

РОЖДЕНИЕ ДВОЙНЫХ ЗВЕЗД

В. Г. СУРДИН

*Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга
при Московском государственном университете им. М.В. Ломоносова*

FORMATION OF BINARY STARS

V. G. SURDIN

The majority of stars form binary and multiple systems. This affects their evolution and results in the emergence of very interesting astronomical objects. The mechanisms, which lead to binary systems formation during protostellar phase, and to the coupling of mature stars when they accidentally come closer together, are described.

Большинство звезд образуют двойные и кратные системы. Это влияет на их эволюцию и приводит к появлению интереснейших астрономических объектов. Рассказано о механизмах, приводящих к рождению двойных систем на стадии формирования звезд, а также к объединению зрелых звезд при их случайных сближениях.

www.issep.rssi.ru

ВВЕДЕНИЕ

В мире звезд царствует гравитация. Внутри нормальной звезды силе тяжести с успехом противостоит давление обычного газа, а в недрах белого карлика или нейтронной звезды — давление вырожденного вещества. Но за пределами поверхности небесных тел у гравитации соперников нет. Система космических тел может противостоять взаимному притяжению своих частей и долгое время поддерживать равновесие лишь путем орбитального движения своих компонентов вокруг общего центра масс.

Поэтому неудивительно, что космические тела вальсируют на орбитах: спутники вокруг планет, планеты вокруг звезд, звезды вокруг центров галактик, а сами галактики вокруг центров скоплений галактик. Обращение двух тел вокруг центра массы происходит устойчиво, если не принимать во внимание их очень медленное сближение из-за излучения гравитационных волн. Но движение трех и более тел в общем случае неустойчиво, и такие системы (астрономы называют их *кратными*) обычно распадаются. Правда, у природы есть возможности стабилизировать кратные системы на очень длительное время, например если одно из тел значительно массивнее остальных (Солнце + планеты) или если взаимные расстояния тел существенно различаются (Солнце + [Земля + Луна]).

Учитывая всеобщий характер вращения, следует ли удивляться, что многие звезды образуют пары и даже кратные системы, хотя последних немного. В этой статье мы в основном ограничимся рассказом о двойных звездах — наиболее простых и устойчивых звездных системах, происхождение и эволюция которых представляют для астрофизики большой интерес.

В МИРЕ ДВОЙНЫХ ЗВЕЗД

При наблюдении неба в телескоп легко обнаружить пары, тройки и более сложные группы взаимно близких звезд. Но не все видимые на небе соседи располагаются рядом в пространстве. Так, *двойной звездой* астрономы называют любые две звезды, видимые близко друг к другу. Но если исследование покажет, что эти светила

видны рядом лишь в результате случайной проекции, то такую парочку называют *оптической двойной*. Если же оказывается, что звезды действительно расположены рядом и связаны между собой силой тяготения, то это уже *физическая двойная звезда* или *двойная система*.

Двойные системы делят на типы: у *визуальных двойных* оба компонента видны по отдельности; *спектральные двойные* обнаруживают по периодическому доплеровскому смещению линий в их спектре. Если Земля лежит в плоскости орбиты двойной звезды, то ее компоненты периодически затмевают друг друга, такие системы называют *затменными двойными*.

Более физичным является деление двойных звезд на тесные и широкие. *Тесными двойными* называют системы, в которых компоненты способны обмениваться веществом. У *широких двойных* расстояние между компонентами так велико, что они не оказывают друг на друга никакого влияния, кроме гравитационного. Диапазон взаимных расстояний у двойных звезд очень велик — от 10^{10} м у самых тесных до 10^{16} м у самых широких. Ясно, что к формированию столь разных систем причастны разные физические механизмы. Понять их природу было бы весьма интересно.

Жизнь двойной звезды в сравнении с одиночной настолько же богата событиями, насколько семейная жизнь людей полнее одиночества [1]. Только взаимодействие звезд раскрывает их истинные качества: изучая двойные системы, мы имеем уникальную возможность определять массы и размеры звезд, их эволюционный статус [2, 3] и даже физическую природу, например обнаруживать среди них белые карлики и черные дыры.

Жизнь двойных не ограничивается взаимным влиянием компонентов: в звездных скоплениях и ядрах галактик двойные звезды активно взаимодействуют с соседями и порой сильно влияют на их эволюцию. Так, от наличия или отсутствия двойных систем зависит судьба шаровых звездных скоплений [4]. Поэтому понять, какие процессы приводят к рождению двойных звезд, означает высветить еще одну грань великой космической эволюции.

ПОИСК И ИЗУЧЕНИЕ ДВОЙНЫХ ЗВЕЗД

Доказать физическую связь двух звезд, казалось бы, просто: нужно заметить их орбитальное движение. Но при гигантских межзвездных расстояниях эта задача решается нелегко. Чтобы заметить взаимное обращение звезд и тем более определить их орбиты, необходимо точно отмечать взаимное положение звезд в течение заметной доли их орбитального периода. Для этого как минимум требуется увидеть звезды раздельно, что при наблюдении сквозь земную атмосферу означает, что они должны располагаться на угловом расстоянии не менее $0,2$ друг от друга. Учитывая, что среднее рассто-

яние до ближайших звезд составляет около 10 пк (1 парсек (пк) = $3,0857 \cdot 10^{16}$ м = 3,26 световых лет), видим, что даже в благоприятных условиях расстояние между компонентами визуально-двойных звезд составляет несколько астрономических единиц (1 а.е. = $1,5 \cdot 10^{11}$ м — среднее расстояние от Земли до Солнца), а орбитальные периоды измеряются годами. В действительности у большинства изученных визуальных двойных орбитальные периоды измеряются десятками и сотнями лет.

Честь открытия физических двойных звезд принадлежит Вильяму Гершелю (1738–1822). За прошедшие 200 лет обнаружено и частично изучено около 80 тыс. визуально-двойных звезд, причем вся эта чрезвычайно кропотливая работа проделана усилиями лишь нескольких астрономов, энтузиазм которых порой граничит с фанатизмом [5]. Существенному прогрессу в изучении тесных двойных систем, обладающих высокими орбитальными скоростями, способствовало применение спектроскопа: в 1889 году была открыта первая спектрально-двойная звезда (система Мицар А в Большой Медведице), к середине XX века их было известно около 1500, а сейчас — более 3000 двойных и сотни кратных систем.

Обладая такими массивами данных, можно говорить о статистических характеристиках этих звезд. Важнейшая из них — доля двойных/кратных среди всех звезд Галактики. Обычно ее характеризуют *степенью двойственности/кратности*. Но нужно иметь в виду, что существуют несколько различных определений этой величины, чаще всего встречаются следующие два:

1) отношение числа двойных/кратных систем к полному числу систем, считая и каждую одиночную звезду самостоятельной системой. Например, ансамбль, состоящий из одиночной и двойной, имеет степень двойственности $1/2$, а из одиночной, двойной и тройной — степень кратности $2/3$;

2) отношение числа компонентов всех сложных систем к полному числу звезд. В этом случае ансамбль из одиночной и двойной имеет степень двойственности $2/3$, а из одиночной, двойной и тройной — степень кратности $5/6$.

Ни одно из этих определений не дает полного представления о распределении звезд по системам различной кратности. Исчерпывающую информацию дает *степень i -кратности P_i* : если число звездных систем, содержащих по i звезд, равно S_i , то

$$P_i = \frac{iS_i}{\sum_{i=1}^{\infty} iS_i}.$$

Так, система из одиночной, двойной и тройной звезд имеет степень двойственности $P_2 = 1/3$ и степень

тройственности $P_3 = 1/2$. Исследования показывают [2], что в диске нашей Галактики при понижении кратности на единицу число систем возрастает примерно в четыре раза: $S_i/S_{i+1} \approx 4$. Поэтому систем высокой кратности мало и обнаружить их сложно. Пока не найдено ни одной устойчивой системы, содержащей более шести звезд. Вопрос о точной доле одиночных звезд пока открыт. Во всяком случае число одиночных звезд не

превосходит числа систем $\left(S_1 \leq \sum_{i=2}^{\infty} S_i \right)$. Значит, в диске

Галактики не более 30% звезд одиночные, а остальные – члены систем, в основном двойных.

РАННИЕ ВЗГЛЯДЫ НА ФОРМИРОВАНИЕ ДВОЙНЫХ ЗВЕЗД

С конца XIX до середины XX века по поводу формирования двойных звезд астрономы придерживались теории деления быстро вращающихся жидких тел, созданной А. Пуанкаре (1854–1912) и Дж. Дарвином (1845–1912) и обобщенной для газообразных тел Дж. Джинсом (1877–1946). Согласно этой теории, форму протозвезды, сжимающейся под действием гравитации из межзвездного вещества, описывает последовательность фигур равновесия самогравитирующих тел (рис. 1). У тела массы M , сжимающегося с сохранением момента импульса J , в результате роста плотности ρ возрастает безразмерный угловой момент

$$j = \frac{J\rho^{1/6}}{2M^{5/3}\sqrt{\pi G}}.$$

На начальных этапах сжатия при небольшом отличии формы тела от сферы это приводит к росту угловой скорости Ω и ее безразмерного аналога

$$\omega = \frac{\Omega}{\sqrt{4\pi G\rho}}.$$

На рис. 1 это соответствует движению вдоль последовательности равновесных фигур, начиная от шара. При этом жидкое тело принимает форму все более сжатой фигуры, называемой эллипсоидом Маклорена (1698–1746). С ростом степени сжатия фигуры ее безразмерная угловая скорость возрастает, но, достигнув предельного значения, начинает уменьшаться, хотя фигура становится все более сжатой, в пределе превращаясь в тонкий диск.

Эта идеальная картина может быть нарушена небольшим возмущением формы сжатого эллипсоида. На линии фигур Маклорена есть несколько точек бифуркации. В каждой из них эволюция формы сжимающейся фигуры может пойти по одному из двух путей. В результате небольших радиальных колебаний диск может пре-

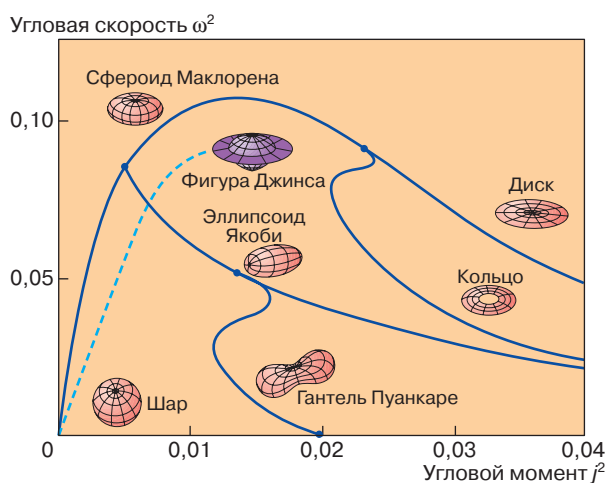


Рис. 1. Последовательности фигур равновесия самогравитирующих вращающихся тел. Сплошные линии – жидкие тела, штриховые – газовые тела. Ось вращения у всех изображений тел расположена вертикально

вратиться в кольцо. А если в процессе сжатия тело потеряет осевую симметрию, например под гравитационным влиянием своего спутника, то оно может приобрести форму вытянутого эллипсоида Якоби (1804–1851) и продолжать эволюцию вдоль этой новой последовательности фигур равновесия, приводящей к сигарообразной форме, а в пределе к тонкой вытянутой спице.

Как показал Пуанкаре, последовательность фигур Якоби при определенных условиях тоже становится неустойчивой: сжимающаяся фигура может принять форму куриного яйца (по традиции такие фигуры называют грушевидными), а также форму гантели, переходящей в песочные часы. Возможны и более сложные фигуры. Заключительным шагом в их эволюции является разрыв на две или три части, то есть формирование двойной или кратной звезды (рис. 2).

Разумеется, реальная протозвезда весьма далека по своим свойствам от твердотельно вращающегося однородного жидкого тела. В ней непременно должны быть огромные перепады плотности от центра к периферии, мощные потоки вещества (например, конвективные). На нее как снаружи, так и изнутри действует давление газа и магнитного поля, причем необязательно изотропное. Поэтому следующим шагом от жидких моделей к реальности стали сжимаемые модели Джинса.

На рис. 1 показана одна из последовательностей равновесных сжимаемых моделей. Достигнув верхней точки кривой, модель теряет устойчивость: с ее экватора под действием центробежной силы начинает истекать вещество, формируя вокруг звезды диск (см. рис. 2). Здесь не происходит деления тела на несколько частей,

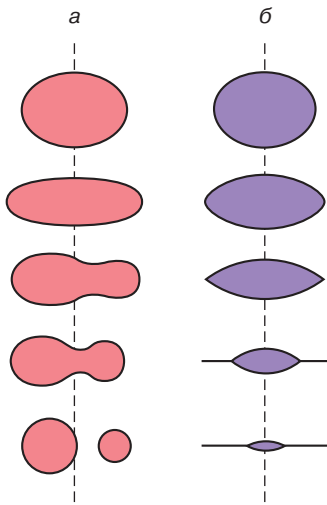


Рис. 2. Два простейших эволюционных пути, по которым может развиваться неустойчивость самогравитирующего вращающегося тела: *а* – жидкое тело, состоящее из однородного по плотности вещества; *б* – газовое тело с сильным ростом плотности к центру. Вдоль каждой последовательности сжатие тела и рост его угловой скорости происходят сверху вниз

как в случае жидкой модели. Но в результате гравитационной неустойчивости газового диска в нем может сформироваться одно или несколько тел – спутников центрального светила, то есть планет или компонентов сложной звезды.

Таков был взгляд на формирование двойных звезд к середине XX века. Но затем были развиты новые подходы, основанные на теории гравитационной фрагментации. При этом астрофизики понимали, что большой момент импульса, присущий вращающемуся в Галактике газу, мешает образованию одиночных звезд и тесных двойных при любом механизме их формирования [6]. Действительно, при плотности межзвездного газа $\sim 10^{-24}$ г/см³ звезда солнечного радиуса ($R_{\odot} = 7 \cdot 10^8$ м) образуется из облака, первоначальный размер которого ~ 3 пк. Учитывая, что угловая скорость вращения Галактики $\sim 0,02$ км/(с · пк), а сжимаясь в звезду, облако уменьшает свой размер в $(3 \text{ пк}/R_{\odot}) \sim 10^8$ раз, легко видеть, что при сохранении момента скорость вращения поверхности звезды должна возрасти до 10^7 км/с, что бессмысленно.

Как заставить протозвезду потерять угловой момент? Вязкость разреженного межзвездного газа не в состоянии затормозить вращение облака. Из всех механизмов потери углового момента лишь магнитное торможение, предложенное в 1942 году Х. Альвеном (1908–1995), может играть заметную роль: силовые линии магнитного поля связывают уплотняющееся и поэтому

раскручивающееся ядро облака с его медленно вращающейся периферией и отводят наружу угловой момент ядра. Но и относительно этого механизма были сомнения: считалось, что в холодном протозвездном облаке электрическая проводимость должна быть низкой и магнитное поле должно быстро затухать.

Однако позже выяснилось, что под действием высокоэнергичных частиц космических лучей проводимость холодного газа сохраняется достаточно высокой и магнитное торможение действительно играет важную роль при сжатии протозвезд. С появлением компьютеров астрофизики приступили к построению детальных сценариев формирования двойных звезд и при этом обнаружили много неожиданного.

ФРАГМЕНТАЦИЯ ДОЗВЕЗДНОГО ОБЛАКА

Наблюдения показали, что доля двойных звезд среди новорожденных светил приблизительно такая же, как и среди старых. Следовательно, большинство двойных звезд образуется еще на протозвездной стадии, в процессе сжатия межзвездных облаков. Изучить детали этого процесса в природе пока не удастся: индивидуальная протозвезда эволюционирует очень медленно – на интервалах времени в сотни тысяч лет, а для построения эволюционного ряда из разных протозвезд не хватает материала, поскольку в окрестности Солнца протозвезд мало, а у далеких объектов неразличимы детали внутреннего строения.

Численное моделирование коллапса протозвезды тоже сталкивается с трудностями. Одномерные модели позволяют изучать сжатие сферически симметричного облака. Двумерные модели дают возможность учесть вращение, но лишь при осевой симметрии, а если требуется исследовать деление вращающегося облака на части (рождение двойной звезды), то не избежать трехмерного газодинамического расчета, для которого требуются очень мощные компьютеры, появившиеся у астрофизиков лишь в последние годы.

Уже первые трехмерные модели коллапса межзвездных облаков показали иную картину фрагментации протозвезды, чем предполагалось в ранних аналитических теориях, развитых в 1950–1960-е годы Ф. Хойлом (1915–2001) и др. Их взгляды были навеяны изучением неустойчивости вращающихся жидких тел, процесс фрагментации которых носит пороговый характер (точки бифуркации на рис. 1). В те годы астрофизики полагали, что при достижении некоторых критических значений плотности, температуры или скорости вращения облако с некоторой вероятностью делится пополам, а затем фрагменты при сжатии делятся еще раз пополам, а затем – еще раз...

Но компьютерные модели показали, что фрагментация вначале затрагивает лишь небольшую центральную

часть облака. Затем на образовавшиеся маломассивные ядра происходит аккреция внешних слоев. Для примера рассмотрим модель американского астрофизика Алана Босса (рис. 3). Начальные характеристики облака: масса $1 M_{\odot}$ ($2 \cdot 10^{30}$ кг — масса Солнца), температура 10 К, радиус 0,016 пк. Важно отметить, что в начале расчета на сферическое облако наложено 10%-ное азимутальное ($\propto \cos 2\varphi$) возмущение плотности, которое в дальнейшем приводит облако к первой фрагментации (рис. 3, в). Оправданием для такого выбора служат наблюдаемые эллипсоидальные формы ядер межзвездных облаков, причиной которых могут быть взаимные приливные возмущения ядер, их столкновения и т.п.

Самое интересное в этой модели — вторичная фрагментация (рис. 3, г), создающая иерархическую систему из четырех протозвездных зародышей с массой каждого около $0,01 M_{\odot}$. Взаимное расстояние между зародышами в паре почти в шесть раз меньше, чем между самими парами. Этого было бы достаточно для продолжительного устойчивого движения компонентов в иерархической звездной системе. Однако в данной модели осталось неизвестным, как изменится геометрия данной системы к моменту окончания аккреции протяженной оболочки на маломассивные протозвездные зародыши. Во всяком случае модель Босса подтвердила интуитивный вывод о том, что азимутальная неустойчивость приводит к фрагментации облака и способна породить двойную и даже кратную звездную систему.

Численные модели быстро усложняются и позволяют учитывать новые эффекты. Выяснилось, что вариация начальных условий приводит облако к одному из четырех типов коллапса: 1) распад на двойную систему, окруженную общим диском; 2) сжатие в диск, распадающийся затем на многокомпонентную систему; 3) сжатие в бар (сильно вытянутый эллипсоид), распадающийся затем на кратную, вполне симметрич-

ную систему, и 4) сжатие в бар, распадающийся на одну массивную часть и отходящий от нее спиральный рукав, который затем распадается на множество мелких объектов. Оказалось, что взаимное влияние фрагментов и их взаимодействие с окружающим массивным диском может снизить орбитальный момент импульса фрагментов в сотню раз. Нередко это приводит к обратному слиянию фрагментов и заканчивается рождением одиночной звезды, окруженной диском. Важно, что в тех моделях, где фрагменты не сливаются и образуют кратные системы, орбиты компонентов часто оказываются некомпланарными, что действительно наблюдается у кратных звезд.

Численное моделирование помогает увидеть пути формирования двойных и кратных звезд. К сожалению, эти трудоемкие расчеты пока не продвинулись к поздним эволюционным фазам и не дают каких-либо указаний на ожидаемое распределение динамических характеристик звездных систем, которые можно было бы сравнить с наблюдениями.

ДВОЙНЫЕ ЗВЕЗДЫ В СКОПЛЕНИЯХ

В 1980-е годы радиоастрономы выяснили, что основная доля звезд формируется в плотных и массивных ядрах межзвездных молекулярных облаков, а появившиеся в 1990-х годах инфракрасные телескопы позволили прямо обнаружить скопления формирующихся и молодых звезд чрезвычайно высокой плотности — до миллиона звезд в кубическом парсеке. Стало очевидным, что звезды в таких системах даже за короткое время их эволюции ($\sim 10^7$ лет) имеют заметный шанс сблизиться и повлиять друг на друга. Поэтому началось изучение двойных и тройных взаимных сближений звезд и связанных с этим механизмов их захвата.

Сначала общее замечание. Чтобы из двух звезд с положительной полной энергией сформировалась двойная система, необходим механизм удаления энергии.

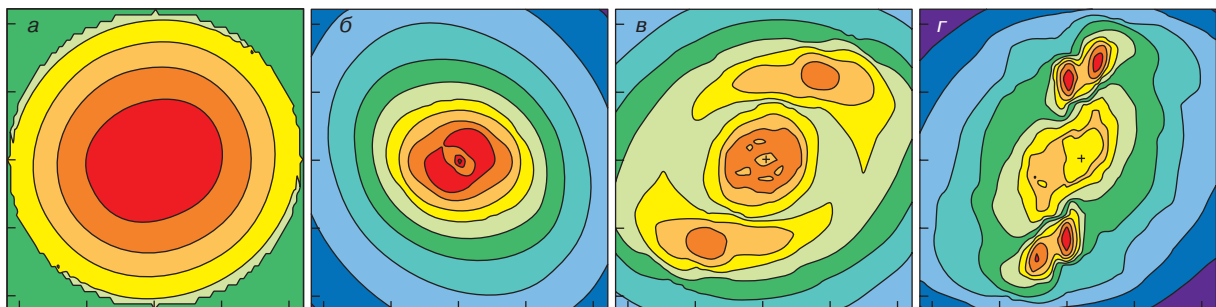


Рис. 3. Коллапс и фрагментация вращающегося межзвездного облака в трехмерной модели А. Босса. Показаны эквиденситы (линии равной плотности) в сечении экваториальной плоскостью. Моменты времени для фрагментов а, б, в, г соответственно равны 0,35, 1,38, 1,42 и 1,44 t_{ff} , где начальное время свободного падения $t_{ff} = 1,6 \cdot 10^4$ лет. Радиусы изображенных областей 50, 7, 2 и $2 \cdot 10^{15}$ см, а максимальная плотность $\lg \rho_{max} [г/см^3] = -16,7, -13,5, -12,4$ и $-11,5$. Значения плотности соседних эквиденсит различаются вдвое. Локальный минимум плотности в центре на в и г отмечен знаком +

Это может быть третья звезда, способная унести энергию в кинетической форме; ниже мы рассмотрим механизм тройных сближений. Энергия также может быть рассеяна при взаимодействии звезд с околозвездным веществом партнеров и в результате неупругих колебаний самих звезд, возбужденных приливными возмущениями. Относительный вклад этих трех механизмов захвата еще предстоит выяснить.

ТРОЙНЫЕ СБЛИЖЕНИЯ

Результатом сближения трех звезд может быть либо последующий разлет трех одиночных звезд, либо образование двойной и стремительный выброс из ее окрестности одиночной звезды, уносящей избыток энергии (рис. 4).

Механизм тройных сближений приводит к формированию любых двойных систем, но широкие пары образуются значительно чаще, чем тесные (поскольку вероятность тесного тройного сближения очень мала). К сожалению, при последующих сближениях широкой пары с одиночными звездами двойная система, как правило, распадается, этот процесс схож с ионизацией атома ударом электрона. Лишь малая часть широких пар при случайных встречах с третьей звездой уплотняется, после чего ее шанс выжить значительно повышается.

По результатам численных экспериментов была найдена вероятность формирования устойчивых двойных звезд в ходе тройных сближений. Оказалось, что этот механизм не очень эффективен: он может играть роль лишь в самых плотных звездных скоплениях и ядрах галактик. Причина, как легко догадаться, в том, что вероятность случайной встречи трех частиц в одном месте пропорциональна кубу пространственной плотности звезд. В целом тройные сближения не играют су-

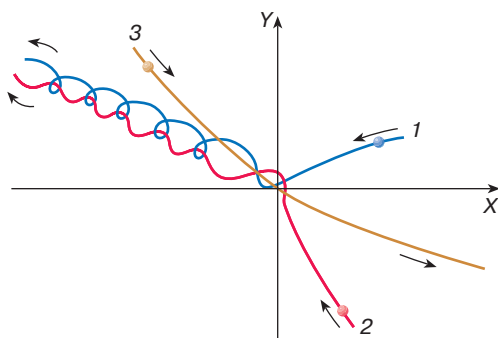


Рис. 4. Тройное сближение с образованием двойной системы. В барицентрической системе координат показано движение трех звезд одинаковой массы. После их тесного сближения (в области начала координат) звезды 1 и 2 образуют связанную систему, а звезда 3 быстро удаляется от них

щественной роли при формировании двойных звезд в Галактике.

ПРИЛИВНЫЙ ЗАХВАТ

До сих пор, рассматривая сближение звезд, мы считали их материальными точками. Пора вспомнить, что звезды – физические тела конечной протяженности. Если минимальное расстояние пролета сравнимо с размером звезды, то в момент сближения звезды в результате приливного эффекта деформируют друг друга, затрачивая на это часть своей кинетической энергии. После пролета энергия деформации рассеивается в процессе колебаний звезд, превращается в тепло и уносится излучением. Поэтому приливное взаимодействие может приводить к объединению звезд в двойную систему (рис. 5).

Из-за очень сильной зависимости приливного эффекта от расстояния захват может произойти только в том случае, если расстояние минимального сближения r_p в периастре невозмущенной орбиты ненамного превосходит радиус звезды R_s . Кроме того, апоастр (наиболее удаленная точка замкнутой орбиты) после захвата может иметь любое разумное значение. Поэтому сразу после захвата эллиптическая орбита звезды, как правило, сильно вытянута. Но при каждом последующем прохождении периастра в недрах звезды рассеивается почти столько же орбитальной энергии, сколько в

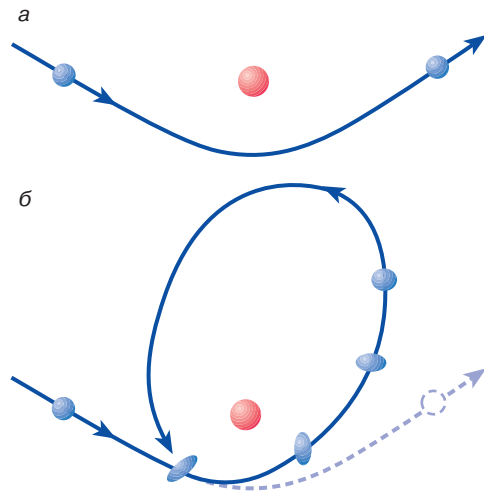


Рис. 5. Приливный захват и образование двойной системы. Для простоты одну из звезд считаем неподвижной и недеформируемой. Если вторая звезда также не изменяет своей сферической формы, то ее пролет мимо первой звезды (а) с сохранением энергии движения заканчивается удалением по симметричной гиперболической орбите. Если же форма звезды в результате приливного эффекта искажается (б), то взаимодействие звезд становится нецентральным и заканчивается захватом

момент первого пролета, поэтому со временем орбита округляется. Из условия сохранения орбитального момента окончательный радиус круговой орбиты составляет $r = 2r_p$ (перекачка части этого момента в осевой момент звезды почти не влияет на результат).

Критическое расстояние первого пролета, приводящее к захвату, можно оценить в так называемом импульсном приближении, полагая, что за время эффективного действия приливной силы структура звезды не успевает измениться. Пусть две одинаковые звезды проходят на минимальном расстоянии r_p друг от друга с относительной скоростью V_p . Элемент объема звезды, удаленный на расстояние d от ее центра, испытывает относительно него приливное ускорение $f = 2GMd/r_p^3$. При характерном времени пролета r_p/V_p он получает приращение скорости $\Delta V = 2GMd/(V_p r_p^2)$. Полное приращение кинетической энергии вещества звезды составит

$$\Delta E = \frac{M\Delta V^2}{2} = \frac{2G^2 M^2 R_m^2}{V_p^4 r_p^4},$$

где R_m — среднеквадратичное расстояние вещества звезды от ее центра. Если до сближения звезды двигались с относительной скоростью V , то кинетическая энергия каждой была $E_k = MV^2/8$. Из условия захвата ($\Delta E = E_k$) получим критическое расстояние первого пролета (r_{pc}):

$$r_{pc} = 2 \left(\frac{R_m GM}{V_p V} \right)^{1/2}.$$

Учтем, что на параболической орбите $V_p^2 = 4GM/r_p$, а скорость ухода с поверхности звезды $V_{esc}^2 = 2GM/R_s$, тогда

$$r_{pc} = 2^{1/3} R_s \left(\frac{R_m}{R_s} \right)^{2/3} \left(\frac{V_{esc}}{V} \right)^{2/3}.$$

Для примера рассмотрим звезды главной последовательности, у которых значение V_{esc} примерно такое же, как у Солнца (618 км/с), и среднее значение $R_m/R_s = 0,45$. Для типичной скорости движения звезд $V = 50$ км/с в импульсном приближении получим $r_{pc} \approx 4R_s$. Если $V > 100$ км/с, то захват может происходить лишь на таких малых расстояниях ($r_{pc} < 2,5R_s$), которые равносильны прямому столкновению звезд.

Поскольку приливный захват происходит только при очень тесном сближении, образующиеся двойные оказываются очень компактными. В дальнейшем они практически не разрушаются при сближениях с другими звездами. Частота формирования двойных звезд вследствие приливного захвата весьма высока в плотных областях звездообразования. Причиной этого служат не только высокая пространственная плотность звезд и как

следствие — их частые парные сближения, но и большой размер самих звезд, которые еще находятся на протозвездной стадии и продолжают свое сжатие.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МОЛОДЫХ ЗВЕЗД С ДИСКАМИ

В последнее время выяснилось, что большинство формирующихся и молодых звезд окружены околозвездными дисками огромного размера — остатком протозвездного вещества, частично идущего в дальнейшем на формирование планет. В плотных скоплениях молодые звезды могут взаимодействовать с дисками соседних звезд, теряя при этом свою кинетическую энергию и объединяясь в пары.

Разумеется, далеко не всегда близкий пролет звезд с дисками (а возможно, и сквозь диск соседки) заканчивается образованием двойной звезды. Но память об этом событии остается: например, происходящий при сближении звезд приливный удар может заметно наклонить ось вращения диска к оси вращения его центральной звезды. Возможно, мы имеем такой пример в Солнечной системе: как известно, ось вращения Солнца наклонена на 7° к оси эклиптики, в плоскости которой лежат орбиты планет.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подходы к проблеме формирования двойных звезд видны, но стройной картины этого важного космогонического процесса пока нет. Новые наблюдения (особенно в инфракрасном и субмиллиметровом диапазонах, в которых формирующиеся звезды полупрозрачны) и новые численные модели (особенно с использованием суперкомпьютеров) должны дать интересные и, скорее всего, неожиданные результаты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Липунов В.М. В мире двойных звезд. М.: Наука, 1986.
2. Бэттен А. Двойные и кратные звезды. М.: Мир, 1976.
3. Масевич А.Г., Тутуков А.В. Эволюция звезд. М.: Наука, 1988.
4. Спитцер Л. Динамическая эволюция шаровых скоплений. М.: Мир, 1990.
5. Кутто П. Наблюдения визуально-двойных звезд. М.: Мир, 1981.
6. Сурдин В.Г. Рождение звезд. М.: Эдиториал УРСС, 1999.

Рецензент статьи В.М. Липунов

* * *

Владимир Георгиевич Сурдин, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Государственного астрономического института им. П.К. Штернберга при МГУ. Область научных интересов — формирование и эволюция звезд и звездных систем. Автор более 70 научных статей, монографии и научно-популярных статей и книг.