

## ПОИСК ТЕСНЫХ СБЛИЖЕНИЙ ЗВЕЗД С СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМОЙ ПО ДАННЫМ КАТАЛОГА GAIA DR3

© 2022 г. В. В. Бобылев<sup>1\*</sup>, А. Т. Байкова<sup>1</sup>

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

Поступила в редакцию 27.06.2022 г.

После доработки 22.07.2022 г.; принята к публикации 03.08.2022 г.

Проведен поиск тесных сближений звезд с Солнечной системой с использованием данных из каталога Gaia DR3. Рассмотрена 31 звезда с параметром сближения  $d_{\min} < 1$  пк. Среди них 15 звезд впервые выступают в роли кандидатов на тесные сближения. Подтвержден статус звезд GJ 710 и HD 7977 в качестве кандидатов на глубокое проникновение во внутреннюю область облака Оорта. В частности, для GJ 710 и HD 7977 соответственно получены следующие оценки параметров сближения:  $t_{\min} = 1.324 \pm 0.026$  млн лет и  $d_{\min} = 0.052 \pm 0.002$  пк,  $t_{\min} = -2.830 \pm 0.025$  млн лет и  $d_{\min} = 0.071 \pm 0.027$  пк. Среди вновь выявленных кандидатов наибольший интерес представляет белый карлик WD 0810-353, для которого найдены следующие параметры сближения:  $t_{\min} = 0.029 \pm 0.001$  млн лет и  $d_{\min} = 0.150 \pm 0.003$  пк.

*Ключевые слова:* сближения звезд с Солнечной системой, кинематика, Солнечная система, GJ 710, HD 7977, WD 0810-353, облако Оорта.

DOI: 10.31857/S0320010822080010

### ВВЕДЕНИЕ

Тесные (менее  $\sim 1$  пк) сближения звезд поля с Солнечной системой могут приводить к возмущению кометного облака Оорта (Оорт, 1950), что может спровоцировать возникновение так называемого кометного ливня от внешних границ облака Оорта во внутреннюю область Солнечной системы и в сторону Земли в частности. Согласно оценке Оорта (1950), внешняя граница кометного облака находится на расстоянии порядка  $10^5$  а.е., что составляет примерно 0.5 пк. Помимо звездных пролетов, кометное облако Оорта подвержено возмущениям от гигантских молекулярных облаков, а также испытывает воздействие галактического прилива (Дыбжинский, 2002, 2005; Мартинес-Барбоса и др., 2017).

Ранняя история поисков тесных сближений звезд с Солнечной системой при использовании различных каталогов отражена в работах Ревиной (1988), Мэтьюса (1994), Мюллери, Орлова (1996), Гарсиа-Санчеса и др. (1999, 2001), Бобылева (2010a,b), Андерсона, Фрэнсиса (2012), Дыбжинского, Берского (2015), Байлера-Джонса (2015), Фенга, Байлера-Джонса (2015). В частности, было установлено, что одним из наиболее вероятных

кандидатов на проникновение в облако Оорта является звезда GJ 710 (Гарсиа-Санчес и др., 2001; Бобылев, 2010a; Берский, Дыбжинский, 2016).

Кометное облако Оорта может быть возмущено также в результате пролета вблизи от Солнца какого-либо звездного скопления. Интересно отметить работу Верещагина и др. (2022), в которой показано, что недавнее близкое прохождение Гиад мимо Солнечной системы могло вызвать небольшое смещение перигелиальных расстояний комет. И хотя найденное смещение невелико, оно могло привести к миграции ряда комет из внешней области Солнечной системы к орбите Нептуна.

Космический эксперимент Gaia (Прусти и др., 2016) посвящен определению с борта космического аппарата высокоточных тригонометрических параллаксов, собственных движений и ряда фотометрических характеристик более 1.5 млрд звезд. С использованием кинематических данных о звездах из различных версий этого проекта выполнено большое количество работ, посвященных поиску тесных сближений звезд с Солнечной системой (Берский, Дыбжинский, 2016; Бобылев, Байкова, 2017, 2020; Фуенте Маркос, Фуенте Маркос, 2018; Байлер-Джонс и др., 2018; Дарма и др., 2019; Торрес и др., 2019; Высочанская и др., 2020). Так, анализ данных каталога Gaia TGAS (Tycho-Gaia

\* Электронный адрес: vbobylev@gaoran.ru

Astrometric Solution, Линдегрэн и др., 2016) привел к обнаружению нескольких новых кандидатов на очень тесный пролет, а именно, на попадание внутрь облака Оорта до расстояний менее 0.5 пк (Дарма и др., 2019; Высочаньская и др., 2020). На основе данных из каталогов Gaia DR1 (Браун и др., 2016) и Gaia DR2 (Браун и др., 2018) было установлено, что сближения с Солнечной системой до расстояний менее 5 пк на временном интервале  $\pm 5$  млн лет могут иметь около 3000 звезд, менее 1 пк — около 30 звезд и 5–6 звезд могут иметь сближения до расстояний менее 0.25 пк (Байлер-Джонс, 2018; Байлер-Джонс и др., 2018).

В версии Gaia EDR3 (Gaia Early Data Release 3, Браун и др., 2021) по сравнению с предыдущей версией были существенно уточнены значения тригонометрических параллаксов и собственных движений звезд. При этом значения лучевых скоростей звезд были скопированы из каталога Gaia DR2. Анализу этих данных с целью поиска тесных сближений звезд с Солнечной системой посвящены работы Бобылева, Байковой (2021) и Дыбжинского и др. (2022). В частности, Дыбжинским и др. (2022) создана пополняемая электронная база данных StePPeD (Stellar Potential Perturbors Database<sup>1</sup>), которая содержит большое количество информации обо всех известных на текущий момент звездах-кандидатах на тесные сближения с Солнечной системой.

В опубликованной недавно версии Gaia DR3 (Валенари и др., 2022) существенно улучшены лучевые скорости звезд — уточнены ранее измеренные значения и определены новые для большого количества звезд. При этом значения тригонометрических параллаксов и собственных движений звезд скопированы из более ранней версии каталога — Gaia EDR3.

Целью настоящей работы является поиск тесных сближений звезд с Солнечной системой. Для этого используются новейшие данные из самой последней версии каталога Gaia — Gaia DR3.

## МЕТОДЫ

### Линейный метод

Из наблюдений известны лучевая скорость  $V_r$ , а также две проекции тангенциальной скорости  $\mu_\alpha \cos \delta$  и  $\mu_\delta$ . Гелиоцентрическое расстояние до звезды  $d$  вычисляем через ее тригонометрический параллакс  $\pi$ ,  $d = 1/\pi$ . Параллакс  $\pi$  выражен в

миллисекундах дуги (мсд), а компоненты собственного движения  $\mu_\alpha \cos \delta$  и  $\mu_\delta$  в миллисекундах дуги в год (мсд/год). В настоящей работе используются очень близкие к Солнцу звезды с относительно небольшими ошибками параллакса существенно меньшими 10%, поэтому нет необходимости в учете каких-либо поправок типа эффекта Лутца–Келкера (Лутц, Келкер, 1973). С использованием двух компонент собственного движения  $\mu_\alpha \cos \delta$  и  $\mu_\delta$  можем вычислить скорость звезды, перпендикулярную лучу зрения:  $V_t = 4.74d\sqrt{\mu_\alpha^2 \cos^2 \delta + \mu_\delta^2}$ .

Минимальное расстояние между траекториями звезды и Солнца  $d_{\min}$  на момент сближения  $t_{\min}$  вычисляется на основе следующих соотношений (Мэтьюс, 1994):

$$\begin{aligned} d_{\min} &= d/\sqrt{1 + (V_r/V_t)^2}, \\ t_{\min} &= -dV_r/(V_t^2 + V_r^2). \end{aligned} \quad (1)$$

Если расстояние  $d$  выразить в пк, а скорости  $V_r$  и  $V_t$  в км/с, то  $d_{\min}$  будет выражено в пк, а  $t_{\min}$  в млн лет.

### Построение галактических орбит звезд

Для построения галактических орбит звезд используем осесимметричный гравитационный потенциал Галактики  $\Phi$ , который представляется в виде суммы трех составляющих — центрального сферического балджа  $\Phi_b$ , диска  $\Phi_d$  и массивного сферического гало темной материи  $\Phi_h$ :

$$\Phi = \Phi_b + \Phi_d + \Phi_h. \quad (2)$$

Потенциалы балджа  $\Phi_b$  и диска  $\Phi_d$  представляются в форме, предложенной Миямото, Нагаи (1975), а компонента гало представляется согласно работе Наварро и др. (1997). Конкретные значения параметров используемой модели потенциала можно найти в работах Байковой, Бобылева (2016, 2017), где она обозначена как модель III.

Галактические орбиты звезд строятся в системе координат, связанной с местным стандартом покоя. Поэтому из исходных скоростей исключается пекулярная скорость Солнца со значениями  $(U, V, W)_\odot = (11.0, 12.0, 7.2)$  км/с из работы Шонриха и др. (2010). Учитывается также возвышение Солнца над галактической плоскостью  $h_\odot = 16$  пк (Бобылев, Байкова, 2016). Гравитационное взаимодействие между звездой и Солнцем не учитывается.

В работе Бобылева, Байковой (2021) при анализе данных каталога Gaia EDR3 параметры сближения звезд были вычислены с использованием линейного метода, методом интегрирования орбит в осесимметричном потенциале, а также интегрированием орбит в потенциале с учетом спиральной

<sup>1</sup><https://pad2.astro.amu.edu.pl/stars/>

волны плотности. Был сделан вывод о том, что результаты, полученные вторым и третьим методом, практически не различаются. Поэтому в настоящей работе мы интегрируем орбиты звезд без учета спиральной волны плотности.

### Оценка ошибок параметров

Ошибки определения  $t_{\min}$  и  $d_{\min}$  оцениваем с использованием метода Монте-Карло. В соответствии с этим методом добавляем, например, к значениям параллакса  $\pi$  нормально распределенные случайные ошибки с нулевым средним и стандартным отклонением  $\sigma_{\pi}$ . Аналогичные действия выполняются с компонентами собственного движения  $\mu_{\alpha} \cos \delta$  и  $\mu_{\delta}$ , а также с лучевой скоростью звезды  $V_r$ . Ошибки измерений параметров  $\pi$ ,  $\mu_{\alpha} \cos \delta$ ,  $\mu_{\delta}$  и  $V_r$  берутся из каталога Gaia DR3.

### ДАННЫЕ

Сначала из каталога Gaia DR3, размещенного в Страсбургской базе данных под номером I/355, мы отобрали звезды с использованием следующих ограничений:

$$\pi > 7 \text{ мсд}, \quad \sigma_{\pi}/\pi < 15\%, \quad \sigma_{V_r} < 15 \text{ км/с}. \quad (3)$$

В этой предварительной выборке оказалось около 350 000 звезд. Затем уже эту выборку исследовали на предмет тесных сближений двумя методами.

В работе Бобылева, Байковой (2020) параметры сближения звезд с Солнечной системой были вычислены с использованием (1) линейного и (2) эпициклического методов, а также с помощью (3) интегрирования орбит в осесимметричном потенциале. Было показано, что эпициклический метод неплохо работает только на интервале времени, не превышающем  $\pm 1$  млн лет. Значения же параметров, найденные методами 1 и 3, находятся между собой в очень хорошем согласии. Был сделан вывод о том, что в задаче поиска звездных сближений на первом (поисковом) этапе можно применять простой линейный метод, а на втором можно применять более сложный метод, основанный на интегрировании звездных орбит в потенциале. Пользуясь этими рекомендациями, в настоящей работе мы вначале находим параметры сближения звезд с Солнечной системой с использованием линейного метода, затем к отобраным звездам применяем более сложный метод оценки параметров сближения с использованием гравитационного потенциала Галактики.

### РЕЗУЛЬТАТЫ

В табл. 1–3 отражены результаты поиска звезд-кандидатов на тесные сближения с Солнечной системой. В табл. 1 даны исходные данные о звездах, извлеченные из каталога Gaia DR3.

В табл. 2 даны номера отобранных звезд по каталогу Gaia EDR3 и их альтернативные обозначения, а также номера по базе StePPeD (Дыбжинский и др., 2022) и оценки массы, взятые из базы StePPeD, отмечены также две звезды, оценки масс которых взяты непосредственно из каталога Gaia DR3. Отметим, что для многих звезд в табл. 2 отсутствуют какие-либо альтернативные обозначения. Более того, большинство этих звезд отсутствуют в поисковой базе SIMBAD<sup>2</sup>. Таким образом, полный набор необходимых для анализа кинематических параметров ( $\pi$ ,  $\mu_{\alpha} \cos \delta$ ,  $\mu_{\delta}$  и  $V_r$ ) для таких звезд появился впервые.

В табл. 3 даны параметры сближения звезд с Солнечной системой  $t_{\min}$  и  $d_{\min}$ , вычисленные двумя методами. В табл. 1–3 звезды отсортированы по параметру  $d_{\min}$ , найденному при построении орбит с использованием осесимметричного потенциала (способ (2) в табл. 3). В таблицах приведена 31 звезда с  $d_{\min} < 1$  пк.

### ОБСУЖДЕНИЕ

Как можно видеть из табл. 2, массы кандидатов невелики. От массы пролетающей звезды сильно зависит величина возмущения, которое она может оказать на кометное облако. Самая массивная звезда нашего списка занимает последнюю строчку в таблицах. Внешняя граница кометного облака Оорта точно неизвестна. Предполагается, что она составляет около 0.48 пк. По-нашему мнению, наибольший интерес могут представлять 5–6 звезд, у которых значение параметра  $d_{\min}$  оказывается внутри внешней границы облака Оорта. Их обсудим более подробно.

**GJ 710 и HD 7977.** Две первые звезды в табл. 1–3 и ранее, при использовании данных из каталога Gaia EDR3, занимали первые две строки кандидатов в наиболее тесные сближения (Бобылев, Байкова, 2021). Отметим, что примерно вдвое уменьшились случайные ошибки оценок параметров  $t_{\min}$  и  $d_{\min}$ , что обусловлено улучшенными значениями лучевых скоростей для этих звезд в каталоге Gaia DR3.

Фуенте Маркос и Фуенте Маркос (2022) оценили параметры сближения звезды GJ 710 с использованием данных из каталога Gaia DR3. Эти авторы показали, что распределение расстояний минимального сближения с Солнечной системой имеет

<sup>2</sup><https://simbad.u-strasbg.fr/simbad/>

Таблица 1. Исходные данные о звездах

Gaia EDR3	$\pi$ , мсд	$\mu_{\alpha} \cos \delta$ , мсд/год	$\mu_{\delta}$ , мсд/год	$V_r$ , км/с
4270814637616488064	52.40 ± .02	-0.414 ± .019	-0.108 ± .017	-14.42 ± 0.26
510911618569239040	13.21 ± .03	0.144 ± .024	0.010 ± .034	26.76 ± 0.21
5544743925212648320	89.51 ± .02	-65.479 ± .016	-29.204 ± .018	-373.7 ± 8.2
5571232118090082816	10.23 ± .01	0.094 ± .010	0.461 ± .011	82.48 ± 0.42
3372104035275483392	11.98 ± .04	0.557 ± .043	0.438 ± .031	-47.45 ± 3.74
929788371508812288	13.70 ± .06	-2.043 ± .053	3.232 ± .042	195.7 ± 6.6
3118526069444386944	7.61 ± .05	0.252 ± .049	0.045 ± .049	40.07 ± 0.55
4116451378388951424	11.87 ± .33	-2.102 ± .226	3.655 ± .184	-264.4 ± 5.5
1952802469918554368	141.89 ± .02	161.454 ± .017	-119.74 ± .019	-82.91 ± 0.18
3295253979286613376	9.33 ± .02	0.261 ± .026	-0.622 ± .020	-61.63 ± 1.89
5261593808165974784	15.36 ± .01	-0.091 ± .012	-2.212 ± .015	71.08 ± 0.58
3054509410098672000	24.96 ± .02	0.630 ± .023	5.493 ± .020	70.35 ± 0.35
3600338081985998080	25.91 ± .09	-3.175 ± .111	-0.317 ± .054	-37.17 ± 1.95
398496965625177216	13.73 ± .04	-2.817 ± .046	-3.043 ± .034	-151.4 ± 7.9
4536673181955253504	10.20 ± .25	0.739 ± .186	-0.729 ± .261	-71.67 ± 0.86
2926732831673735168	8.85 ± .01	-0.737 ± .009	0.533 ± .013	66.46 ± 0.15
3260079227925564160	32.11 ± .03	-3.615 ± .030	-4.959 ± .020	-32.71 ± 0.37
3621143693841328896	7.52 ± .05	0.860 ± .054	-0.148 ± .046	85.2 ± 9.0
3320184202856435840	123.20 ± .02	-444.69 ± .018	-925.14 ± .015	-414.0 ± 10.4
5473864079915092736	9.98 ± .05	8.481 ± .047	9.750 ± .051	712.5 ± 14.0
5553958176239495040	40.27 ± .02	-24.002 ± .031	-0.309 ± .030	78.61 ± 3.17
1791617849154434688	11.38 ± .02	-0.386 ± .014	-1.172 ± .013	55.82 ± 0.25
5346007675222666752	44.99 ± .02	-18.348 ± .017	-21.173 ± .016	76.29 ± 0.41
6396469681261213568	9.81 ± .02	0.490 ± .014	0.188 ± .016	52.22 ± 0.19
6224087389269263488	31.43 ± .15	-3.235 ± .175	-0.553 ± .157	18.03 ± 0.45
3972130276695660288	59.92 ± .03	-20.813 ± .030	6.629 ± .020	31.14 ± 0.17
1926461164913660160	316.48 ± .04	112.527 ± .036	-1591.6 ± .027	-77.29 ± 0.19
5853498713190525696	768.07 ± .05	-3781.7 ± .03	769.465 ± .051	-21.94 ± 0.22
4155835025908320640	10.50 ± .04	5.892 ± .038	0.062 ± .030	-283.0 ± 10.7
2933503521200215424	7.44 ± .02	0.248 ± .013	-0.020 ± .016	32.66 ± 0.73
4306481867124380672	9.76 ± .03	-0.523 ± .024	0.145 ± .022	-33.21 ± 0.19

Таблица 2. Дополнительные данные о звездах

Gaia EDR3	Другое обозначение	StePPeD	Масса, $M_{\odot}$
4270814637616488064	GJ 710	P0107	0.65
510911618569239040	HD 7977	P0230	1.10
5544743925212648320	WD 0810-353		
5571232118090082816	UCAC4 237-008148, AB	P0506	0.77
3372104035275483392			
929788371508812288			
3118526069444386944		P0533	0.87
4116451378388951424			
1952802469918554368	LSPM J2146+3813	P0416	0.20
3295253979286613376			0.54*
5261593808165974784	UCAC4 076-006432	P0522	0.55
3054509410098672000			0.60*
3600338081985998080			
398496965625177216			
4536673181955253504	UCAC4 574-064555	P0567	0.60
2926732831673735168	BD-21 1529	P0287	1.02
3260079227925564160	UCAC4 464-006057	P0526	0.45
3621143693841328896			
3320184202856435840			
5473864079915092736			
5553958176239495040	UCAC4 213-008644		
1791617849154434688	TYC 1662-1962-1	P0189	0.71
5346007675222666752			
6396469681261213568	TYC 9327-264-1	P0382	0.89
6224087389269263488	TYC 6760-1510-1		
3972130276695660288	GJ 3649	P0178	0.55
1926461164913660160	GJ 905	P0413	0.15
5853498713190525696	Proxima Cen	P1037-C	
4155835025908320640			
2933503521200215424	HD 49995	P0286	1.32
4306481867124380672	HD 179939	P0111	1.69

\* Оценка массы из каталога Gaia DR3.

Таблица 3. Параметры сближения звезд с Солнечной системой

Gaia EDR3	$t_{\min}$ , МЛН ЛЕТ	$d_{\min}$ , ПК	$t_{\min}$ , МЛН ЛЕТ	$d_{\min}$ , ПК	$\sigma_t$ , МЛН ЛЕТ	$\sigma_d$ , ПК
	(1)		(2)			
4270814637616488064	1.325	0.051	1.324	0.052	0.026	0.002
510911618569239040	-2.826	0.146	-2.830	0.071	0.025	0.027
5544743925212648320	0.030	0.113	0.030	0.164	0.001	0.003
5571232118090082816	-1.185	0.258	-1.185	0.203	0.007	0.006
3372104035275483392	1.759	0.493	1.762	0.476	0.156	0.062
929788371508812288	-0.373	0.494	-0.374	0.513	0.013	0.018
3118526069444386944	-3.281	0.524	-3.288	0.529	0.054	0.108
4116451378388951424	0.319	0.537	0.320	0.540	0.012	0.047
1952802469918554368	0.084	0.569	0.085	0.552	0.001	0.001
3295253979286613376	1.739	0.596	1.741	0.556	0.058	0.022
5261593808165974784	-0.916	0.626	-0.917	0.652	0.008	0.009
3054509410098672000	-0.569	0.598	-0.570	0.658	0.003	0.003
3600338081985998080	1.038	0.606	1.037	0.670	0.060	0.039
398496965625177216	0.481	0.689	0.482	0.730	0.028	0.038
4536673181955253504	1.368	0.660	1.368	0.735	0.041	0.150
2926732831673735168	-1.700	0.828	-1.701	0.786	0.007	0.006
3260079227925564160	0.951	0.862	0.953	0.800	0.008	0.015
3621143693841328896	-1.561	0.858	-1.558	0.809	0.156	0.062
3320184202856435840	0.019	0.771	0.020	0.842	0.001	0.021
5473864079915092736	-0.141	0.863	-0.142	0.857	0.054	0.108
5553958176239495040	-0.315	0.892	-0.317	0.859	0.058	0.022
1791617849154434688	-1.574	0.809	-1.574	0.860	0.026	0.002
5346007675222666752	-0.291	0.859	-0.292	0.861	0.013	0.018
6396469681261213568	-1.953	0.495	-1.949	0.872	0.008	0.015
6224087389269263488	-1.763	0.873	-1.761	0.901	0.001	0.001
3972130276695660288	-0.534	0.925	-0.534	0.912	0.060	0.039
1926461164913660160	0.037	0.933	0.038	0.917	0.008	0.009
5853498713190525696	0.027	0.958	0.028	0.939	0.158	0.191
4155835025908320640	0.337	0.895	0.337	0.940	0.003	0.003
2933503521200215424	-4.118	0.653	-4.113	0.980	0.098	0.038
4306481867124380672	3.086	0.814	3.086	0.980	0.001	0.003

Примечание. (1) — Линейный метод, (2) — осесимметричный потенциал.

медианное значение 0.052 пк и с вероятностью 90% заключено в пределах 0.048–0.056 пк; соответствующее время прохождения перигелия лежит в интервале 1.26 и 1.33 млн лет с достоверностью 90%, с наиболее вероятным значением 1.29 млн лет. Найденные нами значения этих параметров находятся в хорошем согласии с оценками Фуенте Маркоса и Фуенте Маркоса.

**WD 0810-353** занимает третью строчку в табл. 1–3. Эта звезда впервые фигурирует в списке кандидатов в наиболее тесные сближения с Солнечной системой. Согласно базе SIMBAD, это белый карлик с большими значениями собственных движений, поэтому классифицирована как HPMS (High Proper Motion Star). По данным Багнуло, Лэндстрита (2020), масса этого белого карлика составляет  $0.63M_{\odot}$  и возраст 2.7 млрд лет.

Эта звезда имеет также огромное значение лучевой скорости  $V_r = -373.7 \pm 8.2$  км/с. Для белых карликов актуальным является учет гравитационного красного смещения спектральных линий при определении лучевых скоростей. Такой эффект является следствием сильного гравитационного поля на поверхности белых карликов, влияние которого эквивалентно скоростям в несколько десятков км/с (см., например, Гринстейн, Тримбл, 1967). Мы провели новые вычисления со значением лучевой скорости  $V_r = -423.7 \pm 8.2$  км/с, добавив к измеренному значению  $-50$  км/с, и нашли следующие параметры сближения:  $t_{\min} = 0.029 \pm 0.001$  млн лет и  $d_{\min} = 0.150 \pm 0.003$  пк. В данном случае учет поправки за гравитационное красное смещение не оказывает критического влияния на оценку параметров сближения.

В целом можем заключить, что через примерно 30 тыс лет звезда стремительно пронесется мимо Солнечной системы. Влияние ее на объекты облака Оорта будет очень непродолжительным.

**UCAC4 237-008148.** Это маломассивная двойная система занимает четвертую строку в табл. 1–3. Например, в работе Дыбжинского и др. (2022) при анализе данных из каталога Gaia EDR3 для нее найдены следующие параметры сближения:  $t_{\min} = -1.084 \pm 0.004$  млн лет и  $d_{\min} = 0.199 \pm 0.008$  пк. Можем видеть, что имеется неплохое согласие с данными табл. 3, особенно хорошее согласие имеется в оценке ошибок параметров.

**Gaia EDR3 3372104035275483392 и Gaia EDR3 929788371508812288.** Эти две звезды занимают пятую и шестую строки в наших таблицах. Они впервые фигурируют в списке кандидатов в наиболее тесные сближения с Солнечной системой. К сожалению, их нет в базе SIMBAD, поэтому об этих звездах пока мало что известно.

В целом можем заключить, что благодаря использованию критерия отбора (3), параметры

сближения всех звезд определены надежно, так как ошибки определения этих параметров малы (см. последние два столбца табл. 3).

Иногда в каталоге Gaia DR3 встречаются звезды с радикальным улучшением значений их тригонометрических параллаксов. Так, в работе Дарма и др. (2019) были выдвинуты несколько звезд-кандидатов на тесные сближения с Солнечной системой с данными из каталога Gaia DR2 и лучевыми скоростями из каталога LAMOST (The Large Sky Area Multi-Object Fiber Spectroscopic Telescope, Цуй и др., 2012). В работе Бобылева, Байковой (2020) их статус в качестве кандидатов на тесные сближения с Солнечной системой был подтвержден. Причем значения параллаксов для этих звезд были около 50 мсд. Это, в частности, звезды Gaia DR2 52952724810126208, Gaia DR2 3130033734235815424, Gaia DR2 9698678037250-57920 и Gaia DR2 365942724131566208. В каталоге Gaia DR3 значения их параллаксов оказались на порядок меньшими. В итоге они не вошли в выборку в настоящей работе.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведен поиск тесных сближений звезд с Солнечной системой с использованием данных из новейшего каталога Gaia DR3. В работе рассмотрена 31 звезда с параметром сближения  $d_{\min} < 1$  пк. Среди них 15 звезд впервые выступают в качестве кандидатов на тесные сближения с Солнечной системой. Выявлены эти 15 звезд в основном благодаря появлению измерений их лучевых скоростей в каталоге Gaia DR3.

Для звезд GJ 710 и HD 7977 подтвержден их статус в качестве кандидатов на очень тесные сближения, кандидатов на глубокое проникновение во внутреннюю область облака Оорта.

Среди вновь выявленных кандидатов наибольший интерес представляет белый карлик WD 0810-353. Для этой звезды найдены следующие параметры сближения:  $t_{\min} = 0.029 \pm 0.001$  млн лет и  $d_{\min} = 0.150 \pm 0.003$  пк с учетом модельной поправки за эффект гравитационного красного смещения в спектральных линиях при измерении его лучевой скорости.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андерсон Э., Фрэнсис Ч., Письма в Астрон. журн. **38**, 374 (2012) [E. Anderson, et al., *Astron. Lett.* **38**, 331 (2012)].
2. Багнуло, Лэндстрит (S. Bagnulo and J.D. Landstreet), *Astron. Astrophys.* **643**, 134 (2020).
3. Байкова А.Т., Бобылев В.В., Письма в Астрон. журн. **42**, 625 (2016) [A.T. Bajkova, V.V. Bobylev, *Astron. Lett.* **42**, 567 (2016)].

4. Байкова, Бобылев (A.T. Bajkova, V.V. Bobylev), *Open Astron.* **26**, 72 (2017).
5. Байлер-Джонс (C.A.L. Bailer-Jones), *Astron. Astrophys.* **575**, 35 (2015).
6. Байлер-Джонс (C.A.L. Bailer-Jones), *Astron. Astrophys.* **609**, 8 (2018).
7. Байлер-Джонс и др. (C.A.L. Bailer-Jones, J. Rybizki, R. Andrae, and M. Fouesneau), *Astron. Astrophys.* **616**, 37 (2018).
8. Берский, Дыбжинский (F. Berski and P.A. Dybczyński), *Astron. Astrophys.* **595**, L10 (2016).
9. Бобылев В.В., Письма в Астрон. журн. **36**, 230 (2010a). [V.V. Bobylev, *Astron. Lett.* **36**, 220 (2010a)].
10. Бобылев В.В., Письма в Астрон. журн. **36**, 862 (2010b). [V.V. Bobylev, *Astron. Lett.* **36**, 816 (2010b)].
11. Бобылев В.В., Байкова А.Т., Письма в Астрон. журн. **42**, 3 (2016) [V.V. Bobylev, et al., *Astron. Lett.* **42**, 1 (2016)].
12. Бобылев В.В., Байкова А.Т., Письма в Астрон. журн. **43**, 616 (2017) [V.V. Bobylev, et al., *Astron. Lett.* **43**, 559 (2017)].
13. Бобылев В.В., Байкова А.Т., Письма в Астрон. журн. **46**, 274 (2020) [V.V. Bobylev, et al., *Astron. Lett.* **46**, 245 (2020)].
14. Бобылев В.В., Байкова А.Т., Письма в Астрон. журн. **47**, 211 (2021) [V.V. Bobylev, et al., *Astron. Lett.* **47**, 180 (2021)].
15. Броун и др. (Gaia Collaboration, A.G.A. Brown, A. Vallenari, T. Prusti, et al.), *Astron. Astrophys.* **595**, 2 (2016).
16. Броун и др. (Gaia Collaboration, A.G.A. Brown, A. Vallenari, T. Prusti, J.H.J. de Bruijne, C. Babusiaux, C.A.L. Bailer-Jones, M. Biermann, D.W. Evans, et al.), *Astron. Astrophys.* **616**, 1 (2018).
17. Броун и др. (Gaia Collaboration, A.G.A. Brown, A. Vallenari, T. Prusti, J.H.J. de Bruijne, C. Babusiaux, M. Biermann, O.L. Creevely, D.W. Evans, et al.), *Astron. Astrophys.* **649**, 1 (2021).
18. Валенари и др. (Gaia Collaboration, A. Vallenari, A.G.A. Brown, T. Prusti, et al.), arXiv: 2208.00211 (2022).
19. Верещагин и др. (S.V. Vereshchagin, V.V. Emel'yanenko, and M.D. Sizova), *MNRAS* **513**, 2958 (2022).
20. Высочанская и др. (R. Wysoczańska, P.A. Dybczyński, and M. Polišńska), *Astron. Astrophys.* **640**, 129 (2020).
21. Гарсиа-Санчес и др. (J. Garcia-Sánchez, R.A. Preston, D.L. Jones, P.R. Weissman, J.-F. Lestrade, D.W. Latham, and R.P. Stefanik), *Astron. J.* **117**, 1042 (1999).
22. Гарсиа-Санчес и др. (J. Garcia-Sánchez, P.R. Weissman, R.A. Preston, D.L. Jones, J.-F. Lestrade, D.W. Latham, R.P. Stefanik, and J.M. Paredes), *Astron. Astrophys.* **379**, 634 (2001).
23. Гринштейн, Тримбл (J.L. Greenstein and V.L. Trimble), *Astrophys. J.* **149**, 283 (1967).
24. Дарма и др. (R. Darma, W. Hidayat, and M.I. Arifyanto), *J. Phys.: Conf. Ser.* **1245**, 012028 (2019).
25. Дыбжинский (P.A. Dybczyński), *Astron. Astrophys.* **396**, 283 (2002).
26. Дыбжинский (P.A. Dybczyński), *Astron. Astrophys.* **441**, 783 (2005).
27. Дыбжинский, Берский (P.A. Dybczyński and F. Berski), *MNRAS* **449**, 2459 (2015).
28. Дыбжинский и др. (P.A. Dybczyński, F. Berski, J. Tokarek, et al.), *Astron. Astrophys.* **664**, A123 (2022).
29. Линдегрэн и др. (Gaia Collaboration, L. Lindegren, U. Lammers, U. Bastian, J. Hernandez, S. Klioner, D. Hobbs, A. Bombrun, D. Michalik, et al.), *Astron. Astrophys.* **595**, A4 (2016).
30. Лутц, Келкер (T.E. Lutz and D.H. Kelker), *Publ. Astron. Soc. Pacific* **85**, 573 (1973).
31. Мартинес-Барбоса и др. (C.A. Martinez-Barbosa, L. Jylková, S. Portegies Zwart, and A.G.A. Brown), *MNRAS* **464**, 2290 (2017).
32. Миямото, Нагаи (M. Miyamoto and R. Nagai), *Publ. Astron. Soc. Pacific* **27**, 533 (1975).
33. Мэтьюс (R.A.J. Matthews), *Royal Astron. Soc. Quart. Journ.* **35**, 1 (1994).
34. Мюллери, Орлов (A.A. Mülläri and V.V. Orlov), *Earth, Moon, and Planets* (Kluwer, Netherlands, **72**, p. 19, 1996).
35. Наварро и др. (J.F. Navarro, C.S. Frenk and S.D.M. White), *Astrophys. J.* **490**, 493 (1997).
36. Оорт (J.H. Oort), *Bull. Astron. Inst. Netherland* **11**, No 408, 91 (1950).
37. Прусти и др. (Gaia Collaboration, T. Prusti, J.H.J. de Bruijne, A.G.A. Brown, A. Vallenari, C. Babusiaux, C.A.L. Bailer-Jones, U. Bastian, M. Biermann, et al.), *Astron. Astrophys.* **595**, 1 (2016).
38. Ревина (I.A. Revina), *Analysis of motion of celestial bodies and estimation of accuracy of their observations* (Latvian University, Riga, p. 121, 1988).
39. Торрес и др. (S. Torres, M.X. Cai, A.G.A. Brown, and S. Portegies Zwart), *Astron. Astrophys.* **629**, 139 (2019).
40. Фенг, Байлер-Джонс (F. Feng and C.A.L. Bailer-Jones), *MNRAS* **454**, 3267 (2015).
41. Фуенте Маркос и Фуенте Маркос (R. de la Fuente Marcos and C. de la Fuente Marcos), *Res. Not. Am. Astron. Soc.* **2**, 30 (2018).
42. Фуенте Маркос и Фуенте Маркос (R. de la Fuente Marcos and C. de la Fuente Marcos), *Res. Not. Am. Astron. Soc.* **6**, 136 (2022).
43. Шонрих и др. (R. Schönrich, J. Binney and W. Dehnen), *MNRAS* **403**, 1829 (2010).
44. Цуй и др. (X.-Q. Cui, Y.-H. Zhao, Y.-Q. Chu, G.-P. Li, Q. Li, L.-P. Zhang, H.J. Su, Z.-Q. Yao, et al.), *Res. Astron. Astrophys.* **12**, 1197 (2012).