

В. А. АМБАРЦУМЯН

О кратных галактиках

*Отдельный оттиск из „Известий“
Академии наук Армянской ССР,
том IX, № 1, 1956 г.*

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

ЕРЕВАН

1956

АСТРОФИЗИКА

В. А. Амбарцумян

О кратных галактиках

§ 1. Одним из существенных свойств Метагалактики является наличие в ней большого числа двойных и кратных галактик и, особенно, скоплений галактик. В этом отношении существует известное сходство между строением Метагалактики и строением нашей Галактики. В последней мы также встречаем двойные звезды, кратные системы и звездные скопления. Как было показано нами, количество двойных звезд, кратных систем и открытых скоплений в нашей Галактике в огромное число раз превышает ту численность этих групп, которая должна была бы быть при диссоциативном равновесии [1]. Ниже будет показано, что в Метагалактике наблюдается отклонение от диссоциативного равновесия в ту же сторону.

Вместе с тем следует отметить, что имеется и существенное различие. По имеющимся данным процент двойных галактик среди всех галактик в окружающей нас части пространства так же, как и процент кратных галактик, не выше соответствующих процентов для звезд. Однако процент галактик, входящих в их скопления, намного выше, чем процент звезд, входящих в различные звездные скопления. После работ Цвикки [2], а также Неймана, Скотта и Шена [3], имеются веские основания считать, что большинство галактик входит в скопления галактик и что процент галактик, составляющих общее метагалактическое поле, сравнительно мал. В отличие от этого, большинство звезд в галактике составляет общее галактическое звездное поле и не принадлежит к звездным скоплениям по крайней мере тех типов, существование которых твердо установлено. Однако это различие не может преуменьшить значения того факта, что в обеих системах мы имеем весьма заметную тенденцию к сгущиванию. Несомненно, что этот факт имеет в отношении обеих систем глубокое космогоническое значение.

Подобно тому, как это было сделано в отношении двойных звезд, можно составить формулу диссоциативного равновесия для двойных галактик. Применение этой формулы к местной системе галактик приводит к тому, что отношение числа двойных галактик, у которых расстояние между компонентами находится в пределах от 5 000 до 50 000 парсек, к числу одиночных галактик, должно быть не больше одной двухсотой. Принимая во внимание, что фактически

в местной системе имеется около одного десятка одиночных галактик, мы приходим к заключению, что математическое ожидание числа двойных галактик должно быть порядка 0,05. А математическое ожидание числа тройных галактик должно быть, в свою очередь, во много раз меньше этой величины. Между тем мы имеем в местной системе по меньшей мере одну двойную галактику (NGC 147—185) и две двойные галактики, считая и нашу Галактику вместе с ее спутниками — Магеллановыми облаками. Таким образом, уже наличие в местной системе одной двойной галактики являлось бы при диссоциативном равновесии маловероятным явлением. А одновременное существование в ней двух тройных систем было бы практически невозможным. Таким образом, в этом случае так же, как и в случае звездных пар и троек, мы наблюдаем сильное отклонение от диссоциативного равновесия. При этом, однако, следует отметить, что отклонение от диссоциативного равновесия особенно велико в случае тройных галактик. Аналогичное положение мы имеем и в других скоплениях галактик.

Однако самое большое нарушение статистического равновесия мы имеем для отношения числа скоплений галактик к числу одиночных галактик. Хотя в настоящее время трудно оценить процент всех галактик, входящих в состав скоплений, однако, как уже упоминалось, новые данные говорят в пользу того, что большинство галактик, по крайней мере имеющих большую абсолютную яркость, входит в состав скоплений. Применение формулы диссоциативного равновесия к вычислению отношения числа скоплений к числу одиночных галактик в окружающей нас области Метагалактики приводит к выводу, что, при всех допустимых предположениях о средней квадратичной скорости галактик, в Метагалактике должны были бы совершенно отсутствовать скопления. Таким образом, в этом случае расхождение с формулой диссоциативного равновесия особенно велико.

Если, с другой стороны, принять, что двойные галактики, кратные галактики и скопления галактик возникли в результате процессов взаимного захвата, возможного при тройных сближениях, то отношение числа пар к числу одиночных галактик так же, как отношение числа скоплений к числу одиночных галактик не должно никогда превзойти ту величину, которая получается из формулы диссоциативного равновесия. Между тем мы наблюдаем противоположную картину.

Поэтому и в этом случае можно повторить вывод, который нами был сделан в отношении звезд. Именно, мы должны заключить, *что компоненты, входящие в состав данной двойной или кратной галактики, или же в состав данного скопления галактик, образовались совместно.* Это утверждение не является следствием какой-нибудь гипотезы о механизме возникновения галактик или групп галактик. Оно непосредственно следует из наблюдаемой сильной тенденции к скупиванию.

§ 2. Так же, как и в случае звезд, изучение конфигураций кратных галактик может дать интересные сведения, касающиеся происхождения и развития этих объектов. Как показывают результаты предварительного изучения конфигураций кратных галактик, среди них встречается значительное число конфигураций типа Трапеции, т. е. таких конфигураций, в которых можно указать такие три галактики, все три взаимные расстояния которых одного порядка величины. Более того, если мы берем кратные системы, содержащиеся в опубликованных списках двойных и кратных галактик, то оказывается, что процент систем типа Трапеции среди них значительно превосходит процент систем обыкновенного типа. Иными словами, среди кратных галактик, заключенных в указанные списки, мы наблюдаем картину, диаметрально противоположную той, которая наблюдается среди кратных звезд. Как известно, среди кратных звезд, входящих в наши каталоги, число систем типа Трапеции во много раз меньше числа систем обыкновенного типа.

Так, например, среди 132 кратных галактик, встречающихся в каталоге двойных и кратных галактик Холмберга [4], 87 имеют такие конфигурации, что безусловно должны быть отнесены к типу Трапеции. Только 27 систем являются системами обыкновенного типа, в то время как остальные восемнадцать систем занимают промежуточное положение, поскольку в каждой из них можно найти такие три галактики, что отношение наибольшего из расстояний между ними к наименьшему лежит между 2,5—3,0.

Насколько распространены кратные системы типа Трапеции видно из того, что ближайшая к нам система—туманность Андромеды с ближайшими двумя своими спутниками—является системой типа Трапеции. Что касается нашей Галактики, то она вместе с двумя Магеллановыми облаками составляет систему промежуточного типа. В противоположность этому, среди большого числа кратных звезд, находящихся близко от нас, скажем, ближе, чем 50 парсек, мы не наблюдаем ни одной системы типа Трапеции. Указанная противоположность между характером конфигураций кратных звезд и кратных галактик особенно хорошо можно проиллюстрировать на следующем примере. На рис. 1 показаны наблюдаемые конфигурации шести визуальных кратных звезд, главные компоненты которых обладают наибольшей видимой яркостью среди главных компонентов всех визуальных кратных звезд. Масштаб для разных кратных звезд взят различный, что не имеет значения для определения характера конфигураций. Из рисунка видно, что все шесть групп являются системами, у которых резко выражена принадлежность к обыкновенному типу. На рис. 2 изображены конфигурации шести кратных галактик, у которых главные компоненты обладают наибольшей видимой яркостью среди главных компонентов кратных систем каталога Холмберга. Бросается в глаза, что все они являются системами типа Трапеции. Для окончательного решения вопроса о том, насколько указанное свойство

кратных галактик распространено, мы попытались выделить кратные галактики из каталога 2778 туманностей, составленного Эймс [5]. Приняв наибольший предел для расстояний между компонентами равным $2',5$, мы нашли среди галактик этого каталога 76 кратных систем (с кратностью 3 и больше). Из них большинство оказалось системами типа Трапеции. Однако возникло подозрение, что наличие оптических систем может повлиять на процент наблюдаемых трапеций. Поэтому было произведено изучение совокупности двойных галактик

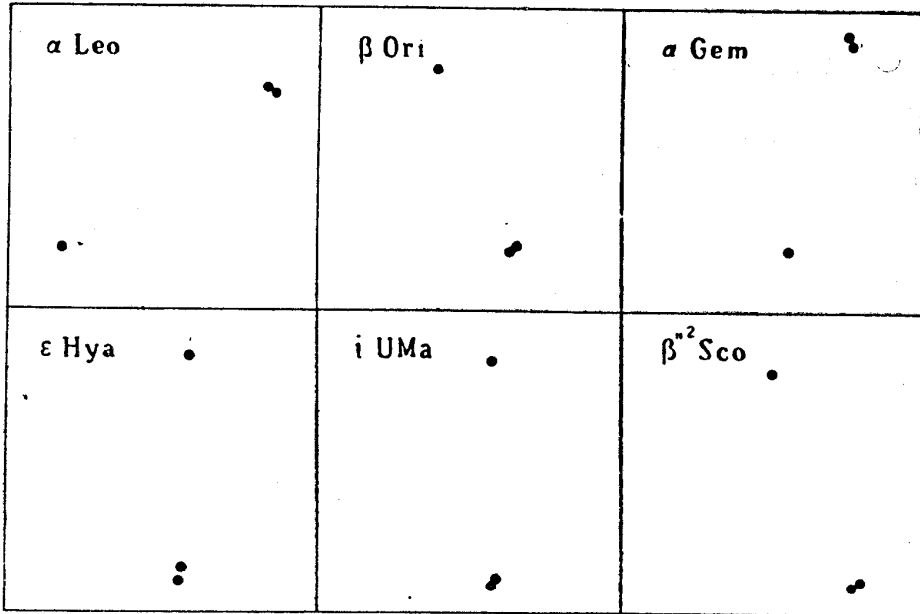


Рис. 1. Конфигурации наиболее ярких кратных звезд из каталога Эйткена.

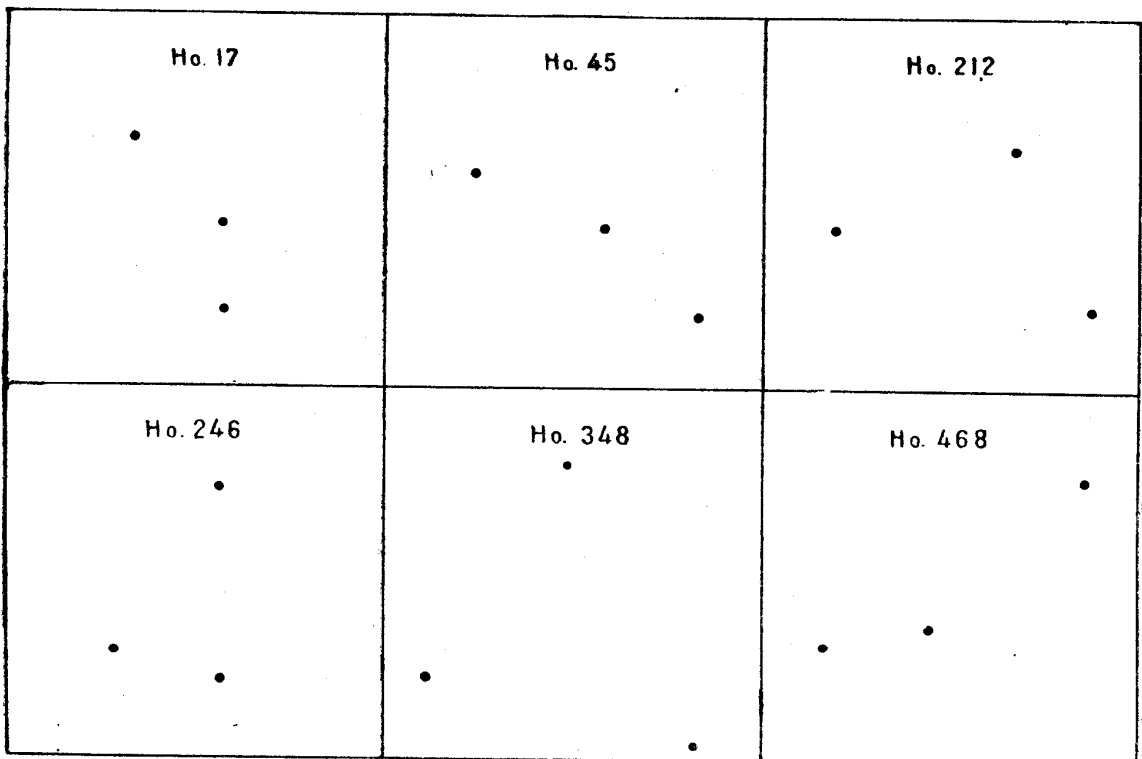


Рис. 2. Конфигурации шести наиболее ярких кратных галактик каталога Холмберга.

и на основании этого было определено возможное число оптических кратных при различных значениях предельного расстояния между компонентами, т. е. случаев, когда случайная одиночная галактика проектируется рядом с двойной. В результате было выяснено, что если предельное расстояние между компонентами принять равным $1',3$, то процент оптических кратных будет крайне незначительным. Таких тесных систем оказалось 17. При этом выяснилось, что из этих 17 систем только одна имеет конфигурацию обыкновенного типа и одну можно отнести к системам промежуточного типа. Таким образом, 15 систем из 17 являются трапециями. Более того, оказалось, что когда мы таким образом ограничили список очень тесными системами, то процент систем обыкновенного типа уменьшился. Таким образом, факт значительного преобладания трапеций и редкости обыкновенных систем среди физических кратных систем не вызывает сомнения.

На рисунках 3 и 4 приведены конфигурации указанных 17 кратных систем, причем системы, изображенные на рис. 3, относятся к числу наиболее тесных, так что расстояние от каждого компонента до ближайшего к нему не больше $0',8$.

Приведем еще одно сравнение, подтверждающее указанный вывод. Возьмем тесную систему наибольшей кратности среди наблюдаемых ярких кратных галактик. Эта система, в которой главным компонентом является NGC 6027, была открыта Сейфертом [6] в Serpens. Она состоит из шести галактик. На рис. 5 дана схематическая конфигурация этой системы в сопоставлении с конфигурацией, наблюдаемой у наиболее яркой шести-кратной звезды—Кастора. При этом каждую из трех визуальных компонентов Кастора, являющихся спектрально-двойными, соблюдая масштаб, мы изобразили в виде одной лишь точки, так как два компонента спектрально двойной, при взятом масштабе, должны сливаться. Очевидно, что и это сравнение является прямым подтверждением наличия тенденции образовывать системы типа Трапеции среди кратных галактик. Однако следует учитывать, что на численное значение процента трапеций среди кратных систем может оказать значительное влияние избирательность наблюдательных данных. Поэтому нельзя без дальнейшего обсуждения принять, что число трапеций в

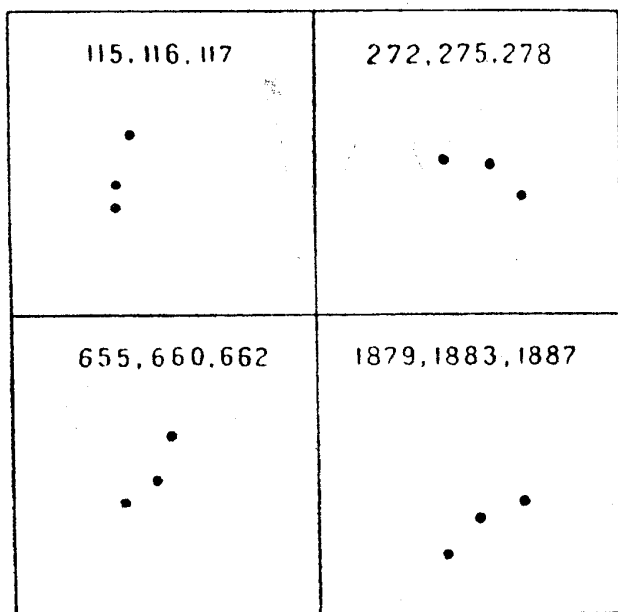


Рис. 3. Четыре наиболее тесные системы из каталога Эймс. Расстояние между компонентами не превосходит $0,8$. Цифры означают номера составляющих галактик по каталогу Эймс.

действительности во много раз или, по крайней мере, в несколько раз превосходит число систем обыкновенного типа.

В том, что избирательность должна известным образом повлиять на приведенные выше данные, можно убедиться на следующем при-

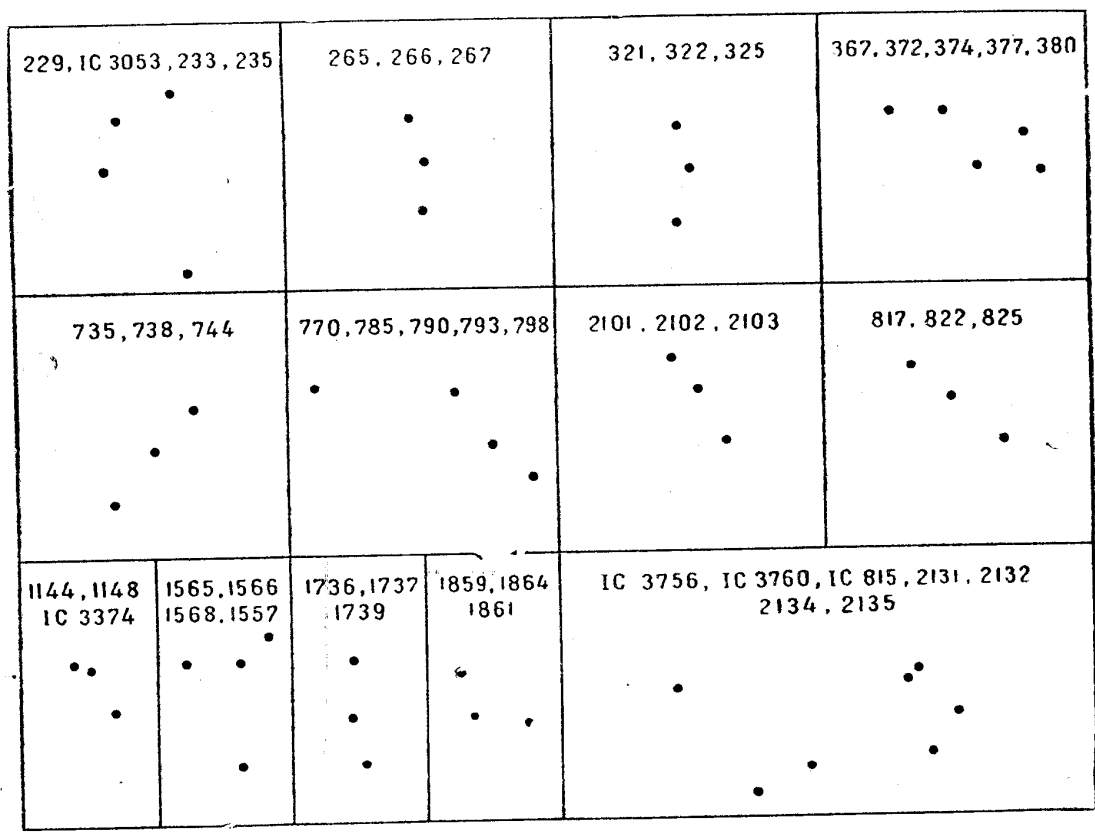


Рис. 4. 13 систем из каталога Эймс, для которых расстояния между компонентами находятся в пределах 0',9—1',3. Цифры означают номера составляющих галактик по каталогу Эймс.

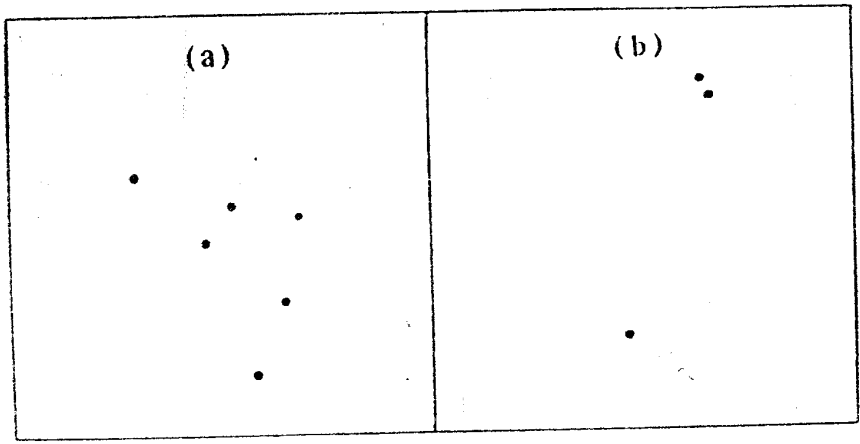


Рис. 5. а) Конфигурация шестикратной галактики в Serpens. б) Шестикратная звезда Кастор. Каждая из точек представляет два компонента, составляющих спектрально-двойную. Кастор состоит из трех спектрально-двойных.

мере. Рассмотрим критерий, на основании которого две галактики считались входящими в одну кратную систему. Как видно из предисловия к каталогу Холмберга, он требовал, чтобы выполнялось условие:

$$\frac{\text{взаимное расстояние}}{\text{сумма диаметров}} > 2.$$

Принимая грубо, что диаметры равны, мы получаем требование, чтобы взаимное расстояние было бы меньше четырех диаметров галактики. Пусть теперь имеем тройную систему ABC обыкновенного типа, где А и В составляют тесную пару, а С представляет собой отдаленного спутника. Если даже А и В соприкасаются друг с другом, их взаимное расстояние будет равно одному диаметру галактики. В таком случае отдаленный спутник, на основании приведенного критерия Холмберга, не может находиться больше чем на расстоянии четырех диаметров от одного из составляющих тесной пары. В результате максимальное значение отношения К наибольшего расстояния к наименьшему в тройной системе не может оказаться больше пяти. Таким образом, критерий Холмберга заведомо исключает все системы, для которых $K > 5$. А для случая, когда расстояние внутри тесной пары превосходит 2,0 диаметра, все вообще системы обыкновенного типа исключаются.

Таким образом, в каталог Холмберга могли попасть только те системы обыкновенного типа, у которых взаимное расстояние в тесной паре заключено между 1,0 и 2,0 диаметра галактики, а некоторая часть даже таких систем (с относительно большими значениями К) должна была остаться вне каталога.

Для того, чтобы исправить результаты наблюдения за эффект избирательности наблюдений, нужно знать закон распределения тройных галактик в зависимости от расстояния внутри тесной пары и расстояния отдаленного спутника. К сожалению, этот закон нам неизвестен. Однако, если допустить, что этот закон похож на тот, который имеет место в случае тройных звезд, то, как показывает грубая, глазомерная оценка, относительное число систем обыкновенного типа следует увеличить в несколько раз, но не более чем в пять.

Поэтому, исправив числовые данные за наблюдательную селекцию, мы должны получить, что процент систем обыкновенного типа несколько меньше или в, лучшем случае, таков же, как процент трапеций. Таким образом, остается несомненным, что *системы типа Трапеции составляют не меньше половины всех кратных галактик.*

§ 3. Как показано было нами в отношении *кратных звезд* типа Трапеции, каждая такая система является либо системой с положительной энергией, либо системой с отрицательной энергией, но настолько молодой, что в ней звезды успели совершить не больше, чем несколько оборотов. То же самое должно быть справедливо в отношении *кратных галактик* типа Трапеции. Далее, можно предполагать, что известная часть кратных галактик типа Трапеции имеет положительную энергию, т. е. представляет собой группы, которые распадаются непосредственно после своего возникновения, так, что компоненты удаляются друг от друга в разные стороны.

Естественно спросить, можно ли найти какие-либо факты, свидетельствующие о положительности энергии кратных галактик типа Трапеции? Оказывается, что в пользу этого говорят некоторые данные, касающиеся относительных лучевых скоростей двойных и кратных галактик, которые совершенно независимы от фактов, касающихся конфигурации в кратных галактиках.

Имеющиеся данные об относительных движениях в кратных галактиках были сильно расширены благодаря появлению в 1952 г. работы Пейджа [7]. Всего в настоящее время мы имеем определения разностей лучевых скоростей для 35 пар.

Не имея количественных данных о массах галактик, входящих в эти пары или в кратные системы, куда некоторые из этих пар входят, мы не можем определить точное численное значение кинетической и потенциальной энергии этих систем и, следовательно, знак энергии в каждом случае. Именно поэтому попытка решения вопроса о том, встречаются ли среди наблюдаемых групп такие, которые имеют положительную энергию, наталкивается на затруднения. Однако вышеупомянутые данные о разностях лучевых скоростей позволяют подойти к этому вопросу статистически.

Прежде всего представляет интерес тот факт, что для упомянутых 35 пар мы не наблюдаем систематического уменьшения разности лучевых скоростей при увеличении взаимного расстояния компонентов в проекции на небесную сферу. Между тем такое уменьшение должно было бы наблюдаться в среднем, если движение во всех парах эллиптическое (т. е. энергия отрицательна), а массы систем не зависят от расстояний между компонентами. Некоторые пары, в которых расстояния между компонентами очень велики, показывают вместе с тем, большую разность лучевых скоростей.

Если обозначим через v относительную скорость внутри двойной системы, а через r — расстояние между компонентами, то теорема вириала, примененная к двойной галактике, будет иметь вид

$$\bar{v}^2 = GM \frac{\bar{1}}{r} = GM \frac{\overline{\cos\theta}}{\rho},$$

где M — суммарная масса системы, ρ — расстояние в проекции, θ — угол между радиусом вектором r и касательной плоскостью к небесной сфере, а усреднение произведено по времени.

Усредняя как по времени, так и по разным парам, мы можем написать

$$v^2 = 3v_z^2,$$

где v_z — составляющая относительной скорости по лучу зрения.

Поэтому мы будем иметь

$$G \frac{M \overline{\cos\theta}}{\rho} = 3v_z^2.$$

При указанном двойном усреднении величины $M \cdot \cos\theta$ и ρ могут считаться практически независимыми друг от друга, и поэтому, приняв во внимание, что $\overline{\cos\theta} = \frac{\pi}{4}$ и обозначив через ρ' среднее гармоническое значение ρ , получим

$$G\bar{M} = \frac{12}{\pi} \rho' \overline{v_z^2}. \quad (1)$$

Равенство (1) справедливо только после усреднения по времени в каждой паре и последующего усреднения по галактикам, различно ориентированным. Поэтому вычисленные для каждой пары по полученным в момент наблюдения значениям ρ и v_z значения величины

$$M' = \frac{12}{\pi G} \rho' v_z^2 \quad (2)$$

могут отличаться от действительной массы.

Однако только в очень редких случаях это произведение может отличаться от массы системы в десять раз, если только справедливо наше основное предположение об отрицательности энергии каждой пары.

В частности, следует принять во внимание следующее обстоятельство. Если энергия пары отрицательна, то кинетическая энергия меньше абсолютного значения потенциальной энергии, т. е. имеет место неравенство

$$\frac{v^2}{2} < \frac{GM}{\rho} \cos\theta,$$

на основании чего мы можем написать

$$v_z^2 < v^2 < \frac{2GM}{\rho} \cos\theta < \frac{2GM}{\rho}$$

или

$$M > \frac{\rho v_z^2}{2G}. \quad (3)$$

Это неравенство уже справедливо для каждой пары в отдельности и для каждого момента наблюдения. Первая часть этого неравенства отличается от выражения (2) множителем $\frac{\pi}{24}$. Таким образом, мы убеждаемся, что истинная масса каждой галактики ни в коем случае не может быть меньше выражения (2) более чем $\frac{24}{\pi} = 7,6$ раза.

Что касается до верхней границы поправочного множителя, необходимого для получения из (2) истинного значения массы, то такой безусловной верхней границы не существует. Однако, как указывалось, следует считать, что случаи, когда этот поправочный множитель больше 10, должны быть крайне редки.

Это означает, что, если все пары имели бы одинаковую массу, то значения M' (за исключением отдельных, редко встречающихся) должны были бы отличаться друг от друга не более чем в 80 раз. Между тем наблюдаемые значения M' отличаются друг от друга иногда почти в 10^4 раз.

Выводом из этого является допущение, что имеются большие различия в массах галактик. Анализируя результаты своих наблюдений, Пейдж пришел к заключению, что среди галактик встречаются „гиганты“ с массами порядка $150 \cdot 10^9 M_{\odot}$ и „карлики“ с массами порядка $5 \cdot 10^9 M_{\odot}$.

Вполне возможно, что столь большие различия в массах наблюдаемых пар действительно существуют. Однако заслуживает особого внимания то обстоятельство, что из четырех пар, для которых M' достигает наибольшего значения, три пары входят в состав кратных галактик с тремя или более компонентами. Это заставило нас заняться статистикой значений M' или, что то же, произведений ρv_z^2 (это произведение, как видно из (2), отличается от M' лишь постоянным множителем в отдельности для двойных звезд и для тех пар, которые входят в состав кратных галактик. Упомянутые выше 35 пар включают в себе 24 двойные галактики и 11 пар, входящих в кратные галактики. Расположив в каждой из этих групп рассматриваемые пары в порядке возрастающих значений ρv_z^2 , мы разбили затем каждую из групп на три *равные* по численности подгруппы таким образом, что в первую подгруппу вошли пары с наименьшими значениями ρv_z^2 , во вторую подгруппу — пары с промежуточными значениями ρv_z^2 и, наконец, в третью подгруппу — пары с наибольшими значениями той же величины. После этого мы вывели среднее значение $\overline{\rho v_z^2}$ для каждой подгруппы. В нижеследующей табличке приводятся эти значения в единицах $10^{13} \frac{\text{астр. ед. км}^2}{\text{сек.}^2}$.

Таблица средних значений

Подгруппы	I	II	III
Двойные галактики	0,01	0,42	4,8
Кратные галактики	0,06	1,6	21.

Мы видим, что среднее значение $\overline{\rho v_z^2}$ в каждой подгруппе кратных галактик на круг в пять раз больше значения той же величины для соответствующей подгруппы двойных галактик.

Если наши предположения верны, то это означало бы, что масса кратных галактик примерно в пять раз больше масс двойных галактик. Конечно, в среднем массы кратных галактик должны быть несколько больше масс двойных галактик, благодаря чему и произведения $\overline{\rho v_z^2}$ должны быть несколько больше. Но, учитывая, что большинство кратных галактик представляют собой тройные системы, а также и то, что лучевые скорости определялись для двух наиболее ярких и,

следовательно, как правило более массивных компонентов, мы должны предполагать разницу в среднем не больше, чем в полтора раза. Если даже учтем некоторые возможные эффекты селекции, все же это отношение вряд ли может быть больше двух. Таким образом, остается расхождение примерно в три раза, которое трудно объяснить.

Повидимому, эта разница между средними значениями не обусловлена также возможными различиями в массах, происходящими от различия физических типов галактик. Поэтому мы должны заключить, что неверно наше основное предположение, сделанное в начале приведенных расчетов и связанное с допущением об отрицательности знака полной энергии каждой системы. Достаточно допустить, что среди кратных галактик имеется больший процент систем с положительной энергией, расходящихся с относительно большими скоростями, чем среди двойных галактик, и все расхождение будет объяснено.

Спрашивается, однако, не является ли допущение о гораздо большем проценте систем с положительной энергией среди кратных галактик по сравнению с двойными галактиками столь же неправдоподобным, как и отвергнутое нами допущение о том, что галактики, входящие в кратные системы, имеют, в среднем, гораздо большую массу, чем составляющие двойных галактик. Ответ на этот вопрос получается из результатов предыдущего параграфа. Там мы показали, что большинство кратных систем, охваченных нашими каталогами, является системами типа Трапеции и, следовательно, можно ожидать наличия среди них большого числа систем с положительной энергией. Совершенно иное положение мы имеем в случае двойных систем, подавляющее большинство которых находится, повидимому, в состоянии с отрицательной энергией.

Таким образом, данные, касающиеся относительных лучевых скоростей о двойных и кратных галактиках, свидетельствуют о положительности энергии многих из этих кратных систем. Однако, вследствие недостаточного количества данных о разностях лучевых скоростей у пар галактик, желательно дальнейшее исследование этого вопроса на основе более широкого материала.

§ 4. Следует отметить, что утверждение о неустойчивости звездных кратных систем типа Трапеции с отрицательной энергией является справедливым постольку, поскольку звезды имеют обычно один и тот же порядок масс. Аналогично этому, в случае кратных галактик с отрицательной энергией утверждение о неустойчивости будет справедливо в том случае, если массы компонентов одинакового порядка. Если масса одного из компонентов во много раз превосходит массы остальных составляющих, то утверждение о неустойчивости будет вообще несправедливо. Так, например, Солнце, Земля и Марс представляют систему, в которой все три расстояния между составляющими обычно имеют один и тот же порядок величины. Однако эта „система“ устойчива. По этой причине было бы неосторожно делать

вывод о неустойчивости в отношении таких кратных галактик типа Трапеции, как, например, туманность Андромеды, спутники которой, по всей вероятности, имеют массы во много раз меньшие, чем масса центральной туманности. Однако существует большое количество кратных галактик типа Трапеции, где светимости составляющих одного порядка, вследствие чего можно предполагать, что и массы одного порядка величины.

Так, например, система Холмберг 124, изображенная на рис. 2, состоит из галактик, видимые звездные величины которых равны 13,2, 13,6, 14,9. И в других случаях, изображенных на этом рисунке, разности величин гораздо меньше, чем у кратной системы в Андромеде. Поэтому большинство кратных галактик, о которых шла речь в § 2, неустойчивы и являются сравнительно молодыми объектами.

§ 5. Сделанный в начале настоящей статьи вывод о совместном возникновении компонентов кратных галактик предполагает, что на какой-то предыдущей фазе развития вещество, составляющее кратную галактику, входило в единый объект, который затем разделился на две или несколько галактик. Естественно предполагать, что между этой первоначальной и более поздней фазой полного разделения составляющих кратной галактики может иметь место некоторый промежуточный период, в течение которого эти составляющие, являясь самостоятельными объектами, все же связаны между собой какими-то соединяющими элементами — „мостами“, продолжением ветвей и перемычками. Как показал Цвикки, между компонентами кратной галактики часто наблюдаются подобные мосты и соединительные ветви. В статье Кудера [8], посвященной работам Цвикки, приводится фотография замечательной тройной галактики, открытой Вилдом и состоящей из трех спиралей. Между двумя компонентами явно виден мост, представляющий собой продолжение соответствующих спиральных ветвей двух из составляющих галактик. Вместе с тем *система Вилда может являться образцовым примером тройной системы типа Трапеции*. Иными словами, эта система несомненно является молодым объектом.

Таким образом, вместо представления о приливном взаимодействии двух случайно проходящих мимо друг друга галактик, возникает простое понимание этих перемычек, как результат сравнительно недавно происшедших процессов разделения совместно возникших галактик.

С другой стороны, если принять, что перемычки между галактиками, составляющими кратную систему, генетически связаны со спиральными ветвями, то можно заключить, что процесс формирования ветвей имеет тесную связь с процессом возникновения и разделения составляющих кратной системы. В пользу этого свидетельствуют также данные Вокулера о спиральных ветвях, которые связывают нашу галактику с ее спутниками — Магеллановыми Облаками.

Рассматривая с этой точки зрения знаменитую спиральную си-

стему в Гончих Псах—M51 (NGC 5194—5195), мы можем считать известное сгущение на ее периферии, расположенное в конце одной из спиральных ветвей, за спутника этой системы, который связан с основной системой мощной спиральной ветвью. Таким образом, мы приходим к представлению о двойных галактиках, в которых составляющие между собой соприкасаются.

Развивая дальше это представление, мы приходим к вопросу о возможности существования *сверхтесных пар*, т. е. взаимно проникающих систем, в которых центр одной галактики глубоко расположен внутри другой.

§ 6. Как известно, одним из способов определения средних масс галактик является применение теоремы вириала к скоплениям галактик. Предполагая, что скопление имеет отрицательную энергию и находится в стационарном состоянии, мы получаем из теоремы вириала

$$v^2 = \frac{GM}{2R}.$$

Известные данные о лучевых скоростях позволяют легко определить средний квадрат скорости по отношению к центру тяжести скопления $\overline{v^2}$, а радиус скопления R легко определяется, если известно его расстояние. На основании этих данных, приведенная формула позволяет найти массу скопления. Таким образом, для скопления в Деве Туберг [9] получил $M = 500 M_r$, где M_r — масса галактики. Однако следует учесть, что в результате пересмотра шкалы расстояний принятый Тубергом радиус скопления в Деве следует, по крайней мере, удвоить. Поэтому будет правильной оценка $M = 1000 M_r$. С другой стороны, число галактик скопления в Деве до абсолютной величины — 11 не превосходит двух тысяч. Считая, что массами всех более слабых галактик можно пренебречь, мы получаем для средней массы членов скопления в Деве $\frac{1}{2} M_r$. Но известно, что подавляющее большинство из этих двух тысяч галактик составляют карлики с абсолютными величинами между — 15 и — 11. Массы этих карликов, казалось, не должны превосходить $0,01 M_r$. Только несколько десятков гигантов, входящих в скопление, могут иметь массы, заключенные между $0,2 M_r$ и $2 M_r$. Таким образом, полученная на основании теоремы вириала большая суммарная масса противоречит данным о числе и светимостях галактик данного скопления. Для объяснения этого расхождения Смит выдвинул предположение о большой массе межгалактической материи, содержащейся в скоплении. Следует отметить, что еще Хаббл [10] в своей книге подчеркивал глубину и серьезность получающегося расхождения. Гораздо большее противоречие получается для скопления в Сота. Уже из вычислений Туберга следовало, что для этого скопления масса равна $8000 M_r$. Однако, на основании новых данных, относящихся к этому скоплению, а также в результате пересмотра шкалы расстояний, линейный радиус скопления следует учетверить. Поэтому получаем $M = 32000 M_r$. При этом

известно из последних исследований Цвикки [11], что рассматриваемое скопление содержит не более 10 000 галактик ярче абсолютной величины — 13, причем подавляющее большинство из них составляют галактики низкой светимости с абсолютной величиной ниже — 15. Если также отнести значительную часть массы за счет слабых объектов, не вошедших в подсчеты Цвикки, все же получится, что в среднем, каждая из упомянутых 10 000 галактик имеет массу порядка $2 M_{\odot}$. Между тем и в этом случае можно считать, что на самом деле лишь несколько сотен или десятков галактик имеют массы между $0,2 M_{\odot}$ и $2 M_{\odot}$, а массы остальных должны измеряться лишь сотыми долями M_{\odot} . Поэтому полная масса скопления должна была бы быть порядка 1 000 M_{\odot} . Получается расхождение на 1,5 порядка. Цвикки пытается объяснить это расхождение наличием огромного количества межгалактического вещества внутри скопления. Отметим, что на чрезвычайно большие значения отношений $f = \frac{M}{L}$, получающиеся в случае

скопления галактик при применении теоремы вириала, обратил внимание и Шварцшильд [12]. Однако нам кажется, что даже приведенное им для скопления в Сомы значение $f = 800$ является преуменьшенным, поскольку при выводе им были приняты допущения, приводящие к уменьшению значения f .

Имеются данные, свидетельствующие о наличии известного количества межгалактического вещества в скоплении Сомы. Вопрос, однако, заключается в том, может ли масса этого вещества в десятки раз превосходить суммарную массу галактики. Поскольку межгалактические образования по своему внешнему виду напоминают скорее внешние части спиральных рукавов, чем концентрированные ядра галактик, то следует думать, что пока нет никаких оснований приписывать этому веществу чрезвычайно большие значения отношения f . Между тем только значения f порядка 10^5 и больше для межгалактической материи могут объяснить наблюдаемое расхождение.

Между тем исходя из предыдущего, можно дать простое и естественное объяснение указанного противоречия, допустив, что скопление в Сомы (а может быть и скопление в Деве) является системой, обладающей положительной энергией, т. е. представляет собой расходящуюся группу галактик. В таком случае теорема вириала неприменима, и кинетическая энергия системы может во много раз превосходить абсолютную величину потенциальной энергии.

В связи с этим выводом можно упомянуть еще об одном обстоятельстве, свидетельствующем о нестационарности некоторых скоплений галактик. Как на это обратил мое внимание Маркарян, в центральной части скопления в Деве находится бросающаяся в глаза цепочка ярких галактик. В состав этой цепочки входят, в частности, гигантские эллиптические системы M84 и M86. Трудно допустить, что эта цепочка является результатом случайного проектирования.

Если принять, что среди скоплений галактик встречаются систе-

мы с положительной энергией, то получится, что скопление типа Сoma возникло в результате расширения существовавшей ранее очень тесной группы галактик.

Для расширения до теперешних размеров потребовалось около полутора миллиарда лет.

§ 7. При обсуждении в § 2 вопроса об избирательности имеющих списков кратных галактик, мы принимали, что взаимное расстояние центров двух галактик, наблюдаемое нами, не может быть меньше суммы их радиусов. Однако при тщательном изучении изображений вероятно нетрудно распознать двойственность и в тех случаях, когда взаимное расстояние несколько меньше суммы радиусов. Если же оно меньше полусуммы радиусов, распознавание двойственности может оказаться затруднительным, ибо получающаяся картина может быть приписана сложности структуры самой галактики.

Однако диаметр галактики является довольно неопределенной величиной. Ее значение всегда зависит от предельной регистрируемой поверхности яркости. При фотографических наблюдениях она зависит от чувствительности пластинки и экспозиции. Во многих случаях, когда две галактики двойной системы кажутся отделенными друг от друга, при увеличении экспозиции может получиться взаимное перекрывание изображений.

Поэтому следует думать, что двойных и кратных галактик, в которых компоненты взаимно проникают друг в друга, гораздо больше, чем это может показаться с первого взгляда. Так, например, оба спутника M32 и NGC 205 туманности Андромеды по крайней мере в проекции перекрываются с последней.

Однако представляет наибольший интерес возможность таких случаев, когда взаимное проникновение является очень глубоким, например, когда ядро одной галактики находится внутри центральной части другой галактики.

Нетрудно видеть, что мы наблюдаем некоторые такие сверхтесные системы в виде радиогалактик. Наиболее яркими примерами этого являются источники радиоизлучения Лебедь А и Центавр А.

Как известно, последний объект отождествлен с пекулярной галактикой NGC 5128, которая, согласно Бааде [13], представляет собой любопытное сочетание эллиптической и спиральной систем с почти совпадающими в проекции центрами.

Предлагавшееся со стороны Бааде и Минковского объяснение, считающее радиоизлучение пекулярных галактик и, в частности, NGC 5128 результатом случайного столкновения двух ранее независимых галактик, вызвало возражения со стороны Шкловского [14] и Милса [15]. Оно имеет, кроме того, и ту слабую сторону, что не объясняет, почему для возникновения радиоизлучения требуется центральное или почти центральное столкновение. Более того, как мы сейчас увидим, вероятность такого центрального столкновения ничтожно мала.

Как легко заключить из значений видимой звездной величины и угловых размеров галактики NGC 5128, ее расстояние должно лежать в таких пределах, что она либо входит в состав местной системы галактик, либо же принадлежит общему метагалактическому полю, будучи расположена недалеко от местной системы. Плотность общего метагалактического поля настолько мала, что вероятность центрального столкновения в этом поле на столь близком расстоянии от нас совершенно ничтожна. Поэтому примем то предположение, при котором вероятности центрального столкновения значительно больше, т. е. допустим на минуту, что NGC 5128 *входит* в состав местной системы галактики.

На фотографии, полученной Бааде [13] с помощью 48-дюймового телескопа Шмидта, видно, что видимое расстояние между центрами „столкнувшихся“ галактик не превосходит пять секунд дуги. Для осторожности удвоим эту цифру, т. е. будем утверждать лишь, что расстояние между центрами в проекции не превосходит $d = 10''$. Вероятность такого случайного расположения галактик, входящих в нашу местную систему, при котором какая-нибудь одна пара настолько сблизилась, что в проекции находится ближе друг к другу, чем некоторое угловое расстояние d , будет порядка

$$P_1 = \frac{n(n-1)}{2} \frac{d^2}{4},$$

где n — число членов локальной системы, которое можно принять равным 16, а d выражено в радианах. Подставляя сюда $d = 10''$, получаем

$$P_1 < 10^{-7}.$$

Но это есть вероятность близости в проекции. Если же предположить, что обе галактики совпадают и по лучу зрения, что необходимо для объяснения наблюдаемого радиоизлучения, и если даже допустить, что расстояние между галактиками по лучу зрения вдвое превосходит линейное расстояние в проекции, то указанную вероятность нужно помножить еще на 10^{-4} .

Таким образом, для вероятности столь точного совпадения получается

$$P < 10^{-11},$$

т. е., в среднем, из 10^{-11} групп галактик, подобных нашей локальной системе, только в одной в случайно выбранный момент мы должны наблюдать подобное тесное сближение.

Между тем имеются данные, свидетельствующие о том, что „радиогалактики“, представляющие собой как бы наложение двух систем, наблюдаются и в других скоплениях галактик. Это показано Бааде [13] на примере скопления галактики в Персее.

Все это делает гипотезу о столкновениях совершенно невероятной. Отказавшись от нее, мы приходим к представлению о сверхтес-

ных парах совместно возникших галактик, которые по каким-то причинам могут являться источниками интенсивного радиоизлучения. Но, если согласиться с подобным представлением, то и случай Лебедь А, где мы имеем наиболее мощное радиоизлучение и наложение изображений двух галактик, следует рассматривать, как частный случай сверхтесной системы, составляющие которой имеют общее происхождение.

В пользу необходимости дать источнику Лебедь А истолкование в том же духе, что и истолкование источников, связанных с галактиками NGC 5128, 2175 и 4486, говорит тот факт, что галактика в Лебеде так же, как и указанные три радиогалактики, принадлежит к числу галактик сверхгигантов как по своей абсолютной величине, так и по диаметру (абсолютная величина, достигающая примерно $M = -20$, диаметр порядка 20 000 парсек).

Как известно из исследований Цвикки, относящихся к функции светимости галактик, число галактик быстро растет по мере уменьшения светимости. Поэтому столкновение двух галактик низкой абсолютной яркости в десятки тысяч раз более вероятно, чем столкновение двух галактик сверхгигантов. Было бы в таком случае весьма удивительно, если бы наряду с Лебедь А не наблюдались бы по крайней мере несколько десятков источников радиоизлучения, возникших от столкновения галактик низких светимостей, на гораздо меньших от нас расстояниях, чем расстояние Лебедь А. Правда, возникающее при этом радиоизлучение могло бы быть более слабым, но это компенсировалось бы меньшим расстоянием такой пары. Поэтому можно было бы ожидать от них поток излучения того же порядка, что и от Лебедь А. Между тем таких случаев мы вовсе не наблюдаем.

С другой стороны, в рамках гипотезы об общности причин, вызывающих интенсивное радиоизлучение отдаленных галактик, наличие у них общих характеристик и, в частности, принадлежность их всех к числу галактик гигантов кажется естественным.

§ 8. Остановимся на минуту на возможных кинематических и динамических особенностях сверхтесных двойных галактик. При этом отвлечемся сначала от наличия в такой системе диффузного вещества, считая, что она состоит только из звезд. Имеются две возможности. Первая заключается в том, что сверхтесная система представляет собой двойную галактику с положительной полной энергией. В таком случае на начальном этапе скорости ядер двух галактик по отношению друг к другу должны быть настолько велики, чтобы возможность полного отрыва и взаимного удаления в бесконечность была бы обеспечена. Относительные скорости звезд внутри каждой галактики будут в этом случае малы по сравнению со скоростью расхождения галактик. Поэтому возмущающее воздействие каждой галактики на движение звезд в другой галактике не будет особенно велико и в результате приведет лишь к некоторым возмущениям формы каждой галактики.

Существенным в этом случае является то, что момент начала расхождения двух систем должен был быть, вместе с тем, моментом возникновения их, как отдельных динамических единиц, а формирование самих галактик, повидимому, должно было происходить в период их взаимного удаления. Однако при таком представлении трудно объяснить как возникновение звезд на всем протяжении каждой галактики могло бы опередить взаимное удаление. Между тем наблюдаемые сверхтесные системы, повидимому, представляют иногда собой уже сформировавшиеся галактики.

Поэтому представляется более естественным тот вариант, когда первоначально существовала одна единая галактика, ядро которой разделилось на две части и одно из ядер или даже оба ядра (при одинаковом порядке массы) взаимно удаляются через уже существующую звездную систему. Если одно из ядер значительно меньше другого, то большее ядро может сохранить в существующей звездной системе почти центральное положение, выброшенная же меньшая масса будет удаляться. Повидимому, как раз такую картину мы наблюдаем в случае радиогалактики NGC 4486, где действительно имел место выброс струи из центрального ядра.

Вторая возможность заключается в том, что первоначально имело место разделение какого-то первоначального тела на два ядра, которые стали удаляться друг от друга, причем полная энергия получившейся системы была с самого начала отрицательна, т. е. скорость расхождения была невелика. Получившиеся два ядра должны были бы продолжать двигаться около общего центра тяжести. При дальнейшем развитии каждое из ядер могло дать начало целой галактике, размеры которой гораздо больше среднего расстояния между ядрами. При этих условиях мы получим две взаимно проникающие системы, подобных NGC 5128 и Лебедь А. Однако в такой сверхтесной паре воздействие каждого ядра на движение звезд другой галактики будет велико, и по сути дела мы получим единую оболочку, состоящую из звезд с двумя ядрами. Через некоторое время должна нарушиться также и динамическая независимость ядер, особенно, если, как это следует из законов механики, они должны периодически пронизывать друг друга. Динамика этого явления требует специального анализа, однако следует думать, что после небольшого количества полных колебаний около центра тяжести произойдет слияние обоих ядер.

Как в описанном выше случае образования пары с положительной энергией, так и в только что описанном случае возникновения пары с отрицательной энергией мы будем наблюдать пару, как сверхтесную систему, только в начальный период ее развития. В дальнейшем сверхтесная система, как мы видели, либо должна распасться ($\epsilon > 0$), либо же превратиться в единую систему ($\epsilon < 0$).

Таким образом, в каждой наблюдаемой сверхтесной системе обе галактики, либо, по крайней мере, одна из них должны быть моло-

дыми образованиями. Если на самом раннем этапе развития новой галактики происходит возникновение в ней также и слоя диффузного вещества, то не исключена возможность на этом этапе бурных процессов столкновений межзвездных газовых облаков, которые предполагались уже в отвергаемой нами гипотезе случайного столкновения двух галактик. Возможно, хотя и не доказано, что именно эти процессы являются в той или иной степени причиной мощного радиоизлучения.

Мы видели, что, согласно развитому выше взгляду, может существовать два типа сверхтесных галактик. Один из них представлен системой NGC 4486, другой—NGC 5128. Однако в каждом отдельном случае не так легко решить, к какому виду относится данная сверхтесная система. Так, например, это трудно сделать и в отношении объекта Лебедь А. Только особая мощность процесса радиоизлучения в ней говорит как будто о том, что, вероятно, мы имеем здесь дело со сверхтесной системой положительной энергии.

§ 9. Кроме случаев, рассмотренных выше, можно представить себе также случаи, когда образовавшиеся ядра возникающей кратной галактики расходятся на весьма значительные расстояния и только после этого развиваются в настоящие звездные системы. В этом случае мы не будем наблюдать никаких сверхтесных пар или групп, а будем иметь дело с образованием обычной широкой пары или кратной системы с отрицательной или положительной энергией.

Таким образом, сверхтесные пары, наблюдаемые в виде радиогалактик, должны считаться весьма молодыми образованиями. Однако не всякая двойная галактика должна проходить через стадию сверхтесной пары.

§ 10. *Выводы.* Среди кратных галактик имеется значительное число систем типа Трапеции. Это является свидетельством в пользу представления о совместном возникновении галактик, составляющих кратные системы. Имеются основания считать, что многие из кратных галактик представляют собой системы с положительной энергией и поэтому находятся в процессе распада.

Основным выводом из сказанного является то, что *возникновение кратных галактик в Метагалактике происходит и в нашу эпоху.* Но, поскольку многие кратные галактики распадаются на независимые отдельные галактики, то сделанное утверждение относится и к *одиночным галактикам.*

Имеются доводы в пользу того, что некоторые *скопления* галактик представляют собой недавно возникшие и ныне распадающиеся системы.

Поскольку отношение времени распада кратной галактики типа Трапеции к продолжительности жизни каждой галактики, как звездной системы, будучи малым, все же, вероятно, во много раз больше, чем отношение продолжительности распада кратной звезды типа Трапеции к длительности жизни звезды, как члена галактики, то утверж-

дение о молодости галактик, входящих в кратные системы, не следует понимать слишком узко, и возможно, что эти „молодые“ системы уже успели прожить заметную часть своей жизни. Быть может этим объясняется, что процент предполагаемых молодых галактик среди всех галактик, который можно вывести на основании развитых выше представлений, гораздо больше, чем процент молодых звезд среди звезд вообще.

В отношении радиогалактик имеются основания считать их сверхтесными молодыми парами с положительной или отрицательной энергией.

Бюраканская астрофизическая
обсерватория АН Армянской ССР

Поступило 4 II 1956

Վ. Հ. Համբարձումյան

ԲԱԶՄԱԳԱԼԱԿՏԻԿԱՆԵՐԻ ՄԱՍԻՆ

Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ի Մ

Բազմազալակտիկաների տոկոսը բոլոր գալակտիկաների մեջ շատ ավելի մեծ է, քան կարելի էր սպասել, ենթադրելով դիսոցիատիվ հավասարակշռությունը միայնակ և բազմապատիկ գալակտիկաների միջև: Այստեղից եզրակացնում ենք, որ բազմազալակտիկաները, որպես կանոն, չեն առաջացել միայնակ գալակտիկաներից փոխադարձ բռնագրավման հետևանքով: Հետևաբար, յուրաքանչյուր բազմազալակտիկայի բաղադրիչները պետք է առաջացած լինեն միատեղ:

Հուլիբերգի ցուցակի բազմազալակտիկաների մեծամասնությունն ունի Տրապեցիայի տիպի բազմաստղերին նման կոնֆիգուրացիաներ: Նրանց հարմար է անվանել Տրապեցիայի տիպի բազմազալակտիկաներ: Սովորական տիպի կոնֆիգուրացիաներ ունեցող բազմազալակտիկաները կազմում են ցուցակի փոքր մասը: Հետևաբար, բազմազալակտիկաների մեծամասնությունը անկայուն սիստեմներ են: Այս հանգամանքը հնարավոր է դարձնում դրական լրիվ էներգիայի սիստեմների առկայությունը բազմազալակտիկաների թվում:

Այդ եզրակացությունը հաստատվում է այն տվյալներով, որոնք հայտնի են կրկնակի և բազմակի գալակտիկաների բաղադրիչների հարաբերական տեսագծային արագությունների վերաբերյալ: Այն ենթադրությունը, որ բոլոր բազմազալակտիկաներն ունեն բացասական էներգիաներ, բերում է բազմազալակտիկաների անդամների զանգվածների չափազանց մեծ արժեքների:

Նման դատողությունները կարելի է կիրառել նաև գալակտիկաների կուլյտերի նկատմամբ: Ընդունելով այդ կուլյտերի լրիվ էներգիաների բացասական լինելը, բաղադրիչ գալակտիկաների միջին զանգվածների համար մենք կստանանք չափազանց բարձր, անհավանական զնահատականներ: Ստիպված, պետք է ենթադրենք, որ գալակտիկաների կուլյտերի լրիվ էներ-

գիտներն ունենում են նաև դրական արժեքներ: Այդ առանձնապես վերաբերում է Բերոնիկայի Վարսերի կույտին: Գալակտիկաների այդ կույտը, ըստ ամենայնի, իրենից ներկայացնում է լայնացող մի խումբ, որը հիշեցնում է մեր գալակտիկայի աստղասփյուռները:

Բազմագալակտիկաների բաղադրիչների ընդհանուր ծագման վերաբերյալ մեր եզրակացությունը իր հետ բերում է գալակտիկաների բաժանման և գերնեղ սխտեմների գաղափարը: Դրանք պետք է լինեն փոխադարձաբար ներթափանցող բաղադրիչներից բաղկացած կրկնակի կամ բազմապատիկ գալակտիկաներ: Ուժեղ ուղղիտոագայթում տվող մեզ հայտնի գալակտիկաները (այսպես կոչված «ուղիտոգալակտիկաները») ըստ երևույթին իրենցից ներկայացնում են այդպիսի գերնեղ կրկնակի սխտեմներ: Եթե այդպես է, ապա հիմք չկա ենթադրելու, որ Cygnus A, կամ NGC 1275 ուղիտոգալակտիկաների դեպքում մենք գործ ունենք իրարից անկախ առաջացած գալակտիկաների ընդհարումների հետ:

Այսպիսի տեսակետը դառնում է շատ հավանական, եթե մենք ուշադրութուն դարձնենք այն հանգամանքի վրա, որ նշված տիպի բոլոր ուղիտոգալակտիկաներն ունեն որոշ ընդհանուր ֆիզիկական հատկություն: Այդ հատկությունն այն է, որ նրանք գերհսկա գալակտիկաներ են ինչպես գծային չափերի, այնպես էլ բացարձակ մեծություն տեսակետից: Վերջինիս արժեքները ուղիտոգալակտիկաների մոտ կազմում են շուրջ $M = -20$: Անհնարին է հասկանալ այդ փաստը, ընդունելով պատահական ընդհարումների ենթադրությունը:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Амбарцумян. Астр. журн., 14, 207, 1937. См. также: „Эволюция звезд и астрофизика“. Изд. АН АрмССР, Ереван, 1947.
2. Цвикки. PASP, 50, 218, 1938; 64, 247, 1952.
3. Нейман, Скотт, Шен. Ap. J., 117, 92, 1933.
4. Холмерг. Annals of the Observatory of Lund, № 6, 1937.
5. Эймс Н. А. 88, № 1, 1930.
6. Сейферт. PASP, 63, 72, 1951.
7. Пейдж Ap. J., 116, 63, 1952.
8. Кудер. l'Astronomie, 68, 405, 1954.
9. Туберг. Ap. J., 98, 501, 1943.
10. Хаббл. The Realm of the Nebulae, Нью Хевен, 1937, стр. 180.
11. Цвикки. PASP, 63, 61, 1951; 64, 247, 1952.
12. Шварцшильд. A. J., 59, 273, 1954.
13. Бааде. Ap. J., 119, 215, 1954.
14. Шкловский. Астр. журн., 31, 483, 1954.
15. Милс. Observatory, 74, 249, 1954.