

Сколько галактик во Вселенной?

С давних времен, восхищаясь красотами ночного небосклона, люди задавались, казалось бы, простым вопросом — «Сколько звезд на небе?» Прошло немало тысячелетий, прежде чем астрономы наконец-то дали на него ответ (причем весьма приближенный). Однако множество других подобных «детских вопросов» в астрономии своего ответа пока не имеют. Попробуем разобраться с одним из них.

Владимир Сурдин,
кандидат физ.-мат. наук, старший научный сотрудник отдела
изучения Галактики и переменных звезд ГАИШ, доцент
физического факультета МГУ, Москва

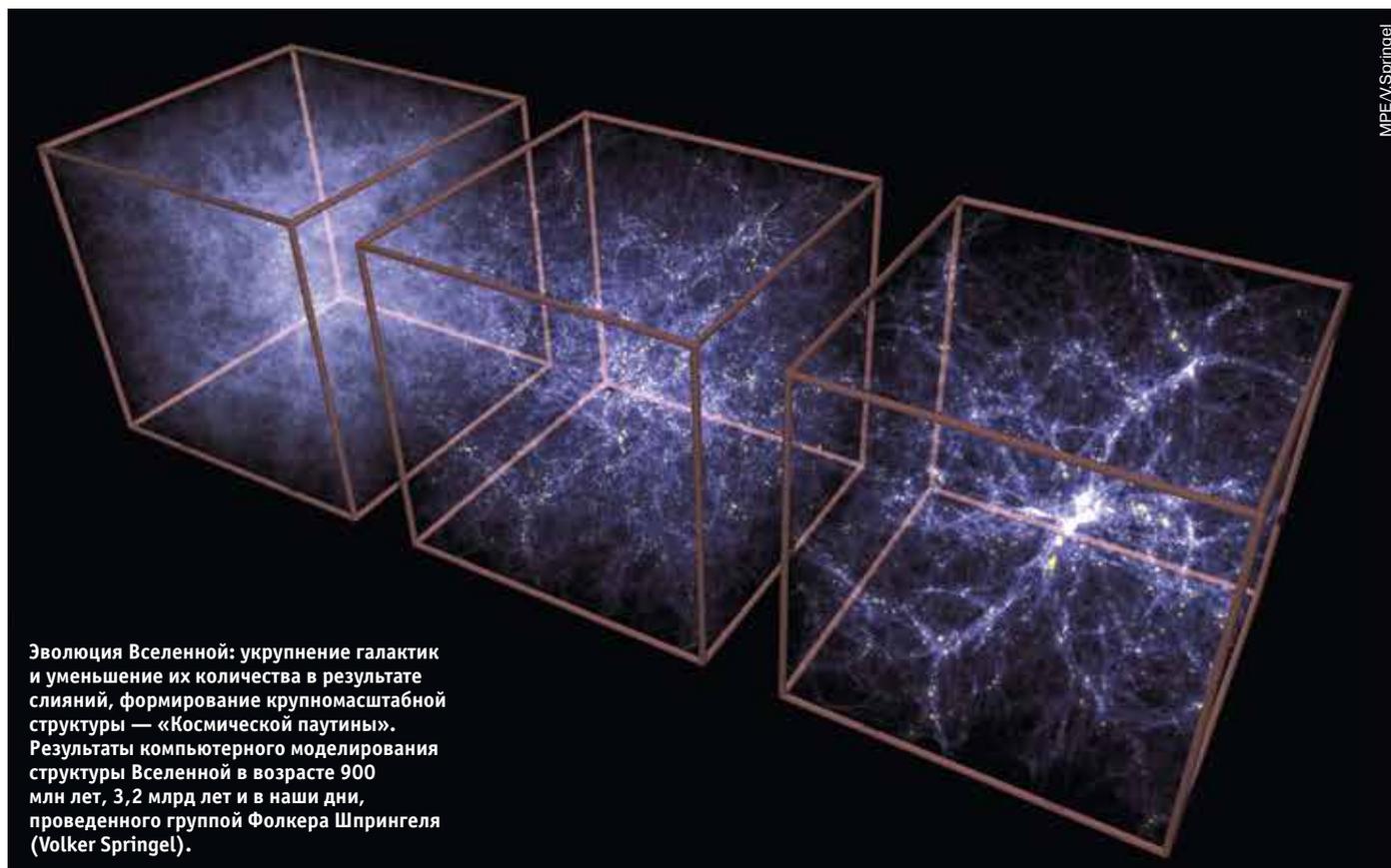
В заголовке статьи только одно слово не требует специального обсуждения, а именно — «сколько». Другие же настолько неоднозначны по смыслу, что, прежде чем пытаться ответить на вопрос «Сколько галактик во Вселенной?», мы должны хотя бы договориться, что такое «галактика» и как определяются границы Вселенной.

Традиционно галактикой называют крупное гравитационно-связанное скопление звезд и межзвездного вещества, отделенное от подобных структур обширным пустым пространством. В свете последних открытий этим определением становится пользоваться все труднее. В каталогах галактик мы найдем множество довольно крупных звездных систем, погруженных в периферийную область (гало) еще более крупных объектов. Бли-

жайший пример — две небольших галактики Большое и Малое Магеллановы Облака, движущиеся внутри границ нашей галактики Млечный Путь.¹ Следующий пример — наша соседка, крупная спиральная галактика Туманность Андромеды (M31), внутри которой мы находим две эллиптических — M32 и NGC 205. И таких примеров — бесчисленное множество: во внешних областях почти каждой гигантской галактики мы обнаруживаем несколько мелких звездных систем. Они не отделены пустым пространством от более крупной, однако их тоже называют галактиками.

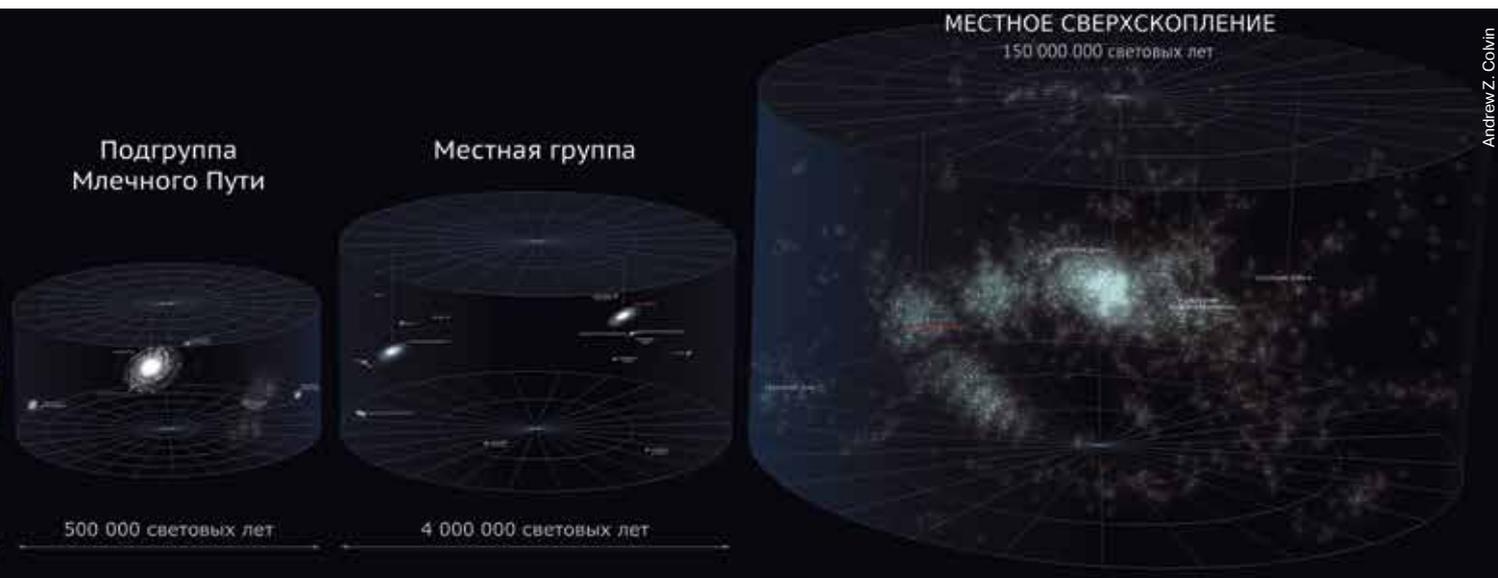
С другой стороны, даже если «звездный коллектив» находится вдали от прочих ему подобных, можно ли его в любом случае считать галактикой? Начиная с какого количества членов звездное скопление становится галактикой? Во внешней области и вокруг Млечного Пути обнаружено немало карликовых систем. Традиционно их тоже называют «галактиками», хотя никто не сможет сказать, где проходит нижняя граница массы или количе-

¹ ВПВ №6, 2007, стр. 7



Эволюция Вселенной: укрупнение галактик и уменьшение их количества в результате слияний, формирование крупномасштабной структуры — «Космической паутины». Результаты компьютерного моделирования структуры Вселенной в возрасте 900 млн лет, 3,2 млрд лет и в наши дни, проведенного группой Фолкера Шпрингеля (Volker Springel).

MPE/V.Springel



Andrew Z. Colwin

▲ Иерархия масштабов во Вселенной.

При переходе к масштабам свыше 100 Мпк (326 млн световых лет) обнаруживается четкая ячеистая структура. Пустоты, разделяющие протяженные волокна, называются «войдами». Сами волокна и плоскости (стены) состоят из галактик, на их пересечениях расположены галактические сверхскопления — наивысший уровень «вселенской иерархии». Ниже в этой иерархии находятся скопления галактик, далее — локальные группы, а самый нижний уровень (масштаб 15–600 тыс. световых лет) «населяет» огромное многообразие самых различных объектов — звезд, туманностей, звездных скоплений. Конечно, мир галактик тоже очень разнообразен: среди них встречаются линзовидные, спиральные, эллиптические, неправильные, с полярными кольцами, с активными ядрами и т.д.

ства звезд в галактиках, отделяющая их от более мелких звездных систем — шаровых и рассеянных звездных скоплений.² Поэтому неудивительно, что некоторые объекты иногда «мигрируют» из одной группы в другую — как, например, Palomar 4 и Palomar 12, которые прежде считались карликовыми галактиками, а ныне отнесены к категории шаровых скоплений.

В любой группе объектов — как живых, так и неживых — мелких «особей» всегда больше, чем крупных. В Местной Группе галактик, включающей в себя два крупных члена (Млечный Путь и Туманность Андромеды), два средних (Большое Магелланово Облако и М33 — спиральная галактика в Треугольнике), имеется еще полсотни значительно меньших по размерам и массе звездных систем. Почти ежегодно обнаруживаются новые мелкие члены Местной Группы, поэтому даже в ней, сравнительно небольшой (ее поперечник не превышает 10 млн световых лет) и наиболее изученной, мы не можем точно указать количество галактик. Что уж говорить обо всей Вселенной, наблюдаемая область которой простирается на многие миллиарды световых лет, а за пределами этой области она потенциально бесконечна...

Поэтому вопрос «Сколько галактик во Вселенной?», очевидно, не имеющий точного ответа, можно сформулировать более аккуратно: «Сколько типичных галактик можно собрать из звезд, заполняющих видимую область Вселенной?» При этом «типичной» вполне можно считать нашу звездную систему, объединяющую примерно 2×10^{11} звезд общей массой около $7 \times 10^{10} M_{\odot}$ (где $M_{\odot} = 2 \times 10^{30}$ кг — масса Солнца). Таким образом, Млечный Путь должен весить около 30×10^{51} кг, плюс-минус пару триллионов триллиардов гигатонн.³

В течение нескольких сотен тысяч лет после Большого взрыва, ознаменовавшего рождение нашего мира, все пространство Вселенной было заполнено почти однородной и очень горячей плазмой, в которой почти не было обычных атомов, а заряженные частицы — электроны и протоны — существовали раздельно, двигаясь с огромными скоростями и интенсивно взаимодействуя с электромагнитными волнами, которые они поглощали и рассеивали. Поэтому пространство в ту эпоху было непрозрачным для света и других типов электромагнитного излучения. Но постепенно из-за расширения

пространства плазма остывала, и электроны объединялись с ядрами атомов — происходила рекомбинация. Когда Вселенной было около 400 тыс. лет, плазма окончательно превратилась в нейтральный газ, почти не поглощавший свет. А поскольку межзвездной пыли в ту эпоху еще не было, пространство стало прозрачным, и родившиеся тогда кванты излучения начали свободно распространяться во всех направлениях. Сегодня эти кванты приходят к Земле со всех сторон в виде реликтового микроволнового фона, проделав путь длиной 13,8 млрд световых лет.⁴ То место, откуда они тронулись в путь, астрономы называют «поверхностью последнего рассеяния». Это и есть наиболее далекая область Вселенной, доступная наблюдениям. Поскольку Вселенная непрерывно расширяется, эта поверхность удалялась от нас все время, пока кванты реликтового излучения летели к нам. Сегодня ее отделяет от нас более 45,5 млрд световых лет, или около 14 гигапарсек (Гпк). Это и есть современный радиус наблюдаемой области Вселенной — за ее пределами мы не имеем возможности что-либо увидеть.⁵ Объем этой области составляет $11\,400$ Гпк³. Сколько же галактик она содержит?

Казалось бы, ответить на этот вопрос довольно просто: поскольку Вселенная прозрачна, нам должны быть видны все галактики, вплоть до самых дальних. А поскольку наш мир на больших масштабах практически однороден, т.е. одинаков во всех направлениях, то можно не считать их «поштучно» — достаточно, глядя в телескоп, просто подсчитать количество галактик в небольшом поле его зрения, а затем «обобщить» это число на всю небесную сферу. Разумеется, чем мощнее телескоп — тем больше он увидит галактик на определенном участке неба, поскольку сможет запечатлеть более далекие и тусклые объекты. Такие подсчеты действительно были проведены с помощью самого «дальнобойного» инструмента — космического телескопа Hubble. Трижды с его помощью астрономы наблюдали наиболее удаленные области Вселенной, пытаясь «дотянуться» до самых далеких/молодых галактик. Первый подсчет, проделанный в 1999 г., показал, что на всем небе Hubble смог бы заметить около 125 млрд галактик. В 2013 г. эту операцию повторили, предварительно получив снимок с большей экспозицией и, естественно, заметив на нем более тус-

² ВПВ №8, 2008, стр. 4

³ Названия чисел даны по «длинной» шкале

⁴ ВПВ №4, 2010, стр. 4; №5, 2010, стр. 4

⁵ ВПВ №2, 2014, стр. 29



КАПЛЯ ВОДЫ В ОБЪЕМЕ ПЛАНЕТЫ

Средний радиус Юпитера — 70 000 км, его объем — $1,4 \times 10^{15}$ км³ или $1,4 \times 10^{24}$ м³, масса — $1,9 \times 10^{27}$ кг.

Капля воды из медицинской пипетки имеет массу 0,03–0,05 г.

Допустим, «наша» пипетка формирует средние капли весом 0,042 г.

Тогда 4 капли будут весить 0,168 г или 0,000168 кг.

Если вещество этих четырех водяных капель распределить в объеме Юпитера, мы получим среднюю плотность барionного вещества в наблюдаемой Вселенной — $0,000168 \text{ кг} / 1,4 \times 10^{24} \text{ м}^3 = 1,2 \times 10^{-28} \text{ кг/м}^3$.

кые объекты. Новый результат оказался почти вдвое больше — 225 млрд звездных систем. Нет сомнения, что это лишь нижняя граница оценки их истинного числа: гигантские астрономические инструменты будущего, которые придут на смену обсерватории Hubble, увидят еще больше галактик. А можем ли мы уже сегодня хотя бы приблизительно оценить их полное количество, включая и те, которые не в силах разглядеть даже очень большой телескоп?

Оказывается, это возможно. Подобно тому, как, наблюдая за движением брошенного вверх мяча или летящего вокруг Земли спутника, физики определили силу притяжения нашей планеты, вычислили ее массу и плотность, астрономы, наблюдая за движением галактик, узнали среднюю плотность вещества во Вселенной. Если не принимать во внимание таинственную темную энергию, обладающую свойством антигравитации, а ограничиться «привычным» веществом с нормальной гравитацией, то его средняя плотность в наблюдаемой области Вселенной составляет примерно $7,8 \times 10^{-28}$ кг/м³. Около 85% этого вещества приходится на долю загадочной темной материи, состав которой нам до сих пор неизвестен.⁶ Она в основном находится в обширных галактических гало и не имеет от-

⁶ ВПВ №10, 2005, стр. 6; №

ношения к звездам. А вот оставшиеся 15% — это хорошо нам знакомое барionное вещество, т.е. протоны, нейтроны и электроны, из которых состоят все химические элементы. Средняя плотность такого вещества составляет $7,8 \times 10^{-28} \times 0,15 = 1,2 \times 10^{-28}$ кг/м³. Из него состоят как плотные тела (звезды, планеты, живые организмы), так и разреженные среды, заполняющие пространство между планетами, звездами и галактиками. Планеты и их население можно не принимать в расчет ввиду ничтожной по сравнению с остальными компонентами массы, а между разреженными средами и звездами средняя плотность распределяется примерно как 9:1. Иными словами, лишь 10% барionного вещества сосредоточено в звездах, а оставшиеся 90% — это в основном горячий межгалактический газ, состоящий из водорода и гелия.

Итак, средняя плотность звездного вещества в наблюдаемой области Вселенной составляет около $1,2 \times 10^{-29}$ кг/м³. Объем этой области, как мы уже выяснили, равен примерно 11 400 кубических гигапарсеков, или $3,35 \times 10^{80}$ м³. Перемножив эти два числа, получим полную массу звезд — $4,0 \times 10^{51} / 2 \times 10^{30} = 2 \times 10^{21}$. Это 2000 миллиардов миллиардов звезд. Если бы все они были поровну распределены между «стандартными» галактиками (такими, как Млечный Путь), то количество галактик составило бы $2 \times 10^{21} / 7 \times 10^{10} \approx 3 \times 10^{10}$. Таким образом, из всех звезд, заполняющих наблюдаемую область Вселенной, можно «построить» 30 млрд галактик, похожих на нашу. Но, как мы уже узнали, подсчеты, сделанные с помощью телескопа Hubble, дали в 7,5 раз больший результат. В чем же дело?

Причина расхождения в том, что наш Млечный Путь типичен для современной эпохи, но в прошлом галактики имели меньший размер и массу, и их было больше. Это изменение вызвано так называемым «галактическим каннибализмом»: более крупные системы поглощают более мелких соседей и растут за их счет. В далеком прошлом типичные галактики были в десятки раз менее массивными, чем теперь, и соответственно в десятки раз более многочисленными. На «сверхглубоких» фотографиях Вселенной мы видим ее близкие области такими, какими они были в сравнительно недавние времена, а далекие — такими, как они выглядели миллиарды лет назад.

Подведем итоги. В наблюдаемой области Вселенной, имеющей в нашу эпоху радиус порядка 45,5 млрд световых лет, большинство звезд сосредоточено в галактиках типа Млечного Пути, и полное количество таких галактик — около 30 млрд. Кроме них, есть и более мелкие звездные системы, которых в несколько раз больше, но звезд в них относительно немного. Однако в далеком прошлом типичная галактика была намного меньше нашей, и они были намного более многочисленными — их количество достигало сотен миллиардов.

Разумеется, если нас интересует полное количество современных галактик независимо от их «весовой категории», то их существенно больше, чем 30 миллиардов. Рассматривая Местную группу как типичную, мы видим, что в ней имеется четыре довольно массивных системы (Туманность Андромеды, Млечный Путь, спираль в Треугольнике и Большое Магелланово Облако), а также не менее полусотни небольших. Распространив эту пропорцию на всю Вселенную, можно заключить, что полное количество галактик — как крупных, так и мелких — составляет около 400 млрд. Грубо говоря, в наблюдаемой Вселенной их примерно столько же, сколько звезд в нашей Галактике.⁷ Вполне возможно, что это любопытное совпадение не совсем случайно и является одним из проявлений каких-то не изученных пока закономерностей нашего мира... Но для ответа на этот вопрос, похоже, потребуются усилия не только астрономов.

⁷ ВПВ №2, 2007, стр. 8

КНИГА ПО ТЕМЕ



С046. Под ред. Сурдин В.Г. Галактики.

Четвертая книга из серии «Астрономия и астрофизика» содержит обзор современных представлений о гигантских звездных системах — галактиках. Рассказано об истории открытия галактик, об их основных типах и системах классификации. Даны основы динамики звездных систем. Подробно описаны ближайшие к нам галактические окрестности и работы по глобальному изучению Галактики. Приведены данные о различных типах населенных галактик — звездах, межзвездной среде и темной материи. Описаны особенности активных галактик и квазаров, а также эволюция взглядов на происхождение галактик.

Полный перечень книг shop.universemagazine.com
Телефон для заказа (067) 215-00-22