

СУДЬБА ШАРОВЫХ СКОПЛЕНИЙ

В.Г. Сурдин,
Государственный астрономический институт
им. П.К. Штернберга, Москва

Обсуждается развитие шаровых скоплений под влиянием диссипации и динамического трения. Показывается, что гравитационно-термическая катастрофа в ядре скопления происходит перед тем, как скопление полностью разрушено под влиянием диссипации или оно падает в галактический центр в результате динамического трения. Объекты, которые возникают в ходе процесса сжатия ядра скопления /массивные черные дыры или тесные двойные/ также падают в центр Галактики или населяют ее балдж.

THE FATE OF GLOBULAR CLUSTERS

V.G. Surdin,
Sternberg's State Astronomical Institute, Moscow

The evolution of globular clusters under dissipation and dynamical friction is considered. It is shown that a gravothermal catastrophe in the cluster core appears before the cluster will be completely destroyed under dissipation, or will fall into the Galactic centre under dynamical friction. The objects which are formed in the cluster-core contraction process /massive black holes or close binaries/ also fall into the centre of the Galaxy, or populate its bulge.

В настоящее время лишь небольшая часть старых звезд Галактики сосредоточена в шаровых скоплениях. Сейчас известно около 130 таких скоплений; их суммарная масса $2 \cdot 10^7 M_{\odot}$ при $M/L_V = 2$. Полное число шаровых скоплений в Галактике, по-видимому, близко к 300, а полная масса этих реликтовых звездных систем не превышает $10^8 M_{\odot}$, что составляет $\leq 1\%$ массы гало Галактики [1,2]. Тем не менее, динамические особенности шаровых скоплений выделяют их среди прочих галактических объектов. Большая собственная масса некоторых скоплений приводит к быстрой эволюции их галактических орбит под действием динамического трения [3,4]. В результате скопления по спирали приближаются к центру Галактики и попадают в область галактического ядра. Имеются серьезные аргументы в пользу того, что происхождение самого галактического ядра /т.е. плотной центральной части размером ~ 10 пс/ связано именно с аккумуляцией массивных шаровых скоплений в центре Галактики [5]. Кроме большой массы шаровые скопления отличаются высокой пространственной плотностью $/10^2 - 10^5 M_{\odot}/\text{пс}^3/$ и низкой дисперсией скоростей $/\sim 10 \text{ км/с}/$ звезд в своих центральных частях, что приводит к быстрой динамической эволюции ядер этих скоплений. Яркий пример тому - большое количество рентгеновских источников в шаровых скоплениях. Эти источники, судя по всему, связаны с двойными звездными системами, образовавшимися в результате звездно-звездных взаимодействий в ядрах скоплений.

Важная роль отводится шаровым скоплениям в некоторых теориях происхождения галактик. Вполне вероятно, что большая часть звезд сферической составляющей галактик сформировалась в объектах типа шаровых скоплений и подобных им карликовых галактиках [6]. Поэтому большой интерес представляет проблема восстановления истории шаровых скоплений: определение начального их количества в Галактике, начальной функции масс и элементов их галактических орбит. Задача эта довольно сложная и для ее решения всегда приходится делать некоторые серьезные предположения. Значительно более корректной является задача об эволюции в будущем существующих сейчас шаровых скоплений. Выяснив современные тенденции в их эволюции, можно надеяться, по крайней мере, качественно оценить характер этого процесса в прошлом.

В настоящее время шаровые скопления в Галактике не образуются, практически не пополняются звездами, а только разрушаются. Процесс разрушения связан как с внутренними динамическими явлениями /звездно-звездная релаксация, взаимодействие одиночных звезд с двойными/, так и с воздействием гравитационного поля Галактики на скопление /приливное разрушение внешних частей скопления, эффект динамического трения и т.д./. Важнейшими явлениями, приводящими к разрушению скоплений, являются:

1. диссипация, вызванная процессом внутренней релаксации;
2. приливное разрушение, происходящее вследствие приближения скопления к плотной центральной части Галактики под действием динамического трения.

Мы рассмотрели эволюцию шаровых скоплений Галактики под действием только этих двух факторов. На плоскости "масса - расстояние от центра Галактики" /рис. 1/ показано современное положение

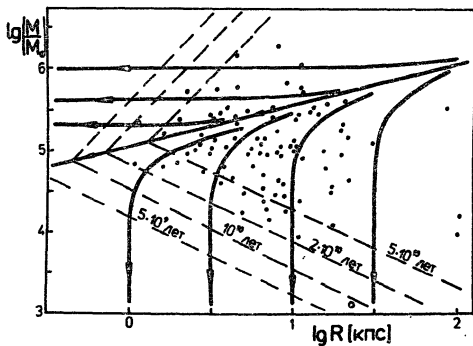


Рис. 1

шаровых скоплений /точки/ и их эволюционные треки /сплошные линии/. Пунктиром нанесены линии равного времени эволюции скоплений до их полного разрушения. Основное предположение, сделанное при этих расчетах, касалось связи между радиусом скопления и его галактоцентрическим расстоянием : предполагалось, что все скопления находятся сейчас в районе апогалактия своей вытянутой орбиты, а их приливный радиус определяется массой скопления и положением перигалактической точки орбиты. Все орбиты скоплений предполагались подобными с эксцентриситетом ≈ 0.6 .

На рис. 1 видно, что массивные скопления в основном эволюционируют под действием динамического трения, а маломассивные - под действием диссипации. С увеличением галактоцентрического расстояния скоплений относительная роль диссипации возрастает. У большинства скоплений время жизни велико, $\geq 2 \cdot 10^{10}$ лет, но

есть и исключения. Например, Pal 13 /кружок в нижней правой части рисунка/ имеет время жизни $\leq 9 \cdot 10^9$ лет.

В то время, как диссипация шаровых скоплений происходит за характерное время порядка нескольких десятков средних времен релаксации $/t_{rh}/$, плотные ядра скоплений эволюционируют значительно быстрее. Обычно время релаксации в центре скопления $/t_{rc}/$ раз в десять короче среднего времени релаксации. Поэтому ядро скопления эволюционирует практически независимо от внешней его части. За полное время эволюции ядра скопления можно принять величину $40 t_{rc}$ - классическое время эволюции изолированной звездной системы до ее полной диссипации. Численные расчеты многих авторов показывают, что примерно за это время пространственная плотность звезд в центре скопления достигает очень высоких значений - происходит так называемая гравитермическая катастрофа. Результатом ее может явиться либо возникновение массивной черной дыры, либо образование большого числа тесных двойных звезд. Как те, так и другие объекты представляют большой астрофизический интерес. Хотелось бы знать, в каких областях Галактики следует ожидать их появления после окончания эволюции шаровых скоплений. Для маломассивных скоплений ответ ясен: орбитальные элементы практически не изменяются за время жизни таких скоплений, поэтому остаток проэволюционировавшего ядра будет продолжать двигаться после полной диссипации самого скопления по той же галактической орбите, на которой находится скопление сейчас.

В случае массивных скоплений вопрос распадается на две части: 1/ успеет ли проэволюционировать ядро скопления к тому моменту, когда само скопление, приблизившись к центру Галактики, будет полностью разрушено приливными силами? 2/ На каком расстоянии от центра Галактики будет находиться скопление к моменту своего полного разрушения? Чтобы ответить на первый вопрос, нужно сравнить время эволюции ядра скопления $/40 t_{rc}/$ с временем попадания скопления в центральную часть Галактики под действием динамического трения $/t_{df}/$. Такое сравнение приведено на рис. 2. На этом рисунке почти все скопления лежат выше линии " $t_{df} = 40 t_{rc}$ ", т.е. те из скоплений, которые в резуль-

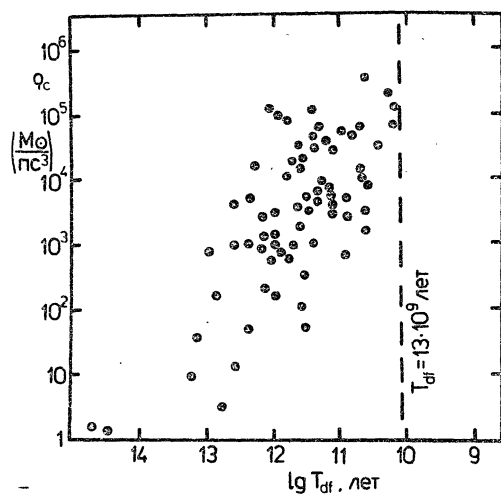


Рис. 2

тате динамического трения попадут в центральную часть Галактики, будут иметь уже проэволюционировавшие ядра. Лишь одно скопление - ω Cen - возможно, не подчинится этому выводу. Оно одно из самых массивных в Галактике и его эволюция происходит в основном под действием динамического трения. Возможно, что к моменту своего полного приливного разрушения, скопление ω Cen сохранит ядро почти непроэволюционировавшим.

Ответ на второй вопрос - где скопление полностью разрушится? - Зависит от структуры скопления. Приближаясь к центру Галактики под действием динамического трения, скопление постоянно теряет звезды из своей короны. Масса скопления при этом уменьшается. Полное его разрушение происходит на таком расстоянии от центра Галактики, где средняя пространственная плотность Галактики в пределах орбиты скопления близка к центральной плотности самого скопления. На рис. 3 показано положение скоплений на плоскости "центральная плотность - t_{df} ". Заметная корреляция между этими величинами говорит о том, что скопления, которые опустятся в центральную область Галактики в ближайшие миллиарды лет /или попали туда в относительно недавнее время в прошлом/, имеют высокое значение ρ_c , а значит достигнут областей, очень близких к центру Галактики. Так, например, скопления с $\rho_c = 10^4 M_\odot / \text{pc}^3$ полностью разрушатся лишь на расстоянии 10 пс от центра Галактики.

Следовательно, появление в ядре нашей и других галактик активных объектов /массивных черных дыр, тесных двойных/ может быть связано с попаданием туда ядер шаровых скоплений, в которых эти объекты образуются естественным образом в результате динамической эволюции. С другой стороны, разрушение маломассивных шаровых скоплений в процессе их диссипации приводит к появле-

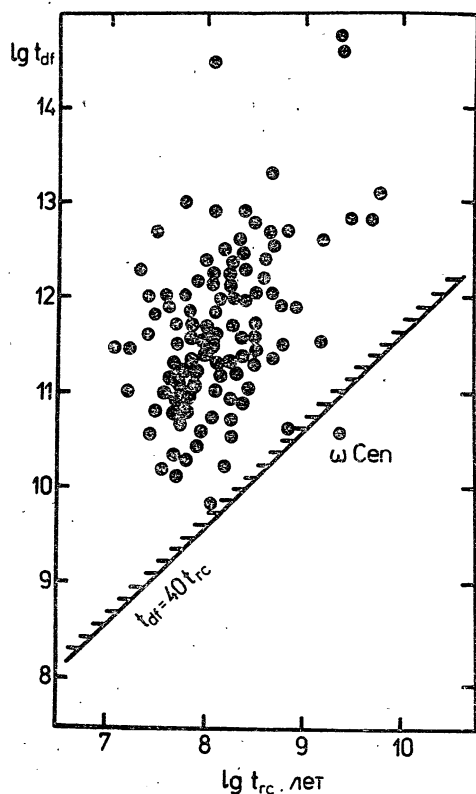


Рис. 3

нию остатков проэволюционировавших ядер /скорее всего это тесные двойные звезды/ в достаточно широкой центральной области Галактики / $R \leq 10$ кпс/. Возможно, что именно с этим явлением связано образование рентгеновских источников галактического балджа.

Литература:

- [1] Шаров, А.С.: 1976, Астрон.ж., 53, 702
- [2] Сурдин, В.Г.: 1979, Астрон.ж., 56, 1149
- [3] Tremaine, S.D.: 1976, Astrophys. J. 203, 345
- [4] Сурдин, В.Г., Чариков, А.В.: 1977, Астрон.ж., 54, 24
- [5] Сурдин, В.Г.: 1979, Астрон. циркуляр, № 1061, 1
- [6] Сурдин, В.Г.: 1981, Астрон. циркуляр, № 1151, 4