

Темное Синее

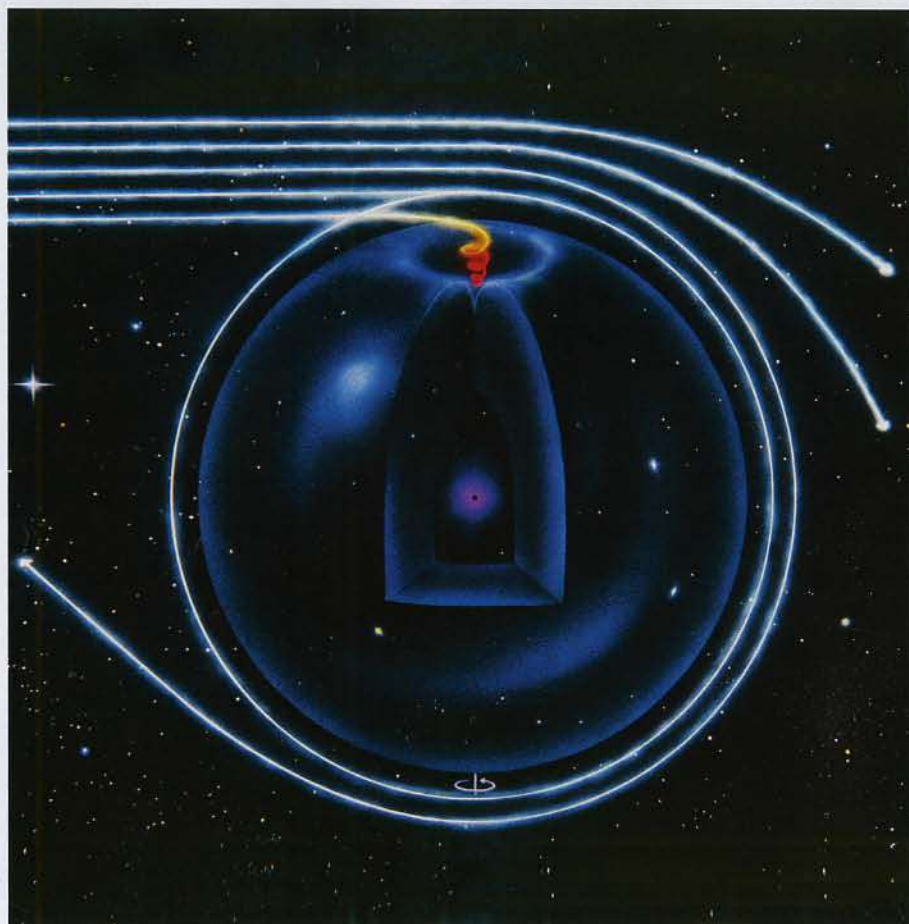
О существовании во Вселенной черных дыр ученые начали догадываться еще в XVIII веке, но убедительно доказать их реальность смогли только во второй половине века XX. А сегодня они уже собираются создавать микроскопические черные дыры прямо на Земле.

Текст: Дмитрий Вибе

На фото:

Как только не называли эти объекты астрономы и физики: темные звезды, застывшие звезды, коллапсеры, — пока американский физик Джон Уиллер не предложил именовать их «черными дырами». С его легкой руки название прижилось не только в научной среде, но и в массовом сознании.





На фото:

Неимоверная сила гравитации черной дыры тем сильнее изгибает траектории световых лучей, чем ближе они оказываются к горизонту событий. Лучу, попавшему под горизонт, не суждено вырваться обратно.

По возрасту черная дыра если и не ровесница ньютоновскому яблоку, то, по крайней мере, происходит из той же исторической эпохи.

Став популярной метафорой, термин «черная дыра» в значительной степени лишился того физического смысла, который вкладывали в него поколения ученых. Осталось лишь впечатление бездонной пропасти, готовой поглотить всё и вся.

Между тем идея, лежащая в основе понятия «черная дыра», проста и очевидна. Настолько очевидна, что впервые она была высказана 225 лет назад. Так что по возрасту черная дыра если и не ровесница ньютоновскому яблоку,

то, по крайней мере, происходит из той же исторической эпохи.

Автор этой идеи — английский геолог Джон Мичелл. В XVIII веке благодаря трудам Ньютона было уже известно, что все тела во Вселенной связаны между собой узами гравитации. Чтобы разорвать эти узы, необходимо разогнаться до определенной скорости, которую иногда называют второй космической, или скоростью убегания. В окрестностях Земли она равна примерно 11 км/с. Если разогнать космический аппарат до большей скорости, он преодолит притяжение Земли и станет самостоятельным телом Солнечной системы. Если скорость не достигнет до второй космической, аппарат останется спутником Земли.

Другим слагаемым идеи Мичелла стала скорость света. В те времена свет считали потоком частиц-корпускул, которые, как и все остальные тела в Космосе, подвержены воздействию тяготения. Эти частицы беспрепятственно отрываются от Земли и даже от Солнца, потому что их скорость →

ГЕОФакт

ДЖОН МИЧЕЛЛ (1724–1793)

В 1760 году был избран в Королевское общество за заслуги в исследовании причин землетрясения, стершего с лица земли Лиссабон в 1755 году.



Как будут выглядеть тела, у которых вторая космическая скорость превышает скорость света? Никак – ведь если свет не может оторваться от звезды, мы ее никогда не увидим.

→ неимоверно велика. В XVIII веке уже было известно, что за секунду свет проходит расстояние порядка 300 тысяч километров – рядом с этой величиной меркнут вторые космические скорости всех астрономических светил.

Но всех ли? В 1783 году Мичелл написал письмо другому английскому физику, Г. Кавендишу, в котором задался вопросом: как будут выглядеть тела, у которых вторая космическая скорость превышает скорость света? Там же он дал и ответ на этот вопрос: они никак не будут выглядеть! Мы видим окружающие нас предметы лишь постольку, поскольку они отражают чужой свет или светятся сами. Соот-

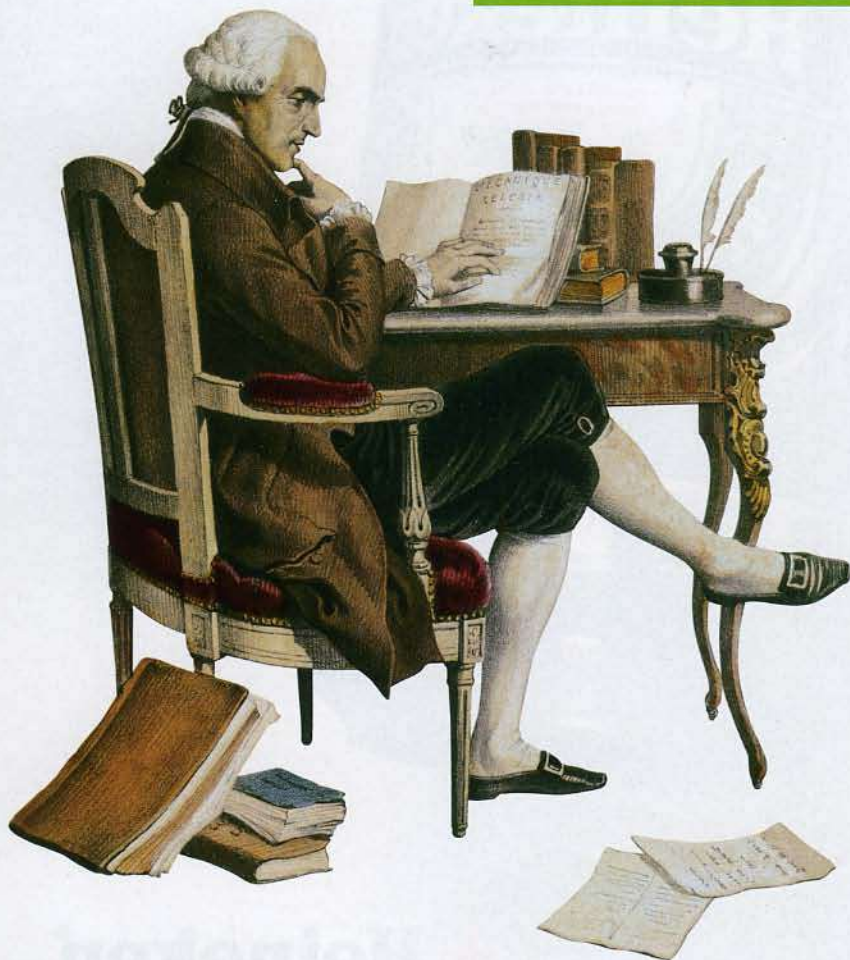
ветственно, если свет не может оторваться от звезды, мы ее никогда не увидим. Разумеется, язык не поворачивается именовать такой объект светилом. Сам Мичелл назвал придуманные им тела «темными звездами». Он считал, что их во Вселенной может быть столько же, сколько и «нормальных» звезд, и предложил искать темные звезды по их гравитационному воздействию на другие тела. Например, сигналом о наличии «темной звезды» можно считать обычную звезду, летающую по орбите вокруг пустого места.

Через 13 лет после Мичелла аналогичные соображения высказал в книге «Изложение системы мира» француз Пьер Симон Лаплас. Интересно, что книга Лапласа выдержала несколько прижизненных изданий, но темным звездам нашлось место только в первых двух. Из последующих изданий Лаплас их удалил. Возможно, он узнал, что его опередил Мичелл. А может быть, просто разуверился в этой гипотезе. В начале XIX века новые эксперименты убедили физиков, что свет ведет себя не как поток частиц, а как волна.

ГЕОФакт

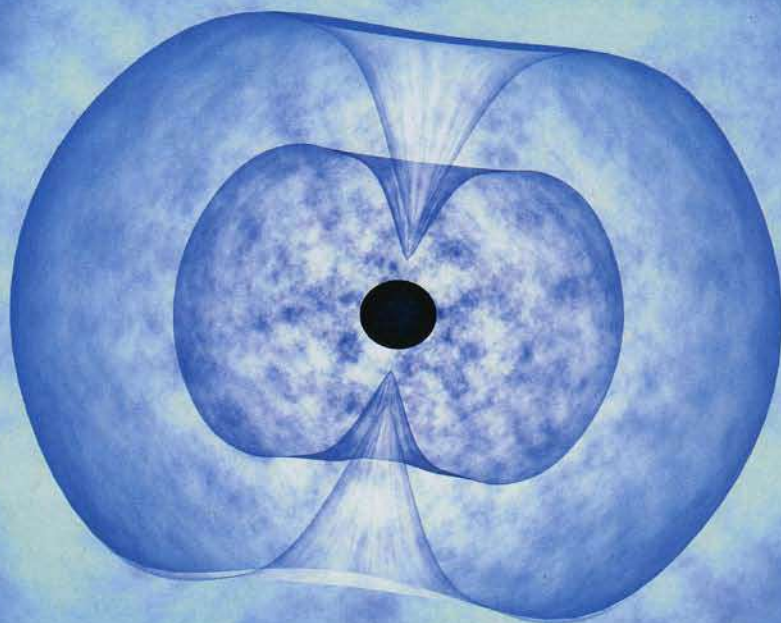
ПЬЕР СИМОН ЛАПЛАС (1749–1827)

После Великой французской революции был исключен из Академии «за недостаток ненависти к королям» и бежал из Парижа. Вернувшись при Наполеоне, занял пост министра внутренних дел.



Второе дыхание «темные звезды» обрели в начале XX века благодаря появлению новой теории гравитации — общей теории относительности. Путевку в жизнь дал им немецкий ученый Карл Шварцшильд. В 1915 году он написал две научные статьи, посвященные решению уравнений Эйнштейна и, по сути, содержавшие описание «темных звезд» с релятивистских позиций.

Правда, Шварцшильд решал задачу не о звездах. Пока мы говорим о реальных объектах, значения второй космической скорости всегда ограничены их размерами. Возьмем, к примеру, Землю. На ее поверхности вторая космическая скорость равна 11,2 км/с. Чем дальше от Земли, тем вторая космическая скорость меньше, потому что с удалением от Земли ослабевает сила гравитации. Допустим, мы задались целью сделать из Земли «темную звезду» Мичелла. Для этого нам нужно увеличить скорость убегания до скорости света, но как это сделать? Чтобы уменьшить скорость убегания, нужно удалиться от Земли, чтобы увеличить ее, нужно приближаться к ней. →



На фото:

Превращение массивной звезды в черную дыру может сопровождаться мощным импульсом жесткого излучения, который мы на Земле наблюдаем как гамма-всплеск.

→ Но как приблизиться к ней, если мы уже стоим на поверхности? Вот если бы удалось как-то сжать Землю...

Согласно расчетам Шварцшильда, для тела с массой, равной массе Земли, скорость убегания сравняется со скоростью света, если радиус тела будет равен нескольким сантиметрам. Трудно представить себе крохотный шарик, обладающий столь внушительной

массой, однако только при этих условиях сила гравитации шарика станет настолько сильной, что не даст свету покинуть его поверхность. Радиус, на котором вторая космическая скорость становится равной скорости света, известен с тех пор как радиус Шварцшильда, или гравитационный радиус.

Конечно, суть проблемы не сводится к простому совпадению двух скоростей. Сама структура пространства-времени меняется в сильнейшем гравитационном поле столь кардинальным образом, что не только свет, но и вообще ничто в нашем мире не может выйти из радиуса Шварцшильда во внешний мир. Сжатое до нужной степени тело окружено своеобразной мембраной — всех впускать, никого не выпускать. Эту мембрану называют еще горизонтом событий: события, происходящие внутри мембраны, под горизонтом, принципиально нам недоступны. Что бы ни упало под горизонт событий, оно никогда не вернется обратно.

GEOФакт

КАРЛ ШВАРЦШИЛЬД (1873–1916).

В начале Первой мировой войны, будучи директором Потсдамской обсерватории, ушел добровольцем на фронт. Статьи, посвященные «темным звездам», Шварцшильд писал в плену в госпитале в России.



ИСТОРИЯ

→ Современники Шварцшильда, выразив восхищение математической элегантностью его работы, не сочли ее имеющей хоть какой-то физический смысл. Да и какой может быть физический смысл в словах: «Давайте сожмем Землю до размера в несколько сантиметров»? Шварцшильд, к слову сказать, вообще рассматривал безразмерные тела, считая, что вся их масса стянута в точку. Но таких тел в природе не бывает! Реальные планеты и звезды обладают вполне конкретными размерами, которые весьма существенно превышают их гравитационные радиусы.

Какая сила может сжать небесные тела до такой степени, чтобы они оказались под горизонтом событий? Такая сила есть — это все та же гравитация. К счастью, Земля обладает достаточной механической прочностью, чтобы не раздавить саму себя под тяжестью собственного веса. Но вот в звездах ситуация иная. Они состоят из газа, и гравитационному сжатию в них противостоит газовое давление, которое зависит от температуры. Пока в звезде работает внутренняя печка — термоядерные реакции, — сжатие ей не грозит. Но в любой печке рано или поздно заканчивается топливо. Гаснет термоядерный огонь, звезда начинает остывать и сжимается под собственным весом. Атомы сближаются друг с другом, электроны срываются с орбит — газ становится вырожденным. Давление вырожденного газа гораздо сильнее обычного газового давления, и потому для не очень массивной звез-

ГЕОФакт

СУБРАМАНЬЯН ЧАНДРАСЕКАР (1910–1995). Родился в Лахоре (Пакистан), учился в Мадрасе (Индия) и Кембридже (Великобритания). С 1937 года преподавал в Чикагском университете (США). В 1983 году удостоен Нобелевской премии по физике.



ды сжатие на этом и заканчивается — звезда становится белым карликом.

В 1930-е годы казалось вполне вероятным, что именно такая судьба ожидает все звезды. Однако эту иллюзию разрушили труды индийского ученого Субраманьяна Чандрасекара. Он вычислил структуру вырожденной звезды и обнаружил, если она может существовать лишь при условии, что ее масса не превышает 1,4 массы Солнца. Если звезда более массивна, давление вырожденного газа не может противостоять ее гравитации, и сжатие продолжится дальше. Электроны начнут вдавливаться в атомы, сливаться с протонами, превращаясь в нейтроны, — образуется нейтронная звезда. Но и возможности нейтронного газа не безграничны. Его давление позволяет отыграть у гравитации еще полторы солнечных массы, но сверх этого катастрофическое сжатие умершей звезды — коллапс — остановить невозможно.

Итак, если масса звездного остатка не превышает 1,4 массы Солнца, он превращается в белый карлик. Если масса остатка заключена между 1,4 и примерно тремя солнечными массами, получаем нейтронную звезду. С остальными должно происходить что-то другое. Но что? В 1932 году советский физик Лев Ландау пришел к выводу, что при массе звезды больше некоторого критического значения в квантовой теории нет причины, которая предотвратила бы коллапс звезды в точку.

В 1939 году окончательный ответ на этот вопрос дали американцы Роберт Оппенгеймер и его ученик Хартленд Снайдер. Они построили модель неограниченно сжимающейся холодной сферы... и получили в ответе решение Шварцшильда. «Темные звезды», которые еще в 1916 году казались чистой игрой ума, начали обретать плоть и кровь.

Работа Оппенгеймера и Снайдера не сразу обрела признание коллег. Даже Артур Эддингтон, большой знаток и энтузиаст общей теории относительности, отказывался признать, что у природы есть способ загнать вещество под радиус Шварцшильда. Но потом отгремела Вторая мировая война, и по обе стороны железного занавеса благодаря ядерной гонке возникли мощ-

Сжатое до нужной степени тело окружено мембраной, которую называют «горизонтом событий». Что бы ни упало под горизонт событий — оно никогда не вернется обратно.



На фото:

Возможно, черная дыра — не средоточие безнадежности, а дверца в иную Вселенную? Черные дыры, которые открывают путь в следующую Вселенную, и так — до бесконечности.

→ нейшие плеяды физиков-теоретиков, у которых было время на занятия не только прикладными, но и фундаментальными физическими проблемами. Начался золотой век релятивистской астрофизики. Изучение свойств пространства-времени в сверхсильных гравитационных полях перестало быть уделом одиночек, ими интересовалось все больше физиков.

На одной из конференций 1967 года американский ученый Джон Уилер, устав от терминологической неразберихи (темные звезды, застывшие звезды, коллапсары...), чуть ли не экспром-

том предложил называть объекты, находящиеся под горизонтом событий, «черными дырами».

Название прижилось мгновенно — уж слишком соответствовало образу. Черная дыра не просто безвозвратно поглощает все падающее на нее вещество. Чудовищная сила гравитации безжалостно перемальвует это вещество, уничтожая любые следы его прошлой внутренней структуры.

Строго говоря, в черной дыре вещества вообще нет, а есть одна только гравитация. Это свойство делает черную дыру не только очень странным,

но и очень простым объектом. Тот же Джон Уилер выразил эту простоту словами: «У черных дыр нет волос». Точнее, у любой черной дыры есть всего три «волосинки» — масса, скорость вращения и электрический заряд. Во всем остальном они абсолютно «лысые», то есть лишены каких бы то ни было особых примет, позволяющих отличить одну черную дыру от другой.

Больше того, поскольку Космос электрически нейтрален, у реальных черных дыр «волосинок» должно быть и вовсе две, потому что заряд всегда равен нулю. Сказав про черную дыру, что ее масса равна, скажем, пяти солнечным массам, вы сказали про нее ровно половину того, что про нее вообще можно сказать. Добавив же к массе величину углового момента, вы и вовсе построите исчерпывающее описание черной дыры.

Итак, в 1960–1970-е годы теоретики построили детальную картину строения и эволюции черных дыр. В это же время у астрономов появились первые свидетельства того, что черные дыры могут существовать в реальности.

Как же разглядеть объект, который по определению нельзя видеть? Вспомним рекомендацию Мичелла: искать невидимку нужно по ее тяготению. Причем это должен быть не просто источник гравитации. Он должен быть маленьким (относительно «обычных» объектов той же массы), невидимым и лишенным поверхности (ее заменяет горизонт событий). Последний пункт доказать довольно сложно, поэтому на практике ограничиваются размером и невидимостью.

Ситуация упрощается, если подозрительный объект входит в пару с «нормальной» звездой. В этом случае мы имеем дело с двойной системой, в которой один из компонентов уже прошел свой эволюционный путь до конца и потому может быть белым карликом, нейтронной звездой или черной дырой. Допустим, мы наблюдаем систему, которая обладает признаками двойственности, но при этом реально видна лишь одна звезда пары. Наблюдая за движением звезды, можно при помощи законов Кеплера оценить массу невидимого компонента. Получилось больше трех солнечных

Sheba®

Не провайт, роколлайн

Порция нежности

*Соте из Куриных грудок
Белое мясо птицы.
Соблазнительно вкусно.*



*Предложите любимой кошке
изысканное угощение
из нежных ломтиков
птицы в аппетитном соусе.*



На фото:

Гигантская эллиптическая галактика Центавр А — мощный источник радио-, рентгеновских и гамма-лучей. Предполагается, что причина ее активности заключена в падении вещества на огромную черную дыру.

→ масс — велики шансы на то, что невидимка окажется черной дырой.

Конечно, совершенно нереально организовать слежку за всеми звездами, проверяя, нет ли у них в окрестностях невидимого спутника. На помощь приходит явление аккреции — если звезда слишком близка к спутнику, он срывает с нее вещество, и это вещество закручивается вокруг спутника в тонкий диск, приближаясь к нему по спирали и из-за внутреннего трения изрядно разогреваясь. Горячий газ становится источником рентгеновского излучения, которое можно наблюдать при помощи специальных телескопов.

Вообще, источник жесткого излучения — это всегда сигнал для астрономов, что там происходит что-то интересное. В частности, этим интересным может оказаться аккреция вещества на черную дыру. Именно так был открыт первый кандидат в черные дыры — невидимый объект в рентгеновском источнике Лебедь X-1. Правда, наблюдения пока не позволили опре-

делить его размер, удалось лишь ограничить его сверху: он не превышает 1000 км. А вот масса оказалась заведомо больше заветного предела в три массы Солнца.

Сейчас таких рентгеновских кандидатов в черные дыры известно уже несколько десятков, но они продолжают оставаться кандидатами, пока не проверен решающий признак черной дыры — отсутствие поверхности. У нейтронных звезд поверхность есть, и из-за этого на них время от времени происходят рентгеновские вспышки: вещество из диска падает на поверхность и накапливается там. Когда набирается критическая масса, на нейтронной звезде происходит небольшой термоядерный взрыв, который на Земле наблюдается как всплеск жесткого излучения.

Естественно, на черной дыре таких вспышек быть не может — у нее нет поверхности, и потому веществу негде скапливаться. В полном согласии с этой моделью, пока рентгеновские

вспышки фиксируются только на невидимых спутниках с массой ниже трех солнечных, то есть на нейтронных звездах. На более массивных объектах — предполагаемых черных дырах — пока ни одной вспышки не видели.

Однако в мире космических черных дыр невидимые спутники в рентгеновских двойных системах оказались не самыми интересными экспонатами. В конце концов, несмотря на внешнюю экзотичность, они, по видимости, являются естественным продуктом обычной звездной эволюции. Иначе обстоят дела со сверхмассивными кандидатами в черные дыры, которые скрываются в галактических ядрах. Их происхождение до сих пор остается загадкой.

Эта история началась в 1963 году, когда американский астроном Мартен Шмидт обнаружил, что одна из тусклых звездочек 13-й величины в созвездии Девы, совпадающая с радиоисточником 3С 273, на самом деле удалена от нас на два с половиной миллиарда световых лет и светит в триллионы раз ярче Солнца. Эта звездочка стала первым представителем класса квазаров — квазизвездных радиоисточников.

Сейчас число известных квазаров измеряется уже десятками тысяч, но все они обладают общими свойствами: небольшими размерами и чудовищной яркостью. Современной науке известен лишь один механизм, который позволял бы извлекать такую огромную энергию в столь малом объеме. Это все та же аккреция, только теперь уже не на невидимый спутник двойной звезды, а на нечто более внушительное: на компактное тело, масса которого превышает солнечную в миллионы, а то и в миллиарды раз. Если это не черная дыра, то что?

Сегодня физики полагают, что такая сверхмассивная черная дыра скрывается в ядре почти любой галактики. Если по каким-то причинам в галактическом ядре скапливается много газа (например, в результате столкновения с другой галактикой), он начинает падать на черную дыру, закручиваясь в аккреционный диск, — включается квазар. Когда газ заканчивается, квазар гаснет, а черная дыра переходит в «спящий режим».

Фастум® гель

Помогает победить воспаление и боль!



**От боли
в спине и шее**



**От боли в мышцах
и суставах**

**M BERLIN-CHEMIE
MENAHEIM**

ИМЕЮТСЯ ПРОТИВОПОКАЗАНИЯ.
ОЗНАКОМЬТЕСЬ С ИНСТРУКЦИЕЙ.



На фото:

Кольцо Эйнштейна. Так будет выглядеть далекая галактика, если между нею и наблюдателем окажется черная дыра, искривляющая лучи света подобно гигантской линзе.

→ Наиболее убедительно доказана реальность такой спящей черной дыры в центре нашей Галактики. Там находится знаменитый радиоисточник *Sgr A**. Точные измерения показали, что его поперечник не превышает примерно 2000 астрономических единиц. При этом он не испытывает никаких заметных возмущений от притяжения близких звезд, а значит, он по меньшей мере в сотни тысяч раз массивнее их. Очень массивный и компактный объект — это уже типичное указание на черную дыру, но в данном случае ученым удалось зайти дальше. Кропотливые измерения координат звезд в центре Млечного Пути впервые позволили напрямую выполнить завет Мичелла — найти звезду (и не одну), которая по классической эллиптической орбите вращается вокруг пустого места.

В данном случае не формулы теории относительности, а простые законы Кеплера, которые многократно проверены и перепроверены как в Солнечной системе, так и за ее пределами, убедительно свидетельствуют: звезды в центре нашей Галактики обращаются вокруг объекта массой в 3–4 миллиона масс Солнца. Причем радиус этого объекта никак не может превышать примерно 130 астрономических единиц,

ибо именно настолько приближается к нему самая близкая звезда. Координаты этого невидимого «центра тяготения» совпали с координатами радиоисточника *Sgr A**.

В целом нужно признать, что пока ни одно наблюдение не удается однозначно интерпретировать в пользу черных дыр. Есть лишь свидетельства компактности, массивности и невидимости. Тем не менее большинство ученых склоняются к мысли, что приставку «кандидат» у кандидатов в черные дыры можно уже убирать.

Пока ученые выясняют, существуют ли в реальности объекты под горизонтом событий, черные дыры прочно заняли место в современной мифологии. Нет-нет да и появится где-нибудь,

ГЕОАвтор

ДМИТРИЙ ВИБЕ
 Ведущий научный сотрудник Института астрономии РАН и постоянный автор ГЕО продолжает знакомить нас с устройством Вселенной.

