

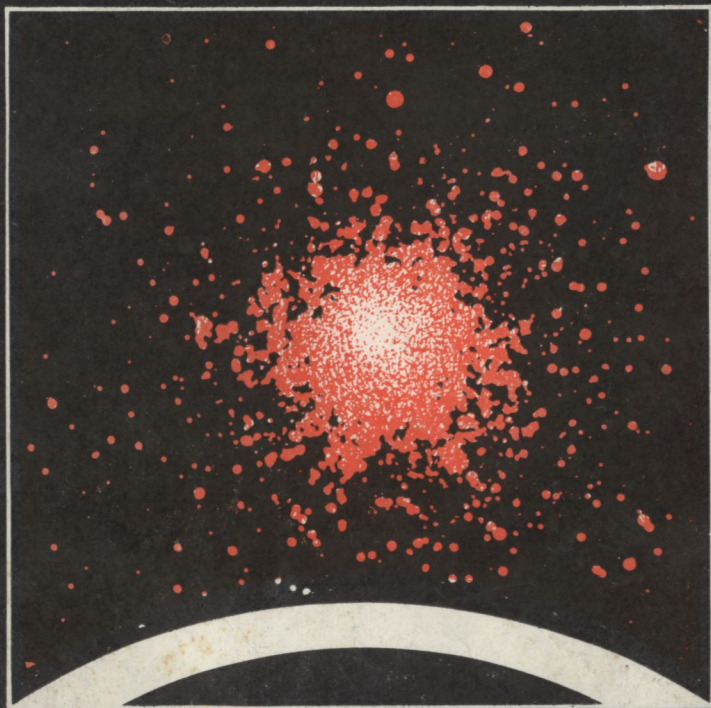
КОСМОНАВТИКА, АСТРОНОМИЯ

ПОДПИСНАЯ НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ СЕРИЯ



1987/4

Н.Н.Самусь
ШАРОВЫЕ
СКОПЛЕНИЯ



ЗНАНИЕ

НОВОЕ В ЖИЗНИ, НАУКЕ, ТЕХНИКЕ

НОВОЕ В ЖИЗНИ, НАУКЕ, ТЕХНИКЕ

ПОДПИСНАЯ НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ СЕРИЯ

КОСМОНАВТИКА, АСТРОНОМИЯ

4/1987

Издается ежемесячно с 1971 г.

Н. Н. Самусь,
кандидат физико-математических наук

ШАРОВЫЕ СКОПЛЕНИЯ

**в приложении этого номера:
НОВОСТИ АСТРОНОМИИ**



Издательство «Знание» Москва 1987

ББК 22.67
С 17

- С 17 Самуль Н. Н.**
Шаровые скопления. — М.: Знание, 1987. — 64 с., ил. — (Новое в жизни, науке, технике. Сер. «Космонавтика, астрономия»; № 4).
11 к.

Шаровые скопления звезд — это самые старые образования в нашей и других галактиках. Поэтому изучение шаровых скоплений способствует познанию самых начальных стадий эволюции нашей Галактики и имеет огромное космогоническое значение. Много интересных сведений о шаровых скоплениях получено в последние годы, о чем и рассказывается в брошюре.

Брошюра рассчитана на широкий круг читателей, интересующихся современными проблемами астрономии.

1705060000

ББК 22.67

ВВЕДЕНИЕ

Уже одного взгляда на ясное ночное небо достаточно, чтобы заметить, что звезды на нем распределены неравномерно. В безлунную ночь выделяется прежде всего полоса Млечного Пути. Еще Галилей обнаружил, что она состоит из бесчисленного множества звезд. Когда мы рассматриваем Млечный Путь, луч зрения пронизывает огромную толщу нашей Галактики примерно вдоль ее плоскости симметрии, поэтому видимая звездная плотность здесь особенно высока. И в полосе Млечного Пути, и вне ее встречаются двойные и кратные звезды, а также более богатые группировки звезд — звездные скопления.

Некоторые звездные скопления известны с древнейших времен. Прежде всего это относится к близким скоплениям, занимающим большую площадь неба и обрисовывающим значительную часть конфигурации какого-либо созвездия (таких скоплений немного, и надо помнить, что узор большинства созвездий создается звездами, расположенными на самых разных расстояниях от нас и не связанными друг с другом). Так, практически у всех народов было выделено созвездие, которое мы называем Большой Медведицей. Из семи ярких звезд ковша Большой Медведицы пять движутся в пространстве по очень близким траекториям. Их считают основными членами *движущегося* звездного скопления, т. е. скопления, выделяемого на небе по совпадающему направлению движения составляющих его звезд. Конечно, в древности звезды считали «неподвижными», и об общности движения пяти звезд ковша Большой Медведицы узнали сравнительно недавно.

Волосы Вероники — созвездие не столь древнее, как созвездие Большой Медведицы. Но и его выделили на небе очень давно, еще в античные времена. Романтиче-

ская история о том, как созвездие было названо в честь прически красавицы Вероники, вошла и в художественную литературу (см., например, известный роман Л. Фейхтвангера «Сыновья»). Нас же сейчас интересует другой аспект этой истории: в созвездии нет ярких звезд, и оно выделено благодаря россыпи различных глазом звездочек, относимой сейчас к *рассеянным* звездным скоплениям.

Издревле известно еще несколько рассеянных звездных скоплений — Плеяды (Стожары) и Гиады в созвездии Тельца, Ясли в созвездии Рака, двойное скопление β и χ Персея. Все они хорошо различимы невооруженным глазом как туманные пятна, а первые два при остром зрении наблюдателя — как группы звезд на туманном фоне. Их первооткрыватели не известны, но об этих скоплениях упоминается во многих древних источниках, например в «Альмагесте» Птолемея. Птолемей упоминает и некоторые другие, менее приметные группировки звезд, которые сейчас относят к звездным скоплениям. В средние века и в эпоху Возрождения нашли еще несколько «туманных пятен». Среди них были Туманность Андромеды, Большое и Малое Магеллановы Облака — как мы знаем сегодня, объекты совсем не такой природы, как звездные скопления. Но разобраться с природой «туманных пятен», в которых глаз не различает отдельных звезд, удалось не сразу.

Г. Галилею в начале XVII в. удалось в телескоп разделить на звезды не только некоторые участки Млечного Пути, но и многие «туманные пятна». На этом основании он ошибочно заключил, что все «туманные пятна» являются звездными скоплениями.

Первый туманный объект, который в настоящее время причисляют к *шаровым* звездным скоплениям, открыл в 1665 г. в созвездии Стрельца немецкий астроном А. Иль. В чем разница между шаровыми и рассеянными скоплениями, мы обсудим чуть позже.

Конечно, после появления телескопа число известных туманностей и звездных скоплений стало возрастать намного быстрее. К середине XVIII в. их было известно уже без малого 60. Особенно большой вклад в открытие таких небесных образований в этот период внес Н. Лакайль во время астрономической экспедиции Парижской Академии наук на мысе Доброй Надежды, которую он возглавлял.

В 1781 г. знаменитый французский «ловец комет» Ш. Мессье, раздосадованный тем, что на небе то там, то здесь попадаются туманные пятнышки, которые легко принять за кометы, составил и опубликовал каталог таких «туманных помех». Этот каталог 103 самых ярких на небе незвездных объектов, доступных наблюдениям на умеренных широтах Северного полушария, используется и сегодня. Широко известно, что помехой № 1 для поисков комет Мессье счел Крабовидную Туманность (первый объект каталога Мессье сейчас принято обозначать М 1). Намного реже вспоминают о том, что номера со второго по пятый в «списке помех» Мессье были отданы шаровым звездным скоплениям (М 2—М 5). Всего среди 103 объектов каталога Мессье 56 звездных скоплений, из них 28 шаровых¹. Сам Мессье был первооткрывателем 26 звездных скоплений и 13 туманностей различной природы, а его помощник П. Мешэн — первооткрыватель 7 звездных скоплений и 21 туманности. Те объекты, которые Ш. Мессье и П. Мешэн включили в каталог, не будучи их первооткрывателями, они либо открыли независимо, либо отыскали на небе и составили описание их внешнего вида.

В 20-е годы XIX в., по-видимому, впервые были обнаружены звездные скопления, принадлежащие по нынешней терминологии к другим галактикам (Магеллановым Облакам). Это сделал Дж. Данлоп.

Звездные скопления давно стали подразделять на шаровые и рассеянные. Впервые выделил шаровые скопления как особый класс объектов в начале XIX в. великий английский астроном В. Гершель, заметивший, что в шаровых скоплениях в отличие от скоплений менее правильной формы наблюдения в большой телескоп обнаруживают очень много слабых звезд. В. Гершель указал также, что скопления неправильной формы (рассеянные скопления), как правило, находятся на небе внутри полосы Млечного Пути или вблизи нее, а шаровых скоплений немало и в других областях неба. Дж. Гершель, сын В. Гершеля, обнаружил, что шаровые скопле-

¹ Иногда считают, что в каталоге Мессье не 103, а 110 объектов. Первоначальный каталог Мессье был дополнен уже в XX в. объектами, которые открыл помогавший Мессье в составлении каталога П. Мешэн. Среди объектов дополнительного списка лишь одно шаровое скопление — М 107.

ния очень сильно концентрируются в некоторой выделенной области Южного полушария (современная астрономия отождествляет ее с направлением на центр Галактики), где в круге радиусом всего 18° находится около 30 шаровых скоплений.

Несмотря на то что, как мы видели, уже В. Гершель обратил внимание на некоторые особенности звездного состава шаровых скоплений, при классификации скоплений на шаровые и рассеянные вначале, и это было естественно, прежде всего опирались на внешний вид скоплений. Очень богатые звездами, круглые, симметричные скопления, звезды которых очень сильно сконцентрированы к центру, относили к шаровым. В типичных рассеянных скоплениях меньше звезд, ниже степень концентрации, они выглядят менее симметричными. Интересно, что Ш. Мессье в своем каталоге описывает только одно шаровое скопление, М 4, как объект, состоящий из звезд, а все остальные — как туманности; все рассеянные скопления описаны им как объекты, состоящие из звезд.

Американский астроном С. Бейли в 1908 г. включил шаровые скопления в единую систему классификации туманностей и скоплений. В этой классификации шаровые скопления попали в одну категорию с «белыми туманностями» (спиральными и эллиптическими галактиками), но внутри данной категории они были выделены в особый подкласс.

В начале нынешнего столетия выдающийся американский астроном Х. Шепли окончательно установил, что между типичными шаровыми и рассеянными скоплениями есть важные различия в том, из каких звезд они состоят. Различия были признаны столь существенными, что сейчас звездное скопление в нашей Галактике классифицируют как шаровое или рассеянное только на основании звездного состава, без учета внешнего вида. Конечно, большинство шаровых скоплений все-таки выглядит как красивые звездные шары, но есть шаровые скопления, которые весьма бедны звездами и имеют слабую концентрацию звезд к центру. Характерные особенности звездного состава шаровых скоплений Галактики обсуждаются в следующем разделе.

Самые крупные шаровые скопления содержат примерно около миллиона звезд, но бывают и скопления, в которых звезд в несколько сот раз меньше. Это как раз

те шаровые скопления, которые по внешнему виду легко спутать с рассеянными.

В применении к другим галактикам использование термина «шаровое скопление» или «рассеянное скопление» нуждается в определенных оговорках. Звездный состав типичных (по внешнему виду) шаровых скоплений в некоторых этих случаях сходен со звездным составом шаровых, а в других — со звездным составом рассеянных скоплений нашей Галактики. Об этом пойдет речь в одном из последних разделов брошюры.

ОСОБЕННОСТИ ЗВЕЗДНОГО СОСТАВА

Чтобы понять особенности звездного состава скоплений, надо обратиться к диаграмме Герцшпрунга—Ресселла, построенной для их звезд. Читателям этой серии, вероятно, известно, что диаграмма Герцшпрунга—Ресселла иллюстрирует связь между светимостью и спектральным классом звезд.

Для звездных скоплений чаще используется эквивалентная диаграмме Герцшпрунга—Ресселла диаграмма «абсолютная звездная величина — показатель цвета». Показатели цвета большого числа звезд в скоплении легче определить, чем их спектральные классы. В то же время как спектральный класс, так и показатель цвета звезды связан прежде всего с ее температурой.

Чтобы определить показатель цвета какого-либо объекта на небе, достаточно измерить его звездную величину в двух разных участках спектра. Разность этих величин и есть показатель цвета. Чаще всего используют фотометрические измерения в системе UBV , введенной Х. Джонсоном и У. Морганом. Звездная величина U измеряет блеск звезды в ультрафиолетовой области спектра, величина B — в синей области спектра, а величина V — в видимой области. Спектральный диапазон, в котором регистрируется каждая из величин системы UBV , строго фиксирован. По традиции, берущей начало в древности, чем ярче звезда, тем меньше значение ее звездной величины. Разности блеска в одну звездную величину соответствует отношение освещенностей, создаваемых звездами, равное 2,512. Фотометрия в системе UBV позволяет ввести два независимых показателя цвета — $(B-V)$ и $(U-B)$.

Рассмотрим показатель цвета $(B-V)$ и сопоставим

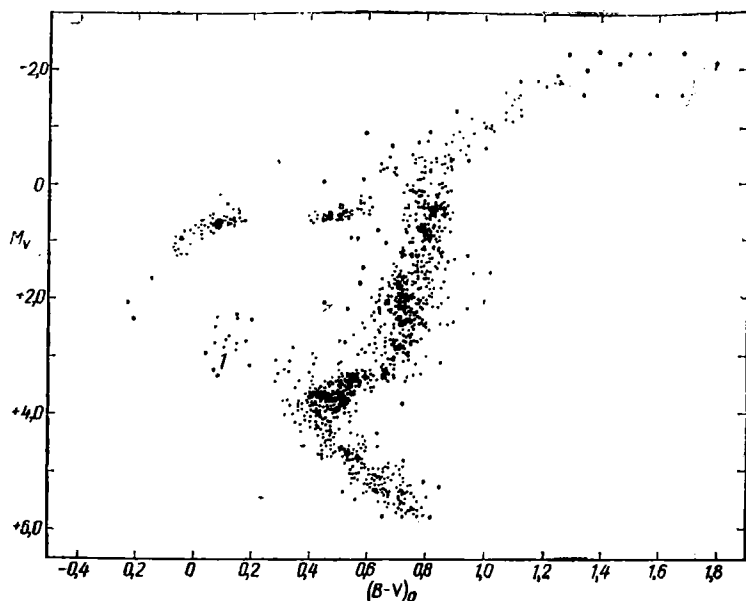
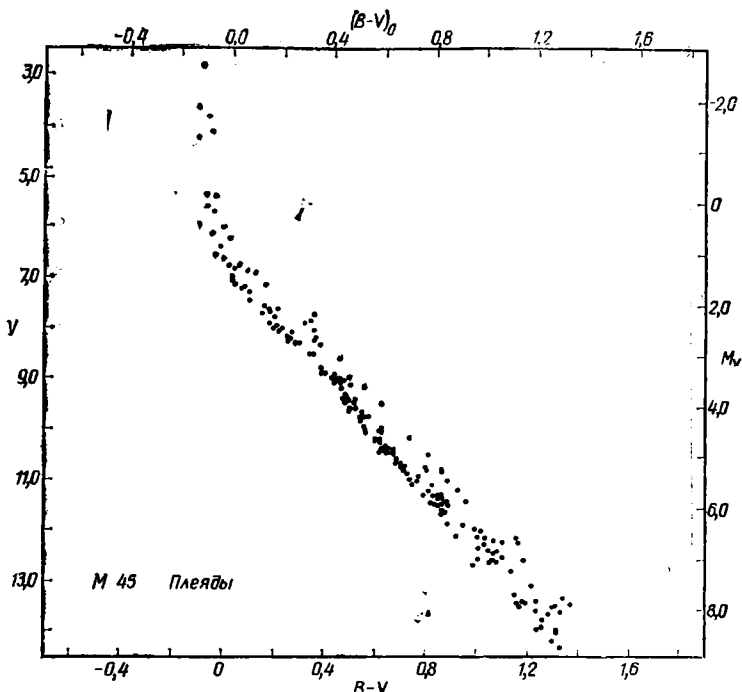


Рис. 1. Диаграммы «абсолютная звездная величина — показатель цвета» шарового и рассеянного скопления:
 1а — диаграмма $M_V - (B-V)_0$ шарового скопления М 3 (по данным Х. Джонсона и А. Сэндиджа). Цифрой «1» на диаграмме отмечено положение «голубых бродяг» (см. текст, раздел «Звездные маяки в шаровых скоплениях»),

его со спектральным классом звезды. Вдоль принятой в астрономии последовательности спектральных классов $O - B - A - F - G - K - M$ температура звезд падает, а значит, меняется и распределение энергии в их спектрах. У очень горячих звезд больше всего энергии излучается в ультрафиолетовой области спектра, немало энергии приходится и на синюю область, а в середине видимой области спектра (что соответствует желтым лучам) звезда светит слабее. Показатель цвета $(B-V)$ таких звезд окажется отрицательным, а нашему глазу эти звезды представляются голубыми. Максимум излучения очень холодных звезд приходится на инфракрасную область спектра, их показатель цвета $(B-V)$ положителен, а глаз видит их красными.

Итак, чем больше показатель цвета, тем звезда краснее и холоднее. Но показатель цвета искажен межзвезд-



16 — диаграмма $M_V - (B-V)_0$ рассеянного скопления Плеяды (M 45) из атласа Г. Хаген. На этой диаграмме вдоль оси ординат, помимо M_V , отмечены также значения видимой звездной величины V , а по оси абсцисс, помимо $(B-V)_0$ — значения исправленного за межзвездное поглощение света показателя цвета $(B-V)$

ным поглощением света. Чем большему поглощению подвергся свет звезды, тем звезда кажется краснее. Поэтому при работах по анализу звездного состава скоплений показатель цвета $(B-V)$ освобождают от влияния межзвездного поглощения и исправленный показатель цвета обозначают $(B-V)_0$. Наличие в нашем распоряжении двух показателей цвета $(B-V)$ и $(U-B)$ облегчает определение величины межзвездного поглощения, а также дает нам информацию об особенностях химического состава звездных атмосфер.

Абсолютная звездная величина M_V — это та звездная величина V , которую звезда имела бы, если бы находилась от нас на стандартном расстоянии 10 пк (около 30 световых лет) в отсутствие межзвездного погло-

щения света. Чем больше численное значение абсолютной величины, тем слабее излучает звезда.

На рис. 1 показаны диаграммы «абсолютная звездная величина — показатель цвета» для шарового звездного скопления М 3 и рассеянного звездного скопления Плеяды (М 45).

Обычно можно считать, что все звезды одного скопления родились вместе, а следовательно, имеют практически одинаковый возраст и одинаковый исходный химический состав. Но в момент рождения звезды имели неодинаковую массу. Чем выше масса звезды, тем быстрее протекает ее эволюция. Да и сами пути эволюции звезд высокой и низкой массы не совсем одинаковы.

Большинство звезд на диаграмме $M_V - (B-V)_0$ рассеянного скопления — это звезды *главной последовательности*. Теория внутреннего строения и эволюции звезд указывает, что стадия главной последовательности — это самая продолжительная эволюционная стадия жизни звезды. На стадии главной последовательности звезда черпает энергию из термоядерных реакций превращения водорода в гелий, идущих в ее центральной области. Примером звезды главной последовательности является наше Солнце.

На диаграмме $M_V - (B-V)_0$ шарового скопления тоже можно отыскать участок главной последовательности. Но на нем совсем нет ярких горячих звезд. Это связано с различиями в скорости эволюции звезд разной массы. Рано или поздно запасы водорода в центре любой звезды иссякают, и звезда вынуждена перестраивать свою структуру; при этом на диаграмме Герцшпрунга—Ресселла она «уходит» с главной последовательности. Раньше всего это происходит с массивными звездами, которые на главной последовательности населяли ее яркий голубой конец. Главные последовательности у шаровых и у рассеянных скоплений отличаются как раз потому, что шаровые скопления намного старше, чем рассеянные. Если в рассеянных скоплениях массивные звезды находятся на главной последовательности, то в шаровых скоплениях они уже ушли с главной последовательности, которая населена там только звездами малой массы. По-видимому, у самых массивных звезд, еще остающихся на главной последовательности шаровых скоплений, масса не превышает 0,8 солнечной.

Когда-то в шаровых скоплениях на главной последо-

вательности были и звезды намного большей массы. Но они уже успели не только уйти с главной последовательности, но и почти завершить свой эволюционный путь, превратившись в белые карлики, нейтронные звезды, а может быть, и в черные дыры. До недавнего времени о том, что в шаровых скоплениях действительно есть такие объекты, можно было только догадываться на основе предсказаний теории звездной эволюции. Сейчас в нескольких скоплениях уже удалось обнаружить белые карлики; они излучают очень слабо, а шаровые скопления весьма далеки от нас, поэтому эти звезды имеют очень слабый видимый блеск, и для их выявления понадобились крупные телескопы и самая современная светоприемная аппаратура. О том, что в шаровых скоплениях есть нейтронные звезды, можно судить по наблюдениям связанных с шаровыми скоплениями источников космического рентгеновского излучения, проводимым при помощи аппаратуры, устанавливаемой на искусственных спутниках Земли. Об этих наблюдениях мы расскажем позже. Есть ли в шаровых скоплениях черные дыры, неизвестно.

Звезды, масса которых при рождении была чуть выше сегодняшней максимальной массы звезды главной последовательности шарового скопления, еще не успели превратиться в белые карлики (для того чтобы стать нейтронными звездами или черными дырами, их масса недостаточна, и поэтому нейтронные звезды и черные дыры могли возникать в шаровых скоплениях лишь в весьма отдаленные времена). После ухода с главной последовательности их эволюция идет намного быстрее. На диаграмме $M_V - (B-V)_0$ такие звезды населяют последовательность субгигантов и красных гигантов, горизонтальную ветвь и асимптотическую ветвь гигантов (рис. 2). Встречаются иногда и звезды, не попадающие ни на одну из основных последовательностей диаграммы Герцшпрунга—Ресселла. К ним мы еще вернемся.

В большинстве шаровых скоплений имеются звезды переменного блеска. Переменных звезд в некоторых скоплениях совсем мало, в других скоплениях известны сотни переменных. Среди переменных в шаровых скоплениях больше всего звезд типа RR Лиры (на диаграмме Герцшпрунга—Ресселла они попадают на горизонтальную ветвь). Есть и переменные звезды других типов. О переменных звездах в шаровых скоплениях будет рас-

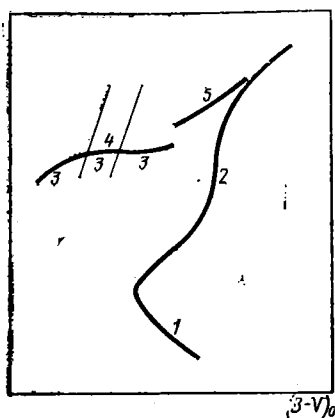


Рис. 2. Схематическая диаграмма $M_V - (B-V)_0$ шарового звездного скопления:

1 — главная последовательность; 2 — ветвь субгигантов и красных гигантов; 3 — горизонтальная ветвь; 4 — пробел М. Шварцшильда (см. раздел «Звезды-маяки в шаровых скоплениях»); 5 — асимптотическая ветвь. Пробел Шварцшильда расположен там, где горизонтальную ветвь пересекает полоса нестабильности, обозначенная наклонными линиями

(или «нормальному»), хотя точно это неизвестно. Что касается элементов тяжелее гелия, их по традиции астрономы все называют тяжелыми элементами, то их доля в атмосферах звезд шаровых скоплений, как это давно было обнаружено, как правило, намного ниже, чем в атмосферах звезд рассеянных скоплений и в атмосферах не входящих в скопления «нормальных» звезд, подобных нашему Солнцу.

Степень «дефицита» тяжелых элементов (т. е. тяжелее гелия) у разных шаровых скоплений неодинакова. Шаровые скопления, самые бедные этими элементами, состоят из звезд, в атмосферах которых доля элементов тяжелее гелия в 100 с лишним раз по массе меньше, чем у Солнца. Еще пять лет назад преобладало мнение, что даже у самых богатых тяжелыми элементами шаровых скоплений их содержание в атмосферах звезд понижено

сказано в последующих разделах этой брошюры.

Сравнивая звездный состав шаровых и рассеянных скоплений, нельзя не сказать о различиях в содержании некоторых химических элементов в атмосферах звезд. Такие различия лучше всего изучать, анализируя средствами астрофизической теории наблюдения, полученные при помощи больших телескопов и мощных спектрографов. Почти у всех известных звезд атмосферы состоят в основном из водорода, около 25% по массе составляет гелий, а на долю более тяжелых элементов остается около 2%. В атмосферах звезд шаровых скоплений водород также преобладает. Содержание гелия, видимо, близко к обычному

по сравнению с солнечным в 10 раз. Сейчас, однако, думают, что вблизи центра Галактики звезды некоторых шаровых скоплений имеют почти такое же содержание тяжелых элементов в атмосферах, как и Солнце. Такая точка зрения, впрочем, встречалась и раньше.

Считается, что химический состав атмосфер звезд шаровых скоплений мало менялся в ходе их эволюции и отражает собой химический состав вещества, из которого звезды образовались. Различия химического состава от скопления к скоплению отражают различия химического состава исходного вещества звезд скопления, а связь содержания тяжелых элементов с расстоянием от центра Галактики является следствием истории процессов формирования и распада скоплений, химической эволюции Галактики.

Традиционно считалось также, что раз звезды каждого шарового скопления образовались совместно, то у них должно было быть одинаковым и исходное содержание химических элементов, и если не рассматривать звезды на весьма поздних эволюционных стадиях, сейчас у них должен быть одинаковым химический состав атмосфер. В первом приближении это действительно так. Но в последние годы детальный анализ выявил тонкие различия в содержании элементов от звезды к звезде и в пределах скопления. Для некоторых звезд это можно объяснить выносом вещества к поверхности, которое уже прошло переработку в термоядерных реакциях, идущих в звездных недрах. В других случаях такое объяснение оказывается неприемлемым, и приходится считать, что облако, из которого образовалось скопление, было химически неоднородным. В самом богатом звездами шаровом скоплении нашей Галактики, ω Центавра (по богатству звездами это скопление уже напоминает небольшую самостоятельную галактику), вариации в содержании тяжелых элементов от звезды к звезде особенно значительны, намного превосходят наблюдаемые у других скоплений.

Итак, подведем первый итог. Шаровые скопления нашей Галактики отличаются прежде всего характерным звездным составом (форма скопления имеет второстепенное значение для его отнесения к шаровым). Звездный состав показывает, что шаровые скопления — очень старые объекты. Возраст их оценивается в 15 ± 4 млрд. лет. Других таких старых объектов ни в нашей Галак-

тике, ни в других галактиках неизвестно. А вот молодые звездные скопления, очень похожие на шаровые, в других галактиках встречаются. Поскольку тяжелые химические элементы образуются в термоядерных реакциях в недрах звезд, на ранних этапах существования Галактики этих элементов в ней было очень мало — первые массивные звезды еще не успели закончить эволюцию и обогатить межзвездный газ тяжелыми элементами. Поэтому пониженное содержание последних в атмосферах звезд шаровых скоплений не удивительно.

В нашей Галактике сейчас выявлено около 150 шаровых скоплений. Шаровых скоплений много в центральных областях Галактики, в значительной степени скрытых от нас плотными пылевыми облаками. Многие шаровые скопления поэтому, несомненно, остаются неизвестными. Оценить число таких скоплений не очень просто. Видимо, всего в нашей Галактике от 300 до 500 шаровых скоплений. Среди других галактик некоторые очень богаты скоплениями: их системы шаровых скоплений состоят из тысяч объектов.

ПУТИ ЗВЕЗДНОЙ ЭВОЛЮЦИИ

Когда звезда уходит с главной последовательности, в ее центре термоядерные реакции временно прекращаются. Центральная область звезды теперь состоит в основном из гелия, а температура здесь пока недостаточна для эффективного превращения гелия в углерод. Но чуть подалеже от центра звезды еще очень велики запасы водорода. Поэтому реакции превращения водорода в гелий у такой звезды будут идти в сферическом слое, окружающем гелиевое ядро. Слой постепенно «прожигает» себе путь наружу, а масса гелиевого ядра растет. Диаметр звезды быстро увеличивается. Температура поверхности падает, а значит, уменьшается способность участка поверхности единичной площади излучать энергию. Но это с лихвой компенсируется увеличением площади поверхности. Звезда на диаграмме Герцшпрунга—Ресселла перемещается вдоль последовательности субгигантов и красных гигантов, постепенно наращивая светимость в ходе эволюции. Красный гигант — это яркая, сравнительно холодная звезда с огромным диаметром. Когда он в ходе эволюции достигнет на диаграмме Герцшпрунга—Ресселла вершины вет-

ви гигантов, в его центральной области начнутся термоядерные реакции превращения гелия в углерод.

Новые термоядерные реакции — это новое поступление энергии, а значит, повышение температуры. Если у такой звезды, как наше Солнце, чуть повысится температура центральной области, то, согласно газовым законам, повысится давление. Повышение давления повлечет за собой расширение, а расширение ведет к охлаждению. Иначе говоря, обычная звезда — это хорошо саморегулирующаяся система. Маломассивный красный гигант шарового скопления ведет себя иначе. В его центральной области вещество характеризуется необычным уравнением состояния (как говорят, вещество *вырождено*) и повышение температуры не приводит к повышению давления и расширению. Рост температуры вызывает ускорение термоядерных реакций и... дальнейший рост температуры.

Это типичные условия внутри взрывного устройства. Такую звезду уже никак не назовешь «хорошо саморегулирующейся системой». Процессы внутри красного гиганта, у которого начинаются термоядерные реакции превращения водорода в гелий, должны развиваться лавинообразно. Это так называемая гелиевая вспышка, она сопровождается радикальной перестройкой структуры звезды. Теоретические расчеты таких быстрых эволюционных стадий, как гелиевая вспышка, весьма затруднены. Можно предположить, что в наблюдаемых нами шаровых скоплениях как раз в нынешние времена претерпевают гелиевую вспышку несколько звезд, но в соответствующей области диаграммы $M_V - (B - V)_0$ есть и другие звезды, у каких именно из наблюдаемых звезд гелиевая вспышка происходит сейчас, мы не знаем.

По завершении перестройки, связанной с гелиевой вспышкой, звезда оказывается на горизонтальной ветви. В центре ее идут термоядерные реакции превращения гелия в углерод — три альфа-частицы, т. е. три ядра атома гелия, сливаясь, образуют одно ядро атома углерода, высвобождая при этом энергию. В окружающем гелиевое ядро слое продолжают реакции превращения водорода в гелий.

На предшествующих эволюционных стадиях, когда атмосфера звезды-гиганта была очень протяженной, а эволюция временами шла весьма бурно, звезда потеря-

ла какое-то количество вещества с поверхности. Степень потери массы различна от звезды к звезде. Звезды, масса которых уменьшилась ненамного, попадают на «красный» конец горизонтальной ветви — туда, где значение $(B-V)_0$ повыше. А если потеря массы была велика, звезда приходит на «голубой» конец горизонтальной ветви. Эти процессы в сочетании с последующими процессами эволюции определяют относительную населенность звездами голубого и красного концов горизонтальной ветви (кстати, на диаграмме Герцшпрунга—Ресселла в рассматриваемых нами координатах «горизонтальная ветвь» вовсе не горизонтальна, ее голубой конец заметно загнут вниз).

И теория, и наблюдения говорят о том, что чем ниже исходное содержание элементов тяжелее гелия, тем сильнее распределение звезд на горизонтальной ветви смещается в голубую сторону. Однако наблюдатели давно заметили, что одного физического параметра, содержания тяжелых элементов в атмосферах звезд скопления недостаточно для описания структуры горизонтальной ветви. Так, среди скоплений с умеренно низким содержанием тяжелых элементов есть скопления с умеренно голубой (нормальной для такого содержания тяжелых элементов) горизонтальной ветвью. Но есть среди них и скопления с предельно голубой горизонтальной ветвью. Распределение звезд на горизонтальной ветви в таких скоплениях смещено в голубую сторону даже сильнее, чем у самых бедных тяжелыми элементами шаровых скоплений.

На больших расстояниях от центра Галактики многие шаровые скопления, наоборот, имеют слишком красную горизонтальную ветвь для характерного для них содержания тяжелых элементов. Разобраться, в чем здесь дело, уверенно отождествить дополнительный физический параметр (дополнительные параметры), влияющий (влияющие) на структуру горизонтальной ветви, оказалось нелегко, и для такой загадки было придумано специальное название «проблема второго параметра».

В распоряжении астрофизиков-теоретиков вполне достаточно параметров, которые наряду с суммарным содержанием тяжелых элементов должны влиять на «голубизну» горизонтальной ветви. Это возраст скопления, содержание гелия, различия в содержании отдельных

групп тяжелых элементов при одинаковом общем их содержании и некоторые другие факторы. В начале 70-х годов американский теоретик Р. Руд убедительно показал, что теория сама по себе не в состоянии разобраться, какой из этих «вторых параметров» является истинным. Быть может, «второй параметр» — это даже результат совместного действия нескольких физических факторов, так что есть еще и «третий параметр», и «четвертый»...

С другой стороны, детальный анализ наблюдений, вероятно, мог бы решить проблему. Поэтому наблюдатели не оставляют попыток разобраться со «вторым параметром». А. В. Мироновым совместно с автором этой брошюры были выдвинуты достаточно серьезные доводы в пользу того, что «второй параметр» — это возраст скопления. Аналогичных взглядов сейчас придерживается видный специалист по шаровым скоплениям американский астрофизик Р. Зинн. Возраст скопления можно определить, выяснив из наблюдений, сколь яркие звезды еще остаются на главной последовательности шарового скопления, и сравнив результат с предсказаниями теории звездной эволюции.

Это нелегкая наблюдательная задача, потому что все известные шаровые скопления расположены далеко (не ближе 6000 св. лет) и звезды на главной последовательности имеют очень слабый видимый блеск. Тем не менее в последние годы задача успешно решается прежде всего благодаря все большему распространению новых, очень эффективных приемников излучения, так называемых приборов с зарядовой связью (ПЗС).

Однако, несмотря на прогресс наблюдений, пока не удалось доказать, что из двух скоплений с одинаковым содержанием тяжелых элементов то скопление, горизонтальная ветвь которого «голубее», имеет больший возраст. Более того, окрепла точка зрения, согласно которой все шаровые скопления нашей Галактики имеют одинаковый возраст. Впрочем, эта точка зрения тоже не доказана.

На симпозиуме Международного астрономического союза, специально посвященном проблемам исследования шаровых звездных скоплений, который состоялся в августе 1986 г., итальянский астроном А. Ренцини на вопрос о том, какова точность современных значений возраста скоплений, ответил: «25 процентов, если

быть оптимистом». При таком «оптимизме» приходится признать, что большие различия возраста от скопления к скоплению, вполне достаточные, чтобы привести к серьезным различиям в распределении звезд на горизонтальной ветви, могут остаться незамеченными.

Примерно так же обстоит дело и с другими предлагавшимися кандидатами во «вторые параметры». Для каждого из них можно указать на какое-либо противоречие с данными наблюдений. В общем, следует признать, что попытки решения проблемы «второго параметра» зашли в тупик. Интересно, что в последнее время выясняется, что «второй параметр» по-разному действует на различных расстояниях от центра Галактики. Ближе к центру его влияния практически не чувствуется. На средних расстояниях предсказать по содержанию тяжелых элементов, как будут распределены звезды на горизонтальной ветви, очень трудно. Все самые далекие от центра Галактики шаровые скопления, как уже упоминалось, имеют слишком красную горизонтальную ветвь для своего содержания тяжелых элементов.

Запасы гелия в центральной области звезды тоже в конце концов подходят к концу. В результате у звезды имеется углеродное ядро, в котором термоядерных реакций не происходит. Дальше от центра в узком слое гелий превращается в углерод, а еще ближе к поверхности звезды есть еще один слоевой термоядерный источник энергии — там водород превращается в гелий. Чем дальше от центра звезды продвигается внешний слоевой источник энергии, тем менее значительным становится его вклад в энергетику звезды из-за снижения плотности и температуры вступающего в термоядерную реакцию вещества. Поэтому структура звезды постепенно становится, в сущности, похожей на структуру красного гиганта — звезды с одним слоевым источником энергии вокруг ядра, в котором термоядерных реакций не происходит. Звезда и на диаграмме Герцшпрунга—Ресселла подойдет близко к ветви красных гигантов; это звезда так называемой «асимптотической ветви гигантов».

Стадия асимптотической ветви очень интересна с точки зрения физических процессов, происходящих в звезде. На этой стадии может иметь место перемешивание вещества и вынос продуктов термоядерного синтеза к поверхности звезды. Проявления этих процессов, однако,

более интересны у звезд, масса которых повыше, чем масса звезд шаровых скоплений. Но и в шаровых скоплениях на асимптотической ветви, по-видимому, происходят любопытные процессы. Слоевой источник энергии, в котором гелий превращается в углерод, не всегда работает одинаково эффективно. Происходит как бы серия вспышек, и если выполнены некоторые дополнительные условия, вспышка может временно увести звезду далеко с асимптотической ветви. Такими процессами объясняют наличие в шаровых скоплениях некоторого числа звезд, лежащих на диаграмме Герцшпрунга—Ресселла над горизонтальной ветвью и слева от асимптотической ветви.

Асимптотическая ветвь соответствует последней стадии эволюции звезд, когда у них еще есть эффективные источники термоядерной энергии. Закончив эволюцию на асимптотической ветви, звезда быстро пройдет по левой стороне диаграммы Герцшпрунга—Ресселла. Быть может, она сбросит планетарную туманность. До последнего времени только в одном шаровом скоплении, М 15, была известна планетарная туманность, обнаруженная более полувека назад. Вторая планетарная туманность в центральной области шарового скопления М 22 недавно открыта с помощью спутника «ИРАС», проводившего наблюдения в инфракрасном диапазоне. Читателям, конечно, известно, что планетарные туманности ничего общего с планетами не имеют; это газовые оболочки, сброшенные звездами.

Ну а дальше звезда в шаровом скоплении превратится в белый карлик — объект, подобный знаменитому спутнику Сириуса, имеющий за счет огромной плотности своего вещества характерную массу звезды при характерных размерах планеты и постепенно остывающий. На более ранних этапах существования шаровых скоплений, когда масса звезд, покидающих главную последовательность, была намного выше, конечным продуктом звездной эволюции могли быть нейтронные звезды.

ЗВЕЗДЫ-МАЯКИ В ШАРОВЫХ СКОПЛЕНИЯХ

С конца XIX в. на обсерватории Гарвардского колледжа (США) изучением шаровых скоплений активно занимался С. Бейли. Он обнаружил, что в некоторых шаровых скоплениях встречаются звезды, меняющие

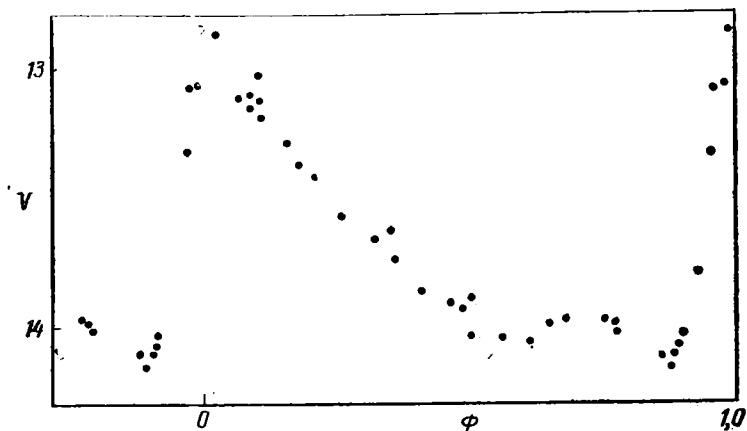


Рис. 3. Кривая блеска переменной V 14 в шаровом скоплении M 14 — звезды типа RR Лиры (по фотоэлектрическим наблюдениям К. Качиари). Наблюдения приведены к одному циклу пульсаций

блеск. Методика, которой пользовался С. Бейли при поиске переменных звезд по фотографиям, кажется нам сегодня довольно странной и очень трудоемкой. Разбив все поле снимка на площадки, он для каждой площадки записывал последовательность звезд по блеску на каждой фотографии и потом сравнивал, не нарушается ли на некоторых снимках эта последовательность. Сейчас разработаны намного более эффективные методы. Но и С. Бейли удалось открыть немало переменных звезд.

Периоды большинства переменных звезд, которые С. Бейли нашел в шаровых скоплениях, оказались короче суток. В течение каждого периода для большинства этих звезд промежутки времени, когда блеск звезды был близок к минимальному, оказывался более продолжительным, чем промежутки времени, когда блеск звезды был близок к максимальному (рис. 3). Такие звезды поначалу стали называть переменными типа скоплений. Переменные звезды того же типа открыли, однако, и вне шаровых скоплений, и по имени одной из них все подобные звезды получили название «звезды типа RR Лиры», которое сейчас является общеупотребительным.

Самым полным справочником о переменных звездах в шаровых скоплениях в настоящее время является ка-

талог, опубликованный в 1973 г. Х. Сойер-Хогг (Канада). В этом каталоге содержится 2119 переменных звезд шаровых скоплений нашей Галактики, причем подавляющее большинство этих звезд относится к типу RR Лиры. Заведомо же не принадлежат к этому типу всего 169 звезд каталога. Что касается шаровых скоплений в других галактиках, то переменные звезды найдены лишь в скоплениях Магеллановых Облаков. Эти звезды в каталог Сойер-Хогг не входят.

На диаграмме Герцшпрунга—Ресселла шаровых скоплений звезды типа RR Лиры занимают довольно узкий участок посреди горизонтальной ветви. Его называют пробелом М. Шварцшильда, по имени американского астрофизика, наиболее известного работами в области теории эволюции звезд, который в ранний период своей научной деятельности занимался наблюдательным изучением шаровых скоплений. В 1940 г. он обнаружил, что участок горизонтальной ветви, населенный звездами типа RR Лиры, лишен непременных звезд.

При знакомстве с каталогом Сойер-Хогг сразу бросается в глаза, сколь неодинаковы шаровые скопления по числу входящих в них звезд типа RR Лиры. В скоплении М 3 их около 200, в скоплении ω Центавра — около 150, в некоторых скоплениях — всего по десятку переменных типа RR Лиры, а в иных скоплениях их нет вовсе. К такой «неравноправной» ситуации приводят два обстоятельства. Различные шаровые скопления вообще содержат неодинаковое число звезд (так, в ω Центавра примерно в 100 раз больше звезд, чем в скоплении NGC 5053), поэтому если бы процент переменных был бы повсюду одинаковым, различия в численности переменных все равно существовали бы. Но и процент переменных неодинаков.

Переменными типа RR Лиры становятся все звезды, чья эволюция приводит в пробел Шварцшильда. А мы уже знаем, что распределение звезд горизонтальной ветви по показателю цвета зависит от содержания тяжелых элементов в атмосферах звезд скопления да еще и от загадочного «второго параметра». Если это распределение таково, что больше всего звезд попадает в середину горизонтальной ветви, в область пробела Шварцшильда, то процент переменных среди звезд скопления будет особенно высоким. Процент переменных типа RR Лиры в скоплении ω Центавра не особенно вы-

сок (в скоплении NGC 5053 десять звезд типа RR Лиры), но зато оно является скоплением с самой высокой общей численностью звезд. А в скоплении М 3 сочетаются оба благоприятных фактора — в нем довольно много звезд и подходящее распределение звезд на горизонтальной ветви.

Как уже было сказано, для звезд типа RR Лиры характерны периодические изменения блеска со значениями периода менее суток. В шаровых скоплениях эти переменные можно довольно уверенно подразделить на две группы — короткопериодическую (периоды примерно до 0,4 сут) и долгопериодическую. Звезды первой группы меняют свой блеск в менее широких пределах, а увеличивают и уменьшают блеск они примерно с одинаковой скоростью. Ко второй группе принадлежат звезды, блеск которых меняется сильнее, а подъем его происходит быстрее, чем спуск. Существование таких групп переменных типа скоплений заметил еще С. Бейли. В современной терминологии короткопериодические звезды — это звезды типа RRC, а долгопериодические — типа RRAB. Такие же группы существуют и для переменных типа RR Лиры вне шаровых скоплений, но в этом случае группы перекрываются по периодам и классификация требует учета всех особенностей, прежде всего скорости подъема и спада блеска.

Астрофизическая теория успешно справляется с объяснением существования переменных звезд типа RR Лиры и с объяснением их свойств. В 50-е годы советский ученый С. А. Жевакин открыл физический механизм звездных пульсаций. Внутри звезды, ближе к ее поверхности, существует область, глубже которой температура столь высока, что атомы гелия потеряли оба электрона (двукратно ионизованы), а выше ее атомами гелия потеряны только один электрон (они ионизованы однократно). В критической области при небольших изменениях физических условий может происходить переход в обе стороны между состояниями однократной и двукратной ионизации. Благодаря этому в критической зоне времени может накапливаться, а временами — высвобождаться энергия.

Если звезда пульсирует, критическая зона играет роль клапана, в течение части цикла пульсаций перекрывающего поток излучения, идущий из недр звезды. В определенной области диаграммы Герцшпрунга—Рес-

селла (области нестабильности) такое «клапанное» действие критической зоны ведет к раскачке колебаний звезды. Она превращается в автоколебательную систему, и пульсации не затухают, поскольку потери энергии колебаний компенсируются за счет энергии излучения.

Такой механизм пульсаций является единым для многих типов переменных звезд — цефеид, звезд типа RR Лиры, типа δ Щита и некоторых других. Область нестабильности для всех этих типов звездной переменности имеет на диаграмме $M_V - (B-V)_0$ вид узкой наклонной полосы; ее нередко называют цефеидной полосой нестабильности. Пробел Шварцшильда — это то место на диаграмме Герцшпрунга—Ресселла, где цефеидная полоса нестабильности пересекает горизонтальную ветвь.

Что касается типов RRAB и RRC, то их легче всего объяснить, обратившись к аналогии с колебаниями струны. Из физики известно, что колеблющаяся струна имеет «узлы» и «пучности», и расположением узлов основной тон струны отличается от обертонов. Пульсации типа RRAB — это «основной тон» звезды, а типа RRC — «первый обертон».

В 1939 г. нидерландский астроном П. Остерхоф заметил одно странное свойство у переменных типа RRAB в шаровых скоплениях. Оно проявляется в тех скоплениях, где есть хотя бы четыре-пять таких звезд. Если в каждом скоплении подсчитать среднее арифметическое из периодов всех звезд типа RRAB, то оно обязательно окажется близким к одному из двух предпочтительных значений — 0,55 или 0,65 сут. «Эффект Остерхофа» пытаются объяснить уже без малого полвека, выдвинуто немало остроумных гипотез, но общепринятого объяснения пока нет. Интересно, что у шаровых скоплений других галактик «эффекта Остерхофа», видимо, нет.

Если бы в нашей Галактике звезды типа RR Лиры в шаровых скоплениях и вне скоплений имели совершенно одинаковую природу, то можно было бы ожидать такого распределения не входящих в скопления переменных по значению периода, которое являлось бы в каком-то смысле суммой распределений для двух «классов Остерхофа». Как показал известный советский астроном Б. В. Кукаркин, один из основателей советской школы звездной астрономии и исследований переменных звезд, на самом деле это не так.

В астрономии многие типы переменных звезд используют как своеобразные «стандартные свечи». К какому типу относится переменная звезда, легко определить по ее изменениям блеска, а сколько энергии излучает переменная звезда определенного типа (в некоторых случаях, кроме типа, надо знать период переменности) в среднем за цикл пульсаций, как правило, известно. Измерив средний видимый блеск переменной звезды, легко определить расстояние.

К числу «стандартных свечей» принадлежат и звезды типа RR Лиры. Хотя и остаются некоторые сомнения в том, все ли звезды типа RR Лиры излучают одинаково ярко (быть может, в скоплениях со сравнительно высоким содержанием тяжелых элементов они светят чуть слабее), все же благодаря наличию в шаровых скоплениях звезд типа RR Лиры расстояния до скоплений можно считать известными. У тех скоплений, в которых звезд типа RR Лиры нет, вместо них для определения расстояния можно использовать звезды горизонтальной ветви, наиболее близко прилегающие на диаграмме Герцшпрунга—Ресселла к пробелу Шварцшильда.

ЗВЕЗД МАЛО, А ТИПОВ МНОГО

Хотя звезды типа RR Лиры и преобладают среди переменных звезд шаровых скоплений, есть в скоплениях и переменные звезды других типов. Некоторые из них, подобно звездам типа RR Лиры, пульсируют, переменность других звезд связана с иными причинами.

Пульсирующие переменные звезды с периодами от одних до нескольких десятков суток, так называемые цефеиды шаровых скоплений, лежат на диаграмме Герцшпрунга—Ресселла над горизонтальной ветвью, в цефеидной полосе нестабильности. Это один из примеров звезд шаровых скоплений, не лежащих на основных, плотно населенных последовательностях диаграммы Герцшпрунга—Ресселла. То, что в шаровых скоплениях встречаются цефеиды с периодами, превышающими сутки, обнаружил еще С. Бейли. Поначалу никто не сомневался, что это такие же цефеиды, как и большинство цефеид нашей Галактики.

А классические цефеиды — очень важные для астрономии звезды. Чем продолжительней период переменности цефеиды, тем больше энергии она излучает. Благо-

даря существованию зависимости «период—светимость» можно, определив период цефеиды, узнать мощность ее излучения, сопоставив которую с видимой звездной величиной, можно определить расстояние. Цефеиды — это звезды-сверхгиганты, их хорошо видно на огромных расстояниях, и вся используемая в астрономии система расстояний до далеких объектов Вселенной в конечном счете основана на зависимости «период — светимость» для классических цефеид.

Теперь мы знаем, что точно такими же звездами, как и классические цефеиды, не входящие в скопления, являются цефеиды рассеянных, а не шаровых скоплений. А ведь когда-то считалось, что в рассеянных скоплениях в отличие от шаровых переменных звезд вовсе нет. К концу 40-х годов прежде всего благодаря исследованиям Б. В. Кукаркина выяснилось, что и за пределами скоплений, помимо классических цефеид, есть звезды, подобные цефеидам шаровых скоплений. Их стали называть «цефеидами сферической составляющей Галактики», или «переменными звездами типа W Девы».

Для звезд типа W Девы также существует зависимость «период — светимость», но она не совпадает с зависимостью «период — светимость» для классических цефеид. Звезды типа W Девы излучают примерно в 4 раза меньше света, чем классические цефеиды того же периода. Пока этого не знали, данные о классических цефеидах и о звездах типа W Девы при выведении из наблюдений зависимости «период — светимость» смешивали, что приводило к промежуточному варианту зависимости. Неточность зависимости «период — светимость», конечно, сказывалась на всей системе расстояний до далеких космических объектов.

Как и звезды типа RR Лиры, звезды типа W Девы можно подразделить на две группы — короткопериодическую (периоды примерно до 8 сут) и долгопериодическую. Звезды первой группы, которые иногда называют также звездами типа BL Геркулеса, видимо, находятся на эволюционных стадиях между горизонтальной и асимптотической ветвями. Что касается звезд второй, долгопериодической группы, то большинство исследователей считают, что это звезды, временно ушедшие с асимптотической ветви из-за неравномерного хода термоядерных реакций в слое, в котором гелий превращает-

ся в углерод, и попавшие в цефеидную полосу нестабильности.

Интересно, что цефеиды обеих групп встречаются только в шаровых скоплениях с голубой горизонтальной ветвью. Причину этого довольно легко понять в случае звезд типа BL Геркулеса: путь от голубого участка горизонтальной ветви к асимптотической ветви проходит через полосу нестабильности. Сложнее со звездами долгопериодической группы, ведь они приходят в полосу нестабильности уже с асимптотической ветви. То, что они также предпочитают скопления с голубой горизонтальной ветвью, показывает, что цефеидой звезда может стать лишь при выполнении определенных условий. Таким условием является либо низкое содержание тяжелых элементов (следствием этого будет и голубой цвет горизонтальной ветви), либо низкая масса звезды (на голубую часть горизонтальной ветви попадают звезды, испытавшие наиболее значительную потерю массы в ходе эволюции).

Как и для всех звезд в цефеидной полосе нестабильности, для звезд типа W Девы применим тот же физический механизм возбуждения пульсаций, что и для звезд типа RR Лиры. Это открытый С. А. Жевакиным «клапанный» механизм, связанный с зоной двукратной критической ионизации гелия.

В шаровом скоплении NGC 5466 есть совсем необычная переменная звезда — «аномальная цефеида». По периоду она похожа на звезды типа RR Лиры, по светимости — на звезды типа W Девы короткопериодической группы. То ли это звезда типа RR Лиры, излучающая аномально много, то ли это звезда типа W Девы с аномально коротким периодом. Есть очень серьезные основания считать, что «аномальная цефеида» имеет и аномальную массу, заметно превышающую массу нормальных звезд типа RR Лиры или W Девы.

Любопытно, что совсем недавно сделано открытие, касающееся звезд повышенной массы в том же скоплении NGC 5466. Дело в том, что в некоторых (но далеко не во всех) шаровых скоплениях главная последовательность на диаграмме Герцшпрунга—Ресселла продолжается влево вверх разреженной россыпью звезд, которые иногда называют забавным термином «голубые бродяги» (см. рис. 1, на котором можно заметить кучку «голубых бродяг» в шаровом скоплении M 3)

Природа «голубых бродяг» казалась загадочной, но во многих попытках объяснить их происхождение предполагается, что масса этих звезд выше нормальной массы звезд главной последовательности шаровых скоплений. В NGC 5466 было обнаружено большое число «голубых бродяг», но только в самой центральной области скопления. Чуть дальше от центра такие звезды вовсе не встречаются. Так могло получиться, если более массивные «голубые бродяги» как бы осели к центру скопления. Уже появилось предварительное сообщение об аналогичном результате для «голубых бродяг» в другом шаровом скоплении (NGC 5053).

Ни в одном другом шаровом скоплении, кроме NGC 5466, «аномальных цефеид» пока не найдено. Но их не так уж мало в карликовых самостоятельных галактиках — сфероидальных спутниках нашей Галактики, сходных с NGC 5466 и NGC 5053 (и отличающихся от типичных шаровых скоплений) своей крайней разреженностью. Что касается «аномальных цефеид» вне шаровых скоплений или карликовых сфероидальных галактик, то выявить их было бы чрезвычайно трудно: для этого надо определить расстояние до таких звезд каким-либо способом, независимым от сведений об абсолютной звездной величине звезд типа RR Лиры и не опирающимся на зависимость «период — светимость» для цефеид или звезд типа W Девы.

Самыми яркими пульсирующими переменными шаровых скоплений в цефеидной полосе неустойчивости являются звезды типа RV Тельца. Такие звезды отличаются от цефеид тем, что минимумы их блеска чередуются по глубине: за глубоким минимумом следует более мелкий, затем опять глубокий и т. д. Периоды звезд типа RV Тельца в шаровых скоплениях составляют несколько десятков суток, а различия в глубине последовательных минимумов зачастую довольно невелики, что затрудняет классификацию.

Цефеидная полоса неустойчивости продолжается и под горизонтальной ветвью. В рассеянных скоплениях там, где полоса неустойчивости пересекает главную последовательность, обнаруживается большое число пульсирующих переменных типа δ Щита, меняющих свой блеск с периодами в несколько часов. Вне скоплений большинство переменных типа δ Щита меняет свой блеск очень ненамного, но есть и исключения. Все без исклю-

чения переменные типа δ Щита в рассеянных скоплениях имеют маленькую амплитуду переменности блеска.

Есть старые звезды с низким содержанием тяжелых элементов, не входящие в скопления, которые похожи на звезды типа δ Щита с не слишком маленькими амплитудами переменности. Это так называемые звезды типа SX Феникса. Звезды шаровых скоплений всегда рассматривают как самые характерные представители старого (с малым содержанием тяжелых элементов) населения Галактики, поэтому звезды типа SX Феникса стали искать в шаровых скоплениях. Однако, как уже отмечалось, главная последовательность шаровых скоплений лишена сравнительно ярких, горячих звезд. Из-за этого цефеидная полоса нестабильности не пересекает главную последовательность шаровых скоплений. Если в шаровых скоплениях и есть звезды типа SX Феникса, то это должны быть «голубые бродяги».

И действительно, в самом богатом звездами шаровом скоплении нашей Галактики, ω Центавра, удалось найти три звезды типа SX Феникса на продолжении главной последовательности. Все они были обнаружены уже в 80-е годы, и их, естественно, нет в каталоге Сойер-Хогг. Между прочим, о «голубых бродягах» в ω Центавра как-то никогда и не было речи, и открытие в этом скоплении звезд типа SX Феникса, по существу, одновременно явилось открытием в нем «голубых бродяг».

Там, где цефеидная полоса нестабильности попадает в область белых карликов, можно обнаружить пульсирующие белые карлики — звезды типа ZZ Кита. В шаровых скоплениях, однако, такие звезды еще не найдены, и это понятно: слишком далеко от нас находятся шаровые скопления, и нелегко вообще обнаружить в них белые карлики, не то что заметить небольшую переменность их блеска.

Список типов пульсирующих переменных звезд в шаровых скоплениях не исчерпывается звездами в цефеидной полосе нестабильности. В нескольких самых богатых тяжелыми элементами шаровых скоплениях найдены звезды типа Миры Кита. Это красные, холодные звезды, излучение которых в визуальной или в фотографической области спектра меняется не менее чем в 10 раз с периодом в несколько сот суток. Для таких переменных звезд в Галактике известно, что у молодых,

богатых тяжелыми элементами звезд периоды особенно велики, а у более старых, не столь богатых тяжелыми элементами переменных звезд периоды короче. Звезды типа Миры Кита в шаровых скоплениях, имеющие периоды, как правило, близкие к 200 сут, подтверждают это представление и в целом принадлежат к числу самых короткопериодических звезд типа Миры Кита нашей Галактики. Есть и некоторая тенденция к более продолжительным периодам в скоплениях, где выше содержание тяжелых элементов, но для уверенного суждения об этом в шаровых скоплениях звезд типа Миры Кита слишком мало.

И наконец, подтверждая представления о переменности всех достаточно ярких и достаточно холодных гигантов, в шаровых скоплениях встречаются пульсирующие полуправильные и неправильные переменные звезды, попадающие на диаграмме Герцшпрунга—Ресселла в область вершинной ветви гигантов. До последнего времени внимание к таким звездам было недостаточным; видимо, немало подобных переменных еще только предстоит открыть. Сейчас интерес к красным звездам в шаровых скоплениях возрос, и в ближайшие годы можно ожидать и здесь интересных результатов.

Изучение пульсирующих переменных звезд в шаровых скоплениях интересно и само по себе, и в особенности в связи с проблемами эволюции звезд шаровых скоплений. Из наблюдений пульсирующей звезды может быть получено большее число параметров, чем из наблюдений непериодической звезды. Период пульсаций звезды самым непосредственным образом связан с ее средней плотностью. В ходе эволюции звезды ее радиус то увеличивается, то уменьшается; при этом, конечно, меняется средняя плотность. Таким образом, по наблюдаемым изменениям периода переменной звезды мы в принципе можем судить о ее эволюции. Благодаря возможности наблюдать переменную звезду в течение очень многих циклов пульсаций мы можем очень точно определить ее период, а значит, уверенно выявить изменения периода.

К сожалению, на практике все оказалось намного сложнее. У пульсирующих переменных звезд действительно наблюдаются изменения периода, но они больше напоминают небольшие хаотические скачки то в сторону увеличения, то в сторону уменьшения. Причины та-

ких скачков теоретики в последнее время только начинают нащупывать. Скачки периода очень сильно маскируют подлинно эволюционные изменения периода. Можно, однако, надеяться, что если мы усредним данные о скорости изменения периодов для всех звезд типа RR Лиры такого шарового скопления, как М 3 или ω Центавра, то эволюционные изменения периода проявятся на фоне хаотических скачков. Попытка такого подхода, предпринятая в начале 70-х годов американскими астрофизиками И. Ибенем и Р. Рудом, привела к результатам, в общем, согласующимся с предсказаниями теории звездной эволюции, и, по-видимому, выявила некоторые отличия в скорости эволюции звезд на горизонтальной ветви между М 3 и ω Центавра. Эти исследования ждут своего продолжения.

Помимо пульсирующих переменных, в шаровых скоплениях встречаются *взрывные* переменные звезды двух типов: Новые и карликовые Новые. Как известно, Новая — это вовсе не вновь сформировавшаяся, а просто ярко вспыхнувшая звезда. Она наблюдается на небе и до вспышки, а спустя определенное время после вспышки возвращается к первоначальному блеску. Во время вспышки мощность излучения Новой повышается в тысячи, десятки тысяч, а иногда даже в миллионы раз. Скорость падения блеска Новой после прохождения максимума отличается от звезды к звезде. Установлено, что чем быстрее спадает блеск, тем более мощным было излучение Новой в максимуме. Знание этого позволяет определять расстояния до Новых примерно так же, как это делается для пульсирующих переменных.

В полном расхождении с общепринятым названием сейчас считают, что Новые — это сравнительно старые звезды, причем звезды двойные. Одна из звезд такой пары продвинулась по своему эволюционному пути уже настолько далеко, что превратилась в белый карлик. С поверхности звезды, обращающейся вокруг белого карлика, истекает газовое вещество, образующее диск вокруг белого карлика и, постепенно тормозясь в диске, выпадающее на его поверхность.

В астрофизической теории найден вполне правдоподобный механизм вспышек Новой. Выпадающее на поверхность белого карлика вещество — это вещество атмосферы обычной звезды. Оно богато водородом. В самом белом карлике почти весь водород уже превратился

в гелий. Теперь же, когда на поверхности накопится достаточно много водорода, он при разогревании может вступить в термоядерную реакцию, и такая «звездная водородная бомба», взорвавшись, будет наблюдаться чаше как Новая. Явление вспышки затрагивает только внешние слои белого карлика и приводит к сбросу оболочки незначительной массы. Структура и белого карлика, и всей двойной системы остается, в сущности, неизменной.

В 1860 г. при визуальных наблюдениях была обнаружена Новая в созвездии Скорпиона. Положение этой звезды на небе практически точно совпало с центром шарового скопления М 80. Вероятность того, что это совпадение произошло случайно, ничтожно мала. Блеск Т Скорпиона (Новой Скорпиона 1860 г.) после максимума падал быстро, и выводимое для нее расстояние хорошо согласуется с расстоянием до М 80, определяемым независимыми методами. Можно быть совершенно уверенным в том, что Т Скорпиона — это звезда шарового скопления М 80. После того как блеск Т Скорпиона ослаб, звезду потеряли на ярком фоне скопления.

В 1964 г. канадские астрономы Х. Сойер-Хогг и А. Вейлау просматривали полученные много лет назад фотографии шарового скопления М 14. На снимках, сделанных в 1938 г., они нашли Новую, которую в течение почти 30 лет никто не заметил. Расстояние Новой до центра скопления на небе составило около 0,5'. Вероятность случайного совпадения и здесь довольно низка. К сожалению, как это неизбежно бывает при открытии Новой по архивным фотографиям, пришлось удовольствоваться теми снимками, которые были в коллекции.

Если бы Новую открыли своевременно, ее, конечно, пронаблюдали бы детально, а в данном случае наблюдения Новой в М 14 оказались весьма разрозненными. Неизвестна ее звездная величина в максимуме блеска, неизвестно, насколько быстро падал блеск после максимума, а значит, сравнить расстояние Новой с расстоянием шарового скопления невозможно. В 1986 г. группа исследователей, в состав которой входили также Х. Сойер-Хогг и А. Вейлау, нашла в М 14 слабую звездочку, которая, быть может, и есть бывшая Новая. Детальное исследование этой звездочки еще впереди.

Кроме названных двух звезд, имеется еще одна (очень сомнительная) Новая около шарового скопления

NGC 6553. В этом случае неясно даже, наблюдалась ли действительно Новая, а не переменная звезда какого-нибудь другого типа, а спектральные негативы, по которым было сделано открытие, утеряны. Видимо, рассматривая Новые в шаровых скоплениях, эту звезду не следует принимать во внимание.

Примерно такую же структуру двойной звезды, как и Новые, имеют так называемые карликовые Новые, или переменные типа U Близнецов. Это тоже тесные двойные системы с белым карликом и газовым диском. Только у них не происходит никаких термоядерных взрывов, а в результате довольно сложных процессов временами повышается излучение энергии аккреционным диском, что ведет к наблюдаемой вспышке. Во время вспышки общая светимость системы повышается примерно в 100 раз. Если классическая Новая возвращается к нормальному блеску через годы после вспышки, то общая продолжительность вспышки карликовой Новой — всего несколько суток.

Подавляющее большинство классических Новых за последние 500 лет вспыхивало по одному разу; лишь у немногочисленных, так называемых повторных Новых наблюдалось по нескольку вспышек. Легко показать, что и классические Новые должны вспыхивать неоднократно, только реже, чем повторные Новые: если бы это было не так, во всей Галактике не хватило бы звезд, чтобы обеспечить наблюдаемую частоту вспышек Новых. Поиски сведений о них в древних летописях позволили найти описания событий, являющихся, как полагают, древними вспышками классических Новых.

Ну а карликовые Новые вспыхивают достаточно часто — раз в несколько суток, недель или месяцев, лишь у немногих звезд между вспышками проходит больше года.

Находить карликовые Новые в шаровых скоплениях довольно трудно. Даже во времена наибольшего блеска это довольно слабые звезды, трудно различимые на плотном звездном поле. Тем не менее несколько таких звезд в шаровых скоплениях найдено, для двух из них принадлежность к переменным типа U Близнецов доказана по спектральным наблюдениям. Одна из них расположена почти в $5'$ от центра шарового скопления М 5, другая — примерно на таком же угловом расстоянии от центра скопления М 30.

Мы видели, что Новые и карликовые Новые — это системы, содержащие белые карлики. Обнаружить одиночный белый карлик в шаровом скоплении очень непросто. Даже в самых близких шаровых скоплениях белые карлики должны иметь столь низкий видимый блеск, что для большинства современных методов они были бы предельно слабыми объектами. Все же Х. Ричер (США) первым сумел обнаружить в шаровых скоплениях несколько возможных белых карликов. Часть из них позднее удалось подтвердить по спектральным наблюдениям.

На недавнем симпозиуме Международного астрономического союза (август 1986 г.), посвященном шаровым звездным скоплениям в нашей Галактике и в других галактиках, демонстрировались диаграммы Герцшпрунга—Ресселла со сверхглубокой предельной звездной величиной (т. е. достигающие необыкновенно слабых звезд) для ряда шаровых скоплений Галактики. Чтобы получить такие диаграммы, используют самые современные приемники излучения, так называемые ПЗС. На некоторых диаграммах видны даже не единичные белые карлики, а целые последовательности, вдоль которых белые карлики эволюционируют, остывая. В ближайшем будущем наступит время для детального сравнения положения таких последовательностей на диаграмме Герцшпрунга—Ресселла с предсказаниями астрофизической теории.

То, что в шаровых скоплениях есть Новые и карликовые Новые звезды, очень интересно само по себе, но это еще и доказательство наличия в шаровых скоплениях тесных двойных звезд. Самым прямым доказательством было бы обнаружение в шаровых скоплениях затменных переменных, но ни одной такой звезды, являющейся членом шарового скопления, до сих пор с уверенностью не найдено. Правда, в каталоге переменных звезд в шаровых скоплениях, составленном Х. Сойер-Хогг, есть несколько затменных переменных, но все они, насколько можно судить по данным современных исследований, лишь видны в направлении скоплений, а на самом деле расположены на другом расстоянии.

Наибольший интерес представило бы выявление затменных переменных в шаровых скоплениях среди звезд главной последовательности, но попытка сотрудницы Гарвардской обсерватории М. Хейзен искать такие звез-

ды была безуспешной. Видимо, доля двойных звезд в шаровых скоплениях намного ниже, чем в целом по Галактике. Но все-таки двойные звезды там есть, и, зная это, исследователи могут лучше понять, откуда появились в шаровых скоплениях источники рентгеновского излучения (об этом речь пойдет в следующем разделе), да и разобраться со сложными процессами динамической эволюции скоплений.

РЕНТГЕНОВСКИЕ ИСТОЧНИКИ

Для астрономии наших дней характерно превращение ее в науку, изучающую весь диапазон космических электромагнитных излучений, от гамма-лучей до радиоволн. Раньше это было невозможно, поскольку земная атмосфера прозрачна лишь для двух узких участков электромагнитного спектра. Одно такое «окно» пропускает лучи видимого света и небольшие прилегающие участки спектра, другое — узкий участок широкого радиодиапазона. Лишь в космическую эру стало возможным выносить приборы за пределы атмосферы и оказалось, что мы очень многого не знаем об излучениях космоса.

Поначалу рентгеновская астрономия была в состоянии определять лишь грубо приближенные координаты обнаруженных источников, а это были только самые сильные рентгеновские источники. Кстати, «помеха № 1» из каталога Мессье, Крабовидная Туманность, оказалась одним из самых сильных источников космического рентгеновского излучения, и величина принимаемого от нее рентгеновского потока стала одной из единиц измерения в рентгеновской астрономии.

Впоследствии и чувствительность аппаратуры, и ее способность определять положение объектов на небе сильно улучшились. Важным этапом на этом пути стал запуск американского спутника «Ухуру», выполнившего подробный рентгеновский обзор неба. И тогда выяснилось, что немало источников космического рентгеновского излучения расположено на небе вблизи шаровых скоплений. Дальнейшее уточнение координат показало, что угловое расстояние большинства из этих источников от центров соответствующих скоплений очень невелико.

Особенно много дали для изучения рентгеновских источников в шаровых скоплениях наблюдения амери-

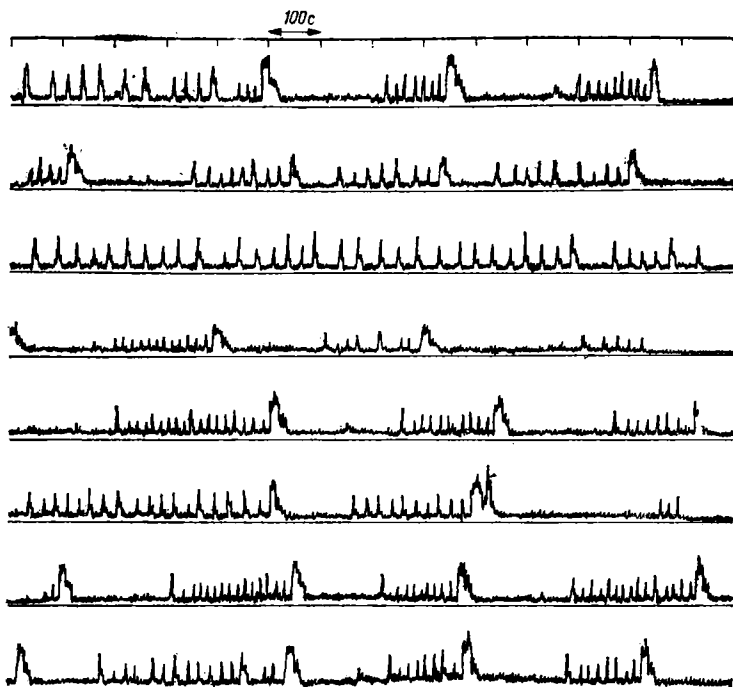


Рис. 4. Рентгеновская «кривая блеска» быстрого барстера в шаровом скоплении Лиллер-1 (по У. Льюину). Стрелкой отмечена вспышка другого, близко расположенного на небе барстера

канской автоматической космической обсерватории «Эйнштейн». По способности определять точные координаты объектов эта обсерватория уже приблизилась к возможностям наземных оптических телескопов. В результате удалось точно определить положения рентгеновских источников внутри скоплений и впервые поставить задачу поиска отождествлений рентгеновских источников в скоплениях с объектами, наблюдаемыми в оптическом диапазоне.

В десяти шаровых скоплениях Галактики сейчас известны сильные рентгеновские источники особого типа, для которых в нашей литературе используется очень нескладное название «барстер». Название возникло в результате, на мой взгляд, неудачной попытки воспроизведения на русском языке английского слова, означа-

ющего «вспышка», «взрыв». «Кривая блеска» рентгеновского барстера показана на рис. 4 (слова «кривая блеска» я взял в кавычки, потому что это термин из области оптических наблюдений переменных звезд). Большинство барстеров вспыхивает в рентгеновских лучах раз в несколько часов или в несколько суток. У барстера в шаровом скоплении Лиллер-1, помимо обычных вспышек, бывают еще и вспышки другого типа, разделенные интервалами от нескольких секунд до нескольких минут, поэтому его называют «быстрым барстером».

Десять барстеров в шаровых скоплениях — это удивительно много, если учесть, что во всей Галактике найдено около 30 барстеров. Многие исследователи даже считают, что все барстеры Галактики родились в шаровых скоплениях, но часть скоплений постепенно разрушилась (это, несомненно, возможно), а их барстеры попали в общее галактическое звездное поле.

Есть очень сильный аргумент в пользу того, что связь барстеров с шаровыми скоплениями действительно не случайна. Дело в том, что после обнаружения первых барстеров в шаровых скоплениях были предприняты попытки... искать новые шаровые скопления рядом с уже известными барстерами, и эти попытки оказались удачными. Было найдено три шаровых скопления, ранее не обнаруженных потому, что они лежат за мощными пылевыми облаками, плохо пропускающими видимый свет. Чтобы увидеть их, понадобились наблюдения в красных и инфракрасных лучах. Одним из новых скоплений и было шаровое скопление Лиллер-1 с необычным, быстрым барстером.

В промежутках между вспышками большинство барстеров продолжает излучать рентгеновские лучи (быстрый барстер, по-видимому, — исключение). Такое же переменное излучение невоспыхечного характера найдено и у рентгеновского источника в ярком шаровом скоплении М 15. К этому источнику мы еще вернемся.

Существует еще один интересный класс рентгеновских источников — рентгеновские Новые. Их еще называют временными, или транзиентными, источниками. «Кривые блеска» таких источников в рентгеновских лучах напоминают оптические кривые блеска Новых, а в нескольких случаях удалось примерно одновременно с рентгеновской вспышкой заметить новоподобную вспышку в видимых лучах. Но надо помнить, что классические

Новые во время вспышек вовсе не являются сильными рентгеновскими источниками, так что природа классических и рентгеновских Новых различна.

В августе — сентябре 1975 г. астрономы активно наблюдали две Новые: классическую Новую в созвездии Лебеда, блеск которой достиг второй звездной величины, и рентгеновскую Новую в созвездии Единорога, видимый блеск которой поднялся примерно до двенадцатой величины. Хотя в видимой области спектра Новая Лебеда светила в 10 000 раз ярче, чем Новая Единорога, рентгеновского излучения от Новой Лебеда практически не наблюдалось, а Новая Единорога на некоторое время стала в рентгеновских лучах ярче Крабовидной Туманности.

В конце 1971 г., задолго до запуска обсерватории «Эйнштейн», рентгеновская Новая вспыхнула в области шарового скопления NGC 6440. С каким-либо оптическим объектом ее тогда отождествить не удалось. Обсерватория «Эйнштейн» нашла в этом шаровом скоплении слабый рентгеновский источник. Предполагают, что он-то и вспыхивал как рентгеновская Новая.

Еще в семи шаровых скоплениях найдено полтора десятка слабых рентгеновских источников. Мощность их излучения примерно в 30 раз ниже, чем у сильных источников шаровых скоплений. Если до полета обсерватории «Эйнштейн» думали, что положение сильных источников, видимо, совпадает с самым центром каждого рентгеновского шарового скопления, и нередко поговаривали о находящихся в центре скоплений массивных черных дырах, то обсерватория «Эйнштейн» доказала, что сильные источники близки к центрам скоплений, но не совпадают с ними. Ну а концентрация слабых источников к центрам скоплений намного ниже, чем концентрация сильных. Отсюда можно сделать вывод, что системы, которые мы наблюдаем как сильные рентгеновские источники, массивнее, чем слабые источники, и в результате под действием гравитации опустились ближе к центрам масс скоплений.

Сейчас полагают, что рентгеновские источники в шаровых скоплениях — это тесные двойные звездные системы. Одна из звезд такой системы — компактный объект. При выпадении на поверхность компактного объекта газового вещества из аккреционного диска, образовавшегося вокруг него благодаря потокам от

звезды-спутника, возникает рентгеновское излучение. Этот компактный объект в сильных рентгеновских источниках должен быть нейтронной звездой. Вспышки барстеров происходят из-за взаимодействия перетекающего на нейтронную звезду газового вещества с ее магнитосферой. Слабые, менее массивные рентгеновские источники вместо нейтронной звезды содержат белый карлик.

В 1986 г. выяснилось, что в излучении рентгеновского источника (барстера) в шаровом скоплении NGC 6624 прослеживаются две периодичности—11,5 мин и 176 сут. Высказана гипотеза, что этот источник на самом деле является не двойной, а тройной системой. Короткий период, вероятно, является периодом орбитального обращения тесной пары, а длинный обусловлен взаимодействием тесной пары с третьей звездой.

Отказавшись от представления, что рентгеновские источники в шаровых скоплениях связаны с якобы располагающимися в центре скоплений массивными черными дырами, и объявив их двойными звездными системами, мы, однако, сталкиваемся с проблемой поиска этих звезд в скоплениях в оптическом диапазоне. Звезд в центральных областях скоплений очень много, и чтобы такой поиск имел хотя бы некоторые шансы на успех, необходимо располагать весьма точными координатами рентгеновского источника. Благодаря высокой позиционной точности обсерватории «Эйнштейн» это требование было выполнено.

Кроме того, если рассчитать, как выглядели бы те рентгеновские источники, которые удалось отождествить с оптическими звездами в галактическом поле, если бы они были удалены от нас на расстояние шаровых скоплений, то окажется, что они имели бы очень слабый видимый блеск. Это нельзя упускать из виду, ведь в недалеком прошлом в качестве возможных кандидатов на отождествление рассматривали слишком яркие звезды.

Наиболее активно поиски оптического отождествления рентгеновского источника велись в самом северном из скоплений с сильными рентгеновскими источниками — М 15 (напомним, впрочем, что, хотя этот источник и сильный, он отличается от других сильных источников в шаровых скоплениях тем, что у него пока не обнаружено барстерной активности). В 1984 г. француз-

ские исследователи М. Орзер, О. Лефэвр и А. Терзан нашли близ центра М 15 довольно слабую переменную звезду АС 211, которую сейчас считают вполне вероятным кандидатом на отождествление.

Но эта звезда все же ярче, чем можно было бы ожидать из соображений сходства с рентгеновскими источниками вне шаровых скоплений, отождествленными в оптике. Если АС 211 и рентгеновский источник действительно одно и то же, эта двойная система должна быть несколько необычной, спутником нейтронной звезды должна быть звезда-гигант. Быть может, содержит звезду-гигант и двойная система слабого рентгеновского источника в шаровом скоплении NGC 5824, сообщения о возможном оптическом отождествлении которого появились в самое последнее время.

Обсерватория «Эйнштейн» обнаружила рентгеновские источники в шаровых скоплениях и за пределами нашей Галактики. В Туманности Андромеды (галактике М 31) найдено 19 шаровых скоплений с сильными рентгеновскими источниками. Столь сильных рентгеновских источников в шаровых скоплениях нашей Галактики очень мало.

До сих пор речь шла только о рентгеновских источниках очень малых угловых размеров — практически точечных. Три шаровых скопления нашей Галактики (47 Тукана, ω Центавра и М 22) орбитальная обсерватория «Эйнштейн» наблюдала с очень большими экспозициями. На изображениях скоплений в рентгеновских лучах были обнаружены протяженные области слабого рентгеновского излучения. Как полагают, это излучение связано с движением шарового скопления через Галактику. Хотя те области Галактики, где находятся три наблюдавшихся шаровых скопления, бедны газовым веществом — газ концентрируется к плоскости Галактики, а скопления движутся в галактическом гало, — какой-то газ там, наверно, есть. Шаровые скопления быстро летят через Галактику, и газовое вещество шаровых скоплений, взаимодействуя на высокой скорости с газом галактической среды, будет излучать рентгеновские лучи.

Открытие трех протяженных рентгеновских источников в шаровых скоплениях имеет большое значение. Дело в том, что долгое время оставалось неясным, почему в шаровых скоплениях практически нет газового веществ-

ва. В них немало красных гигантов, которые не могут не терять вещество из своих протяженных атмосфер. И действительно, масса звезд на стадии горизонтальной ветви по всем оценкам меньше, чем масса звезд, только что сошедших с главной последовательности (как все считают, за счет потери массы на стадии красного гиганта, а может быть, и во время гелиевой вспышки).

Вряд ли шаровое скопление может удерживать газ, содержащийся в нем, во время его проходов через плоскость Галактики: газ скопления будет выметаться из-за взаимодействия с веществом плоской составляющей. Но скопление проходит через галактическую плоскость всего 2 раза за свой оборот вокруг центра Галактики, а в остальное время его расстояние от плоскости Галактики, как правило, велико. Время между двумя прохождениями скопления через плоскость Галактики по порядку величины составляет 10 млн. лет. За это время по современным представлениям об эволюции звезд масса скапливающегося в скоплении газа должна достигать десятков масс Солнца.

Как можно обнаружить газовое вещество в шаровых скоплениях?

Во Вселенной газ, как правило, встречается вместе с пылью. Пыль поглощает свет звезд, находящихся за ней. Еще в прошлом веке некоторые наблюдатели, рассматривая в телескоп шаровое скопление М 13, отмечали наличие в нем темных полос. Действительно, на фотографиях этого скопления можно заметить вытянутую полосу, практически свободную от звезд. Очень маловероятно, что такая полоска могла появиться просто из-за игры случая, из-за того, что звезды во внешних частях М 13 случайно сгруппировались таким странным образом.

Уже в 70-е годы нашего столетия С. Кейнэги и С. Вьятт изучали вероятные пятна с повышенным поглощением света в других шаровых скоплениях, М 3 и М 15, и в том же М 13, и пришли к выводу, что пятнышки — это скорее всего реальные облачка, в каждом из которых содержится примерно по 0,003 солнечной массы в виде пыли.

Что же, допустим, что это действительно так. Но что говорят чувствительные методы обнаружения газового вещества?

Оно должно в основном состоять из водорода, и его

можно попытаться выявить по радионаблюдениям, по наблюдениям линий в суммарном спектре скопления в оптическом диапазоне. Пыль должна излучать инфракрасные лучи, это излучение тоже можно попробовать обнаружить. Все эти методы действительно неоднократно применялись к шаровым скоплениям. В большинстве случаев не удавалось обнаружить вовсе диффузного вещества. Если же чувствительности метода хватало, то количество обнаруженного диффузного вещества в скоплении никогда не превосходило 0,02 массы Солнца. Пожалуй, наиболее интересный результат был получен недавно с помощью инфракрасного спутника «ИРАС», обнаружившего излучение шарового скопления 47 Тукана, соответствующее наличию в нем *миллионной* доли солнечной массы в форме пыли.

Раз теория предсказывает, что за промежуток времени между двумя прохождениями шарового скопления через плоскость Галактики его звезды должны сбрасывать большие массы диффузного вещества, а наблюдения показывают, что столь больших масс газа и пыли в шаровых скоплениях нет, надо объяснить, куда девается газ. Газ может по каким-то причинам иметь скорость, достаточную для ухода из скопления. Он может выпадать на звезды, а может даже конденсироваться с образованием звезд нового поколения.

Все же наиболее правдоподобным механизмом удаления диффузного вещества из шаровых скоплений сейчас представляется его взаимодействие с диффузным веществом Галактики не только при прохождениях через галактическую плоскость, но и при движении скопления через гало Галактики. Именно поэтому с таким интересом было воспринято сообщение об обнаружении протяженных источников рентгеновского излучения в 47 Тукана, ω Центавра и М 22. Если газовое вещество скоплений активно взаимодействует с газом галактической среды, о чем свидетельствует рентгеновское излучение, то газ будет эффективно выталкиваться из скоплений.

Советские астрономы Ю. Н. Гнедин и Т. М. Нацвлишвили недавно предложили два новых тонких метода обнаружения малых количеств газа в шаровых скоплениях по радионаблюдениям. Предлагается наблюдать далекие радиоисточники, «просвечивающие» скопление; желательно, чтобы излучение этих источников было поляризованным. Если в скоплении есть газ, положение

далекого радиосточника на небе будет казаться смещенным, а плоскость поляризации повернется. Обнаружить смещение положения и поворот плоскости поляризации можно, проведя наблюдения на нескольких разных длинах волн.

Будем надеяться, что практическое применение новых методов будет способствовать решению проблемы диффузного вещества в шаровых скоплениях. Напомним также для полноты картины, что в шаровых скоплениях известно газовое вещество, входящее в планетарные туманности (по одной в М 15 и М 22).

ШАРОВЫЕ СКОПЛЕНИЯ ДВИЖУТСЯ ПО ГАЛАКТИКЕ

Галактика представляет собой довольно плоский диск из звезд, газа, пыли, вращающийся вокруг ее центра. В диске находятся спиральные ветви. Диск погружен в обширное звездное гало. Гало как целое почти не принимает участия во вращении Галактики. Правда, каждая звезда гало движется вокруг центра Галактики; орбиты звезд гало обычно весьма вытянутые. Но все орбиты ориентированы по-разному, и вращение всего гало оказывается незначительным. Наше Солнце расположено недалеко от основной плоскости Галактики, на расстоянии около 8 кпк (25 тыс. св. лет) от галактического центра. Оно принимает участие в общем вращении диска. Также близки к галактической плоскости рассеянные звездные скопления.

Изучив пространственное распределение шаровых скоплений в Галактике, астрономы убедились в том, что это — типичные объекты гало. Они могут находиться на очень больших расстояниях от галактической плоскости. Система шаровых скоплений сильно сконцентрирована к центру Галактики, который находится в направлении созвездия Стрельца (рис. 5). Поэтому большинство известных шаровых скоплений находится к югу от небесного экватора, и не удивительно, что самые большие достижения последнего времени в области изучения шаровых скоплений получены благодаря работе обсерваторий Южного полушария. Понятно также, почему на обсерваториях Северного полушария самые активные наблюдения шаровых скоплений проходят летом, когда лучше всего видны Стрелец и прилегающие к нему созвездия. Что касается концентрации к галактической

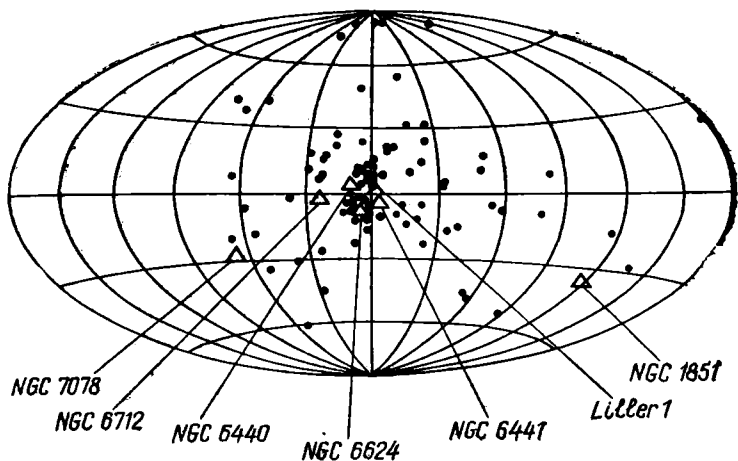


Рис. 5. Распределение шаровых скоплений на небесной сфере (по Дж. Джернигану). В центре рисунка — направление на центр Галактики. Треугольниками показаны некоторые рентгеновские шаровые скопления

плоскости, то некоторый намек на нее можно найти для шаровых скоплений со сравнительно высоким содержанием тяжелых элементов (рис. 6).

Несмотря на высокую степень галактоцентрической концентрации системы шаровых скоплений, отдельные скопления находятся на очень больших расстояниях от центра Галактики, составляющих десятки килопарсек, в областях, иногда относимых к так называемой короне нашей Галактики. Некоторые скопления удалены от центра Галактики больше, чем Магеллановы Облака. Тем не менее принадлежность скоплений короны к нашей Галактике не вызывает сомнений.

После многолетних попыток найти «межгалактические» шаровые скопления утвердилось представление, что таких скоплений нет (точнее, практически нет, потому что полностью исключить отрыв скопления от Галактики нельзя), и специалисты в области теории образования шаровых скоплений считают их отсутствие довольно важным ограничением на возможные модели. Именно у скоплений короны часто встречается структура горизонтальной ветви, аномальная в том смысле, что, несмотря на низкую металличность, населен красный

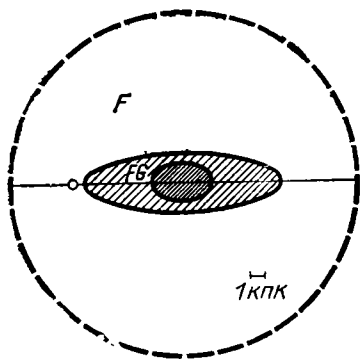


Рис. 6. Строение системы шаровых скоплений Галактики (по А. С. Шарову). Показано сечение Галактики, проходящее через ее центр и перпендикулярное галактической плоскости. Положение Солнца отмечено маленьким кружком. Во внешней области встречаются только скопления низкой металличности (интегральный спектральный класс F); редкой штриховкой показана несколько уплощенная к галактической плоскости область, содержащая как скопления спектрального класса F, так и более богатые тяжелыми элементами скопления спектрального класса G. В центральной области (частая штриховка) мы не можем наблюдать шаровые скопления из-за сильного межзвездного поглощения света

вильной, и ее модификации с тех пор неоднократно применялись.

Советский астрофизик В. Г. Сурдин недавно предложил остроумную разновидность метода Шепли. Он принял во внимание, что вблизи центра Галактики шаровые скопления имеют более высокое содержание тяжелых элементов, чем на периферии, и попытался найти такое место в Галактике, из которого среднее содержание тяжелых элементов в звездах шаровых скоплений во всех направлениях представляется одинаковым. Очевидно, этот случай характерен и для центра Галактики. Расстояние до него у В. Г. Сурдина получилось близким к 10 кпк (чуть больше 30 св. лет).

участок горизонтальной ветви (см. раздел «Пути звездной эволюции»).

Большая концентрация шаровых скоплений к центру Галактики в сочетании с известными расстояниями до шаровых скоплений позволяет использовать их для определения расстояния до центра Галактики. Впервые такой метод применил в 1917 г. выдающийся американский астроном Х. Шепли. У него получилось, что центр Галактики удален от нас на 50 000 св. лет. Расхождение результата с современными данными объясняется тем, что Шепли не знал о существовании поглощения света межзвездным веществом, принимал значение светимости переменных звезд типа RR Лиры, а также некоторыми другими причинами. Но общая идея Шепли была совершенно пра-

Чтобы вычислить орбиту, по которой шаровое скопление движется по Галактике, надо знать направление движения и скорость, а также распределение масс в Галактике. Скорость скопления вдоль луча зрения можно узнать благодаря эффекту Доплера, вызывающему смещение линий в спектре. Измерить смещение нетрудно, и для большинства скоплений такие измерения проведены. Скорости могут достигать несколько сот километров в секунду. Некоторые скопления приближаются к нам, другие — удаляются. Труднее измерить движение поперек луча зрения. Для этого нужно определить *собственное движение* скопления, т. е. сравнить современные координаты звезд скопления с координатами, измеренными по фотопластинкам, снятым несколько десятков лет назад (желательно на том же телескопе).

Такие трудоемкие работы в нашей стране активно ведут З. И. Кадла и ее сотрудники, а в США — К. Кадворт. Все же до сих пор шаровых скоплений с известными собственными движениями, а следовательно, с известными орбитами очень мало.

О форме орбиты шарового скопления можно судить и по косвенным признакам. Звезды удерживаются в скоплении его гравитационным полем. Но шаровое скопление существует не изолированно, оно движется в гравитационном поле Галактики. На некотором расстоянии от центра шарового скопления, именуемом *предельным*, или *приливным*, радиусом, внешние воздействия уже смогут оторвать звезду от скопления. Наиболее эффективно будут ограничены размеры шарового скопления, если оно пройдет близко от центра Галактики. Покинув затем при своем движении по орбите область центра Галактики, шаровое скопление не сможет слишком быстро увеличиться в размерах. По размерам шарового скопления мы можем прикинуть, насколько близко подходило оно к центру Галактики, насколько вытянута его орбита.

Когда массивное шаровое скопление движется по своей орбите, оно взаимодействует со звездами Галактики. В результате плотность звездного фона за пролетевшим скоплением оказывается повышенной и образовавшаяся избыточная масса своим тяготением стремится затормозить движение скопления. Такое явление называется динамическим трением. Под действием динамического трения шаровое скопление будет приближаться

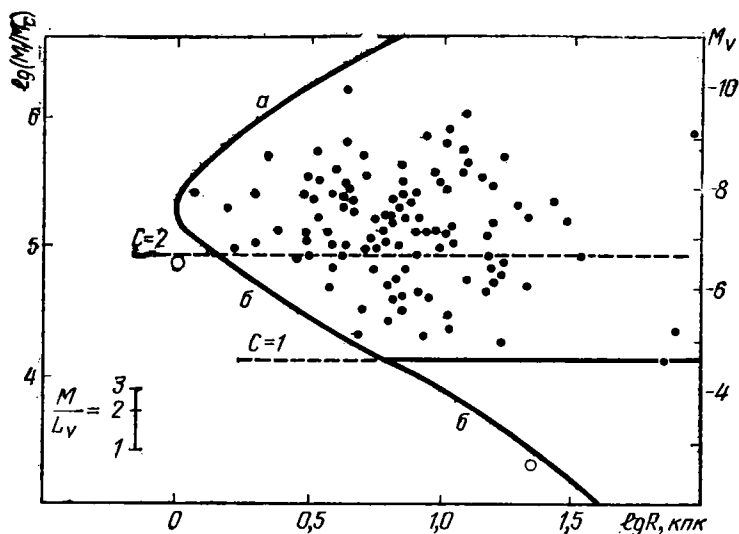


Рис. 7 Диаграмма, иллюстрирующая действие в Галактике процессов распада шаровых скоплений. По оси абсцисс отложен логарифм расстояния от центра Галактики, по оси ординат — интегральная абсолютная величина скопления M_v или логарифм массы. Точки — известные шаровые скопления. Верхняя огибающая (линия «а») обусловлена действием динамического трения, нижняя огибающая (линия «б») — процессами ухода звезд из скоплений (по В. Г. Сурдину)

к центру Галактики и в конце концов будет разрушено галактическим гравитационным полем. Чем выше масса шарового скопления, тем такой процесс будет эффективнее. С другой стороны, скоплениям малой массы трудно удержать свои звезды. Взаимодействия звезд внутри скопления могут слегка повысить скорость одной из них, и она вылетит из скопления.

Расчеты показывают, что скопления малой исходной массы не могут дожить до возраста шаровых скоплений Галактики. Итак, до «преклонного возраста» могли дожить лишь те из них, которые во времена своего образования имели значения массы, попадающие во вполне определенный интервал, и имели вполне определенные характеристики движения в Галактике (рис. 7). Вот почему специалисты в области теории образования шаровых скоплений нередко говорят, что их задача — лишь объяснить появление объектов, подобных шаровым

скоплениям, а наблюдаемые свойства системы шаровых скоплений обеспечиваются процессами разрушения скоплений.

Разговор о том, как представляют себе астрофизики образование шаровых скоплений, мы отложим до следующего раздела брошюры.

Шаровое скопление — это звездная система. Населяющие его звезды гравитационно взаимодействуют друг с другом, с окружающими звездами, газопылевыми облаками, скоплениями, с общим гравитационным полем Галактики. При этом постепенно меняется структура шарового скопления. Интересно знать, какова структура шарового скопления в настоящее время. Для этого используют методику фотометрического измерения поверхностной яркости, наиболее эффективную во внутренних частях шарового скопления, в сочетании со звездными подсчетами на периферии скопления. Из таких наблюдений можно вывести ряд важных параметров; прежде всего удастся судить о том, насколько сильно звезды шарового скопления концентрируются к его центру.

В среднем чем массивнее шаровое скопление, тем сильнее оно сконцентрировано. Но из этого правила немало исключений: В частности, звезды самого массивного шарового скопления Галактики, ω Центавра, концентрируются к его центру довольно слабо.

Несколько лет назад теоретики, специализирующиеся в области динамики звездных систем, выявили очень интересное явление, которое должно происходить при динамической эволюции шаровых скоплений. Оказалось, что при некоторых условиях сжатие центральной области шаровых скоплений приобретает почти катастрофический характер. Не сразу удалось даже найти те процессы, которые могли бы приостановить гравитационное сжатие ядра. Все же они существуют и связаны с наличием в сжимающемся ядре скопления двойных звезд.

К тому моменту, когда сжатие приостановится, структура скопления изменится довольно сильно. Внешние зоны скопления, впрочем, остаются близкими по структуре к традиционным моделям шарового скопления, которые разработал 20 лет назад американский теоретик А. Кинг. А вот поверхностная яркость в самой центральной области будет иметь острый пик очень малых угловых размеров, существенно отличающий струк-

туру внутренних частей претерпевшего коллапс ядра шарового скопления от предсказываемой моделями Кинга. Пик яркости — очень устойчивая структурная деталь, он будет существовать, заметно не размываясь, многие миллиарды лет.

Результаты теоретиков были подтверждены наблюдениями. Оказалось, что острый центральный пик яркости имеют свыше 20% всех шаровых скоплений Галактики. Среди них два рентгеновских шаровых скопления — М 15 и NGC 6624. Но поскольку другие шаровые скопления с рентгеновскими источниками такого пика не имеют, приходится заключить, что явление сжатия ядра к наличию в скоплениях рентгеновских источников непосредственного отношения не имеет.

Сейчас перед теоретиками встала еще одна непростая задача. Дело в том, что у нескольких скоплений масса и степень концентрации звезд во внешних частях таковы, что, с точки зрения теории динамической эволюции, эти скопления, несомненно, уже должны были пройти через стадию коллапса ядра. Однако наблюдения не обнаруживают у этих скоплений острого центрального пика яркости. Как избавиться от противоречия, пока неясно.

ЗА ПРЕДЕЛАМИ ГАЛАКТИКИ

Богатое звездами шаровое скопление — это яркий, приметный объект, и его нетрудно обнаружить даже на тех огромных расстояниях, которые отделяют от нас другие галактики. Правда, угловые размеры далеких шаровых скоплений малы, и исследовать индивидуальные звезды удастся лишь в шаровых скоплениях ближайших галактик. В далеких галактиках мы можем изучать лишь суммарные, *интегральные* характеристики скоплений: интегральный блеск, показатели цвета, интегральный спектр скопления. Интерпретация интегральных характеристик должна опираться на те знания, которые получены при «позвездном» изучении шаровых скоплений нашей Галактики и нескольких ближайших галактик.

Прежде всего обратимся к двум знаменитым галактикам Южного полушария неба — к Большому и Малому Магеллановым Облакам. Это две небольшие, весьма близкие к нам галактики, спутники Млечного Пути.

В них тысячи звездных скоплений, в том числе немало скоплений, по внешнему виду очень напоминающих шаровые (см. последнюю страницу обложки). Еще в 20-е годы Э. Кэннон (США), признанный специалист по спектральной классификации, обнаружила, однако, что интегральные спектры шаровых скоплений Магеллановых Облаков можно отнести к спектральному классу А, в то время как шаровые скопления Галактики имеют интегральные спектральные классы F или G.

Спектральный класс звезды в первую очередь характеризует температуру ее поверхности. Звезды спектрального класса А горячее, чем звезды классов F—G. Интегральный спектральный класс звездной системы прежде всего характеризует ее звездный состав. Итак, шаровые скопления Магеллановых Облаков, как показывает результат Э. Кэннон, отличаются по звездному составу от шаровых скоплений Галактики: в Магеллановых Облаках больший вклад в интегральные спектры шаровых скоплений вносят горячие звезды, что в нашей Галактике характерно для рассеянных скоплений.

Вывод об отличиях звездного состава был уточнен и подтвержден в 50—60-е годы по результатам интегральной фотометрии шаровых скоплений Магеллановых Облаков. Вначале С. Гасконь (Австралия) и Дж. Крон (США), а затем С. ван ден Берг и Г. Хаген (Канада) показали, что по фотометрическим данным шаровые скопления Магеллановых Облаков можно разделить на «красные» и «голубые» (рис. 8). «Красные» скопления, в общем, похожи по своим свойствам на шаровые скопления Галактики, а «голубые» скопления, будучи очень похожими на них по внешнему виду, имеют более голубой цвет, что указывает на существенные отличия звездного состава.

Впоследствии шаровые скопления Магеллановых Облаков, подобно шаровым скоплениям нашей Галактики, стали исследовать «позвездно», для них были построены диаграммы Герцшпрунга—Ресселла. Оказалось, что на этих диаграммах «голубых» скоплений выделяется участок главной последовательности, населенный горячими звездами высокой светимости, т. е. «голубые» шаровые скопления Магеллановых Облаков похожи на молодые рассеянные скопления Галактики.

«Красные» скопления имеют больший возраст, но если в нашей Галактике все шаровые скопления при-

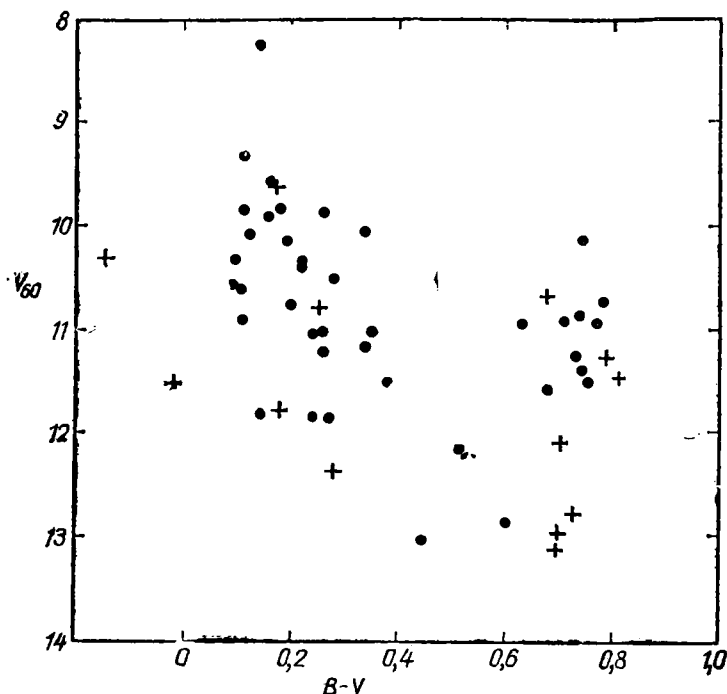


Рис. 8. Диаграмма «звездная величина — показатель цвета» для шаровых скоплений Магеллановых Облаков (по С. ван ден Бергу и Г. Хаген). Звездная величина скопления, измеренная фотозлектрически в диафрагме диаметром 60", отложена в зависимости от интегрального показателя цвета. Крестики — скопления Малого Магелланова Облака. «Голубые» скопления имеют $(B-V) < 0,4^m$

мерно одинаково старые, то диапазон возрастов «красных» шаровых скоплений Магеллановых Облаков весьма широк. Среди них преобладают так называемые скопления промежуточного возраста, скорее, похожие на самые старые из рассеянных скоплений Галактики. К подлинно старым шаровым скоплениям Магеллановых Облаков можно причислить лишь те скопления, в которых имеются звезды типа RR Лиры. Таких скоплений всего 7, и диапазон их возрастов также заметно шире, чем у шаровых скоплений Галактики.

Создается впечатление, что в нашей Галактике условия для формирования массивных звездных скоплений существовали лишь в течение очень ограниченного

периода на заре ее существования, в Магеллановых Облаках подходящие условия существуют с самого начала и до нынешних времен.

Несколько сот шаровых скоплений выявлено в большой галактике Андромеды (М 31). Общее число шаровых скоплений в этой галактике оценивается примерно в 500. В целом система шаровых скоплений Туманности Андромеды довольно похожа на систему шаровых скоплений нашей Галактики, но есть и некоторые отличия. Так, в М 31 найдено несколько шаровых скоплений с показателями цвета, более голубыми, чем у самых голубых из известных шаровых скоплений Галактики. Далее, по косвенным данным высказано предположение, что большинство шаровых скоплений галактики М 31 при сравнительно высоком содержании тяжелых элементов (как у 47 Тукана, шарового скопления Галактики с довольно высоким содержанием тяжелых элементов) имеет развитую голубую горизонтальную ветвь. Проверка этой гипотезы будет возможна только после вывода на околоземную орбиту крупного оптического телескопа.

В небольшой спиральной галактике М 33 (Туманность Треугольника) также обнаружены многочисленные звездные скопления. Здесь ситуация очень напоминает Магеллановы Облака. Шаровые скопления галактики М 33 довольно равномерно распределены по показателю цвета, откуда делают вывод, что в этой галактике немало массивных скоплений всех возрастов.

К очень интересным результатам привели исследования шаровых скоплений в более далеких галактиках, входящих, в частности, в знаменитое скопление галактик в созвездии Девы. В центре этого скопления галактик расположена гигантская эллиптическая галактика М 87, обладающая мощной системой шаровых скоплений. Их насчитывают несколько тысяч, а общую численность оценивают тысяч в 15. Тысячи шаровых скоплений найдены и у других галактик скопления в Деве. Много шаровых скоплений найдено также у некоторых галактик вне скопления галактик в созвездии Девы. Так, в галактике NGC 5128 (Центавр А), долгое время считавшейся аномально бедной скоплениями, сейчас шаровых скоплений насчитывают до 1500.

Чтобы сравнить различные галактики между собой по богатству шаровыми скоплениями, число этих ско-

плений пересчитывают на стандартное богатство галактики (а точнее, ее сферической составляющей) звездами. Таким стандартом является воображаемая галактика, в которой все звезды, находящиеся в гало, излучают в сумме столько же света, как и звезда минус 15-й абсолютной величины; пересчитанное к стандарту богатство шаровыми скоплениями называют удельным богатством и обозначают буквой S . Одно время казалось, что галактика М 87 ($S=15$) — уникальный объект по этому параметру. Такое необыкновенное богатство шаровыми скоплениями объясняли исключительным, центральным положением М 87 в богатом звездами скоплении галактик и связывали его с тем, что М 87 «проглотила» ряд окружающих галактик и обогатила за их счет свою систему шаровых скоплений.

Сейчас известно, что М 87 вовсе не является рекордсменом по параметру S ; для некоторых других галактик S достигает 20 и даже, возможно, 30. Тем не менее индекс S действительно связан с окружением галактики. У галактик в богатых скоплениях галактик он в среднем выше, чем у галактик в малых группах.

У детально изученных эллиптических галактик свечение звезд гало заметно сильнее сконцентрировано к центру, чем система шаровых скоплений. Считают, что темное несветящееся вещество концентрируется еще слабее, чем системы скоплений. Если судить по показателю цвета, то создается впечатление, что шаровые скопления несколько старше, чем звезды гало на том же расстоянии от центра галактики. Эти результаты очень важны для понимания происхождения скоплений.

Так называемые карликовые сфероидальные галактики сами несколько напоминают шаровые скопления. Первую такую галактику в созвездии Скульптора обнаружил Х. Шепли. Сейчас вблизи нашей Галактики известно 7 таких объектов и еще 3 — вблизи галактики М 31. По богатству звездами карликовые сфероидальные галактики мало отличаются от самых крупных шаровых скоплений (таких, как ω Центавра). Встречаются в них звезды типа RR Лиры. Интересно, что одна из карликовых сфероидальных галактик в созвездии Печи сама имеет 6 шаровых скоплений. Конечно, значение S у этой галактики аномально высоко, но получается оно из сравнительно малого числа скоплений, поэтому статистическая значимость его невелика. Ему не придавали

значения, но в самое последнее время начинают думать, что повышенное S характерно и для некоторых других карликовых спутников галактик (галактику в созвездии Печи можно рассматривать как спутник нашей Галактики).

До недавнего времени, говоря о карликовых сфероидальных галактиках, обычно подчеркивали именно их немалое сходство с шаровыми скоплениями. Представлялось, что это — такие же старые, бедные тяжелыми элементами объекты, только расположенные дальше от нашей Галактики (или от Туманности Андромеды) и потому не ограниченные в размерах ее приливным полем. Последнее обстоятельство делает карликовые сфероидальные галактики разреженными образованиями, со слабой концентрацией звезд к центру.

Выступая на симпозиуме по шаровым скоплениям в августе 1986 г., американский астрофизик Г. Да Коста особо выделил, однако, ряд более принципиальных отличий карликовых сфероидальных галактик от шаровых скоплений. Во-первых, карликовые галактики намного богаче аномальными цефеидами: если во всех шаровых скоплениях Галактики, как мы видели, известна только одна аномальная цефеида (в NGC 5466), то в карликовых сфероидальных галактиках их не менее 25. Далее, для карликовых галактик характерны весьма большие вариации содержания тяжелых элементов от звезды к звезде.

Во многих таких галактиках есть и старые, и молодые звезды, в то время как все звезды каждого шарового скопления, по-видимому, образовались практически одновременно. В некоторых карликовых сфероидальных галактиках старые звезды даже не преобладают, а образование звезд продолжается в современную эпоху.

Как же представить себе в свете информации о шаровых скоплениях в различных галактиках процессы формирования шаровых скоплений?

Традиционная точка зрения здесь такова. Система шаровых скоплений формируется во время гравитационного сжатия своей протогалактики и продолжительность этой стадии определяет максимальные различия в возрасте между входящими в систему шаровыми скоплениями. Что касается различий между галактиками, подобными Млечному Пути, где есть только «красные» шаровые скопления, и галактиками, подобными Магел-

лановым Облакам, где имеются и «голубые» шаровые скопления, то они могут быть связаны с тем, что Магеллановы Облака и сходные с ними галактики не пережили фазы общего сжатия.

Такая картина не свободна от недостатков. Не ясно, например, как могло получиться, что звезды гало галактики моложе, чем шаровые скопления на том же расстоянии от центра галактики. К проблеме можно подойти с другой стороны. Посмотрим, в каких именно галактиках шаровые скопления могут образовываться и сейчас: отождествив такие галактики, мы приблизимся к пониманию условий, благоприятных для формирования скоплений.

По-видимому, сейчас образование шаровых скоплений эффективно идет лишь в небольших галактиках с хорошо развитым населением диска, подобных Магеллановым Облакам или спиральной галактике М 33. Именно в таких галактиках широко представлены «голубые» шаровые скопления. Отсюда некоторые теоретики делают вывод, что именно в таких галактиках образовались и остальные шаровые скопления, а нынешние крупные галактики с богатыми системами шаровых скоплений возникли в результате слияний небольших первичных галактик. Обсуждаются и различные варианты концепции, согласно которой шаровые скопления вообще существовали прежде галактик.

При некоторых вариантах нетрадиционного подхода, который сейчас пользуется большой популярностью, удастся объяснить соотношение возраста между звездами гало галактики и шаровыми скоплениями, а также понять причины, по которым индекс удельного богатства галактики шаровыми скоплениями S выше в богатых скоплениях галактик, чем в малых группах. Ни тот, ни другой подход пока не может удовлетворительно объяснить, почему темное вещество слабее концентрируется к центрам галактик, чем системы шаровых скоплений.

Против нетрадиционного подхода также имеется ряд возражений, на которые постоянно призывает обратить пристальное внимание известный канадский астроном С. ван ден Берг. Вкратце они сводятся к тому, что при нетрадиционном подходе трудно понять происхождение наблюдаемых различий между системами шаровых скоплений у разных галактик, а также причины появления

зависимости свойств скоплений, прежде всего содержания тяжелых элементов, от расстояния от центра Галактики.

Напомним, что если и удастся построить теорию, объясняющую происхождение протоскоплений с примерно подходящими свойствами, то современные свойства систем скоплений должна в первую очередь объяснять теория распада скоплений.

ВМЕСТО ЗАКЛЮЧЕНИЯ

Как надеется автор, у читателя сложилось впечатление, что шаровые скопления — одни из интереснейших объектов современной астрофизики. Недаром изучению шаровых скоплений Галактики, Магеллановых Облаков, Туманности Андромеды отведено много места в программах наблюдений будущего Космического телескопа им. Э. Хаббла. Планируется получение диаграмм Герцшпрунга—Ресселла практически всех звезд в самых центральных областях скоплений, где при наземных наблюдениях из-за недостаточного углового разрешения все сливается в общий плотный фон. Диаграммы Герцшпрунга—Ресселла для шаровых скоплений Галактики будут также продлены в сторону слабых звезд, будет получена надежная информация о последовательностях белых карликов.

Можно будет изучать структуру центрального пика яркости в скоплениях, испытавших коллапс ядра. Возможны детальные исследования структуры шаровых скоплений Магеллановых Облаков. В галактике М 31 планируется получить для шаровых скоплений диаграммы Герцшпрунга—Ресселла, достигающие горизонтальной ветви, и посмотреть, как зависит морфология горизонтальной ветви от металличности.

Но шаровые скопления — это еще и одни из самых эффектных объектов на ночном небе, доступные наблюдениям с самыми скромными средствами, начиная с театрального бинокля. Очень рекомендую тем читателям, которые никогда не видели шаровых скоплений, обязательно попытаться разыскать их на небе. В Северном полушарии наиболее красивыми и доступными для любительских наблюдений являются, конечно, шаровые скопления, входящие в каталог Мессье. Их координаты приведены в таблице, а поиск облегчит любая звездная

Яркие шаровые скопления

Номер Мессье (или иное обозначе- ние)	Номер NGC — каталога	Прямое восхожде- ние 2000,0	Склонение 2000,0	Созвездие	$V_{\text{лит}}$
М 2 ¹	7089	21 ^h 33,5 ^m	—00°49'	Водолей	6,56
М 3 ²	5272	13 ^h 42,3 ^m	+28°22'	Гонимые Псы	6,30
М 4 ^{1, 3}	6121	16 ^h 23,6 ^m	—26°30'	Скорпион	5,35
М 5 ¹	5904	15 ^h 18,6 ^m	+02°06'	Змея	5,68
М 9 ²	6333	17 ^h 19,2 ^m	—18°32'	Змееносец	7,79
М 10 ²	6254	16 ^h 57,1 ^m	—04°06'	Змееносец	6,64
М 12 ²	6218	16 ^h 47,2 ^m	—01°58'	Змееносец	6,05
М 13 ¹	6205	16 ^h 41,7 ^m	+36°27'	Геркулес	5,84
М 14 ²	6402	17 ^h 37,6 ^m	—03°17'	Змееносец	7,61
М 15 ¹	7078	21 ^h 30,0 ^m	+12°11'	Пегас	6,26
М 19 ²	6273	17 ^h 02,5 ^m	—26°15'	Змееносец	6,81
М 22 ¹	6656	18 ^h 36,3 ^m	—23°56'	Стрелец	5,16
М 28 ²	6626	18 ^h 24,5 ^m	—24°52'	Стрелец	6,90
М 30 ²	7099	21 ^h 40,3 ^m	—23°11'	Козерог	6,89
М 53 ¹	5024	13 ^h 12,9 ^m	+18°10'	Волосы Вероники	7,66
М 54 ²	6715	18 ^h 55,2 ^m	—30°28'	Стрелец	7,68
М 55 ^{1, 8}	6809	19 ^h 40,1 ^m	—30°56'	Стрелец	(6,19)
М 56 ²	6779	19 ^h 16,6 ^m	+30°10'	Лиры	8,37
М 62 ²	6266	17 ^h 01,3 ^m	—30°07'	Змееносец	6,35
М 68 ⁴	4590	12 ^h 39,4 ^m	—26°45'	Гидра	7,27
М 69 ¹	6637	18 ^h 31,3 ^m	—32°21'	Стрелец	7,72
М 70 ^{2, 8}	6681	18 ^h 43,2 ^m	—32°18'	Стрелец	(7,99)
М 71 ¹	6838	19 ^h 53,7 ^m	+18°47'	Стрела	8,39
М 72 ⁴	6981	20 ^h 53,5 ^m	—12°32'	Водолей	9,22
М 75 ⁴	6864	20 ^h 06,2 ^m	—21°56'	Стрелец	8,59
М 79 ⁴	1904	5 ^h 24,2 ^m	—24°32'	Заяц	7,70
М 80 ²	6093	16 ^h 17,1 ^m	—23°00'	Скорпион	7,31
М 92 ¹	6341	17 ^h 17,2 ^m	+43°08'	Геркулес	6,52
М 107 ^{4, 5, 8}	6171	16 ^h 32,5 ^m	—13°02'	Змееносец	(8,24)
47 Тукана ⁶	104	0 ^h 24,1 ^m	—72°04'	Тукан	4,02
☉ Центавра 6, 7, 8	5139	13 ^h 26,8 ^m	—47°29'	Центавр	(3,65)

Примечания. 1. Скопление наблюдал Мессье, но он не был первооткрывателем. 2. Скопление открыл Мессье. 3. Единственное шаровое скопление, которое Мессье не принял за туманность. 4. Скопление открыл Мешэн. 5. Скопление, добавленное к каталогу Мессье в XX в. по предложению Х. Соьер-Хогг, поскольку оно упоминается в письме Мешэна от 6 мая 1783 г., адресованном Бернул-ли. 6. Скопления нет в каталоге Мессье, хотя оно было открыто до публикации каталога. 7. В популярном среди любителей астрономии «Атласе звездного неба... до 6,5 величины» А. А. Михайлова (1973 года издания) скопление нанесено на 5° к северу от истинного положения; в приложенном к атласу каталоге положение скопле-ния указано верно. Ошибка найдена автором при попытке отыскать скопление на небе в бинокль. 8. Величина $V_{\text{лит}}$ дана согласно ра-боте Б. В. Кукаркина и Н. Н. Киреевой, опубликованной в 1979 г.

карта. Многие интересные южные скопления в таблицу не попали, они не входят в каталог Мессье и не видны в СССР, однако не дополнить таблицу скоплениями Южного полушария 47 Тукана и ω Центавра было просто невозможно. Второе из них в принципе можно увидеть близко к горизонту в самых южных частях нашей страны.

Приведенная в таблице интегральная видимая величина шарового скопления в визуальных лучах $V_{\text{инт}}$ позволит подобрать для первых наблюдений наиболее яркие объекты. Величины $V_{\text{инт}}$ в основном заимствованы из препринта Ч. Питерсона и Р. Рида (1986 г.). Номера NGC соответствуют «Новому генеральному каталогу» И. Дрейера — это самые распространенные обозначения для более слабых шаровых скоплений. Обратите внимание, что скопления 47 Тукана и ω Центавра обозначены по системе, принятой для звезд.

В подробных описаниях вида скоплений и туманностей в каталоге Мессье практически все шаровые скопления описаны как «туманность без звезды»; у многих ярких скоплений отмечено, что яркость повышается к центру. В остальном различия в описаниях касаются видимого блеска объектов и возможности их обнаружения в телескопы различного диаметра.

Желаю читателям успеха в их поисках на небе!

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

№ 1 и 2 могут быть рекомендованы подготовленным читателям (№ 1 — вузовское учебное пособие, капитальная монография; № 2 — обзор, рассчитанный на астрономов); № 3—6 — научно-популярные статьи.

1. Холопов П. Н. Звездные скопления. — М.: Наука, 1981.
(2. Самусь Н. Н. Шаровые звездные скопления / ВИНТИ. Итоги науки и техники; сер. Астрономия. — Т. 27. — 1985. — С. 3—101.

3. Самусь Н. Н. Шаровые скопления — свидетели юности Галактики. — Природа. — 1976. — № 9. — С. 16—25.

4. Расторгуев А. С. Звезды шаровых скоплений. — Земля и Вселенная. — 1978. — № 4. — С. 16—21.

5. Сурдин В. Г. Эволюция шаровых скоплений. — Земля и Вселенная. — 1978. — № 4. — С. 22—27.

6. Самусь Н. Н. Шаровые скопления, старые и молодые. — Земля и Вселенная. — 1984. — № 6. — С. 20—25.

7. Ефремов Ю. Н. Звездные скопления. — М.: Знание, 1980.

НОВОСТИ АСТРОНОМИИ

НОВОЕ О КВАЗАРАХ

Квazarы известны больше 25 лет, но и до сих пор во многом остаются загадочными для астрономов. Они по-прежнему привлекают к себе постоянный интерес со стороны как теоретиков, так и наблюдателей, и с каждым годом все больше множится статистический материал о квазарах, открываются новые квазары, часто с весьма необычными свойствами. И за все эти годы не утихают споры о природе огромного красного смещения линий в спектрах квазаров ($z = \Delta\lambda/\lambda$), хотя большинство астрономов приписывают этому красному смещению доплеровскую природу, что делает квазары самыми далекими и самыми мощными по своему излучению объектами расширяющейся Метагалактики. Однако, если красное смещение квазаров вызвано эффектом Доплера, то некоторые из них по мощности своего излучения в тысячи раз должны превосходить Галактику, и этот результат особенно впечатляет, если учесть, что, согласно современным представлениям, квазары являются активными ядрами очень далеких галактик. И поэтому не удивительно, что время от времени отдельными астрономами делались попытки подвергнуть сомнению доплеровскую природу красных смещений квазаров и, в частности, приводились примеры близких пар квазара и галактики с сильно различающимися красными смещениями. Правда, подобные примеры вполне объяснимы случайным проецированием на небе квазара и галактики, разделенных на самом деле огромным расстоянием, да и не существует других непротиворечивых физических механизмов красного смещения квазаров, помимо эффекта Доплера. Тем не менее продолжают выдвигаться различные случаи близко расположенных на небе квазара и галактики с различными красными смещениями, имеющих, в частности, признаки приливного взаимодействия друг с другом. В этой связи в 1986 г., например, было обращено внимание на квазар Q 1701+610, у которого канадские астрономы Дж. Хатчингс, П. Хиксон и В. де Робертис обнаружили искривленный хвост, протянувшийся на угол вое расстояние около 40". Наличие подобных хвостов у галактик обычно связывается с действием приливного воздействия со стороны близлежащих галактик. Так и в случае квазара Q 1701+610 с красным смещением $z=0,169$ было заподозрено, что приливное воздействие на него оказывают две близлежащие галактики, обладающие, правда, красным смещением всего $z=0,05$. Однако близость этих галактик к квазару вполне может оказаться следствием случайного проецирования объектов на небе, а не действительной бли-

зостью в пространстве, тем более что это уже второй квазар, у которого обнаружен приливной хвост, но вблизи первого квазара в хвостом никаких галактик поблизости не обнаружилось.

До недавнего времени серьезным аргументом в пользу чрезвычайной удаленности квазаров было обнаружение близко расположенных друг к другу квазаров с одинаковыми характеристиками, в том числе и одинаковым красным смещением. Существование таких кратных (двойных и тройных) квазаров объяснялось действием эффекта гравитационной линзы, согласно которому несколько изображений одного и того же квазара образуется за счет искривления лучей его света гравитационным полем более близкой к нам галактики. Хотя поиск самих этих галактик для всех кратных квазаров ознаменовался противоречивыми результатами, тем не менее гипотеза «гравитационной линзы» в последние годы была весьма популярной у астрономов. В 1986 г. появилось сообщение уже о седьмом кратном квазаре, который связывался с действием эффекта гравитационной линзы, но прошло совсем немного времени после этого сообщения, как гипотеза «гравитационной линзы» подверглась серьезной критике. Американские ученые Дж. и Н. Бакалл, а также Д. Шнайдер, проанализировав все данные о кратных квазарах, феномен которых связывался с действием эффекта гравитационной линзы, обнаружили, что в ряде случаев характеристики компонентов кратных квазаров весьма отличаются, в частности, это касается спектров компонентов. Иначе говоря, были приведены убедительные доводы в пользу того, что все рассмотренные семь случаев кратных квазаров вполне могут вызываться не близким проецированием на небе нескольких изображений одного и того же квазара за счет эффекта гравитационной линзы, а пространственной близостью двух (или трех) различных квазаров. Особенно это касается двойных квазаров, поскольку согласно теории гравитационной линзы должно образовываться не два, а три одинаковых изображения квазара. Однако даже если гипотеза «гравитационной линзы» на самом деле окажется несостоятельной, это несколько не должно повлиять на представление о квазарах как чрезвычайно далеких объектах, основанное на доплеровском характере их красных смещений. Ведь склонность группироваться весьма характерна для мира галактик, среди которых наблюдаются и тесные пары так называемых взаимодействующих галактик. В этом смысле существование близких пар и групп квазаров вовсе не удивительно. Кстати, наличие квазаров в некоторых скоплениях галактик при практически одинаковом красном смещении всегда было самым весомым аргументом в пользу интерпретации красного смещения квазаров эффектом Доплера. Кроме того, надо отметить, что неприятные для некоторых астрономов такой интерпретации было во многом обус-

ловлено существенной разницей в значениях между красными смещениями галактик и квазаров. Однако сейчас известны галактики, имеющие красные смещения, которые более чем на порядок превосходят красное смещение некоторых квазаров (например, красное смещение известного квазара 3С 273 равно $z=0,158$, а радиогалактики 3С 256 — $z=1,819$). Все это лишний раз убеждает в том, что красное смещение квазаров действительно имеет доплеровскую природу и что эти объекты удалены от нас на чрезвычайно огромные расстояния.

Интересно, что еще 15 лет назад распределение квазаров в расширяющейся Метагалактике, казалось, определяло некоторую эпоху возникновения квазаров, так как допускалось наличие предельного значения для красных смещений квазаров (где-то около $z=2,5$). Поскольку излучение от квазаров распространяется с конечной скоростью света, то наличие предельного расстояния квазаров (обусловленного предельным красным смещением) строго определяет соответствующий момент времени в прошлом, когда квазаров еще не было. Однако впоследствии были обнаружены квазары с красными смещениями $z>3$, и этим соответственно «отодвигалась» в еще более далекое прошлое эпоха возникновения квазаров, а точнее, галактик, поскольку, как уже говорилось, квазары являются активными ядрами очень далеких галактик. Наконец, 12 августа 1986 г. П. Хьюэтт и Р. Макмагон обнаружили квазар с феноменальным красным смещением $z=4,01$, и это открытие сильно поколебало уверенность астрономов в том, насколько далеко в прошлом была эпоха образования галактик, да и вообще вызывают сомнение существующие оценки возраста Метагалактики, выведенные из теории космологического расширения (в последние годы появились и другие аргументы, свидетельствующие против этих оценок). Подобное сомнение, в частности, выразил английский астроном лауреат Нобелевской премии М. Рис, который предположил, что существуют квазары с красными смещениями $z>5$ и в конечном счете они будут когда-нибудь обнаружены. А ведь сравнительно недавно в космологических теориях предполагалось, что эпоха возникновения галактик соответствует расстояниям, характеризующим интервалом значений красных смещений $z=2-5$. Обнаружение все более далеких квазаров сужало этот интервал красных смещений к значению $z=5$. Но обнаружение квазаров с красным смещением $z>5$, естественно, крайне нежелательно для современных космологических теорий. Правда, положение опять же спасает предположение о том, что по крайней мере некоторая часть красного смещения квазаров вызвана не эффектом Доплера, а каким-то другим процессом. В то же время открытие квазаров с красным смещением $z>5$ может произойти довольно нескоро, так как квазар

с красным смещением $z=4,01$ был обнаружен почти через 10 лет после открытия квазара с красным смещением $z=3,53$. Интересно отметить, что успех в этих поисках во многом зависит от прогресса в технике астрономических наблюдений в инфракрасном диапазоне, поскольку в этот диапазон попадает линия водорода 121,6 нм при красном смещении $z>5$ (именно по этой линии, смещенной в спектре квазара к длине волны около 600 нм, было и зарегистрировано красное смещение $z=4,01$).

Такой прогресс явно намечается в настоящее время, особенно после успешной работы астрономического спутника «ИРАС» с инфракрасным телескопом, позволившим зарегистрировать множество дискретных источников (весьма возможно, что среди них есть и сверхдалекие квазары с $z>5$). Кстати, в 1986 г. появилось сообщение об обнаружении среди этих источников квазара 13 349+2438 с весьма удивительным свойством: в отличие от остальных квазаров, излучающих максимум энергии в ультрафиолетовом диапазоне, он излучает 90% энергии в инфракрасном диапазоне. Как ни странно на первый взгляд, но открытие столь уникального квазара, опровергавшее сложившиеся представления о механизме их излучения, чрезвычайно обрадовало астрономов. Дело в том, что этот квазар с красным смещением $z=0,1$ очень удобно «вписался» как недостающее промежуточное звено между «обычными» активными ядрами так называемых сейфертовских галактик и квазарами. По своим спектральным характеристикам инфракрасный квазар весьма напоминает сейфертовские галактики, а существование инфракрасного максимума достаточно объяснимо наличием большого количества пыли вокруг активного центрального ядра. По мнению американских ученых, обнаруживших этот инфракрасный квазар, такая ситуация характерна для молодых квазаров, со временем же пыль вокруг центрального ядра рассеивается и квазар становится «обычным». Правда, более общепринятой точкой зрения является то, что, чем дальше от нас расположен квазар и чем «ближе» он к эпохе возникновения галактик, тем он моложе. Однако предположение американских ученых может и не противоречить этим представлениям, если допустить, что активность ядра вовсе не связана с молодостью галактики и возникает спустя какое-то время в жизни галактики. В этом случае «молодость квазара» должна пониматься как сравнительно непродолжительная стадия после возникновения активности у ядра галактики, и эта стадия пока недоступна наблюдениям у очень далеких квазаров, «находящихся» вблизи эпохи возникновения галактик (напомним еще раз, что квазары являются активными ядрами далеких галактик).

Обнаружение инфракрасного квазара, несомненно, станет стимулом для поиска других квазаров в инфракрасном диапазоне, а

это со временем может привести не только к открытию новых «пылевых» квазаров, но и, возможно, к обнаружению самых далеких квазаров с $z > 5$.

Дальнейший прогресс в области инфракрасной астрономии, безусловно, связан с разработкой специализированных искусственных спутников Земли, оснащенных инфракрасными телескопами. Об этом свидетельствует огромный успех при реализации программы наблюдений с помощью инфракрасного телескопа на борту спутника «ИРАС». Западноевропейские ученые, воодушевленные этим успехом, планируют продолжить подобные наблюдения в начале 1990-х годов с помощью спутника «ИСО», оснащенного инфракрасным телескопом с чувствительностью, в сотни раз более высокой, чем у телескопа спутника «ИРАС». Недавно наблюдения квазаров с использованием искусственного спутника Земли ознаменовались новым достижением при исследовании структуры распределения областей их радиоизлучения. Летом 1986 г. и в начале 1987 г. 4,9-метровая радиоантенна американского спутника «ТДРСС» была применена в качестве элемента своеобразного радиоинтерферометра с наземными радиоантеннами дальней космической связи в Японии и в Австралии в качестве других элементов. Расстояние между разнесенными в пространстве элементами такого радиоинтерферометра, или, как говорят радиоастрономы, база радиоинтерферометра, составляло до 1,4 диаметра Земли летом 1986 г., при этом удалось достичь разрешения $0,0002''$. При экспериментах со спутником «ТДРСС» определенная трудность возникла в связи с отсутствием генератора частоты на его борту, и поэтому на спутник транслировались эталонные радиосигналы. Надо сказать, данный спутник вовсе не был предназначен для подобного рода экспериментов, которые были осуществлены с целью изучения принципиальной возможности проводить наблюдения квазаров при помощи создания радиоинтерферометров с такими сверхдлинными базами. Однако в настоящее время в США разрабатывается специализированный спутник «Квасат» с бортовой радиоантенной размером около 15 м, который предполагается в середине 1990-х годов как раз использовать для радиоинтерферометрических наблюдений квазаров при столь сверхдлинных базах, намного превышающих размер Земли.

МАГНИТНЫЕ ПОЛЯ БЕЛЫХ КАРЛИКОВ

Магнитные поля, существующие в природе, весьма различны по своей силе и конфигурации. Наиболее мощные магнитные поля свойственны астрономическим объектам, и в частности звездам. Обычно для характеристики этих магнитных полей астрономы используют гауссы, причем в случае астрономических объектов магнитная индукция и напряженность магнитного поля равны (ведь

астрономические объекты окружены сверхглубоким вакуумом). Магнитное поле нашей планеты менее 1 Гс, в земных лабораториях получены магнитные поля в несколько сот тысяч гаусс, однако магнитные поля некоторых астрономических объектов в миллионы раз больше. Последнее предполагается в отношении нейтронных звезд, с помощью которых объясняется феномен пульсаров. Правда, магнитные поля, измеренные у звезд (по поляризации излучения и другим эффектам), несколько меньше. Существует ряд звезд (магнитные звезды), магнитное поле которых, согласно измерениям, составляет от десятков до сотен миллионов гаусс. Самые мощные магнитные поля, измеренные до сих пор, свойственны некоторым белым карликам, представляющим собой позднюю стадию звездной эволюции, и состоящим из так называемого вырожденного вещества. Такое состояние вещества приводит к возникновению звезд с огромной плотностью, недостижимой в случае вещества в обычном состоянии. Сжатие звезды до столь огромных плотностей должно сопровождаться существенным усилением ее магнитного поля, что вполне согласуется с результатами измерений магнитного поля у белых карликов. Однако измерение магнитных полей у белых карликов в последние годы приводит к обнаружению все более и более мощных магнитных полей. В конце 1986 г. появилось сообщение об обнаружении белого карлика PG 1031+234 с наибольшим из известных сейчас магнитным полем. Г. Шмидт и другие американские ученые из университета штата Аризона по поляризации излучения этого белого карлика получили, что его магнитное поле должно составлять от 200 до 500 млн. Гс при максимально возможно значении 700 млн. Гс. Еще каких-то 10 лет назад максимальные из известных магнитных полей у белых карликов были на порядок меньше, и такой прогресс в обнаружении все более мощных магнитных полей у белых карликов начинает настораживать. Современная теория предсказывает, что у белых карликов не может быть магнитного поля более 1 млрд. Гс, а к этому теоретическому пределу уже близки магнитные поля, измеренные у белых карликов. Более мощные магнитные поля могут быть только у нейтронных звезд, у которых вырожденное состояние вещества характеризуется гораздо большей плотностью, чем у белых карликов. То, что измеренные магнитные поля белых карликов могут быть близки к тем значениям, которые свойственны лишь нейтронным звездам, представляет собой пока лишь загадку, но может со временем (при обнаружении белых карликов с магнитными полями более 1 млрд. Гс) привести и к пересмотру сложившихся представлений.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Особенности звездного состава	7
Пути звездной эволюции	14
Звезды-маяки в шаровых скоплениях	19
Звезд мало, а типов много	24
Рентгеновские источники	34
Шаровые скопления движутся по Галактике	42
За пределами Галактики	48
Вместо заключения	55
Рекомендуемая литература	57
НОВОСТИ АСТРОНОМИИ	58

Подписное научно-популярное издание

Николай Николаевич Самусь

ШАРОВЫЕ СКОПЛЕНИЯ

Главный отраслевой редактор *Л. А. Ерлыкин*

Редактор *Е. Ю. Ермаков*

Мл. редактор *Т. Г. Пантелеева*

Обложка художника *А. А. Астрецова*

Худож. редактор *Т. С. Егорова*

Техн. редактор *М. В. Калужная*

Корректор *В. В. Каночкина*

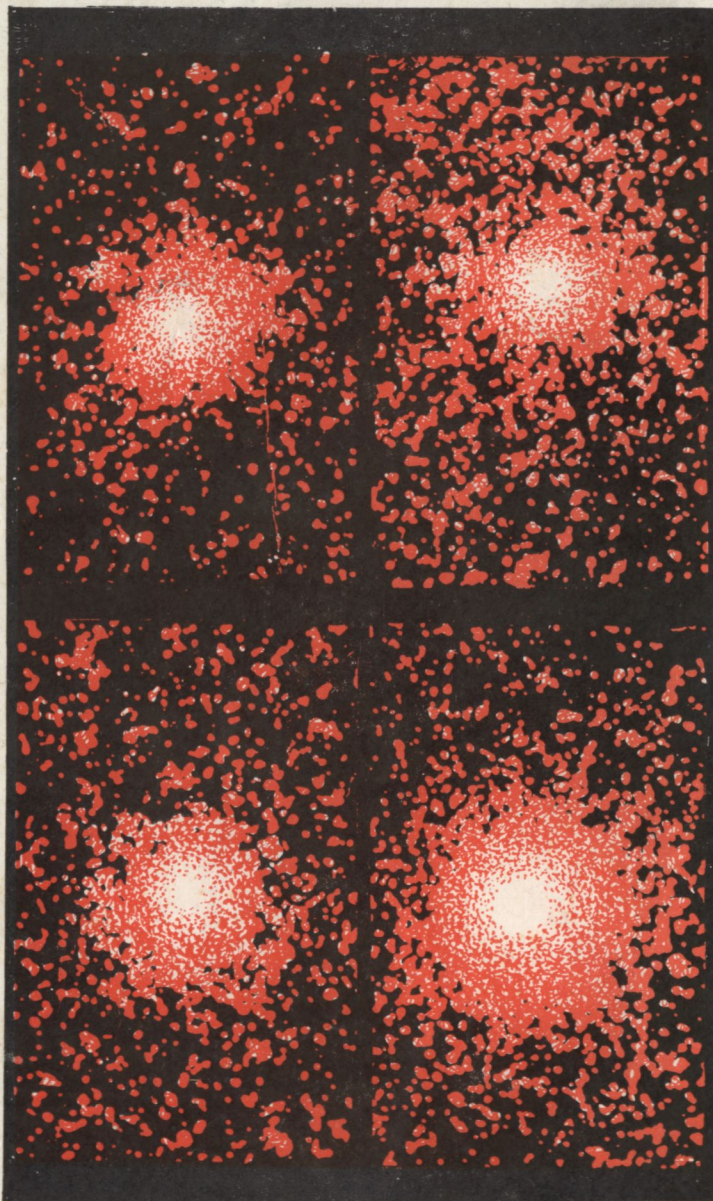
ИБ № 8582

Сдано в набор 21.01.87. Подписано к печати 06.03.87. Т 00413. Формат бумаги 84×108^{1/2}. Бумага тип. № 3. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 3,36. Усл. кр.-отт. 3,57. Уч.-изд. л. 3,60. Тираж 31 943 экз. Заказ 210. Цена 11 коп. Издательство «Знание». 101835, ГСП, Москва, Центр, проезд Серова, д. 4. Индекс заказа 874204.
Типография Всесоюзного общества «Знание». Москва, Центр, Новая пл., д. 3/4.

Космосъ арти

11 коп.

Индекс 70101



СЕРИЯ **КОСМОНАВТИКА,
АСТРОНОМИЯ**