

Рис. 1. Орбитальные параметры известных S-звезд. По горизонтальной оси отложены эксцентриситеты их орбит, по вертикальной оси — большие полуоси звездных орбит в миллипарсеках (один миллипарсек равен 206 астрономическим единицам). Черным и красным цветами отмечены звезды, входящие в состав двух ортогональных дисков, в которые попадают известные S-звезды. Новоткрытым звездам соответствуют сплошные символы (кружочки или звездочки), открытым ранее звездам — символы без центральной закрашки. Рисунок из обсуждаемой статьи в *The Astrophysical Journal Letters*

Американские астрофизики Джакомо Фраджионе и Абрахам Лёб опубликовали статью, в которой они привели новую оценку величины углового момента сверхмассивной черной дыры, расположенной в центре Млечного Пути. Они использовали данные об орбитах так называемых S-звезд — семейства звезд, обращающихся в непосредственной близости от черной дыры. Новая оценка гласит, что угловой момент черной дыры скорее всего не превышает 10% от максимально возможного по нынешним представлениям значения. По занятому совпадению результат Фраджионе и Лёба стал достоянием гласности практически одновременно с присуждением Нобелевской премии по физике Райнхарду Генцелю и Андрею Гез, которые руководили многолетними наблюдениями движения звезд в окрестности дыры и на их основе пришли к заключению, что ее масса примерно в 4 миллиона раз превышает массу Солнца.

Существование черной дыры-миллионника в ядре нашей Галактики уже давно не вызывает сомнений (а только что оно было подтверждено и Нобелевской ассамблеей Академии наук Швеции, см. новость [Нобелевская премия по физике — 2020, «Элементы»](#), 13.10.2020). Ее отождествляют с компактным радиоисточником Стрелец A\* (в сокращенной форме часто пишут Sgr A\* по латинскому наименованию созвездия Стрельца, в котором он находится, — Sagittarius). Масса этой черной дыры вполне надежно измерена на базе информации о десятках звезд, обращающихся вокруг дыры подобно тому, как Земля и прочие планеты обращаются вокруг Солнца. Однако этого нельзя сказать об ее угловом моменте, который пока что практически неизвестен. Это тем более обидно, что в других данных о самой дыре наука не нуждается.

На чем основано столь странное утверждение? Согласно общей теории относительности, любая черная дыра вне зависимости от ее происхождения полностью описывается всего лишь тремя параметрами: массой, угловым моментом и электрическим зарядом. Причем последним можно пренебречь, так как в космическом пространстве заряд дыры был бы быстро погашен из-за аккреции заряженных частиц противоположного знака из окружающего пространства. Поэтому астрономы с полным основанием приписывают реально существующим черным дырам нулевой заряд. Это, конечно, относится и к нашей «домашней» дыре Sgr A\*. Так что знание одной лишь ее массы составляет только половину физически релевантной информации об этом космическом объекте.

Еще немного вспомогательных сведений. Теория утверждает, что масса черной дыры в принципе может быть сколь угодно большой, что полностью подтверждается наблюдениями. Астрономам известны как «скромные» дыры звездных масштабов, так и дыры-гиганты и сверхгиганты, которые тянут на миллионы, миллиарды и даже десятки миллиардов масс Солнца. А вот угловой момент дыры не может превышать верхний предел, который полностью определяется ее массой. Он задается простой формулой:  $J_{\max} = GM^2/c$ , где  $G$  — постоянная тяготения,  $M$  — масса дыры, а  $c$  как принято, скорость света. Дыры, у которых величина углового момента близка к этому пределу, называются экстремальными. Интересно, что именно таковы многие сверхмассивные дыры в центрах галактик, которые за миллиарды лет были сильно раскручены потоками вещества, поставляемого их аккреционными дисками.

Конечно, угловой момент дыры Стрелец A\* не раз пытались измерить, причем разными способами. Однако имеющиеся оценки сильно расходятся. Например, согласно опубликованным в 2016 году данным, основанным на наблюдениях с помощью радиointерферометров со сверхдлинной базой, величина момента не превышает 40% от максимума (см. A. Broderick et al., 2016. [Modeling Seven Years of Event Horizon Telescope Observations with Radiatively Inefficient Accretion Flow Models](#)). Другая группа астрофизиков, представившая свои результаты семью годами ранее, пришла к выводу, что величина момента может доходить до 90% максимальной (M. Mościbrodzka et al., 2009. [Radiative Models of Sgr A\\* from GRMHD Simulations](#)), то есть «наша» черная дыра входит в семейство экстремалов. Примеры этого рода можно продолжить.

В недавнем номере *The Astrophysical Journal Letters* американские астрофизики Джакомо Фраджионе (Giacomo Fragione) и Абрахам Лёб (Abraham (Avi) Loeb) оценили массу дыры на основе тех же фактических данных, что использовали Генцель и Гез, — точнее, несколько расширенных. Новые нобелисты занимались кинематикой звездных спутников черной дыры, которые принято объединять в так называемый S-кластер. Сейчас уже известны четыре десятка этих S-звезд, некоторые из которых были обнаружены лишь в последние годы и потому не учтены в наблюдениях, удостоенных Нобелевской премии. Одна из этих новооткрытых звезд, S62, совершает полный оборот вокруг дыры всего за 9,9 года (F. Peißker et al., 2020. [S62 on a 9.9 yr Orbit around Sgr A\\*](#)), — это меньше, чем период обращения Юпитера вокруг Солнца, который составляет чуть меньше 12 лет. Ее масса всего в 6,1 раза превышает солнечную (массы «старых» S-звезд составляют от 8 до 14 солнечных масс). Кроме того, в последние годы были обнаружены пять тусклых S-звезд с массами в 2–3 солнечных массы (F. Peißker et al., 2020. [S62 and S4711: Indications of a Population of Faint Fast-moving Stars inside the S2 Orbit—S4711 on a 7.6 yr Orbit around Sgr A\\*](#)). Так что семейство известных звезд S-кластера обогатилось не только количественно, но и качественно.

Недавно было показано, что эллиптические орбиты S-звезд сгруппированы в двух плоскостях, каждая из которых видна с Земли почти что «с ребра» (B. Ali et al., 2020. [Kinematic Structure of the Galactic Center S Cluster](#)). Обе плоскости наклонены к главной плоскости Галактики приблизительно на 45 градусов, причем в разные стороны — и, следовательно, почти ортогональны друг к другу. Данные об этих группировках графически представлены на рис. 1.

Эту информацию Фраджионе и Лёб использовали для приблизительной оценки момента вращения черной дыры Стрелец A\*. В ее гравитационном поле орбитальные угловые моменты звезд-спутников должны прецессировать, причем скорость прецессии пропорциональна угловому моменту дыры. Физически это означает, что вращающаяся дыра увлекает за собой окружающее пространство. Такое увлечение (так называемый эффект Лензе — Тирринга) меняет кинематические параметры ближайших к дыре звезд. Постепенно эта прецессия должна так переориентировать плоскости обеих звездных группировок (звездных дисков, как их называют авторы), что те совместятся с экваториальной плоскостью дыры и зафиксируются в этой позиции. Чем быстрее вращается сама дыра (то есть, чем больше ее угловой момент), тем меньше требуется времени для полной переориентации орбит звезд S-кластера. При этом, разумеется, скорость поворота орбитальной плоскости каждой отдельной звезды зависит как от ее вытянутости (иначе говоря, эксцентриситета), так и от величины большой полуоси орбиты, которая служит мерой максимального удаления звезды от дыры. Ближайшие звезды должны занять свои финальные позиции быстрее остальных, поскольку они вблизи дыры движутся с субсветовыми скоростями и поэтому сильнее «чувствуют» такой чисто релятивистский эффект, как увлечение пространства.

Эти положения Фраджионе и Лёб положили в основу своей оценки «дырочного» углового момента. Коль скоро звездные диски продолжают пребывать в различных (сейчас даже взаимно-ортогональных) положениях, по крайней мере один из них (а скорее — оба) еще не успел совместиться с экваториальной плоскостью Стрельца A\*. Это означает, что период прецессии как минимум одного диска заметно превышает типичную продолжительность жизни его звездного населения. Самые массивные звезды в обоих дисках сжигают свое водородное топливо всего за несколько миллионов лет, а самые легкие могут прожить где-то в сто раз дольше. На основе этих соображений авторы пришли к выводу, что величина углового момента дыры скорее всего не превышает одной десятой максимума. Этот вывод иллюстрируется четырьмя диаграммами, представленными на рис. 2.

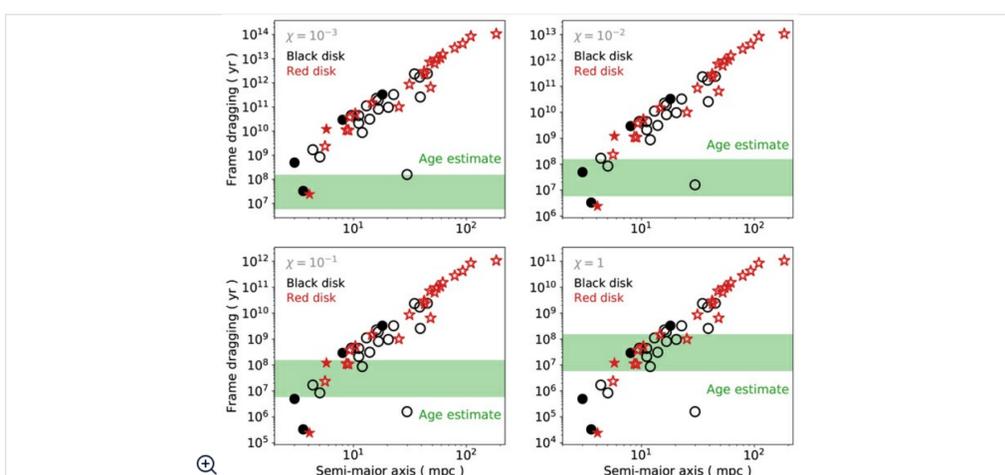


Рис. 2. Распределения орбит S-звезд, смоделированные для четырех разных значений углового момента черной дыры Sgr A\*. По горизонтальной оси отложены большие полуоси звездных орбит в миллипарсеках, по вертикальной — характерные времена прецессии. Смысл диаграмм объяснен в тексте. Рисунок из обсуждаемой статьи в *The Astrophysical Journal Letters*

Приглядимся к этим картинкам. Левый верхний квадрат соответствует предположению, что угловой момент Стрельца A\* равен одной тысячной максимального значения. Хорошо видно, что почти все звезды лежат выше зеленой полосы, ограничивающей их времена жизни. Отсюда следует, что у этих S-звезд просто не было времени для завершения прецессии и стабилизации орбитальных плоскостей в экваториальной плоскости дыры. Для правого верхнего квадрата угловой момент дыры равен одному проценту от максимума, и ситуация там в целом аналогична. Левый нижний квадрат, помеченный десятипроцентным значением углового момента, тоже имеет в зеленой полосе лишь немного звезд. Наконец, последний (правый нижний) квадрат, описывающий ситуацию для дыры-экстремала с максимально возможным значением углового момента, содержит в этой полосе вполне достаточно звезд из обоих дисков. Эти S-звезды имели достаточно времени, чтобы сгруппироваться в экваториальной плоскости дыры, чего не показывают наблюдения. Поэтому Фраджионе и Лёб полагают, что угловой момент дыры вряд ли превышает одну десятую абсолютного максимума.

Конечно, их оценка вовсе не претендует на точность, однако представляет несомненный интерес. А что будет дальше — время покажет. Можно не сомневаться, что дальнейшие исследования дыры и ее космического окружения принесут немало сюрпризов.

Источник: Giacomo Fragione and Abraham Loeb. [An Upper Limit on the Spin of Sgr A\\* Based on Stellar Orbits in Its Vicinity](#) // *The Astrophysical Journal Letters*. 2020. DOI: 10.3847/2041-8213/abb9b4.

Алексей Левин

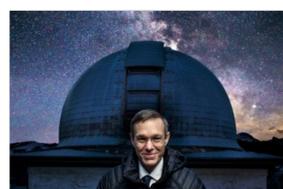
📧 📧 📧 📧 📧 📧 72

▼ КОММЕНТАРИИ (72)

См. также

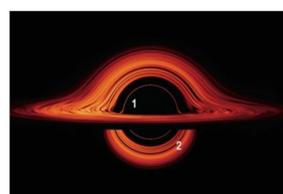


Нобелевская премия по физике — 2020  
13.10 • АЛЕКСЕЙ ЛЕВИН • НОВОСТИ НАУКИ



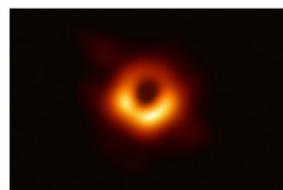
Ави Лёб рассказывает об астрофизике настоящего и будущего  
29.05.2019 • АЛЕКСЕЙ ЛЕВИН • НОВОСТИ НАУКИ





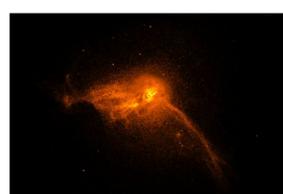
#### Дыра в деталях

РОМАН ФИШМАН • БИБЛИОТЕКА • «ПОПУЛЯРНАЯ МЕХАНИКА» №12, 2019



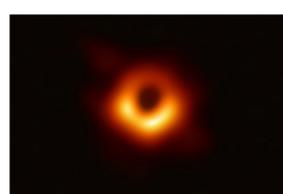
#### Как ловить тень черной дыры

29.04.2019 • АЙК АКОПЯН • ЗАДАЧИ



#### Фотонная сфера и «тень» черной дыры

27.05.2019 • АЙК АКОПЯН • ЗАДАЧИ



#### Черная дыра галактики M87: портрет в интерьере

14.04.2019 • АЛЕКСЕЙ ЛЕВИН • НОВОСТИ НАУКИ

→ 21.10.2020

Гидрогель с амфифильными пептидами — хорошая основа для 3D-моделирования раковых опухолей

← 26.10.2020

Пожилые шимпанзе предпочитают старых друзей

#### ДРУГИЕ НОВОСТИ

Алексей Левин	76
Астрономия	350
Черные дыры	9



#### Рельеф тессер на Венере мог сформироваться под действием водных потоков

25.11 • КИРИЛЛ ВЛАСОВ



#### Новостная рассылка

ПОДПИСАТЬСЯ



Э | Л | Е | М | Е | Н | Т | Ы |

Новости науки  
ЛНС  
Картинка дня  
Задачи  
Библиотека  
Видеотека  
Книжный клуб

Научный календарь  
Детские вопросы  
Масштабы: времена  
Плакаты  
200 законов мироздания  
Журнал общей биологии  
Наука в Рунете



БАЗИС

При поддержке фонда «Базис»

О проекте   Обратная связь   Подписаться на рассылку

© 2005–2020 «Элементы»