

УДК 524.383-323.8

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОРБИТ ВИЗУАЛЬНО-ДВОЙНЫХ ЗВЕЗД, ОТКРЫТЫХ П. КУТО

© 2021 А. Э. Байдин^{1*}, В. Г. Кречет¹¹Московский государственный технологический университет «СТАНКИН», Москва, 127994 Россия

Поступила в редакцию 8 сентября 2020 года; после доработки 3 ноября 2020 года; принята к публикации 3 ноября 2020 года

Впервые определены орбиты 20 визуально-двойных звезд, открытых П. Куто. У четырех из них (COU 384, COU 1067, COU 1681 и COU 2388) наблюдениями покрыты дуги порядка или более 180° , COU 384 и COU 2388 с момента открытия по настоящее время уже совершили полный оборот. Для COU 338, COU 567, COU 1003, COU 1607 и COU 2086 имеется много наблюдений на малых дугах и одно или два наблюдения в более удаленных положениях, когда разделения были очень малы. Орбиты остальных звезд (COU 80, COU 532, COU 543, COU 613, COU 696, COU 936, COU 1129, COU 1667, COU 1904, COU 2244, COU 2542) определены по наблюдениям, распределенным на малых дугах (10° – 60°).

Ключевые слова: звезды: двойные: визуальные

1. ВВЕДЕНИЕ

Поль Куто — один из выдающихся исследователей визуально-двойных звезд (Couteau 1978, Pecker et al. 2014). Он регулярно проводил наблюдения почти 50 лет, в результате открыл более 2500 новых двойных звезд (Couteau 1995; 1999). Данная статья посвящена определению орбит этих объектов.

В ходе настоящего исследования изучены наблюдения всех звезд, открытых П. Куто (Pecker et al. 2014). Использовались данные каталога Couteau (1995) и сайта обсерватории в Ницце¹, Четвертого интерферометрического каталога (Hartkopf et al. 2020) и каталога Gaia (Brown et al. 1994) при наличии координат каждого компонента пары, результаты наблюдений, представленные в работах Gili and Agati (2009a; b), Gili et al. (2020), Scardia et al. (2019), также полностью был просмотрен архив журнала Journal of Double Star Observations². Для обработки выбирались звезды, у которых наблюдениями покрыты дуги более 10° . Далее из рассмотрения исключались звезды с определенными на данный момент орбитами. Орбиты всех оставшихся звезд определялись с помощью метода Baidin (2015), Baidin et al. (2018). Затем проверялось соответствие фотометрических и динамических сумм масс. В итоге из всей совокупности вычисленных орбит было выбрано 20, это

орбиты следующих звезд каталога Couteau (1995): COU 80, COU 338, COU 384, COU 532, COU 543, COU 567, COU 613, COU 696, COU 936, COU 1003, COU 1067, COU 1129, COU 1607, COU 1667, COU 1681, COU 1904, COU 2086, COU 2244, COU 2388, COU 2542. Работы, посвященные обработке звезд COU, проводились и ранее (Docobo and Ling 2003).

В Шестом каталоге (Hartkopf and Mason 2020) имеются орбиты 85 звезд, открытых Куто. Из них у 53 период обращения менее 100 лет. Не смотря на то, что многие звезды, открытые Куто, являются очень тесными $\rho \in (0''1-0''5)$, периоды обращения у большинства из них превосходят 100 лет. Это связано со значительной удаленностью от нас этих объектов. Так как периоды обращения пар велики, наблюдениями покрыты малые дуги. При обработке наблюдений, распределенных на короткой дуге, классическими методами (Couteau 1978, Subbotin 1968) возникают проблемы со сходимостью. Дополнительные трудности также связаны с погрешностями первых наблюдений: они выполнены визуально, с учетом малого разделения у многих пар $\sigma_\rho/\rho \approx 0.1$.

2. МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОРБИТ

В 1989 г. американскими исследователями был предложен метод (Hartkopf et al. 1989), в основе которого лежали линейные уравнения. В итоге орбита определялась с помощью линейного метода наименьших квадратов, как следствие алгоритм

*E-mail: a1.baidin@yandex.ru

¹<https://sidonie.oca.eu/Sidonie/Default.htm>²<http://www.jdso.org>

был глобально сходящимся. Основной недостаток метода заключался в том, что уравнения становились линейными, если три искомого элемента орбиты (период P , момент прохождения периастра T_p и эксцентриситет e) были известны изначально. В работе Hartkopf et al. (1989) предложено определять P , T_p и e методом перебора, это значительно увеличивало вычислительные затраты. Но глобальная сходимость дала методу заметные преимущества, например, в работе Seymour et al. (2002) с его помощью были впервые определены орбиты 117 систем.

В работе Baidin (2015) предложено период P , момент прохождения периастра T_p и эксцентриситет e определять с помощью генетических алгоритмов. Кроме того, было доказано, что полученный метод можно применить для определения надежных орбит по коротким дугам (20° – 50°), но точность наблюдений должна быть очень высока ($\sigma_\rho/\rho \approx 10^{-4}$ – 10^{-3}).

В ходе исследования Baidin (2015) обнаружено, что при определении орбит по наблюдениям, распределенным на коротких дугах, особенно если погрешности достаточно велики ($\sigma_\rho/\rho > 0.01$), при повторных запусках генетического алгоритма могут получаться различные результаты. Причина заключается в том, что имеется множество минимумов у функции суммы квадратов невязок. Необходимо было добиться повторяемости результатов при повторных вычислениях орбиты отдельно взятой звезды. Эту проблему удалось решить с помощью следующего подхода: орбита вычислялась несколько раз (обычно 10 или 20), затем вычислялись средние значения элементов орбиты и выбиралась орбита, наиболее близкая к средней.

При наличии большого количества решений, одинаково хорошо удовлетворяющих имеющейся совокупности данных, выбранная средняя орбита, как правило, лучше согласуется с истинной. В случае экспериментов с модельными данными это видно при сравнении исходных элементов орбиты с полученными элементами орбиты. Для реальных двойных систем можно выбрать наблюдения на короткой дуге, определить орбиту и затем сравнить с имеющейся в Шестом каталоге надежной орбитой.

Эксперименты Baidin (2015), Baidin et al. (2018), проводимые с наблюдениями на коротких дугах, показали, что при погрешностях $\sigma_\rho/\rho \in (0.01$ – $0.1)$, характерных как для визуальных наблюдений, так и для спекл-интерферометрических, если пара тесная, довольно часто получаются результаты, сильно отличающиеся от истинных. Такие результаты обычно сопровождаются завышенными значениями динамических сумм масс. Еще одна особенность связана с эксцентриситетами, которые устремляются к верхней границе e_{\max} возможного интервала значений

(в программе задавалось $e_{\max} = 0.95$). Поэтому можно контролировать качество орбит, сравнивая фотометрическую и динамическую суммы масс и следя за значениями эксцентриситетов.

В совокупности решений на определенном этапе работы генетического алгоритма всегда появляются орбиты, близкие к истинной. Эти орбиты могут получить значительные преимущества, если в методе определения орбит использовать дополнительные данные. В работе Baidin et al. (2018) в качестве дополнительных данных предложено использовать относительную лучевую скорость $V_{\text{ГВА}}$ и фотометрическую сумму масс M_{PH} . Для определения орбиты по короткой дуге вполне достаточно использовать только $V_{\text{ГВА}}$, но, к сожалению, относительные лучевые скорости многих долгопериодических двойных звезд не измерялись или измеренные значения имеют большую относительную ошибку. Массы звезд можно определить с высокой точностью с помощью данных из современных каталогов спектральных классов, тригонометрических параллаксов и звездных величин. Тем не менее до настоящего времени у исследователей нет однозначного мнения о целесообразности использования суммы масс звезд при определении орбиты. Мы считаем, что оценки масс стоит использовать в том случае, если параметры орбиты необходимы для проведения каких-либо исследований, но их не удастся определить традиционными методами. Удачный опыт применения суммы масс для определения орбит методом ПВД имеют исследователи из ГАО РАН (Bykov and Kholshchevnikov 2013, Kiselev and Kiyaeva 1980, Kiyaeva et al. 2017).

3. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Орбиты определялись методом, описанным в работах Baidin (2015), Baidin et al. (2018), в котором три величины (P , T_p , e) находились с помощью генетического алгоритма и дополнительные данные (относительные лучевые скорости и суммы масс звезд) не использовались. Орбита звезды вычислялась 20 раз, затем выбиралась орбита, наиболее близкая к средней, и определялись среднеквадратичные отклонения для каждого элемента орбиты. Эти величины представлены в таблице 1. Здесь стоит отметить, что среднеквадратичные отклонения не равны традиционно используемым ошибкам элементов орбит, а характеризуют «разброс» минимумов для функции суммы квадратов невязок с учетом весов: $\sum_i p_i [(\Delta\rho_i)^2 + (\rho_i\Delta\theta_i)^2]$. Веса мы определяли с помощью приближенных формул, полученных в работе Baidin (2018). Для спекл-интерферометрических и визуальных наблюдений

Таблица 1. Элементы орбит

COU	P , year	σ_P	a , arcsec	σ_a	i , degr	σ_i	Ω , degr	σ_Ω	T_p , year	σ_{T_p}	e	σ_e	ω , degr	σ_ω
80	587.5	143.4	0.984	0.165	107.8	0.8	87.7	0.8	2029.3	3.7	0.477	0.063	36.9	6.7
338	269.8	58.6	0.214	0.027	65.6	1.3	34.4	1.3	1999.4	0.4	0.632	0.062	87.1	3.4
384	40.43	0.38	0.1475	0.0003	96.83	0.15	60.96	0.11	1999.33	0.14	0.379	0.004	31.3	1.9
532	556.1	91.0	0.494	0.052	119.3	1.4	45.4	1.0	1959.3	2.5	0.569	0.033	258.1	8.4
543*	404.2	106.6	0.362	0.062	131.1	2.2	121.1	2.5	2011.0	5.4	0.398	0.096	53.6	11.9
567	135.4	19.3	0.187	0.016	109.8	0.5	5.3	1.1	2002.0	0.1	0.840	0.019	108.7	2.5
567**	101.2	14.3	0.133	0.012	114.1	3.0	12.2	1.9	2004.2	0.5	0.751	0.041	128.6	6.3
613	452.0	99.6	0.490	0.065	73.1	0.5	152.5	0.9	1960.0	3.2	0.503	0.044	147.9	7.9
696*	177.0	30.0	0.366	0.028	107.3	0.4	33.7	1.6	2007.9	0.3	0.671	0.026	74.2	6.4
936	180.5	16.3	0.565	0.032	108.6	5.0	45.0	1.9	1945.3	2.4	0.738	0.065	8.4	7.7
1003	159.3	13.1	0.233	0.012	100.4	0.2	51.0	0.3	1971.2	4.0	0.178	0.023	317.0	12.5
1067	133.9	9.4	0.239	0.011	77.2	0.2	20.2	0.2	1980.5	0.3	0.554	0.015	271.2	3.4
1067*	133.5	13.9	0.238	0.017	77.3	0.4	20.5	0.2	1980.5	0.5	0.541	0.015	271.7	4.9
1129*	450.7	111.9	0.822	0.129	124.4	1.6	146.9	1.9	1973.5	7.8	0.332	0.091	338.0	10.0
1607*	69.4	12.5	0.112	0.012	87.1	0.7	114.9	0.6	2021.1	2.5	0.602	0.161	184.6	15.3
1667	223.2	28.8	0.218	0.019	124.2	1.3	58.5	1.2	2009.8	0.6	0.596	0.014	77.2	5.5
1681	68.3	2.4	0.230	0.005	135.3	0.6	6.8	1.6	2011.9	0.3	0.395	0.005	109.5	4.9
1904	228.3	27.6	0.559	0.044	79.1	0.3	20.8	0.2	1972.7	1.1	0.513	0.015	104.0	6.0
2086	105.2	17.9	0.216	0.023	82.6	0.3	67.9	0.3	1996.8	1.8	0.140	0.085	27.4	7.9
2244	192.6	26.8	0.347	0.030	72.9	0.4	103.9	0.6	2018.2	2.2	0.365	0.039	214.2	7.8
2388	32.82	0.47	0.2163	0.0014	111.1	0.3	17.9	0.3	2003.94	0.14	0.276	0.014	13.2	1.1
2542	202.1	34.4	0.477	0.040	76.2	0.3	76.5	0.5	2023.9	2.6	0.374	0.037	136.3	11.5

* Орбита определена без учета разделений, измеренных визуально.

** При определении орбиты исключено последнее наблюдение с малым значением ρ .

они имеют вид

$$p_{\text{int}} = 50D^{1.5}\sqrt{N},$$

$$p_{\text{vis}(\rho)} = D^{0.5}\sqrt{N},$$

$$p_{\text{vis}(\theta)} = 4D^{0.5}\sqrt{N},$$

где D — апертура телескопа, N — количество измерений, с помощью которых определены средние относительные координаты звезды-спутника, $p_{\text{vis}(\rho)}$ и $p_{\text{vis}(\theta)}$ — веса визуальных наблюдений разделения ρ и позиционного угла θ .

Орбиты звезд в картинной плоскости изображены на рис. 1 и 2. На рис. 2 представлены орбиты,

которые вычислены по наблюдениям, распределенным на малых дугах (10° – 60°).

Орбиты, представленные в данной статье, являются предварительными. Но почти все звезды мы считаем перспективными для изучения. Об этом, например, свидетельствуют величины, представленные в таблице 2: относительные координаты ρ , θ на эпоху 2021.0 и углы $\Delta\theta$, на которые повернулись звезды с момента открытия по 2021 год.

В таблице 3 представлены значения динамических и фотометрических сумм масс M_d и M_{ph} в единицах M_\odot , количество спекл-интерферометрических и визуальных наблюдений N_{int} и N_{vis} , используемых для определения орбит, и номера

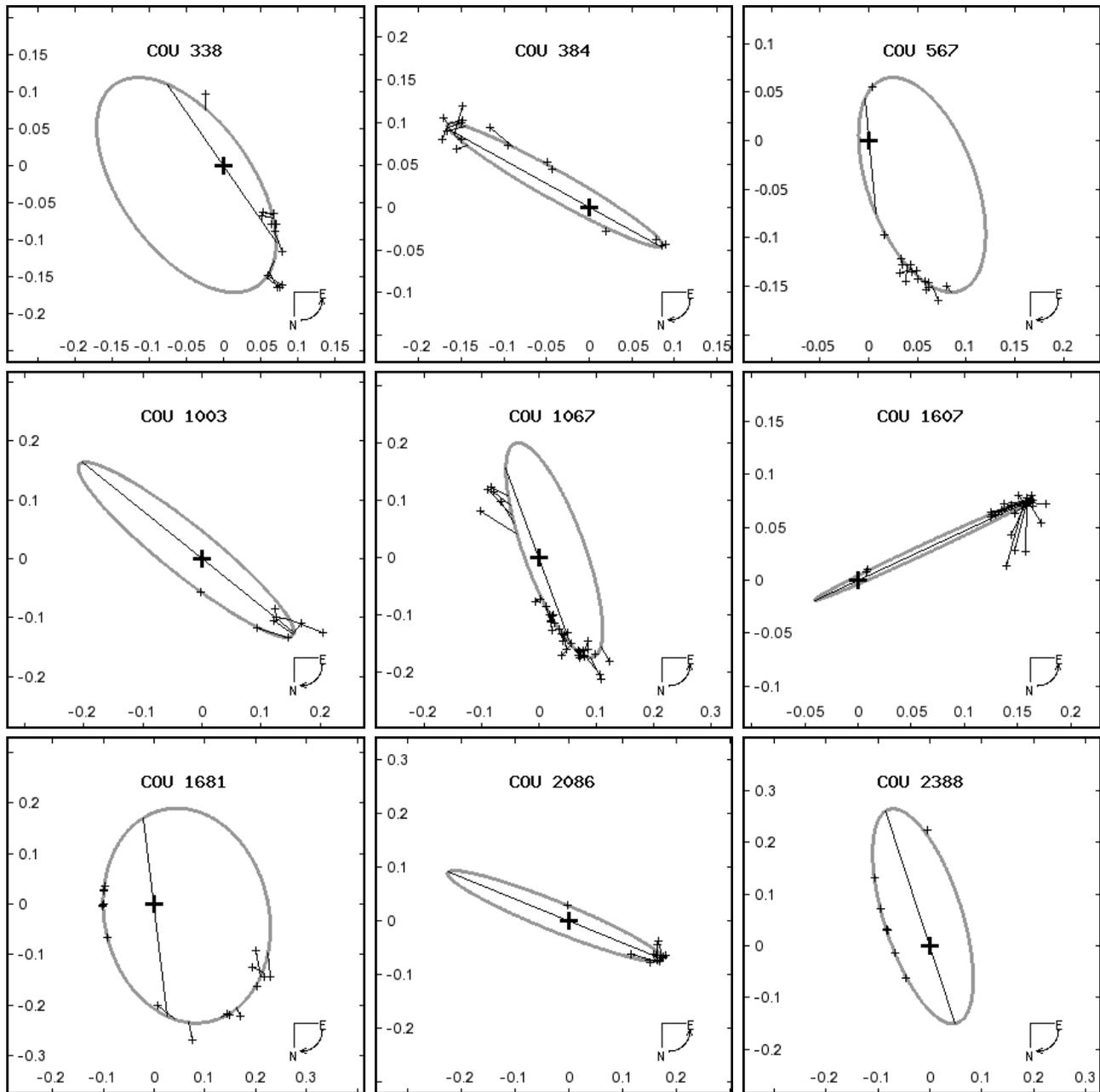


Рис. 1. Орбиты звезд в картинной плоскости.

(обозначения) звезд в каталогах Hipparcos (ESA 1997) и WDS (Mason et al. 2001). Фотометрические массы определялись методами, описанными нами ранее (Vaidin et al. 2018). Для опубликования были выбраны звезды, у которых фотометрические и динамические суммы масс примерно одинаковы. Динамическая сумма масс COU 1003 также хорошо согласуется с массой $2.33 M_{\odot}$, оцененной другими авторами по совокупности астрофизических данных (Vochanski et al. 1994). В современных каталогах (Brown et al. 1994, ESA 1997) не представлены значения тригонометрических параллак-

сов COU 80, COU 532, COU 1904, поэтому суммы масс для этих пар не были определены.

На четырех звездах остановимся подробнее, так как в этом случае наблюдения покрывают дуги порядка или более 180° .

COU 384. Наблюдения распределены на двух участках дуги, отстоящих друг от друга на половину оборота (рис. 1). Первый участок — наблюдения 1969–1987 гг., второй участок охватывает 1995–2001 гг. Наблюдение на эпоху 2001.331 (Loader et al. 2019) (см. также Journal of Double

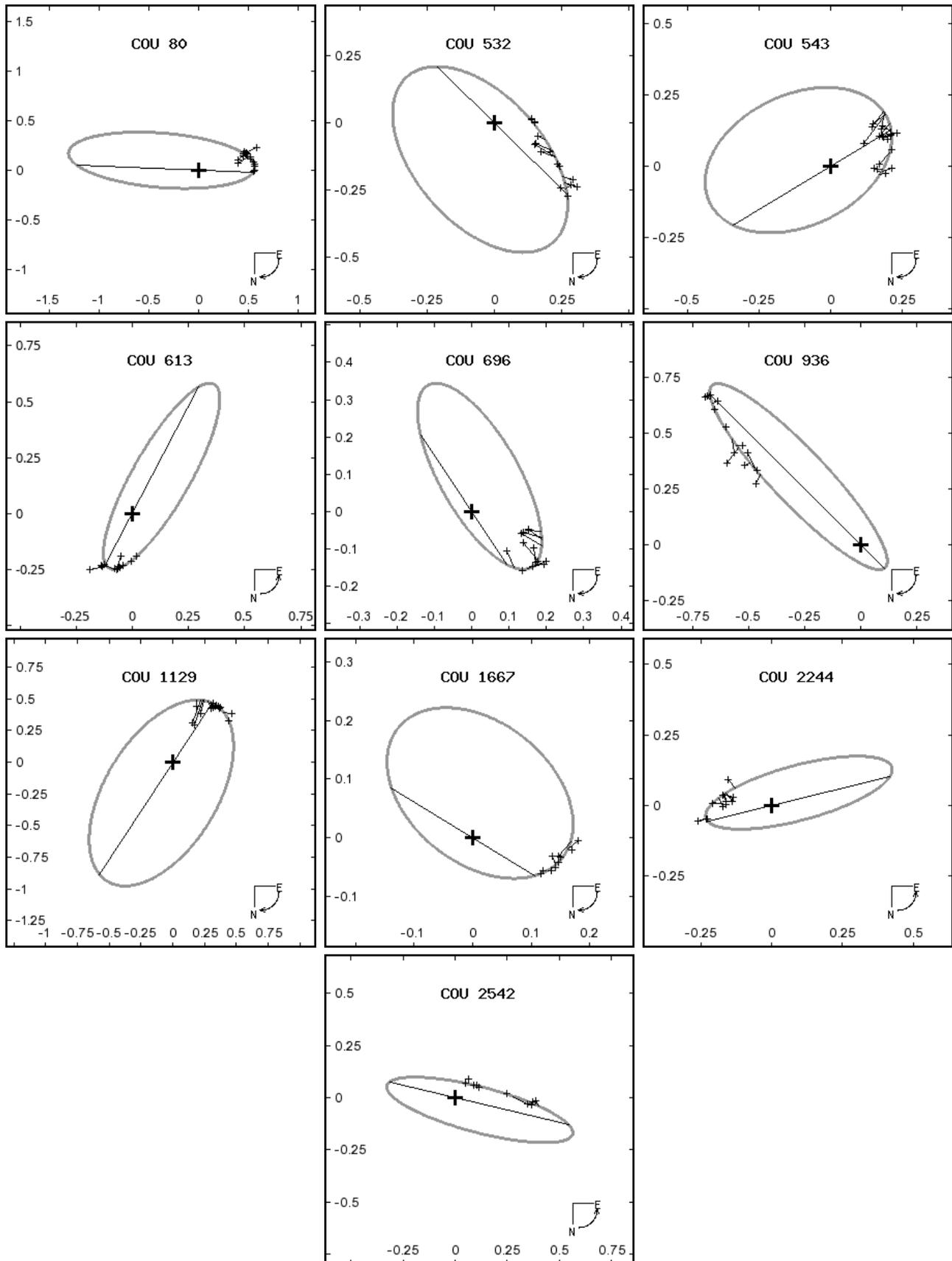


Рис. 2. Орбиты звезд, определенные по коротким дугам.

Таблица 2. Относительные координаты ρ , θ на эпоху 2021.0 и углы поворота $\Delta\theta$ с момента открытия по 2021 г.

COU	ρ , arcsec	θ , degr	$\Delta\theta$, degr
80	0.490	81.2	30
338	0.146	218.0	197
384	0.161	235.8	367
532	0.400	42.8	56
543	0.152	51.9	84
567	0.079	122.7	267
613	0.162	21.4	49
696	0.243	214.1	220
936	0.964	224.5	11
1003	0.048	338.3	80
1067	0.156	45.3	199
1129	0.518	114.3	45
1607	0.044	294.8	181
1667	0.108	257.1	190
1681	0.191	171.1	256
1904	0.361	216.8	22
2086	0.130	238.1	175
2244	0.161	300.8	57
2388	0.265	191.4	364
2542	0.179	237.0	153

Star Observations, <http://www.jdso.org>), полученное методом лунных покрытий, хорошо согласуется с остальной совокупностью данных, поэтому оно также использовалось при определении орбиты.

COU 1067. Для этой звезды имеется много наблюдений, выполненных на БТА (Balega and Balega 1985, Balega et al. 1994; 2007). Визуальные наблюдения 1973–1977 гг. отстоят почти на половину оборота от современных наблюдений (см. рис. 1). Наблюдение 1980.83 было исключено из-за большого отклонения $(O - C)_\theta = 100^\circ$. Невязки $(O - C)_\rho$ всех наблюдений 1973–1977 гг. оказались положительными, поэтому было принято решение определить орбиту двумя способами: с учетом разделений визуальных наблюдений и без учета (в таблице 1 представлены оба результата). Поскольку вес визуальных наблюдений невысок, орбиты мало отличаются друг от друга,

Таблица 3. Фотометрические и динамические суммы масс звезд и количество визуальных и спектрофотометрических наблюдений

COU	HIP	WDS	M_d	M_{ph}	N_{int}	N_{vis}
80	—	03481+2409	—	—	5	13
338	—	23266+2342	4.7	4.0	5	8
384	45648	09183+1847	4.9	3.3	7	9
532	—	21223+2906	—	—	4	12
543*	—	22587+2611	2.0	2.6	6	12
567	20971	04298+1741	18.5	≈ 6	12	4
567**	20971	04298+1741	11.8	≈ 6	12	4
613	76777	15406+3128	3.0	2.5	8	4
696*	—	03520+2801	1.9	2.4	4	9
936	46501	09290+1917	2.6	2.0	6	7
1003	—	17594+2929	2.3	2.5	3	6
1067	10022	02090+3540	5.4	3.2	19	18
1067*	10022	02090+3540	5.3	3.2	19	18
1129*	57689	11499+3754	1.7	1.6	6	8
1607*	91491	18396+4056	5.9	6.2	21	15
1667	—	02107+4426	1.6	2.8	5	5
1681	15688	03221+4440	1.4	1.6	10	9
1904	—	11158+4227	—	—	18	4
2086	48878	09581+3856	3.2	2.7	8	7
2244	—	22527+4347	1.8	2.7	4	8
2388	77263	15465+5048	2.1	1.6	9	0
2542	103067	20530+4258	1.15	1.35	7	3

*, ** — аналогичны обозначениям в таблице 1.

но уменьшение используемого наблюдательного материала привело к незначительному увеличению разброса получаемых значений элементов орбит относительно средних значений.

COU 1681. Наблюдениями почти равномерно покрыта дуга 170° (рис. 1). Орбита определена во многом благодаря наблюдениям Хорча и др. (Horch et al. 2012; 2017).

COU 2388. Здесь основную совокупность наблюдений выполнили Хорч и др. в 2007–2012 гг. (Horch et al. 2012; 2017; 2010), у наблюдения 2007.3276 к позиционному углу нужно прибавить 180° . Очень важным оказалось наблюдение каталога Hipparcos (ESA 1997), так как оно отстоит

более чем на половину оборота от остальных наблюдений (рис. 1). Визуальные наблюдения при определении орбиты не использовались в основном из-за завышенных разделений.

У *COU 543*, *COU 696*, *COU 1129* и *COU 1607* невязки $(O - C)_\rho$ почти всех визуальных наблюдений 70-х и 80-х годов отрицательные, поэтому при определении орбит этих звезд разделения, измеренные визуально, не использовались.

У *COU 338*, *COU 567*, *COU 1003*, *COU 1607* и *COU 2086* достоверность полученных орбит во многом зависит от точности последних одного или двух наблюдений. Последние наблюдения этих звезд представлены в следующих работах: *COU 338* (Gili and Agati 2009b), *COU 567* (Docobo et al. 2006), *COU 1003* (Tokovinin et al. 2019), *COU 1607* (Horch et al. 2015), *COU 2086* (Horch et al. 2017). У *COU 567* динамическая сумма масс примерно в три раза больше суммы масс, оцененной по фотометрическим данным. Возможно, это связано с относительной ошибкой параллакса, который у этой пары очень мал (2.6796 mas (Brown et al. 1994)). Орбита *COU 567* изображена на рис. 1. В таблице 1 также представлена орбита *COU 567* (обозначена «**»), определенная без последнего наблюдения. В этом случае динамическая сумма масс несколько лучше согласуется со значением параллакса и данными фотометрии. Стоит отметить, что обе полученные орбиты мало отличаются друг от друга.

COU 936 на данный момент имеет малый угол поворота (таблица 2), но наблюдениями охвачена значительная часть дуги (рис. 2).

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе изучались звезды, открытые П. Куто, орбиты которых не вычислены по настоящее время. Впервые определены предварительные орбиты 20 звезд, доказано, что для четырех из них (*COU 384*, *COU 1067*, *COU 1681* и *COU 2388*) в ближайшее время при наличии современных наблюдательных данных можно вычислить надежные орбиты. У *COU 567*, *COU 696*, *COU 936*, *COU 1003*, *COU 1607*, *COU 2086*, *COU 2244* периоды обращения менее 200 лет, но точность полученных орбит пока невысока, так как либо наблюдения неравномерно распределены на дуге, либо дуга, охваченная наблюдениями, менее четверти длины видимой орбиты. Кроме того, имеются наблюдения, когда угловые расстояния были очень малы ($\rho < 0''.1$). *COU 338*, *COU 1667* и *COU 2542* с момента открытия по настоящее время прошли участки орбиты с быстрым угловым движением, а *COU 936* и *COU 1904*, наоборот, все время

наблюдений находились на участках с медленным угловым движением. Для получения надежных орбит остальных звезд (*COU 80*, *COU 532*, *COU 543*, *COU 613*, *COU 1129*) потребуются длительные наблюдения порядка или более 100 лет или высокоточные ряды наблюдений с погрешностью $\sigma_\rho/\rho \in (10^{-4}; 10^{-3})$ длительностью около 50 лет. Наблюдения половины исследованных звезд не проводились уже более 10 лет, поэтому есть возможность проверить полученные элементы орбит и при необходимости уточнить их.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарят наблюдателей двойных звезд, данные которых использовались в работе. Выбор звезд, наиболее удобных для исследования, был осуществлен благодаря данным сайта обсерватории в Ницце (<https://sidonie.oca.eu/Sidonie/Default.htm>). Авторы благодарят создателей этого сайта.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа поддержана Министерством высшего образования и науки РФ, грант № 0707-2020-0025.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А. Э. Байдин, Вестник ЮУрГУ. Сер. Математика. Механика. Физика. **7** (1), 11 (2015).
2. А. Е. Baidin, Candidate's Dissertation in Mathematics and Physics (YSPU after K. D. Ushinsky, Yaroslavl, 2018).
3. А. Э. Байдин, Н. И. Перов, Л. Г. Романенко, Вестник СПбГУ. Сер. I. Математика. Механика. Астрономия. **5(63)**, Вып. 1, 154 (2018).
4. Y. Y. Balega and I. I. Balega, *Sov. Astron. Lett.* **11**, 47 (1985).
5. I. I. Balega, Y. Y. Balega, I. N. Belkin, et al., *Astron. and Astrophys. Suppl.* **105**, 503 (1994).
6. I. I. Balega, Y. Y. Balega, A. F. Maksimov, et al., *Astrophysical Bulletin* **62**, 339 (2007).
7. J. J. Bochanski, J. K. Faherty, J. Gagné, et al., *Astron. J.* **155**, 149 (2018).
8. A. G. A. Brown et al. (Gaia Collab.), *Astron. and Astrophys.* **616**, id. A1 (2018).
9. О. П. Быков и К. В. Холшевников, *Прямые методы определения орбит небесных тел* (Изд. Санкт-Петербургского университета, Санкт-Петербург, 2013).

10. P. Couteau, *L'observation des étoiles doubles visuelles, suivie d'un catalogue de 744 étoiles doubles pour tous instruments* (Flammarion, Paris, 1978).
11. P. Couteau, *Catalogue of 2700 double stars*, (Observatoire Côte d'Azur, Nice, 1995), <http://vizier.u-strasbg.fr/viz-bin/VizieR?source=I/209A>.
12. P. Couteau, IAU Commis. 26 (Double Stars) Inform. Circ., 2 (1999).
13. J. A. Docobo and J. F. Ling, *Astron. and Astrophys.* **409**, 989 (2003).
14. J. A. Docobo, V. S. Tamazian, Y. Y. Balega, and N. D. Melikian, *Astron. J.* **132**, 994 (2006).
15. ESA, *The Hipparcos and Tycho Catalogues. Astrometric and photometric star catalogues derived from the ESA Hipparcos Space Astrometry Mission* (ESA Publ. Division, Noordwijk, 1997) (ESA SP Ser., No. 1200).
16. R. Gili and J.-L. Agati, *Observations et Travaux*, **73**, 9 (2009).
17. R. Gili and J.-L. Agati, *Observations et Travaux*, **74**, 14 (2009).
18. R. Gili, J.-L. Prieur, J.-P. Rivet, et al., *Astronomische Nachrichten* **341**, 441 (2020).
19. W. I. Hartkopf and B. D. Mason, *Sixth Catalog of Orbits of Visual Binary Stars* (US Naval Observatory, Washington, 2020), <http://www.astro.gsu.edu/wds/orb6.html>.
20. W. I. Hartkopf, B. D. Mason, G. L. Wycoff, and H. A. McAlister, *Fourth Catalog of Interferometric Measurements of Binary Stars* (US Naval Observatory, Washington, 2020), <http://www.astro.gsu.edu/wds/int4.html>.
21. W. I. Hartkopf, H. A. McAlister, and O. G. Franz, *Astron. J.* **98**, 1014 (1989).
22. E. P. Horch, L. A. P. Bahi, J. R. Gaulin, et al., *Astron. J.* **143**, 10 (2012).
23. E. P. Horch, D. I. Casetti-Dinescu, M. A. Camarata, et al., *Astron. J.* **153**, 212 (2017).
24. E. P. Horch, D. Falta, L. M. Anderson, et al., *Astron. J.* **139**, 205 (2010).
25. E. P. Horch, G. T. van Belle, J. W. Davidson, Jr., et al., *Astron. J.* **150**, 151 (2015).
26. A. A. Kiselev and O. V. Kiyayeva, *Sov. Astron.* **24**, 708 (1980).
27. O. V. Kiyayeva, L. G. Romanenko, and R. Ya. Zhuchkov, *Astronomy Letters* **43**, 316 (2017).
28. B. Loader, Y. Asada, A. Asai, et al., *J. Double Star Observations*, **15**, 503 (2019).
29. B. D. Mason, G. L. Wycoff, W. I. Hartkopf, et al., *Astron. J.* **122**, 3466 (2001).
30. J. C. Pecker, D. Bonneau, P. Durand, et al., *Observations et Travaux*, **83**, 32 (2014).
31. M. Scardia, J.-P. Rivet, J.-L. Prieur, et al., *Astronomische Nachrichten* **340**, 771 (2019).
32. D. M. Seymour, B. D. Mason, W. I. Hartkopf, and G. L. Wycoff, *Astron. J.* **123**, 1023 (2002).
33. М. Ф. Субботин, *Введение в теоретическую астрономию* (Наука, Москва, 1968).
34. A. Tokovinin, M. E. Everett, E. P. Horch, et al., *Astron. J.* **158**, 167 (2019).

Orbits of Visual Double Stars Discovered by P. Couteau

A. E. Baidin¹ and V. G. Krechet¹

¹Moscow State Technological University, Moscow, 127994 Russia

Orbits of 20 visual double stars discovered by P. Couteau are computed for the first time. The observations for four of these stars, COU 384, COU 1067, COU 1681, and COU 2388, span arcs greater than or approximately equal to 180 degrees. Since the time of their discovery the stars, COU 384 and COU 2388 have already completed one revolution. COU 338, COU 567, COU 1003, COU 1607, and COU 2086 have many observations within small arcs and one or two observations at more distant positions with small separations. The orbits of the remaining stars, COU 80, COU 532, COU 543, COU 613, COU 696, COU 936, COU 1129, COU 1667, COU 1904, COU 2244 and COU 2542, are determined from observations covering small arcs 10°–60°.

Keywords: *stars: binaries: visual*