

УДК 524.38-325

## ИЗБРАННЫЕ КРАТНЫЕ ЗВЕЗДЫ ПУЛКОВСКОЙ ПРОГРАММЫ

© 2015 О. В. Кияева<sup>1\*</sup>, В. В. Орлов<sup>1,2\*\*</sup>

<sup>1</sup>Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, Санкт-Петербург, 196140 Россия

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, 198504 Россия

Поступила в редакцию 14 марта 2015 года; принята в печать 20 июля 2015 года

Исследован характер видимых движений компонентов у 13 визуальных кратных звезд программы наблюдений на 26-дюймовом рефракторе ГАО РАН. По данным позиционных наблюдений из каталога WDS и оригинальных наблюдений на 26-дюймовом рефракторе определены параметры видимых движений и оценены вероятности физической связанности систем.

Ключевые слова: *двойные; визуальные*

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Более полувека назад под руководством А. Н. Дейча и А. А. Киселева в Пулковской обсерватории была принята программа изучения визуальных двойных и кратных звезд. Фотографические наблюдения объектов этой программы начались на 26-дюймовом рефракторе ГАО РАН в 1960 г. С 2003 г. наблюдения продолжаются на том же инструменте с использованием ПЗС камеры. Обзор результатов работ по этой программе дан в работах Киселева и др. [1] и Измайлова и др. [2].

В настоящей работе предлагается алгоритм вычисления вероятности физической связи кратных звезд разной иерархии. Используются точные относительные положения компонентов системы в две разнесённые по времени эпохи, параллакс и массы компонентов.

Рассматриваются тринадцать широких визуальных кратных звезд из этой программы, для которых выполнялись фотографические наблюдения на 26-дюймовом рефракторе ГАО РАН и имеются данные о позиционных наблюдениях из каталога WDS (The Washington Double Star Catalog) [3].

Большинство этих звезд имеют маленькие, но близкие собственные движения, для них мало данных о лучевых скоростях, а для некоторых даже не определен тригонометрический параллакс.

В данной работе мы рассматриваем только движение в картинной плоскости без учета лучевых скоростей и различия индивидуальных параллаксов компонентов. Таким образом, с помощью предлагаемого алгоритма мы можем довольно уверенно отождествить оптические системы, однако для

вероятно физически связанных систем требуется дополнительное исследование с привлечением данных о лучевых скоростях и параллаксах компонентов.

Особо рассматриваются три контрольные звезды, для которых известны лучевые скорости и уже определены орбиты: ADS 48, 9626 и 10288. Для них вычисления выполнены с учетом и без учета лучевых скоростей.

Цель работы состоит в том, чтобы сделать определенные выводы о физической связи компонентов в рассмотренных кратных системах на основе астрометрических наблюдений и известных к настоящему времени данных о физических характеристиках звезд (массы, спектральные классы, показатели цвета). Для некоторых компонентов эти данные противоречивы, и тогда рассматривается несколько вариантов. В тех случаях, когда в системе недавно обнаружены тесные подсистемы, мы предполагаем, что фотоцентры таких подсистем совпадают с их центрами масс. Результаты, полученные по каждой рассмотренной кратной системе, снабжены подробными комментариями.

### 2. ДАННЫЕ О КРАТНЫХ ЗВЕЗДАХ

В таблице 1 представлены основные характеристики компонентов изучаемых кратных звезд:

- (1) номера звезд по каталогам WDS и ADS;
- (2) указатели компонентов;
- (3) показатели цвета  $B - V$  компонентов;
- (4) видимые величины  $m_V$ ;
- (5) показатели цвета  $J - K$  компонентов;
- (6) видимые величины  $m_K$ ;

\*E-mail: kiyeva@list.ru

\*\*E-mail: vorvor1956@yandex.ru

Таблица 1. Характеристики компонентов кратных звезд

WDS/ADS	Комп.	$B - V$	$m_V$	$J - K$	$m_K$	Sp	$\mu_x$ , мсд/год	$\mu_y$ , мсд/год	$\pi$ , мсд	Масса, $M_\odot$
00057+4549 48	A	1.34	8.83	0.84	5.26	K6-M0 V	+879	-164	$88.4 \pm 1.6$	0.6
	B	1.34	9.00	0.86	5.28	M0 V	+837	-163	$88.7 \pm 1.0$	0.5
	F	1.48	9.97	0.85	5.58	M2e	+870	-151	$88.9 \pm 0.4$	0.4
01393+5257 1289	A	0.23	9.86	-	-	A5-9 V	+2	-7	3.2	1.8
	B	0.3	11.0	-	-	A5-9 V	-3	-5	1.6	1.6
	C	1.30	10.65	0.73	7.84	K3 III	+5	-1	0.8	1.4
02122+4440 1693	Aa	0.85	10.83	-	-	G5V+(M3-5 V)	-15	-1	$6.2 \pm 0.8$	$0.9 + 0.3$
	B	-	11.13	-	-	G5 V	-12	0	6.2	0.85
	C	-	11.91	0.67	9.27	G5 V	-5	-3	4.3	0.75
	D	0.75	12.65	0.42	10.96	G7	-89	-27	4.5	0.9
02322+5415 1918	A	0.22	10.09	-	-	B9 IV-A7 V	+2	-5	1.8	1.8
	B	0.4	11.2	-	-	A-F3-4 V	+6	+2	2.6	1.4
	C	0.3	10.5	-	-	A-F0 V	-	-	2.7	1.6
04009+2312 2926	A	-	6.92	-	-	B9 V	+15	-35	$3.0 \pm 1.4$	3.7
	B	-	7.76	0.09	7.23	B8-A3 V	+15	-35	5.6	2.7
	C	0.45	9.61	0.08	8.48	A5-F2 IV-V	+13	-35	3.0	2.0
06034+2738 4629	A	0.78	8.81	0.44	6.87	F2(G7)	+2	-33	$6.6(21.8)$	$1.5(0.9)$
	B	0.31	9.68	-	-	A7-F2	+7	-20	4.2	1.6
	C	0.69	11.10	-	-	G5?	-2	-36	6.0	0.9
09343+6648 7425	A	0.43	8.26	0.22	7.21	F4-6 III-V	-23	-28	$4.4 \pm 1.9$	1.4
	B	0.46	8.20	0.23	7.15	F5-6 III-V	-23	-28	$3.0 \pm 1.7$	1.3
	C	0.46	9.11	0.22	8.11	F6-G III	-40	-28	-	1.1
09354+3958 7438	A	0.33	6.77	0.17	5.82	A3m (F2 V+F3 V+G3 V)	-1	+14	$11.7 \pm 0.93$	4.0
	B	0.38	8.03	0.04	6.87	G(F5V+?)(F4 V)	-3	+12	$11.8 \pm 5.64$	1.65
	C	0.40	8.40	0.05	7.21	G0(F0)	-33	-20	$12.8 \pm 1.02$	1.3
11551+4629 8347	AB	0.10	6.54	-	-	A3 Vn	+10	+3	$4.7 \pm 0.6$	$8.2(5.2)$
	C	-	8.32	-	-	-	+10	+3	-	2.0
	D(ab)	0.04	6.99	-0.05	6.86	A1(+F)	+12	0	$3.4 \pm 0.6$	$3.0(+1.5)$
14375+4743 9327	A	0.74	10.15	-	-	G5	-5	-7	10.2	0.9
	B	-	11.90	-0.45	9.83	-	-	-	-	$0.6(1.2)$
	C(ab)	1.06	10.10	0.64	7.56	K0	-13	-7	14.4	$0.8(+0.8)$
15245+3723 9626	Aa	0.29	4.31	0.16	3.62	F0-F4	-147	+86	$28.83 \pm 0.74$	3.1
	B	-	7.09	-	-	F9-G0	-151	+87	$27.73 \pm 0.65$	1.2
	C	-	7.63	-	-	G0-1	-151	+87	-	1.0
15589+2147 9865	A	1.40	8.45	0.89	5.17	K4(G8 V)(K5 III)	-16	+29	$3.0 \pm 1.0$	1.0
	B	0.29	9.25	-	-	A2-7 V	-17	-13	2.3	2.1
	C	-	9.7	-	-	K(A5-7 III-V)	+3	+30	0.0	1.9
16579+4722 10288	A	0.98	7.82	-	-	K0 V	-147	+272	$54.6 \pm 0.6$	0.7
	B	1.47	11.19	0.78	6.09	-	-147	+272	$54.6 \pm 0.6$	0.4
	C	1.04	7.88	0.56	5.54	K0-3 V	-143	+245	$56.2 \pm 0.5$	0.7

Таблица 2. ПВД для двойных подсистем кратных звезд

WDS/ADS	Пара	$t$	$\rho \pm \sigma$	$\theta \pm \sigma$	$\mu \pm \sigma$	$\psi \pm \sigma$	$N$	$t_1-t_2$
00057+4549 48	AB	1966.0	$5.767 \pm .004$	$167.212 \pm .034$	$0.0476 \pm .0009$	$238 \pm 1$	8	1961–1970
		1995.0	$6.066 \pm .006$	$179.708 \pm .019$	—	—	6	1994–1995
	AF	1966.0	$327.591 \pm .010$	$253.780 \pm .015$	—	—	9	1961–1971
		1995.0	$328.074 \pm .007$	$253.768 \pm .005$	—	—	5	1994–1995
	(AB)F	1980.0	$327.379 \pm .005$	$254.249 \pm .002$	$0.0035 \pm .0011$	$61 \pm 28$	128	1961–1995
01393+5257 1289	AB	1900.0	$10.059 \pm .122$	$223.018 \pm .234$	$0.0101 \pm .0032$	$68 \pm 10$	15	1827–1923
		1978.0	$9.509 \pm .008$	$220.602 \pm .016$	$0.0082 \pm .0005$	$75 \pm 2$	17	1961–1993
	AC	1900.0	$107.130 \pm .078$	$88.294 \pm .102$	—	—	4	1881–1908
		1978.0	$107.933 \pm .012$	$88.260 \pm .009$	$0.0155 \pm .0011$	$38 \pm 3$	16	1961–1993
	BC	1978.0	$114.522 \pm .014$	$84.727 \pm .009$	$0.0098 \pm .0011$	$25 \pm 6$	16	1961–1993
		(AB)C	1978.0	$110.996 \pm .012$	$86.552 \pm .009$	$0.0126 \pm .0010$	$27 \pm 4$	—
02122+4440 1693	AB	1920.0	$8.548 \pm .019$	$33.000 \pm .253$	$0.0021 \pm .0005$	$83 \pm 12$	10	1894–2013
		1990.0	$8.640 \pm .005$	$33.934 \pm .028$	$0.0025 \pm .0004$	$90 \pm 10$	11	1976–2005
	AC	1920.0	$13.597 \pm .022$	$196.921 \pm .365$	$0.0077 \pm .0012$	$94 \pm 3$	10	1894–2013
		1990.0	$13.465 \pm .005$	$194.706 \pm .030$	$0.0152 \pm .0006$	$89 \pm 1$	11	1976–2005
	AD	1920.0	$24.345 \pm .091$	$285.545 \pm .162$	$0.0103 \pm .0011$	$103 \pm 4$	7	1908–2013
		1990.0	$23.646 \pm .014$	$285.246 \pm .028$	$0.0101 \pm .0014$	$95 \pm 7$	11	1976–2005
	CD	1990.0	$27.417 \pm .019$	$314.967 \pm .053$	$0.0129 \pm .0016$	$335 \pm 12$	11	1976–2005
02322+5415 1918	AB	1910.0	$7.942 \pm .035$	$308.667 \pm .673$	$0.0043 \pm .0012$	$18 \pm 9$	21	1831–2006
		1985.0	$8.048 \pm .004$	$310.887 \pm .052$	$0.0046 \pm .0006$	$18 \pm 5$	31	1963–2005
	AC	1910.0	$8.287 \pm .059$	$355.310 \pm .472$	$0.0069 \pm .0010$	$289 \pm 7$	20	1831–2006
		1985.0	$8.545 \pm .004$	$351.649 \pm .045$	$0.0067 \pm .0006$	$270 \pm 3$	31	1963–2005
	BC	1910.0	$6.301 \pm .122$	$58.420 \pm .836$	$0.0069 \pm .0020$	$264 \pm 14$	17	1831–2004
		1985.0	$5.812 \pm .006$	$56.766 \pm .043$	$0.0093 \pm .0005$	$243 \pm 2$	30	1963–2005
04009+2312 2926	AB	1850.0	$7.336 \pm .046$	$128.702 \pm .157$	$0.0017 \pm .0003$	$71 \pm 14$	95	1823–2013
		1990.0	$7.444 \pm .027$	$127.245 \pm .033$	—	—	8	1982–2002
	AC	1850.0	$58.034 \pm .166$	$241.475 \pm .112$	$0.0018 \pm .0012$	$344 \pm 54$	34	1831–2012
		1990.0	$57.943 \pm .011$	$241.896 \pm .022$	—	—	8	1982–2002
	(AB)C	1850.0	$59.301 \pm .151$	$244.233 \pm .129$	$0.0019 \pm .0014$	$32 \pm 46$	—	—
06034+2738 4629	AB	1920.0	$12.082 \pm .026$	$256.994 \pm .182$	$0.0140 \pm .0006$	$13 \pm 2$	44	1830–2007
		1990.0	$11.601 \pm .003$	$261.492 \pm .017$	$0.0136 \pm .0006$	$17 \pm 2$	20	1982–1998
	AC	1920.0	$25.192 \pm .058$	$188.853 \pm .087$	$0.0015 \pm .0010$	$183 \pm 26$	14	1831–2007
		1990.0	$25.341 \pm .009$	$188.847 \pm .016$	$0.0036 \pm .0015$	$157 \pm 21$	20	1982–1998
	BC	1920.0	$23.697 \pm .138$	$160.641 \pm .192$	$0.0141 \pm .0029$	$192 \pm 9$	11	1831–2007
		1990.0	$24.502 \pm .006$	$162.011 \pm .016$	$0.0153 \pm .0010$	$188 \pm 4$	20	1982–1998
09343+6648 7425	AB	1880.0	$10.513 \pm .033$	$247.920 \pm .157$	$0.0025 \pm .0004$	$23 \pm 11$	62	1830–2012
		1990.0	$10.276 \pm .005$	$248.925 \pm .022$	$0.0023 \pm .0010$	$45 \pm 20$	7	1984–1998
	AC	1880.0	$130.717 \pm .129$	$214.647 \pm .115$	$0.0189 \pm .0039$	$299 \pm 5$	13	1830–2003
		1990.0	$130.846 \pm .018$	$215.500 \pm .012$	—	—	7	1984–1998
	BC	1880.0	$121.741 \pm .070$	$211.961 \pm .069$	$0.0193 \pm .0021$	$285 \pm 4$	20	1830–2003

Таблица 2. (Продолжение)

WDS/ADS	Пара	$t$	$\rho \pm \sigma$	$\theta \pm \sigma$	$\mu \pm \sigma$	$\psi \pm \sigma$	$N$	$t_1-t_2$
		1990.0	122.405 ± .018	212.843 ± .010	0.0076 ± .0036	278 ± 22	7	1984–1998
	(AB)C	1880.0	126.515 ± .198	213.389 ± .098	0.0188 ± .0033	295 ± 8	—	—
09354+3958	AB	1922.0	24.824 ± .032	148.581 ± .090	0.0040 ± .0006	204 ± 9	43	1831–2014
7438		1995.0	25.011 ± .008	149.209 ± .026	0.0032 ± .0012	82 ± 18	11	1984–2005
	AC	1922.0	117.573 ± .082	324.363 ± .055	0.0433 ± .0019	223 ± 1	32	1824–2014
		1995.0	116.775 ± .023	322.774 ± .010	0.0480 ± .0021	222 ± 3	11	1984–2005
	(AB)C	1922.0	124.804 ± .098	324.608 ± .046	0.0423 ± .0015	233 ± 2	—	—
		1995.0	124.035 ± .022	323.152 ± .010	0.0487 ± .0023	223 ± 3	—	—
11551+4629	(AB)C	1850.0	3.837 ± .026	35.305 ± .271	0.0028 ± .0002	125 ± 5	67	1782–2012
8347		1990.0	3.737 ± .019	41.692 ± .080	0.0040 ± .0008	146 ± 30	30	1970–2006
	(AB)D	1850.0	63.017 ± .055	112.290 ± .113	0.0119 ± .0013	202 ± 2	46	1843–2012
		1990.0	63.004 ± .008	113.805 ± .005	0.0020 ± .0010	107 ± 20	29	1970–2006
$M_1 = 10.2$	(ABC)D	1850.0	62.826 ± .079	113.065 ± .101	0.0118 ± .0011	205 ± 4	—	—
		1990.0	62.748 ± .008	114.543 ± .006	0.0014 ± .0011	83 ± 32	—	—
$M_1 = 7.2$	(ABC)D	1850.0	62.772 ± .079	113.293 ± .101	0.0117 ± .0011	206 ± 4	—	—
		1990.0	62.675 ± .008	114.761 ± .007	0.0013 ± .0011	73 ± 37	—	—
14375+4743	AB	1910.0	4.569 ± .111	13.198 ± .707	0.0015 ± .0008	104 ± 63	10	1908–2013
9327		2000.0	4.791 ± .035	14.587 ± .248	0.0019 ± .0014	15 ± 26	10	1964–2006
	AC	1910.0	79.387 ± .199	116.940 ± .120	0.0112 ± .0028	240 ± 15	13	1898–2009
		2000.0	78.719 ± .019	117.447 ± .014	0.0137 ± .0009	244 ± 3	10	1964–2006
$M_B = 0.6$	(AB)C	1910.0	79.841 ± .191	118.214 ± .131	0.0116 ± .0029	242 ± 14	—	—
		2000.0	79.168 ± .022	118.799 ± .017	0.0142 ± .0009	242 ± 4	—	—
$M_B = 1.2$	(AB)C	1910.0	80.047 ± .193	118.756 ± .134	0.0118 ± .0029	243 ± 15	—	—
		2000.0	79.373 ± .024	119.374 ± .019	0.0144 ± .0010	241 ± 4	—	—
15245+3723	Aa(BC)	2011.0	107.969 ± .008	170.839 ± .006	0.0029 ± .0004	322 ± 10	98	1821–2005
9626								
15589+2147	AB	1850.0	56.294 ± .100	58.445 ± .249	0.0207 ± .0023	155 ± 2	20	1832–2012
9865		1990.0	56.196 ± .047	61.511 ± .067	0.0136 ± .0034	71 ± 16	17	1964–2006
	AC	1850.0	60.050 ± .205	56.438 ± .136	0.0232 ± .0013	161 ± 4	16	1871–2012
		1990.0	59.026 ± .047	59.521 ± .058	0.0060 ± .0045	212 ± 41	17	1964–2006
	BC	1850.0	3.833 ± .064	27.770 ± .198	0.0013 ± .0005	352 ± 16	32	1831–2012
		1990.0	3.482 ± .080	26.152 ± .121	—	—	14	1964–2006
	A(BC)	1850.0	57.869 ± .175	57.528 ± .199	0.0201 ± .0020	154 ± 4	—	—
16579+4722	AB	1920.0	3.387 ± .088	52.841 ± .419	0.0207 ± .0012	71 ± 1	32	1908–2007
10288		2000.0	4.889 ± .016	61.999 ± .132	0.0083 ± .0027	90 ± 16	11	1993–2007
	AC	1920.0	113.498 ± .058	261.905 ± .072	0.0151 ± .0013	110 ± 7	39	1823–2011
		2000.0	112.502 ± .014	261.669 ± .008	0.0111 ± .0025	127 ± 13	12	1993–2007
	(AB)C	1920.0	114.576 ± .093	261.606 ± .167	0.0104 ± .0016	137 ± 9	—	—
		2000.0	114.178 ± .015	261.365 ± .008	0.0089 ± .0027	139 ± 17	—	—

(7) спектральные классы (если компонент сам является кратной системой, то приведены спектральные классы компонентов этой подсистемы, разделенные знаком «+»);

(8) собственные движения  $\mu_x$ ;

(9) собственные движения  $\mu_y$ ;

(10) параллакс компонента (тригонометрические параллаксы, если они известны, взяты из каталога Ван Лейвена [4]; фотометрические параллаксы оценены авторами данной работы по видимым величинам, показателям цвета и спектральным классам компонентов); для тригонометрических параллаксов приведены ошибки;

(11) массы компонентов, оцененные авторами данной работы по эволюционным трекам Джирарди и др. [5]; контроль оценок осуществлялся по спектральным классам компонентов с привлечением справочника Аллена под редакцией Кокса [6]. Для оценки масс компонентов ADS 8347 использованы данные из работы Заше и др. [7].

Данные о собственных движениях, видимых величинах, показателях цвета и спектральных классах компонентов взяты из базы данных SIMBAD<sup>1</sup> или из оригинальной работы Аносовой и др. [8] (для систем ADS 2926, 7425, 7438 и 9865). Данные о спектральных классах и массах компонентов системы ADS 9626 взяты из работы Кияевой и др. [9].

Для вычислений нам требуются положения всех компонентов относительно одного, который мы рассматриваем как главный, для одних и тех же моментов времени, удаленных друг от друга. Для получения более точных положений мы выравниваем ряды наблюдений и определяем параметры видимого движения (ПВД) для фиксированных моментов времени (см. монографию Киселева [10]):  $\rho$  и  $\theta$  — угловое расстояние между спутником и главным компонентом и позиционный угол спутника относительно главного компонента;  $\mu$  и  $\psi$  — величина и позиционный угол видимого относительного движения спутника. Перечисленные величины  $\rho$ ,  $\theta$ ,  $\mu$ ,  $\psi$  приведены в таблице 2. В ней также приводятся номера звезд по каталогам WDS и ADS, указатели пар компонентов, моменты времени, используемое для выравнивания число позиционных наблюдений, начальные и конечные эпохи рядов. ПВД для второй эпохи вычисляются по однородным рядам наблюдений, полученным на 26-дюймовом рефракторе Пулковской обсерватории. Параметры относительного движения  $\mu$  и  $\psi$  не всегда получаются достаточно точно. Это связано с точностью наблюдений ряда и его длиной. В вычислениях эти параметры не используются, но

они характеризуют ряд в целом, поэтому мы их также приводим в таблице 2. Для иерархических систем мы приводим также ПВД внешней пары относительно центра масс внутренней системы, полученные пересчетом попарных значений ПВД.

### 3. ОЦЕНКИ ВЕРОЯТНОСТЕЙ ФИЗИЧЕСКОЙ СВЯЗИ

Для вычисления вероятности физической связи компонентов рассматривались относительные движения в двойных подсистемах.

Пусть у нас есть изолированная система произвольной иерархии, состоящая из  $n$  компонентов, и известны положения всех компонентов относительно первого (главного) компонента, соответствующие двум эпохам:  $t_1$  и  $t_2$  (см. таблицу 2). Тогда координаты центра масс системы (в астрономических единицах) для первого момента вычисляются по формуле

$$x_{c,1} = \frac{x'_{1,1}M_1 + x'_{2,1}M_2 + \dots + x'_{n,1}M_n}{M_1 + M_2 + \dots + M_n},$$

$$y_{c,1} = \frac{y'_{1,1}M_1 + y'_{2,1}M_2 + \dots + y'_{n,1}M_n}{M_1 + M_2 + \dots + M_n},$$

где

$$x'_{1,1} = y'_{1,1} = 0; \quad x'_{i,1} = \rho_{i,1} \sin \theta_{i,1}/\pi;$$

$$y'_{i,1} = \rho_{i,1} \cos \theta_{i,1}/\pi; \quad i = 2, \dots, n;$$

$M_i$  — массы компонентов (в массах Солнца),  $\pi$  — параллакс (в секундах дуги), который считается единым для всей системы. Координаты компонентов относительно центра масс

$$x_{i,1} = x'_{i,1} - x_{c,1}; \quad y_{i,1} = y'_{i,1} - y_{c,1}; \quad i = 1, \dots, n.$$

По аналогичным формулам для момента  $t_2$  получаем координаты  $x_{c,2}$ ,  $y_{c,2}$ ,  $x_{i,2}$ ,  $y_{i,2}$ .

Если полагать положение центра масс неподвижным, а скорость постоянной на отрезке времени  $(t_1, t_2)$ , векторы положения и скорости каждого компонента в средний момент времени  $t_3$

$$\vec{r}_i = \{x_{i,3}, y_{i,3}, z_{i,3}\}, \quad \vec{v}_i = \{v_{x,i}, v_{y,i}, v_{z,i}\}.$$

Здесь

$$v_{x,i} = (x_{i,2} - x_{i,1})/(t_2 - t_1),$$

$$v_{y,i} = (y_{i,2} - y_{i,1})/(t_2 - t_1).$$

Положения в средний момент времени  $t_3$  определяются как средние из положений в моменты времени  $t_1$  и  $t_2$ .

Так как мы рассматриваем движение в картинной плоскости, то вычисляем векторы  $\vec{r}_{S,i}$

<sup>1</sup><http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/>

Таблица 3. Вероятности физической связанности кратных звезд

WDS/ADS	$\pi \pm \sigma$ , мсд	Комп.	Масса $\pm \sigma$ , $M_{\odot}$	$\kappa$	$\kappa' \pm \sigma$	$P$ , %	$\pi_{crit}$
01393+5257 1289	1.8 .6	ABC	1.8 + 1.6 + 1.4 .1 .1 .1	0.0015	0.0015 .0005	0	15.7
02122+4440 1693	6.2 .8	ABC	1.2 + 0.85 + 0.75 .1 .1 .1	0.14	0.15 .08	0	11.8
	6.2 .8	ABCD	1.2 + 0.85 + 0.75 + 0.90 .1 .1 .1 .1	0.09	0.09 .02	0	14.0
02322+5415 1918	2.4 .3	ABC	1.8 + 1.4 + 1.65 .1 .1 .1	0.13	0.13 .03	0	10.3
04009+2312 2926	3.0	ABC	3.7 + 2.7 + 2.0	0.2	0.2	0.5	5.3
	1.4		.5 .5 .3		.2		
	6.2 .8	ABC	3.7 + 2.7 + 2.0 .5 .5 .3	1.6	1.8 1.4	75.2	5.3
06034+2738 4629	5.8 .7	ABC	1.5 + 1.6 + 0.9 .1 .1 .1	0.020	0.020 .002	0	21.3
	11.3	ABC	0.9 + 1.6 + 0.9	0.11	0.11	0	23.5
	5.2		.1 .1 .1		.01		
09343+6648 7425	4.4 1.9	ABC	1.4 + 1.3 + 1.1 .2 .1 .1	0.005	0.005 .001	0	25.2
09354+3958 7438	11.7 .9	ABC	4.0 + 1.65 + 1.3 .2 .15 .2	0.0198	0.020 .0030	0	43.6
11551+4629 8347	4.0 .4	(AB)CD	8.2 + 2.0 + 3.0 1.8 .2 .2	0.07	0.07 .02	0	9.5
	4.0 .4	(AB)CD	8.2 + 2.0 + 4.5 1.8 .5 .5	0.06	0.06 .02	0	10.3
	4.0 .4	(AB)CD	5.2 + 2.0 + 3.0 1.0 .3 .2	0.05	0.05 .01	0	10.6
	4.0 .4	(AB)CD	5.2 + 2.0 + 4.5 1.0 .5 .5	0.04	0.04 .01	0	11.4
14375+4743 9327	12.0	ABC	0.9 + 1.2 + 1.6	0.27	0.29	0.1	18.5
	2.0		.1 .3 .3		.12		
	12.0 2.0	ABC	0.9 + 0.6 + 1.6 .1 .1 .1	0.18	0.19 .08	0	21.1
	12.0 2.0	ABC	0.9 + 0.6 + 0.8 .1 .1 .1	0.24	0.26 .11	0.1	19.2
15589+2147 9865	3.0 1.0	ABC	1.0 + 2.1 + 1.9 .1 .3 .3	0.005	0.005 .001	0	17.1

и  $\vec{v}_{S,i}$ , у которых  $z_{i,3} = v_{z,i} = 0$ . Для контрольных звезд с известными лучевыми скоростями компонентов  $v_{r,i}$ , измеренными в км с<sup>-1</sup>,  $v_{z,i} = (v_{r,i} - v_{r,c})/4.74$  а.е./год, где

$$v_{r,c} = \frac{v_{r,1}M_1 + v_{r,2}M_2 + \dots + v_{r,n}M_n}{M_1 + M_2 + \dots + M_n}.$$

Координаты в картинной плоскости интерполируются на момент времени  $t_3$ , который выбирается близким к моменту измерения лучевых скоростей.

Полная энергия системы  $E = T + U$ , где  $T$  — кинетическая энергия системы,  $U$  — потенциальная энергия:

$$T = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n M_i v_i^2, \quad (2)$$

$$U = -G \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \frac{M_i M_j}{r_{ij}}, \quad (3)$$

где  $G$  — гравитационная постоянная. Мы измеряем расстояния в астрономических единицах, массы — в массах Солнца, а скорости — в а.е./год. Тогда  $G = 4\pi^2$ .

Так как в данной работе мы рассматриваем только движение в картинной плоскости, то выполняются неравенства:  $T_S \leq T$ ,  $|U_S| \geq |U|$  и отношение

$$\kappa = \frac{|U_S|}{T_S} \geq \frac{|U|}{T}. \quad (4)$$

Если  $\kappa < 1$ , то система не связана; если  $\kappa > 1$ , то система может быть связанной.

Методом Монте-Карло были оценены вероятности того, что  $\kappa > 1$ . Все исходные параметры варьировались случайным образом по нормальному закону с дисперсией, равной квадрату средней ошибки данного параметра, и математическим ожиданием, равным исходному значению. Параметры считались независимыми. Всего проводилось по 10 000 испытаний.

Отметим, что в настоящей работе мы рассматриваем только визуальные кратные системы. Если в какой-либо кратной системе имеются тесные неразделенные подсистемы, то мы не учитываем их внутреннее движение, поскольку, в частности, нет позиционных наблюдений в первые эпохи. Мы предполагаем, что фотоцентр подсистемы совпадает с ее центром масс, и систематическая ошибка входит в состав случайной. Мы можем увеличить массу подсистемы за счет невидимого спутника, однако это не должно сильно изменить оценку вероятности физической связи.

Также оценивались вероятности попарной связи компонентов. В этом случае мы использовали тот

же алгоритм при  $n = 2$  и контролировали результат, используя параметры видимого движения, полученные при выравнивании рядов (см. таблицу 2), если параметр  $\mu$  определялся достаточно точно. Применялась следующая формула:

$$\kappa = \frac{|U_S|}{T_S} = \frac{2k^2\pi^3}{\rho\mu^2}, \quad (5)$$

где  $k^2 = G(M_1 + M_2)$ ,  $\pi$  — параллакс.

Результаты представлены в таблицах 3 и 4, где приведены следующие характеристики:

- (1) номера звезд по каталогам WDS и ADS;
- (2) параллаксы и их ошибки;
- (3) указатели систем или подсистем компонентов;
- (4) массы компонентов с ошибками;
- (5) значения  $\kappa$ ;
- (6) значения  $\kappa'$  — средние значения, полученные при вариации наблюдательных данных с учетом их ошибок;
- (7) вероятности  $P$  физической связанности системы или подсистемы;
- (8) критические значения параллаксов, при которых возможна физическая связанность компонентов ( $\kappa = 1$ ).

Для контрольных звезд результаты представлены в таблице 5, где приводятся также лучевые скорости компонентов.

#### 4. КОММЕНТАРИИ К ТАБЛИЦАМ

*ADS 1289.* Есть расхождения в идентификации компонентов А и В. Мы принимаем за компонент А более яркую звезду. Компоненты А и В имеют практически одинаковые спектры, но существенно различающиеся видимые величины. Для компонента С спектральный класс А не соответствует показателям цвета, мы определили спектральный класс как КЗ III. При вычислениях мы используем средний (по компонентам) фотометрический параллакс. При таком малом фотометрическом параллаксе система физически не связана.

*ADS 1693.* Компонент А — затменно-двойная. Компонент D — оптический, так как отличается по собственному движению, наши вычисления это подтверждают. Как тройная система ABC физически не связана. Так как фотометрические параллаксы компонентов С и D близки, мы проверили их связь, однако результат получился отрицательный. Возможна физическая связь компонентов А и В, так как критическое значение параллакса близко к тригонометрическому параллаксу.

*ADS 1918.* Компонент D слишком слабый, чтобы быть физически связанным, поэтому мы его не рассматриваем. В каталоге WDS компонент A — субгигант B9 IV(n), а по показателю цвета  $B - V$  компоненту A больше подходит спектр A7 V, компоненту B — F4. Если считать, что все компоненты имеют спектральный класс A (данные SIMBAD), то принятые нами массы  $1.8 + 1.4 + 1.6$  не противоречат формуле

$$\lg(M_1/M_2) = 0.12 \Delta m. \quad (6)$$

При малом фотометрическом параллаксе система не связана.

*ADS 2926.* Собственные движения всех компонентов близки. Система подробно исследовалась в работе Аносовой и др. [8]. Для компонента A четко получается спектр B9 V, тогда масса равна  $3.7 \pm 0.5 M_\odot$ . Для компонента B в работе [8] приводится спектр A0 V, но по разности видимых величин спектр B должен быть более поздний, чем A0. Принимаем массу этого компонента равной  $2.7 \pm 0.5 M_\odot$ . Для компонента C в работе [8] получен спектральный класс F2 IV–V, что согласуется с показателем цвета  $B - V$  с учетом избытка цвета, равного примерно 0.15. Принимаем массу этого компонента равной  $2.0 \pm 0.3 M_\odot$ . В работе [8] также получена оценка фотометрического расстояния  $160 \pm 20$  пк. Мы выполнили вычисления с тригонометрическим параллаксом  $3.0 \pm 1.4$  мсд и с фотометрическим параллаксом  $6.2 \pm 0.8$  мсд. Данная тройная система может быть физически связанной. Довольно велика вероятность связи тесной пары AB.

*ADS 4629.* Имеется хорошее согласие спектров и показателей цвета для компонентов B и C, но наблюдается рассогласование для компонента A. Мы рассмотрели два варианта. Если опираться на приведенный в SIMBAD спектральный класс F2, то оцениваем массу A как  $1.5 \pm 0.1 M_\odot$ , средний фотометрический параллакс равен  $5.8 \pm 0.7$  мсд. Если опираться на показатели цвета, то получается  $M_A = 0.9 \pm 0.1 M_\odot$ , и средний фотометрический параллакс равен  $11.3 \pm 5.2$  мсд. Были рассмотрены оба варианта. В результате получаем, что компонент B — оптический, однако вероятность физической связи пары AC отлична от нуля.

*ADS 7425.* У всех компонентов общие собственные движения, компоненты A и B — звезды из каталога Hipparcos — имеют близкие значения тригонометрического параллакса (таблица 1). Компоненты B и C имеют близкие значения лучевой скорости [11], однако лучевые скорости компонентов A и B сильно различаются [12]. В работе Абта [13] и в каталоге WDS все три компонента —

звезды главной последовательности: для компонента A спектральный класс — F4 V, для компонентов B и C — F6 V. В этом случае средний фотометрический параллакс равен  $11.0 \pm 0.4$  мсд. В работе Аносовой и др. [8] все компоненты — гиганты класса F6 III, тогда фотометрический параллакс равен  $4.3 \pm 0.1$  мсд, что хорошо согласуется с тригонометрическим параллаксом. В этой же работе указано, что компонент A — спектроскопическая двойная, но тогда она должна быть ярче, что не наблюдается. Поэтому при расчетах мы не учитываем массу возможного спутника. Массы компонентов мы оценивали по показателям цвета с учетом того, что компонент C слабее. В результате наших исследований оказалось, что система физически не связана, если опираться на маленький тригонометрический параллакс, но разница между критическим и тригонометрическим параллаксом для пары AB невелика. Компонент C — оптический. Кроме того, следует отметить большой разброс в позиционных наблюдениях пар AB и AC, что может указывать на наличие спутника у компонента A. В этом случае масса компонента A в реальности больше и не исключено, что пара AB является физически связанной. Для более уверенного вывода необходимо уточнить параллакс системы, поскольку собственные движения компонентов довольно велики и неплохо согласуются между собой.

*ADS 7438.* Компонент A — тройная звезда, компонент B — двойная. Данные о спектральных классах компонентов из разных источников различаются (см. таблицу 1). Суммарные массы компонентов A и B взяты из каталога MSC [14]. Для компонента C показатель цвета соответствует спектру F5 V, как и в работе Аносовой и др. [8]. Соответственно, масса  $M_C = 1.3 \pm 0.2 M_\odot$ . Наше исследование показало, что компонент C — оптический, что подтверждается собственными движениями. Направления относительного движения пары AB, полученные по двум рядам, расходятся, т.к. оба компонента имеют спутники. Пара AB связана с вероятностью 87%.

*ADS 8347.* Мы используем результаты, полученные в [7] и [14]. Заше и др. [7] считают, что система шестикратная. Самая внутренняя пара Aa (затменная двойная с периодом 1.7 суток) образует спектральную двойную с компонентом b, период равен 640 дням. Эта двойная формирует двойную AabB ( $\rho = 0.3''$ ) с периодом 120 лет, которая, в свою очередь, образует двойную с компонентом C — период 14 000 лет, а эта двойная образует самую широкую двойную с компонентом D с периодом около 600 000 лет. Заше и др. [7] оценили суммарную массу четверной системы AabB, которая составляет  $8.25 \pm 1.85 M_\odot$ , и расстояние до



Таблица 4. Вероятности физической связанности отдельных двойных подсистем кратных звезд

WDS/ADS	$\pi \pm \sigma$ , мсд	Комп.	Масса $\pm \sigma$ , $M_{\odot}$	$\kappa$	$\kappa' \pm \sigma$	$P$ , %	$\pi_{\text{crit}}$
01393+5257 1289	1.8	AB	1.8 + 1.6	0.002	0.002	0	14.2
	.6		.1 .1		.001		
	1.8	AC	1.8 + 1.4	0.00013	0.00013	0	35.7
.6		.1 .1			.00004		
1.8	BC	1.6 + 1.4	0.00013	0.00018	0	35.9	
.6		.1 .1			.00017		
02122+4440 1693	6.2	AB	1.2 + 0.85	0.7	0.8	21.1	7.1
	.8		.1 .1		.4		
	6.2	AC	1.2 + 0.75	0.012	0.012	0	27.2
	.8		.1 .1		.005		
6.2	BC	0.85 + 0.75	0.006	0.007	0	33.1	
.1		.1 .1			.003		
4.4	CD	0.92 + 0.87	0.0026	0.0028	0	31.8	
.1					.0008		
02322+5415 1918	2.4	AB	1.8 + 1.4	0.02	0.03	0	8.4
	.1				.05		
	2.4	AC	1.8 + 1.6	0.007	0.007	0	12.6
.1					.003		
2.4	BC	1.4 + 1.65	0.011	0.015	0	10.7	
.3		.1 .1			.023		
04009+2312 2926	3.0	AB	3.7 + 2.7	0.8	0.9	27.0	3.3
	1.4		.5 .5		1.0		
	6.2	AB	3.7 + 2.7	6.8	8.2	100	3.3
.8		.5 .5			8.8		
06034+2738 4629	5.8	AB	1.5 + 1.6	0.018	0.018	0	22.0
	.7		0.1 .1		.002		
	5.8	AC	1.5 + 0.9	0.3	0.6	10.4	8.5
	.7		0.1 .1		1.6		
	5.8	BC	1.6 + 0.9	0.007	0.007	0	30.7
	.7		.1 .1			.002	
	11.3	AB	0.9 + 1.6	0.11	0.11	0	22.4
	5.2		0.1 .1		.01		
11.3	AC	0.9 + 0.9	1.8	3.6	63.3	9.3	
5.2		0.1 .1		9.9			
11.3	BC	1.6 + 0.9	0.06	0.06	0	29.0	
5.2		.1 .1			.03		
09343+6648 7425	4.4	AB	1.4 + 1.3	0.24	0.25	0	7.1
	1.9		.2 .1		.08		

Таблица 4. (Продолжение)

WDS/ADS	$\pi \pm \sigma$ , мсд	Комп.	Масса $\pm \sigma$ , $M_{\odot}$	$\kappa$	$\kappa' \pm \sigma$	$P$ , %	$\pi_{\text{crit}}$
	4.4	АС	1.4 + 1.1	0.0004	0.0004	0	59.3
	1.9		.2 .1		.0002		
	4.4	ВС	1.3 + 1.1	0.0004	0.0004	0	59.6
	1.9		.2 .1		.0001		
09354+3958	11.8	АВ	4.0 + 1.65	1.4	1.5	88.6	10.4
7438	.9		.2 .1		.5		
11551+4629	4.0	(АВ)С	8.2 + 2.0	2.4	2.4	99.7	3.0
8347	.4		1.8 .2		.7		
	4.0	(АВ)С	5.2 + 2.0	1.0	1.2	45.4	4.0
	.4		1.0 .5		.2		
ПВД 1990.0	4.0	(АВС)D	10.2 + 4.5	0.7	3.4	39.0	4.5
	.4		2.0 .5		8.7		
ПВД 1990.0	4.0	(АВС)D	7.2 + 3.0	0.5	2.4	31.6	5.1
	.4		1.4 .2		6.0		
14375+4743	12.0	АВ	0.9 + 0.6	5.4	10.0	99.2	6.8
9327	2.0		.1 .1		27.3		
ПВД 1910.0	12.0	(АВ)С	2.1 + 1.6	0.045	0.066	0.1	33.6
	2.0		.2 .2		.091		
ПВД 2000.0	12.0	(АВ)С	2.1 + 1.6	0.031	0.034	0	38.3
	2.0		.2 .2		.018		
15589+2147	3.0	ВС	2.1 + 1.9	0.34	0.42	4.7	4.3
9865	1.0		.3 .3		.67		

системы  $234 \pm 29$  пк ( $\pi = 4.3 \pm 0.6$  мсд), что согласуется со средним значением тригонометрического параллакса  $4.0 \pm 0.4$  мсд, который мы используем в вычислениях. Согласно каталогу MSC, масса АВ равна  $5.2 M_{\odot}$ . Согласно спектральному классу, масса компонента D равна  $3 M_{\odot}$ , что согласуется с данными каталога [14]. Если предположить, что вся система физическая, то из сравнения звездных величин С и D можно оценить массу компонента С как  $2 M_{\odot}$ . В 2009 г. был открыт тесный компонент звезды D спектрального класса F [15]. Тогда суммарная масса компонента D равна  $4.5 M_{\odot}$ , а масса компонента С остается неопределенной.

Мы рассмотрели несколько вариантов. Обращаем внимание на то, что параметры относительного движения ( $\mu$ ,  $\psi$ ) внешней пары, полученные на эпохи 1850.0 и 1990.0, сильно различаются (см. таблицу 2). Это можно объяснить тем, что интервал наблюдений второго ряда (36 лет) меньше орбитального периода четверной системы АabВ (120 лет). Поэтому большего доверия заслуживают

ПВД, полученные на эпоху 1850.0. Тогда система (АВ)CD — оптическая, система (АВ)С — вероятно, физическая (см. таблицы 3 и 4). Вторая причина расхождения — большой разброс в разнородных наблюдениях пары (АВ)D. Если все же опираться на ПВД 1990.0 и вычислять вероятность связности внешней пары по формуле (5), то получаем, что система (АВ)CD может быть связанной с вероятностью 32% при минимальной массе системы и 39% при максимальной массе (таблица 4).

*ADS 9327.* Собственные движения и лучевые скорости [11] компонентов А и С согласуются, но движение далекого компонента С относительно центра масс АВ больше, чем относительное движение внутренней пары АВ (таблица 2), чего в связанной системе быть не должно. Массы компонентов А и С оцениваются по спектрам. При этом мы удвоили массу С, так как по наблюдениям на спутнике Hipparcos оказалось, что это тесная двойная звезда ( $\rho = 0''.46$ ,  $\Delta m = 0^m.23$ ). Если считать, что компонент В — звезда главной последовательности,

Таблица 5. Вероятности физической связанности контрольных кратных звезд

WDS/ADS	$\pi \pm \sigma$ , мсд	Комп.	Масса $\pm \sigma$ , $M_{\odot}$	$V_r \pm \sigma$ , км/с	$\kappa$	$\kappa' \pm \sigma$	$P$ , %	$\pi_{\text{crit}}$
00057+4549 48	88.7	ABF	0.6 + 0.5 + 0.4	(+0.8) + (-2.2) + (-1.0)	2.0	2.0	100	70.5
	1.6		.1 .1 .1	.2 .2 .3		0.3		
15245+3723 9626	28.0	Aa(BC)	3.1 + 2.2	(-11.6) + (-8.4)	0.2	0.7	12.9	45.5
	0.7		.3 .2	1.5 0.5		1.6		
	28.0	Aa(BC)	3.1 + 2.2	(-11.6) + (-8.4)	0.2	0.4	6.2	45.5
	0.7		.3 .2	1.0 0.5		0.7		
				0	9.8	10.6	100	13.0
						3.6		
16579+4722 10288	56.0	ABC	0.7 + 0.4 + 0.7	(-7.1) + (-8.0) + (-7.6)	6.2	5.9	100	30.2
	0.5		.1 .1 .1	0.2 0.3 0.2		1.4		
				0	8.6	8.5	100	26.9
						1.8		

то по разности звездных величин можно оценить массу:  $0.6 M_{\odot}$ . Однако отрицательный показатель цвета позволяет предположить, что компонент В не принадлежит главной последовательности. Мы рассмотрели два варианта, удвоив массу В, и получили, что компонент С — оптический, если при вычислении использовать средний фотометрический параллакс. Пара АВ — физическая, даже если считать  $M_B = 0.6 M_{\odot}$ .

*ADS 9865.* Данные о спектральных классах из опубликованных источников противоречивы. Мы опираемся на тригонометрический параллакс  $3 \pm 1$  мсд. Тогда для компонента А получаем абсолютную величину  $M_V = 0^m 8$ , спектральный класс (согласно справочнику Аллена [6]) G8 III и массу  $1.1 M_{\odot}$ . Если взять результаты [8], то спектральный класс — G8 V, и масса равна  $0.8 M_{\odot}$ . Мы используем оценку  $M_A = 1.0 \pm 0.2 M_{\odot}$ . Согласно [8], спектральные классы компонентов В и С близки. Тогда можно воспользоваться формулой (6) и получить  $M_B = 2.1 \pm 0.3 M_{\odot}$  и  $M_C = 1.9 \pm 0.3 M_{\odot}$ . Компонент А — оптический, пара ВС может быть физической, так как критическое значение параллакса согласуется с тригонометрическим параллаксом.

## 5. КОНТРОЛЬНЫЕ ЗВЕЗДЫ

Исследуя контрольные звезды, мы преследовали цель проверить эффективность нашего алгоритма и оценить влияние на результат лучевых скоростей, которые мы не учитывали.

Контрольная звезда ADS 48 ABF была подробно изучена на основе однородных пулковских наблюдений 1961–1996 гг. [16]. Именно эти наблюдения мы используем в данной работе, так как пара AF ранее практически не наблюдалась (только одно наблюдение AF в 1876 г.). Для линейного выравнивания выбраны два коротких участка (в начале и в конце ряда). Относительное движение по этим рядам не определяется, но для вычисления вероятности связи тройной системы этого не требуется. Используя ПВД внешней пары (AB)F, вычисленные по всему пулковскому ряду, мы также вычислили вероятность связи пары (AB)F по формуле (5).

Для звезды ADS 9626 мы рассматриваем только внешнюю пару Aa(BC), так как в WDS не разделяются наблюдения АВ, АС и А(BC) (пара ВС с  $\rho \approx 2''$  там обозначена BaBb). В работе [9] авторы учли известную орбиту ВС, получили ПВД внешней пары по всему ряду наблюдений (которые используем в данной работе) и пришли к выводу, что внешняя пара, вероятно, не связана. Этот вывод подтверждал тот факт, что химический состав звезд Аа отличается от химического состава звезд В и С. В настоящей работе мы получили вероятность связи 13%, если учитывать лучевые скорости, задавая ошибку лучевой скорости Аа равной  $1.5 \text{ км с}^{-1}$  с учетом максимального отклонения фотоцентра от центра масс пары Аа. Если задавать ошибку равной  $1 \text{ км с}^{-1}$ , что соответствует случайной ошибке наблюдения этой

пары, то вероятность связи равна 6%. Если не учитывать лучевые скорости, то вероятность связи равна 100% (см. таблицу 5). Этот результат не противоречит предыдущему выводу, но оставляет возможность физической связи.

Для внутренней и внешней пары ADS 10288 были получены элементы орбит [17]. У этой звезды известен точный тригонометрический параллакс. Если считать, что компоненты — звезды главной последовательности, то, согласно параллаксу и справочнику Аллена [6], визуальная абсолютная величина, спектральный класс и масса для компонента А равны  $6^m5$ , КЗ,  $0.7 M_{\odot}$ , для компонента В —  $9^m9$ , М2,  $0.4 M_{\odot}$ , для компонента С —  $6^m6$ , КЗ,  $0.7 M_{\odot}$  (таблица 1). Согласно показателям цвета, звезды могут не принадлежать главной последовательности, но все равно это красные карлики, и их массы существенно не изменятся. В результате получаем, что система определенно физическая.

## 6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе предложен алгоритм анализа рядов наблюдений кратных звезд разной иерархии с целью определения вероятности их физической связи. Рассмотрены тринадцать визуальных кратных звезд из Пулковской программы наблюдений. Три звезды — ADS 48, 9626 и 10288 — рассматриваются как контрольные. Исследуя их, мы убеждаемся в эффективности предлагаемого алгоритма.

Наши выводы опираются на данные о физических свойствах звезд, взятые из литературы, которые могут быть противоречивы. Вероятности могут измениться, если принять другие значения масс или параллакса, или если в системе имеются дополнительные еще не открытые компоненты.

Делая выводы о физической связи компонентов, мы учитываем следующие обстоятельства: величину коэффициента  $\kappa$ ; величину расхождения принятого значения параллакса с критическим значением; соотношение относительных движений компонентов во внутренних и внешних подсистемах; общее собственное движение, если оно не мало и система не слишком далекая.

Учет лучевой скорости может внести существенный вклад только в том случае, если без нее кратная система получается связанной.

Так как мы анализируем движение в картинной плоскости, мы получаем максимальные отношения модуля потенциальной энергии к кинетической ( $\kappa$  и  $\kappa'$ , таблицы 3 и 4). Из этого можно сделать вывод, что в системах ADS 1289 и 1918 все звезды, вероятно, одиночные. В остальных системах есть подсистемы, которые могут быть связанными. В системе ADS 4629 возможна физическая связь пары АС. Более близкий компонент В, вероятно, оптический. Вероятно, оптическим оказался

компонент С в системе ADS 9327, входящей в каталог кратных звезд MSC. Среди рассматриваемых систем связанными могут быть системы ADS 2926 ABC и ADS 8347 ABCD.

Есть надежда, что в ближайшем будущем по данным космического эксперимента Gaia для рассмотренных кратных звезд будут определены высокоточные тригонометрические параллаксы, которые можно будет сравнить с критическими значениями, вычисленными в данной работе, и подтвердить или опровергнуть наши выводы о физической связи компонентов в этих системах.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарят создателей Вашингтонского каталога двойных звезд (WDS) за предоставленные данные позиционных измерений. Авторы выражают глубокую признательность всем наблюдателям Пулковского 26-дюймового рефрактора за многолетние наблюдения двойных и кратных звезд.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. A. A. Kiselev, O. V. Kiyeva, I. S. Izmailov, et al., *Astronomy Reports* **58**, 78 (2014).
2. I. S. Izmailov, M. L. Khovrichcheva, M. Yu. Khovrichchev, et al., *Astronomy Letters* **36**, 349 (2010).
3. B. D. Mason, G. L. Wycoff, W. I. Hartkopf, et al., *Astron. J.* **122**, 3466 (2001).
4. F. van Leeuwen, *Astron. and Astrophys.* **474**, 653 (2007).
5. L. Girardi, A. Bressan, G. Bertelli, and C. Chiosi, *Astron. and Astrophys. Suppl.* **141**, 371 (2000).
6. *Allen's Astrophysical Quantities*, 4th ed., Ed. by A. N. Cox (AIP Press, New York; Springer, Berlin; 2000).
7. P. Zasche, R. Uhlár, M. Slechta, et al., *Astron. and Astrophys.* **542**, A78 (2012).
8. Z. P. Anosova, E. V. Berdnik, and L. G. Romanenko, *Astron. Tsirkular*, No. 1517, 1 (1987).
9. O. V. Kiyeva, R. Ya. Zhuchkov, E. V. Malogolovets, et al., *Astronomy Reports* **58**, 835 (2014).
10. А. А. Киселев, *Теоретические основания фотографической астрометрии* (Наука, Москва, 1989).
11. A. A. Tokovinin and M. G. Smekhov, *Astron. and Astrophys.* **382**, 118 (2002).
12. J. H. J. de Bruijne and A.-C. Eilers, *Astron. and Astrophys.* **546**, 61 (2012).
13. H. A. Abt, *Astrophys. J. Suppl.* **45**, 437 (1981).
14. A. A. Tokovinin, *Astron. and Astrophys. Suppl.* **124**, 75 (1997).
15. Yu. Yu. Balega, V. V. Dyachenko, A. F. Maksimov, et al., *Astrophysical Bulletin* **67**, 44 (2012).
16. O. V. Kiyeva, A. A. Kiselev, E. V. Polyakov, and V. B. Rafal'skii, *Astronomy Letters* **27**, 391 (2001).
17. A. A. Kiselev, L. G. Romanenko, and N. A. Gorynya, *Astronomy Reports* **53**, 1136 (2009).

**Selected Multiple Stars of the Pulkovo Program****O. V. Kiyayeva and V. V. Orlov**

We analyze the motion of the components of 13 visual multiple stars from the observing program of the 26-inch refractor of the Pulkovo Astronomical Observatory. Based on the positional observations adopted from the WDS catalog and original observations made with the 26-inch refractor, we determine the apparent motion parameters and estimate the probabilities of physical connection for the systems considered.

Keywords: *binaries: visual*