

Научно-исследовательская работа

Астрономия

ШАРОВЫЕ ЗВЕЗДНЫЕ СКОПЛЕНИЯ

Выполнил:

Небогатов Алексей Константинович,

10 класс,

МАУДО ДПШ им. Крупской, г. Челябинск

Руководитель:

Папулова Наталика Владимировна,

педагог дополнительного образования высшей категории,

МАУДО ДПШ им. Крупской, г. Челябинск

Оглавление

Введение	3
1. Шаровое звездное скопление	4
2. Физика образования	5
3. Классификация ШЗС	6
3.1 По принципу удаления от центра Галактики	6
3.2 Классификация по элементам орбит	6
4. Химический состав	7
5. Звездный состав, структура	8
5.1 Население	8
5.2 Представители, встречающиеся только в шаровых скоплениях	9
6. Движение	10
7. Эволюция	10
8. Практическая часть	11
9. Наблюдения	12
9.1 Фотографирование	13
Вывод	14
Список литературы	16
Приложение	17

Введение

В хорошую ясную ночь невооруженным глазом на небе можно увидеть до 3 тысяч звезд. Хорошо различима также светлая полоса Млечного Пути, можно наблюдать до пяти планет, смену фаз Луны, метеоры. Бывает, что на небе видны кометы.

Но помимо них есть и невидимые невооруженным глазом объекты, такие как галактики, туманности, скопления. А многие люди и не подозревают об их существовании! Эти объекты можно наблюдать только в телескоп. Скопления делятся на два типа: рассеянные и шаровые. Самыми интересными являются шаровые скопления. Они появились почти одновременно с нашей Галактикой.

Актуальность: исследование шаровых звездных скоплений имеет важное значение в астрофизике в плане изучения эволюции звезд, процесса формирования галактик, изучения структуры нашей Галактики и определения возраста Вселенной.

В источниках информации часто говорится, что шаровые скопления – ровесники Галактике и находятся на ее периферии в гало. Оказывается, это не совсем так. Я решил разобраться в имеющихся **противоречиях:**

1. шаровые скопления в галактике: движутся - не движутся? Если да, то: к центру - от центра?

2. скопления расположены в галактике: равномерно - не равномерно?

Цель моего исследования: найти зависимость возраста шаровых скоплений от их расположения в Галактике.

Для этого поставлены следующие задачи:

- изучить источники информации по данной теме;

- провести сезонные наблюдения шаровых скоплений в телескоп;
- определить типы шаровых скоплений;
- создать 3D модель расположения шаровых скоплений в Галактике;

Объект исследования: шаровые звездные скопления.

Предмет исследования: расположение шаровых звездных скоплений в Галактике.

Гипотеза: расположение шаровых скоплений зависит от их возраста.

Методы исследования: изучение и обобщение, наблюдение, сравнение, моделирование, анализ полученных данных, синтез, работа с электронными таблицами.

1 Шаровое звездное скопление

Шаровые звездные скопления содержат обычно от многих десятков тысяч до нескольких миллионов звезд, концентрация которых к центру скопления возрастает. Благодаря достаточно большой массе и компактности шаровые скопления устойчивы к внешним воздействиям и весьма долговечны. Скопления вращаются вокруг центра галактики по вытянутым орбитам. С периодом обращения в среднем 1 млрд. лет (Рисунок А.2). Межзвездная среда шаровых скоплений содержит мало газа: этот факт объясняется

1. Низкой параболической скоростью, составляющей $\approx 10\text{—}30$ км/с.

2. Большим возрастом и периодическим прохождением через плоскость нашей Галактики.

В ней концентрируются газовые облака, что способствует «выметанию» газа из скоплений при таких прохождениях. В этих скоплениях новые звезды не рождаются.

Характерные диаметры скоплений 20-60 парсек (иногда больше). Из-за общего происхождения звезд шаровых скоплений (ШС) можно считать, что все звезды в скоплении имеют, как правило, примерно одинаковый возраст и химический состав. В атмосферах звезд большинства шаровых звездных скоплений (ШЗС) содержится значительно меньше тяжелых и сложных элементов по сравнению с солнечным. Различия в светимости связаны с различиями в массе звезд, а также с их различными эволюционными процессами, что, в конечном счете, определяется различиями в исходной массе. В некоторых ШЗС наблюдались вспышки новых звезд, являющихся, по современным представлениям, тесными двойными системами с компонентами, прошедшими эволюцию. В концентрированных шаровых скоплениях нельзя изучить распределение звезд из-за объема скопления.

2 Физика образования

Ученые установили [4], что в основном шаровые звездные скопления образовались на начальном этапе формирования нашей Галактики.

1. Протогалактический газ, предположительно, в самом начале имел (в период галактической эволюции) спиральную или эллиптическую форму.

2. Во время гравитационного взаимодействия и образования галактики до завершения сжатия, за пределами формирующегося диска оказались сгустки материи, газа и пыли.

3. Из этих сгустков образовались шаровые звездные скопления.

Шаровые скопления сформировались до появления диска и остались там же, где образовались. Они имеют сферическую структуру. Большинство скоплений находится в гало, внутри которого

позже выделилась плоскость галактики. Проведенные измерения расстояния от скоплений до Солнца, позволили определить их расстояние от центра Галактики, а также протяженность нашей Галактики от края газового диска до центра – оно составляет 52 тыс. световых лет [9]. Возраст шаровых звездных скоплений составляет от 7 до 13 миллиардов лет [9]. Они представляют собой важнейший элемент Вселенной, и, несомненно, знания об этих образованиях окажут немалую помощь в объяснении явлений Вселенной.

3 Классификация ШЗС

В интернет - источнике Astronet [7], мы нашли, что различают четыре динамических семейства шаровых скоплений

3.1 по принципу удаления от центра Галактики и по химическому составу.

Дисковые скопления - ШЗС, находящиеся на поверхности или внутри галактического диска.

Звездные скопления внутренней части гало - находятся в гало (расстояние от галактического центра меньше чем 28 000 световых лет) и

Звездные скопления внешней части гало - (если это расстояние не превышает 200 000 световых лет).

Звездные скопления периферической части гало – содержат меньшее количество металлов, расстояние от которых до центра Галактики наибольшее, самые старые, они располагаются в гало Галактики.

Но на Всероссийской конференции “Современная звездная астрономия - 2019”[1], [2] была представлена совсем другая классификация:

3.2 Классификация по элементам орбит

Она позволяет отчетливо выделить три группы по кинематическим свойствам скоплений):

Бар\балдж - (ШС, принадлежащие бару/балджу вращаются со скоростью ~ 35 км/с). Химические составы ШС диска и бара/балджа статистически не различимы

Гало - (ШС гало имеет медленное вращение ~ 17 км/с) Химические составы схожи с ШС вращающихся в сторону вращения диска.

Толстый диск - (ШС толстого диска вращаются со скоростью ~ 182 км/с, что согласуется с независимыми оценками скорости вращения толстого диска Галактики). Есть значимые различия между химическими составами скоплениями гало и толстого диска.

Классификация играет большую роль и при исследовании влияния окружающей звездные скопления среды на его эволюцию. В данном случае речь идет о нашей Галактике.

4 Химический состав

Шаровые звездные скопления нашей Галактики представляют собой неоднородные образования. Некоторые шаровые скопления имеют больше металлов, другие – меньше. Степень наличия металлов зависит от состава межзвездной среды, из которой образовались звезды ШЗС. Большой состав металла характерен для более молодых звезд, сформировавшихся из среды, уже обогащенной металлами вследствие вспышек сверхновых. Среднее значение дисковой металличности имеет статистически значимое отличие от металличности объектов гало.

5 Звездный состав, структура

Шаровые звездные скопления были выделены как особый тип галактических объектов по характерному внешнему виду. Звезды

ШЗС имеют приближенную сферическую форму (точнее, сфероидальную с малым сжатием), причем их пространственная концентрация резко снижается от центра к периферии. Скорости движения ШС от 100 до 350 км/с [7].

5.1 Население

Шаровые скопления содержат разнообразное население звезд (Рисунок А.4, А.5), различающиеся в основном химическим составом из «легких» элементов, которые синтезируются в звездах в следствие реакций захвата протонов. Множественные населения однозначно разделяются как разные поколения звезд. Подразумевается, что «второе» поколение звезд образовалось из вещества, обогащенного элементами, которое образовалось в звездах первого поколения.

- В случае различий в содержании элементов группы железа, необходимо, чтобы часть звезд первого поколения взорвались (подобно сверхновым) и обогатили вещество, из которого образовались звезды второго поколения.

- В случае различий в содержании «легких» элементов предлагаются другие модели обогащения протозвездного вещества.

- Основные кандидаты на роль «загрязнителей» – звезды с интенсивным звездным ветром или двойные звезды, обменивающиеся массой и теряющие вещество.

В основном население ШЗС составляют старые звёзды с низким содержанием тяжёлых элементов. Но иногда встречаются типичные по внешнему виду шаровые скопления, но со звёздным составом, характерным для плоской составляющей Галактики (для населения, включающего молодые звёзды). Такие шаровые скопления можно отнести к молодым.

5.2 Представители, встречающиеся только в шаровых скоплениях:

Звезды – голубые отставшие (blue stragglers) (Рисунок А.6) звёзды в шаровых звёздных скоплениях, которые горячее обычных звёзд, и их спектры значительно смещены в синюю область, чем у остальных звёзд скопления, имеющих ту же светимость. На основании этого признака они выделяются из остальных звёзд диаграммы Герцшпрунга - Рассела для скопления. Своим появлением голубые отставшие звёзды нарушают теории звездной эволюции, согласно которым все звезды, образовавшиеся в одно время, должны находиться в пределах четко определенных границ кривой диаграммы Герцшпрунга - Рассела, причем расположение на этой кривой определяется только их начальными массами.

Миллисекундные пульсары (Рисунок А.7) пульсары с периодом вращения от 1 до 10 миллисекунд. Эти пульсары были обнаружены в радио-, рентгеновском и гамма - диапазоне волн электромагнитного спектра. Единой теории происхождения всех миллисекундных пульсаров на данное время нет. Наиболее распространенная теория их образования говорит, что они начинают свою жизнь как пульсары с небольшими периодами вращения, но затем постепенно раскручиваются путём аккреции. По этой причине пульсары иногда называют «раскрученными пульсарами».

Катаклизмические переменные (Рисунок А.8) - класс астрономических объектов, относящихся к переменным звёздам и проявляющих вспышечную активность. Представляют собой тесные двойные системы, состоящие из белого карлика (главная звезда) и компаньона, которым чаще всего выступает маломассивная слабо проэволюционировавшая звезда, то есть красный карлик. Иногда за компаньона может выступать и другой объект, например, субгигант

или красный гигант. Катаклизмические переменные включают в себя новые звезды, карликовые новые и магнитные аккрецирующие звезды.

На лекции Антона Селезнева кандидата физико-математических наук, старшего научного сотрудника УРФУ [3] было высказана гипотеза о том, что в центре шарового скопления находится **черная дыра промежуточной массы** (Рисунок А.9) – чёрная дыра, масса которой намного больше, чем масса чёрной дыры звёздной массы (от нескольких тысяч до десятков тысяч масс Солнца), но гораздо меньше, чем у сверхмассивной чёрной дыры (от миллиона до сотен миллионов масс Солнца). С 70-х гг. астрономы ищут в шаровых скоплениях чёрные дыры, но для решения этой задачи требуется очень высокое разрешение телескопа, поэтому только с появлением космического телескопа Хаббл было сделано первое подтверждённое открытие.

6 Движение

Примерно, один раз за период обращения (10^8 - 10^9 лет) скопления проходят через плотные центральные области Галактики и еще один раз за время обращения - через периферические области галактического диска, также имеющие повышенную плотность по сравнению со сферической составляющей Галактики [7]. 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 этого шаровое скопление будет приближаться к центру Галактики и в конце концов будет разрушено галактическим гравитационным полем. Чем больше масса шарового скопления, тем такой процесс будет эффективнее.

7 Эволюция

В плотных скоплениях, сформировавшихся в центральных областях галактик, по мере «испарения» наиболее быстрых звезд происходило общее сжатие таких скоплений. В результате этого возможно формирование более молодых звезд, образующих яркую и плотную, концентрированную подсистему. При определенных условиях (например, при высокой температуре газа) формируется не звездная подсистема, а единая сверхмассивная звезда. Такая звезда светит за счет своей гравитационной потенциальной энергии, постепенно сжимаясь. На заключительном этапе сжатия наступает неуправляемое падение вещества к центру (коллапс), которое не останавливается никаким противодействием, и образуется черная дыра [5].

8 Практическая часть

Нам нужно было подтвердить одну из классификаций. Мы взяли как основу шаровые скопления каталога Мессье и распределили их, в электронных таблицах (Рисунок В.7) по следующим критериям. Критерии деления:

- По удалению от Земли.
- По химическому составу.
- По удалению от центра Галактики (будет рассчитана в дальнейшем).

Для того чтобы разобраться с распределением, мы хотели это визуализировать, на просторах интернета существует много карт распределения, но мы решили сделать свою. Тогда пришла идея создания 3D модели Галактики с нанесенными на нее шаровыми звездными скоплениями в программе SketchUp (Рисунок В.1).

Пользуясь таблицами и галактическими координатами, взятыми из Википедии[9], мы нанесли с помощью транспортера шаровые

скопления на карту галактики, сначала на бумаге (Рисунок В.4), а потом перенесли на модель в программе в масштабе $1\text{см} = 10^\circ$ (взято очень приблизительно). Некоторые координаты вызвали сомнение. Также мы взяли основные характеристики скоплений: размер, возраст, количество звезд, химический состав. Каждая характеристика обозначена своим цветом. Это нужно для того чтобы подтвердить существующие классификации. Увидев получившееся распределение мы согласились с классификацией, которую дали на конференции[1]. Следующий шаг: рассчитать расстояния от центра Галактики до шаровых скоплений.

9 Наблюдения

Мы давно наблюдаем шаровые скопления, почти все они довольно тусклые объекты: их нужно наблюдать вдали от городской засветки, но есть и достаточно яркие, такие как М13(Геркулес), которое можно увидеть и в городе. В достаточно крупный телескоп можно увидеть множество шаровых скоплений, наиболее яркие разрешаются на отдельные звезды. Мы проводим наши наблюдения за городом на базе отдыха «Чебаркуль» (Рисунок С.6). База оборудована специальной наблюдательской площадкой и телескопом MEADE LX-200 (Рисунок С.1) с которого проводились наблюдения. Также шаровые скопления очень хорошо видны в бинокль (2017 г.). Были взяты самые яркие, большие и зрелищные шаровые скопления каталога Мессье.

М4 (Рисунок С.2) «шаровое скопление Краб» в созвездии Скорпион. Это скопление - низко расположенная цель над горизонтом. Она втиснута посередине между Антаресом и сигмой Скорпиона. Видеть его в одном поле зрения с огненно-оранжевым Антаресом и сигмой голубого цвета само по себе удивительно.

M13 (Рисунок С.3) «Большое скопление Геркулеса» Самое интересное для наблюдений шаровое скопление в северных широтах. Яркость скопления позволяет видеть его даже невооруженным глазом, но вдали от городской засветки. Наблюдая в телескоп, можно сказать, что по краям скопление рассеивается на множество звезд. Боковым зрением видны цепочки из отдельных звезд.

M56 (Рисунок С.4) это шаровое скопление в Лире очень трудно найти на фоне Млечного Пути. Оно доступно для наблюдений почти в любое время года, кроме середины зимы. Но лучшее время для этого — лето, когда M56 в средних широтах северного полушария находится в зените. В бинокль это очень неяркое скопление находится с трудом, маскируясь на плотном звездном фоне.

M15 (Рисунок С.5) «Скопление Пегаса». Скопление легко видно в бинокль. В телескопы с малым увеличением видно лишь туманным пятном. В телескоп видна звездная пыль, довольно крупное и яркое ядро. Используя телескоп можно отметить, что убывание яркости начинается на далеком расстоянии от центра. При большом увеличении могут проявляться по-настоящему отдельные звезды, среди которых, много красных звезд, что еще больше украшает объект.

9.1 фотографирование

За последнее время, пришла идея сделать свои фотографии и отработать методику фотографирования этих шаровых скоплений (Рисунок С.7), кроме M4 в скорпионе, в ноябре это созвездие еще не поднимается над горизонтом. Мы фотографировали через телескоп MEADE LX-200 (Рисунок С.1) с помощью фотоаппарата NIKON D-3100, также нам понадобилось переходное T-кольцо для стыковки фотоаппарата с телескопом (Рисунок С.8),

Съемка выполняется в ручном режиме (М-механика), и не каждый фотоаппарат для этого подойдет. Также нужна «маска Бахтинова» для точной фокусировки по звезде (мы снимали без нее, по причине отсутствия таковой). Сначала для настройки фокусировки мы навелись на Вега (Рисунок С.10), и по ней настроили резкость телескопа на четкое изображение. Для того чтобы изображение было стабилизированным мы использовали спусковое устройство (Рисунок С.9)

Параметры съемки: т.к. телескоп оборудован гидированием (ведение за объектом) выдержка у нас составляла от 5 до 10 секунд. ISO (светочувствительность): самое высокое (у нас было 3200). Вместо объектива у нас работал телескоп, поэтому диафрагма была не задействована.

Условия съемки: 15.11.2020 и 22.11.2020 была плохая видимость, облака с прояснениями, небольшая дымка. Луна на юго-востоке. Фотографирование проводилось с 19:00 до 20:30. Было очень холодно, для таких случаев, желательно, запастись аккумуляторами для фотоаппарата.

Параметры фотографий:

DSC 1571(M13) - ISO 3200 M 5 сек. (Рисунок С.12)

DSC 1598(Вега) - ISO 3200 M 8 сек. (Рисунок С.10)

DSC 1625(M56) - ISO 3200 M 1/1.3 сек. (Рисунок С.11)

DSC 1659(M15) - ISO 3200 M 10 сек. (Рисунок С.13)

Вывод

Проведя наблюдения шаровых скоплений, создав таблицы и 3D модель, мы нашли подтверждение классификации по элементам орбит. Было рассмотрено 29 шаровых скоплений из каталога Мессье, которые мы разделили по вышеуказанным критериям. Из

расположения шаровых скоплений на 3D модели мы можем сделать вывод о правильности классификации по элементам орбит. По нашему мнению являющуюся более точной т.к. если брать за основу первую классификацию, то по таблицам можно увидеть, что по разным критериям одно и тоже скопление попадает в разные категории. Самые малые скопления находятся ближе к центру т.к. им трудно удержать свои звезды. По расположению на 3D модели скоплений M53, M54, M79 можно предположить, что они являются внегалактическими шаровыми скоплениями, возможно «захваченные» из другой галактики или Магеллановых облаков. Они достаточно большие. Например, M3 схоже по возрасту, но находится ближе к центру, чем эти скопления. Скопления в Галактике движутся по орбитам, но очень медленно. Наша гипотеза частично подтвердилась, старые скопления в основном находятся в гало и почти не содержат металлы, но есть исключения, такие как скопление M107 т.к. оно одно из самых старых, но имеет малый размер и находится рядом с центром галактики. Скопления с размером 100-150 световых лет находятся в диске и вокруг центра галактики. Одни из самых «молодых» шаровых скоплений, являются металлсодержащими. Из-за того что, мы взяли шаровые скопление только из каталога Мессье не удалось увидеть полное распределение и посмотреть равномерно ли расположены шаровые скопления. Судя по нашим исследованиям можно отметить, что это не вся информация по шаровым скоплениям, в дальнейшем мы планируем взять больше скоплений и классифицировать их по тем же критериям и в дальнейшем нанести их на 3D модель. Помимо этого, мы будем оттачивать свои навыки в астрофотографии. И в дальнейшем, может быть, научимся их обрабатывать.

Список литературы

[1] Всероссийская конференция “Современная звездная астрономия - 2019” (САО РАН, 7-11/10/2019) Буданова Н. О., Байкова А.Т, Бобылев В.В, Корчагин В.И. Budanova-nata@mail.ru Южный федеральный университет, НИИ физики химический состав шаровых скоплений подсистем млечного пути по данным gaia.

[2]https://www.sao.ru/hq/lsvfo/MSA2019/pdf/12_10_Korchagin_clusters_SAO2019_BW.pdf

[3] Лекция «Звездные скопления». А.Ф. Селезнев - старший научный сотрудник Коуровской астрономической обсерватории

[4]<http://space-my.ru/zvezdigalaktici/xarakteristikazvezdy/sharovieskopleniya.html>

[5]https://collectedpapers.com.ua/ru/the_globular_clusters/kuloviskupchennya-ruxayutsya-po-galaktici

[6] Холопов, П.Н. Звездные скопления /П.Н. Холопов – Москва: Наука, 1981

[7] Самусь Н.Н. Шаровые скопления/Н.Н. Самусь – Москва: Знание, 1987

[8] Энциклопедия: Астрономия/Мир энциклопедий- Москва: Аванта+

[9] <https://ru.wikipedia.org/wiki>

[10]<https://cloclostock1.datacloudmail.ru/stock/get/kE7SYBoWn6Sex1wFYNMqHcJojWeSzyst4wjDNsvzRq6dBbX1F8GMejeGUzABAp7xfB4HgAAf98A2/.mp4>

[11] <https://cloclostock4.datacloudmail.ru/stock/get/kE7SYBoWn6Sex1wFYNMqHcJojWeRfVRSxc5yL3nv9jpTF4qvvggGRunPnekKqyrprNW8QKGCTY8ih/.mp4>

[12] <https://v-kosmose.com/katalog-nebesnyih-obektov-sharlya-messe/skoplenie-gerku0.esa/>

[13] <https://spacegid.com/sharovoe-skoplenie-m3-2.html>

[14] <http://www.astronet.ru/db/msg/1188252>

[15]

http://www.astro.spbu.ru/sites/default/files/Strekalova_GlobClust-2013.pdf

[16] <http://for-schoolboy.ru/Obrazovanie-i-evolyutsiya-zviozdnyih-skopleniy-184.html>

Приложение А: шаровые скопления

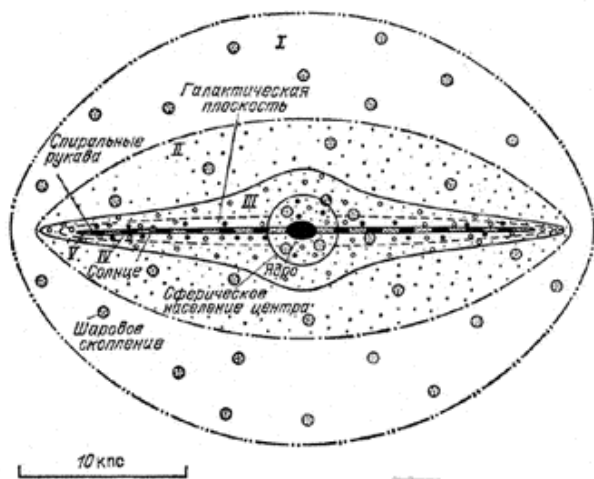


Рисунок А.1 строение Галактики.
скопления.

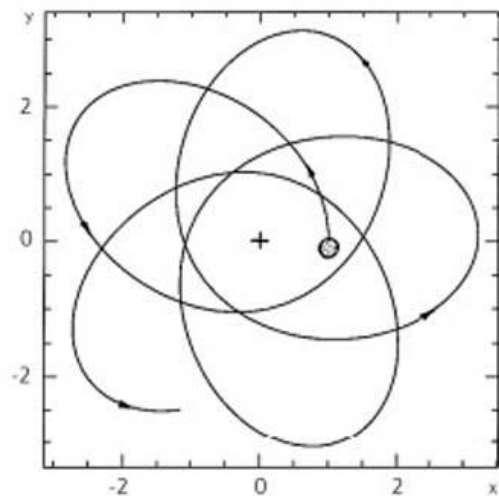


Рисунок А.2 орбита шарового скопления.

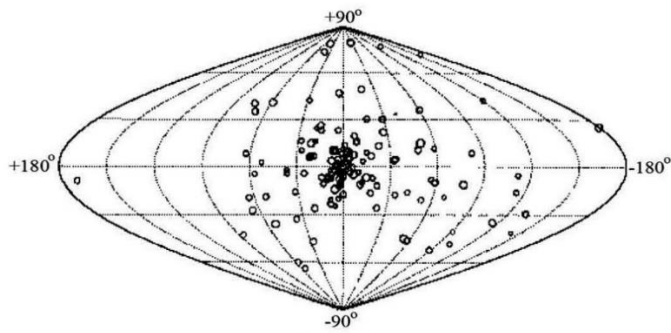


Рисунок А.3 Распределение шаровых скоплений на небесной сфере в галактической системе координат.

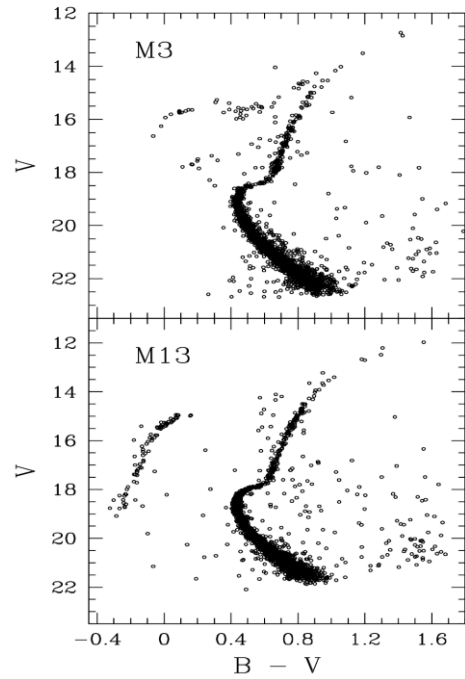


Рисунок А.4 Диаграммы звездная величина – показатель цвета для шаровых скоплений М3 и М13.

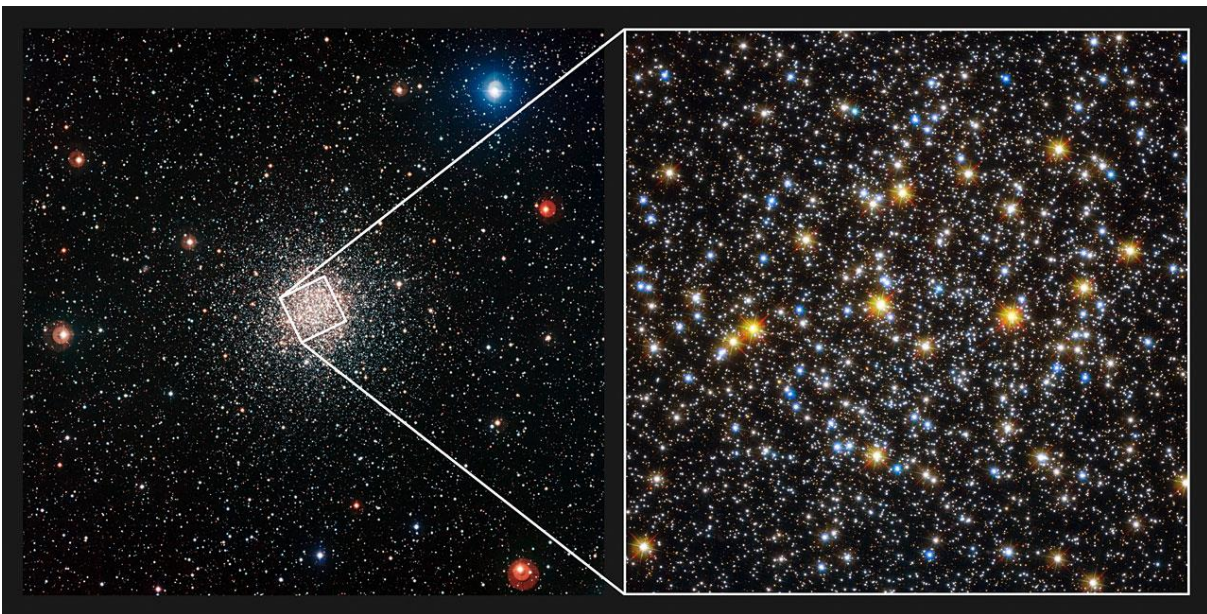


Рисунок А.5 население шаровых скоплений.

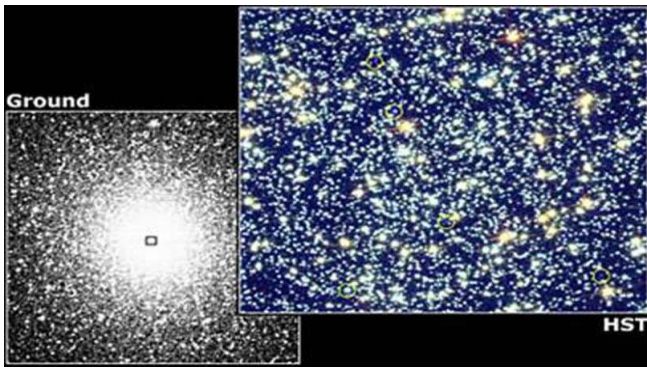


Рисунок А.6 голубые отставшие звезды



Рисунок А.7 миллисекундный пульсар

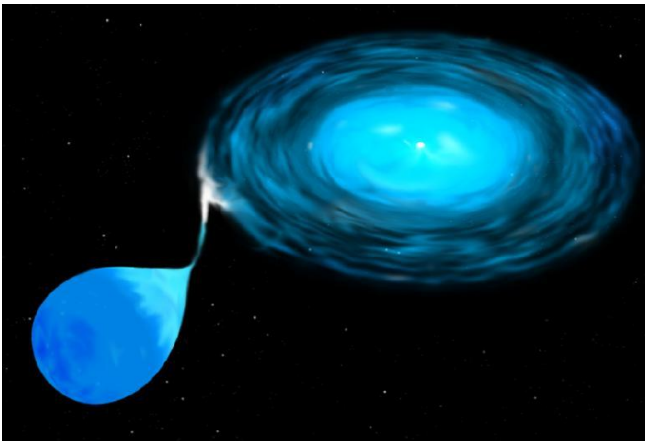


Рисунок А.8 катаклизмическая переменная.



Рисунок А.9 черная дыра промежуточной массы.

Приложение В: SketchUp

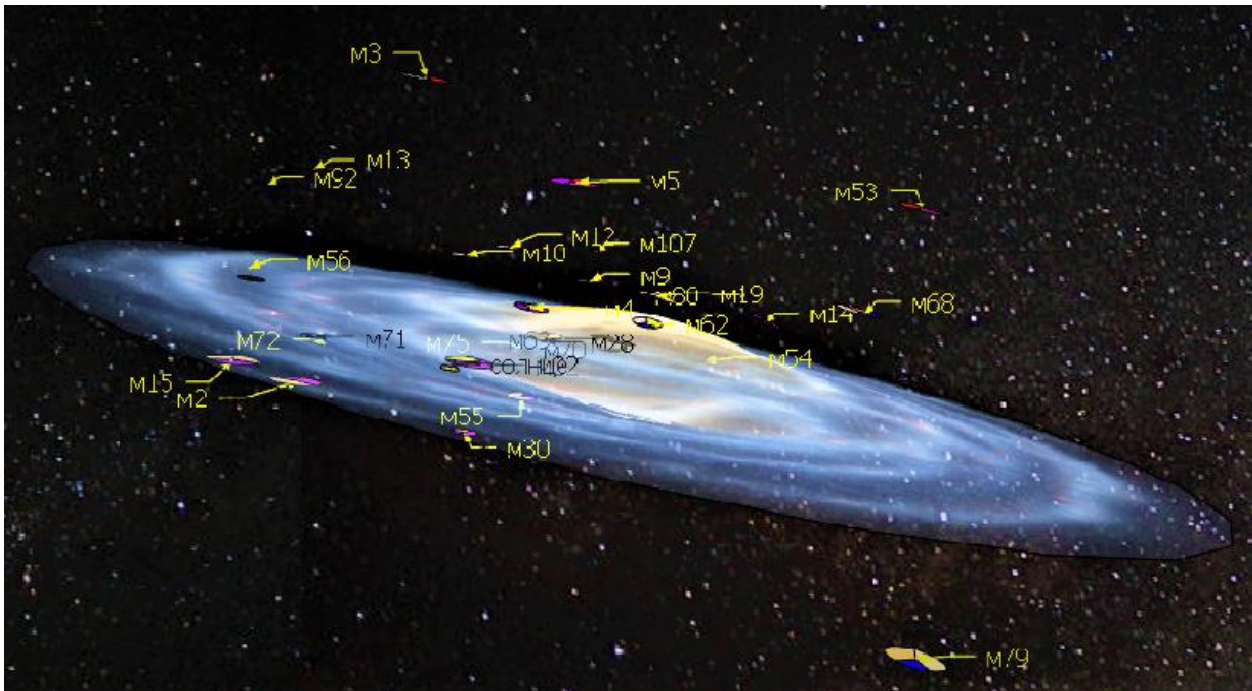


Рисунок В.1 модель галактики с шаровыми скоплениями в программе SketchUp.
Вид с ребра

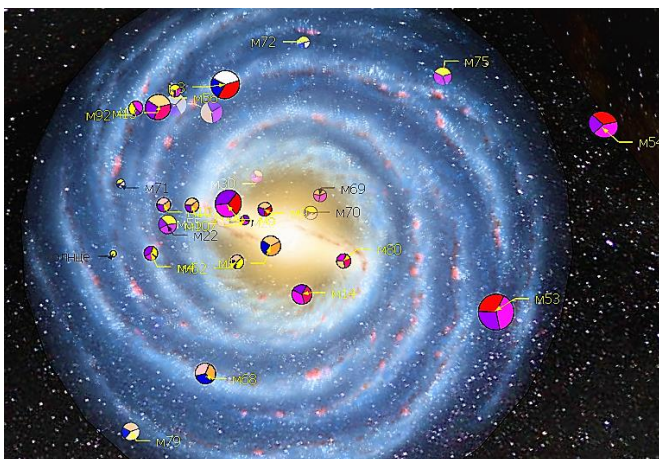


Рисунок В.2 Модель, вид сверху

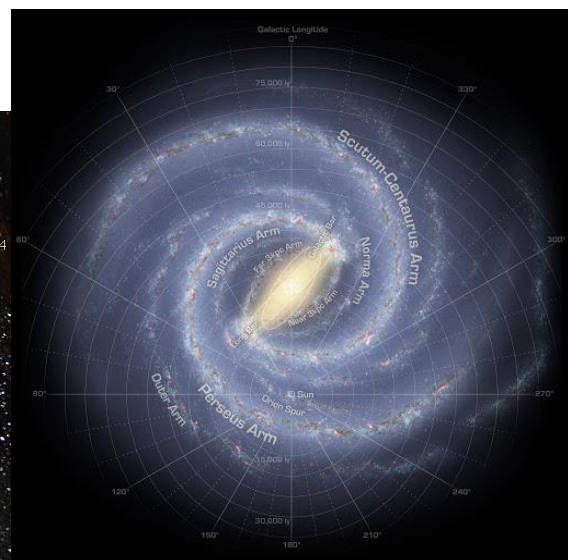


Рисунок В.3 Карта

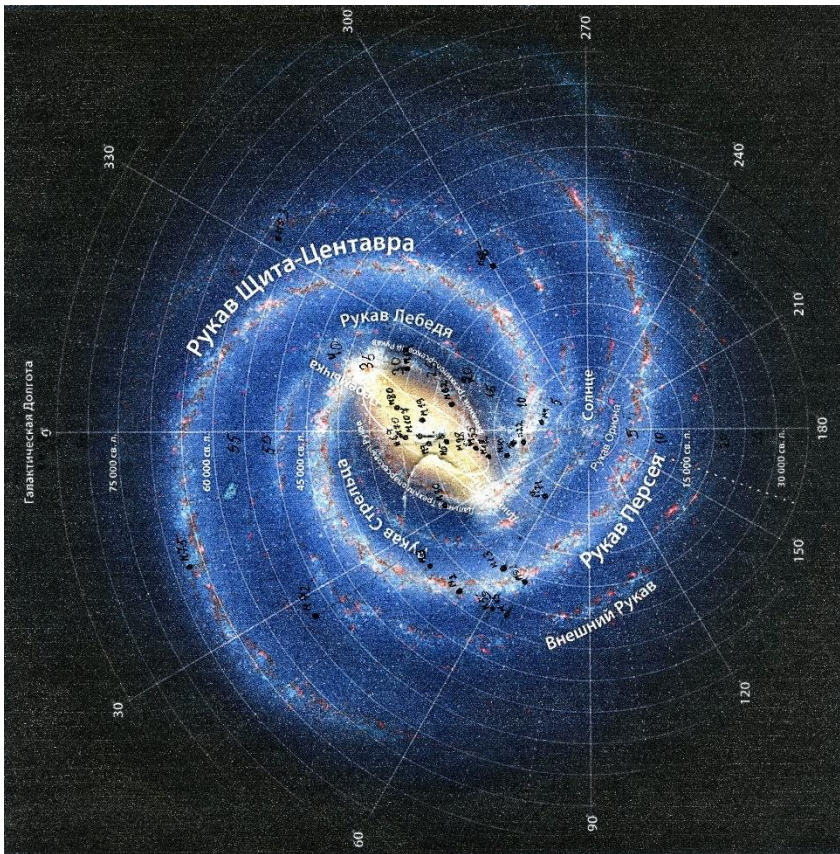


Рисунок В.4 Нанесенные шаровые скопления на карту Галактики

По химическому составу		
скопление	элементы	класс скопления
M2	водород и гелий	Шаровые звездные скопления с меньшим количеством металлов
M3	содержит металлы	дисковые скопления
M4	водород и гелий	Шаровые звездные скопления с меньшим количеством металлов
M5	водород и гелий	Шаровые звездные скопления с меньшим количеством металлов
M9	водород и гелий	Шаровые звездные скопления с меньшим количеством металлов
M10	водород и гелий	Шаровые звездные скопления с меньшим количеством металлов
M12	водород и гелий	Шаровые звездные скопления с меньшим количеством металлов
M13	водород и гелий	Шаровые звездные скопления с меньшим количеством металлов
M14	водород и гелий	Шаровые звездные скопления с меньшим количеством металлов
M15	водород и гелий	Шаровые звездные скопления с меньшим количеством металлов
M19	содержит металлы	дисковые скопления
M22	водород и гелий	Шаровые звездные скопления с меньшим количеством металлов

Рисунок В.5 фрагмент электронной таблицы для 29 шаровых скоплений: распределение по химическому составу.

По удалению от Земли			
скопление	расстояние от Земли	возраст	класс скопления
M 4	7200 световых лет	13 млрд. лет	скопления с меньшим количеством металлов
M2	37 500 световых лет	13 млрд. лет	скопления с меньшим количеством металлов
M22	10 400 световых лет	12 млрд лет	звездные скопления внешней части гало
M71	13 000 световых лет	10 млрд. лет	звездные скопления внешней части гало
M10	14 300 световых лет	10,5 млрд. лет	звездные скопления внешней части гало
M12	16 000 световых лет	12,6 млрд. лет	звездные скопления внешней части гало
M55	17 300 световых лет	12,3 млрд. лет	звездные скопления внешней части гало
M28	18 300 световых лет	12 млрд лет	звездные скопления внешней части гало
M107	20 900 световых лет	13 млрд. лет	дисковые скопления

Рисунок В.6 фрагмент таблицы для 29 скоплений: по удалению от Земли.

Шаровое скопление	Место расположения	Расстояние от Земли	Звездная величина	Размеры (диаметр)
M2	созвездие Водолея	37 500 световых лет	6,5	175 св. лет
M3	Созвездие Гончих Псов	33 900 световых лет	6,2	180 св. лет
M 4	Созвездие Скорпиона	7200 световых лет	5,6	70 св. лет
M5	созвездие Змеи	24 500 световых лет	5,6	165 св. лет
M9	созвездие Змееносца	25 800 световых лет	7,7	90 св. лет
M10	созвездие Змееносца	14 300 световых лет	6,6	83 св. лет
M12	созвездие Змееносца	16 000 световых лет	6,7	75 св. лет
M13	созвездие Геркулеса	25 100 световых лет	5,8	165 св. лет
M14	созвездие Змееносца	30 300 световых лет	7,6	100 св. лет
M15	созвездие Пегаса	33 600 световых лет	6,2	210 св. лет
M19	Созвездие Змееносца	28 000 световых лет	6,8	140 св. лет
M22	созвездие Стрельца	10 400 световых лет	5,1	100 св. лет
M28	созвездие Стрельца	18 300 световых лет	6,8	60 св. лет
M30	созвездие Козерога	26 000 световых лет	7,19	93 св. лет
M53	созвездие Волосы Вероники	58 000 световых лет	7,6	230 св. лет

Рисунок В.7 фрагмент общей таблицы 29 шаровых скоплений каталога Мессье.

скопление	расстояние от Земли	галактические координаты	
		галактическая долгота (l)	галактическая широта (b)
M 4	7200 световых лет	350.9729°	+15.9722°
M2	37 500 световых лет	53,38°	-35.78°
M22	10 400 световых лет	9.53°	-7.33°
M71	13 000 световых лет	56.7459°	-4.5644°
M10	14 300 световых лет	15.08°	23.04°
M12	16 000 световых лет	15.42°	26.18°
M55	17 300 световых лет	8.47°	-23.16°
M28	18 300 световых лет	7.47°	-5.34°
M107	20 900 световых лет	3.22°	23°
M62	22 500 световых лет	353.5746°	+7.3196°
M5	24 500 световых лет	3.8587°	+46.7964°
M13	25 100 световых лет	59.0095°	+40.9118°
M9	25 800 световых лет	5,5444°	+10.7051°
M30	26 000 световых лет	27.1791°	-46.8355°
M92	26 000 световых лет	68.3384°	+34.8589°
M19	28 000 световых лет	356.8686°	+9.3827°
M70	29 300 световых лет	2.51°	-12.3°
M69	29 700 световых лет	1.7229°	-10.2694°
M68	30 000 световых лет	299.6258°	+36.0508°
M14	30 300 световых лет	21.3239°	+14.8044°
M80	32 600 световых лет	352.6732°	+19.4630°
M56	32,900 световых лет	62.6594°	+08.3364°
M15	33 600 световых лет	65.0126°	-27.3126°
M3	33 900 световых лет	42.2170°	+78.7069°
M79	41 000 световых лет	227.2291°	-29.3515°
M72	53 000 световых лет	35.1623°	-32.6831°
M53	58 000 световых лет	332.9630°	+79.7642°
M75	67 500 световых лет	20.18°	-25.44°
M54	88 000 световых лет	5,6070°	-14,0871°

Рисунок В.8 таблица с галактическими координатами. (Оранжевым обозначены приблизительные и вызывающие сомнения координаты)

Приложение С: наблюдения и фотографирование



Рисунок С.1 MEADE LX-200



Рисунок С.2 скопление М4 (фото из интернета)



Рисунок С.3 скопление М13
(фото из интернета)



Рисунок С.4 скопление М 15
(фото из интернета)



Рисунок С.5 скопление М 56
(фото из интернета)



Рисунок С.6 наблюдения на базе отдыха
«Чебаркуль»



Рисунок С.7 подготовка
к фотографированию



Рисунок С.8 переходное Т-кольцо



Рисунок С.9 спусковое устройство

Рисунок С.10 фотография Веги



Рисунок С.11 фотография шарового скопления М56



Рисунок С.12 фотография шарового скопления М 13



Рисунок С.13 фотография шарового скопления М15