

Взрывные переменные звезды: от полярнов до суперпропеллеров

Н.Р. ИХСАНОВ,
доктор физико-математических наук
Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН

Взрывные переменные звезды – это тесные двойные системы, образованные красным и белым карликами. Взаимодействие этих звезд между собой создает большое многообразие вспышек. Наблюдая их излучение, мы узнаем о свойствах ма-



тери, проявляющихся при условиях, недостижимых в земных лабораториях. В статье рассказывается о том, какими извилистыми были пути формирования современных представлений об этих объектах.

ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЕЗДЫ

В ясную безлунную ночь нашему взору открывается картина звездного неба, своей таинственностью и величиим приближающаяся к совершенству. Может случиться, что нам повезет и мы станем свидетелями явления «звезды-гости» или, напротив, вдруг «не досчитаемся» звезд в некоем ранее изученном созвездии. Древние летописи повествуют о том,

что счастливец, наблюдавший такие события, в истории человечества, было немало. Однако лишь в XVI в. «звезды-гости» стали предметом систематического исследования, получив впоследствии название «Новые» звезды, или просто «Новые».

Кропотливые поиски Новых, предпринятые астрономами в XVII в., привели к тому, что ученые получили неожиданный сюрприз. В 1638 г.

Иоганн Хольвард, профессор Университета г. Франекер (одного из старейших в Нидерландах), сообщил об открытии в созвездии Кита необычного явления, которое можно образно назвать – «звезда-частая гостья». Эта звезда, позднее названная Мира («удивительная»), регулярно с периодом примерно 11 месяцев исчезала с небосклона и затем появлялась вновь, демонстрируя большую амплитуду



Изображение созвездия Персея в Атласе Звездного неба польского астронома Яна Гевелия (1611–1687).

переменности блеска. Так человечество впервые доподлинно узнало о существовании переменных звезд.

В 1669 г. итальянский астроном Джеминиано Монтанари представил подробное описание переменной другой звезды, именуемой Алголь (от арабского «Аль Гуль», что можно перевести как

“призрак”, “злой дух” или “звезда демона”), находящейся в 93 св. годах от нас. Это вторая по яркости звезда в созвездии Персея ($2,12^m$), занимавшая на художественных изображениях созвездия положение «глаза» горгоны Медузы. И это отнюдь не случайно. Звезда меняет свой блеск с периодом, чуть меньшим трех суток, в течение которых примерно на 10 ч она становится заметно слабее. «Глаз» отрубленной «головы» горгоны Медузы,

которую держит Персей, словно «подмигивает». Причина такого «демонического» поведения Алголя была установлена в 1782 г. английским астрономом Джоном Гудрайком, показавшим, что эта звезда входит в состав двойной системы, в которой одна звезда периодически затмевает другую, что и вызывает эффект переменной. Став таким образом родоначальником обширного класса затменных переменных звезд, Алголь, однако, не преминал на-

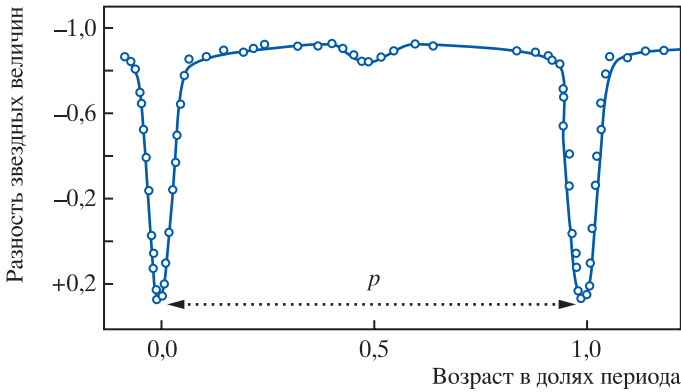


Диаграмма изменения блеска звезды Алголь в Персее в течение одного периода двойной системы.

помнить о себе и в более поздние века, внося существенную лепту в развитие представлений об эволюции звезд в тесных двойных системах.

В последующие века каталоги переменных звезд быстро расширялись, к настоящему времени в них насчитывается более 50 тыс. объектов. Предложенное во второй половине XIX в. для этих объектов двухбуквенное обозначение перед именем созвездия (RR Лир, DQ Геркулеса, AE Водолея) очень скоро пришлось дополнить числовыми обозначениями: например, V335 Стрелы (где «V» — первая буква английского слова Variable — означает «переменная»). По характеру изменчивости звезды стали делить на классы, в которых выделили подкласс неправильных переменных. Блеск этих звезд изменяется без какой-либо строгой периодичности, и чем-то неправильные переменные напоминают Новые, но их

вспышки (эпизоды быстрого увеличения блеска звезды) характеризуются меньшей амплитудой и большей частотой повторяемости. Постепенно их так и стали называть «карликовые новые», «новоподобные». Спектральные исследования этих звезд указывают на то, что их вспышки сопровождаются увеличением скорости движения вещества, словно на этих звездах (или в их ближайшей окрестности) происходят какие-то катаклизмы, подобные взрывам. Вследствие этого неправильные переменные в литературе, издающейся на русском языке, стали именоваться «взрывными переменными», а англоязычные авторы используют термин «катаклизмические переменные».

ДВОЙНЫЕ СИСТЕМЫ С БЕЛЫМ КАРЛИКОМ

Важным шагом на пути построения модели взрывных переменных стало открытие двой-

ственности этих объектов. Воспринимаемые нами как точечные объекты, они на самом деле являются системами, состоящими из двух близко расположенных звезд, с периодами, существенно меньшими суток. Сделать такое открытие на ранних этапах развития наблюдательной астрономии было непросто. Орбиты лишь очень немногих взрывных переменных расположены относительно наблюдателя «столь удачно», что одна звезда периодически «затмевает» другую; более того — если звезды в системе сильно отличаются одна от другой размерами и блеском, то увидеть такие затмения крайне затруднительно.

Ситуация стала, однако, быстро меняться с развитием спектроскопии, позволившей (наряду с определением положения звезд) измерять скорости их движения с высокой точностью. Количество звезд, двойственность которых была установлена с помощью спектрального метода (спектрально-двойные), увеличивалось столь стремительно, что стало казаться — большинство

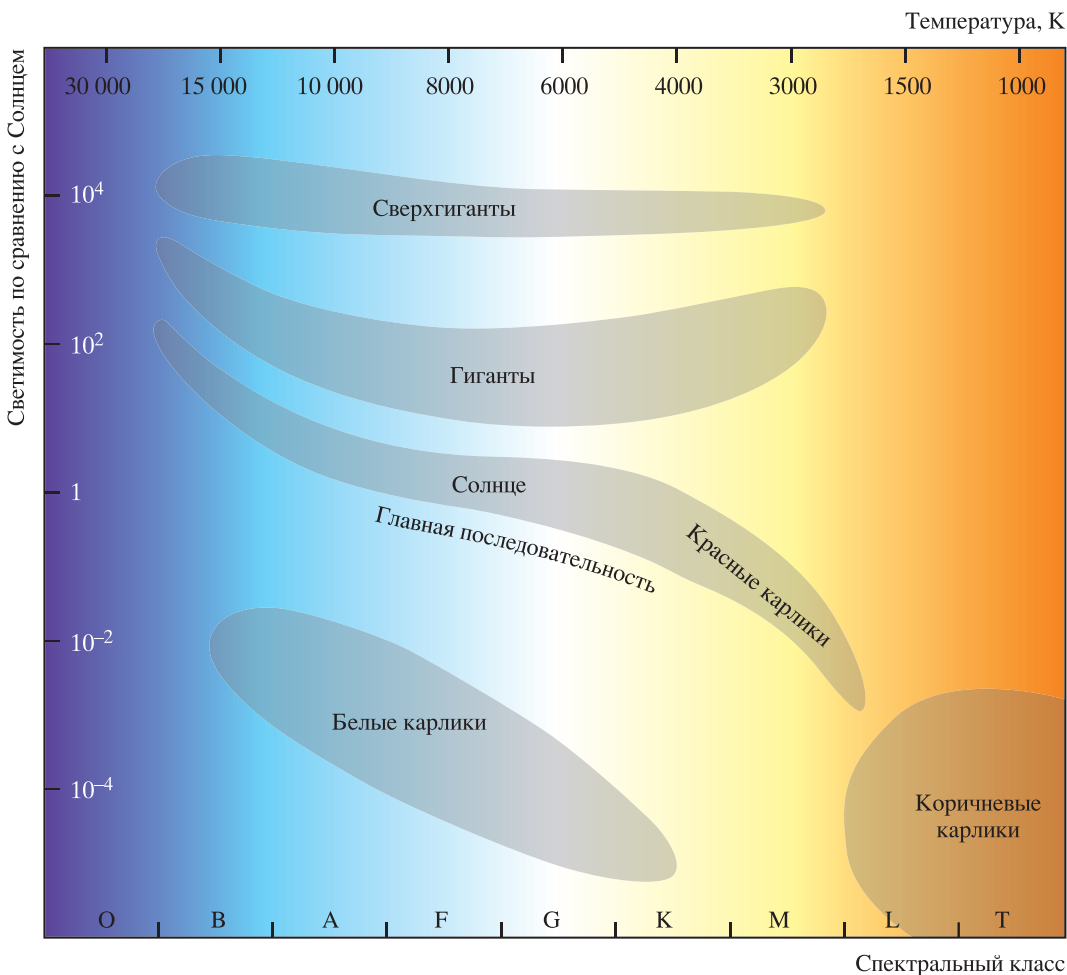


Диаграмма Герцшпрунга – Рессела (зависимость светимости звезд от температуры их поверхности).

звезд на самом деле двойные.

В силу ряда физических причин звезды действительно предпочитают «рождаться парами». Точнее – в процессе сжатия (коллапса) протозвездного облака образуется сразу несколько звезд, которые некото-

рое время наблюдаются как кратные звездные системы. Но они, в отличие от двойных пар, недолговечны. Время существования двойных систем значительно больше: оно (при определенных условиях) превосходит даже время, которое звезды, составляющие систему, проводят на Главной последовательности. Это наиболее продолжительный этап в жизни звезды, когда в ее недрах

из отдельных протонов в результате цепочки ядерных реакций синтезируются ядра гелия (альфа-частицы). Именно в таком состоянии находится сейчас наше Солнце. Длительность жизни звезды на Главной последовательности зависит, прежде всего, от ее массы. Горячие массивные звезды (голубые гиганты) эволюционируют «всего» за несколько миллионов лет, а звезды – менее

массивные, чем Солнце (красные карлики) – продолжают оставаться на Главной последовательности миллиарды лет.

По мере того, как гелия в недрах звезды становится больше, – ядерные реакции идут интенсивнее. От избытка тепла звезды начинают раздуваться, превращаясь в гиганты. Ситуация «усугубляется», когда включаются ядерные реакции с участием альфа-частиц, приводящие к формированию более тяжелых ядер (углерода, кислорода) и к интенсивному выделению энергии. В массивных горячих звездах эта цепочка может продолжаться вплоть до образования ядер железа. Затем такие звезды заканчивают эволюцию вспышкой Сверхновой, оставляя после себя красивую, быстро расширяющуюся туманность и релятивистскую компактную звезду (нейтронную звезду или черную дыру).

Менее массивные и не такие горячие звезды заканчивают свою эволюцию без столь эффектного «фейерверка». В их недрах также формируется плотное ядро, состоящее, однако, из элементов значительно легче железа, а его масса, как правило, не превосходит массу Солнца. По мере роста такого «шарика» возрастает интенсивность ядерных реакций на его поверхности. Газ, окружающий

«шарик», нагревается и давление в нем возрастает. От этого звезда «раздувается» и начинает быстро терять вещество со своей поверхности. В результате от нее остается лишь ядро – плотный горячий «шарик», называемый белым карликом, радиус которой лишь немногим превосходит радиус Земли. В таком состоянии белый карлик может существовать практически вечно: гравитационному сжатию этой звезды препятствует давление вырожденного электронного газа, которое (в соответствии с законами квантовой механики) не убывает по мере его остывания. Единственное, что может помешать «покою» белого карлика, – взаимодействие его с другими звездами.

Увидеть на небе излучение белого карлика без мощного телескопа непросто. Но, может быть, эти объекты можно обнаружить косвенным методом? – Именно так и развивалась история, а помогала все та же двойственность звезд. Изучая собственные движения Сириуса и Прокциона, немецкий астроном Фридрих Бессель обратил внимание на странную периодичность, с которой они отклоняются от прямой линии. В 1838 г. он сделал вывод о присутствии у этих звезд спутников, масса которых должна была лишь

немногим отличаться от массы Солнца. Увидеть излучение этих спутников, слабость которых при столь значительной массе вызывала недоумение, удалось лишь в 1862 г. и в 1896 г. Интрига обострилась, когда спектральные наблюдения показали, что температура поверхности едва видимых спутников превосходит температуру поверхности их ярких «компаньонов». Но тогда их размер оказывается меньше критического – при котором звезды, состоящие из идеального газа, перестают быть устойчивыми!

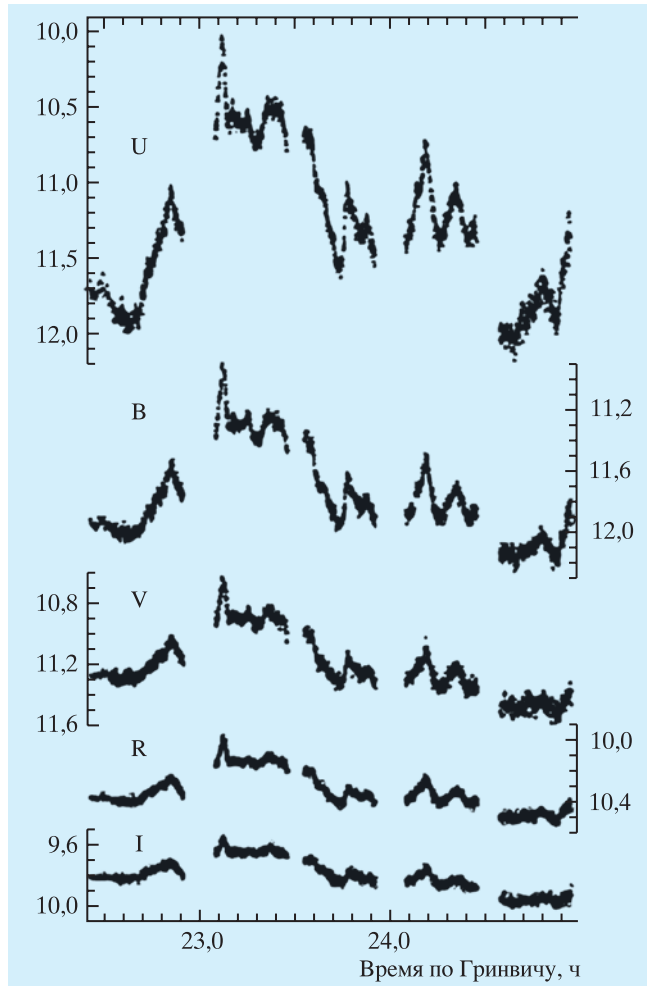
Объяснение возникшему парадоксу было дано в 1926 г. английским физиком-теоретиком Р.Г. Фаулером на основе появившейся незадолго до этого модели вырожденного электронного газа (ферми-газа). С этого времени теория белых карликов стала активно развиваться, а вместе с ней стали вырисовываться и контуры новых объектов – взаимодействующих тесных двойных с белыми карликами.

НЕОБЫЧНАЯ ПЕРЕМЕННАЯ АЕ ВОДОЛЕЯ

Все звезды, подобно людям, – индивидуальны, и каждая из них интересна по-своему. Но звезд во Вселенной очень много: в одной только нашей Галактике их порядка

Графики изменения блеска взрывной переменной АЕ Водолея, полученные в разных фильтрах: от ультрафиолетового (U) до инфракрасного (I) диапазонов спектра.

200 млрд, да и галактик во Вселенной более 100 млрд. Изучить все звезды – это как «объять необъятное». Но намного меньше классов, в которые звезды могут быть собраны по схожим признакам и качествам. В каждом классе всегда можно выбрать одну (или несколько звезд), которые наиболее удачно расположены на небе для наблюдений и проявляют основные признаки этого класса наиболее ярко. Такие объекты привлекают к себе внимание наблюдателей, а полученная ими обширная информация становится «лакомой» для теоретиков, наперебой предлагающих гипотезы о строении и эволюции этих объектов. К таким звездам относится переменная звезда АЕ Водолея ($11,6^m$), расположенная в 333 св. годах от нас. Изучая ее удивительные проявления в течение последних 80 лет, астрономическое сообщество уже более пяти раз вынуждено было поменять свое мнение относительно того, к какому классу объектов следует отнести эту звезду и какой

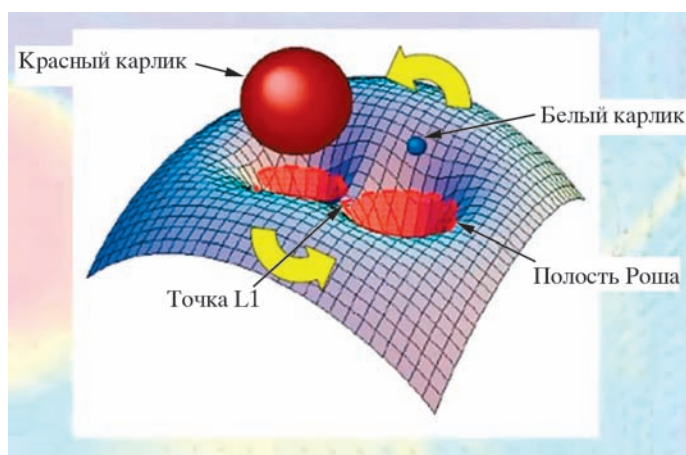


механизм лежит в основе переменности ее излучения.

Впервые о переменном характере этой звезды астрономическое сообщество узнало в 1931 г. из статьи немецкого астронома А.А. Вахмана. На первый взгляд это был типичный красный карлик, блеск которого, однако, менялся, хоть и не столь значительно (в оптическом диапазоне спектра всего на одну звездную величину).

Дальнейшие наблюдения показали, что изменения эти происходят нерегулярно, напоминая небольшие вспышки. Невооруженным глазом эта звезда на небосклоне не видна, но она достаточно яркая для наблюдений с помощью профессиональных телескопов того времени.

К началу 1949 г. АЕ Водолея уже занимала свое законное место в списке взрывных переменных среди новоподобных



Эффективный гравитационный потенциал в тесной двойной системе (потенциал Роша), образованный гравитационным полем каждого из компонентов и орбитальным вращением системы. Движение вещества между компонентами системы происходит через точку Лагранжа L_1 .

звезд, когда американский астроном К.Г. Хениз впервые обратил внимание на исключительно быструю переменность этого объекта: короткие вспышки длительностью всего в несколько минут происходят сериями по нескольку раз за ночь, а периоды относительного покоя этой звезды длятся не более двух часов. С переменностью такого типа астрономы до 1949 г. не встречались, и поиски аналогов вспышечной активности АЕ Водолея остаются тщетными вплоть до настоящего времени.

В 1954 г. АЕ Водолея впервые оказалась в центре внимания – она стала первой в классе взрывных переменных разрешенной как спектрально-двойная система с периодом около 10 ч. Спутником красного карлика оказался горячий объект небольшого размера, масса которого сопоставима с массой красного карлика. На то

время было уже мало сомнений, что этот объект – белый карлик. Но как могло получиться, что две звезды примерно одинаковой массы вдруг оказались на столь разных этапах своей эволюции?!

С таким непростым вопросом астрономам, впрочем, уже приходилось встречаться, и причиной тому была все та же звезда Алголь. Она не только периодически «подмигивала», но и окazyвалась системой, в которой горячая массивная звезда Главной последовательности соседствовала с легкой (всего $0,77 M_{\odot}$) холодной звездой, уже прошедшей стадию эволюции на Главной последовательности и «раздувшейся» до состояния субгиганта. Получалось, что «легкая» звезда прошла свою эволюцию быстрее массивной, что входило в противоречие с теорией эволюции одиночных звезд! В астрономии эта проблема из-

вестна как «парадокс Алголя».

Решение этого парадокса было предложено американским астрономом Дж. Крауфордом и состояло в том, что массы звезд, находящихся в тесной двойной системе, со временем могут существенно изменяться: звезды начинают обмениваться веществом в то время, когда одна из них, заканчивая свою эволюцию на Главной последовательности, раздувается. Дело в том, что звезды в двойной системе подобны двум примыкающим друг к другу водоемам, разделенным небольшой полоской суши: если один из водоемов «выходит из берегов», то вода устремляется к соседнему. Так происходит и со звездами в двойной системе, когда одна из них переходит на стадию гиганта.

По стечению обстоятельств первым объектом, выбранным для

проверки такого сценария, оказалась все та же АЕ Водолея. На ее примере в 1956 г. Дж. Крауфорд и Р. Крафт продемонстрировали, как и почему образуются системы, состоящие из красного и белого карликов: звезда, наблюдаемая нами как белый карлик, в предыдущую эпоху была массивнее своего «компаньона» и прошла эволюцию быстрее; затем вещество ее оболочки частично «перетекло» на звезду-соседку, а белый карлик остался «голым».

Но если так произошло с одной из звезд, входящих в двойную систему, то, вероятно, и другая звезда когда-то тоже, заканчивая свою эволюцию, вырастет в размерах, и ее вещество потечет в направлении белого карлика. Более того, поскольку система со временем начинает терять свою энергию вращения, то звезды в ней постепенно сближаются. Когда они сблизятся на критическое расстояние – красный карлик выйдет из равновесия и начнет терять вещество. Удивительно, но именно на этой стадии второго обмена массой находятся звезды, которые мы наблюдаем как взрывные переменные.

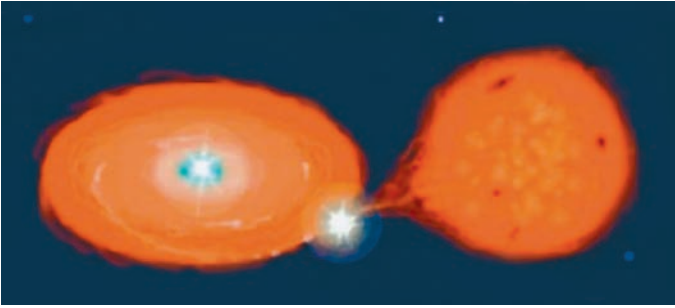
ПОЛЯРЫ
И ПРОМЕЖУТОЧНЫЕ ПОЛЯРЫ

Бурное развитие теории аккреции (падения) вещества на компакт-

ные звезды, начавшееся в 1960-е и 1970-е гг., способствовало более энергичному развитию модели взрывных переменных. Стало понятно, что переменный характер и другие «необычные» проявления этих объектов так или иначе связаны с интенсивным течением газа от красного карлика к белому. Газ, покидающий красный карлик в форме струи, «путешествует» в поле гравитации белого карлика и, пройдя несколько преград, в большинстве случаев достигает его поверхности. Однако достичь поверхности белого карлика газовому потоку непросто, помехами являются по крайней мере три обстоятельства: первое – собственный угловой момент падающего газа, не позволяющий ему двигаться к белому карлику строго по радиусу. Струя газа как бы «промахивается мимо цели» и начинает «блуждать» в окрестности белого карлика, постепенно превращаясь в газовый диск. В диске движение газа становится упорядоченным; угловой момент газа словно «по эстафете» переходит между кольцами диска к его внешнему радиусу, а они, в свою очередь, неторопливо «сжимаются» вокруг белого карлика. Второе – собственное магнитное поле белого карлика, которое сдерживает газовый поток, позволяя ему прибли-

зиться к белому карлику лишь на расстояние Альвеновского радиуса. На этом расстоянии давление магнитного поля белого карлика достигает давления падающего газа и полностью контролирует дальнейшее движение потока вплоть до его поверхности. Третье – осевое вращение белого карлика. «Молодой» одиночный белый карлик вращается относительно медленно, с периодом около суток. Белый карлик в составе двойной системы может вращаться быстрее, период его вращения может уменьшиться (и значительно) в процессе аккреции. В силу орбитального движения звезд в системе падающий газ обладает значительным угловым моментом. Поэтому в процессе аккреции увеличивается не только масса белого карлика, но и его угловой момент. При наиболее благоприятных условиях период его вращения может со временем вплотную приблизиться к минимально возможному значению – порядка десятка секунд. Если такой белый карлик к тому же обладает достаточно сильным магнитным полем, то он будет подобен пропеллеру, отбрасывающему газ за пределы двойной системы.

Учитывая перечисленные выше обстоятельства, взрывные переменные можно разделить на четыре подкласса.



Так в представлении художника происходит процесс дисковой аккреции газа на немагнитный белый карлик. Рисунок.

Первый – немагнитные взрывные переменные: магнитное поле белого карлика в этих объектах настолько слабое, что не оказывает какого-либо противодействия аккреционному газовому потоку. В таких системах обычно образуется газовый диск, внутренний радиус которого доходит до самой поверхности белого карлика. Газ в диске испускает ультрафиолетовое и оптическое излучение, переменность которого обусловлена нестационарным характером течения газа.

Объекты второго подкласса – поляры. Это название появилось в 1977 г. и отразило тот факт, что оптическое излучение этих объектов обладает исключительно высокой степенью

круговой (и линейной) поляризации. Белый карлик в этих системах обладает магнитным полем в десятки миллионов Гаусс, период его вращения практически синхронизован с орбитальным периодом двойной системы. При этих условиях магнитное поле «берет под контроль» течение газа почти с самого основания струи, препятствуя формированию диска и «устанавливая» протяженный аккреционный канал на магнитные полюса белого карлика. Здесь кинетическая энергия падающего газа переходит в его тепловую энергию и в рентгеновское излучение, наблюдаемое космическими телескопами. Частично это излучение перерабатывается по-

верхностью белого карлика и аккреционным потоком в ультрафиолетовое, оптическое и инфракрасное излучение, которое, распространяясь в сильном магнитном поле, становится поляризованным. Причина переменности излучения этих источников – в нестационарном характере процесса аккреции.

Третий подкласс – промежуточные поляры – объединил в себе объекты, которые образно можно назвать «младшими братьями» рентгеновских пульсаров; аккреция в них происходит, однако, не на нейтронные звезды, а на белые карлики. Магнитное поле белого карлика в промежуточных полярах достаточно сильное (около миллиона Гаусс) –

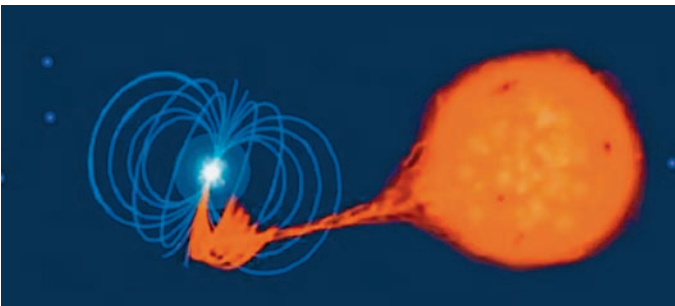
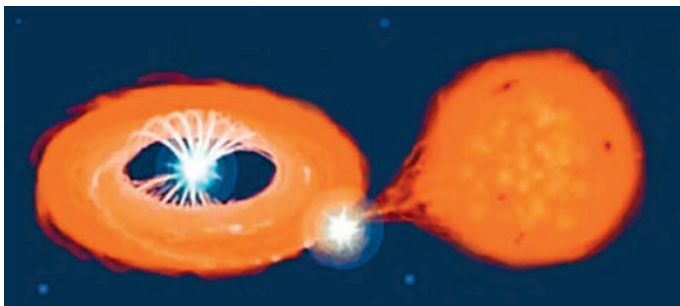


Схема каналированной аккреции в полярах. Белый карлик, вращающийся с периодом двойной системы, обладает сильным магнитным полем, полностью контролирующим движение аккреционного потока. Рисунок.

Процесс аккреции в промежуточных полярах. Аккреционный диск доходит до границы магнитосферы белого карлика; отсюда его магнитное поле полностью «контролирует» процесс аккреции. Рисунок.



для того, чтобы сформировать магнитосферу и контролировать движение вещества в их ближайшей окрестности; однако оно намного слабее поля поляров и не препятствует образованию в этих системах аккреционного диска. Внутренний радиус диска в таких объектах соответствует Альвеновскому радиусу, откуда газ продолжает «падать» на магнитные полюса белого карлика, двигаясь вдоль силовых линий его магнитного поля. Такие объекты, подобно полярам, видны в рентгеновском, ультрафиолетовом и оптическом диапазонах. Вспышки, наблюдаемые в этих источниках, происходят вследствие изменения темпа падения газа на поверхность белого карлика, а причиной таких изменений, по-видимому, является неустойчивость течения газа в диске. К тому же многие из этих объектов демонстрируют регулярные пульсации, совпадающие с периодом вращения белого карлика; он (в отличие от поляров) значительно меньше ор-

битального периода самой системы. Прототип таких объектов – звезда DQ Геркулеса, входящая в состав тесной двойной системы с орбитальным периодом несколько часов, вспыхнувшая в 1934 г. как Новая. Некоторое время период вращения белого карлика в этой системе (примерно минута) оставался рекордно коротким среди всех объектов подкласса промежуточных поляров. В дальнейшем лидерство было оспорено все тем же AE Водолея.

Ввести в обиход четвертый подкласс и назвать его «суперпропеллерами» предложили всего четыре года назад российские астрофизики А.Г. Жилкин, Д.В. Бисикало и А.А. Боярчук. К такому выводу они пришли в результате численного трехмерного моделирования течения газовых потоков во взрывных переменных. Расчеты показали, что при быстром вращении белого карлика, обладающего сильным магнитным полем, газовые потоки оказываются неспособны не только образовать раз-

витый диск, но и вообще достичь поверхности белого карлика. Струя газа в этих системах – напротив, словно пропеллером, отбрасывается за пределы системы и постепенно рассеивается в окружающем ее пространстве. Такой результат, возможно, и не вызвал бы резонанса, если бы объект, отвечающий столь жестким и необычным критериям, оставался гипотетическим; но система, отвечающая предъявленным требованиям, к тому времени была известна и хорошо изучена – это уже знакомая нам переменная звезда AE Водолея.

СУПЕРПРОПЕЛЛЕРЫ

С самого момента открытия AE Водолея доставляла много «хлопот» астрономам, пытавшимся определить причину ее уникально быстрой переменности. Даже после того, как стало известно, что это двойная система, в которой вещество течет от красного карлика к белому, механизм переменности этой звезды оставался

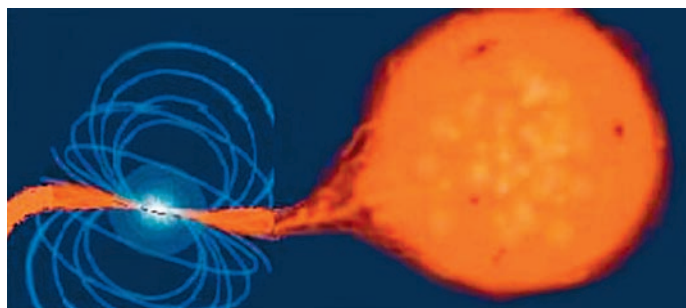


Схема движения вещества в суперпропеллерах. Струя вещества, двигаясь сквозь сильное магнитное поле быстро вращающегося белого карлика, ускоряется и покидает систему, не успев образовать диск. Рисунок.

загадкой. Продолжительное время астрономы были уверены, что причина такого поведения звезды – нестационарный характер аккреции газа на поверхность белого карлика. Особую популярность эта гипотеза приобрела в начале 1980-х гг., когда сначала в оптическом, затем и в рентгеновском диапазонах обнаружилось регулярные пульсации с чрезвычайно коротким периодом – всего 33 с. Высокая стабильность этих пульсаций не оставляла сомнений, что они происходят из-за вращения белого карлика (с тем же периодом), магнитные полюса которого нагреты сильнее, чем вся его остальная поверхность.

Но на этом «сюрпризы», преподносимые АЕ Водолея, не закончились. Новой неожиданностью стало открытие излучения АЕ Водолея в радиодиапазоне. Радиисточник оказался неожиданно ярким и переменным; по длительности и частоте вспышки были такие же, как и в видимой части спектра, но только они происходи-

ли в разное время. Кроме того, вскоре выяснилось, что радиоизлучение – не тепловое и генерируется вдали от поверхности белого карлика ускоренными релятивистскими электронами.

В течение 1990-х гг. система АЕ Водолея изучалась с помощью современных телескопов (в том числе и Космическим телескопом Хаббла). Проведены международные кампании по одновременному наблюдению этой звезды от радио- до рентгеновского диапазонов. Результаты превзошли все ожидания. Выяснилось, что аккреция вещества на поверхность белого карлика в этой системе не происходит, в ней отсутствует сколько-нибудь развитый аккреционный диск; вспышки не связаны напрямую ни с одним из карликов, а происходят в третьем источнике, расположенном, по-видимому, между ними. Вращение белого карлика регулярно тормозится, но самое удивительное – энергия вращения, которую он теряет за одну секунду, значительно превосхо-

дит энергию, которую за ту же секунду излучает система во всем диапазоне электромагнитного спектра. Единственные объекты во Вселенной, обладающими такими же свойствами, это радиопульсары – быстро вращающиеся нейтронные звезды с сильным магнитным полем.

Предположив, что сходство белого карлика в АЕ Водолея и радиопульсаров не случайно, автор этой статьи в 1998 г. предпринял попытку оценить его магнитное поле, используя те же методы, которые применяются при оценке магнитных полей радиопульсаров. Оказалось, что магнитное поле на поверхности белого карлика не меньше 50 млн Гаусс. При столь сильном поле и коротком периоде вращения (33 с) белый карлик «выметает» все вещество из системы, подобно пропеллеру. Как и радиопульсары, он должен терять энергию вращения в форме низкочастотных электромагнитных и магнитогидродинамических волн и, возможно, ускоренных



Схема расположения основных радиотелескопов в системе «Квазар» Института прикладной астрономии РАН.

релятивистских частиц. Как эта энергия преобразуется в наблюдаемые вспышки?!

В поиске решения этой проблемы, продолжающемся до сих пор, чрезвычайно важны численные эксперименты. Моделирование течения вещества в суперпропеллерах говорит о том, что движение газовой струи в магнитном поле такого объекта неустойчиво. На большом расстоянии от белого карлика течение струи про-

исходит спокойно, она даже может «свернуться» в кольцо. Так продолжается около часа. По мере «сжатия кольца» спокойная фаза, однако, заканчивается: под влиянием магнитного поля быстро вращающегося белого карлика газовое кольцо быстро «выходит» из равновесия, газ «перемешивается» со стремительным несущимся магнитным полем, ускоряется им и покидает систему. Этот процесс продолжается около двух часов и сопровождается вспышками излучения. Затем все повторяется вновь.

Какова судьба газа, покидающего систему, и что может быть причи-

ной вспышек, наблюдаемых в радиодиапазоне? – Эти вопросы до сих пор остаются нерешенными. Возможно, ситуацию прояснят наблюдения системы АЕ Водолея на радиоинтерферометрах со сверхдлинными базами: например, с помощью российской сети радиотелескопов «Квазар», входящей в состав европейских и мировых радиоинтерферометров. Результаты исследований ожидаются в ближайшее время. Возможно, эта система не заставит нас долго скучать и откроет много нового и интересного.