

МЛЕЧНЫЙ ПУТЬ – НАША ГАЛАКТИКА

Т.В.Мишенина

Светящаяся полоса, которую мы наблюдаем в вечернем летне-осеннем небе, опоясывающая небосвод широким кольцом, называется Млечный Путь (рис. 1). Название Млечный Путь является калькой с лат. *via lactea* "молочная дорога", которое, в свою очередь, калька с др.-греч. κῦκλος γαλαξίας, "молочный круг". Восходит оно к древнегреческой легенде о молоке богини Геры, кормившей им Геракла. Млечный Путь – это не только обозначение видимых звёзд, которые для наблюдателя составляют Млечный Путь, такое название носит и наша галактика Млечный Путь, или Галактика. Видимая нами полоса является диском Галактики и состоит из света многих миллионов звезд. Но, что же такое Галактика в современном понимании, когда и как сформировалось представление о нашей звездной системе? Несмотря на то, что большинство философов считает, что наука как особая форма духовной деятельности появилась в классической Греции периода расцвета демократии (VII-VI века до н. э.), ее зачатки (в частности, астрономии) прослеживаются еще в Древнем Египте, Вавилоне и Индии. Это были математические (геометрические) представления движений и положений Солнца, Луны, планет, вычисление лунных и солнечных затмений, детальное изучение неподвижных звезд, их восходов, кульминаций и заходов. Описание же картины мира, Вселенной, в том числе и нашей звездной системы, долгое время оставалось на уровне мифов. Однако уже в Древней Греции различные философские школы развивали различные направления космологии. Так, пифагорейцы придерживались математического описания небесных движений и геометрического осмысления Вселенной. Это сыграло огромную роль в развитии астрономии. Эмпедокл, Анаксимандр, Анаксагор, Демокрит и Эпикур уделяли внимание эволюции мира и единству вещества во Вселенной. И вот уже в III веке до н.э. Евдокс объяснял сложное движение светил как сумму движений сфер. Эпикур от идеи относительности движения перешел к геометрическим доказательствам, подтвержденным наблюдениями, от двойного враще-



Рис. 1.

ния Земли в плоскости экватора с периодом в одни сутки вокруг фантастического небесного тела Гестии (огонь) – к ее годовому обращению вокруг Солнца в плоскости эклиптики. Эпикур учил о бесконечности пространства, Аристарх – о бесконечной удаленности звезд. Таким образом, философы античности были достаточно близки к современному взгляду на окружающий мир, место Солнца и звезд. Многие из них предполагали, что Млечный Путь состоит из звезд, но все еще были далеки от представления о звездной системе, Галактике, и действительном месте Земли и Солнца в ней. Возобладовавшая, в конечном счете, геоцентрическая система Птолемея, на несколько столетий "законсервировала" научные поиски и исследования в других направлениях.

В 1610 году Галилео Галилей сделал великое открытие, направив свой телескоп на Млечный Путь. Он обнаружил, что облака Млечного Пути состоят из огромного числа слабых звезд. Потребовалось еще полтора столетия, чтобы немецкий философ Иммануил Кант, опираясь на работы астронома Томаса Райта и законы тяготения, открытые Исааком Ньютоном, пришел к выводу, что наша звездная система, Галактика, большей частью которой является и Млечный Путь, может быть вращающимся диском, состоящим из огромного количества звезд, удерживаемых гравитационными силами, сходными с теми, что действуют в Солнечной системе. И этот диск выглядит как светящаяся полоса на небе с места расположения Земли и Солнца в Галактике. Таким образом, помимо математических (геометрических) представлений к исследованию мира была привлечена физика. "Млечный Путь – эклиптика для звезд" писал И. Кант, а "Сириус – центральное тело". В последнем он заблуждался, однако высказал предположение, что некоторые из туманностей, известные к тому времени и видимые на ночном небе, могут быть другими галактиками. И снова потребовалось полтора столетия, чтобы эта догадка получила наблюдательное подтверждение.

Вместе с тем, уже в конце XVIII века, благодаря колоссальной работоспособности, гению и таланту Уильяма Гершеля, помощи его сестры Каролины, а впоследствии наблюдениям его сына Джона Гершеля, проведенным в Южном полушарии, методом подсчета звезд была построена картина нашей Галактики. Гершель дал убедительное доказательство тому, что расстояния до различных звезд неодинаковы, и что Солнце по отношению к ближайшим звездам движется в пространстве. Звездная система – Галактика, в которую входит и наше Солнце, имеет вид сплюснутого диска. Поскольку была обнаружена большая звездная плотность в Южном полушарии, это было свидетельством того, что Солнце не лежит в плоскости симметрии, а несколько возвышается, находится над плоскостью Галактики. Но само Солнце в этой картине мира все еще находилось в центре нашей большой звездной системы. Благодаря наблюдениям Харлоу Шепли уже в XX веке был обнаружен настоящий центр Галактики по пространственному расположению 69 шаровых скоплений, хотя при этом Х. Шепли считал все туманности членами нашей звездной системы. А в конце 1923 года Эдвин Пауэл Хаббл получил снимки туманности Андромеды и обнаружил на них цефеиды. Э. Хаббл оценил расстояние до туманности Андромеды в 930 000 световых лет, используя установленную Генриэттой Ливитт зависимость "период-светимость" для цефеид. Для того времени это была шокирующая цифра, хотя и вдвое меньше современных оценок. После этого стало ясно, что большинство спиральных туманностей – это гигантские звездные системы, находящиеся на огромных расстояниях от нашей Галактики.

Именно Х. Шепли, а не Э. Хаббл, предложил называть внешние звездные системы "галактиками". Э. Хаббл все еще был подвержен консервативным взглядам на мир, впрочем, который он сам и опроверг. Эдвин Хаббл, человек, доказавший, что Млечный Путь лишь одна из неисчислимого множества галактик, так и не перестал называть эти объекты "экстра-галактическими туманностями".

Следующим шагом в понимании строения Галактики было осознание того, что Млечный Путь содержит огромное количество газа и пыли. Одним из первых, кто обратил внимание на наличие поглощения света звезд межзвездной субстанцией, был швейцарский астроном Жан Филлипп де Шезо (1744). Он, формулируя фотометрический парадокс (парадокс Шезо – Ольберса) – почему яркость ночного неба не такая как яркость Солнца, ведь огромное число звезд должно создавать очень яркое небо, заявил: облака пыли "закрывают" свет далеких звезд. В современной космологии фотометрический парадокс объясняется конечностью возраста Вселенной и конечностью скорости света. Спустя почти 100 лет, основываясь на наблюдениях звезд, о межзвездном поглощении русский астроном Вильгельм Струве в 1847 году установил: "Я не вижу никакого другого объяснения, помимо допущения, что интенсивность света убывает быстрее, чем обратно пропорционально квадрату расстояния, а это означает, что существует потеря света, ослабление при прохождении света через мировое пространство". Поглощение и рассеяние электромагнитного излучения веществом (пылью и газом), находящимся в межзвездном пространстве между излучающим астрономическим объектом и наблюдателем, описывается межзвездной экстинкцией, которая представляется зависимостью "поглощения света" от длины волны. В 30-е годы двадцатого столетия Роберт Трюмплер оценил его по спектрофотометрическим измерениям пар звезд и исследованию рассеянных скоплений.

Газ и пыль в Галактике сосредоточены в различного рода облаках – от круглых черных компактных пылевых глобул до гигантских неправильной формы агрегатов. Таковы они в созвездиях Ориона, Тельца, Лебедя и Скорпиона. Эти космические облака связаны со спиральными рукавами Галактики, которые были известны ранее из наблюдений ярких звезд. Межзвездные линии поглощения открыты Дж. Хартманом в 1904 году. Они принадлежали атомам и ионам Ca, Na, Fe, Ti.

Бертил Линдبلاد в 1925 году оценил скорость Солнца относительно звезд (20 км/с) и обнаружил два противоположно направленных потока звезд, обусловленных вращением Галактики. Ян Хендрик Оорт в 1927 году на основе статистического изучения лучевых скоростей и собственных движений строго обосновал гипотезу Б.Линдлада о вращении Галактики вокруг ее центра и показал, что Галактика вращается не как твердое тело – внутренние ее части вращаются быстрее, скорость уменьшается с расстоянием от центра.

Наша Галактика Млечный Путь является большой дискообразной спиральной галактикой с перемычкой, с диаметром диска, который мы наблюдаем в оптическом излучении около 25 – 30 кпк (или около 10^5 световых лет) по разным данным. Она содержит около $3 \cdot 10^{11}$ звезд, а ее общая масса с учетом протяженного гало составляет около $6 \cdot 10^{11} M_{\odot}$, что почти в 5 раз превышает массу, сосредоточенную в пределах оптического диска. Помимо звезд, в Галактике содержится межзвездный газ, пыль, и – как показали исследования последних лет, в частности, спутника WMAP (*Wilkinson Microwave Anisotropy Probe*), запу-

щенного в 2001 году НАСА (NASA, *National Aeronautics and Space Administration*) для исследования реликтового излучения, образовавшегося в результате Большого Взрыва, – большая доля темной материи и, возможно, темной энергии, связанные силами гравитационного взаимодействия. В 2009 году ЕКА (Европейским Космическим Агентством) с аналогичной целью была запущена космическая обсерватория "Планк" (Planck), названная в честь Макса Планка, известного немецкого физика. По ее данным, Вселенная состоит на 4,9 % из обычного (барионного) вещества (по данным WMAP – 4,6 %), на 26,8 % из темной материи (против 22,4 %) и на 68,3 % (против 73 %) из темной энергии. Непосредственно в Галактике эти пропорции могут отличаться.

Наша Галактика, как и другие спиральные галактики, характеризуется сложной многокомпонентной структурой (рис. 2). Яркий диск погружен в слабосветящуюся сферическую подсистему – гало. Центральная часть Галактики – это плотное эллипсоидальное сгущение звезд, называемое балджем (от англ. *bulge* – выпуклость), являющееся трехосным бароподобным образованием (по наблюдениям спутника COBE (*Cosmic Background Explorer*, запущенного в 1989 году для исследований реликтового фона)), и ядро. В самом центре ядра (50×30 пк) находится компактный объект Стрелец А (Sgr A*), возможно, представляющий собой черную дыру. В настоящее время крупномасштабная структура галактического диска обычно моделируется в виде двойного диска с экспоненциальным распределением плотности. Модель рассматривает тонкий диск, вертикальный масштаб вблизи Солнца 0,2 – 0,3 пк и толстый диск, вертикальный масштаб 1 пк, при максимальной высоте около 3 кпк и расстоянии Солнца от галактического центра $R_0 = 7.5$ кпк, протяженность диска оценивается в $R = 12$ кпк. Самыми распространенными звездами, населяющими галактический диск, являются холодные звезды – карлики; к типичным представителям тонкого диска можно отнести горячие звезды спектральных классов О-В, долгопериодические цефеиды, рассеянные звездные скопления (РС) и ассоциации, газо-пылевые туманности. Красные гиганты, долгопериодические и неправильные переменные звезды, белые карлики, новые звезды, пульсары, черные дыры и планетарные туманности в большей степени характерны для толстого диска.

Сферическая подсистема (гало) – это красные карлики и субкарлики, красные гиганты, коротко и сверхдолгопериодические цефеиды, звезды типа RR Лиры, шаровые скопления (ШС). Однако четкого разделения тех или иных типов звезд и объектов по структурным подразделениям в Галактике нет. Перечисленные объекты могут наблюдаться как в тонком, так и в толстом дисках, а также гало.



Рис. 2.

С учетом оценок скорости убегания звезд в окрестности Солнца, равной 475 км/с и скорости движения 200 км/с, получено, что гало Галактики простирается, по крайней мере, до $R = 46$ кпк, то есть до Магеллановых Облаков, двух галактик неправильной формы, являющихся спутниками нашей Галактики, вращающимися вокруг общего с ней центра масс. Результаты исследования динамики систем шаровых скоплений, карликовых спутников Галактики и галактики Туманность Андромеды свидетельствуют о еще более массивном и протяженном гало ($R = 100\text{--}200$ кпк). Именно аккрецированное гало, которое фактически делает видимой корону, состоящую из темного вещества, и простирается так далеко.

Еще в 1852 году Стивен Александер высказал предположение, согласно которому Млечный Путь представляет собой систему спиральных ветвей, исходящих из центра, в котором находится Солнце, а также все ярчайшие звезды. Бертил Линдبلاد, рассматривая движения звезд в больших скоплениях (галактиках), нашел, что звезды стремятся концентрироваться в спиральных рукавах, а спирали лидируют во вращении галактики (в настоящее время считается, что они "волочатся", отстают). Он первым (1955) высказал идею о том, что всякий спиральный рукав представляет собой не некоторое материальное образование, а волну. В 1964 г. Ци-Цяо Лин и Франк Шу показали, что благодаря гравитационной неустойчивости, в галактиках могут существовать волны плотности спиралевидной формы, вращающиеся с определенной угловой скоростью и распространяющиеся по радиусу с определенной групповой скоростью. Рассматриваются различные причины возникновения волн плотности: это может быть существование в центре асимметричного образования – вращающегося бара, генератора волн или наличие гравитационной неустойчивости. Наличие бара в центре нашей Галактики в последнее десятилетие XX века доказано рядом наблюдений. В 2005 г. Робертом Бенджамином с коллегами были проанализированы данные GLIMPSE (*Galactic Legacy Mid-Plane Survey Extraordinaire*) каталога, содержащего около 30 млн ИК-источников, полученные спутником "Спитцер" (*Spitzer Space Telescope*, инфракрасный телескоп НАСА). Они показали наличие длинного бара, проходящего через центр Галактики с полушириной $R_{\text{bar}} = 4.4 \pm 0.5$ кпк, наклоненного на угол $\phi = 44^\circ \pm 10^\circ$ к линии Солнце – центр Галактики. Также образование спиральной структуры может быть вызвано внешними причинами, например, приливного характера, вызванного взаимодействием с близлежащей галактикой (к примеру, Большим Магеллановым Облаком – БМО) или прохождением в соответствующей близости другой галактики.

В последнее время получено все больше подтверждений тому, что в нашей Галактике содержатся объекты, ею захваченные, движущиеся и гравитационно взаимодействующие с объектами в межгалактической среде. Об этом говорят и кинематические, и спектральные исследования звезд шаровых скоплений в нашей Галактике, а также многочисленные снимки космического телескопа "Хаббл".

Оценки расстояния от Солнца до центра Галактики, приведенные в различных работах, заметно отличаются – от 7.10 ± 0.54 кпк, опираясь на звезды балджа, и до 8.92 ± 0.56 кпк, используя кинематику звезд центрального (0.5 пк) скопления в ядре Галактики. На основе анализа данных, собранных при помощи спутника ЕКА "Гайя" или "Гея" (Gaia, изначально от *Global Astrometric Interferometer for Astrophysics*, затем – богиня Земли, Гея), проведено измерение скорости вращения Солнца вокруг центра Галактики. Динамическое измерение скорости вращения Солнца вокруг центра Галактики: $V_{\text{вр}} = 239 \pm 9$ км/с. В со-

четании с измеренным собственным движением объекта в центре Галактики, Sgr A *, это дает расстояние до галактического центра: $R_0 = 7.9 \pm 0.3$ кпк. В 1985 году Международным Астрономическим Союзом (МАС) для унификации пользования была рекомендована величина расстояния, равная 8.5 кпк.

Основные современные количественные оценки параметров Галактики представлены в таблице. Следует заметить, что значения параметров нашей Галактики, постоянно уточняющиеся и зависящие от методов и источников их определения, соответственно не являются точными "окончательными" значениями.

Млечный Путь, наша звездная система, вместе с Галактикой Андромеды (M31), Галактикой Треугольника (M33), и более 40 карликовыми галактиками-спутниками, как нашей Галактики, так и Андромеды, образуют Местную Группу галактик, которая является частью Местного Сверхскопления (Сверхскопления Девы).

В последние годы вопрос-загадка образования Млечного Пути получил новую интерпретацию. Ученые из Германии, Великобритании и США во главе с Дидериком Круссеином на основе искусственной нейронной сети на космологическом моделировании E-MOSAICS исследовали совместное образование и совместную эволюцию шаровых скоплений (ШС) и их родительских галактик. Сеть использует возраст, металличность и орбитальные свойства

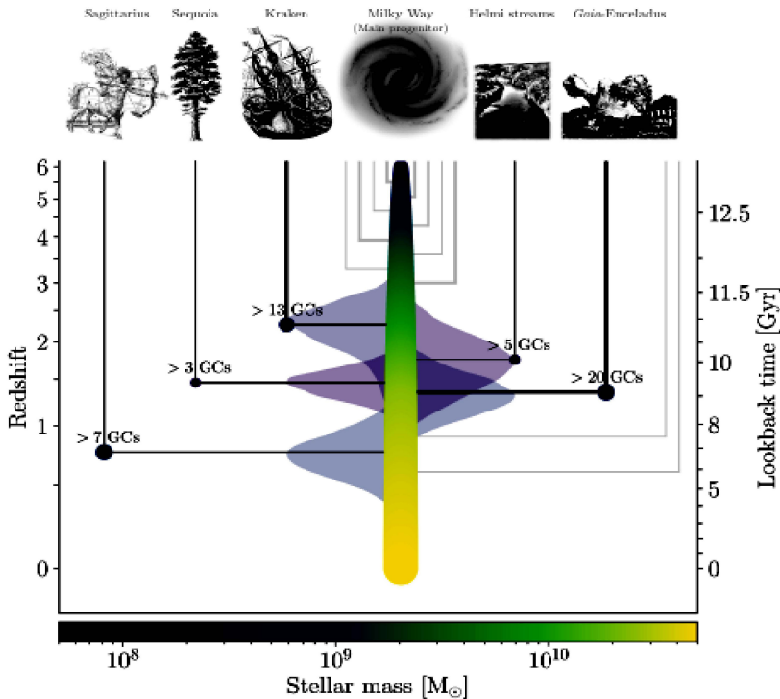


Рис. 3 (MNRAS, 2020). Дерево слияния галактик Млечного Пути, полученное путем применения результатов моделирования E-MOSAICS к населению Галактических ШС.

Таблица. Основные параметры Галактики:

Диаметр дисковой составляющей	30 кпк
Масса и шкала высот тонкого диска на R_0	$4 \pm 1 \cdot 10^{10} M_{\odot}$, 300 ± 50 пк
Масса и шкала высот толстого диска на R_0	$8 \pm 3 \cdot 10^9 M_{\odot}$, 2.0 ± 0.2 кпк, 900 ± 180 пк
К/а балдж: угол, отношение осей, вертикальная шкала высот	$27^{\circ} \pm 2^{\circ}$, 0.5 ± 0.05 , 180 пк
Длинный бар: угол, радиус, шкала высот тонкого бара	$29.5^{\circ} \pm 1.5^{\circ}$, 5.0 ± 0.2 кпк, 180 пк
Радиус сферической составляющей (внутреннее гало)	10 кпк
Расстояние от центра Галактики до Солнца	8.2 ± 0.1 кпк (8.5 кпк, МАС 1985 год)
Положение Солнца над плоскостью Галактики	25 ± 5 пк
Количество звезд в Галактике	Не менее 10^{11}
Общая масса звезд различных типов	$6 \cdot 10^{11} M_{\odot}$
Общая масса Галактики, включая галактики-спутники	$1.2 \cdot 10^{12} M_{\odot}$
Скопление звезд в ядре (NSC): масса, радиус, отношение осей	$2 \cdot 10^7 M_{\odot}$, 4.2 ± 0.4 пк, 0.71
Масса черной дыры (Sgr A*) в центре Галактики	$(4.2 \pm 0.2) \cdot 10^6 M_{\odot}$
Период обращения Солнца вокруг ядра Галактики	250 млн лет
Полная угловая скорость Солнца относительно Sgr A*	30.24 ± 0.12 км/с на кпк
Круговая скорость вращения на расстоянии Солнца	238 км/с

Примечание. Шкала высот в данном случае – это расстояние, на котором масса объектов в единице объема уменьшается в e раз ($e \approx 2.7$).

ШС, которые сформировались в одних и тех же галактиках-прародителях, для предсказания звездных масс и красных смещений аккреции этих прародителей. Авторы применили сеть к Галактическим ШС, связанным с пятью прародителями: Гайя-Энцелад, потоки Хельми, Секвойя, Стрелец и недавно обнаруженные "низкоэнергетические" ШС, которые обеспечивают отличное соответствие предсказанным свойствам загадочной галактики "Кракен". Обнаружилось, что некоторые ШС можно объединить в группы, связанные общим происхождением. Хотя эти предшественники, вероятно, представляли самые массовые аккреционные события Млечного Пути, их общая масса не была большой, а равнялась массе как и у звездного гало. Таким образом, звездная масса Млечного Пути увеличилась в основном за счет звездообразования в Галактике. Авторы представили эти события аккреции в наиболее детальную на сегодняшний день реконструкцию дерева слияния Млечного Пути.

А сейчас мы предлагаем вам послушать композицию Cataclysm ("Катаклизм"), которая дает слушателям представление о том, как звучат гравитационные волны при слиянии двух черных дыр на расстоянии 1,3 млрд световых лет от Земли. "Мы даже не можем увидеть, что вызвало эту пульсацию, можем ее только почувствовать", – говорит Кунио. Для создания музыкального сопровождения в композиции музыковед воспользовался виртуальным пианино и настроил его так, чтобы каждая нота воспроизводилась дважды. "Звуки космоса" – это совместный проект доктора Найджела Мередита, Дианы Скарборо и доктора Кима Кунио. Прослушать или скачать альбом можно по ссылке: <https://soundsofspaceproject.bandcamp.com/album/celestial-incantations>.