

СЕРГЕЙ ПОПОВ, кандидат физико-математических наук

Звездные

Представьте себе красивую спиральную галактику. В ней около тысячи миллиардов звезд. Представьте вторую такую же. Теперь давайте столкнем их. Огромные звездные системы свободно проходят сквозь друг друга, лишь причудливо деформируясь под действием взаимного притяжения. Оказывается, звезды при этом не сталкиваются — слишком далеко друг от друга они расположены. Если сделать модель Галактики, представив Солнце шариком диаметром в один сантиметр, ближайшие звезды окажутся на расстоянии около 300 километров. Так что звезда в своей жизни очень одинока, если только судьба не подарила ей звезду-компаньонку.

Двойные звезды встречаются довольно часто. Причем с увеличением массы шансы звезды обрести соседку возрастают: среди звезд-тяжеловесов свыше половины имеют пару. Но даже среди маломассивных звезд около трети находится в составе двойных.

Как правило, звезды соединяются узами гравитации от рождения. Только в плотных скоплениях иногда случаются гравитационные захваты. Для этого нужно, чтобы сблизилась сразу три звезды, и тогда при удачном стечении обстоятельств две из них станут обращаться вокруг друг друга по замкнутой орбите, а третья улетит прочь, унося избыток кинетической энергии. Или же две звезды должны очень тесно сблизиться, чтобы за счет колоссальных гравитационных приливов избавиться от излишка энергии и углового момента, мешающих им стать парой.

Звезды, родившиеся парой, вовсе не обязательно будут похожи, как близнецы. Масса, которая играет определяющую роль в судьбе светила, может сильно различаться у компонентов двойной. Звезды — довольно простые объекты. Обычно для звезды среднего возраста достаточно знать массу, чтобы определить все остальные параметры, например, светимость, размер,

температуру. Скажем, при массе в половину солнечной звезда окажется тусклым красным карликом. Однако на поздних этапах жизни цвет и светимость существенно меняются. Так что пара из звезд разных масс может порой выглядеть очень красиво. Например, α (беты) Лебеда — Альбирео одна компонента системы оранжевая, а другая — голубая (хотя из-за индивидуальных особенностей восприятия некоторые наблюдатели называют иные цвета). Компоненты Альбирео хорошо видны в небольшой телескоп и даже в бинокль, благодаря чему она стала популярным объектом у любителей астрономии.

Впрочем, звезды, составляющие систему Альбирео, лишь на первый взгляд кажутся двойняшками, а при ближайшем рассмотрении оказываются тройняшками. Более яркая оранжевая звезда на самом деле сама является двойной, но заметно это лишь в крупные телескопы.



Одинокая звезда — что одинокий человек. Зато когда они объединяются в пары, их жизнь наполняется событиями. Обмениваясь веществом, звезды могут «омолаживаться», становиться переменными, породить яркие рентгеновские источники. Некоторые двойные распадаются после феерического взрыва сверхновой. Но порой случаются куда более грандиозные катаклизмы, когда звезды сливаются в последнем смертельном объятии. Одиночкам такой финал недоступен.

ВЗАИМООТНОШЕНИЯ

Существуют системы не только из трех, но и из четырех, пяти, шести и даже семи звезд. Правда, их компоненты все равно норовят разбиться на пары. Например, если посмотреть на яркую звезду ϵ (эпсилон) Лиры в небольшой телескоп, мы увидим, что она двойная (некоторые могут видеть эту пару даже невооруженным глазом). Более мощный инструмент покажет, что каждая из звезд этой пары сама является парой. Наконец, детальные исследования говорят, что одна из четырех звезд является очень тесной двойной.

Такая бинарная пространственная организация не случайна. Она позволяет звездной системе жить долго. Даже если попробовать создать тройную звезду, в которой все светила находятся примерно на равном расстоянии от общего центра масс и «вытанцовывают» вокруг него по замысловатым траекториям, такой «танец» скоро прервется — одна из звезд будет навсегда выброшена из системы. Един-

ственный надежный способ добиться устойчивости для системы высокой кратности (то есть состоящей из трех и более звезд) — это создать ее иерархической. Но тогда взаимодействовать и влиять на эволюцию своих ближайших соседей смогут не все звезды, а лишь те, что находятся в самом низу иерархии. Между остальными членами системы расстояния так велики, что заметного воздействия друг на друга они не оказывают и эволюционируют как одиночные звезды.

ТЫ — МНЕ, Я — ТЕБЕ

Для астрофизиков наибольший интерес представляют именно тесные двойные системы. Во-первых, взаимодействие может менять массу звезд — главный параметр, определяющий их свойства. Во-вторых, в процессе обмена массой могут возникать необычные яркие источники излучения, что делает жизнь светила разнообразнее и интереснее для изучения.

Рассмотрим две близкие звезды, мысленно нарисуем соединяющую их линию и рассчитаем, где на ней находится центр масс системы. Если точно в нем поместить камешек, он там и останется — силы притяжения со стороны двух звезд в точности уравновесятся. Если же сместить его в сторону одной из звезд, он станет обращаться вокруг нее по орбите. Иначе говоря, каждая из компонент пары окружена своей «областью влияния», а центр масс — критическая точка, которую называют внутренней точкой Лагранжа. Вещество в такой области вращается вокруг одной из звезд пары, то есть контролируется ее гравитационным полем.

Обычно звезды находятся глубоко внутри своих полостей Роша — областей, где доминирует гравитация одной из компонент двойной системы. Каждая из них надежно удерживает свое вещество, мешая ему покинуть поверхность. Пока сохраняется▶

КРАТКАЯ БИОГРАФИЯ ОДИНОЧНОЙ ЗВЕЗДЫ

Жизненный путь одиночной звезды — это последовательная смена основного источника энергии. Сначала сжимающаяся протозвезда разогревается за счет выделения гравитационной энергии. Затем начинаются термоядерные реакции, в ходе которых водород превращается в гелий. В этом состоянии звезда проводит большую часть своей жизни. После исчерпания водорода в

ядре звезды могут «гореть» и более тяжелые элементы вплоть до железа. Звезда при этом становится красным гигантом или сверхгигантом. В конце концов, потеряв оболочку, она в зависимости от начальной массы превращается в белый карлик, нейтронную звезду или черную дыру. Продолжительность жизни звезды также определяется массой: чем звезда массив-

нее, тем ярче она светит и тем быстрее сжигает запас своего топлива. В течение жизни масса одиночной звезды уменьшается за счет звездного ветра. Чем больше масса — тем сильнее ветер. У Солнца ветер слабый и потеря массы незначительна, а вот у массивных звезд «сдувается» заметная доля вещества. Увеличить массу для одиночной звезды невозможно.

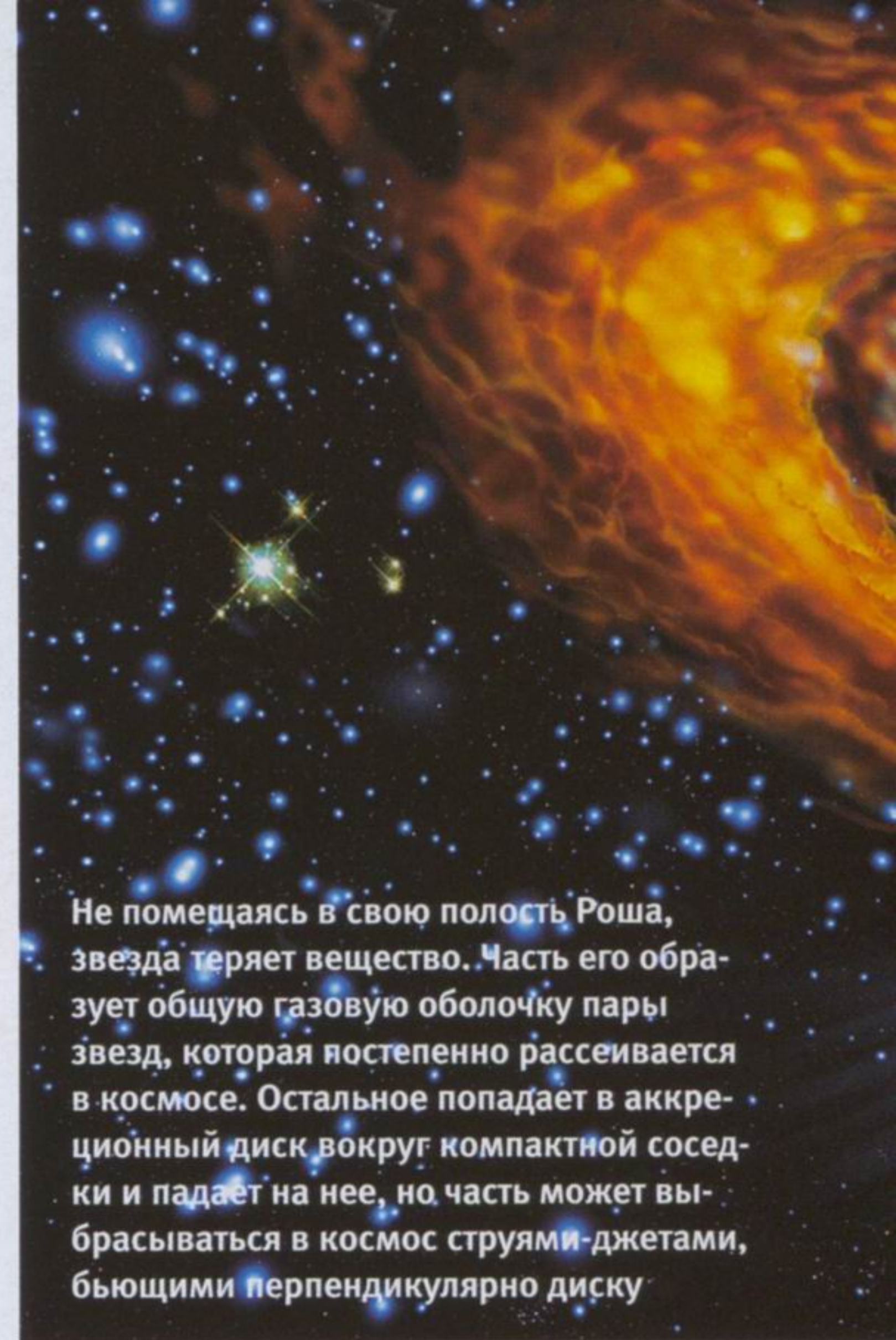
Масса в массах Солнца	Срок жизни, лет	Что остается
0,1	~1 триллион	Еще не успели проэволюционировать
1	~10 миллиардов	Белый карлик
10	~50 миллионов	Нейтронная звезда
100	~2 миллиона	Черная дыра

такое положение дел, звезды системы эволюционируют как одиночные. Но на поздних этапах жизни, когда звезда становится красным гигантом, ее размеры увеличиваются в сотни раз. В результате она рискует не поместиться в своей полости Роша, и тогда ее вещество начнет перетекать на другую звезду — так появляется взаимодействующая двойная.

В двойной системе более массивная звезда первой достигает стадии красного гиганта, поскольку чем больше масса, тем быстрее идет эволюция. Однако с началом взаимодействия меньшая звезда пары начинает наращивать массу за счет соседки. Значит, те, кому вроде бы суждено было стать белым карликом, могут окончить свои дни нейтронной звездой или даже черной дырой. С другой стороны, массивные звезды, быстро старея, могут «перебросить» часть вещества на соседку меньшей массы и выглядеть после этого моложе ее. Именно этим объясняется так называемый парадокс Алголя: у этой за-

тменно-двойной звезды в созвездии Персея менее массивная компонента находится на более поздней стадии эволюции, чем более массивная. Наконец, звезды могут даже слиться друг с другом.

Как правило, если звезды начали обмениваться веществом, то «разовой акцией» это не ограничивается. В Государственном астрономическом институте имени Штернберга при МГУ разработана программа под названием «Машина сценариев» (<http://xray.sai.msu.ru/sciwork/scenario.html>), предназначенная для расчета судеб двойных звезд. Один из построенных с ее помощью эволюционных треков достаточно типичен и описывает историю двух звезд с массами 12 и 9 солнечных, которые обращаются по орбите, примерно в два с половиной раза превосходящей земную орбиту вокруг Солнца. Более массивная звезда первой заполняет свою полость Роша, и ее вещество начинает перетекать на соседку через внутреннюю точку Лагранжа. Кроме



Не помещаясь в свою полость Роша, звезда теряет вещество. Часть его образует общую газовую оболочку пары звезд, которая постепенно рассеивается в космосе. Остальное попадает в аккреционный диск вокруг компактной соседки и падает на нее, но часть может выбрасываться в космос струями-джетами, бьющими перпендикулярно диску

того, часть вещества рассеивается вокруг системы и не участвует в ее дальнейшей эволюции. Когда обмен веществом завершается, первая звезда «худеет» почти в четыре раза, а вторая несколько «поправляется». Кроме того, система стала гораздо компактнее и легче за счет потери вещества. Через несколько миллионов лет компонента, которая вначале была более массивной, взрывается как сверхновая, превращаясь в нейтронную звезду. Но это не значит, что ее судьба теперь окончательно определена, ведь она находится в тесной двойной системе.

Спустя некоторое время наступит черед второй звезды стать красным гигантом. Она тоже заполняет свою полость Роша, и ее вещество начинает перетекать на нейтронную звезду. При этом оно разогревается до миллионов градусов и в галактике загорается яркий рентгеновский источник. Пока происходит перетекание, орбита двойной уменьшается в размерах: во-первых, часть энергии орбиталь-

Двойные системы

Позволяют измерять массы звезд и даже проверять общую теорию относительности

ТОЧКИ ЛАГРАНЖА И ПОЛОСТИ РОША

Задача о движении двух тел под действием силы тяжести достаточно проста. Но уже в случае трех тел сравнимой массы задачу в общем случае нельзя решить аналитически, то есть вывести формулу, описывающую движение объектов. Поэтому ученые искали и ищут решения для некоторых упрощенных вариантов этой задачи. Например, можно рассмотреть случай,

когда масса одного из тел (назовем его пробным) очень мала и ею можно пренебречь. В XIX веке французский математик Жозеф Луи Лагранж, рассматривая эту задачу, обнаружил, что в поле тяготения двух больших масс есть ровно пять особых точек, где пробное тело может находиться неограниченно долго, если его движение не возму-

щать. Окрестности точек Лагранжа (их также называют точками либрации) в системах Солнце — Земля или Земля — Луна интересны для размещения там космических аппаратов. Так, например, спутник WMAP, исследующий реликтовое излучение, находится вблизи точки L2 системы Солнце — Земля, а обсерватория SOHO, изучающая Солнце, — в точке L1.



EUROPEAN SPACE AGENCY & FRANCESCO RERRARO

КАК «ВЗВЕСИТЬ» СЛАДКУЮ ПАРОЧКУ

Наблюдая скорости звезд в двойной системе и зная период обращения, можно определить их массы. Все вроде бы легко и просто. Но не тут-то было! Скорости измеряются по эффекту Доплера: когда звезда движется к нам, линии в ее спектре смещаются в синюю сторону, когда от нас — в красную. Иными словами, измеряется не полная скорость звезды, а только ее проекция на луч зрения. Например, если смотреть на систему перпендикулярно плоскости ее орбиты, скорости звезд вдоль луча зрения будут просто равны нулю.

Если же на эту систему посмотреть с ребра, будут регистрироваться полные орбитальные скорости. Выходит, для определения реальных орбитальных скоростей нужно еще знать, под каким углом мы рассматриваем двойную систему. К сожалению, определить угол удается далеко не всегда. В таких случаях обычно указываются условные массы, вычисленные в предположении, что орбита наблюдается с ребра, но при этом астрономы всегда помнят, что с учетом угла наклона орбиты к лучу зрения массы почти наверня-

ка окажутся больше. Например, если окажется, что наклон орбиты составляет 45 градусов, то условные массы надо увеличить в 2,8 раза. Точнее всего массы определяются в системах, где происходят взаимные затмения звезд. Размеры звезд малы по сравнению с орбитой, по которой они движутся, и поэтому затмения возможны только при очень малых углах, когда систему видно почти с ребра. В таких редких случаях, особенно когда определены скорости обеих звезд, можно делать точные оценки масс.

ного движения звезд уносит вещество, покидающее систему, во-вторых, к этому приводит выравнивание масс компонент. Последнее легко понять, если учесть, что более тяжелая звезда находится ближе к центру масс системы, а значит скорость ее орбитального движения меньше. Если перенести кусочек ее вещества на более быстро движущуюся соседку, та немного притормозит, а значит, приблизится к центру масс.

Уменьшение орбиты приводит к катастрофическим для системы последствиям: нейтронная звезда попадает внутрь звезды-гиганта. Образуется так называемый объект Торна — Житкова. Существование подобных объектов было предсказано в 1977 году Кипом Торном и Анной Житков, однако пока обнаружить их не удастся. Окончательным итогом эволюции системы является одиночная черная дыра. И это при том, что по отдельности звезды исходной пары не могли бы породить такой компактный объект.

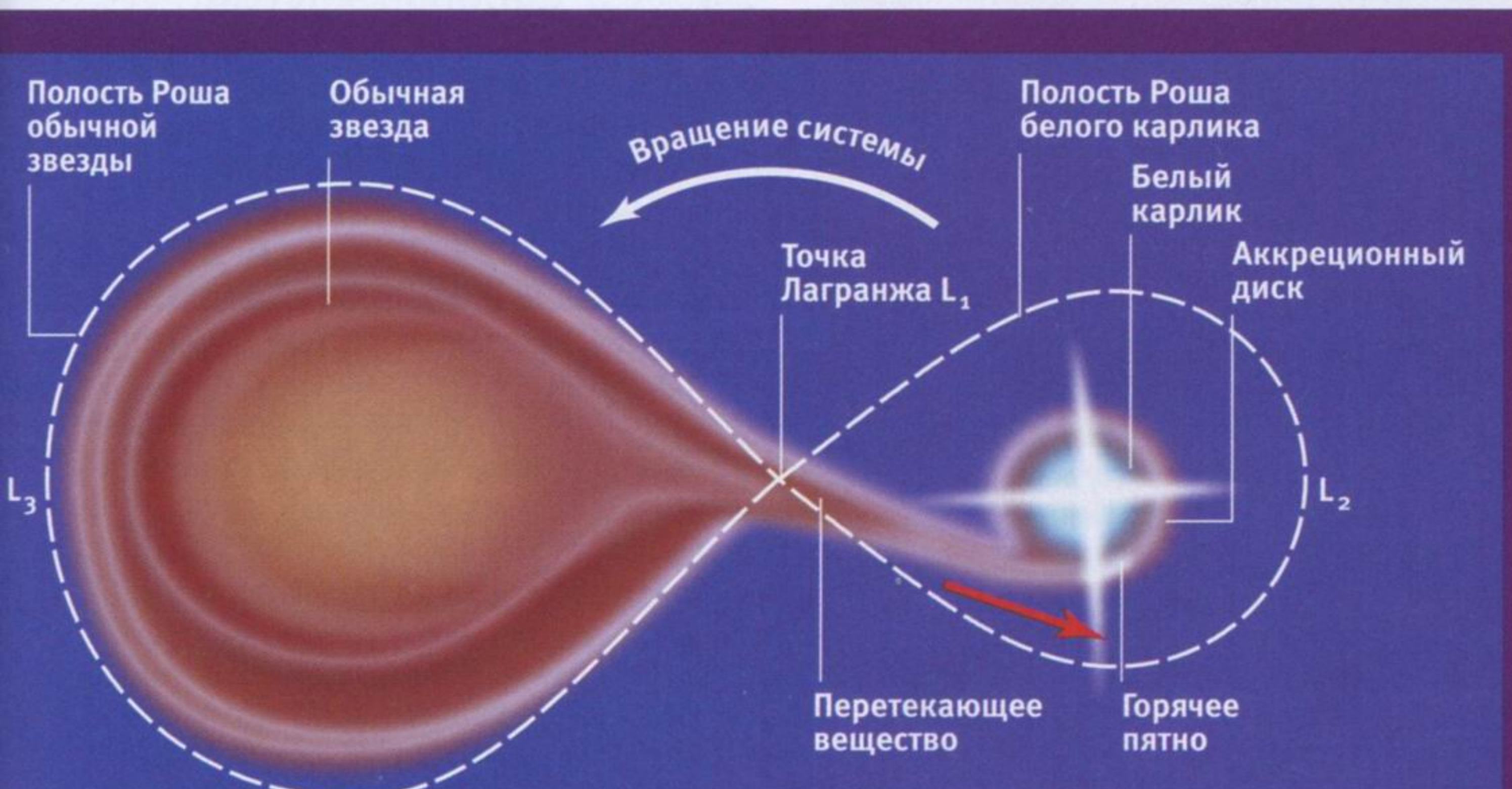
Если взять массу второй звезды поменьше, скажем, не девять, а две массы Солнца, оставив все прочие параметры без изменения, судьба системы сложится совсем по-другому. Слияния звезд в ней не произойдет. Вместо этого будет несколько стадий обмена веществом, появится яркий рентгеновский источник (и снова вторая звезда будет при этом перетекать на нейтронную звезду, образовавшуюся из первой), но финалом станет не черная дыра, а пара: нейтронная звезда — белый карлик. Можно еще чуть-чуть изменить параметры и снова получить заметные отличия в эволюции. Таким образом, существует огромное разнообразие тесных двойных систем.

ЭФФЕКТИВНАЯ АККРЕЦИЯ

Из всех проявлений тесных звездных пар наиболее известны, пожалуй, рентгеновские двойные. Эта стадия наступает в жизни многих взаимодействующих двойных, когда одна из компонент системы, став нейтронной

звездой или черной дырой, захватывает, или, как говорят астрономы, аккрецирует, вещество соседки. Если звезда-донор заполнила свою полость Роша, превратившись в гиганта, то реализуется режим дисковой аккреции, при этом возникают наиболее мощные источники. Из-за того что компоненты двойной системы обращаются вокруг общего центра масс, вещество не может прямо упасть с одной звезды на другую. Перетекая через внутреннюю точку Лагранжа, оно закручивается вокруг компактного объекта мощным аккреционным диском. Интересно, что если звезда-донор достаточно массивна, диск может образоваться даже и без заполнения ею своей полости Роша: с поверхности таких звезд может истекать довольно сильный звездный ветер, который частично перехватывается компактным объектом и подпитывает рентгеновский источник.

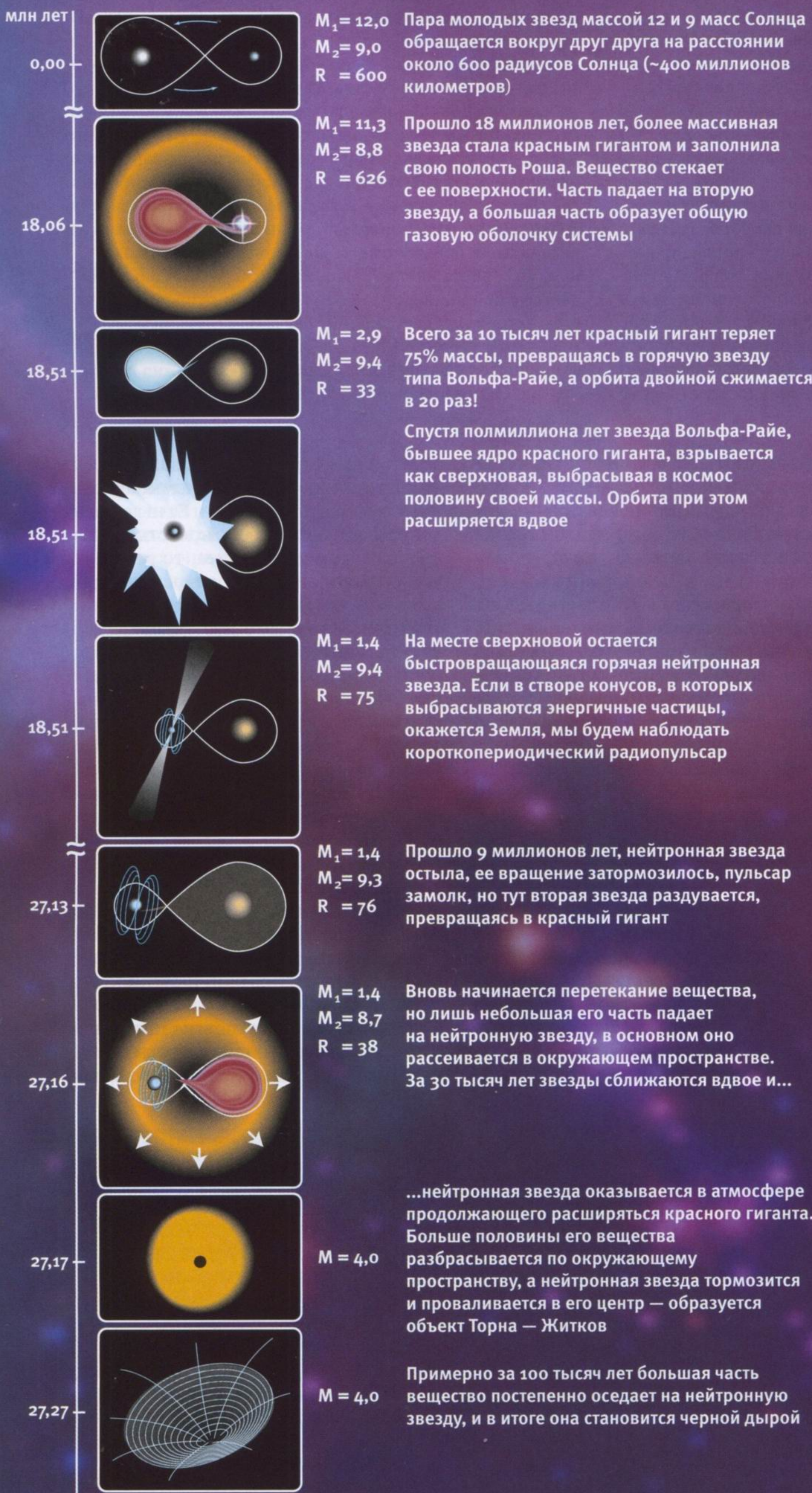
Аккреция — это на удивление эффективный процесс получения энергии. Если взять кирпич и бросить его на нейтронную звезду, то при ударе▶



Полости Роша ограничивают области пространства, где доминирующей силой является тяготение одной из звезд. Обычная звезда, целиком заполняющая свою полость Роша, «теряет контроль» над своими внешними слоями. Их веществ-

во начинает двигаться по неустойчивым орбитам. Частично оно выбрасывается из системы, а частично сваливается на вторую звезду — в данном случае компактный белый карлик, вокруг которого образуется горячий аккреционный диск

ПРИМЕРЫ ЭВОЛЮЦИОННОГО ТРЕКА ДВОЙНОЙ ЗВЕЗДЫ



Встречаются системы, состоящие даже из семи звезд, но взаимодействуют звезды только попарно

о поверхность выделится столько же энергии, сколько при взрыве мощной ядерной боеголовки. Однако чаще основное энерговыделение происходит в аккреционном диске. Вещество, вращаясь вокруг нейтронной звезды или черной дыры, за счет вязкости разогревается до миллионов градусов. Такой диск испускает в основном рентгеновские лучи, так как чем выше температура вещества, тем более энергичные кванты уносят энергию.

Мир рентгеновских двойных открылся исследователям в 1960-х годах. Первый большой прорыв в изучении неба в рентгеновских лучах был связан с работой американского спутника «Ухуру» (UHURU), с помощью которого на небе удалось открыть свыше трех сотен рентгеновских источников. Большинство из них оказались аккрецирующими двойными системами с нейтронными звездами или черными дырами.

С 1970-х годов в космосе постоянно работают рентгеновские обсерватории. Сейчас на орбите находится сразу несколько крупных рентгеновских телескопов. Это знаменитый американский спутник Chandra, европейский XMM-Newton и один из последних международных проектов INTEGRAL, запущенный в 2002 году, с материалами с которого работают и российские астрономы.

О ПОЛЬЗЕ ДВОЙНЫХ СИСТЕМ

Астрофизика выделяется среди естественных наук тем, что с объектами, которые она изучает, невозможно экспериментировать. Нельзя даже поднести к ним «поближе» какие-то приборы. Поэтому исследователи рады использовать любые варианты «природных датчиков». Звезды в тесной двойной как раз и служат «датчиками» друг для друга. Например, если в процессе обращения по орбите в системе случаются затмения, когда одна звезда заслоняет другую, то можно получить точную оценку их размеров. Но самое главное, конечно, это возможность измерять массы звезд в двойных системах. ►



Компьютерная модель слияния двух сильно намагниченных нейтронных звезд

Перетекание вещества с одной звезды на другую может спровоцировать взрыв сверхновой

ГРАВИТАЦИОННЫЕ ВОЛНЫ И СЛИЯНИЕ ЗВЕЗД

Двойная система из массивных звезд может породить пару, состоящую из нейтронных звезд или черных дыр. Если расстояние между двумя компактными объектами невелико, финалом эволюции станет их слияние. Происходит это из-за гравитационных волн, которые излучает двойная система. Эти волны, согласно общей теории относительности, испускаются любой двойной системой, однако эффект тем сильнее, чем массивнее объекты и чем ближе они друг к другу. Унося энергию и угловой момент системы, гравитационные волны заставляют звезды сближаться. Уже открыто несколько двойных систем с нейтронными звездами-радиопульсарами, в которых наблюдается сокраще-

ние орбиты за счет излучения гравитационных волн. Если эффект от падения кирпича на нейтронную звезду сравним с ядерным взрывом, что же будет, когда столкнутся две нейтронные звезды, каждая массой больше Солнца?! Энергии при этом выделится больше, чем при взрыве сверхновой. Частично ее уносят электромагнитные гамма-кванты, частично — нейтрино, а остальное приходится на гравитационные волны, мощность которых столь велика, что это, пожалуй, единственный шанс непосредственно их зарегистрировать (кстати, слияние черных дыр вообще можно наблюдать только таким способом). Для этого уже построены гравитационные детекторы LIGO и VIRGO. Пока их

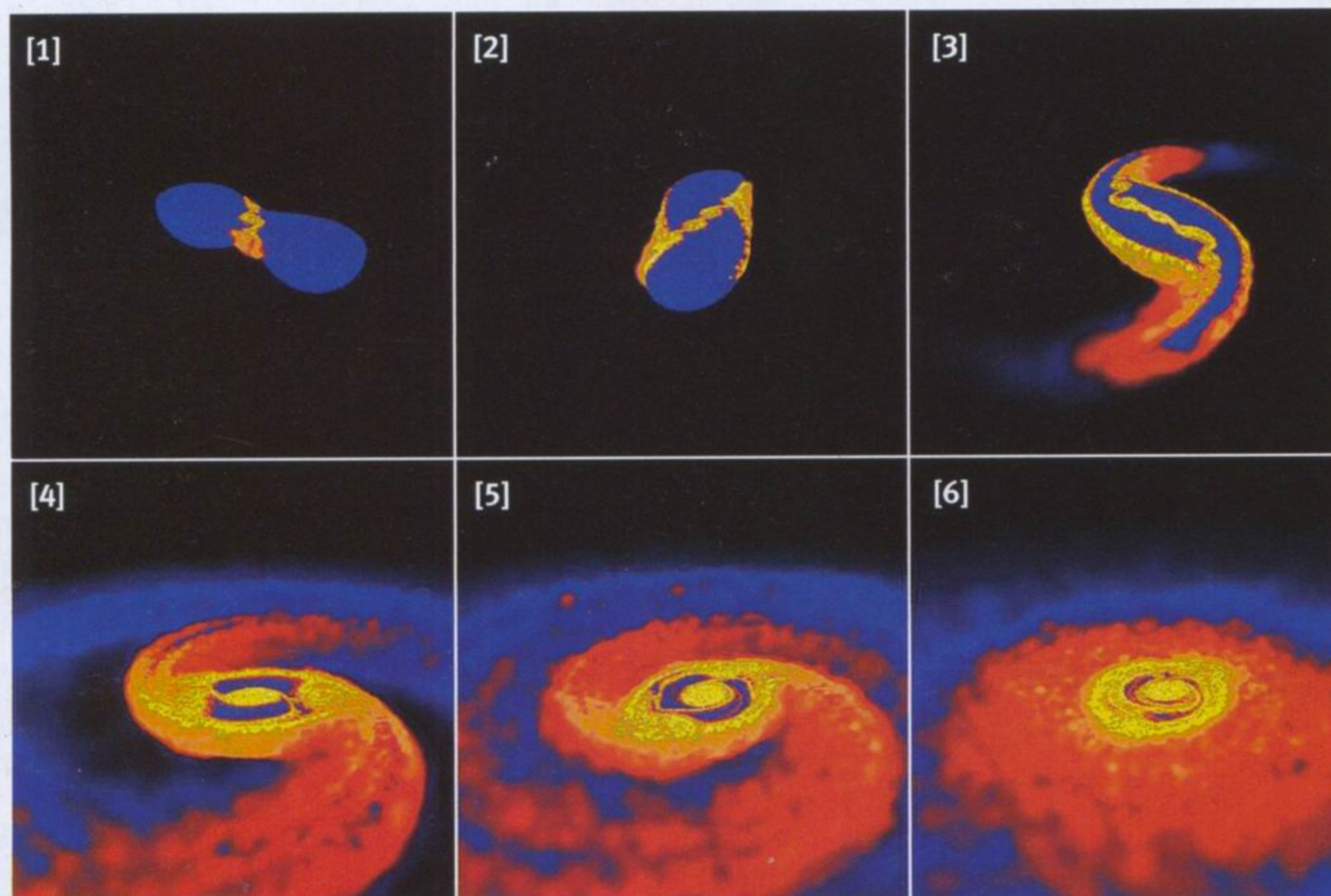
чувствительности недостаточно, но астрофизики уверены, что после модернизации данные установки будут наблюдать по нескольку слияний звезд в год.

Пока же слияния нейтронных звезд, возможно, наблюдаются как короткие гамма-всплески. Более длинные импульсы гамма-излучения (свыше нескольких секунд) сейчас связывают с коллапсом быстровращающихся ядер очень массивных звезд. А вот секундные вспышки, скорее всего, возникают на финальной стадии «танца» пары нейтронных звезд, когда после все ускоряющегося кружения они соединяются, частично теряя вещество, которое образует быстро вращающийся диск.

Сейчас специалисты с легкостью говорят: «Чем массивнее звезда, тем...» А когда-то измерение масс звезд казалось фантастикой. В самом деле, как взвесить летящий в пустоте одинокий газовый шар? Иное дело, если вокруг него под действием силы тяжести крутится другой объект. В этом случае, измерив орбитальный период и скорости движения звезд в двойной системе, можно по законам небесной механики оценить их массы.

Самые точные измерения проведены для пульсаров в двойных системах. Пульсары, как известно, это нейтронные звезды, испускающие периодические радиоимпульсы. Строгая периодичность объясняется вращением этих компактных объектов вокруг своей оси. На сегодня известно почти 2 тысячи таких источников, и несколько десятков из них входят в двойные системы. Поскольку пульсары являются очень точными часами, то по ним можно проводить прецизионные измерения.

За открытие и изучение первой системы из двух нейтронных звезд — PSR B1913+16 — Рассел Халс и Джозеф Тейлор были удостоены Нобелевской премии по физике за 1993 год. Столь высокая оценка объяснима. В тесной системе из двух компактных объектов, согласно общей теории относительности (ОТО), должно происходить мощное излучение гравитационных волн. Волны уносят энергию и угловой момент, а значит, компоненты двойной сближаются. Эффект невелик, поэтому орбитальный период и другие параметры нужно измерять с очень высокой точностью. Было показано, что нейтронные звезды в системе PSR B1913+16 сближаются в полном соответствии с теорией. Кроме этого, удалось проверить и некоторые другие эффекты, предсказываемые ОТО. На сегодняшний день известно еще несколько пар нейтронных звезд. Большие надежды возложены на наблюдения очень тесной пары PSR J0737-3039, открытой в 2003 году. ▶



Процесс слияния занимает несколько миллисекунд, но для его моделирования требуются недели счета на суперкомпьютере

DANIEL PRICE, UNIVERSITY OF EXETER, STEPHAN ROSSWOG INTERNATIONAL UNIVERSITY, BREMEN

СВЕРХНОВЫЕ КАК С КОНВЕЙЕРА

Обычно сверхновые ассоциируются с финальным аккордом в жизни массивной звезды, когда, исчерпав запасы ядерного топлива, она коллапсирует, превращаясь в нейтронную звезду или черную дыру. Однако сверхновые бывают разных типов. Один из подклассов, получивший обозначение Ia, имеет иную природу. В отличие от других сверхновых все вспышки типа Ia очень похожи друг на друга. Кажется, что взрываются почти «стандартные» объекты. Современная астрофизика говорит, что это взрывы белых карликов в тесных двойных системах. Эти компактные объекты устойчивы, пока их масса мала. Если же она доросла до некоторого критического значения, называемого пределом Chandrasekara, то бе-

лый карлик теряет устойчивость. Происходит взрыв. Предел Chandrasekara составляет примерно 1,4 массы Солнца. Универсальность этой критической массы определяет однородность свойств сверхновых типа Ia. Масса звезд может увеличиваться только во взаимодействующих двойных системах. Не было бы таких систем — не было бы и сверхновых типа Ia, а они между тем очень полезны в астрономическом «хозяйстве». Десять лет назад исследования именно этих вспышек дали первые серьезные аргументы в пользу ускоренного расширения Вселенной. Сейчас NASA планирует запуск специального спутника — SNAP (SuperNova Acceleration Probe), который будет искать далекие сверхновые типа Ia, что-

бы уточнить данные о космологическом расширении. Теория взрывов сверхновых еще далека от завершения, хотя современные компьютерные модели позволили достичь некоторого прогресса. Тем не менее, до сих пор неизвестно даже, какие звезды поставляют вещество на белые карлики, которые потом взрываются сверхновыми типа Ia. Например, это могут быть обычные маломассивные звезды, но не исключено, что такие сверхновые возникают в системах из двух белых карликов, когда вещество с одного перетекает на другой (это происходит, когда размеры орбиты сократились за счет излучения гравитационных волн). Последнее слово тут, по всей видимости, за наблюдателями, а не за теоретиками.

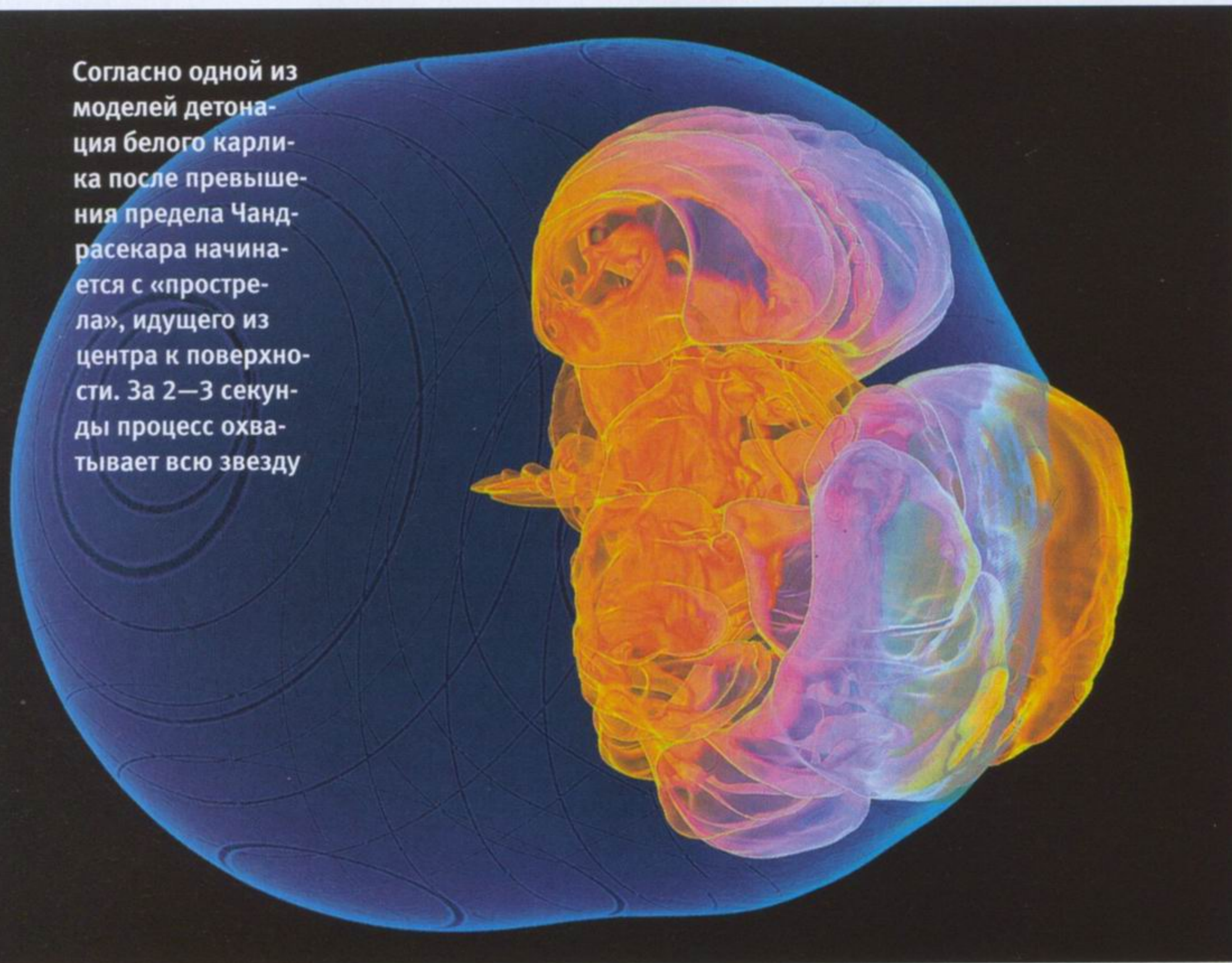
Слияния нейтронных звезд приводят к мощным всплескам гравитационного и гамма-излучения

В ней обе нейтронные звезды видны как радиопульсары. Это позволяет достаточно быстро (за несколько лет) и точно измерить несколько эффектов ОТО. Нейтронные звезды в этой системе совершают 10 оборотов в сутки по орбите радиусом 400 тысяч километров — примерно как Луна вокруг Земли. Из-за гравитационных волн с каждым оборотом радиус орбиты сокращается на 0,7 миллиметра, и примерно через 85 миллионов лет они столкнутся. Но уже в недалеком будущем эта система может позволить проверить эффекты, которые пока недоступны для исследования с помощью других пульсаров.

Одним из типов тесных двойных систем с нейтронными звездами очень заинтересовались специалисты по ядерной физике. Дело в том, что нейтронные звезды — это единственный вид «лаборатории», где можно изучать поведение вещества при плотностях раз в 10 выше ядерной. Конечно, сверхплотное вещество спрятано в самой глубине нейтронных звезд и непосредственно не наблюдается, но способ узнать о его свойствах существует — это наблюдение за остыванием компактных объектов. В некоторых двойных системах нейтронные звезды какое-то время аккрецируют вещество соседки, а потом этот процесс прекращается, и мы видим остывающий компактный объект, немного подогреваемый ядерными реакциями в его коре. Зная сколько вещества падало на звезду и измеряя ее светимость в отсутствие аккреции, можно проверять теории остывания нейтронных звезд и уточнять свойства вещества в их недрах.

Таким образом, и для астрономов, и для физиков двойные системы представляют огромный интерес. Если бы не парные «танцы» звезд и сложные взаимоотношения между ними, исследователям было бы гораздо труднее продвигаться в изучении законов природы. ●

Согласно одной из моделей детонация белого карлика после превышения предела Chandrasekara начинается с «прострела», идущего из центра к поверхности. За 2—3 секунды процесс охватывает всю звезду



УНИВЕРСИТЕТ ЧИКАГО, ASCI FLASH CENTER

РАССТАВАНИЕ СВЕТИЛ

Звездные пары разрушаются в двух случаях. Во-первых, может вмешаться «звезда-злодейка», близкий пролет которой мимо пары может привести к обмену партнерами. Во-вторых, одна из звезд может взорваться как сверхновая. При этом в окружающее пространство выбрасывается значительная доля ее массы. Пару

удерживает взаимная сила гравитации. Если сброшено больше половины суммарной массы, система становится гравитационно не связанной и звезды разлетаются. Кроме того, взрывы сверхновых асимметричны, в результате образующийся компактный объект получает в момент взрыва толчок, дополнительную скорость. Ес-

ли она велика в сравнении с орбитальной скоростью в двойной, то это также приводит к разрыву звездной пары. Поэтому, несмотря на то, что более половины массивных звезд, порождающих затем нейтронные звезды или черные дыры, входят в двойные системы, доля двойных среди компактных объектов гораздо меньше.