

лактиках расстояния между компонентами огромны, порядка 50—100 кпс, а скорости компонентов, если они меньше критических, должны быть порядка 100 км/с, поэтому время, необходимое компоненту для того, чтобы пройти расстояние, отделяющее его от другого компонента, должно составлять несколько сотен миллионов лет. Следовательно, нужно полагать, что возраст галактик, входящих в состав тройных систем, не превышает нескольких сотен миллионов лет.

### Тесные группы галактик

Новый и неожиданный поворот в вопросе динамической устойчивости системы галактик произошел в последние годы, когда стали изучать так называемые тесные группы галактик. Это название было дано кратным галактикам, содержащим от трех до 6—7 членов и примечательных тем, что компоненты группы располагаются друг к другу очень близко, почти касаясь. Диаметр всей группы бывает обычно 30—50 кпс. При таком тесном расположении приблизительно одинаковых по величине галактик очень маловероятно, чтобы какой-нибудь член группы был оптическим, т. е. не входил в состав группы, а проектировался на нее, располагаясь ближе группы или дальше нее.

Первым обратившим внимание на значение тесных групп галактик для выяснения вопроса динамической устойчивости систем галактик был В. А. Амбарцумян, пришедший в 1958 г. к выводу, что здесь имеются серьезные свидетельства о неустойчивости. Подробно исследовали тесные группы американские астрономы супруги Е. М. и Г. Р. Бербиджи. В их списке 1961 г. содержится девять тесных групп галактик.

Об устойчивости можно судить, сравнивая лучевые скорости членов группы. Вот, например, данные о так называемом квинтете Стефана. Эта красивая группа, изображенная на рис. 119, состоит из двух эллиптических и трех спиральных галактик. До 1961 г. были измерены лучевые скорости четырех галактик из пяти. Вот они:

NGC 7317 + 7015 км/с

NGC 7318a + 6916 »

NGC 7318b + 5916 »

NGC 7319 + 6935 »

Средняя лучевая скорость составляет +6695 км/с. Если считать, что массы всех членов равны, то эта скорость равна скорости центра инерции четверки галактик и по закону Хаббла (приняв постоянную Хаббла равной

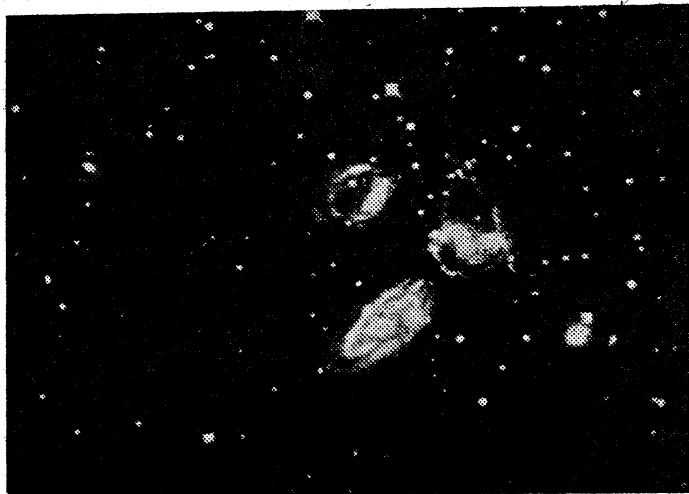


Рис. 119. Тесная группа галактик — квинтет Стефана.

75 км/с · Мпс) можно оценить расстояние до группы:

$$\frac{6695}{75} = 89 \text{ Мпс.}$$

Мы определим также лучевую скорость каждой галактики по отношению к их центру инерции:

- NGC 7317 + 319 км/с,
- NGC 7318a + 221 »
- NGC 7318b - 779 »
- NGC 7319 + 240 »

Знак «плюс» означает, что галактика удаляется быстрее, а знак «минус» — медленнее, чем центр инерции.

Для исследования устойчивости нужно вычислить кинетическую и потенциальную энергию группы и сравнить их. Как и в случае двух тел, если сумма кинетической и половины потенциальной энергий группы окажется равной нулю, то это будет показывать, что группа устойчи-

ва, и, более того, сохраняет в среднем неизменный размер. Если эта сумма больше нуля, то группа имеет склонность к расширению. Если сумма кинетической энергии и всей потенциальной энергии равна нулю или положительна, то расширение системы не будет временным, а завершится распадом.

Кинетическая энергия группы равна сумме кинетических энергий всех ее членов, вычисляемых при помощи выражения (34), в котором, как и в случае задачи двух тел,  $v_1$  означает скорость относительно центра инерции, а  $M_1$  — массу галактики. Мы уже предположили массы галактик одинаковыми. Будем на основании табл. 15 считать их равными  $3 \cdot 10^{44}$  г. Тогда кинетическая энергия группы составит

$$1,2 \cdot 10^{53} \text{ Дж.} \quad (44)$$

На самом деле кинетическая энергия больше, так как мы приняли во внимание только один компонент скорости — лучевую скорость. Два других компонента скорости, лежащие в картинной плоскости, теоретически равноправны с лучевой, так что вся ожидаемая кинетическая энергия в три раза больше и равна

$$3,6 \cdot 10^{53} \text{ Дж.} \quad (45)$$

Потенциальная энергия группы равна сумме потенциальных энергий всех пар, которые можно составить из галактик членов группы. Потенциальная энергия каждой пары равна выражению (31), в котором  $R$  — расстояние между галактиками пары и должно вычисляться по формуле (37). В этой формуле  $r$  — расстояние от нас до группы, равное, как мы отмечали, 89 Мпс, а  $\alpha$  — угловые расстояния между галактиками. Последние легко измеряются по фотографиям (например, на рис. 119).

Из четырех галактик можно составить шесть различных пар. Вычислив для каждой пары потенциальную энергию и просуммировав, мы найдем, что потенциальная энергия системы равна

$$- 2,8 \cdot 10^{52} \text{ Дж.} \quad (46)$$

Но опять-таки и здесь, как это было с кинетической энергией, нужно внести поправку. Это связано с тем, что вычисленная по формуле (41) величина не есть расстояние между двумя галактиками. Она равна проекции этого расстояния на картинную плоскость. Самого же рассто-

яния мы не знаем. Поэтому и здесь мы должны говорить об ожидаемом расстоянии.

Длина проекции отрезка на неподвижную плоскость в зависимости от направления отрезка может быть различна и принимать значения от нуля до длины самого отрезка. Если считать все ориентации отрезка равновероятными, то можно подсчитать, что средняя величина длины проекции равна  $2/\pi$  длины самого отрезка. Поэтому ожидаемое расстояние между двумя галактиками равно вычисленной по формуле (41) величине, деленной на  $2/\pi$ . Так как в выражении для потенциальной энергии расстояние стоит в знаменателе, то ожидаемая потенциальная энергия каждой пары получится из вычисленной, после умножения на  $2/\pi$  и, равным образом, ожидаемая потенциальная энергия всей группы равна выражению (46), умноженному на  $2/\pi$ . Итак, ожидаемая потенциальная энергия равна

$$- 1,8 \cdot 10^{52} \text{ Дж.} \quad (47)$$

Сравнивая (45) и (47), мы видим, что сумма кинетической и потенциальной энергий положительна и притом значительна по величине, так что группа галактик должна быстро распасться. Даже если учесть, что мы сравнивали ожидаемые кинетическую и потенциальную энергии, а не действительные, которые нам неизвестны, и предположить, что имеет место самый крайний, почти невероятный случай, когда компоненты скоростей галактик в картинной плоскости равны нулю и все проекции отрезков, соединяющих две галактики, на луч зрения равны нулю, то и тогда кинетическая энергия, равная (44), после сложения с потенциальной энергией, равной (46), даст величину, большую нуля.

Это означает, что распад группы представляется неизбежным. Но это не значит, что должны обязательно разойтись все члены группы. В данном, например, случае у одной из галактик, именно у NGC 7318 b, лучевая скорость сильно отличается от лучевой скорости трех остальных. Эта галактика как бы вылетает из группы со скоростью более 1000 км/с по отношению к трем другим галактикам. После ее ухода оставшаяся тройная система будет, по-видимому, устойчивой. В ней лучевые скорости по отношению к своему центру инерции равны всего +59, -39 и -20 км/с. Эти величины в десять и более раз меньше тех, которые мы имели, когда рассматривали

четыре члена группы. Так как кинетическая энергия пропорциональна квадрату скорости, то величина всей ожидаемой кинетической энергии группы получится более чем в сто раз меньшей, а именно, равной

$$2,4 \cdot 10^{51} \text{ Дж}, \quad (48)$$

тогда как потенциальная энергия хотя и изменится вследствие уменьшения числа пар (вместо шести три пары), но далеко не во столько раз: ее ожидаемая величина будет равна

$$-7 \cdot 10^{51} \text{ Дж}. \quad (49)$$

Теперь сумма кинетической и потенциальной энергий оказывается отрицательной и, значит, система устойчива.

Итак, если бы группа состояла только из трех галактик, NGC 7317, NGC 7318a и NGC 7319, то ее можно было бы считать устойчивой. Принадлежность к этой группе галактик NGC 7318b заставляет изменить мнение и считать группу неустойчивой. При этом мы делаем вывод, что NGC 7318b вылетает из этой группы со скоростью около 1000 км/с. Такой вывод имеет большие последствия для наших представлений о происхождении галактик и групп галактик, потому что действиями обычных сил тяготения никак нельзя объяснить появление столь большой скорости у NGC 7318b по отношению к другим трем галактикам группы. В результате взаимодействий сил тяготения одна из галактик может получить скорость, равную критической или немного большую, и уйти из группы. Но критическая скорость для NGC 7318b, как это нетрудно подсчитать, приблизительно равна 250 км/с. Совершенно невозможно, чтобы в результате взаимодействий с другими галактиками группы одна из галактик группы получила скорость, в четыре раза большую критической. Следовательно, должны действовать какие-то иные силы, отличные от сил тяготения, и притом настолько мощные, чтобы придать галактике, состоящей из десятков миллиардов звезд, скорость около 1000 км/с. Невозможно себе представить, чтобы такие силы могли действовать между галактиками в то время, когда галактики уже отделены друг от друга значительными расстояниями. Поэтому В. А. Амбарцумян делает вывод, что все вещество группы галактик имеет общее происхождение, группа формировалась как нечто целое в результате очень бурного процесса, связанного с внутриядерными силами;

этот процесс завершился разбиением материи на отдельные галактики, а внутри галактик — на отдельные звезды, и галактикам при этом были сообщены значительные скорости. В этой гипотезе процесс формирования галактик и процесс формирования звезд рисуется как бурный скоротечный процесс, сопровождающийся выделением огромного количества энергии и приводящий к большим скоростям. По-видимому, он возможен лишь в том случае, если материя, из которой формируются галактики и звезды в галактиках, сверхплотная, таящая в себе огромные запасы энергии.

В другой гипотезе, предполагающей, что звезды и галактики формируются из диффузного вещества, т. е. из газа и пыли, процесс формирования рисуется как медленный и спокойный: звезды образуются в результате постепенного сжатия газовых облаков под действием силы самотяготения; только после того как этот длительный процесс зайдет достаточно далеко, газ сожмется и в центре разогреется до температур в несколько миллионов градусов, в нем начнутся внутриядерные процессы с выделением большого количества энергии. При таком процессе происхождения звезд и галактик в группе галактик, образовавшихся совместно, невозможны относительные скорости, значительно превосходящие критическую.

Должны ли мы на основании исследования квинтета Стефана окончательно высказаться в пользу гипотезы о бурном характере процесса формирования галактик и звезд? В космогонии такие поспешные выводы недопустимы.

Во-первых, не исключена возможность, что галактика NGC 7318b не принадлежит группе, а случайно проектируется на нее. Вероятность того, что галактика примерно той же величины спроектируется на такую тесную группу или случайно влетит в нее, конечно, очень мала. По подсчетам Бербиджей эта вероятность равна  $\frac{1}{1500}$ . Но даже столь малая вероятность не является еще решающим аргументом, потому что это вероятность, подсчитанная после того как установлен факт, а не до его установления.

Поясним это соображение следующим примером. Допустим, вам навстречу издали идут три человека. Пока они далеко, вы подсчитываете вероятность того, что все трое окажутся рыжеволосыми. Эта вероятность, если считать, что в среднем на 100 человек приходится один рыже-

волосый, равна  $\frac{1}{100} \cdot \frac{1}{100} \cdot \frac{1}{100}$ , т. е. одной миллионной. Поэтому если после приближения трех человек окажется, что все они действительно рыжеволосые, то у вас имеются все основания поражаться тому, что столь маловероятное событие произошло.

Иное дело, если вы сначала увидите, что приблизившиеся три человека рыжеволосые, а после подсчитаете вероятность этого события. В этом случае вы не должны в такой же мере удивляться тому, что произошло событие, имеющее вероятностью одну миллионную. Ведь ваше внимание было привлечено к самому явлению уже после того, как оно произошло. Вот если теперь, после того, как вас уже заинтересовал определенный признак, подойдет четвертый пешеход и окажется, что и он рыжеволосый, тогда уже действительно у вас будут все основания изумляться или выдвигать гипотезы, что местность населена преимущественно рыжеволосыми или что четыре пешехода генетически связаны, принадлежат, например одной семье.

Посмотрим, нельзя ли найти и в нашей задаче дополнительные данные. Читатель помнит, что до 1961 г. у одной из галактик квинтета, именно у NGC 7320, лучевая скорость не была известна. Теперь эта скорость стала вызывать большой интерес. Если бы оказалось, что она составляет около  $+6900 - +7000$  км/с, т. е. близка к значению скоростей трех галактик, имеющих приблизительно одинаковую скорость, то можно было бы допустить, что четыре галактики образуют устойчивую группу, а пятая, NGC 7318b, случайно проектируется на эту группу. Если же скорость NGC 7320 заметно отличается от  $+6900 - +7000$  км/с, то нужно будет считать, что квинтет Стефана — действительно неустойчивая группа, так как вероятность того, что две галактики, NGC 7318b и NGC 7320, случайно проектируются на группу, уже вовсе ничтожна и равна

$$\frac{1}{1500} \cdot \frac{1}{1500} = \frac{1}{2\,250\,000}$$

Бербиджи измерили лучевую скорость NGC 7320. Результат оказался поразительным:  $+1073$  км/с. NGC 7320 движется со скоростью почти 6000-км/с по отношению к четырем другим галактикам квинтета. Можно сказать, что она «выстреливается» из группы.

Таким образом, исследование динамики квинтета Стефана приводит к аргументам в пользу гипотезы об образовании галактик из сверхплотной материи в результате бурного, взрывного процесса.

Правда, остается возможность защищать гипотезу формирования галактик из диффузной материи. Для этого нужно предположить, что: 1) NGC 7320 не физический член, а проектируется на группу, 2) массы остальных четырех галактик равны не  $3 \cdot 10^{44}$  г, как мы приняли при расчетах, а в 21 раз больше. Тогда, как показывают выражения (34) и (35), потенциальная энергия возрастет

Т а б л и ц а 26. Лучевые скорости галактик в тесной группе VV 172

Галактика	Лучевая скорость, км/сек	Лучевая скорость по отношению к центру инерции галактик А, С, D и E, км
A	+16070	+305
B	+36880	+21 115
C	+15820	+55
D	+15690	-75
E	+15480	-285

в 441 раз, а кинетическая энергия только в 21 раз, и сумма их для четверки галактик станет меньше нуля. Четверка окажется устойчивой. Массы  $6,3 \cdot 10^{45}$  г велики для галактик, но совершенно исключить возможность столь массивных галактик в квинтете Стефана нельзя.

Еще более наглядный пример возможного «выстреливания» галактики из тесной группы галактик привел недавно Серджент. Он получил при помощи 5-метрового телескопа спектры пяти слабых галактик (видимая звездная величина от  $17^m,0$  до  $17^m,5$ ) в тесной группе VV 172, обнаруженной Б. А. Воронцовым-Вельяминовым (см. рис. 91). Эта группа образует отчетливую цепочку из шести галактик, пространственная взаимная близость образующих ее членов не вызывает сомнений. Шестая, крайняя справа на рис. 91, галактика очень слабая, ее спектр не был получен. Измеренные лучевые скорости остальных пяти галактик (они обозначены буквами А, В, С, D, E — справа налево на рис. 91) приведены в табл. 26.

Бросаются в глаза три особенности в распределении скоростей галактик. Первая состоит в том, что если не считать галактики В, то лучевые скорости членов группы



схожи. Это подтверждает их одинаковую удаленность от нас и, следовательно, пространственную взаимную близость, реальность тесной группы. Средняя лучевая скорость галактик А, С, D и Е равна 15 765 км/с, что при значении постоянной Хаббла 75 км/с · Мпс, дает оценку расстояния до тесной группы 210 Мпс.

Вторая особенность заключается в том, что лучевые скорости галактик А, С, D, Е последовательно убывают. В третьем столбце табл. 26 приведены лучевые скорости галактик по отношению к центру инерции четырех галактик А, С, D, Е. Они свидетельствуют о вращении системы, вследствие чего галактики А и С имеют индивидуальную скорость удаления, а галактики D и Е индивидуальную скорость приближения. Период вращения группы легко подсчитать. Он равен 600 млн. лет — в три раза больше, чем период вращения Галактики в районе Солнца.

Третья наиболее удивительная особенность распределения — резкое несоответствие лучевой скорости галактики В лучевым скоростям четырех других галактик. Серджент рассмотрел возможные объяснения этого явления. Предположение, что большая лучевая скорость галактики В может быть вызвана гравитационным эффектом общей относительности, должно быть отвергнуто, так как это требует недопустимо большой массы галактики — примерно в миллион раз большей, чем масса нашей Галактики. Второе предположение состоит в том, что галактика В есть галактика фона, случайно спроектировавшаяся на тесную группу. Но один взгляд на последовательное расположение галактик в цепочке убеждает в малой вероятности такого случайного совпадения направлений на галактики. Кроме того, если галактика В есть галактика фона и ее расстояние соответствует ее лучевой скорости и равно 490 Мпс, то при данной видимой величине это должна быть сверхгигантская галактика, тогда как остальные четыре — галактики умеренной светимости. Случайное расположение сверхгигантской галактики фона точно на «вакантном» месте в цепочке галактик представляется еще менее вероятным.

Проанализировав все предположения, Серджент приходит к выводу, что в тесной группе VV 172, как и в квинтете Стефана, наблюдается «выстреливание» галактики из тесной группы галактик. Скорость «выстреливания» здесь превышает 21 000 км/с и намного превосходит аналогичные скорости в квинтете Стефана.

Особый интерес представляет тройная тесная группа, у которой лучевые скорости компонентов следующие:

IC 3481 + 7011 км/с

Безымянная + 7229 »

IC 3483 + 33 »

IC 3483 «выстреливается из тройки со скоростью около 7000 км/с. В этой тесной группе очень важным обстоятельством является то, что галактика IC 3481 явно связана светящимся мостом с галактикой безымянной, которая в свою очередь связана светящейся дугой со спиральной галактикой IC 3483. Следовательно, все три компонента взаимодействуют и предположение, что IC 3483 очень близка к нам и случайно проектируется на пару других далеких галактик, следует отклонить.

Исследование еще семи тесных групп показывает, что четыре из них следует считать распадающимися, разлетающимися системами, а остальные три группы, по-видимому, устойчивы. Но неправильно было бы считать, что разваливающиеся группы подкрепляют одну гипотезу, а устойчивые группы другую, так сказать, на равных правах. Если галактики формируются из диффузной материи в результате спокойного процесса конденсации, то не должно быть ни одной группы с разлетающимися галактиками. С другой стороны, кажется странным, чтобы при формировании тесной группы галактик в результате бурного взрывного процесса несколько членов группы получали очень малые друг относительно друга скорости и только одна галактика «выстреливалась» из группы. Выполненные в последнее время оценки расстояний галактик в рассмотренных группах укрепляют предположение, что наблюдаемое явление вызвано случайным проектированием галактик, не принадлежащих тесной группе, на тесную группу.

### **Устойчивость скоплений галактик**

Неожиданные результаты, полученные для тесных групп, заставляют сразу поставить вопрос: а устойчивы ли скопления галактик?

Ни в одном скоплении галактик не известны лучевые скорости всех членов. Однако приближенное значение кинетической энергии скопления можно получить, если измерены лучевые скорости хотя бы части членов скоп-