

АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

АСТРОФИЗИКА

ТОМ 17

МАЙ, 1981

ВЫПУСК 2

УДК 524.7

ОДНОРОДНАЯ ВЫБОРКА ДВОЙНЫХ ГАЛАКТИК. I. ЭФФЕКТЫ ИЗБИРАТЕЛЬНОСТИ И ПРОЕКЦИИ

И. Д. КАРАЧЕНЦЕВ

Поступила 5 июня 1980

Принята к печати 29 марта 1981

Для 423 пар галактик из каталога [3] приведены распределения по линейному расстоянию между компонентами, разности лучевых скоростей, абсолютным величинам и другим характеристикам. Чтобы учесть систематические искажения выборочных распределений, было предпринято моделирование видимого распределения галактик методом Монте-Карло. Сравнение каталожных пар с опорной выборкой моделированных позволило изучить эффекты избирательности и проекции.

1. *Введение.* Измерение лучевых скоростей у большого числа двойных галактик [1], предварительно отобранных единообразным способом, открывает возможности для детального исследования физических характеристик, кинематики и динамики этих простейших систем. Предметом нашего анализа является выборка 440 пар [2] с известными лучевыми скоростями у обоих компонентов из «Каталога изолированных пар галактик северного неба» [3], насчитывающего 603 двойные системы.

Изучение динамических особенностей пар галактик предпринималось разными авторами неоднократно. Обзор наиболее подробных исследований представлен в [4, 5]. Исследовались немногочисленные и неоднородные выборки пар, что затрудняло истолкование конечных результатов. В предшествующих работах недооценивалось влияние эффектов селекции и проекции, которые существенно искажают основные характеристики двойных галактик. По этой причине остаются дискуссионными такие важные вопросы, как оценка истинного числа двойных галактик в единице объема, значение средней орбитальной массы пары, величина взаимных скоростей и линейных размеров двойных систем.

2. *Моделирование видимого распределения пар.* Выделение двойных галактик по их наблюдаемым характеристикам — взаимному расстоянию, видимым величинам, угловым диаметрам, изолированности относительно соседних в проекции галактик — сопряжено с сильной избирательностью. В результате этого «каталожное» распределение пар по какому-либо признаку может существенно отличаться от истинного (пространственного) распределения. Количественный анализ разнообразных факторов селекции можно проводить методами математической статистики. К сожалению, при аналитическом подходе возникает необходимость сильного упрощения исходных предпосылок. Обычно влияние селекции оценивают в пуассоновском приближении, весьма далеком от реального распределения галактик.

В настоящей статье мы будем рассматривать различные факторы избирательности в парах галактик, опираясь на результаты моделирования с помощью ЭВМ видимого распределения галактик. Моделирование пространственного распределения галактик [6] осуществлялось методом Монте-Карло с учетом сгущивания галактик в системы. Использовались следующие предположения:

а) каждая галактика из единицы объема имеет вероятность p_k принадлежать системе кратности k , где населенность системы принимает значения 1, 2, 3, 30 и 1000;

б) центры систем распределены в пространстве равномерно случайно;

в) распределение галактик в системе по координатам и по скоростям представляется законом $p|X| = \sigma_k^{-1} \exp\{-|X/\sigma_k|\}$, где σ_k означает характерный размер в системе кратности k ;

г) лучевая скорость каждой галактики определяется как сумма хаббловской скорости центра системы (при $H = 75$ км/с Мпс) и peculiarной составляющей галактики относительно центра данной системы;

д) в каждой системе функция светимости галактик имеет одинаковый вид,

$$\approx |M| = \begin{cases} c' \cdot 10^{1.4 M} & (-22^m3, \quad -19^m8) \\ c'' \cdot 10^{0.2 M} & (-19^m8, \quad -14^m0). \end{cases} \quad (1)$$

Параметры систем галактик, подобранные эмпирически сообразно наблюдательным данным, указаны в табл. 1.

Пространственное распределение галактик в объеме $(410 \times 54 \times 54)$ Мпс³ проектировалось на площадку размером с карту Паломарского атласа $6^\circ \times 6^\circ$. Для всех галактик ярче 15^m7 (предел каталога [3]) на графическое и цифропечатающее устройства ЭВМ выводились координаты, видимые величины, угловые диаметры, лучевые скорости и расстояния галактик, а также индекс их принадлежности к системе определенного типа. Всего было смоделировано 127 площадок с общим числом галактик

9433 ярче 15^m7 . К их распределению мы применяли критерий каталога [3] для отбора двойных галактик.

Таблица 1

ПАРАМЕТРЫ СИСТЕМ ГАЛАКТИК, ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ПРИ
МОДЕЛИРОВАНИИ ВИДИМОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГАЛАКТИК

Система галактик	Число членов (n)	Частота встречаемости галактик	Параметр линейного размера τ_x (кпс)	Параметр дисперсии скоростей τ_x^v (км/с)
Одиночные	1	0.05	5	25
Двойные	2	0.50	8	60
Тройные	3	0.15	20	75
Группы	30	0.15	60	150
Скопления	1000	0.15	320	400

Согласно нашему критерию две галактики (каждая ярче 15^m7) с угловыми диаметрами a_1 и a_2 и взаимным угловым расстоянием x_{12} удовлетворяют критерию изолированности, если выполняются условия:

$$x_{1i}/x_{12} \geq \eta a_i/a_1, \quad \text{где } \xi a_1 \leq a_i \leq \eta a_1 \quad (2)$$

и

$$x_{2i}/x_{12} \geq \eta a_i/a_2, \quad \text{где } \xi a_2 \leq a_i \leq \eta a_2.$$

Индекс i здесь относится к любой соседней галактике, чей диаметр a_i заключен в интервале, определяемом правой частью неравенств (2). Для основного критерия каталога эмпирически подобраны следующие значения безразмерных коэффициентов:

$$\chi = 5, \quad \xi = 1/2, \quad \eta = 4. \quad (3)$$

Таким образом, по условиям (2), (3) соседние с парой галактики тех же размеров должны располагаться по крайней мере в пять раз дальше от пары, чем компоненты пары друг от друга. Для более крупных соседних галактик «зона избегания» согласно (2) должна быть большей (пропорционально угловому диаметру a_i). Помимо основного критерия в каталоге [3] использованы три более жестких критерия с параметрами:

$$\chi = 10, \quad \xi = 1/2, \quad \eta = 4, \quad (K_{-})$$

$$\chi = 5, \quad \xi = 1/4, \quad \eta = 4, \quad (K_{-+})$$

$$\chi = 10, \quad \xi = 1/4, \quad \eta = 4, \quad (K_{++}).$$

Основному критерию изолированности пары по отношению к соседним в проекции галактикам удовлетворяет в моделированных полях 301 па-

ра. В дальнейшем условимся называть двойные галактики в моделированных площадках «М-парами», а каталожную выборку — «К-парами».

3. *Неизолированные пары.* Среди галактик ярче 15^m число галактик, входящих в пары каталога [3], составляет $\delta_K = 0.035$. Для моделированного распределения мы получили величину $\delta_M^* = 2 \cdot 301/9433 = 0.064$, то есть почти в два раза более высокую. Однако не все М-пары, удовлетворяющие критерию изолированности, являются пространственно обособленными системами. Среди 301 М-пары 34 (11%) представляют собой результат случайной близости на луче зрения не связанных друг с другом галактик (оптические пары). Помимо этого, критерию удовлетворяют 96 пар (32%), галактики которых являются членами триплетов, групп и скоплений. Наличие псевдопар, образованных «верхушками» систем галактик, существенно усложняет анализ выборки, так как отличить их от истинных пар по линейным размерам и разности лучевых скоростей компонентов довольно трудно.

Примесь оптических пар в выборке можно уменьшить, меняя условия отбора двойных галактик. В каталоге [3] использованы, наряду с основным, мягким (K_{-}) критерием изолированности, также жесткий критерий (K_{++}) и два средних (K_{+-} , K_{-+}). Эффективность каждого критерия видна из результатов его применения к моделированному распределению галактик. В табл. 2 указано, какое число оптических пар и членов систем пропускает тот или иной критерий. В последнем столбце обозначена другая важная характеристика — вероятность того, что физическая пара галактик будет обрезана критерием и не попадет в число изолированных. Как видно из этих данных, переход от мягкого критерия к жесткому снижает относительное число оптических пар в выборке в три раза, уменьшая также количество псевдопар. Однако, при использовании жесткого критерия более половины физических пар не удовлетворяют условию изолированности по отношению к соседним в проекции галактикам. Такая сильная избирательность жесткого критерия затрудняет восстановление характеристик пространственной выборки пар по их усеченному каталожному распределению.

Для сравнения в последней строке табл. 2 показаны результаты проверки в тех же моделированных полях критерия, использованного Тэрнером [7]. Подробный анализ критерия Тэрнера содержится в [8]*. Отметим, что среди двойных галактик, исследованных Тэрнером, процент оптических пар в два раза выше, чем в нашем каталоге, а, в целом, физические пары в выборке Тэрнера составляют менее половины. Сильная засорен-

* Критерий пары, применявшийся Тэрнером, является частным случаем нашего критерия, условие изолированности пары галактик в нем принято слишком мягким.

ность списка двойных галактик Тэрнера оптическими и псевдопарами является основной причиной больших вириальных масс, полученных им для двойных галактик.

Таблица 2

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАЗЛИЧНЫХ КРИТЕРИЕВ

Критерий	Число моделированных пар, удовлетворяющих критерию				Вероятность образования физической пары
	Все	Физические	Члены систем	Оптические	
Мягкий	301	171	96	34	0.29
K_{--}	(100%)	(57%)	(32%)	(11%)	
Средний	229	147	62	20	0.39
K_{+-}, K_{-+}	(100%)	(64%)	(27%)	(9%)	
Жесткий	139	104	30	5	0.57
K_{++}	(100%)	(75%)	(21%)	(4%)	
Критерий	404	178	145	81	0.26
Тэрнера	(100%)	(44%)	(36%)	(20%)	

4. *Взаимные скорости в парах.* Распределение двойных галактик по модулю разности лучевых скоростей компонентов, $y = |\Delta V_r|$, приведено в табл. 3. Во втором ее столбце указано число реальных, каталожных пар, в третьем — число моделированных. Три последних столбца показывают, сколько физических пар (П), членов систем (С) и оптических пар (О) содержится в каждом интервале скоростей. В целом, выборки К-пар и М-пар проявляют сходное распределение по разности лучевых скоростей. Около половины пар имеют взаимные скорости в пределах 100 км/с, остальная часть обеих выборок распределена на широком интервале до 10 000 км/с. Физические пары преобладают в области $y < 200$ км/с, имея $\langle y \rangle_p = 92$ км/с, члены систем галактик — на интервале (200—700) км/с, причем $\langle y \rangle_c = 207$ км/с, а при $y > 700$ км/с основную часть выборки составляют случайные пары с $\langle y \rangle_o = 4000$ км/с.

Из данных табл. 3 следует, что для исключения оптических пар можно использовать предложенное Тэрнером условие $y < 425$ км/с, однако при этом ограничении выборка пар будет содержать существенное число псевдопар, образованных членами систем галактик.

5. *Взаимные расстояния компонентов и эффект селекции.* В отличие от лучевых скоростей, угловые расстояния между галактиками входят непосредственным образом в условие отбора пар по критерию изолированности (2). (3). Поэтому распределение двойных галактик по линейному

расстоянию между компонентами неизбежно содержит сильную избирательность.

Таблица 3

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЧИСЛА КАТАЛОЖНЫХ И
МОДЕЛИРОВАННЫХ ПАР ПО МОДУЛЮ РАЗНОСТИ
ЛУЧЕВЫХ СКОРОСТЕЙ КОМПОНЕНТОВ

y (км/с)	К-пары	М-пары			
		Все	П	С	О
0—50	98	93	69	24	0
50—100	97	61	42	19	0
100—150	62	42	29	13	0
150—200	42	18	13	5	0
200—300	42	32	14	18	0
300—400	24	8	3	5	0
400—600	17	10	1	7	2
600—800	5	1	0	1	0
800—1000	4	2	0	0	2
1000—2000	9	10	0	4	6
2000—3000	5	4	0	0	4
3000—5000	11	11	0	0	11
5000—10000	7	7	0	0	7
>10000	0	2	0	0	2
Среднее км/с	440 ± 60	570 ± 95	92 ± 6	207 ± 31	4000 ± 560

На рис. 1 приведено распределение 423 каталожных пар* по проекции линейного расстояния между компонентами, X . Максимум этого распределения приходится на $X = 10$ кпс. Большинство двойных галактик являются тесными системами, компоненты которых расположены в контакте друг с другом. Так, у 70% К-пар расстояние между центрами галактик не превышает суммы диаметров компонентов. Вместе с тем, имеется немало широких пар с $X > 100$ кпс, распределение их указано на вставке рис. 1.

Распределение моделированных пар по проекции линейного расстояния компонентов (рис. 2) в общих чертах соответствует каталожному распределению. Максимум числа М-пар имеет место при $X = 10$ кпс, а длинный хвост простирается до ~ 400 кпс. Для М-пар среднее взаимное расстояние галактик $\langle X \rangle_M = 30.0$ кпс несколько меньше, чем для каталожных $\langle X \rangle_K = 43.6$ кпс. Физические пары, члены систем и оптиче-

* Из 440 пар сводки [2] 17 объектов оказались одиночными галактиками.

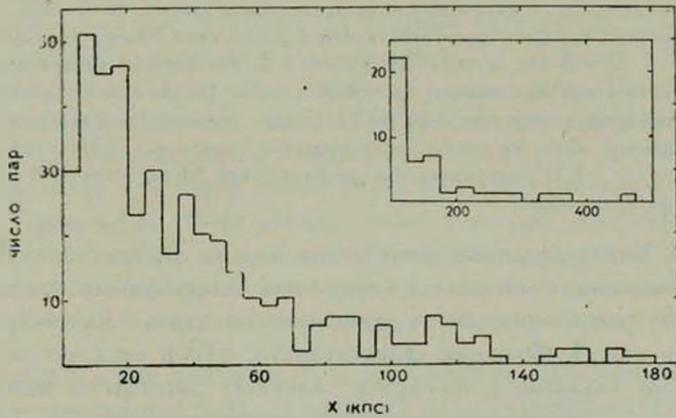


Рис. 1. Распределение 423 двойных галактик из каталога [3] по проекции линейного расстояния между компонентами, X (кпс).

ские пары изображены на рис. 2 различной штриховкой. Как и следовало ожидать, средний размер псевдопар, $\langle X \rangle_c = 39.7$ кпс, и оптических пар, $\langle X \rangle_o = 72.0$ кпс, значительно больше, чем у реальных физических пар $\langle X \rangle_n = 16.2$ кпс. За пределами $X > 50$ кпс располагаются, в основном, кажущиеся «пары», образованные случайной близостью на луче зрения двух членов одной системы или же пространственно независимых галактик.

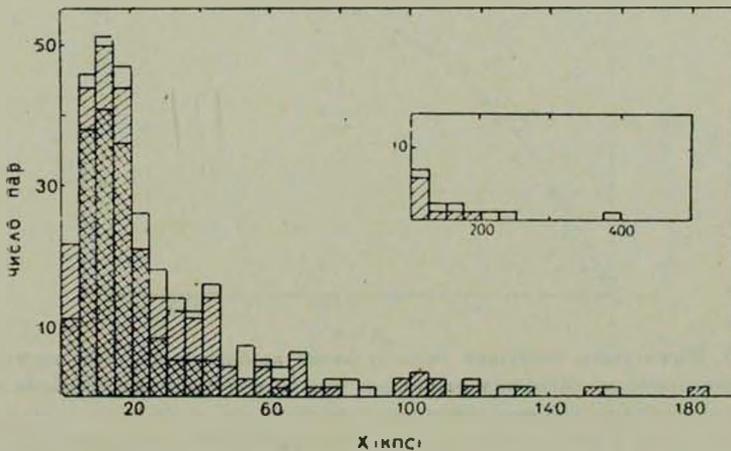


Рис. 2. Распределение 301 моделированной пары по проекции линейного расстояния между компонентами. Физические пары отмечены двойной штриховкой, члены систем — косой штриховкой, оптические пары не заштрихованы.

Распределение по расстояниям М-пар, удовлетворяющих критерию изолированности, можно согласовать с каталожным распределением двумя способами. Первый состоит в увеличении среднего пространственного расстояния между двойными галактиками (параметр $\sigma_2 = 8$ кпс в табл. 1), второй — в уменьшении относительного числа двойных галактик в единице объема ($\bar{v}_2 = 0.50$ в табл. 1). Последний способ привносит большую асимметрию в распределение $N(X)$ за счет повышения в выборке доли оптических и псевдопар. Дополнительное моделирование показывает, что при значениях $\sigma_2 = 10$ кпс и $\bar{v}_2 = 0.25$ редуцированное распределение М-пар становится адекватным каталожному распределению.

Анализ моделированных физических пар, не удовлетворивших критерию изолированности, позволяет определить селективность критерия в зависимости от расстояния между компонентами пары. Результаты представлены на рис. 3. Функция селективности, $q(X)$, означает вероятность того, что пара галактик с проекцией линейного расстояния между компонентами X будет обрезана критерием по условиям (2) и (3). Точками на рисунке отмечены выборочные значения $q(X)$, аппроксимированные зависимостью

$$q(X) = 1 - \exp(-X/\alpha), \quad (4)$$

где $\alpha = 45$ кпс. Как и следовало ожидать, критерий изолированности обладает большой селективностью, обрезая широкие пары. Например, при $X = 100$ кпс только десятая часть двойных галактик удовлетворяет этому критерию.

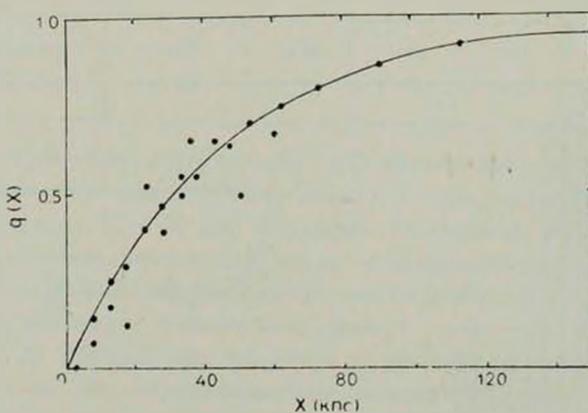


Рис. 3. Вероятность обрезания пары галактик критерием изолированности, $q(X)$, как функция проекции линейного расстояния между компонентами. Точками отмечены эмпирические значения для моделированных пар.

Существует принципиальная возможность восстановить неискаженный вид распределения двойных галактик по проекции расстояния между компонентами, используя функцию селективности (4). К сожалению, эта

задача оказывается практически невыполнимой. Быстрое уменьшение числа каталожных пар при больших X , а также возрастание относительного числа оптических и псевдопар с увеличением X , приводит в сочетании с крутой функцией селекции (4) к быстрому росту ошибок. Фактически, уже на интервале (50—100) кпс ошибки реставрации достигают фактора ~ 3 , а при $X > 100$ кпс становятся неопределенно большими.

Аналогичные трудности имеют место при изучении выборки двойных галактик Тэрнера [8]. По-видимому, любой критерий пары галактик, основывающийся только на видимых характеристиках галактик, оказывается малоэффективным для определения пространственного распределения взаимных расстояний галактик в парах по их угловому распределению на небе.

6. *Распределение пар по видимым величинам.* Важным вопросом является наличие или отсутствие у критерия пары селективности по видимым величинам галактик. Анализ каталожной выборки упрощается, если применяемый для отбора пар критерий одинаковым образом выделяет как близкие, так и далекие пары.

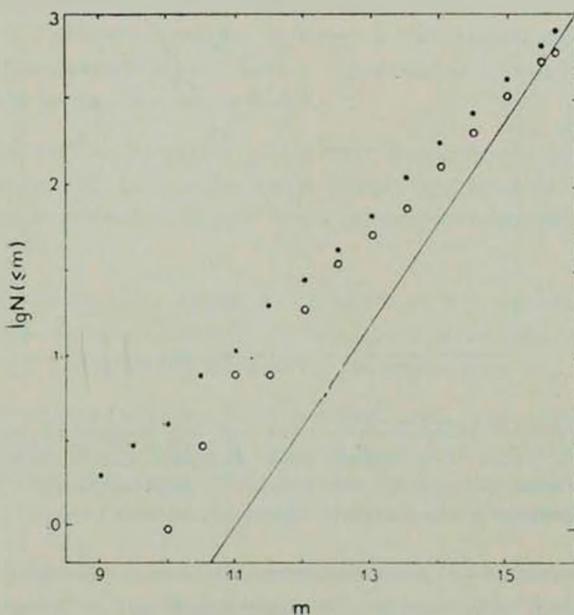


Рис. 4. Интегральное распределение числа галактик в парах ярче видимой величины m . Члены каталожных пар обозначены точками, члены моделированных пар — кружками. Прямая линия обозначает однородное распределение с точностью до произвольной постоянной.

На рис. 4 представлено интегральное распределение числа галактик, входящих в пары, по их видимой величине. Точками обозначены галакти-

ки из каталога [3]; кружками — члены моделированных пар, удовлетворяющих тому же критерию изолированности. Прямая линия обозначает однородное распределение $N(m) \sim 10^{0,6m}$. Как видим, галактики К-пар и М-пар имеют весьма сходные распределения с характерным систематическим избытком на ярких величинах. Причина этого избытка очевидна и обусловлена тем обстоятельством, что оба компонента пары должны быть ярче фотометрического предела выборки. Избыток числа каталожных пар над числом моделированных при $m < 12^m$ следует приписать эффекту Местного сверхскопления. Справедливость такого предположения подтверждают данные рис. 5. В отличие от предыдущего рисунка, на нем

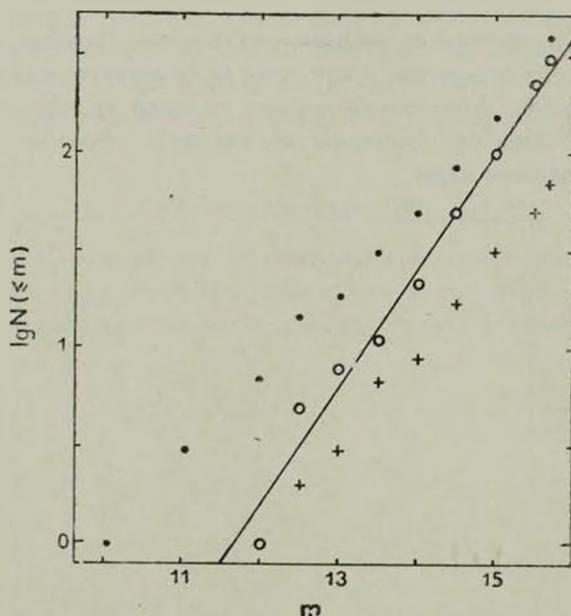


Рис. 5. Интегральное распределение числа пар, оба компонента которых ярче видимой величины m . Точки — каталожные пары, кружки — моделированные пары, удовлетворяющие критерию изолированности, крестики — моделированные пары, обрезанные критерием. Однородное распределение обозначено прямой.

изображено интегральное распределение числа пар, оба компонента которых ярче видимой величины m . Обозначения К-пар и М-пар аналогичны рис. 4. Крестиками дополнительно изображена выборка М-пар, не удовлетворивших условию изолированности. Из этих данных следует, что селективность критерия слабо зависит от видимой величины или глубины выборки: критерий изолированности чаще обрезает близкие пары с галактиками низкой светимости (карликовые двойные галактики труднее различимы на фоне окрестных соседей). Для каталожных пар отклонение от

однородности при $m < 13^m$ указывает на избыток числа близких пар в 3—4 раза, ожидаемый для Местного сверхскопления.

Условие попадания в каталог пары галактик обоими компонентами представляет собой еще один источник селекции. Моделируя видимое распределение галактик, мы опирались на простейшее предположение, что абсолютные величины двух произвольно взятых галактик являются взаимно независимыми случайными величинами, распределенными по закону (1). При этих предположениях относительное число пар, попадающих в выборку ярче $15^m 7$ обоими компонентами, к числу пар, представленных до того же фотометрического предела хотя бы одним компонентом, составляет фактор 0.105. Такая сильная избирательность (безотносительно к критерию изолированности!) требует осторожности при оценке распространенности двойных галактик в единице объема по частоте их встречаемости в каталоге.

В этой связи интересно распределение числа К- и М-пар по модулю разности видимых величин компонентов (табл. 4). Как и ранее мы отдельно указываем физические пары (П), члены систем (С) и оптические пары (О). Для сравнения в последнем столбце таблицы дано число физических М-пар, не удовлетворивших критерию изолированности (Н). Эти данные и средние значения $\langle |\Delta m| \rangle$ для каждой подвыборки пар позволяют сделать несколько заключений.

1) Компоненты каталожных пар имеют в среднем меньшую разность видимых величин, чем моделированные пары. Это свидетельствует о том, что у галактик в реальных парах существует положительная корреляция светимостей.

2) Выделение пары галактик по условию ее изолированности не приносит заметной избирательности по Δm , хотя наблюдается слабая тенденция к отбору пар с малой разностью видимых величин.

3) Члены систем галактик и оптические пары, удовлетворяющие критерию изолированности, имеют в среднем меньшую разность видимых величин, чем физические пары. Этот неожиданный результат находит свое объяснение при вероятностном анализе условий отбора псевдопар*.

7. Абсолютные величины и светимости двойных галактик. Распределение двойных галактик по абсолютным величинам представлено в табл. 5. В первом ее столбце указано значение абсолютной величины галактики с шагом аргумента $0^m 5$, во втором — седьмом столбцах даны числа двой-

* Среди членов группы или скопления две галактики будут выглядеть обособленной «парой» в тех случаях, когда обе они являются ярчайшими членами системы, а более слабые члены не видны до предела каталога.

ных галактик, принадлежащих различным выборкам. Обозначения типов выборки такие же, как в табл. 4.

Таблица 4

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЧИСЛА КАТАЛОЖНЫХ И МОДЕЛИРОВАННЫХ
ПАР ПО МОДУЛЮ РАЗНОСТИ ВИДИМЫХ ВЕЛИЧИН
КОМПОНЕНТОВ

Δm	К-пары	М-пары				
		Все	П	С	О	Н
0 ^m 0—0.1	109	50	28	20	2	17
0.2—0.3	77	57	24	22	11	6
0.4—0.5	46	38	17	16	5	8
0.6—0.7	45	32	18	11	3	8
0.8—0.9	31	26	10	13	3	2
1.0—1.1	28	24	16	4	4	5
1.2—1.3	14	16	11	2	3	2
1.4—1.5	12	12	11	1	0	1
1.6—1.7	13	10	8	2	0	3
1.8—1.9	8	4	3	1	0	2
2.0—2.4	12	13	10	1	2	6
2.5—2.9	2	10	9	1	0	4
3.0—3.4	4	3	2	1	0	1
3.5—3.9	0	4	3	1	0	3
4.0—4.4	0	0	0	0	0	3
4.5—5.0	0	2	1	0	1	0
Среднее	0 ^m 62 ±0.03	0 ^m 88 ±0.05	1 ^m 03 ±0.07	0 ^m 63 ±0.07	0 ^m 83 ±0.15	1 ^m 18 ±0.14

При отсутствии эффектов избирательности и принятом виде функции светимости (1) средняя абсолютная величина галактик в выборке ярче 15^m7 должна составлять $\langle M \rangle = -19^m28$. Сравнивая с этим значением среднюю абсолютную величину компонентов пар из каждой выборки (последняя строка в табл. 5), мы можем разделить суммарный эффект селекции по M на следующие виды:

а) условие того, чтобы пара галактик была представлена в каталоге обоими компонентами, ослабляет светимость галактик в выборке в среднем на одну звездную величину (-18^m34 сравнительно с -19^m28);

б) критерий изолированности пары имеет тенденцию к сохранению в выборке более ярких галактик (-18^m34 и -17^m08);

в) присутствие в выборке оптических пар и членов систем не влияет существенно на среднюю выборочную абсолютную величину (-19^m55 , -19^m11 и -19^m28);

г) галактики в реальных К-парах имеют в среднем в три раза большую светимость, чем моделированные двойные галактики.

Таблица 5

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЧИСЛА КАТАЛОЖНЫХ И МОДЕЛИРОВАННЫХ
ПАР ПО АБСОЛЮТНЫМ ВЕЛИЧИНАМ ПРИ $H = 75$ км/с Мпс

$\langle M \rangle$	К-пары	М-пары				
		Все	П	С	О	Н
-23^m25	1	0	0	0	0	0
-22.75	3	0	0	0	0	0
-22.25	8	1	0	0	1	1
-21.75	48	0	0	0	0	0
-21.25	100	4	1	0	3	0
-20.75	163	15	4	3	8	0
-20.25	169	53	17	26	10	1
-19.75	144	127	54	59	14	8
-19.25	73	102	51	38	13	11
-18.75	48	81	46	25	10	10
-18.25	18	69	50	15	4	14
-17.75	18	49	39	7	3	21
-17.25	17	31	24	5	2	5
-16.75	16	27	18	9	0	10
-16.25	5	20	17	3	0	16
-15.75	8	7	5	2	0	21
-15.25	3	7	7	0	0	10
-14.75	0	8	8	0	0	5
-14.25	0	1	1	0	0	8
-13.75	2	0	0	0	0	0
-13.25	2	0	0	0	0	1
Среднее	-19^m97 ± 0.05	-18^m72 ± 0.05	-18^m34 ± 0.07	-19^m11 ± 0.08	-19^m55 ± 0.12	-17^m08 ± 0.14

Последний вывод имеет важное значение для понимания условий образования двойных систем галактик. Иллюстрацией к нему служит рис. 6, на котором представлено распределение по абсолютным величинам 846 галактик К-пар. Сплошной линией на рисунке изображена выборочная функция светимости галактик, неискаженная эффектами селекции. Для срав-

нения пунктиром обозначено распределение абсолютных величин для одиночных галактик из каталога [9]. Эти данные свидетельствуют о преобладании галактик высокой светимости среди компонентов пар.

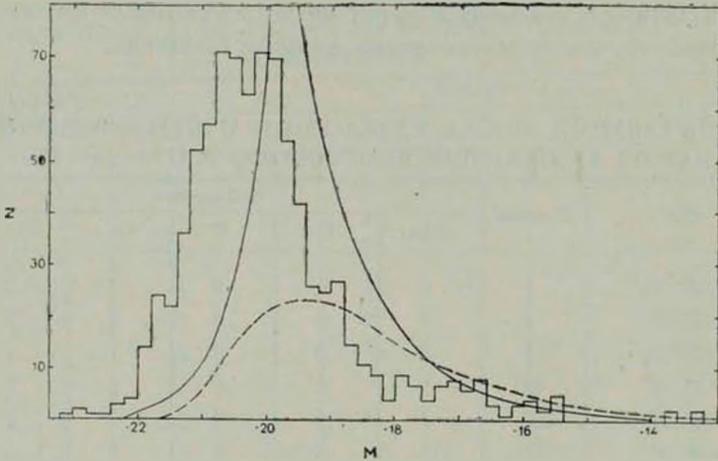


Рис. 6. Распределение 846 двойных галактик из каталога [3] по абсолютным величинам (гистограмма). Сплошная кривая обозначает выборочную функцию светимости, использованную при моделировании; она определяется выражением (1), умноженным на фактор объема $10^{-0.6 M}$. Пунктиром показано каталожное распределение одиночных галактик.

8. *Относительное число пар в пространстве.* Моделируя видимое распределение галактик, мы предположили, что каждая вторая галактика из единицы объема входит в состав пары ($\delta_2 = 0.50$ в табл. 1). При этом относительное число двойных галактик в выборке, $\delta_M^* = 0.064$, оказалось почти в два раза выше каталожного, $\delta_K^* = 0.035$. Из сравнения характеристик М-пар и К-пар мы установили существование значимого избытка светимости у реальных пар и наличие у них родства компонентов по абсолютным величинам. Эти два главных отличия от предпосылок, использованных при моделировании, в сочетании с сильной избирательностью пар по взаимному расстоянию их компонентов принципиально усложняют задачу точного определения относительного числа двойных галактик в единице объема. Для ее решения необходимо знать совместное распределение случайных величин, $P\{M_1, M_2, r_{12}\}$, где абсолютные величины и пространственное расстояние членов пары, r_{12} , следует рассматривать, в общем, как взаимно зависимые переменные.

Мы не приводим здесь деталей дополнительных расчетов величины δ . С учетом поправок за упомянутые эффекты, оценка доли двойных галактик в единице объема получается равной $\delta = 0.05 \div 0.20$. Неопределенность ее в значительной степени обусловлена присутствием в каталожной

выборке неизолированных псевдопар и малым числом широких физических пар.

Независимым контролем величины δ может служить анализ встречаемости пар из каталога [3] в ближайших окрестностях нашей Галактики. Принимая, что в пределах расстояния $\Delta = 10$ Мпс на северном небе содержится около 200 галактик и в их числе 15 пар, мы получаем относительное число галактик в парах $\delta = 2 \cdot 15/200 = 0.15$. Более половины этих пар входят в состав близких групп Вокулера [10]. Частота встречаемости галактик высокой светимости в 15 парах оказывается заметно более высокой, чем карликовых, в соответствии с выводом предыдущего параграфа.

9. *Заключение.* Чтобы получить надежную оценку массы и отношения массы к светимости для двойных галактик, необходимо исследовать достаточно большую совокупность пар, отобранных единообразным способом. Такому условию удовлетворяет каталог [3]. Как и всякий каталог, исследуемая выборка содержит в себе большие искажения, обусловленные эффектами селекции разного рода. Для учета систематических искажений было предпринято моделирование видимого распределения галактик с последующим отбором двойных галактик на основе того же критерия изолированности. Сравнение реальных пар с опорной выборкой моделированных пар позволило количественно определить роль эффектов проекции и селекции. Важнейшими среди них оказались следующие:

а) присутствие в выборке случайных оптических пар (11%) и псевдопар (32%), образованных яркими членами групп и скоплений галактик. Такие кажущиеся в проекции «пары» существенно завышают среднюю разность лучевых скоростей и среднее взаимное расстояние компонентов пар, что приводит к переоцениванию орбитальной массы;

б) малая вероятность ($\sim 10\%$) для пары галактик быть представленной в выборке ярче 15^m обоими компонентами и обрезание критерием широких пар делает особо трудной задачу восстановления пространственных характеристик двойных галактик по их видимым в проекции распределениям;

в) избирательность критерия, экспоненциально возрастающая с увеличением линейного расстояния между членами пары, является причиной сильного отсева широких пар. В сочетании с увеличением числа ложных пар, это приводит на масштабах $X > 100$ кпс к неопределенно большим ошибкам в оценке числа изолированных широких пар. Остается проблематичным само существование истинных широких пар с расстояниями между компонентами более 100 кпс;

г) учет эффектов избирательности двойных галактик по абсолютным величинам показывает, что в парах каталога [3] встречаются преимущест-

венно гигантские галактики. Средняя светимость компонента пары в три раза выше нормальной. Между абсолютными величинами членов пар наблюдается положительная корреляция. Эти особенности важны для понимания условий совместного образования двойных галактик;

д) относительное число двойных галактик в пространстве, вычисленное по их каталожному числу, составляет $\delta = 0.05 \div 0.20$. Неопределенность этой величины обусловлена суммарным влиянием различных эффектов селекции. Для близких окрестностей Галактики получена оценка $\delta = 0.15$, то есть пары являются весьма распространенным типом систем галактик.

Результаты данной работы будут использованы в следующей статье для определения орбитальных масс двойных галактик.

Специальная астрофизическая
обсерватория АН СССР

HOMOGENEOUS SAMPLE OF BINARY GALAXIES. I. SELECTION AND PROJECTION EFFECTS

I. D. KARACHENTSEV

For 423 pairs of galaxies of the Catalogue [3] the distributions according to the linear separation, radial velocity difference, absolute magnitude and other characteristics are presented. A simulation of an apparent distribution of galaxies has been provided by the Monte-Carlo method to study systematic biases of the sample distributions. Comparison of the catalogue pairs with the simulated sample allows to investigate selection and projection effects.

ЛИТЕРАТУРА

1. I. D. Karachentsev, *Ap. J.*, Suppl. ser., 44, 137, 1980.
2. И. Д. Караченцев, *Астрофизика*, 16, 217, 1980.
3. И. Д. Караченцев, Каталог изолированных пар галактик северного неба. *Сообщ. Специальной астрофизической obs.*, 7, 3, 1972.
4. I. D. Karachentsev, *Colloq. IAU No. 37, Paris, 1977*, p. 21.
5. S. M. Faber, J. S. Gallagher, *Ann Rev. Astron. Astrophys.*, 17, 1979.
6. И. Д. Караченцев, А. Л. Щербановский, *Сообщ. Специальной астрофизической obs.*, 24, 5, 1978.
7. E. L. Turner, *Ap. J.*, 208, 20, 304, 1976.
8. И. Д. Караченцев, Б. И. Фесенко, *Астрофизика*, 15, 217, 1979.
9. В. Е. Караченцева, *Сообщ. Специальной астрофизической obs.*, 8, 3, 1973.
10. G. de Vaucouleurs, in "Galaxies and the Universe", Univ. Chicago Press. vol. IX, 1975, p. 557.