

# АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

# АСТРОФИЗИКА

ТОМ 11

ФЕВРАЛЬ, 1975

ВЫПУСК 1

## О НЕКОТОРЫХ СВОЙСТВАХ ГАЛАКТИК МАРКАРЯНА

Р. А. ВАРДАНЯН, Ю. К. МЕЛИК-АЛАВЕРДЯН

Поступила 19 июня 1974

Анализ наблюдательных данных показывает, что среди галактик Маркаряна примерно 20% галактик наблюдается в составе физических пар. Рассмотрение эффектов наблюдательной селекции приводит к заключению, что относительное число галактик, входящих в физические пары, среди галактик Маркаряна близко к единице. Сделан вывод о том, что большинство галактик проходит ультрафиолетовую стадию и возникает в составе пар.

В 1967—1973 гг. Б. Е. Маркарян опубликовал списки галактик с ультрафиолетовым избытком [1—6]. Последующие исследования этих галактик, выполненные Б. Е. Маркаряном и другими авторами, показали, что ультрафиолетовый избыток, по крайней мере в значительной части этих галактик, связан с активностью их ядер — явлением, представление о котором было введено В. А. Амбарцумяном [7]. Согласно В. А. Амбарцумяну, активность галактических ядер имеет космогонический характер, то есть связана с образованием новых галактик, которые возникают путем отделения фрагментов ядер уже существующих галактик или же с образованием новых структурных деталей у последних. В этом случае галактики Маркаряна, в которых ультрафиолетовый избыток свидетельствует о продолжающейся или недавней активности их ядер, могут обладать рядом кинематических и морфологических особенностей. И действительно, в [8] было показано, что галактики Маркаряна могут входить в системы с положительной полной энергией. Кроме этого, имеющиеся в настоящее время статистические данные, систематизированные в табл. 1 (галактики Маркаряна, составляющие пары, входящие в группировки, имеющие выбросы или спутники), позволяют сделать следующие выводы.

Таблица 1

№ (М)	№ (В. В.)	№ (К)	№ (М)	№ (В. В.)	№ (К)
2	6-5-44		92°		
7 8°))	12-7-41	135	107°		
12 11°))			108°		
13			109		198
19°	10-12-17		110°		
20°	10-13-71		111	12-9-49	203
105 )			116°		
21°			117°		
22°			118°		
23			121° )	12-10-1	
128 )			122° )		
26 )			123°		
27 )			124°		
28 )			131	9-17-7	
30° )			133	12-10-15	
31° )			138°		
35°			140°		
37°			147°		
38° )	9-19-34		148°		
39 )	9-19-35		152 )		
40°			154 )		
44°			153°		
46°			156 )		
47°			157 )		
49°	1-31-50		159°		258
54°	6-28-44		161°		
56 )			168°		
57 )			169 )	10-17-2, 3	288
59°	6-29-3	362	171° )		
60°			176°	9-19-111	
61°			178°		
66°			181 )		
68°			182 )		
71	12-7-40	133	188	9-19-189	
74° )			194° )		
75 )			196 )		
86°	8-15-50		199°		
87		160	201	7-20-119	
90 )			203	7-25-55	
91 )					

Таблица 1 (продолжение)

№ (М)	№ (В. В.)	№ (К)	№ (М)	№ (В. В.)	№ (К)
209°			319		581
210	8-23-35		320		
211			323		
212	8-23-38, 39	340	325	4-55-14	584
219°			326	4-55-15	584
220°	9-21-34	354	330°		
221	9-21-33	354	331°	3-60-36	593
230	10-19-4		333°	5-1-24	602
231			334	4-1-13	
232	10-19-6		338		
236°			339		
238°			341°	4-2-34	13
239	9-22-2, 3		348	5-3-8	
240	9-22-4		355		
242			356		
248°	8-24-95	368	357°		
251°			360		
257		376	361		
261			365°		
262			367°		
266		388	373°		
271	9-22-101, 102	390	383	7-18-8	
273°	9-23-4		386	4-20-26	
275	5-33-2		390°		
277°			395°		
280°			397		
283°			398		
287°			401	5-23-5	
288	12-14-13		403	4-23-24	
289°			404		
294			405		210
295			411°		
296°			414°	6-23-1	226
297°	4-38-22		420		
298°	3-41-104		421°		
305°			427°		
306°			432°	5-28-60	
308	3-57-31		435°		
309°			441°		
313			450°	6-29-65	
314	3-58-24				
318	2-59-19				

Таблица 1 (продолжение)

№ (М)	№ (В. В.)	№ (К)	№ (М)	№ (В. В.)	№ (К)
451 )		373	499 )		
452 )			500 )		
454	5-32-20		503*		
455*	5-32-34		504	5-40-26	
456*	6-30-32		506*	5-41-11	510
461	6-30-85		510 )		
463*			511 )		
465 )	6-31-44		520	2-56-5	
466 )			522 )		
467*			312 )		
474*	8-27-3		534	0-59-46	
477*			538		587
479	3-38-55	444	547	0-2-4	6
480*	7-31-30	454	551		11
481 )			566 )		
482 )			567 )		
483*			578 )		
489*	7-32-49	471	579 )		
491	7-33-1		582	0-6-10	47
494*	5-38-8,9		588		59
496*	9-26-64	485	593	2-7-9	
			596	1-7-25	
			597	3-8-7	

\* В первом столбце приводятся номера галактик по [1-6], во втором — по [9-11], в третьем — по [12-13]. Используются следующие обозначения: ) — вероятные пары, установленные в настоящей работе, )) — вероятные пары, отмеченные ранее в [8]. \* — галактики, имеющие выбросы, спутники, составляющие пары или входящие в группировки по Маркаряну [1-6].

1. Галактики Маркаряна чаще, чем другие галактики, входят в кратные системы, имеют выбросы и спутники. Этими особенностями обладает половина галактик Маркаряна. Для сравнения отметим, что в Морфологическом каталоге Б. А. Воронцова-Вельяминова [9-11] эти особенности отмечаются только у 10% всех галактик. Если к тому же учесть, что галактики Маркаряна в среднем слабее галактик каталога Воронцова-Вельяминова, то это различие в проценте пекулярных галактик в действительности еще больше. Это видно из зависимости относительного количества  $x$  пекулярных галактик Маркаряна от видимой звездной величины (табл. 2).

Таблица 2

$\Delta \text{mpg}$	<14	14—14.5	15—15.5	16—16.5	17—17.5
$x$	0.45	0.41	0.35	0.34	0.32

2. Согласно табл. 1, из всех галактик, содержащихся в 6-и списках Маркарьяна, 34 галактики входят также в каталог изолированных пар галактик [12]. В то же время только 11 галактик из 6-и списков Маркарьяна попадают и в каталог изолированных галактик [13]. Поскольку плотность изолированных галактик только в полтора раза больше плотности изолированных пар каталога [12], то, следовательно, изолированные галактики имеют примерно в два раза меньшую вероятность проявлять ультрафиолетовый избыток, чем галактики, входящие в изолированные пары.

Приведенные выше соображения, свидетельствующие о тесной связи ультрафиолетового избытка с космогонической активностью галактических ядер, имели качественный характер. Теперь же мы приведем некоторые количественные оценки, имеющие отношение к рассматриваемому вопросу.

*Продолжительность ультрафиолетовой стадии.* Как видно из рис. 1, имеется определенная положительная корреляция между разностью лучевых скоростей и проекцией взаимного расстояния галактик, входящих в тесные пары с близкими значениями лучевых скоростей компонентов. В частности, из рис. 1 следует, что большие скорости разлета компонентов наблюдаются только в тех парах, в

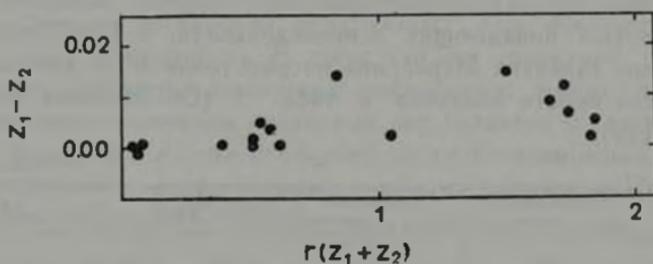


Рис. 1. Диаграмма разность красных смещений — угловое расстояние для тех пар галактик Маркарьяна, в которых взаимное расстояние компонент не превышает  $1^\circ$ , которых велики расстояния между компонентами. Причину этой корреляции выяснить нетрудно. Действительно, воспользуемся очевидным соотношением:

$$\Delta v_r = \frac{1}{r} l_1 \operatorname{ctg} \varphi, \quad (1)$$

где  $t$  — время, прошедшее с момента начала разлета,  $\varphi$  — угол, обра-

зованный направлением разлета с лучом зрения,  $\Delta v_r$  — разность лучевых скоростей галактик,  $l_1$  — проекция расстояния между ними на небесную сферу.

Если определить  $\bar{\tau}_0$  из равенства

$$\frac{\int_0^{\pi/2} \sin^2 \theta d\theta}{\int_0^{\pi/2} \sin \theta d\theta} = 0.9, \quad (2)$$

то с вероятностью, равной 0.9, имеем, что  $\text{ctg } \tau$  при случайном распределении направлений разлета будет меньше или равен  $\text{ctg } 25^\circ$ . Следовательно, из (1) получаем неравенство, которое должно выполняться для 90% пар галактик:  $\Delta v_r / l_1 \leq \text{ctg } 25^\circ / \tau$ .

С другой стороны, из рис. 1 можно найти, что для подавляющего большинства пар галактик выполняется условие  $\Delta v_r / l_1 \leq 3 \cdot 10^{-9}$ . Таким образом  $\text{ctg } \varphi_0 / \tau \approx 3 \cdot 10^{-9}$  и среднее время  $\tau$  пребывания галактик в ультрафиолетовой стадии, полученное из статистики пар этих галактик, оказывается порядка  $(0.5 - 1.0) 10^9$  лет.

*Относительное число физически связанных галактик среди галактик Маркаряна.* Рассмотрим теперь распределение галактик Маркаряна в областях, выбранных таким образом, что центром каждой такой области является одна из галактик Маркаряна. Можно выделить 445 таких областей, представляющих собой кружки радиусом в 1 градус и полностью попадающих в исследованную в [1-6] часть неба. Распределение галактик Маркаряна по расстояниям до центра во всех этих областях вместе показано в табл. 3. (Обозначения поясняются ниже в тексте).

Таблица 3

$r$ ( )	Наблюдаемое число галактик	Ожидаемое число галактик	$2\pi r \Delta r (Fr)$	$P_0$	$\lambda F/F$
0-10	27	3	0.054	0.90	0.23
10-20	31	8	0.052	0.74	0.27
20-30	41	15	0.061	0.66	0.27
30-40	41	18	0.049	0.53	0.34
40-50	32	24	0.021	0.28	0.66
50-60	30	29	—	—	—

Как видно из этой таблицы, имеется существенное увеличение плотности галактик к центру областей. Это отклонение от случайного

распределения свидетельствует о физической связи некоторых галактик. Вычитая из наблюдаемых значений плотности галактик Маркаряна их среднюю плотность, составляющую примерно  $0.07 \text{ град}^{-2}$ , получим плотность  $F(r)$  физически связанных галактик. Далее, умножая эти значения плотности на величины площадей соответствующих областей, получим среднее число физически связанных галактик, входящих на каждую галактику. Наконец, суммируя эти значения по всей площади в пределах одного градуса, находим, что около сотни, то есть примерно 20% всех галактик Маркаряна обнаруживают отклонения от случайного распределения, свидетельствующие о физической связи между ними.

Точность определения относительного числа галактик, входящих в физически связанные системы в интервале расстояний  $\Delta r$ , можно найти по формуле

$$\frac{\delta F}{F} = \frac{[\sigma^2(n_1 + n_2) + \sigma^2(n_2)]^{1/2}}{n_2}, \quad (3)$$

где  $n_1$  — число одиночных галактик, а  $n_2$  — число галактик, входящих в физически связанные системы с расстоянием компонент от  $r$  до  $r + \Delta r$ ,  $\sigma$  — среднее квадратичное отклонение числа галактик.

Используя соотношение  $\sigma(n) \approx \sqrt{n}$ , из уравнения (4) находим

$$\frac{\delta F}{F} = \frac{\sqrt{2n_1 + n_2}}{n_2}. \quad (4)$$

Вычисленные по этой формуле значения  $\delta F/F$  приводятся в табл. 3.

*Возможность выявления конкретных пар физически связанных галактик.* Вероятность  $P_0$  того, что две галактики с взаимным расстоянием  $r$  являются физически связанными, можно оценить как отношение числа физически связанных пар галактик с взаимным расстоянием между  $r$  и  $r + \Delta r$  к общему числу всевозможных пар галактик с расстояниями, заключенными в том же интервале. Применяя это к галактикам Маркаряна, находим

$$P_0 \approx \frac{F(r)}{F(r) + \rho}, \quad (5)$$

где  $\rho$  — плотность фона случайно распределенных галактик,  $F(r)$  — плотность галактик на расстоянии  $r$  от начала координат, совпадающего с одной из галактик и составляющих пару с этой галактикой. Значения  $P_0$ , вычисленные по этой формуле, приводятся в табл. 3. Эти оценки показывают, что среди пар галактик с взаимным расстоянием до  $20'$  более 70% являются физическими парами. Поэтому такие пары особо отмечены нами в табл. 1 как вероятные физические пары.

Дополнительным аргументом в пользу наличия физической связи галактик, входящих в такие пары, является близость лучевых скоростей галактик в большинстве этих пар.

*Распределение физических пар по расстояниям между компонентами и по скорости разлета компонент.* Распределение физических пар по проекциям расстояний между их компонентами на небесную сферу показано на рис. 2. Используя это распределение, можно перейти к распределению пар по расстояниям между компонентами. Для этого используем известное соотношение [14]:

$$f(r) = \frac{1}{\pi} \int_0^{\sqrt{R^2 - r^2}} \Phi(\sqrt{r^2 + z^2}) dz, \quad (6)$$

где  $\Phi(r) = -(1/2)(dF(r)/dr)$ , а  $F(r)$  и  $f(r)$  представляют собой, соответственно, плоское и пространственное распределения пар по расстояниям между компонентами.

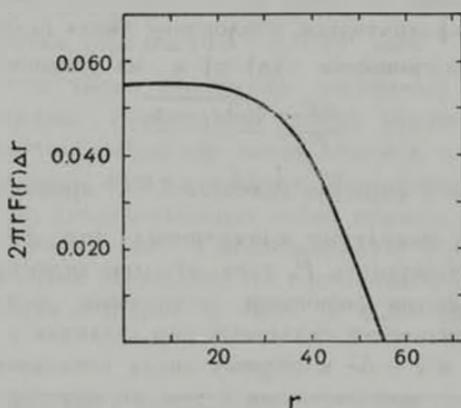


Рис. 2. Распределение физических пар галактик по проекциям расстояний на небесную сферу.

Используя полученную выше зависимость  $F(r)$  и выполняя в (6) численное интегрирование, находим зависимость  $f(r)$ . Эта зависимость показана на рис. 3. Отметим, что завал при малых  $r$  скорее всего имеет случайный характер, связанный с большим разбросом точек на рис. 2.

Далее, имея распределение  $f(r)$ , можно найти распределение пар по линейным расстояниям  $l$  компонент между ними. Однако, ввиду недостаточной точности исходного распределения пар по угловым расстояниям между компонентами, мы ограничимся тем, что оценим сред-

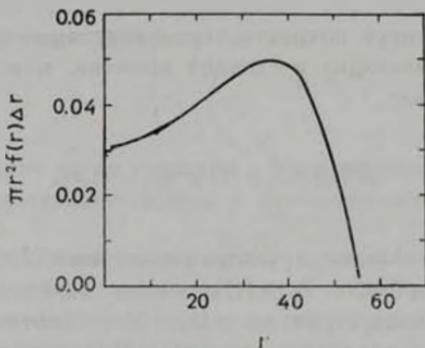


Рис. 3. Распределение физических пар галактик по угловым расстояниям, исправленным за эффект проекции.

нее расстояние  $l$  между компонентами физических пар, принимая  $r \approx l/R_0$ , в зависимости  $f(r)$ , где  $R_0 \approx 100$  Мпс — это расстояние, которому соответствует наибольшее число галактик на единичный интервал расстояний. Оказывается, что среднее расстояние  $\bar{l}$  между компонентами физических пар составляет примерно 1 Мпс. Аналогичным образом, полагая  $\bar{l} \approx \bar{v}\tau$ , где  $\tau \approx (0.5 - 1.0) 10^9$  лет, получаем среднюю скорость разлета компонент  $\bar{v} \approx 10^3$  км/сек.

*Относительное число галактик, возникших в составе пар, среди галактик Маркаряна.* Выше было установлено, что примерно 20% галактик с ультрафиолетовым избытком наблюдаются в физических парах. Однако нетрудно видеть, что за счет эффекта наблюдательной селекции это значение меньше относительного числа галактик с ультрафиолетовым избытком, входящих в физические пары. Действительно, рассмотрим пары галактик, имеющих абсолютные величины  $M$ , и  $M + \Delta M$ . При наблюдениях с предельной видимой величиной  $m$  часть этих галактик, а именно те из них, пары которых окажутся вне „доступного“ объема  $V$ , будут наблюдаться одиночными. При этом отношении числа наблюдаемых пар к действительному числу пар будет равно

$$C \approx \frac{V(M + \Delta M)}{V(M)} \approx 10^{-0.6 \Delta M}. \quad (7)$$

Из приведенных в табл. 1 данных следует, что  $\overline{\Delta M} \approx 0.7$ . Подставляя это значение вместо  $\Delta M$  в (7), получаем, что  $C \leq 0.4$ . Таким образом, можно считать, что истинное относительное количество физических пар среди галактик Маркаряна по крайней мере в 2.5 раза больше их наблюдаемого относительного количества и составляет не менее 50%.

Рассмотрим теперь вопрос о темпе генерации пар галактик. Количество пар, возникающих в единицу времени, можно найти, вообще говоря, из уравнения:

$$N(t_0) = \int_0^{t_0} n(t) p^2(t_0 - t) dt, \quad (8)$$

где  $N(t_0)$  — число галактик с ультрафиолетовым избытком, входящих в пары в момент времени  $t_0$ ,  $n(t)$  — число галактик, возникающих в составе пар в единицу времени,  $p(t_0 - t)$  — относительная доля галактик, сохранивших ультрафиолетовый избыток по истечении времени  $t_0 - t$ , среди всех галактик, образовавшихся с ультрафиолетовым избытком в момент  $t$ .

Представим функцию  $p(t)$  в виде экспоненты:

$$p(t) = \exp(-at). \quad (9)$$

Подставим выражение (9) в (8) и, полагая  $n(t) = \text{const}$ , находим

$$N(t_0) = \frac{n}{2a}. \quad (10)$$

В то же время общее число галактик, возникших в составе пар и имеющих в момент  $t_0$  ультрафиолетовый избыток, равно

$$N_0(t_0) = \int_0^{t_0} n(t) P(t_0 - t) dt = \frac{n}{a}. \quad (11)$$

Сравнение (10) и (11) показывает, что в составе пар возникли не только наблюдающиеся сейчас парными галактики, но и еще такое же количество галактик, наблюдающихся в настоящее время одиночными. Это заставляет нас сделать вывод, что все, или почти все галактики с ультрафиолетовым избытком начинали свое существование в составе пар, однако из-за указанных выше наблюдательных эффектов в составе пар наблюдается в настоящее время только 20% этих галактик.

Относительное число галактик, прошедших ультрафиолетовую стадию в составе пар. Полученные выше оценки дают основание для следующего заключения. Если считать, что за космологическое время  $T = 10^{10}$  лет темп образования галактик с ультрафиолетовым избытком был таким же, как в последние  $10^8 - 10^9$  лет, то относительное число галактик, прошедших эту стадию когда-либо в течение космологического времени, составит

$$P \approx \frac{T}{\tau} \gamma, \quad (12)$$

где  $\gamma$  — относительное число галактик с ультрафиолетовым избытком, наблюдающихся в настоящее время, а  $\tau$  — продолжительность ультрафиолетовой стадии.

Подставляя в (12) найденное выше значение  $\tau$  и полагая, согласно [15, 16],  $\gamma = 0.05 - 0.10$ , получаем, что  $P \approx 1$ . Таким образом, можно сделать вывод, что большинство галактик прошли в свое время ультрафиолетовую стадию. Кроме этого, поскольку выше было установлено, что ультрафиолетовый избыток всегда или почти всегда связан с образованием пары галактик, то оказывается, что большинство наблюдающихся в настоящее время галактик образовалось в составе пар.

**Выводы.** 1. Среди галактик Маркаряна примерно 20% наблюдается в составе физических пар.

2. Средняя продолжительность ультрафиолетовой стадии галактик порядка  $(0.5 - 1.0) 10^9$  лет, средняя скорость разлета компонент в парах  $\bar{v} \approx 10^3$  км/сек, среднее расстояние между компонентами  $\bar{l} \approx 1$  Мпс.

3. Относительное число галактик, входящих в физические пары, среди галактик Маркаряна близко к единице.

4. Большинство галактик проходит ультрафиолетовую стадию и возникает в составе пар.

В заключение приносим глубокую благодарность академику В. А. Амбарцумяну за многочисленные обсуждения и ценные замечания.

Бюраканская астрофизическая  
обсерватория

## SOME PROPERTIES OF MARKARIAN GALAXIES

R. A. VARDANIAN, Yu. K. MELIK-ALAVERDIAN

The consideration of observational facts shows that about 20% of Markarian galaxies are composed of physical pairs. The analysis of the effects of observational selection suggests that among Markarian galaxies the relative number of galaxies in physical pairs is close to 1. It is concluded that most of the galaxies are formed in pairs and pass an ultraviolet stage.

## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Б. Е. Маркарян, *Астрофизика*, 3, 55, 1967.
2. Б. Е. Маркарян, *Астрофизика*, 5, 443, 1969.
3. Б. Е. Маркарян, *Астрофизика*, 5, 581, 1969.
4. Б. Е. Маркарян, В. А. Липовецкий, *Астрофизика*, 7, 511, 1971.
5. Б. Е. Маркарян, В. А. Липовецкий, *Астрофизика*, 8, 155, 1972.
6. Б. Е. Маркарян, В. А. Липовецкий, *Астрофизика*, 9, 487, 1973.
7. В. А. Амбарцумян, *Проблемы эволюции Вселенной*, Изд. АН Арм.ССР, Ереван, 1968.
8. J. Heidmann A. T. Kalloghlian, *Астрофизика*, 9, 71, 1973.
9. Б. А. Воронцов-Вельяминов, В. П. Архипова, *Труды ГАИШ*, 33, 1963.
10. Б. А. Воронцов-Вельяминов, В. П. Архипова, *Труды ГАИШ*, 34, 1964.
11. Б. А. Воронцов-Вельяминов, В. П. Архипова, *Труды ГАИШ*, 34, 1968.
12. И. Д. Караченцев, *Сообщ. САО*, 7, 3, 1972.
13. В. Е. Караченцева, *Сообщ. САО*, 8, 3, 1973.
14. Л. П. Паренато, *Курс звездной астрономии*, ГИТТЛ, М., 1954.
15. W. L. W. Sargent, *Ap. J.*, 186, 433, 1973.
16. М. А. Аракелян, *Астрон. ж.* 51, 730, 1974.