

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
МАТЕМАТИКО-МЕХАНИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА АСТРОФИЗИКИ

Шаровые звёздные скопления

Автор:

Студент 591 группы

Стрекалова Полина Владимировна

Санкт-Петербург 2013

Общие сведения

Шаровые скопления в нашей Галактике - это звёздные скопления с характерным видом диаграммы Герцшпрунга-Рассела, т.е. с характерным звёздным составом. Они представляют собой группы из сотен тысяч старых звёзд, связанных вместе силами взаимного притяжения и обычно заполняющих в пространстве сферический объём. Первое шаровое звёздное скопление М22 было обнаружено немецким астрономом-любителем Абрахамом Айлом (Johann Abraham Ihle) в 1665 году, однако из-за небольшой апертуры первых телескопов различить отдельные звёзды в шаровом скоплении было невозможно. Первым, кто выделил звёзды в скоплении, был Шарль Мессье во время наблюдения шарового скопления М4.

Наша звёздная система включает в себя порядка 150 шаровых звёздных скоплений, в каждом из которых содержится 10^4 - 10^6 звёзд. Шаровые скопления имеют высокую концентрацию звёзд - в среднем около 0,4 звезды на кубический парсек, а в центре скопления 100 или даже 1000 звёзд на кубический парсек. Для сравнения в окрестностях Солнца концентрация составляет 0,12 звёзд на кубический парсек. Массы шаровых скоплений составляют 10^4 - $10^6 M_{\odot}$. Более половины шаровых скоплений расположены не далее 10 кпк от галактического центра и образуют вокруг него протяжённое гало. Остальные распределены в более обширной области, а некоторые далее 50 кпк.



Рис. 1: Шаровое звёздное скопление 47 Тукана¹. Имеет высокую плотность и выраженную сферическую форму.



Рис. 2: Шаровое скопление NGC5053 в созвездии Волосы Вероники². Отличается низкой плотностью и по виду больше походит на рассеяное.

¹http://images.astronet.ru/pubd/2011/01/16/0001249262/47Tuc_DW.jpg

²<http://www.starlab.ru/attachment.php?attachmentid=124036&d=1362836812>

Пространственное распределение шаровых скоплений

Едва ли не треть шаровых скоплений находится в созвездии Стрельца, т.е. в направлении центра Галактики. Это своеобразное распределение шаровых скоплений на небе, впервые обнаруженное Шепли в 1918 году, указывает на то, что центр масс шаровых скоплений не совпадает с Солнцем, а находится в направлении созвездия Стрельца. Концентрация шаровых скоплений в этом созвездии объясняется сильным возрастанием их пространственной плотности к центру Галактики, который, следовательно, должен совпадать с центром системы шаровых скоплений. Таким образом, расстояние до центра системы шаровых скоплений определяет и расстояние Солнца от центра Галактики. По современным оценкам это расстояние равно 8,5 кпк.

Сферическая форма совокупности шаровых скоплений - это следы бывшей формы нашей Галактики. Подавляющее большинство шаровых скоплений возникло на ранних этапах ее развития, в ходе коллапса протяженного медленно вращающегося газового облака. Об этом свидетельствует то, что в звёздных атмосферах старых звёзд шаровых скоплений содержание тяжелых элементов в 20-30 раз ниже, чем в атмосферах Солнца и звёзд рассеянных скоплений, которые формировались позднее из вещества галактического диска, уже обогащенного тяжёлыми элементами при взрывах сверхновых.

Образовавшись из газа, падающего к центру Галактики, шаровые скопления стали двигаться по очень вытянутым орбитам, похожим на орбиты комет в Солнечной системе. Поэтому большую часть своей жизни скопления проводят вдали от центра Галактики и галактической плоскости, но один раз за время каждого оборота, составляющего $10^8 - 10^9$ лет они проходят сквозь плотные центральные области Галактики, где подвергаются разрушительному действию гравитационных приливных сил.

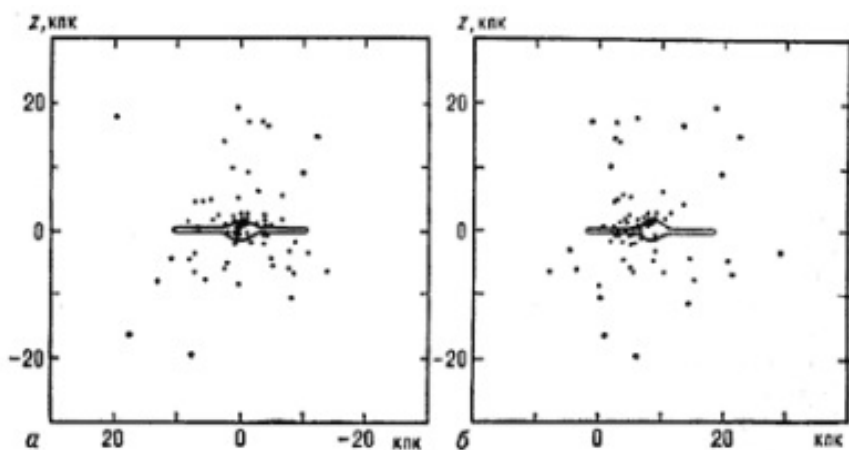


Рис. 3: Распределение шаровых скоплений в Галактике (по данным У. Харриса, 1976 г.), z - расстояние (в кпк) от галактической плоскости в перпендикулярном к ней направлении; а - расположение шаровых скоплений в плоскости, проходящей через галактический центр перпендикулярно направлению на центр Галактики; б - то же в плоскости, проходящей через Солнце, центр Галактики и галактические полюсы.³

³<http://images.astronet.ru/pubd/2003/05/06/0001189979/f719b.gif>

Диаграмма Герцшпрунга-Рассела

Звёздные скопления относят к типу шаровых не по внешнему виду, а по звёздному составу, т.е. по характерному виду их диаграммы Герцшпрунга-Расселла (см. рис. 4), в связи с чем к типу шаровых скоплений отнесены некоторые объекты, по виду, в сущности, неотличимые от рассеянных звёздных скоплений (рис. 2).

На диаграмме Герцшпрунга-Расселла (показатель цвета - видимая звездная величина) типичного шарового скопления М3 непосредственно от главной последовательности (4), населенной звездами-субкарликами, начинается последовательность субгигантов (3), т.е. звезд, уже завершивших период своего нахождения на главной последовательности. К еще более поздним эволюционным стадиям относятся последовательность красных гигантов (1) и горизонтальная ветвь (2), в разрыв которой попадают переменные звезды типа RR Лиры.

В шаровых скоплениях главная последовательность лишена ярких, голубых, массивных звезд. Это связано с большим возрастом скоплений и более быстрой эволюцией массивных звезд по сравнению со звездами малой массы. Массивные звезды за миллиарды лет успели сойти с неё и превратиться в белые карлики, нейтронные звёзды и черные дыры.

Косвенное подтверждение эти идеи нашли в обнаружении рентгеновских источников излучения в шаровых скоплениях. Механизмом такого излучения, как известно, может быть аккреция газа на компактный объект в тесной двойной системе или на чёрную дыру в центре скопления.

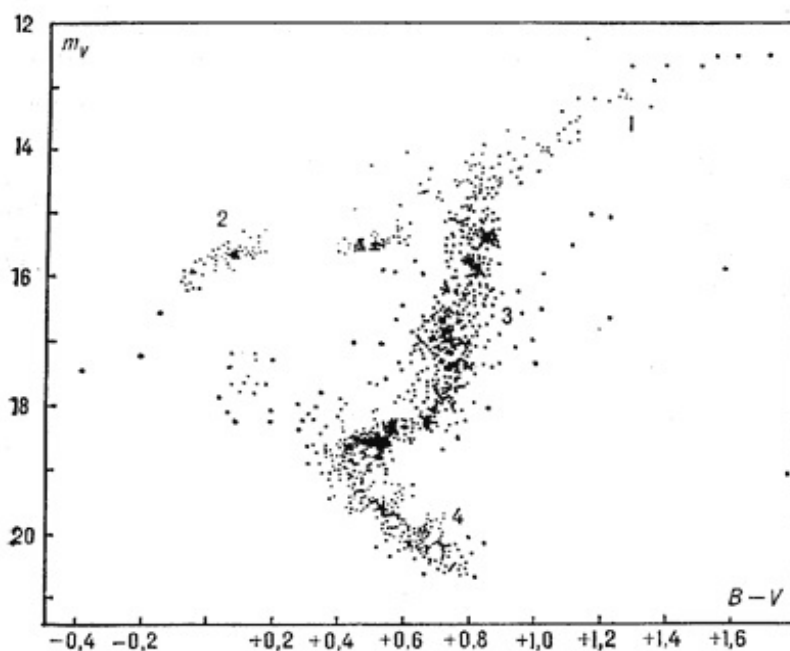


Рис. 4: Диаграмма "показатель цвета - видимая звездная величина" шарового скопления М3 (по данным А. Сандиджа и Х. Джонсона, 1956 г.)⁴

⁴<http://images.astronet.ru/pubd/2003/05/06/0001189979/f720.gif>

Возраст шаровых скоплений

Так как звёзды в шаровых скоплениях появились примерно в одно и то же время, можно судить об общем возрасте шарового скопления. Его можно определить по массе и светимости звёзд главной последовательности, находящихся в точке ее поворота вправо:

$$\tau = 1,1 \times 10^{10} M/L \text{ лет}$$

Чем больше возраст скопления, тем менее массивные, а следовательно, и менее яркие звёзды располагаются вблизи точки поворота. Таким образом, со временем точка поворота движется вниз по главной последовательности.

В настоящее время у большинства шаровых скоплений вблизи точки поворота находятся звёзды с массами $M \sim 0,8M_{\odot}$, а главная последовательность на диаграмме Герцшпрунга-Рассела населена маломассивными звёздами с массами $M \leq 0,8M_{\odot}$. Таким образом, шаровые звёздные скопления оказываются незаменимыми для изучения поздней эволюции звёзд с массами, меньшими солнечной, представляющих наиболее многочисленное население Галактики.

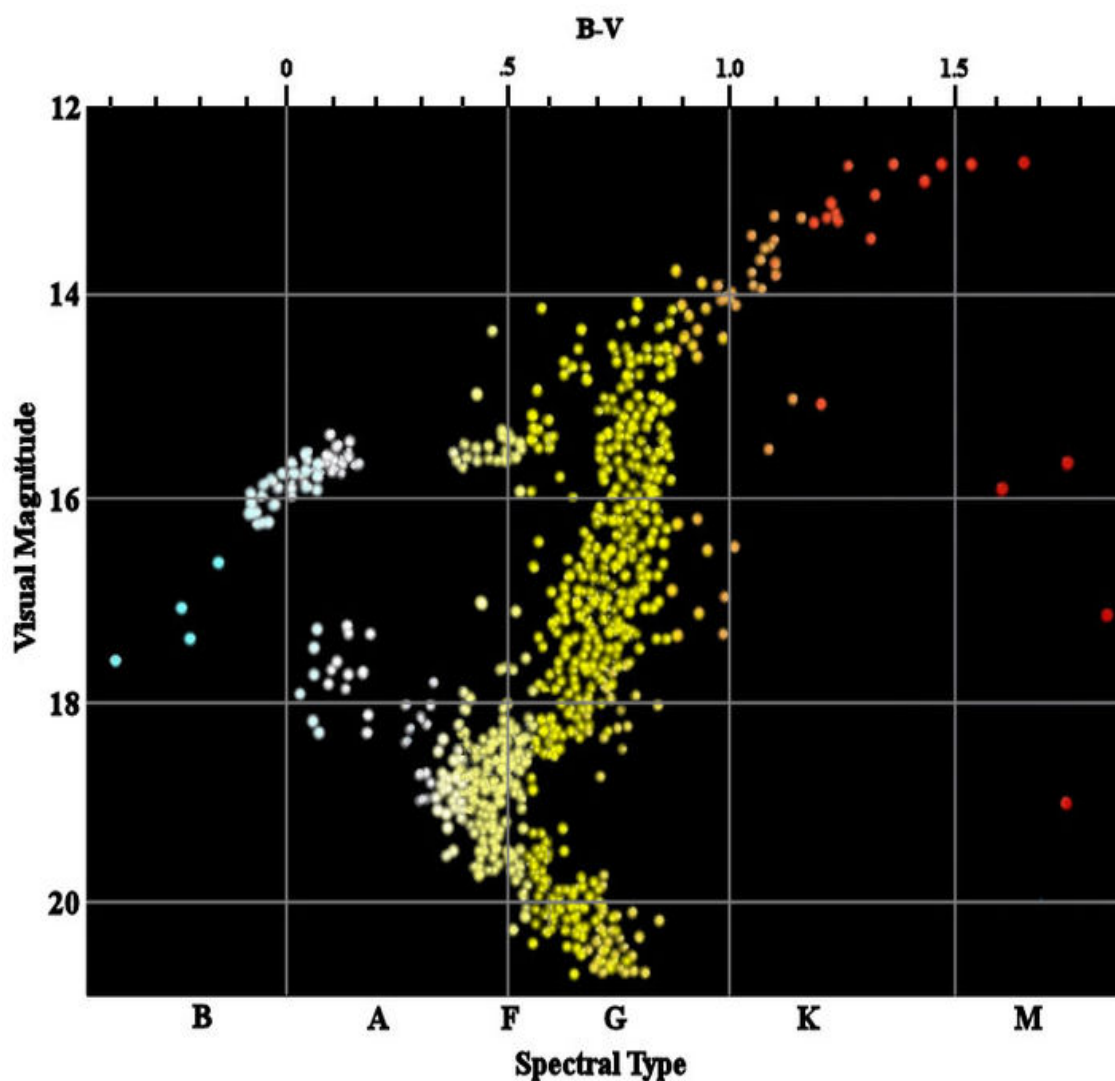


Рис. 5: Цветная диаграмма Герцшпрунга-Рассела для шарового скопления M3⁵

⁵http://commons.wikimedia.org/wiki/File:M3_color_magnitude_diagram.jpg

Звёздное население шаровых скоплений

Звёздный состав шаровых скоплений характерен для сферической составляющей Галактики. В основном это старые звёзды с низким содержанием тяжёлых элементов (население II⁶). Следует отметить, что в других галактиках иногда встречаются типичные по внешнему виду шаровые скопления, но со звёздным составом, характерным для плоской составляющей Галактики (для населения I⁷, включающего молодые звёзды). Такие шаровые скопления можно отнести к молодым.

Шаровые скопления нашей Галактики - одни из старейших её членов. Их возраст составляет ~ 10 млрд. лет. Массивные звёзды в этих скоплениях, по-видимому, уже давно проэволюционировали, превратившись в белые карлики, нейтронные звёзды или чёрные дыры, и непосредственно в оптическом диапазоне не видны из-за огромных расстояний до скоплений. Но присутствие этих звёзд может быть установлено по косвенным данным; они могут давать заметный вклад в полную массу скопления (десятки процентов).

Некоторые шаровые скопления, например, Омега Центавра в Млечном Пути и Майалл II в галактике Андромеда, чрезвычайно массивны и содержат звёзды нескольких звёздных поколений. Этот факт можно считать свидетельством того, что сверхмассивные шаровые скопления являются ядром карликовых галактик, поглощённых гигантскими галактиками. Около четверти шаровых скоплений в Млечном Пути, возможно, ранее были частью карликовых галактик.



Рис. 6: Шаровое звёздное скопление Омега Центавра⁸.



Рис. 7: Шаровое скопление Майалл II в галактике Андромеда⁹.

⁶К звёздному населению II типа принадлежат звёзды эллиптических галактик, а в нашей Галактике - объекты с примерно сферически-симметричным распределением и большими (относительно Солнца) пространственными скоростями, в т.ч. субкарлики, переменные звёзды типа RR Лиры, шаровые звёздные скопления.

⁷К звёздному населению I типа относят объекты, образующие плоскую подсистему галактик и наиболее часто встречающиеся в спиральных ветвях: звёзды спектральных классов O и B, сверхгиганты, цефеиды, звёзды молодых скоплений.

⁸http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/5/5d/VST_image_of_the_giant_globular_star_cluster_Omega_Centauri.jpg/600px-VST_image_of_the_giant_globular_star_cluster_Omega_Centauri.jpg

⁹<http://www.realsky.ru/images/stories/Article/constellations/And/hubble1.jpg>

Эволюция звёзд в шаровых скоплениях

Расчеты эволюции звёзд разных масс и химического состава позволили объяснить типичные диаграммы цвет - звёздная величина для звёзд шаровых скоплений. Так, звёзды с массами от $0,6M_{\odot}$ до $0,75M_{\odot}$, миновав на диаграмме Герцшпрунга-Рассела точку поворота вправо от главной последовательности, перемещаются по эволюционным трекам, близким к последовательности субгигантов (почти вертикальный участок диаграммы) и ветви красных гигантов до тех пор, пока не достигнут вершины этой ветви. В этот момент в окруженном водородным слоевым источником энергии сжимающемся гелиевом ядре звезды температура повышается настолько, что начинается ядерное горение гелия.

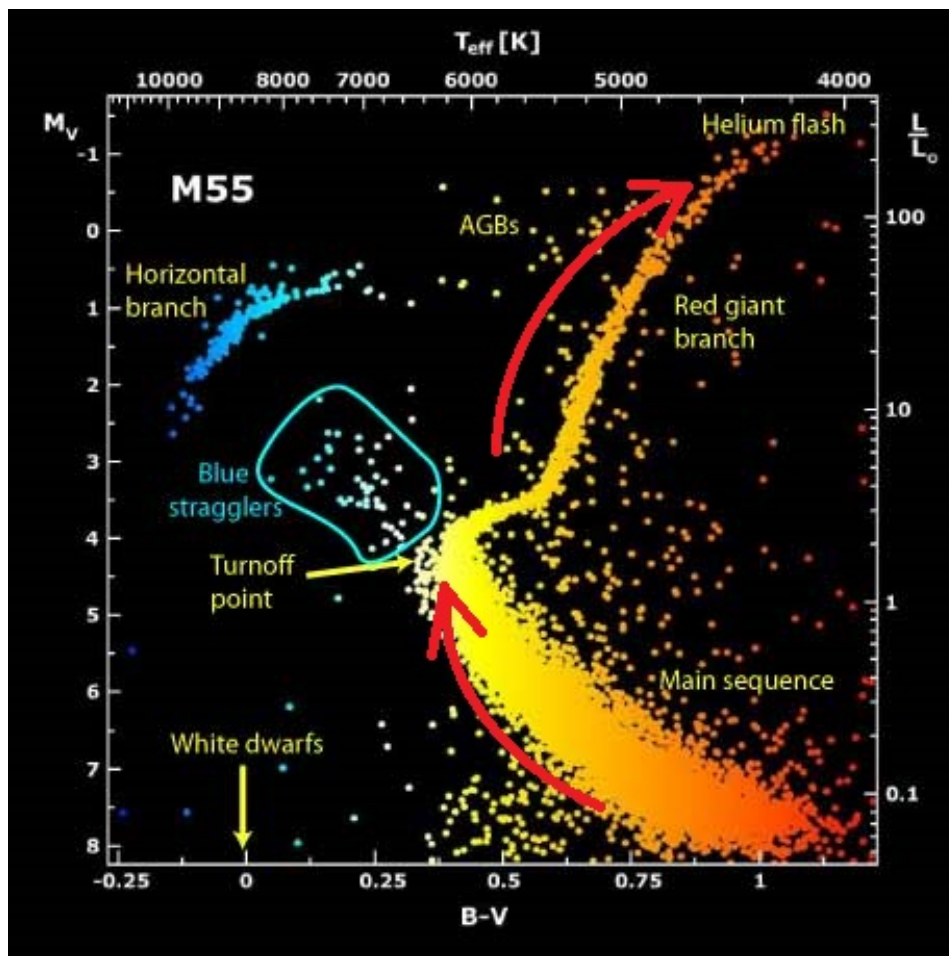


Рис. 8: Диаграмма Герцшпрунга-Рассела¹⁰

По-видимому, после этого, вследствие резкого повышения температуры звёзды совершают скачкообразный переход на горизонтальную ветвь и располагаются на ней в зависимости от своей массы и химического состава, причем наименее массивные (с $M \approx 0,6M_{\odot}$) располагаются на левом, голубом конце ветви, а наиболее массивные (с $M \approx 0,75M_{\odot}$) - на правом, красном ее конце. Эволюционного движения вдоль горизонтальной ветви, вероятно, не происходит, и эта ветвь является неким аналогом начальной главной последовательности для звезд малых масс с ядерным горением гелия в их недрах.

¹⁰<http://www.mso.anu.edu.au/~jerjen/researchprojects/bluestraggler/m55cmd.jpg>

Полоса нестабильности, содержащая звёзды, для которых имеется соотношение между их температурой и светимостью, благоприятное для возникновения пульсаций во внешних слоях, пересекает горизонтальную ветвь (рис 9), и все звёзды, находящиеся в этом отрезке, являются переменными типа RR Лиры¹¹. Подавляющее большинство (92%) переменных звёзд в шаровых скоплениях относится к типу RR Лиры. В некоторых шаровых скоплениях наблюдались вспышки новых звёзд и переменных звезд типа U Близнецов, являющихся, по современным представлениям, тесными двойными системами с проэволюционировавшими компонентами.

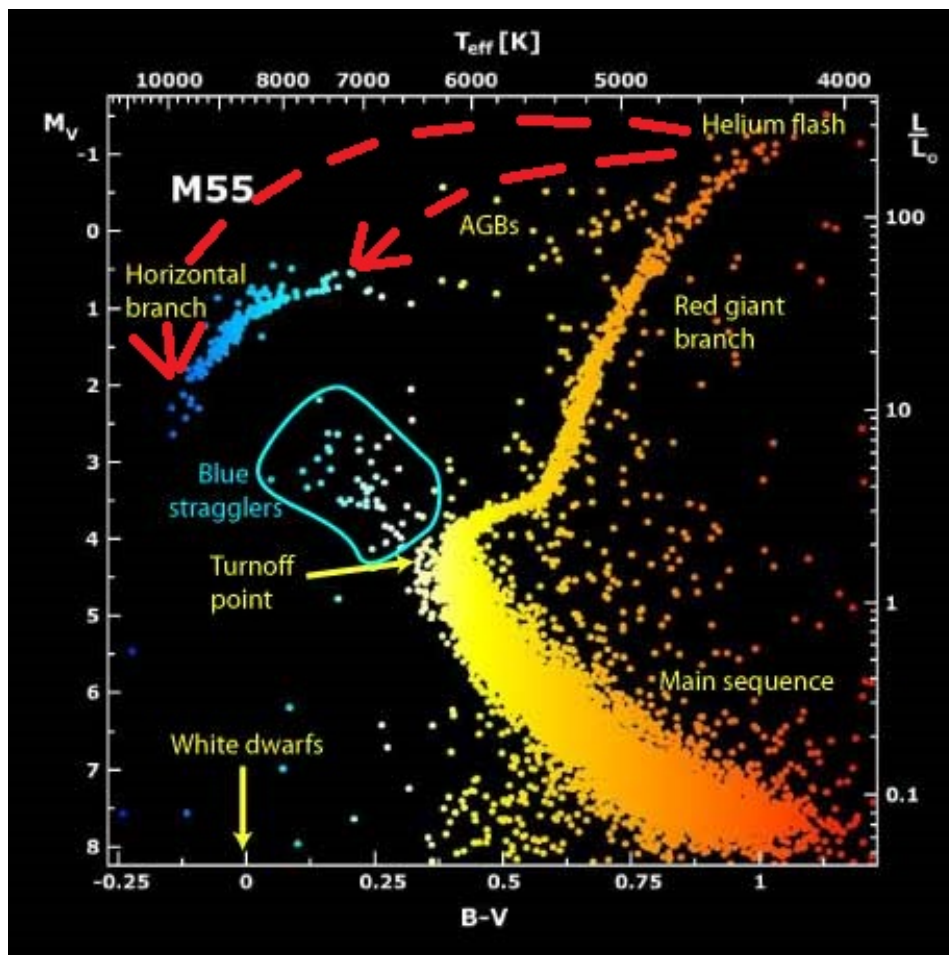


Рис. 9: Диаграмма Герцшпрунга-Рассела¹⁰

¹⁰<http://www.mso.anu.edu.au/~jerjen/researchprojects/bluestraggler/m55cmd.jpg>

¹¹Переменные типа RR Лиры - тип радиально пульсирующих переменных звёзд, гигантов спектральных классов А - F, лежащих на горизонтальной ветви диаграммы Герцшпрунга-Рассела, с периодами, заключенными в пределах от 0,2 до 1,2 дня, и амплитудами изменения блеска от $0,2^m$ до 2^m .

Эволюция звёзд в шаровых скоплениях

Ещё одной особенностью шаровых звёздных скоплений являются звёзды, получившие название "голубые бродяги" (англ. Blue stragglers). Это звёзды в шаровых скоплениях, которые горячее обычных звёзд, и их спектры значительно больше смещены в синюю область, чем у остальных звёзд скопления, имеющих ту же светимость (рис 9). На основании этого признака они выделяются из остальных звёзд диаграммы Герцшпрунга-Рассела для данного скопления.

Своим появлением голубые бродяги нарушают стандартные теории звездной эволюции, по которым все звёзды, образовавшиеся в одно время, должны находиться в пределах четко определенных границ кривой диаграммы Герцшпрунга-Рассела, причем их расположение на этой кривой определяется исключительно их начальными массами. Так как голубые бродяги часто находятся вне этой кривой, они могли подвергнуться аномальной звёздной эволюции и набрать дополнительную массу, "омолодившись" за счёт этого.

Астрономы полагают, что эти голубые звёзды образуются либо при медленном слиянии звёзд в двойных системах, либо при столкновении несвязанных звёзд. Не исключено, что имеют место оба этих сценария. Так, например, в центре массивного шарового скопления, скорее всего, будет реализовываться сценарий столкновений, так как концентрация звёзд там очень высока. Для голубых бродяг в 47 Тукана более предпочтительным кажется сценарий медленного слияния, когда стремящиеся к центру звёзды сближаются, и происходит перетягивание вещества. Однако природа голубых бродяг всё ещё является предметом дискуссий.

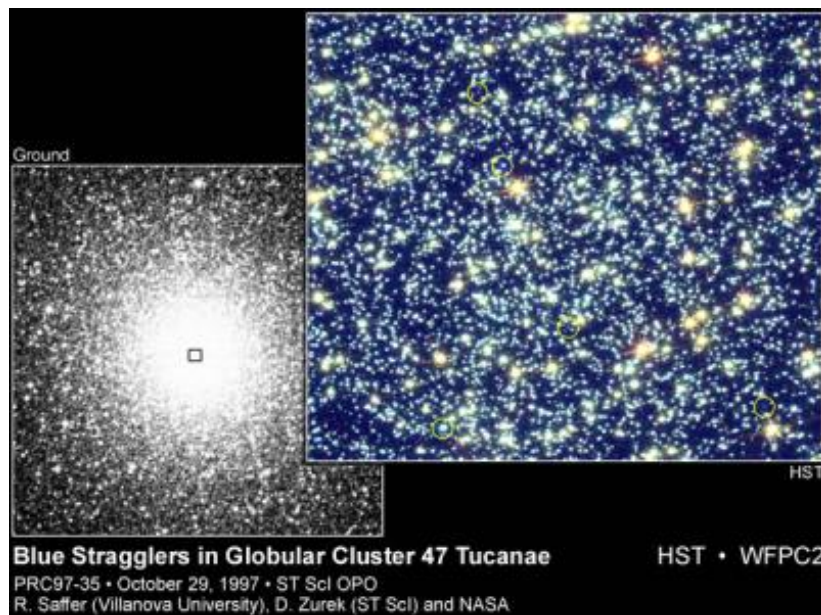


Рис. 10: Этот снимок - трехцветная комбинация снимков широкоугольной камеры, сделанных в ультрафиолете, синем и фиолетовом диапазонах. Зеленый, синий и красный цвета связаны с фильтрами, причем красные гиганты выглядят оранжевыми, звезды главной последовательности - бело-зелёными, а голубые бродяги - голубыми.¹²

¹²<http://images.astronet.ru/pubd/2003/12/03/0001195464/9735w.jpg>

Список литературы

- [1] **“Звезды и звездные группировки в нашей Галактике: Учебное пособие издание второе, исправленное и дополненное”**, Суркова Л.П., ЗабГГПУ им. Н.Г. Чернышевского, Чита, 2005 <http://window.edu.ru/resource/613/77613> ;
- [2] **“Шаровые скопления, старые и молодые”**, Самусь Н.Н., Земля и Вселенная №6, 1984, pp. 485-487 http://publ.lib.ru/ARCHIVES/Z/''Zemlya_i_Vselennaya''/' ''Zemlya_i_Vselennaya'' , 1984, N06. [djv-fax].zip;
- [3] **“Шаровые скопления”**, Кинг А.Р., В мире науки №8, 1985, стр. 36-44, http://publ.lib.ru/ARCHIVES/V/''V_mire_nauki''/' ''V_mire_nauki'' , 1985, N08. [pdf].zip ;
- [4] **“Observational Approach to Evolution. III. Semiempirical Evolution Tracks for M67 and M3”**, Sandage A.R., Astrophysical Journal (1957), pp. 326-340, http://articles.adsabs.harvard.edu/cgi-bin/nph-iarticle_query?1957ApJ...126..326S&data_type=PDF_HIGH&whole_paper=YES&type=PRINTER&filetype=.pdf ;
- [5] **“Физика Космоса”**, Самусь Н.Н., 1986 <http://www.astronet.ru/db/msg/1188252> ;
- [6] **“Динамическая эволюция шаровых скоплений”**, Л.Спитцер мл., Мир, Москва, 1990
- [7] **“Звёздные скопления”**, Холопов П.Н., Наука, Москва, 1981;
- [8] **“«Голубые приبلудные» в шаровом скоплении 47 Тукана”**, Credit: Rex Saffer and Dave Zurek, and NASA, 1997 <http://archive.is/Vks1V>;
- [9] **“Звёздная астрономия в лекциях, лекция 8. Шаровые звёздные скопления”**, Локтин А.В., Марсаков В.А., 2010 <http://www.astronet.ru/db/msg/1245721/lec.8.1.html> ;