

## ЭКСТРЕМАЛЬНО ШИРОКИЕ ПАРЫ В МИРЕ ДВОЙНЫХ ЗВЕЗД

© 2023 г. Г. Н. Дремова<sup>1,\*</sup>, В. В. Дремов<sup>1,\*\*</sup>, А. В. Тутуков<sup>2,\*\*</sup>

<sup>1</sup>Российский федеральный ядерный центр, Снежинск, Челябинская область, Россия

<sup>2</sup>Институт астрономии Российской академии наук, Москва, Россия

\*E-mail: G.N.Dryomova@mail.ru

\*\*E-mail: V.V.Dryomov@mail.ru

\*\*\*E-mail: atutukov@inasan.rssi.ru

Поступила в редакцию 20.04.2023 г.

После доработки 30.04.2023 г.

Принята к публикации 18.05.2023 г.

Рассмотрен вопрос о возможности идентификации звездных пар, один из компонентов которых принадлежит семейству околядерных центральных S-звезд, а другой – популяции сверхскоростных звезд (СЗ). В недалеком прошлом они могли быть генетически связаны в одной родительской двойной звезде, а сегодня ее компоненты разнесены на сотни и более парсек в результате динамического захвата двойной звезды полем сверхмассивной черной дыры (СМЧД). Представляет интерес взаимной реконструкции популяций S-звезд и СЗ, рассчитанных в рамках классического сценария Хиллза, по принципу дополнения их наблюдательных данных. Статья основана на докладе, сделанном на астрофизическом мемориальном семинаре “Новое в понимании эволюции двойных звезд”, приуроченном к 90-летию профессора М.А. Свечникова.

*Ключевые слова:* звездные пары, звезды со сверхскоростями, сценарий Хиллза, статистический анализ

DOI: 10.31857/S0004629923090037, EDN: XPHPXT

### 1. ВВЕДЕНИЕ

В принятой классификации двойных звезд (ДЗ) по большим полуосям  $a$  разделяют классы тесных ( $a < 1000 R_{\odot}$ ) и широких ( $a \sim 100$  а.е.) пар [1]. Согласно современным наблюдениям GAIA верхняя граница для большой полуоси широких ДЗ может быть продлена до 10 000 а.е. (0.0485 пк). Эти границы обусловлены в случае тесных ДЗ фазой глубокого коллапса исходных вращающихся газо-пылевых облаков, в случае широких систем – процессом распада звездных скоплений или захватом соседних звезд в результате близких прохождений парных или одиночных звезд.

В системах, которые мы изучаем, расстояние между их компонентами может быть сравнимо с радиусом Галактики и даже больше. Правильней было бы сказать, что компоненты этих пар в прошлом могли принадлежать одной родительской ДЗ, связь с которой была разорвана. Сценарии, в которых возможны разрывы связи двойных звезд, хорошо известны: распад нестабильных тройных систем, парные столкновения тесных ДЗ, их столкновения с одиночными звездами, взрывы сверхновых в тесных ДЗ, а также динамический захват двойной звезды сверхмассивной черной дырой (СМЧД). Остановимся на этом сценарии.

Вследствие перераспределения момента импульса, неизбежно возникающего в задаче трех тел, оба компонента ДЗ могут оказаться в новых статусах: центральной околядерной S-звезды и сверхскоростной звезды (СЗ), скорость которой при выбросе позволяет ей не только вырваться из окрестности СМЧД, но и оказаться больше не связанной с родительской галактикой. В зависимости от времени, прошедшего с момента выброса, и самой скорости выброса СЗ может оказаться в пределах Галактики, достичь ее периферии и даже выйти за ее границы. Впервые такой сценарий предложил Джек Хиллз, получив модельные оценки скорости освобождения одного из компонентов ДЗ из окрестности СМЧД до нескольких тысяч км/с [2], чтобы привлечь внимание к феномену СЗ, которые своей аномальной кинематикой послужили бы косвенным доказательством существованию СМЧД.

Но история пошла своим ходом, и первыми были открыты S-звезды [3]. Благодаря технологической революции в области адаптивной оптики и спектроскопии с высоким угловым разрешением последовал лавинообразный темп открытий S-звезд. Триумфальным итогом многолетних (начиная с 1989 г.) наблюдений S-звезд и нетривиальных методов их анализа, доказывающих нали-

чие массивного центрального тела – СМЧД – стало присуждение Андреа Гез и Райнхарду Генцелу Нобелевской премии за 2020 г. К настоящему моменту в поисковой карте ГЦ около 10000 S-звезд, для которых еще предстоит рутинная работа по восстановлению элементов их орбит [4]. Несмотря на постоянно увеличивающееся количество открываемых центральных звезд, информативно ценными остаются не более пяти десятков S-звезд, что удивительно совпадает со статистической открытой к настоящему моменту СЗ.

Феномен сверхскоростных звезд позволил переосмыслить кинематическую структуру Галактики и сформулировать проблему отождествления объекта с аномальной кинематикой с центральным выбросом. С момента, как была открыта первая СЗ в 2005 г. Уорреном Брауном и его коллегами, SDSS J090745.0+024507 [5], статистика выросла за прошедшие годы до 40 звезд. За это время были выработаны два подхода в поиске СЗ: искать среди ярких звезд гало, контрастирующих с местным населением старых шаровых скоплений (и потому, скорее всего, прибывшими в гало с высокими скоростями, так как время полета должно быть согласовано с возрастом), и среди близких маломассивных звезд диска, каких большинство. Оба подхода упираются в свой “потолок неопределенностей”, порожденных, с одной стороны, проблемой определения собственного движения у слабых удаленных объектов гало, а с другой стороны, многочисленностью маломассивных звезд диска, поиск среди которых представляет собой рутинный процесс перебора данных. Первоначально окрыленный возможностью ускоренного поиска СЗ в программе своих наблюдений, GAIA столкнулся с трудностями в идентификации аномальной кинематики звезд. GAIA дает в три раза большие ошибки для звезд слабее  $18^m$  по сравнению с HST, поэтому его эффективней использовать для второго подхода поиска. И наоборот, для звезд ярче  $18^m$  GAIA дает в 3–4 раза более точные измерения расстояний и собственных движений по сравнению с HST.

Так, можно сказать, случайно, в настоящее время наблюдательные статистики по обоим классам (S-звезд и СЗ) совпадают. И с сопоставления этих статистик, т.е. по наблюдаемым отдельно СЗ [6] и S-звезд [7], можно начать решать задачу восстановления S-СЗ пар. Нужно понимать, что эти данные в одинаковой степени подвержены эффектам наблюдательной селекции из-за слабой звездной величины СЗ ввиду их удаленности от нас на десятки и даже сотни килопарсек и “засвеченности” S-звезд в плотно заселенном галактическом центре (ГЦ).

Детализированную проработку этой задачи можно сделать, исходя из возможностей численного моделирования захвата ДЗ в окрестность

СМЧД в рамках сценария Хиллза [2]. Моделирование захвата проводится в несколько этапов. Сначала тестируется в режиме парных случайных столкновений упрощенная послойная модель заселенности звезд в ГЦ (0.1–0.01 пк) [8]. Для эффективного изучения условий захвата ДЗ с последующим выбросом звезды как СЗ используется принцип ансамблевого представления начальных данных, позволяющий в одном расчете варьировать в широком диапазоне параметры начальных конфигураций ДЗ (орбитальную фазу ДЗ и наклон ее собственной орбиты к орбите вокруг СМЧД) [9]. Вариация параметров сближения ДЗ с СМЧД позволяет выделить из расчетных спектров скоростей предельные и средние скорости выброса звезды как СЗ в зависимости от перигелического расстояния. Достоверность полученных значений тестируется на этапе моделирования ДЗ в подходе  $N$ -тел, когда каждый из компонент ДЗ задается набором структурных гравитирующих друг с другом элементов [10], что позволяет получить объективное представление о выживании звезды при ее сближении с СМЧД.

В ходе численных экспериментов, поставленных в задачах трех и  $N$ -тел, были получены согласованные статистики популяций СЗ и S-звезд (с учетом сегрегации их масс) с временами их жизни, включая время захвата S-звезды в окрестность центральной СМЧД [11]. Таким образом, сценарий Хиллза [2] способен объяснить и феномен СЗ, и накопление S-звезд, хотя это и не единственный канал образования S-звезд.

Проблема прямого отождествления пар S-СЗ на сегодня остается технически нерешенной, делая вызов современной астрометрии и спектроскопии. Представляют трудности и теоретические алгоритмы отождествления, затрагивающие, например, аспект синхронизации эволюционных шкал прежде родственных компонентов. Звезда, оставшаяся в окрестности СМЧД, может быть частично или полностью разрушена ее приливным полем, тогда как другой компаньон проэволюционирует дальше за время своего полета. Попробуем ответить на поставленные вопросы, исходя из анализа наблюдательных данных, руководствуясь принципом дополнения данных каталога S-звезд данными СЗ-каталога.

## 2. РЕКОНСТРУКЦИЯ ПАР S-СЗ ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ

За почти тридцатилетний период непрерывного мониторинга центральной области Галактики были восстановлены орбиты у 39 S-звезд из каталога Джиллисена и др. [7]. Используя эти данные, интересно было проверить, могли бы эти S-звезды в прошлом иметь компаньона в родительской двойной звезде? Для начала можно в

рамках задачи трех тел сделать оценку удельной энергии связи S-звезды в центральном поле СМЧД, чтобы перевести ее в кинетическую энергию выброса возможного компаньона при условии, что полная энергия ДЗ на бесконечности обращается в ноль, и затем вывести из кинетической энергии выброса собственно скорость выброса. Полученный спектр скоростей предполагаемых выброшенных компаньонов S-звезд следует сравнить с пространственными скоростями наблюдаемых СЗ из каталога Брауна и др. [6]. Такой подход в реконструкции пар S-СЗ отвечает принципу дополненности, когда данные одного каталога тестируются по данным другого.

### 2.1. Каталог S-звезд и восстановленные к нему СЗ

Из каталога Джиллисена и др. [7] были отобраны 39 S-звезд с известными данными об их орбитальном периоде  $P$  и угловом размере большой полуоси орбиты  $a$  вокруг СМЧД. Используя оценки расстояния от Солнца до ГЦ,  $R_0 \approx 8.32$  кпк, и массы СМЧД,  $M_{\text{СМБН}} = 4.28 \times 10^6 M_{\odot}$ , выведенные из мультизвездного орбитального фитинга 17 S-звезд, отобранных по критерию значимости гравитационного ускорения согласно [7], были вычислены линейные размеры орбит S-звезд

$A = \frac{a''}{206265} R_0$  и их средние орбитальные скорости  $v_{\text{orb}} = 2\pi A/P$  (табл. 1). На основе этих данных уже можно вычислить удельную энергию связи S-звезды,  $e_b$ , находящейся в центральном поле СМЧД:

$$e_b = \frac{v_{\text{orb}}^2}{2} - G \frac{M_{\text{СМБН}}}{A}. \quad (1)$$

Пренебрегая взаимодействием компонент ДЗ друг с другом по сравнению с их взаимодействием с СМЧД, а также полагая на бесконечности полную энергию бывшей S-СЗ пары равной нулю, можно оценить в рамках сценария Хиллза [2] скорость выбрасываемого компонента как  $v_{\text{eject}} = (2e_b)^{1/2}$  (табл. 1). Используя кинематический критерий СЗ как звезды, гравитационно не связанной с Галактикой, что для области ГЦ соответствует согласно Ву и др. [12]  $v_{\text{eject}} > 750$  км/с, получается, что 22 из 39 S-звезд могли иметь парного компонента, который впоследствии был выброшен как СЗ при динамическом захвате родительской двойной звезды.

Спектр скоростей выброса СЗ (голубая гистограмма на графике рис. 1), реконструированный из наблюдаемого распределения S-звезд по их средним орбитальным скоростям (синяя гистограмма там же), сохраняет с ним корреляцию, а также хорошо согласуется с наблюдаемым (розо-

вая гистограмма там же) спектром скоростей СЗ из каталога Брауна и др. [6]. В силу эффектов наблюдательной селекции распределение наблюдаемых СЗ лежит в узком интервале изменения скоростей выбросов (600–800 км/с). Вероятно, наиболее быстрые СЗ со скоростью, превышающей 1000 км/с, успевают меньше чем за 50 млн. лет вылететь за пределы Галактики. В этом распределении обращает на себя внимание объект с пространственной скоростью  $\sim 1755$  км/с, известный как “звезда Копосова” [13], открытый в рамках южного спектроскопического обзора  $S^5$  на расстоянии  $\sim 8.6$  кпк от ГЦ и используемый теперь в качестве эталонного теста сценария центрального происхождения СЗ.

Анализ скоростей выбросов  $v_{\text{eject}}$  СЗ (табл. 1), реконструированных по данным наблюдений S-звезд из каталога [7], подтверждает правдоподобность сценария захвата их родительской ДЗ в окрестность СМЧД с последующим выбросом второго компонента: в 22 случаях в статусе СЗ, в 17 – с сохранением связанности с Галактикой.

### 2.2. СЗ-каталог и восстановленные к нему S-звезды

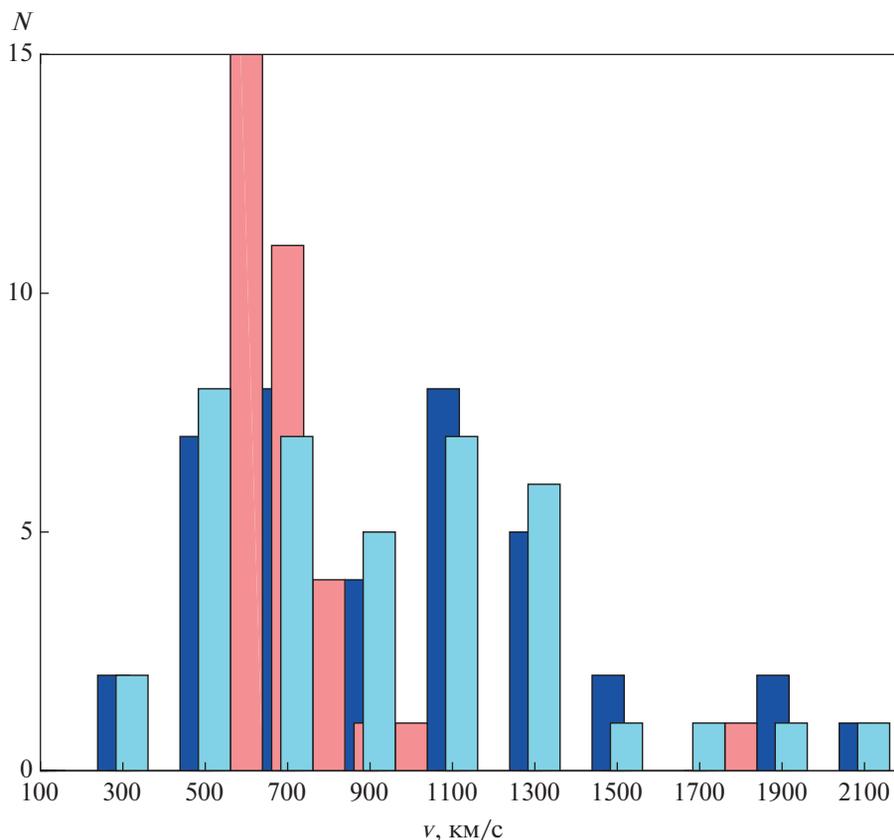
Аналогично можно выполнить обратную реконструкцию, т.е. по наблюдениям СЗ восстановить орбитальные параметры захваченного компаньона, например, большую полуось его орбиты вокруг СМЧД. На сегодня наиболее полным является каталог СЗ Брауна и др. [6], содержащий сведения о 39 объектах, включая значения их пространственной скорости  $v_{\text{obs}}$ . Полагая, что кинетическая энергия выброшенной СЗ из окрестности СМЧД была сбалансирована гравитационной энергией взаимодействия предположительно оставшегося компаньона (S-звезды) в центральном поле СМЧД, можно оценить большую полуось его орбиты по формуле  $a_s^{\text{calc}} = G M_{\text{ВН}}/v_{\text{obs}}^2$ .

Наблюдаемое распределение S-звезд из каталога [7] по большим полуосям их орбит (синяя гистограмма на рис. 2) перекрывается с аналогичным распределением, “реконструированным” из наблюдательных данных СЗ-каталога [6] (голубая гистограмма на рис. 2), как если бы они были парами в родительских двойных звездах. Эти два распределения перекрываются на интервале  $\sim 9300\text{--}32\,600$  а.е. ( $(2\text{--}7) \times 10^6 R_{\odot}$ ), что хорошо демонстрирует наличие корреляции между данными каталога Брауна и др. [6] и каталога Джиллисена и др. [7].

На рис. 2 хорошо отражен эффект наблюдательной селекции в данных двух каталогов, который выражен в наличии противоположных (обратно симметричных) максимумов. “Пик”

**Таблица 1.** Орбитальные параметры наблюдаемых S-звезд из каталога Джиллисена и др. [7] и выведенные на их основе скорости выброса потенциально возможных эволюционно парных к ним объектов с анализом их статуса как C3 при условии  $v_{\text{eject}} > 750$  км/с [12]

S-звезда	$A/10^6, R_{\odot}$	$P_{\text{orb}}, \text{сут.}$	$v_{\text{orb}}, \text{км/с}$	$v_{\text{eject}}, \text{км/с}$	Статус
S1	1.0641	60632.5	888	863	C3
S2	0.2244	5844.1	1944	1870	C3
S4	0.6384	28124.7	1149	1112	C3
S6	1.1757	70129.1	848	818	C3
S8	0.7238	33932.3	1080	1044	C3
S9	0.4872	18737.6	1316	1272	C3
S12	0.5342	21513.5	1257	1215	C3
S13	0.4723	17897.5	1336	1293	C3
S14	0.5120	20198.6	1283	1242	C3
S17	0.6365	27978.6	1150	1113	C3
S18	0.4255	15304.2	1407	1363	C3
S19	0.9300	49309.5	955	919	C3
S21	0.3917	13514.5	1467	1420	C3
S22	2.3429	197238.2	601	579	S-звезда
S23	0.4525	16728.7	1369	1317	C3
S24	1.6883	120899.7	707	684	S-звезда
S29	0.7655	36890.8	1050	1015	C3
S31	0.8030	39447.6	1030	1986	C3
S33	1.1750	70129.1	848	818	C3
S38	0.2532	7012.9	1828	1762	C3
S39	0.6617	29622.2	1131	1090	C3
S42	1.6990	122360.8	703	683	S-звезда
S54	2.1462	174227.1	623	609	S-звезда
S55	0.1928	4675.3	2087	2027	C3
S60	0.6934	31813.8	1103	1066	C3
S66	2.6863	242529.9	561	542	S-звезда
S67	2.0138	157425.3	647	626	S-звезда
S71	1.7402	126378.6	697	672	S-звезда
S83	2.6648	239607.9	563	544	S-звезда
S85	8.2270	1307616	318	311	S-звезда
S87	4.9004	599019.8	414	402	S-звезда
S89	1.9333	148293.9	659	639	S-звезда
S91	3.4285	349915.2	496	480	S-звезда
S96	2.6809	241799.5	561	542	S-звезда
S97	4.1493	463875.1	453	434	S-звезда
S145	2.0031	155599.0	652	625	S-звезда
S175	0.7404	35137.6	1066	1033	C3
R34	3.2371	320329.5	511	493	S-звезда
R44	6.9751	997144.8	354	330	S-звезда



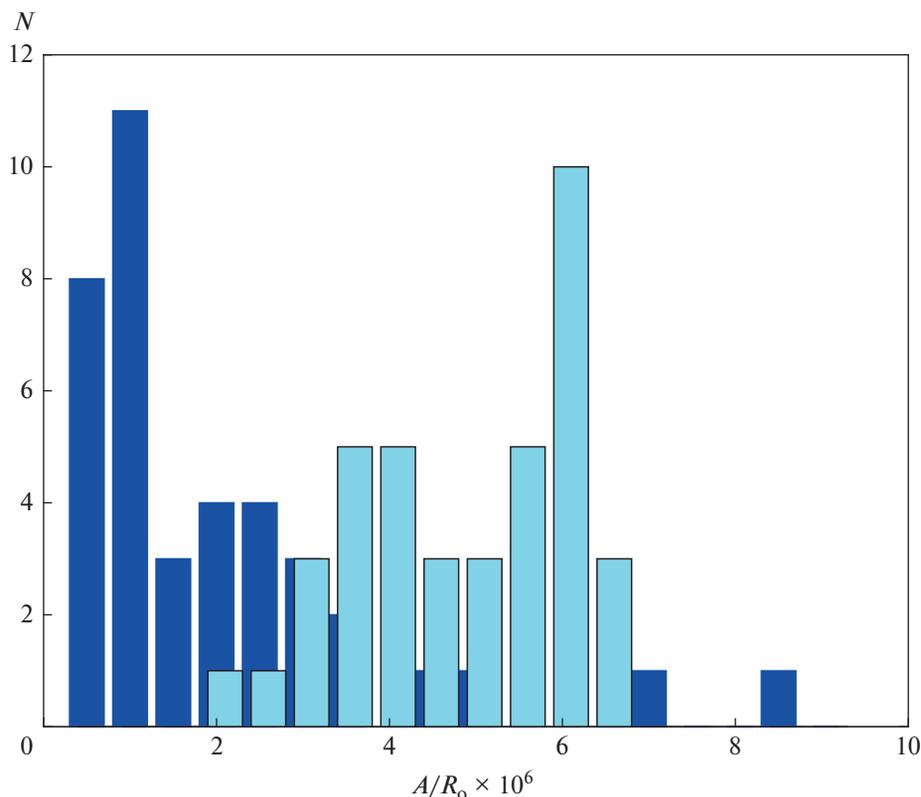
**Рис. 1.** Сравнение наблюдаемого распределения S-звезд из каталога Джиллисена и др. [7] по их средним орбитальным скоростям (синяя гистограмма) с расчетным (голубая гистограмма) распределением по скоростям выброса предполагаемых парных к ним компонентов и с наблюдаемым (розовая гистограмма) распределением по пространственным скоростям СЗ из каталога Брауна и др. [6].

наблюдаемого распределения S-звезд [7] приходится на значение большой полуоси  $\sim 1 \times 10^6 R_{\odot}$ . S-звезды на более широких (с большой полуосью  $a > 7 \times 10^6 R_{\odot}$ ) орбитах пока не открыты; мониторинг центральной области проводится чуть больше тридцати лет, тогда как необходимы более долгие наблюдения для составления орбиты по изображениям S-звезд.

Вернемся к рис. 1. Здесь показано “реконструированное” по данным наблюдаемых S-звезд из каталога [7] распределение СЗ по пространственным скоростям (голубая гистограмма) с протяженным максимумом в интервале 500–1300 км/с, тогда как реально наблюдаемые СЗ из каталога [6] имеют максимум в распределении по скорости на интервале 600–700 км/с (розовая гистограмма). При малоимпульсных выбросах одного из компонентов двойной звезды, оказавшейся в окрестности СМЧД, второй компонент остается на более широкой орбите вокруг СМЧД. Это значит, что “пик” розовой гистограммы (600–700 км/с) в распределении наблюдаемых СЗ (рис. 1) “переедет” на голубой гистограмме (рис. 2), демон-

стрирующей “реконструированное” распределение S-звезд по их большим полуосям, на значение  $\sim 6 \times 10^6 R_{\odot}$ . Вот почему возникает видимый эффект обратной симметрии.

Модельное распределение S-звезд, полученное в рамках сценария Хиллза [2], показывает наличие компактных орбит с полуосями, на два порядка меньшими,  $\sim 139$ –330 а.е. ( $(3-7) \times 10^4 R_{\odot}$ ) [11], рис. 2 по сравнению с наблюдаемыми. Это расхождение, в первую очередь, связано с эффектами наблюдательной селекции. S-звезды на малых орбитах труднее обнаружить, пока что самая компактная орбита из обнаруженных S-звезд у S 4716 с большой полуосью  $A \sim 400$  а.е. [14]. Другая причина, возможно, состоит в том, что гравитационный потенциал Галактики, который пока еще не точно известен, тормозит СЗ, и их скорости оказываются ниже, чем им следовало быть из наблюдаемых орбит S-звезд. Также расхождение с модельным распределением S-звезд по большим полуосям может быть связано с удовлетворением условию выброса звезды как СЗ. Если допускать выбросы со скоростью меньше той, что



**Рис. 2.** Наблюдаемое распределение S-звезд из каталога Джиллисена и др. [7] по их большому полуосям (синяя гистограмма) и восстановленное по данным наблюдений СЗ из каталога Брауна и др. [6] (голубая гистограмма).

соответствует критерию СЗ, тогда большие полуоси орбит захваченных S-звезд в сценарии Хиллза будут больше, обеспечивая согласие с наблюдаемым распределением.

Другие причины расхождения наблюдаемых и расчетных значений больших полуосей могут отражать, соответственно, другие сценарии происхождения S-звезд, не связанные с разрушением ДЗ через механизм Хиллза [2]. Согласно расчетам Лозе и др. [15] S-звезды могли возникнуть в ходе естественного рекуррентно вспыхивающего звездообразования, связанного с накоплением газа в окрестностях ГЦ. Происхождение S-звезд также может быть связано с приливным “обдиранием” молодых звездных скоплений при их сближениях с центральной СМЧД, как показывают расчеты Фрадhone и др. [16]. Примером такого скопления является молодое плотное скопление Арки, удаленное на 25 пк от СМЧД.

Подробный кинематический анализ, проведенный Али и др. [17] для 112 S-звезд, позволил выделить 3D-структуры их орбит, которые оказались принадлежащими двум плотно примыкающим друг к другу противоположно вращающимся дискам, наклоненных под 45° к галактической плоскости. Характер распределения наклонов орбит и векторов собственного движения опро-

вергает первоначальные данные о тепловом распределении эксцентриситетов и хаотическом распределении орбит S-звезд. Упорядоченные орбитальные структуры могут быть результатом резонансных процессов в околоядерном диске.

Следует принять во внимание приливное разрушение звезд S-скопления в поле СМЧД, теоретическая оценка частоты которых была получена в рамках однородной модели балджа [18] и оказалась сопоставимой с частотой вспышек, приписываемых аккреционной активности СМЧД. По результатам численного моделирования приливных разрушений наблюдаемых ДЗ в центральном дисковом скоплении на удалении от центра 0.05–0.5 пк, Генерозов [19] предсказывает, что в недалеком прошлом (~5 млн. лет назад) из окрестностей ГЦ был произведен конический поток выбросов СЗ с угловым раствором в 30°, которые к настоящему времени находятся на галактоцентрических расстояниях в несколько десятков кпк. Это распределение, как и результаты кинематического анализа звезд S-скопления [17], могут способствовать поиску СЗ среди данных GAIA. Следует отметить звезду S5-HVS1 (“звезда Копосова” [13]), которая рассматривалась частью конического потока в моделировании [19], и ее

наблюдательные данные использовались в качестве эталона для прогнозирования.

Благодаря развитию технологий фильтрации изображений, как, например, алгоритм Люка-Ричардсона, на сегодняшний день обнаружены из самых близких к источнику Sgr A\* следующие звезды S-скопления: S 4715 ( $a \sim 1190$  а.е.), S 4714 ( $a \sim 840$  а.е.), S 62 ( $a \sim 740$  а.е.), S 4711 ( $a \sim 620$  а.е.), S 4716 ( $a \sim 400$  а.е.) [20], [14]. Именно с таких звезд, в первую очередь, нужно начинать решать задачу реконструкции пар S-C3.

### 3. ПОИСК ПАР S-C3

Остается главный вопрос статьи – реально ли из прямых наблюдений “собрать” пары S-C3? Попробуем представить в виде алгоритма процедуру “сборки” пары S-C3.

1. Для наиболее близких к галактическому центру S-звезд с известными элементами орбиты восстановить в рамках сценария Хиллза [2] по их энергии связи с СМЧД скорости выброса их возможных компаньонов. Выбор наиболее близких S-звезд удовлетворит условию освобождения из галактического центра эволюционно связанных с ними компаньонов как С3.

2. Для этих же S-звезд проанализировать известные для них орбитальные элементы, задающие ориентацию в пространстве плоскость орбиты, а также оценить из спектроскопических наблюдений их спектральный класс, массу и возраст.

3. Поиск кандидата из наблюдаемых С3 в пару к выбранной S-звезде должен учитывать несколько необходимых условий:

- близкие спектральные классы S-звезды и С3, т.е. учет эффекта “спектральных близнецов”, что следует из условий образования звезд в родительской двойной системе;

- совпадение возрастов S-звезды и парного ей компонента (кандидата в С3), что следует из молодости околядерного S-скопления;

- знание скорости полета С3 и ее текущего расстояния от ГЦ даст ограничение на установленные парности к выбранной S-звезде;

- удовлетворение требованию центрального выброса выбранной С3 в качестве кандидата в пару S-звезде, что можно установить путем обратного по времени интегрирования полета С3 в гравитационном потенциале Галактики (знание которого отдельная большая проблема!), вектор полной (лучевой и тангенциальной) скорости которой в момент  $t = 0$  должен указывать на ГЦ;

- вектор пространственной скорости С3 к моменту  $t = 0$ , восстановленный методом обратного интегрирования ее движения, должен лежать в плоскости орбиты S-звезды, парой к которой

предполагается рассматриваемая С3. Текущий же вектор пространственной скорости С3 необязательно должен лежать в плоскости орбиты S-звезды ввиду возможного его отклонения в галактическом потенциале во время полета.

Что касается отсутствия формулировок условий достаточности, наверное, их и не может быть в постановках задач вероятностного характера. Разве что за исключением тех редких случаев, когда станет возможно непосредственно наблюдать процесс разрыва связи ДЗ с вылетом С3.

Так, в перспективе выглядит увлекательная задача по восстановлению генетически родственных компонентов двойных звезд, разрушенных приливной гравитацией сверхмассивной черной дыры.

### 4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Задача реконструкции пар S-C3 сегодня не выглядит фантастической. Технический прогресс XXI века показал самый малый за историю разрыв во времени между разработкой и внедрением методов и технологий, которые успешно доказали свою эффективность и новые возможности в длинном списке открытий: С3, СМЧД, гравитационных волн, квантовой запутанности.

Распутывание пар S-C3 – это задача макромира, и для ее решения сегодня многое уже имеется. Открытие “звезды Копосова” [13] стало убедительным подтверждением сценарию Хиллза [2]. Численное моделирование динамических захватов двойных звезд в окрестности СМЧД позволяет предсказать заселенность галактического центра S-звездами, накладывая ограничение на сечения захвата и время, ограниченное сверху возрастом нашей Галактики (~13.6 млрд. лет) с условием, что при захвате обязательно произойдет выброс С3, статистика которых согласована со статистикой S-звезд [11]. Моделирование приливных деформаций звезд в околядерном S-скоплении и выбросов некоторых из них при прохождении перицентра СМЧД дает ограничение в отборе преференциальных направлений выбросов в виде конусных “фонтанов” [16], обусловленных дисковой структурой S-скопления и ее наклоном к галактической плоскости [17]. Все эти модельные уточнения будут способствовать решению данной задачи.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *H. Kobulnicky and C. Fryer*, *Astron. and Astrophys.* **670**, 747 (2007).
2. *J. G. Hills*, *Nature* **331**, 687 (1988).
3. *A. Eckart and R. Genzel*, *Nature* **383**, 415 (1996).
4. *R. Abuter, A. Amorim, M. Bauböck, J. P. Berger, et al.*, *Astron. and Astrophys.* **636**, id.5 (2020).

5. *W. Brown, M. Geller, S. Kenyon, and J. Kutz*, *Astrophys. J.* **622**, 33 (2005).
6. *W. Brown, M. Lattanzi, S. Kenyon, and M. Geller*, *Astrophys. J.* **866**, id.39 (2018).
7. *S. Gillessen, P. Plewa, F. Eisenhauer, R. Sari, et al.*, *Astrophys. J.* **837**, id.30 (2017).
8. *Г. Н. Дремова, В. В. Дремов, А. В. Тутуков*, *Астрон. журн.* **93**, 685 (2016).
9. *Г. Н. Дремова, В. В. Дремов, В. В. Орлов, А. В. Тутуков, К. С. Широкова*, *Астрон. журн.* **92**(11), 907 (2015).
10. *G. Dryomova, V. Dryomov, and A. Tutukov*, *Baltic Astronomy* **24**, 1 (2015).
11. *Г. Н. Дремова, В. В. Дремов, А. В. Тутуков*, *Астрон. журн.* **96**(10), 866 (2019).
12. *X. Wu, B. Famaey, G. Gentile, H. Perets, and H. Zhao*, *Monthly Not. Roy. Astron. Soc.* **386**, 2199 (2008).
13. *S. E. Koposov, D. Boubert, T. S. Li, G. S. Da Costa, et al.*, *Monthly Not. Roy. Astron. Soc.* **491**, 2465 (2020).
14. *F. Peißker, A. Eckart, M. Zajacek, B. Ali, and S. Britzen*, *Astrophys. J.* **933**, id.49 (2022).
15. *H. Loose, E. Krügel, and A. Tutukov*, *Astron. and Astrophys.* **105**, 342 (1982).
16. *G. Fragione, R. Capuzzo-Dolcetta, and P. Kroupa*, *Monthly Not. Roy. Astron. Soc.* **467**, 451 (2017).
17. *B. Ali, D. Paul, A. Eckart, M. Parsa, et al.*, *Astrophys. J.* **896**, 100 (2020).
18. *Г. Н. Дремова, В. В. Дремов, А. В. Тутуков*, *Астрон. журн.* **99**, 576 (2022).
19. *A. Generozov*, *Monthly Not. Roy. Astron. Soc.* **501**, 3088 (2021).
20. *F. Peißker, A. Eckart, M. Zajacek, B. Ali, and M. Parsa*, *Astrophys. J.* **899**, id.50 (2020).

## EXTREMELY WIDE PAIRS IN THE WORLD OF BINARY STARS

G. N. Dremova<sup>a</sup>, V. V. Dremov<sup>a</sup>, and A. V. Tutukov<sup>b</sup>

<sup>a</sup>*Russian Federal Nuclear Center, Snezhinsk, Russia*

<sup>b</sup>*Institute of Astronomy of the RAS, Moscow, Russia*

This article raises the question of the possibility of identifying stellar pairs, one of the components of which belongs to the family of near-nuclear central S-stars, and the other belongs to a population of hypervelocity stars (HVS). In the recent past, they could be genetically related in one parent binary star, and today its components are separated by hundreds or more parsecs as a result of dynamic capture of a binary star by the field of a supermassive black hole (SMBH). Of interest is the mutual reconstruction of populations of S-stars and HVS calculated within the framework of the classical Hills scenario, based on the principle of supplementing their observational data. The paper is based on a talk presented at the astrophysical memorial seminar “Novelties in Understanding the Evolution of Binary Stars”, dedicated to the 90th anniversary of Professor M.A. Svechnikov.

*Keywords:* S-stars, hypervelocity stars, supermassive black hole, evolutionary relationship