

Карлики звездного мира

ВЛАДИМИР СУРДИН, кандидат физико-математических наук

Относительно яркие и массивные светила довольно просто увидеть невооруженным глазом, но в Галактике куда больше карликовых звезд, которые видны только в мощные телескопы, даже если расположены вблизи от Солнечной системы. Среди них есть как скромные долгожители — красные карлики, так и недотянувшие до полноценного звездного статуса коричневые и отошедшие на покой белые карлики, постепенно превращающиеся в черные.

Судьба звезды целиком зависит от размера, а точнее от массы. Чтобы лучше представить себе массу звезды, можно привести такой пример. Если положить на одну чашу весов 333 тысячи земных шаров, а на другую — Солнце, то они уравновесят друг друга. В мире звезд наше Солнце — середнячок. Оно в 100 раз уступает по массе самым крупным звездам и раз в 20 превосходит самые легкие. Казалось бы, диапазон невелик: приблизительно как от кита (15 тонн) до кота (4 килограмма). Но звезды — не млекопитающие, их физические свойства гораздо сильнее зависят от массы. Сравнить хотя бы температуру: у кита и кота она почти одинаковая, а у звезд различается в десятки раз: от 2000 кельвинов у карликов до 50 000 у массивных звезд. Еще сильнее — в миллиарды раз различается мощность их излучения. Именно поэтому на небе легко замечаем далекие гигантские звезды, а карликов не видим даже в окрестностях Солнца.

Но когда были проведены аккуратные подсчеты, выяснилось, что распространенность гигантов и карликов в Галактике сильно напоминает ситуацию с китами и котами на Земле. В биосфере есть правило: чем мельче организм, тем больше его особей в природе. Оказывается, это справедливо и для звезд, но объяснить эту аналогию не так-то просто. В живой природе действуют пищевые цепи: крупные поедают мелких. Если бы лис в лесу стало больше, чем зайцев, то чем бы питались эти лисы? Однако звезды, как правило, не едят друг друга. Тогда почему же гигантских звезд меньше, чем карликов? Половину ответа на этот вопрос астрономы уже знают.

Дело в том, что жизнь массивной звезды в тысячи раз короче, чем карликовой. Чтобы удержать собственное тело от гравитационного коллапса, звездам-тяжеловесам приходится раскаляться до высокой температуры — сотен миллионов градусов в центре. Термоядерные реакции идут в них очень интенсивно, что приводит к колоссальной мощности излучения и быстрому сгоранию «топлива». Массивная звезда растрчивает всю энергию за несколько миллионов лет, а экономящие карлики, медленно тлея, растягивают свой термоядерный век

на десятки и более миллиардов лет. Так что, когда бы ни родился карлик, он здравствует до сих пор, ведь возраст Галактики всего около 13 миллиардов лет. А вот массивные звезды, появившиеся на свет более 10 миллионов лет назад, давно уже погибли.

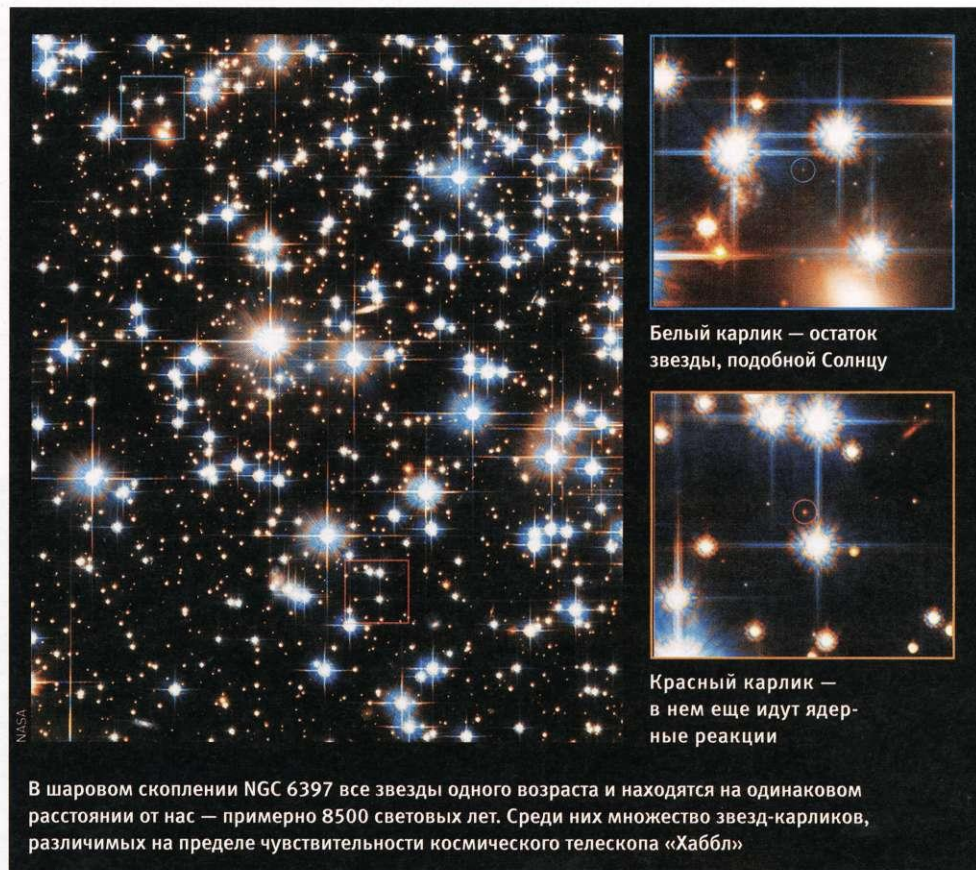
Однако это лишь половина ответа на вопрос, почему гиганты встречаются в космосе так редко. А вторая половина состоит в том, что массивные звезды рождаются намного реже, чем карликовые. На сотню новорожденных звезд типа нашего Солнца появляется лишь одна звезда с массой раз в 10 больше, чем у Солнца. Причину этой «экологической закономерности» астрофизики пока не разгадали.

НЕДОСТАЮЩЕЕ ЗВЕНО

До недавних пор в классификации астрономических объектов зияла большая дыра: самые маленькие известные звезды были раз в 10 легче Солнца, а самая массивная планета —

Юпитер — в 1000 раз. Существуют ли в природе промежуточные объекты — не звезды и не планеты с массой от 1/1000 до 1/10 солнечной? Как должно выглядеть это «недостающее звено»? Можно ли его обнаружить? Эти вопросы давно волновали астрономов, но ответ стал намечаться лишь в середине 1990-х годов, когда программы поиска планет за пределами Солнечной системы принесли первые плоды. На орбитах вокруг нескольких солнцеподобных звезд обнаружили планеты-гиганты, причем все они оказались массивнее Юпитера. Промежуток по массе между звездами и планетами стал сокращаться. Но возможна ли смычка, и где провести границу между звездой и планетой?

Еще недавно казалось, что это совсем просто: звезда светит собственным светом, а планета — отраженным. Поэтому в категорию планет попадают те объекты, в недрах которых за все время существования ▶



Белый карлик — остаток звезды, подобной Солнцу

Красный карлик — в нем еще идут ядерные реакции

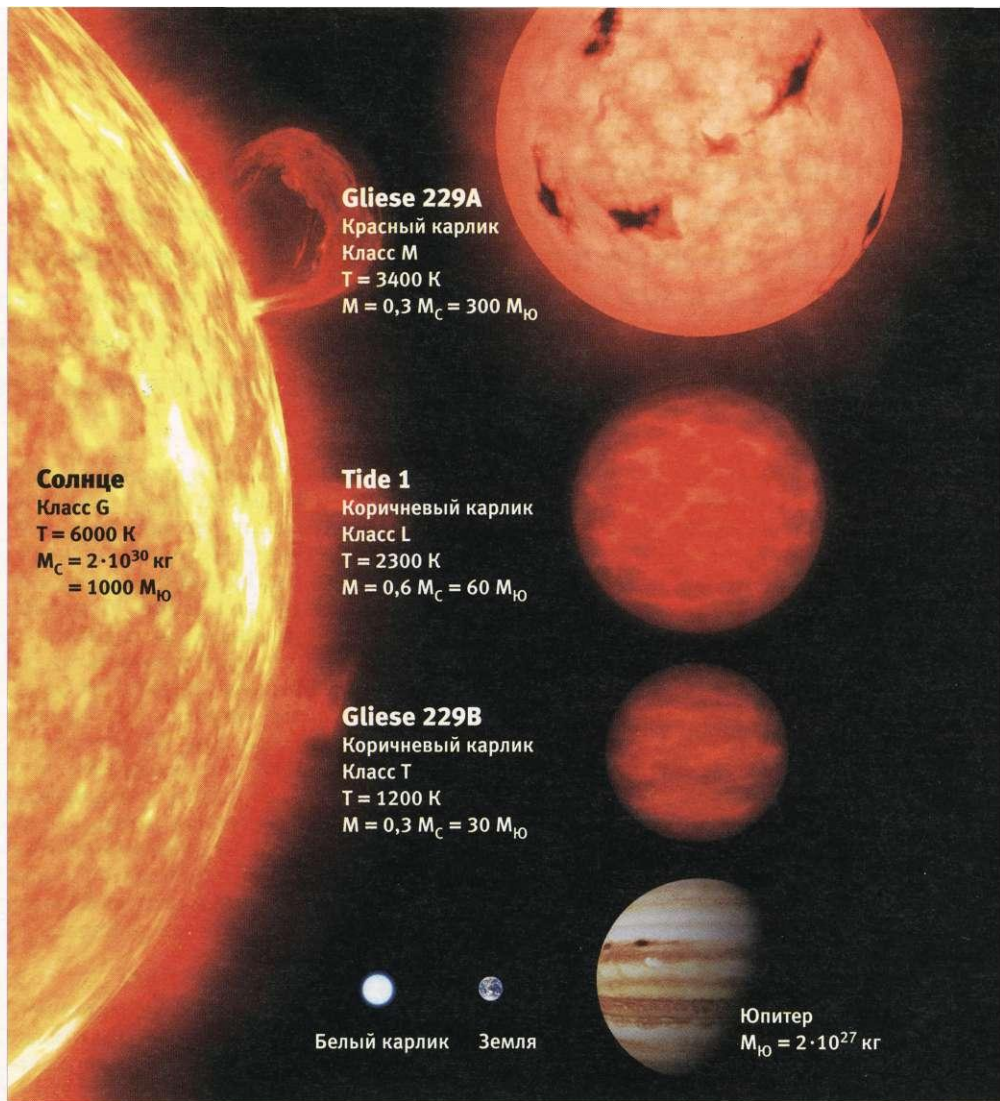
В шаровом скоплении NGC 6397 все звезды одного возраста и находятся на одинаковом расстоянии от нас — примерно 8500 световых лет. Среди них множество звезд-карликов, различимых на пределе чувствительности космического телескопа «Хаббл»

ПЛАНЕТАРИЙ

не протекают реакции термоядерного синтеза. Если же на некотором этапе эволюции их мощность была сравнима со светимостью (то есть термоядерные реакции служили главным источником энергии), то такой объект достоин называться звездой. Но оказалось, что могут существовать промежуточные объекты, в которых термоядерные реакции происходят, но никогда не служат основным источником энергии. Их обнаружили в 1996 году, но еще задолго до того они получили название коричневых карликов. Открытию этих странных объектов предшествовал тридцатилетний поиск, начавшийся с замечательного теоретического предсказания.

В 1963 году молодой американский астрофизик индийского происхождения Шив Кумар рассчитал модели самых маломассивных звезд и выяснил, что если масса космического тела превосходит 7,5% солнечной, то температура в его ядре достигает нескольких миллионов градусов и в нем начинаются термоядерные реакции превращения водорода в гелий. При меньшей массе сжатие останавливается раньше, чем температура в центре достигает значения, необходимого для протекания реакции синтеза гелия. С тех пор это критическое значение массы называют «границей возгорания водорода», или пределом Кумара. Чем ближе звезда к этому пределу, тем медленнее идут в ней ядерные реакции. Например, при массе 8% солнечной звезда будет «тлеть» около 6 триллионов лет — в 400 раз больше современного возраста Вселенной! Так что, в какую бы эпоху ни родились такие звезды, все они еще находятся в младенческом возрасте.

Впрочем и в жизни менее массивных объектов бывает краткий эпизод, когда они напоминают нормальную звезду. Речь идет о телах с массами от 1% до 7% массы Солнца, то есть от 13 до 75 масс Юпитера. В период формирования, сжимаясь под действием гравитации, они разогреваются и начинают светиться инфракрасным и даже чуть-чуть красным — видимым све-



Солнце

Класс G
T = 6000 K
 $M_C = 2 \cdot 10^{30}$ кг
= 1000 $M_{Ю}$

Gliese 229A

Красный карлик
Класс M
T = 3400 K
 $M = 0,3 M_C = 300 M_{Ю}$

Tide 1

Коричневый карлик
Класс L
T = 2300 K
 $M = 0,6 M_C = 60 M_{Ю}$

Gliese 229B

Коричневый карлик
Класс T
T = 1200 K
 $M = 0,3 M_C = 30 M_{Ю}$

Белый карлик Земля

Юпитер
 $M_{Ю} = 2 \cdot 10^{27}$ кг

том. Температура их поверхности может подняться до 2500 кельвинов, а в недрах превысить 1 миллион кельвинов. Этого хватает, чтобы началась реакция термоядерного синтеза гелия, но только не из обычного водорода, а из очень редкого тяжелого изотопа — дейтерия, и не обычного гелия, а легкого изотопа гелия-3. Поскольку дейтерия в космическом веществе очень мало, весь он быстро сгорает, не давая существенного выхода энергии. Это все равно, что бросить в остывающий костер лист бумаги: сгорит моментально, но тепла не даст. Разогреться сильнее «мертворожденная» звезда не может — ее сжатие останавливается под дейст-

вием внутреннего давления вырожденного газа. Лишенная источников тепла, она в дальнейшем лишь остывает, как обычная планета. Поэтому заметить эти неудавшиеся звезды можно только в период их недолгой молодости, пока они теплые. Выйти на стационарный режим термоядерного горения им не суждено.

ОТКРЫТИЕ «МЕРТВОРОЖДЕННЫХ» ЗВЕЗД

Физики уверены: что не запрещено законами сохранения, то разрешено. Астрономы добавляют к этому: природа богаче нашего воображения. Если Шив Кумар смог придумать коричне-

ВЫРОЖДЕННЫЕ ЗВЕЗДЫ

Обычно в период формирования звезды ее гравитационное сжатие продолжается до тех пор, пока плотность и температура в центре не достигнут значений, необходимых для запуска термоядерных реакций, и тогда за счет выделения ядерной энергии давление газа уравнивает его собственное гравитационное притяжение. У массивных звезд темпе-

ратура выше и реакции начинаются при относительно небольшой плотности вещества, но чем меньше масса, тем выше оказывается «плотность зажигания». Например, в центре Солнца плазма сжата до 150 граммов на кубический сантиметр. Однако при плотности, еще в сотни раз большей, вещество начинает сопротивляться давлению независимо от

роста температуры, и в итоге сжатие звезды прекращается прежде, чем выход энергии в термоядерных реакциях становится значимым. Причиной остановки сжатия служит квантовомеханический эффект, который физики называют давлением вырожденного электронного газа. Дело в том, что электроны относятся к тому типу частиц, ко-

торый подчиняется так называемому «принципу Паули», установленному физиком Вольфгангом Паули в 1925 году. Этот принцип утверждает, что тождественные частицы, например электроны, не могут одновременно находиться в одном и том же состоянии. Именно поэтому в атоме электроны движутся по разным орбитам. В недрах звезды нет

Красный карлик



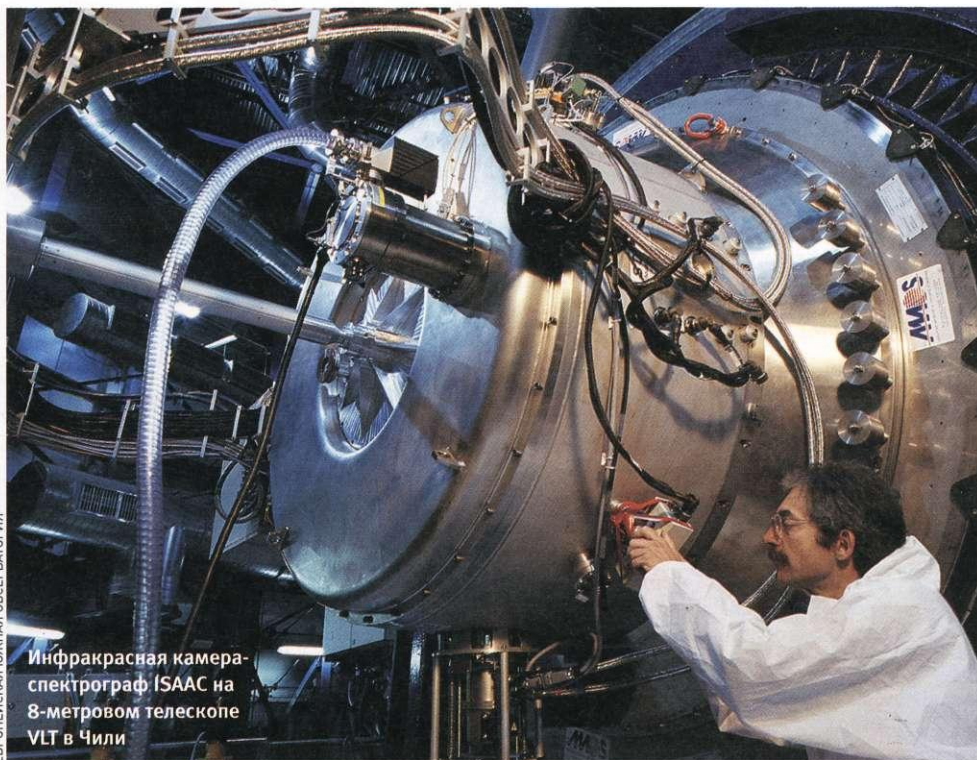
Коричневый карлик



Юпитер



Внутреннее строение карликовых звезд и гигантских планет



ЕВРОПЕЙСКАЯ ЮЖНАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ

Инфракрасная камера-спектрограф ISAAC на 8-метровом телескопе VLT в Чили

С открытием коричневых карликов спектральная классификация звезд пополнилась двумя новыми классами

вые карлики, то природе, казалось бы, не составит труда их создать. Три десятилетия продолжались безрезультатные поиски этих тусклых светил. В работу включались все новые и новые исследователи. Даже теоретик Кумар прильнул к телескопу в надежде найти объекты, открытые им на бумаге. Его идея была проста: обнаружить одиночный коричневый карлик очень сложно, поскольку нужно не только зафиксировать его излучение, но и доказать, что это не далекая гигантская звезда с холодной (по звездным меркам) атмосферой или даже окруженная пылью галактика на краю Вселенной. Самое трудное в астрономии — определить

расстояние до объекта. Поэтому нужно искать карлики рядом с нормальными звездами, расстояния до которых уже известны. Но яркая звезда ослепит телескоп и не позволит разглядеть тусклый карлик. Следовательно, искать их надо рядом с другими карликами! Например с красными — звездами предельно малой массы или же белыми — остывающими остатками нормальных звезд. В 1980-х годах поиски Кумара и других астрономов не принесли результата. Хотя не раз появлялись сообщения об открытии коричневых карликов, но детальное исследование каждый раз показывало, что это — маленькие звезды. Однако

идея поиска была правильная и спустя десятилетие она сработала.

В 1990-е годы у астрономов появились новые чувствительные приемники излучения — ПЗС-матрицы и крупные телескопы диаметром до 10 метров с адаптивной оптикой, которая компенсирует вносимые атмосферой искажения и позволяет с поверхности Земли получать почти такие же четкие изображения, как из космоса. Это сразу же принесло плоды: были обнаружены предельно тусклые красные карлики, буквально пограничные с коричневыми.

А первого коричневого карлика отыскала в 1995 году группа▶

атомов: при большой плотности они раздавлены и существует единое «электронное море». Для него принцип Паули звучит так: расположенные рядом электроны не могут иметь одинаковые скорости. Если один электрон покоится, другой должен двигаться, а третий — двигаться еще быстрее, и т. д. Такое состояние электронного газа физики на-

зывают вырождением.

Даже если небольшая звезда сожгла все термоядерное топливо и лишилась источника энергии, ее сжатие может быть остановлено давлением вырожденного электронного газа. Как бы сильно ни охладилось вещество, при высокой плотности движение электронов не прекратится, а значит, давление вещества будет про-

тивостоять сжатию независимо от температуры: чем больше плотность, тем выше давление. Сжатие умирающей звезды с массой, равной солнечной, остановится, когда она уменьшится примерно до размера Земли, то есть в 100 раз, а плотность ее вещества станет в миллион раз выше плотности воды. Так образуются белые карлики. Звезда

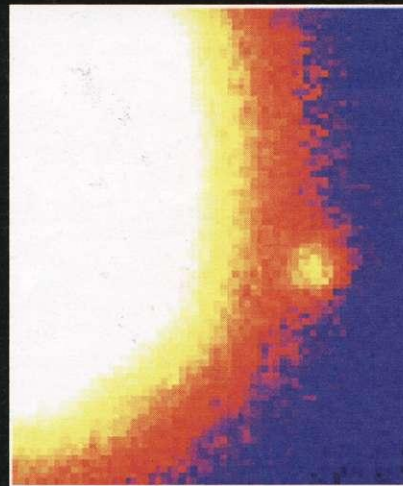
меньшей массы прекращает сжатие при меньшей плотности, поскольку сила ее тяготения не так велика. Очень маленькая звезда-неудачник может стать вырожденной и прекратить сжатие еще до того, как в ее недрах температура поднимется до порога «термоядерного зажигания». Такому телу никогда не стать настоящей звездой.

астрономов под руководством Рафаэля Реболо из Института астрофизики на Канарских островах. С помощью телескопа на острове Ла-Пальма они нашли в звездном скоплении Плеяды объект, который назвали Teide Pleiades 1, позаимствовав название у вулкана Пико-де-Тейде на острове Тенерифе. Правда, некоторые сомнения в природе этого объекта оставались, и пока испанские астрономы доказывали, что это действительно коричневый карлик, в том же году о своем открытии заявили их американские коллеги. Группа под руководством Тадаши Накаджима из Калифорнийского технологического института с помощью телескопов Паломарской обсерватории обнаружила на расстоянии 19 световых лет от Земли в созвездии Зайца, рядом с очень маленькой и холодной звездой Глизе 229, еще более мелкий и холодный ее спутник Глизе 229В. Температура его поверхности — всего 1000 К, а мощность излучения в 160 тысяч раз ниже солнечной.

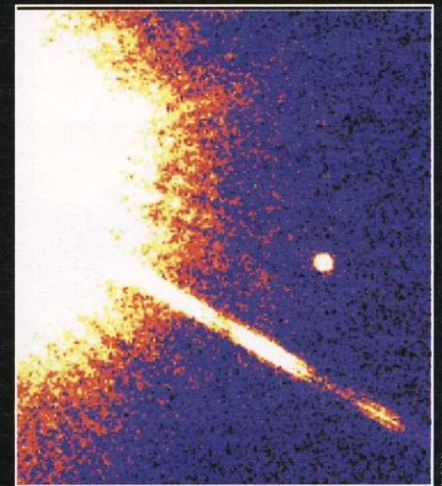
Незвездная природа Глизе 229В окончательно подтвердилась в 1997 году так называемым литиевым тестом. В нормальных звездах небольшое количество лития, сохранившегося с эпохи рождения Вселенной, быстро сгорает в термоядерных реакциях. Однако коричневые карлики для этого недостаточны горячи. Когда в атмосфере Глизе 229В был обнаружен литий, этот объект стал первым «несомненным» коричневым карликом. По размерам он почти совпадает с Юпитером, а его масса оценивается в 3—6% массы Солнца. Он обращается вокруг своего более массивного компаньона Глизе 229А по орбите радиусом около 40 астрономических единиц (как Плутон вокруг Солнца).

Очень быстро выяснилось, что для поиска «несостоявшихся звезд» годятся и не самые крупные телескопы. Первых одиночных коричневых карликов открыли на рядовом телескопе

Система Gliese 229 из красного и коричневого карликов. Красный выглядит больше, чем на самом деле, из-за высокого блеска



Паломарская обсерватория



Космический телескоп «Хаббл»

Срок жизни красных карликов с массой меньше 10% солнечной в сотни раз превосходит возраст Вселенной

в ходе планомерных обзоров неба. Например, объект Kelu-1 в созвездии Гидры обнаружен в рамках долгосрочной программы поиска карликовых звезд в окрестностях Солнца, которая началась на Европейской Южной обсерватории в Чили еще в 1987 году. При помощи 1-метрового телескопа системы Шмидта астроном Чилийского университета Мария Тереза Руиз уже много лет регулярно фотографирует некоторые участки неба, а затем сравнивает снимки, полученные с интервалом в годы. Среди сотен тысяч слабых звезд она ищет те, которые заметно смещаются относительно других — это безошибочный признак близких светил. Таким способом Мария Руиз открыла уже десятки белых карликов, а в 1997 году ей наконец по-

пался коричневый. Его тип определили по спектру, в котором оказались линии лития и метана. Мария Руиз назвала его Kelu-1: на языке народа мапуче, населявшего некогда центральную часть Чили, «келу» означает красный. Он расположен на расстоянии около 30 световых лет от Солнца и не связан ни с одной звездой.

Все эти находки, сделанные в 1995—1997 годах, и стали прототипами нового класса астрономических объектов, который занял место между звездами и планетами. Как это обычно бывает в астрономии, за первыми открытиями сразу последовали новые. В последние годы множество карликов обнаружено в ходе рутинных инфракрасных обзоров неба 2MASS и DENIS.

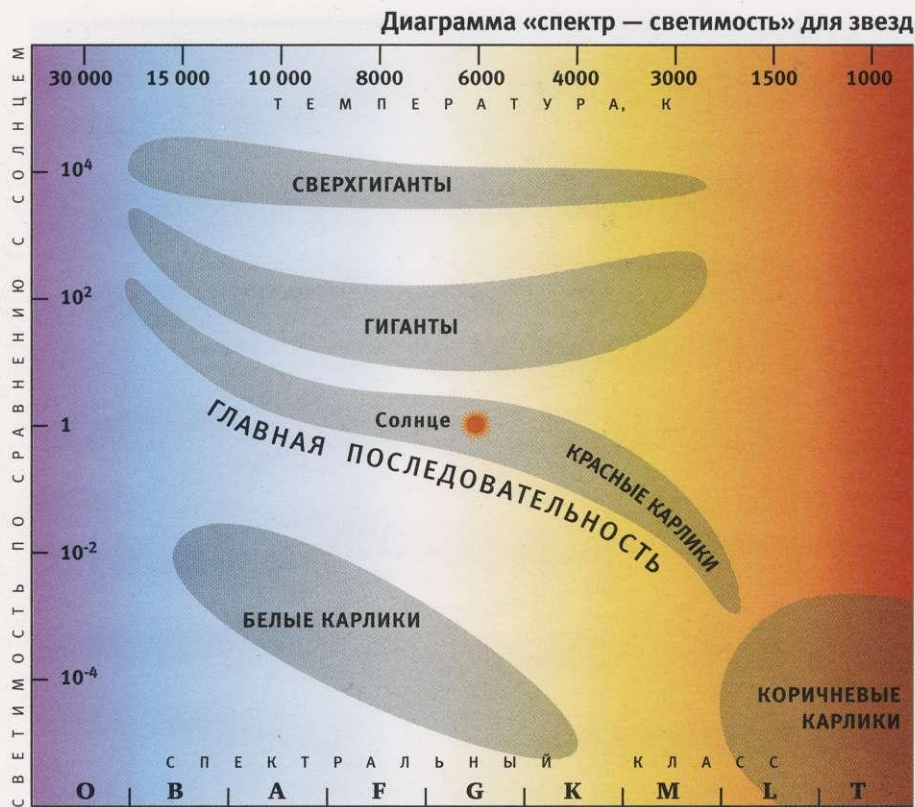
БЛИЖАЙШИЕ СОСЕДИ

Из нескольких тысяч звезд, видимых на небе невооруженным глазом, лишь пара сотен удостоилась собственного имени. Казалось бы, что уж там говорить о тусклых светилах, с трудом заметных даже в телескоп. Но нет! В астрономических книгах часто упоминаются такие объекты, как Проксима Центавра, Летящая звезда Барнарда, звезды Каптейна, Пшибыльского, ван Манаена, Лейтена... Обычно они

названы по именам астрономов, которые их изучали. Эти названия утвердились в науке так же, как чашка Петри или лучи Рентгена — спонтанно, без всяких формальных решений, просто как форма признания заслуг ученых. И что любопытно, почти все звезды, носящие имена ученых, оказались невзрачными, очень маленькими и тусклыми. Чем же так привлекают астрономов эти крошечные звезды?

Прежде всего тем, что наше Солнце — из их числа. По совокупности свойств его можно отнести к крупным карликам. Поэтому, изучая жизнь мелких звезд, мы пытаемся понять его прошлое и будущее. К тому же карликовые звезды — наши ближайшие соседи. И это неудивительно, раз малышей в Галактике больше. Проксима в созвездии Центавра расположена в четырех световых годах от нас — бли-

же всех других звезд, на что и указывает ее название (лат. *proxima* — «ближайшая»). Но, несмотря на близость, видно ее только в телескоп. И это — удивительно, ведь ее оптическая светимость в 18 тысяч раз меньше солнечной. По размерам она всего в 1,5 раза крупнее Юпитера, а температура ее поверхности около 3000 К — вдвое ниже, чем у Солнца. Проксима в 7 раз легче Солнца и находится совсем



ЗВЕЗДНАЯ ПЫЛЬ

Уже вскоре после открытия бурые карлики заставили астрономов внести коррективы в устоявшуюся десятки лет назад спектральную классификацию звезд. Оптический спектр звезды — это ее лицо, а точнее — паспорт. Положение и интенсивность линий в спектре прежде всего говорят о температуре поверхности, а также о других параметрах, в частности химическом составе, плотности газа в атмосфере, напряженности магнитного поля и т. п. Около 100 лет назад астрономы разработали классификацию звездных спектров, обозначив каждый класс буквой латинского алфавита. Их порядок многократно пересматривали, переставляя, убирая и добавляя буквы, пока не сложилась общепринятая схема, безусловно служив-

шая астрономам многие десятки лет. В традиционном виде последовательность спектральных классов выглядит так: O-B-A-F-G-K-M. Температура поверхности звезд от класса O до класса M убывает со 100 000 до 2000 К. Английские студенты-астрономы даже придумали мнемоническое правило для запоминания порядка следования букв: «Oh! Be A Fine Girl, Kiss Me!» И вот на рубеже веков этот классический ряд пришлось удлинить сразу на две буквы. Оказалось, что в формировании спектров экстремально холодных звезд и субзвезд весьма важную роль играет пыль.

На поверхности большинства звезд из-за высокой температуры никакие молекулы существовать не могут. Однако у самых холодных звезд класса M (с температурой ниже

3000 К) в спектрах видны мощные полосы поглощения окисей титана и ванадия (TiO, VO). Естественно, ожидалось, что у еще более холодных коричневых карликов эти молекулярные линии будут еще сильнее. Все в том же 1997 году у белого карлика GD 165 был открыт коричневый компаньон GD 165B, с температурой поверхности 1900 К и светимостью 0,01% солнечной. Он поразил исследователей тем, что в отличие от других холодных звезд не имеет полос поглощения TiO и VO, за что был прозван «странной звездой». Такими же оказались спектры и других коричневых карликов с температурой ниже 2000 К. Как показали расчеты, молекулы TiO и VO в их атмосферах конденсируются в твердые частицы — пылинки, и уже не проявляют себя в спектре, как это свойственно молекулам газа.

Чтобы учесть эту особенность, Дэви Киркпатрик из Калифорнского технологического института уже на следующий год предложил расширить традиционную спектральную классификацию, добавив в нее класс L для маломассивных инфракрасных звезд, с температурой поверхности 1500—2000 К. Большинство объектов L-класса должны быть коричневыми карликами, хотя очень старые маломассивные звезды тоже могут остыть ниже 2000 К.

Продолжая исследования L-карликов, астрономы обнаружили еще более экзотические объекты. В их спектрах видны мощные полосы поглощения воды, метана и молекулярного водорода, поэтому их называют «метановыми карликами». Прототипом этого класса считается первый открытый бурый карлик Глизе 229B. В 2000 году Джеймс Либерт с коллегами из Аризонского университета выделили в самостоятельную группу T-карлики с температурой 1500—1000 К и даже чуть ниже.

Коричневые карлики ставят перед астрономами много сложных и очень интересных вопросов. Чем холоднее атмосфера звезды, тем труднее▶

недалеко от предела Кумара — нижней границы звездных масс. Она едва способна поддерживать в своих недрах термоядерные реакции. Чуть дальше Проксимы, но в гравитационной связке с ней, располагается двойная звезда альфа Центавра. Оба ее компонента почти точные копии нашего Солнца. Правда, они примерно на 200 миллионов лет старше, а значит, изучая их, мы прогнозируем бу-

дущее Солнца на миллионы лет вперед. Более отдаленное будущее Солнца представлено, например, звездой ван Маанена — это ближайший к нам одиночный белый карлик, остаток звезды, некогда похожей на Солнце. Через 6—7 миллиардов лет нашему светилу уготована та же судьба: сбросив наружные слои, сжаться до размеров земного шара, превратившись в сверхплотный осты-

вающий «огарок» звезды — сначала белый от высокой температуры, затем постепенно краснеющий и наконец практически невидимый холодный черный карлик. О том, как будет происходить это превращение, рассказывает другая «именная» звезда, фигурирующая в астрономических статьях как «объект Сакураи». Японский любитель астрономии Юкио Сакураи открыл ее 20 февраля 1996 года

в момент внезапного увеличения ее блеска. Сначала казалось, что это обычный молодой белый карлик, но за полгода он раздулся в сотни раз, демонстрируя «предсмертные конвульсии» звезды, дожигающей последние капли своего ядерного горючего. Астрономы называют это гелиевой вспышкой. Если верить расчетам, то еще несколько таких вспышек, и карлик должен успокоиться навсегда.

КАК ВАС ТЕПЕРЬ НАЗЫВАТЬ?

Звезды-неудачники, открытые «на кончике пера», Кумар назвал «черными карликами», но поскольку обнаружить их долго не удавалось, новый термин забылся (теперь в научно-популярной литературе так называют остывшие белые карлики). В середине 1970-х годов, когда астрономы стали искать невидимую скрытую массу (сейчас ее называют темной материей), проявляющую себя только через гравитацию, подозрение пало на тусклые карликовые объекты, предсказанные Кумаром. Стали поступать и новые идеи по их именованию. Учитывая, что они все же не совсем черные, Крис Дэвидсон из Университета штата Миннесота предложил термин «инфракрасные карлики», другие астрономы пытались называть их «малиновыми карликами», но в 1975 году студентка-дипломница Джил Тартер из Университета в Беркли придумала термин *brown dwarf*, и он прижился. На русский язык его перевели как «коричневый карлик», позже появился вариант «бурый карлик», хотя в действительности эти объекты имеют инфракрасный цвет, и, возможно, точнее было бы переводить *brown* как «темный» или «тусклый». Но уже поздно: в нашей научной литературе их называют «коричневыми карликами», а в научно-популярной встречаются и «бурые».



Коричневые карлики светятся тусклым красным светом. В лучах более горячей звезды на их поверхности будут заметны даже фазы, как у планет

SPL/FAST NEWS

изучать ее как наблюдателям, так и теоретикам. Присутствие пыли делает эту задачу еще сложнее: конденсация твердых частиц не только изменяет состав свободных химических элементов в атмосфере, но и влияет на теплообмен и форму спектра. В частности, теоретические модели с учетом пыли предсказали парниковый эффект в верхних слоях атмосферы, что подтверждается наблюдениями. Вдобавок расчеты показывают, что после конденсации пылинки начинают тонуть. Возможно, на разных уровнях в атмосфере формируются плотные облака пыли. Метеорология коричневых карликов может оказаться не менее разнообразной, чем у планет-гигантов. Но если атмосферы Юпитера и Сатурна можно изучать вблизи, то расшифровывать метановые циклоны и пылевые бури коричневых карликов придется только по их спектрам.

СЕКРЕТЫ «ПОЛУКРОВОК»

Вопросы о происхождении и численности коричневых карликов пока остаются открытыми. Первые подсчеты их количества в молодых звездных скоплениях типа Плеяд показывают, что по сравнению с нормальными

звездами общая масса коричневых карликов, видимо, не так велика, чтобы «списать» на них всю скрытую массу Галактики. Но этот вывод еще нуждается в проверке.

Общепринятая теория происхождения звезд не дает ответа и на вопрос, как образуются коричневые карлики. Объекты столь малой массы могли бы формироваться подобно планетам-гигантам в околозвездных дисках. Но обнаружено довольно много одиночных коричневых карликов, и трудно предположить, что все они вскоре после рождения были потеряны своими более массивными компаньонами. К тому же совсем недавно на орбите вокруг одного из коричневых карликов открыли планету, а значит, он не подвергался сильному гравитационному влиянию соседей, иначе карлик бы ее потерял.

Совершенно особый путь рождения коричневых карликов наметился недавно при исследовании двух тесных двойных систем — LL Андромеды и EF Эридана. В них более массивный компаньон, белый карлик, своей гравитацией стягивает вещество с менее массивного спутника, так называемой звезды-донора. Расчеты показывают, что первоначально в этих системах

спутники-доноры были обычными звездами, но за несколько миллиардов лет их масса упала ниже предельного значения и термоядерные реакции в них угасти. Теперь по внешним признакам это типичные коричневые карлики. Температура звезды-донора в системе LL Андромеды около 1300 K, а в системе EF Эридана — около 1650 K. По массе они лишь в несколько десятков раз превосходят Юпитер, а в их спектрах видны линии метана. Насколько их внутренняя структура и химический состав сходны с аналогичными параметрами «настоящих» коричневых карликов, пока неизвестно. Таким образом, нормальная маломассивная звезда, потеряв значительную долю своего вещества, может стать коричневым карликом.

Правы были астрономы, утверждая, что природа изобретательнее нашей фантазии. Коричневые карлики, эти «не звезды и не планеты», уже начали преподносить сюрпризы. Как выяснилось недавно, несмотря на свой холодный характер, некоторые из них являются источниками радио- и даже рентгеновского (!) излучения. Так что в будущем этот новый тип космических объектов обещает нам немало интересных открытий. ●