.092	-1.1	-0.001	Horch et al. (2002)
2000.7622	283.7*	0.062	-8.8	0.002	Horch et al. (2002)
2000.8757	293	0.057	0.5	-0.002	Balega et al. (2006)
2001.7528	4.2	0.07	2.4	-0.001	Balega et al. (2006)
2001.7622	4.2	0.07	1.8	-0.001	Balega et al. (2005)
2001.7643	8*	0.07	5.4	-0.001	Horch et al. (2008)
2002.7993	85.5	0.059	3.0	0.005	Balega et al. (2005)
2002.7993	87.6	0.059	5.1	0.005	Balega et al. (2013)
2003.629	153.9	0.077	3.0	-0.003	Horch et al. (2008)
2003.7885	158	0.091	-0.0	0.003	Balega et al. (2005)
2003.9249	163.5	0.095	0.3	0.001	Balega et al. (2005)
2003.9249	163.2	0.094	0.0	-0.000	Balega et al. (2005)
2003.9249	162.8	0.096	-0.4	0.002	Balega et al. (2013)
2003.9249	163.1	0.095	-0.1	0.001	Balega et al. (2013)
2004.8157	185.4	0.124	-0.7	-0.000	Balega et al. (2007)
2007.8256**	296.7	0.059	0.9	0.000	Horch et al. (2010)
2010.0074**	111.1	0.0579	-2.1	0.001	Horch et al. (2011)
2010.72**	156.4	0.0876	-2.3	-0.001	Horch et al. (2017)
2010.72**	156.4	0.0885	-2.3	-0.000	Horch et al. (2017)
2012.6777**	202.7	0.124	-1.8	-0.001	Riddle et al. (2015)

* Точки были изменены на 180° для соответствия окружающим точкам.

** Новые наблюдения из Четвертого каталога интерферометрических измерений двойных звезд, использованные для модификации орбиты системы.

1998.052, 2008.112 и 2018.172; следующее прохождение будет в 2028.232.

4. МАССЫ

Решение орбиты двойной системы является ключом к вычислению суммы ее масс. Кроме того,

если эти системы имеют спектральное орбитальное решение как двойные со сдвоенными линиями, мы можем определить отношения масс. Изучение систем таких типов важно в силу двух вещей. Во-первых, они позволяют нам наиболее точно определить массы каждого компонента системы. Во-вторых, мы можем с высокой степенью до-

Таблица 3. Позиционные измерения и погрешности для системы HIP 70973

Эпоха	θ , degr	ρ , arcsec	$(O - C)_\theta$, degr	$(O - C)_\rho$, arcsec	Ссылка
1989.309	10.9	0.255	1.2	0.001	McAlister et al. (1990)
1990.344	19.6	0.219	0.7	0.002	Hartkopf et al. (1993)
1991.25	29	0.187	-1.8	0.014	ESA (1997)
1992.457	68.3	0.102	3.5	0.000	Hartkopf et al. (1996)
1993.091	106.7	0.082	1.0	0.002	Hartkopf et al. (2000)
1997.394	241.2	0.177	0.6	0.006	Balega et al. (1999)
2001.274**	295.1	0.218	-0.4	0.005	Balega et al. (2005)
2001.274**	295.1	0.216	-0.4	0.003	Balega et al. (2005)
2001.498**	296.6*	0.217	-1.4	0.000	Horch et al. (2008)
2001.498**	296.9*	0.219	-1.1	0.002	Horch et al. (2008)
2002.255**	305.8	0.229	0.3	-0.001	Balega et al. (2013)
2002.326**	306.3	0.23	0.2	-0.001	Balega et al. (2013)
2002.326**	306.4	0.23	0.3	-0.001	Balega et al. (2013)
2004.196**	320.5	0.267	-0.9	0.005	Hartkopf et al. (2008)
2006.438**	335	0.292	-0.8	0.001	Balega et al. (2013)
2007.317**	340.4	0.291	-0.4	-0.007	Hartkopf and Mason (2009)
2008.545**	347.3	0.302	-0.2	0.000	Tokovinin et al. (2010)
2008.545**	347.3	0.302	-0.2	0.000	Tokovinin et al. (2010)
2014.303**	34.3	0.164	0.6	0.001	Tokovinin et al. (2015)

* Точки были изменены на 180° для соответствия окружающим точкам.

** Новые наблюдения из Четвертого каталога интерферометрических измерений двойных звезд, использованные для модификации орбиты системы.

стоверности найти орбитальный параллакс. Он важен для проверки параллаксов по данным таких космических миссий, как Gaia и Hipparcos (Ducoso et al. 2017). В настоящей работе мы использовали надежное орбитальное решение для визуальных двойных систем, которое дает точные значения орбитального периода P и большой полуоси a . Кроме того, космические миссии предоставляют точный параллакс. Затем с применением третьего закона Кеплера вычисляется полная масса системы в солнечных единицах:

$$M_1 + M_2 = \frac{1}{\pi^3} \frac{a^3}{P^2}, \quad (1)$$

$$\frac{\sigma_M}{M} = \sqrt{9\left(\frac{\sigma_\pi}{\pi}\right)^2 + 9\left(\frac{\sigma_a}{a}\right)^2 + 4\left(\frac{\sigma_P}{P}\right)^2}, \quad (2)$$

где P приведен в годах, а a и π — в угловых секундах.

Физические параметры для систем HIP 11352, HIP 70973 и HIP 72479 были оценены по параллаксам Hipparcos комплексным методом Аль-Вардата для анализа ВТДС. Метод Аль-Вардата показал, что эти три системы являются звездами солнечного типа на Главной последовательности, находящимися на ранних стадиях жизни. Эта оценка сделана на основе физических и геометрических параметров отдельных компонентов и их положений на эволюционных треках.

Оценки физических параметров отдельных компонентов HIP 11352 и HIP 70973, полученные по параллаксам Gaia DR2, приведены в таблице 8. Рисунок 4 показывает положения компонентов с параллаксами Gaia DR2 на эволюционных треках Girardi et al. (2000a).

Таблица 4. Позиционные измерения и погрешности для системы HIP 72479

Эпоха	θ , degr	ρ , arcsec	$(O - C)_\theta$, degr	$(O - C)_\rho$, arcsec	Ссылка
1984.187	146	0.166	7.1	-0.012	Bonneau et al. (1986)
1984.197	147.5	0.167	8.5	-0.011	Bonneau et al. (1986)
1985.186	150.2	0.157	-0.2	-0.001	Balega and Balega (1987)
1985.49	153.5	0.154	-1.1	0.006	Lu et al. (1987)
1985.498	153	0.15	-1.7	0.002	Lu et al. (1987)
1985.523	153.2	0.151	-1.9	0.004	McAlister et al. (1987)
1986.407	173.9	0.109	0.7	0.003	Hartkopf et al. (2000)
1986.408	174.5	0.117	1.2	0.011	Balega et al. (1989)
1987.380	220.2	0.065	-12.5	0.012	Balega et al. (1989)
1987.380	220.2	0.065	-12.5	0.012	Balega et al. (1991)
1989.227	32.0*	0.078	-8.5	0.004	McAlister et al. (1990)
1989.23	32.8*	0.076	-7.8	0.002	McAlister et al. (1990)
1989.306	32.8*	0.076	-12.3	0	McAlister et al. (1990)
1990.273	80.5*	0.11	-3.9	0.001	Hartkopf et al. (1992)
1990.276	78*	0.114	-6.5	0.005	Hartkopf et al. (1992)
1991.25	108*	0.155	3.2	0.012	ESA (1997)
1991.319	106.8*	0.143	0.9	-0.002	Hartkopf et al. (1994)
1991.33	103.4*	0.148	-2.7	0.002	Hartkopf et al. (1994)
1992.307	116.2*	0.173	-2.7	0.004	Hartkopf et al. (1994)
1993.197	127.1*	0.182	-1.3	0.002	Hartkopf et al. (1994)
1995.437	152.1*	0.151	-0.9	-0.001	Hartkopf et al. (1997)
1997.394	234	0.059	6.1	0.004	Balega et al. (1999)
2001.271**	103.9	0.144	-0.3	0.002	Balega et al. (2006)
2001.271**	103.8	0.144	-0.4	0.002	Balega et al. (2006)
2001.271**	103.7	0.145	-0.5	0.003	Balega et al. (2006)
2008.472**	349.4*	0.065	10.9	0.001	Horch et al. (2012)
2008.548**	342.9*	0.069	-1.5	0.004	Tokovinin et al. (2010)
2008.548**	349.7*	0.056	5.3	-0.009	Tokovinin et al. (2010)
2009.263**	34.2*	0.074	-1.5	0.002	Tokovinin et al. (2010)
2009.263**	34.1*	0.069	-1.6	-0.003	Tokovinin et al. (2010)
2014.186**	136.9*	0.183	-0.3	0.003	Tokovinin et al. (2015)
2014.224**	137.6	0.178	0	-0.001	Horch et al. (2015)
2014.224**	137.7	0.179	0.1	0	Horch et al. (2015)
2015.338**	150.4*	0.158	0.3	-0.001	Tokovinin et al. (2016)

* Точки были изменены на 180° для соответствия окружающим точкам.

** Новые наблюдения из Четвертого каталога интерферометрических измерений двойных звезд, использованные для модификации орбиты системы.

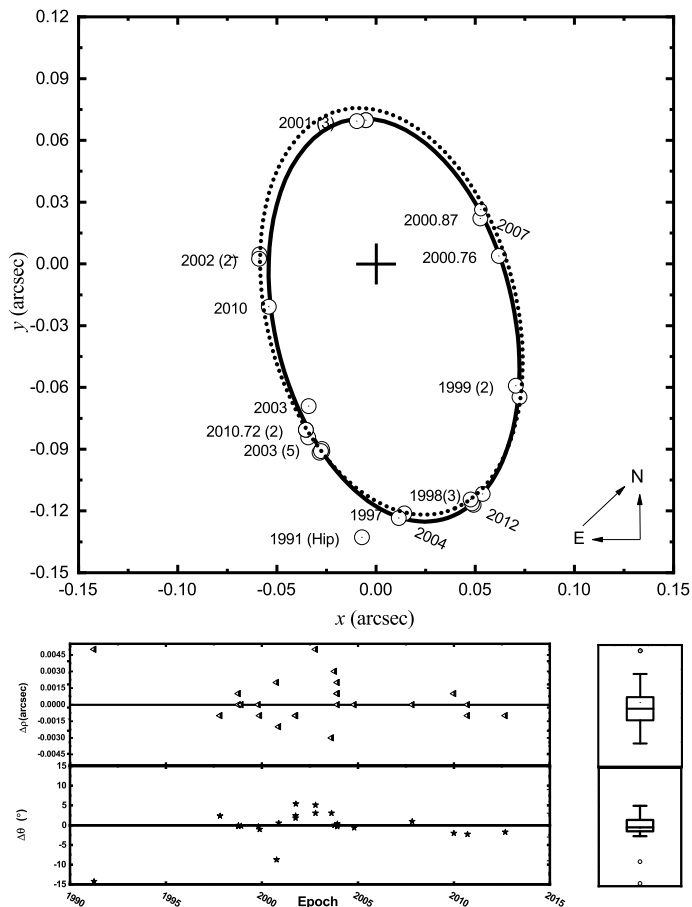


Рис. 1. Видимая орбита системы HIP 11352, полученная по результатам нашего исследования (сплошная линия) и предыдущего из работы Balega et al. (2005) (пунктирная линия). $\Delta\rho$ и $\Delta\theta$ — невязки углового расстояния и позиционного угла, демонстрирующие разность между наблюдаемым и модельным значениями. Прямоугольные графики показывают распределение данных по пяти составляющим («минимум», первый квантиль (Q1), медиана, третий квантиль (Q3) и «максимум») и выпадающие из этого ряда значения.

Таблица 5. Сравнение основных параметров HIP 11352 из данной работы со значениями из публикаций Балеги (2005) и Докобо (2018)

Элемент орбиты	Balega et al. (2005)	Docobo et al. (2018)	Настоящая работа
P , уг	6.85 ± 0.05	6.937	6.94 ± 0.01
T , уг	1995.12 ± 0.06	2015.822	1995.06 ± 0.01
e	0.284 ± 0.006	0.291	0.290 ± 0.003
a , arcsec	0.100 ± 0.001	0.099	0.0999 ± 0.0006
Ω , degr	15.1 ± 0.9	16.00	13.65 ± 0.68
ω , degr	4.4 ± 1.6	2.80	7.53 ± 0.79
i , degr	50.0 ± 0.6	49.90	51.07 ± 0.56

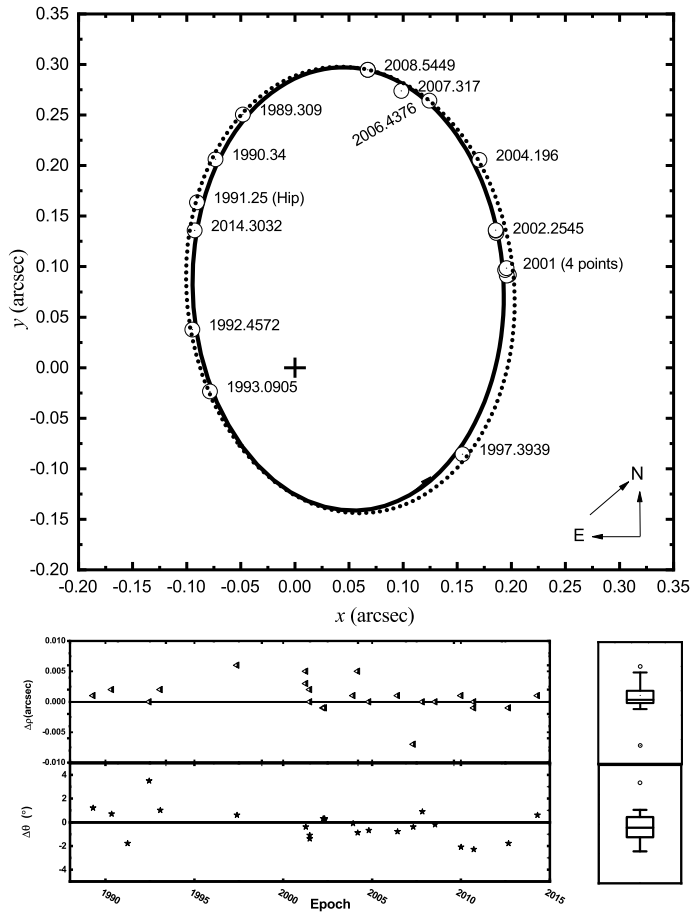


Рис. 2. Видимая орбита системы HIP 70973, полученная по результатам нашего исследования (сплошная линия) и предыдущего из работы Docobo et al. (2000) (пунктирная линия). $\Delta\rho$ и $\Delta\theta$ — невязки углового расстояния и позиционного угла, демонстрирующие разность между наблюдаемым и модельным значениями. Прямоугольные графики показывают распределение данных по пяти составляющим («минимум», первый квартиль (Q1), медиана, третий квартиль (Q3) и «максимум») и выпадающие из этого ряда значения.

Таблица 6. Сравнение основных параметров HIP 70973 из данной работы со значениями из публикации Докобо (2000)

Элемент орбиты	Docobo et al. (2000)	Настоящая работа
P , yr	22.98 ± 0.30	22.89 ± 0.03
T , yr	1993.62 ± 0.02	2016.56 ± 0.04
e	0.499 ± 0.010	0.501 ± 0.005
a , arcsec	0.243 ± 0.002	0.240 ± 0.001
Ω , degr	13.8 ± 2.0	11.03 ± 0.61
ω , degr	121.0 ± 2.5	123.98 ± 0.92
i , degr	49.1 ± 2.0	50.55 ± 0.37

Есть три разных типа полных масс для каждой системы, которые были предложены и определены

Malkov et al. (2012). Первый тип — динамическая масса, полученная из тригонометрического параллакса, согласно третьему закону Кеплера. Второй тип — это фотометрическая масса, которая зависит от параллакса, визуальных величин и соотношения «масса—светимость». Последний тип — это спектральная масса, которую можно определить из соотношения «масса—спектр». Здесь мы представляем наиболее точные значения динамических масс HIP 11352, HIP 70973 и HIP 72479, найденные по параллаксам Gaia и Hipparcos. Сравнение полных масс этих систем из данной работы со значениями, полученными Malkov et al. (2012), а также масс оцененных, Аль-Вардатом на основе параллаксов Hipparcos (Al-Wardat 2009; 2012), с последними оценками масс по измерениям параллаксов Gaia DR2, приведенное в таблице 9, показывает, что разница между ними может быть обусловлена тем, что брались за основу различные параллаксы, а также из-за фотометрических из-

Таблица 7. Сравнение основных параметров HIP 72479 из данной работы со значениями из публикаций Шодерхельма (1999), Докобо (2000) и Докобо (2018)

Элемент орбиты	Söderhjelm (1999)	Dosobo et al. (2000)	Dosobo et al. (2018)	Настоящая работа
P , yr	9.97	9.98 ± 0.04	10.01	10.06 ± 0.02
T , yr	1988.2	1988.059 ± 0.03	2018.174	1987.992 ± 0.029
e	0.51	0.491 ± 0.001	0.518	0.5127 ± 0.0037
a , arcsec	0.122	0.127 ± 0.001	0.123	0.1234 ± 0.0004
Ω , degr	143.0	142.3 ± 2.0	144.8	143.47 ± 0.95
ω , degr	338.0	156.8 ± 3.0	335.9	156.61 ± 1.17
i , degr	40.0	45.8 ± 2.0	43.5	45.48 ± 0.67

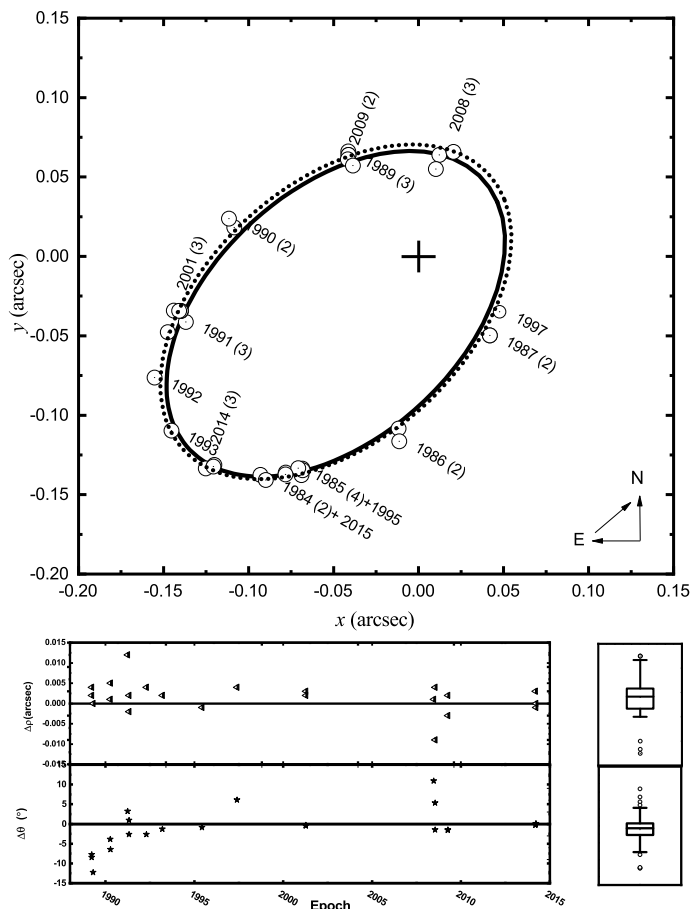


Рис. 3. Видимая орбита системы HIP 72479, полученная по результатам нашего исследования (сплошная линия) и предыдущего из работы Al-Wardat (2012) (пунктирная линия). $\Delta\rho$ и $\Delta\theta$ — невязки углового расстояния и позиционного угла, демонстрирующие разность между наблюдаемым и модельным значениями. Прямоугольные графики показывают распределение данных по пяти составляющим («минимум», первый квартиль (Q1), медиана, третий квартиль (Q3) и «максимум») и выпадающие из этого ряда значения.

Таблица 8. Оценка параметров отдельных компонентов HIP 11352 и HIP 70973

Параметры	HIP 11352		HIP 70973	
	A	B	A	B
$T_{\text{eff}} \pm \sigma_{T_{\text{eff}}}$, К	5650 ± 50	5550 ± 50	5700 ± 50	5400 ± 50
$R \pm \sigma_R, R_{\odot}$	0.946 ± 0.07	0.905 ± 0.06	0.638 ± 0.06	0.587 ± 0.06
$\lg g \pm \sigma_{\lg g}$, [см с ⁻²]	4.46 ± 0.11	4.49 ± 0.13	4.50 ± 0.11	4.50 ± 0.13
$L \pm \sigma_L, L_{\odot}$	0.82 ± 0.20	0.69 ± 0.10	0.39 ± 0.12	0.26 ± 0.10
$M_{\text{bol}} \pm \sigma_{M_{\text{bol}}}$, mag	4.97 ± 0.08	5.14 ± 0.08	5.78 ± 0.08	6.19 ± 0.08
$M_V \pm \sigma_{M_V}$, mag	5.10 ± 0.13	5.30 ± 0.14	5.91 ± 0.13	6.39 ± 0.14
M^1, M_{\odot}	0.99 ± 0.15	0.95 ± 0.13	1.01 ± 0.16	0.90 ± 0.14
Сп. класс	G5/V	G7/V	G3.5/V	G8.5/V
Age ² , Gyr	±			

¹ по эволюционным трекам Girardi et al. (2000b).

² по изохронам Girardi et al. (2000a).

мерений. Здесь мы использовали для двух систем новейшие значения тригонометрического параллакса Gaia 2018 г., тогда как Малков пользовался параллаксом Hipparcos 2007 г.

Как показано в таблице 9, сравнение полных масс, полученных методом Аль-Вардата, и полных масс из нашего динамического решения для трех систем показывает хорошее соответствие в пределах ошибок. А для достижения лучшего результата мы предлагаем для систем новый динамический параллакс.

Теперь, используя орбитальные параметры и значения масс, оцененные методом Аль-Вардата, мы можем получить новый динамический параллакс для каждой системы из уравнения 1, согласно третьему закону Кеплера, допуская, что мы имеем полное и точное орбитальное решение для трех систем (орбиты 1-го уровня). Таким образом, динамический параллакс для HIP 11352 составляет $\pi_D = 21.02 \pm 1.5$ mas, тогда как параллакс по данным Gaia $\pi = 22.5156 \pm 0.1082$ mas. Для HIP 70973 новый динамический параллакс $\pi_D = 23.83 \pm 0.8$ mas, а параллакс Gaia $\pi = 24.3540 \pm 0.2567$ mas. Для HIP 702479 новый динамический параллакс $\pi_D = 21.81 \pm 0.8$ mas, а параллакс по данным Hip 2007 $\pi = 22.59 \pm 1.23$ mas.

5. ВОЗРАСТЫ

Пользуясь оценками фундаментальных параметров звезд, мы можем определить их возраст путем нахождения их положений на изохронах. При построении графиков положений звезд на изохронах из Girardi et al. (2000a) мы использовали результаты Al-Wardat (2009; 2012) для трех систем.

На рис. 5 показаны изохроны для HIP 11352, где оценка металличности системы составляет 0.019 ± 0.011 , а возраста — 5 ± 2 Gy.

Рисунок 6 демонстрирует изохроны для HIP 70973 и HIP 72479, где оценка металличности одинакова для обеих систем и составляет 0.019 ± 0.011 , а возраста — 2.30 ± 0.5 Gy.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мы уточнили орбиты, массы, возрасты и металличности для трех визуальных тесных двойных систем: HIP 11352, HIP 70973 и HIP 72479. Реалистичные и точные определения самых свежих значений тригонометрических параллаксов от Gaia позволили с высокой степенью значимости получить решения, представленные для систем. Модифицированные орбиты были использованы для аппроксимации наблюдаемых данных из Четвертого каталога интерферометрических измерений двойных звезд; они были сравнены с более ранними орбитами, опубликованными в Шестом каталоге орбит визуальных двойных звезд.

HIP 11352: орбитальные элементы системы были модифицированы с учетом уточненных погрешностей на основе новых измерений относительных положений. Исходя из параметров модифицированной орбиты и с использованием последнего значения тригонометрического параллакса по данным Gaia DR2 $\pi = 22.516$ mas, вычисленная динамическая масса системы составляет $1.81 \pm 0.17 M_{\odot}$. Это несколько отличается от суммы масс $1.94 \pm 0.19 M_{\odot}$ (Al-Wardat 2009) и дает новый динамический параллакс $\pi_D = 21.02 \pm 1.5$ mas. Оценка возраста этой системы составляет 8 ± 2 Gy, металличность

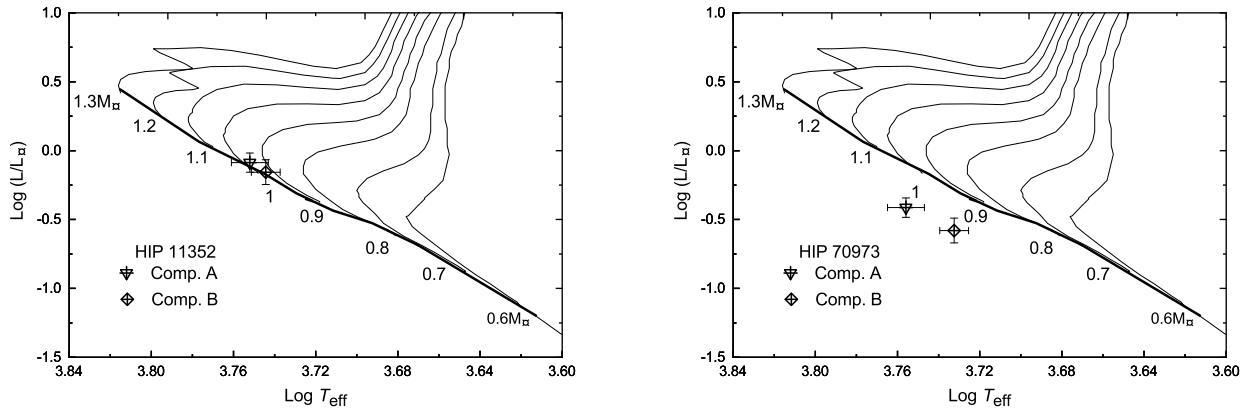


Рис. 4. Компоненты двойных систем HIP 11352 (a) и HIP 70973 (b) на эволюционных треках для $M = 0.6, 0.7, \dots, 1.3 M_{\odot}$. Эволюционные треки взяты из Girardi et al. (2000a).

Таблица 9. Динамические параллаксы и сравнение полных масс HIP 11352, HIP 70973 и HIP 72479 из Malkov et al. (2012), Al-Wardat (2009; 2012) и настоящей работы

Параметры	HIP 11352	HIP 70973	HIP 72479	Ссылка
$M_{\text{Dyn}}^{\text{MK}}, M_{\odot}$	1.48	1.89	1.58	Malkov et al. (2012)
$M_{\text{Photo}}^{\text{MK}}, M_{\odot}$	1.81	1.91	1.74	Malkov et al. (2012)
$M_{\text{Spec}}^{\text{MK}}, M_{\odot}$	1.80	0.95	0.79	Malkov et al. (2012)
$M_{\text{Total}}^3, M_{\odot}$	1.92 ± 0.07	2.01 ± 0.09	1.79 ± 0.06	Al-Wardat (2009; 2012)
$M_{\text{Dyn}}^1, M_{\odot}$	1.66 ± 0.29	1.49 ± 0.18	1.31 ± 0.21	Данная работа
$M_{\text{Dyn}}^2, M_{\odot}$	1.44 ± 0.22	1.83 ± 0.20	1.61 ± 0.26	Данная работа
$M_{\text{Dyn}}^3, M_{\odot}$	1.81 ± 0.17	1.83 ± 0.07		Данная работа
$M_{\text{Total}}^2, M_{\odot}$	1.94 ± 0.19	1.91 ± 0.16		Данная работа
π_D, mas	21.02 ± 1.5	23.83 ± 0.8	21.81 ± 0.8	Данная работа

¹ по параллаксам Hip 1997, ² по параллаксам Hip 2007, ³ по параллаксам Gaia.

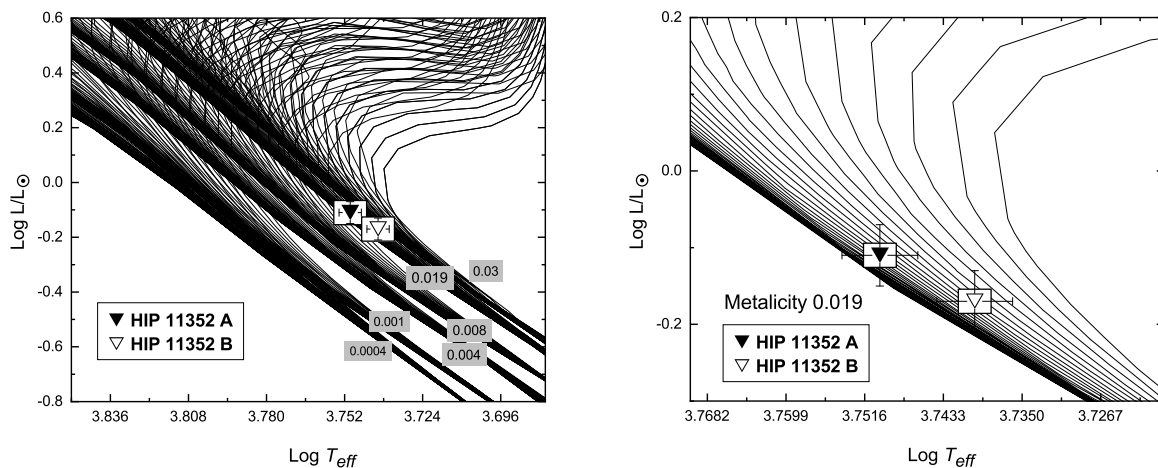


Рис. 5. Компоненты двойной системы HIP 11352 на изохронах для звезд малых и средних масс: (a) с разными металличностями из Girardi et al. (2000a), (b) металличность $Z = 0.019$.

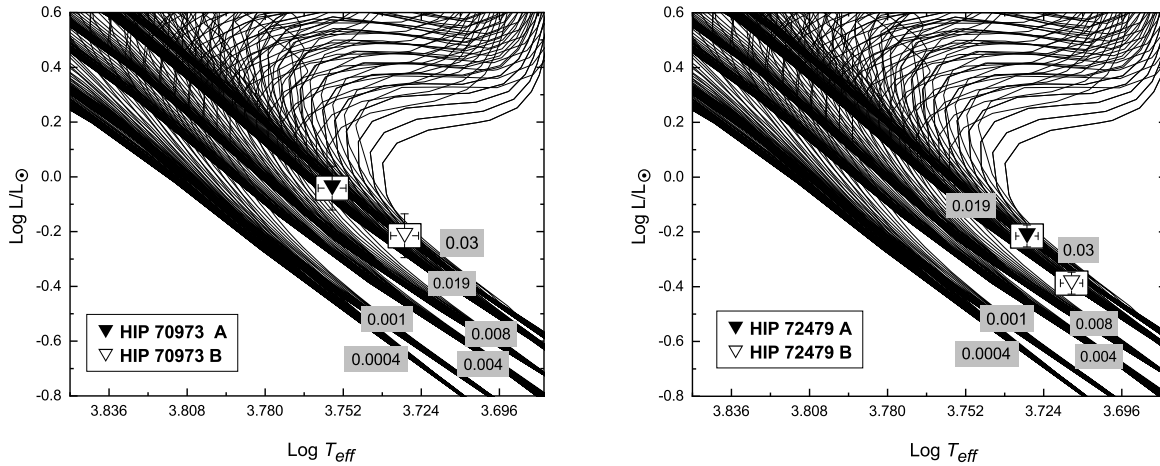


Рис. 6. Компоненты двух двойных систем на изохронах для звезд малых и средних масс с разными металличностями из Girardi et al. (2000a): (a) для HIP 70973, (b) для HIP 72479.

0.019 ± 0.011 , что означает, что оба компонента принадлежат к звездам солнечного типа.

HIP 70973: на основе параллакса Gaia DR2 24.3540 ± 0.2567 mas и модифицированных орбитальных элементов делаем вывод, что динамическая масса равна $1.83 + 0.07 M_{\odot}$. Это значение немного отличается от суммы масс $1.91 \pm 0.09 M_{\odot}$, оцененной методом Аль-Вардата (Al-Wardat 2012), и больше подходит для двойной на Главной последовательности. Далее мы оценили новый динамический параллакс системы: $\pi_D = 23.83 \pm 0.8$ mas. Возраст системы составляет 2.30 ± 0.5 Gy при солнечной металличности 0.019 ± 0.011 .

HIP 72479: пользуясь тригонометрическим параллаксом Hipparcos 2007 и модифицированными орбитальными элементами системы, мы получили динамическую массу $1.61 \pm 0.26 M_{\odot}$, что немного отличается от более надежной оценки суммы масс по методу Аль-Вардата $1.79 \pm 0.06 M_{\odot}$ (Al-Wardat 2012). Это дает новый динамический параллакс $\pi_D = 21.81 \pm 0.8$ mas. Оценка возраста системы составляет 2.30 ± 0.5 Gy при металличности 0.019 ± 0.011 .

Анализ показывает, что оба компонента всех трех систем являются звездами солнечного типа на Главной последовательности.

Наконец, для установления природы визуальных тесных двойных систем в целом необходимы новые исследования и наблюдения, подобные Gaia DR2, являющиеся главным достижением миссии Gaia.

БЛАГОДАРНОСТИ

В работе были использованы данные находящиеся, в открытом доступе в Gaia Data Release 2 (Gaia DR2) по адресу <https://gea.esac.esa>.

int/archive. В работе использовались базы данных SAO/NASA, SIMBAD, Четвертого каталога интерферометрических измерений двойных звезд, Шестого каталога орбит визуальных двойных систем, системы данных IPAC, код ORBITX и программы комплексного метода Аль-Вардата для анализа ВТДС.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа была частично поддержана грантом № 17/2018 деканата научных исследований и аспирантуры университета Аль-Хусейна бин Талала.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. A. Abushattal, M. Al-Wardat, A. Taani, et al., J. Physics: Conf. Ser., **1258**, 012018 (2019).
2. A. A. Abushattal, J. A. Docobo, and P. P. Campo, Astron. J. **159**, 28 (2020).
3. R. G. Aitken, The Binary Stars (Dover Publ., New York, 1964).
4. M. Al-Wardat, Bull. Spec. Astrophys. Obs. **53**, 58 (2002).
5. M. Al-Wardat, Astrophysical Bulletin **63**, 361 (2008).
6. M. Al-Wardat, Astronomische Nachrichten **330**, 385 (2009).
7. M. Al-Wardat, Publ. Astron. Soc. Australia **29**, 523 (2012).
8. M. Al-Wardat, J. Docobo, A. Abushattal, and P. Campo, Astrophysical Bulletin **72**, 24 (2017).
9. M. A. Al-Wardat, Y. Y. Balega, V. V. Leushin, et al., Astrophysical Bulletin **69**, 58 (2014a).

10. M. A. Al-Wardat, Y. Y. Balega, V. V. Leushin, et al., *Astrophysical Bulletin* **69**, 198 (2014b).
11. M. A. Al-Wardat, M. H. El-Mahameed, N. A. Yusuf, et al., *Research Astron. Astrophys.* **16**, 166 (2016).
12. M. A. Al-Wardat, A. Taani, and M. Asplund, *Int. J. Modern Physics Conf. Ser.* **23**, pp. 64–73 (2013).
13. M. A. Al-Wardat and H. Widyana, *Astrophysical Bulletin* **64**, 365 (2009).
14. M. A. Al-Wardat, H. S. Widyana, and A. Al-thyabat, *Publ. Astron. Soc. Australia* **31**, id. e005 (2014c).
15. I. Balega, Y. Balega, A. Maksimov, et al., *Astron. and Astrophys.* **422**, 627 (2004).
16. I. Balega, Y. Balega, A. Maksimov, et al., *Astron. and Astrophys. Suppl.* **140**, 287 (1999).
17. I. Balega, Y. Balega, and V. Vasyuk, *Astrofiz. Issled. Izvestiya Spec. Astrophys. Obs.* **28**, 107 (1989).
18. I. Balega and Y. Y. Balega, *Sov. Astron. Lett.* **13**, 208 (1987).
19. I. Balega, Y. Y. Balega, L. Gasanova, et al., *Astrophysical Bulletin* **68**, 53 (2013).
20. I. Balega, Y. Y. Balega, K.-H. Hofmann, et al., *Astron. and Astrophys.* **385**, 87 (2002).
21. I. Balega, Y. Y. Balega, K.-H. Hofmann, et al., *Astron. and Astrophys.* **433**, 591 (2005).
22. I. Balega, Y. Y. Balega, A. Maksimov, et al., *Bull. Spec. Astrophys. Obs.* **59**, 20 (2006).
23. I. Balega, Y. Y. Balega, A. Maksimov, et al., *Astrophysical Bulletin* **62**, 339 (2007).
24. I. I. Balega, Y. Y. Balega, and V. A. Vasyuk, *Astrofiz. Issled. Izvestiya Spec. Astrophys. Obs.* **31**, 80 (1991).
25. J. R. Barnes, C. A. Haswell, D. Staab, et al., *Nature Astronomy* **4**, 419 (2019).
26. A. Bartkevicius and A. Gudas, *Baltic Astronomy* **10**, 481 (2001).
27. D. Bonneau, Y. Balega, A. Blazit, et al., *Astron. and Astrophys. Suppl.* **65**, 27 (1986).
28. Y. Cai, A. Taani, Y.-h. Zhao, and C.-m. Zhang, *Chinese Astron. Astrophys.* **36**, 137 (2012).
29. J. A. Docobo, Y. Y. Balega, and P. P. Campo, *IAU Commiss. Double Stars*, **169**, 1 (2018).
30. J. A. Docobo, P. P. Campo, and A. A. Abushattal, *IAU Commiss. Double Stars*, **169**, 3 (2018).
31. J. Docobo, Y. Balega, J. Ling, et al., *Astron. J.* **119**, 2422 (2000).
32. J. A. Docobo, R. F. Griffin, P. P. Campo, and A. A. Abushattal, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **469**, 1096 (2017).
33. G. Duchêne, and A. Kraus, *Annual Rev. Astron. Astrophys.* **51**, 269 (2013).
34. ESA, *The Hipparcos and Tycho Catalogues* (1997).
35. Gaia Collab., *VizieR Online Data Catalog*, I/345 (2018).
36. L. Girardi, A. Bressan, G. Bertelli, and C. Chiosi, *Astron. and Astrophys. Suppl.* **141**, 371 (2000a).
37. L. Girardi, A. Bressan, G. Bertelli, and C. Chiosi, *VizieR Online Data Catalog*, 41410371 (2000b).
38. S. G. Hahn and R. W. Lindquist, *Annals of Physics* **29**, 304 (1964).
39. W. I. Hartkopf and B. D. Mason, *Astron. J.* **138**, 813 (2009).
40. W. I. Hartkopf, B. D. Mason, D. J. Barry, et al., *Astron. J.* **106**, 352 (1993).
41. W. I. Hartkopf, B. D. Mason, H. A. McAlister, et al., *Astron. J.* **119**, 3084 (2000).
42. W. I. Hartkopf, B. D. Mason, H. A. McAlister, et al., *Astron. J.* **111**, 936 (1996).
43. W. I. Hartkopf, B. D. Mason, and T. J. Rafferty, *Astron. J.* **135**, 1334 (2008).
44. W. I. Hartkopf, H. A. McAlister, and O. G. Franz, *Astron. J.* **104**, 810 (1992).
45. W. I. Hartkopf, H. A. McAlister, B. D. Mason, et al., *Astron. J.* **108**, 2299 (1994).
46. W. I. Hartkopf, H. A. McAlister, B. D. Mason, et al., *Astron. J.* **114**, 1639 (1997).
47. W. D. Heintz, *Double Stars*, (Springer Science and Business Media, 2012).
48. R. W. Hilditch, *An Introduction to Close Binary Stars* (Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK, 2001).
49. E. Hog, C. Fabricius, V. V. Makarov, et al., *The Tycho-2 Catalogue of the 2.5 Million Brightest Stars*, Tech. rep. (Naval observatory, Washington DC, 2000).
50. E. Horch, Z. Ninkov, W. F. van Altena, et al., *Astron. J.* **117**, 548 (1999).
51. E. P. Horch, L. A. P. Bahi, J. R. Gaulin, et al., *Astron. J.* **143**, 10 (2012).
52. E. P. Horch, D. I. Casetti-Dinescu, M. A. Camarata, et al., *Astron. J.* **153**, 212 (2017).
53. E. P. Horch, D. Falta, L. M. Anderson, et al., *Astron. J.* **139**, 205 (2010).
54. E. P. Horch, S. C. Gomez, W. H. Sherry, et al., *Astron. J.* **141**, 45 (2011).
55. E. P. Horch, S. E. Robinson, R. D. Meyer, et al., *Astron. J.* **123**, 3442 (2002).
56. E. P. Horch, W. F. van Altena, W. M. Cyr, Jr., et al., *Astron. J.* **136**, 312 (2008).
57. E. P. Horch, G. T. van Belle, J. W. Davidson, Jr., et al., *Astron. J.* **150**, 151 (2015).
58. S. Karino, K. Nakamura, and A. Taani, *Publ. Astron. Soc. Japan* **71**, 58 (2019).
59. P. K. Lu, P. Demarque, W. van Altena, et al., *Astron. J.* **94**, 1318 (1987).
60. O. Y. Malkov, A. Y. Kniazev, and I. Y. Katkov, *INASAN Science Reports*, **4**, 257 (2019).
61. O. Y. Malkov, V. Tamazian, J. Docobo, and D. Chulkov, *VizieR Online Data Catalog*, 35460069 (2012).
62. M. K. Mardini, N. Ershiadat, M. A. Al-Wardat, et al., *J. Physics Conf. Ser.* **1258**, id. 012024 (2019a).
63. M. K. Mardini, H. Li, V. M. Placco, et al., *Astrophys. J.* **875**, 89 (2019b).
64. M. K. Mardini, V. M. Placco, A. Taani, et al., *Astrophys. J.* **882**, 27 (2019c).
65. S. G. Masda, M. A. Al-Wardat, and J. K. M. K. Pathan, *Research Astron. Astrophys.* **18**, id. 072 (2018).
66. S. G. Masda, J. A. Docobo, A. M. Hussein, et al., *Astrophysical Bulletin* **74**, 464 (2019).
67. H. McAlister, W. I. Hartkopf, and O. G. Franz, *Astron. J.* **99**, 965 (1990).
68. H. A. McAlister, W. I. Hartkopf, D. J. Hutter, et al., *Astron. J.* **93**, 183 (1987).

69. V. M. Placco, R. M. Santucci, Z. Yuan, et al., *Astrophys. J.*, **897**, 78 (2020).
70. R. L. Riddle, A. Tokovinin, B. D. Mason, et al., *Astrophys. J.* **799**, 4 (2015).
71. J. L. Russell, *British J. History Sci.* **2**, 1 (1964).
72. E. F. Schlafly and D. P. Finkbeiner, *Astrophys. J.* **737**, 103 (2011).
73. S. Söderhjelm, *Astron. and Astrophys.* **341**, 121 (1999).
74. A. Taani, *Research Astron. Astrophys.* **16**, 101 (2016).
75. A. Tokovinin, *Astron. and Astrophys.* **256**, 121 (1992).
76. A. Tokovinin, B. D. Mason, and W. I. Hartkopf, *Astrophys. J.* **139**, 743 (2010).
77. A. Tokovinin, B. D. Mason, W. I. Hartkopf, et al., *Astron. J.* **150**, 50 (2015).
78. A. Tokovinin, B. D. Mason, W. I. Hartkopf, et al., *Astron. J.* **151**, 153 (2016).
79. F. van Leeuwen, *Astron. and Astrophys.* **474**, 653 (2007).
80. Y.-C. Wei, A. Taani, Y.-Y. Pan, et al., *Chinese Physics Lett.* **27**, id. 119801 (2010).

Precise Masses, Ages and Orbital Parameters of the Binary Systems HIP 11352, HIP 70973, and HIP 72479

Y. M. Al-Tawalbeh¹, A. M. Hussein¹, A. A. Taani², A. A. Abushattal³, N. A. Yusuf⁴, M. K. Mardini^{5, 6}, F. A. Suleiman¹, H. M. Al-Naimiy⁷, A. M. Khasawneh⁸, and M. A. Al-Wardat^{1, 7}

¹Department of Physics, Faculty of Science, Al al-Bayt University, Mafraq, 25113 Jordan

²Physics Department, Faculty of Science, Al-Balqa Applied University, Salt, 19117 Jordan

³Department of Physics, Al-Hussein Bin Talal University, Ma'an, 71111 Jordan

⁴Department of Physics, Yarmouk University, Irbid, 21163 Jordan

⁵Key Lab of Optical Astronomy, National Astronomical Observatories, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100101 China

⁶University of Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100049 China

⁷Department of Applied Physics and Astronomy, University of Sharjah, Sharjah, United Arab Emirates

⁸Regional Center for Space Science and Technology Education for Western Asia-UN, Amman, 11941 Jordan

In this work, the orbital elements are improved and the total masses of the three close visual binary systems CVBSs: HIP 11352, HIP 70973, and HIP 72479 are precisely calculated. The calculations were performed based on an assessment of the latest Gaia DR2 and Hipparcos trigonometric parallax measurements. The morphology and kinematics of orbits are fitted to the observational data available in the Fourth Catalogue of Interferometric Measurements of Binary Stars, and compared with the earlier orbits published in the Sixth Catalog of Orbits of Visual Binary Stars. The computation of orbital elements allows the determination and estimation of the mass sums for the three systems as: $1.81 \pm 0.17 M_{\odot}$, $1.83 \pm 0.07 M_{\odot}$, and $1.61 \pm 0.26 M_{\odot}$ for HIP 11352, HIP 70973, and HIP 72479 respectively. This suggests that these systems belong to the main sequence stars for both components. This will provide valuable insights into the evolution paths of these systems.

Keywords: *binaries: close—binaries: visual—stars: fundamental parameters—stars: individual: HIP 11352, HIP 70973, HIP 72479*