А С Т Р О Ф И З И К А

ТОМ 30 ИЮНЬ, 1989 ВЫПУСК 3

УДК 524. 7

ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРЫ ПОЛЯ ГАЛАКТИК В ЯГЕЛЛОНСКОЙ ПЛОЩАДКЕ

В.В.ОРЛОВ, А.Ю.СИЗИКОВ

Поступила 11 апреля 1988
Принята к печати 15 июля 1988

Методом Дж. Нарликара и К. Субраманиана выделяются цепочкообразные структуры в распределении галактик в Ягеллонской площадке. Показана статистически значимая неслучайность выявленных структур. Оцениваются длины цепочек и их населенность. Возможно, богатые скопления галактик являются «узлами» в цепочках.

В галактическом и метагалактическом полях обнаруживаются разнообразные структуры: скопления, цепочки, кольца, волокна объектов (звезд, галактик, квазаров и др.), а также комбинации перечисленных структур. В одних случаях структуры являются физически реальными образованиями, в других они — случайные флуктуации в общем поле объектов, которые, в частности, могут быть обусловлены эффектом проекции.

Статистическое изучение наблюдаемого поля объектов состоит в определении вероятности реальности (неслучайности) видимых структур и в оценке характеристик вероятно неслучайных структур: эффективных размеров, населенности, видимых сжатий и т.п.

В настоящей работе метод выявления цепочек объектов, предложенный в [1], применяется к распределению галактик в Ягеллонской площадке [2].

Метод состоит в следующем. Рассмотрим прямоугольную площадку такую, что координаты любого объекта внутри нее заключены в интервалах $x\in[x_1,x_2]$; $y\in[y_1,y_2]$. Разделим эту площадку на $N=n\cdot m$ равновеликих прямоугольников — элементарных площадок, ограниченных изолиниями $x=const$, $y=const$. Определим число объектов в каждой элементарной площадке.

Будем называть цепочкой C_l^r последовательность из l соприкасающихся друг с другом элементарных площадок, каждая из которых содержит не менее, чем r объектов. Выберем произвольную элементарную площадку. В случае равнораспределения объектов вероятность того, что в выбранной площадке окажется не менее r объектов, определится по закону Пуассона

$$P_r=\sum_{s\geqslant r}\frac{e^{-<r>}<r>^s}{s!}, \qquad (1)$$

где $<r>$ — среднее число объектов в элементарной площадке. Вероятность того, что по крайней мере в одной из соседних элементарных площадок окажется не меньше, чем r объектов, определится выражением $1-(1-P_r)^8$. Если такая соседняя площадка нашлась, то вероятность дальнейшего распространения цепочки равна $1-(1-P_r)^7$ (это вероятность найти рядом с соседней площадкой по крайней мере еще одну площадку, в которой окажется не менее r объектов) и т.д. Ожидаемое число цепочек C_l^r в рассматриваемой площадке при равнораспределении объектов в случае $l\geqslant 2$ подчиняется неравенству

$$E_l^r<N\cdot P_r\cdot[1-(1-P_r)^8]\cdot[1-(1-P_r)^7]^{l-2}/l!. \qquad (2)$$

Знаменатель $l!$ (число перестановок элементарных площадок в цепочке) появляется из—за того, что движение вдоль цепочки может начинаться с любого места, то есть возможна любая из $l!$ перестановок. При малых P_r правую часть неравенства (2) можно приближенно заменить на

$$8N\cdot(7P_r)^l/(49l!), \qquad (3)$$

что и было использовано в [1]. Знак неравенства в (2) появляется из—за того, что не учтены эффекты границы и самопересечения цепочек.

Величина E_l^r учитывает не только цепочки, содержащие точно l площадок, но и более длинные цепочки.

Пусть фактически в площадке число цепочек C_l^r (в том числе и более длинных цепочек) равно O_l^r. Число цепочек является случайной величиной, которая также распределена по закону Пуассона с математическим ожиданием E_l^r. Вероятность P того, что не менее O_l^r цепочек C_l^r реализовались случайно, удовлетворяет неравенству

$$P<\sum_{q\geqslant O_l^r}\frac{e^{-E_l^r}(E_l^r)^q}{q!}. \qquad (4)$$

Будем считать, что наблюдаемые цепочки реальны, если $P<0.01$.

Применим изложенный метод к наблюдаемому распределению галактик в Ягеллонской площадке [2] размерами $6^0\times6^0$, снимки которой в трех цветах получены на 1.25—м шмидтовском телескопе обсерватории Маунт

Таблица 1

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ГАЛАКТИК В ЯГЕЛЛОНСКОЙ ПЛОЩАДКЕ

	1		3		5		7		9	10	1		3		5		7		9	20	1		3		5		7		9	30	1		3		5		7		9	40	1		3		5		7		9	
1									4		2																							2																1
					2						5	2	2																																					
3		2		2			2																																											3
	4		3								2	3																																					
5					2										3																										2									5
		2													2	2	2																						2											
7		2	4										2							2																							2						7
		3		2		2			4	2			4		3	2																														2			
9				2																																				2										9
			2			2						2											3													3													
11												2						4	2												2							2												11
													2								2			2	4			3	2												3								
13																2										2		2		3						2			2											13
												2	3					2				2	3		3			4	6	2	2															2			
15															2		6							2	2		4			4		7	2																	15
																2		2		3					2				5	2	4	2																	
17																				2	2									2		3															2				17
		2					2			2	2					3											3																4			2				
19		3								2									2									2		2													5							19
				4																									2													2					2		
21																	2						3	3								2												2	2					21
	2									2						2														2		2													2					
23		3									2								2									2																		2				23
	4	5											2			2						3												3															3	
25																													8	2					3	2	7	4									3			25
																									2		2											4	2								2	2	5	
27					2																																	2			3				2	2		3		27
																					4	3		2																									
29		2														2										2					2		2	2		2		2								2	3	2		29
																										2	2							2												2				
31													4										3		3																								31
													2						2						2											2													
33																												2		3			2															2		33
															4		4	2										4			4																		
35																2													2												3	4	3							35
												2									2		2					2															2						
37																																												4						37
																			2							4	2										2													
39													2						2			2				2								2					2												39
																		3																															
41																	3	4							2	2	4											4														41
											2			2											5																			3					
43																											3	2																						43
45	3												2	2															2	4																		2	2	45
										2			4																	2																			
47	3												3								2																							2					3	47
			2				2				2					2																																	
49							4	2																												2					2					2	2				49
	1		3		5		7		9	10	1		3		5		7		9	20	1		3		5		7		9	30	1		3		5		7		9	40	1		3		5		7		9	

Паломар (предельная величина $b \approx 21.^m0$). Авторы [2] разбили Ягеллонскую площадку на 49×49 маленьких квадратиков размерами $7.'5 \times 7.'5$ и определили число галактик в каждом квадратике (всего определены положения для $Q=15650$ галактик). Будем рассматривать каждый квадратик как элементарную площадку, при этом пренебрегаем кривизной большой площадки. Среднее число галактик в одной элементарной площадке $\langle r \rangle = 6.52$; стандарт распределения Пуассона $\sigma = \sqrt{\langle r \rangle} = 2.55$.

В табл. 1 схематично представлено распределение галактик внутри Ягеллонской площадки. По краям таблицы указаны координаты центров элементарных площадок в условных единицах (от 1 до 49). Каждой элементарной площадке с количеством галактик $r > (\langle r \rangle + 2\sigma)$ соответствует одна цифра k, которая и приведена в табл. 1. Значение k определяется из неравенства

$$[\langle r \rangle + k\sigma] \leqslant r - 1 < [\langle r \rangle + (k+1)\sigma], \tag{5}$$

где квадратные скобки обозначают целую часть числа (например, $k=2$ соответствует площадкам с $r=12$, 13 и 14). Площадкам с $r < (\langle r \rangle + 2\sigma)$ в табл. 1 соответствуют пробелы.

Из табл. 1 видно присутствие цепочкообразных областей повышенной концентрации галактик с $k \geqslant 2$. Площадки с очень сильной концентрацией галактик ($k \geqslant 4$), которые, возможно, содержат богатые скопления галактик, как правило, вкрапливаются в цепочкообразные структуры.

Будем искать цепочки C_l^r для двух значений r:

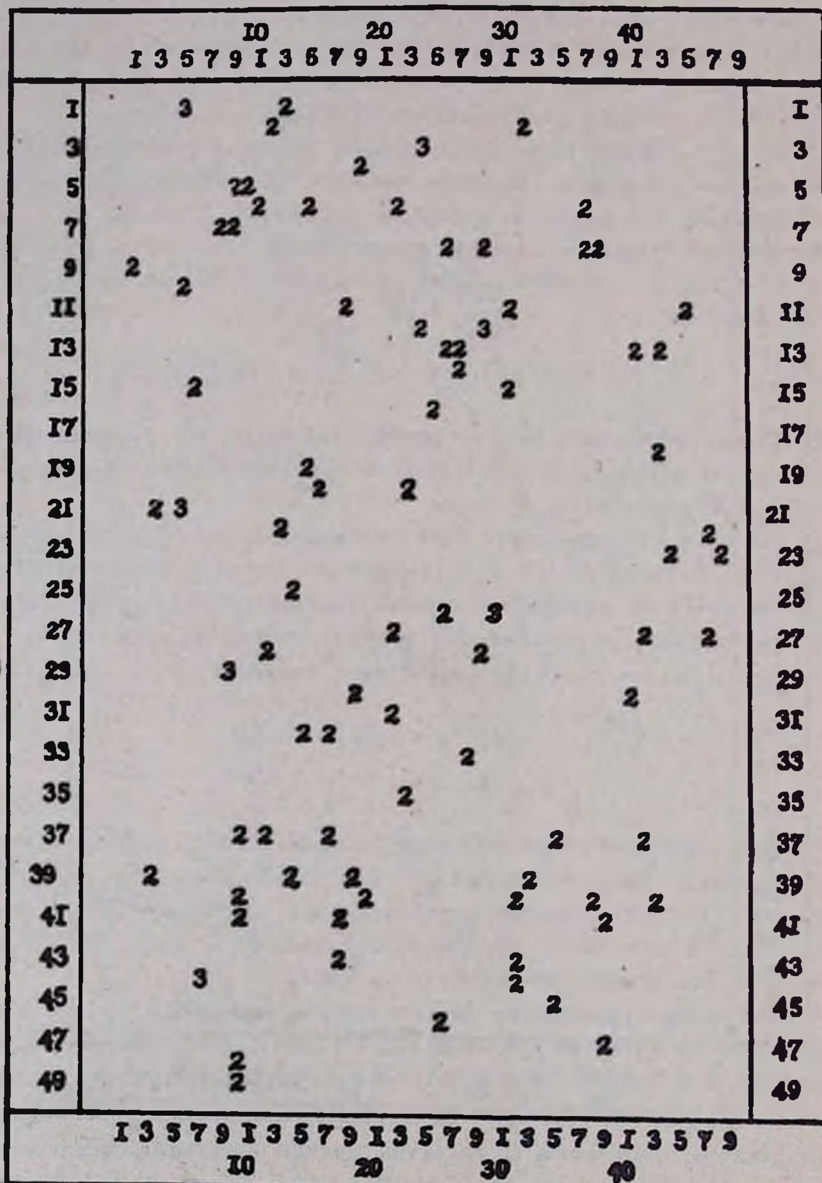
$$\begin{aligned} r_2 &= [\langle r \rangle + 2\sigma] + 1 = 12, \\ r_3 &= [\langle r \rangle + 3\sigma] + 1 = 15. \end{aligned} \tag{6}$$

Для сравнения с наблюдаемым распределением галактик в Ягеллонской площадке было построено 10 модельных площадок, в каждой из которых $Q=15650$ объектов распределялись равномерно случайно. Один из примеров модельных площадок представлен в табл. 2; обозначения в табл. 2 аналогичны обозначениям в табл. 1.

Результаты сравнения теоретических, модельных и наблюдаемого распределений галактик представлены в табл. 3, в этой таблице приведены следующие величины: 1) число l элементарных площадок, образующих цепочку; 2) верхняя оценка математического ожидания E_l^r числа цепочек C_l^r при равнораспределении Q галактик внутри площадки, вычисленная по формуле (2); 3) наблюдаемое число O_l^r цепочек C_l^r в Ягеллонской площадке с учетом более длинных цепочек, каждая из которых засчитывалась как

Таблица 2

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕКТОВ В МОДЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКЕ



одна цепочка C_l; 4) верхняя оценка вероятности P того, что наблюдаемые цепочки C_l реализовались случайно; эта оценка определялась для распределения Пуассона по формуле (4); 5) ожидаемое число M_l' цепочек C_l, определенное методом Монте—Карло по 10 модельным площадкам (здесь также учитывались цепочки с длиной больше l); 6) вероятность P' (аналог вероятности P), полученная из сравнения величин O_l' и M_l'; 7) средняя населенность Q наблюдаемых цепочек данной кратности l (после исключения возможных галактик фона на уровне $\langle r \rangle$).

Таблица 3

l	E_l'	O_l'	P	M_l'	P'	Q_l	r
1	72.1	117	$4\cdot10^{-7}$	73.3	$7\cdot10^{-7}$	6	12
2	9.4	46	$1\cdot10^{-18}$	8.0	$3\cdot10^{-20}$	15	
3	$7\cdot10^{-1}$	26	$2\cdot10^{-32}$	$7\cdot10^{-1}$	$2\cdot10^{-32}$	16	
4	$4\cdot10^{-2}$	18	$2\cdot10^{-41}$	0	0	32	
5	$2\cdot10^{-3}$	10	$4\cdot10^{-34}$	0	0	43	
6	$6\cdot10^{-5}$	8	$5\cdot10^{-39}$	0	0	55	
7	$2\cdot10^{-6}$	7	$2\cdot10^{-44}$	0	0	54	
8	$5\cdot10^{-8}$	3	$3\cdot10^{-23}$	0	0	80	
10	$3\cdot10^{-11}$	2	$5\cdot10^{-22}$	0	0	73	
16	$5\cdot10^{-22}$	1	$6\cdot10^{-22}$	0	0	152	
1	8.5	57	$5\cdot10^{-28}$	6.7	$4\cdot10^{-33}$	10	15
2	$9\cdot10^{-2}$	15	$2\cdot10^{-28}$	0	0	20	
3	$6\cdot10^{-4}$	6	$7\cdot10^{-23}$	0	0	34	
9	$1\cdot10^{-18}$	1	$1\cdot10^{-18}$	0	0	110	

Ожидаемое число E_l' цепочек кратности l, наблюдаемое число таких цепочек O_l', вероятность случайной реализации такого количества цепочек в случае распределения Пуассона P. Число цепочек M_l' в численном эксперименте, вероятность P' случайной реализации O_l' цепочек в численном эксперименте, средняя населенность цепочки Q_l.

В табл. 4 приведено число цепочек различной кратности l, полученное из наблюдений и из статистических испытаний.

Основные результаты работы можно сформулировать следующим образом:

1) Вероятность случайной реализации цепочек галактик в Ягеллонской площадке ничтожно мала P, $P' < 10^{-6}$ при принятых нами критических значениях $r_2 = 12$ и $r_3 = 15$.

2) С уменьшением критического значения r (фактически контраста поверхностной плотности галактик) возрастает длина цепочек: при $r \geqslant 15 (k \geqslant 3)$ выделяются «гребни» цепочек, вероятно, соответствующие богатым скоплениям галактик; при $12 \leqslant r \leqslant 14 (k=2)$ появляется «подложка»— прослеживаются вытянутые, нередко изогнутые, цепочкообразные структуры (см. табл. 1).

3) Выделенные вероятно не случайные цепочки галактик содержат примерно 1200 и 800 галактик при $r \geqslant 12$ и 15, соответственно, что составля-

ет 7.7 и 5.1% от общего числа галактик в Ягеллонской площадке.

4) Глубина проникновения Ягеллонского обзора ~ 2000 Мпк; цепочка кратности $l=3$ на таком расстоянии будет иметь длину ~10 Мпк. Такова характерная длина выявленных цепочек галактик.

Таблица 4

ЧИСЛО ЦЕПОЧЕК РАЗЛИЧНОЙ КРАТНОСТИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ r

l	$r_2=12$		$r_3=15$	
	Наблюдения	Модель	Наблюдения	Модель
1	71	65	42	7
2	20	8	9	0
3	8	1	5	0
4	8	0	0	0
5	2	0	0	0
6	1	0	0	0
7	4	0	0	0
8	1	0	0	0
9	0	0	1	0
10	1	0	0	0
16	1	0	0	0
Всего	117	74	57	7

Оценка глубины ~ 2000 Мпк была получена по модулю расстояния m_B-M_B, где были приняты значения $m_B=21^m, M_B=-20^m$.

Для изучения структуры поля галактик на более крупных масштабах авторы предполагают в дальнейшем объединять соседние элементарные площадки и рассматривать элементарные площадки больших размеров. Также целесообразно провести аналогичную работу отдельно для выборки более ярких галактик, на отбор которых меньше действуют возможные эффекты наблюдательной селекции (например, путаница галактик со звездами и пр.).

Авторы благодарят Т.А.Агекяна и О.М.Куртанидзе за дискуссию результатов.

Ленинградский государственный
университет

THE STUDY OF THE GALAXY DISTRIBUTION STRUCTURE IN THE JAGELLONIAN FIELD

V.V.ORLOV, A.YU.SIZIKOV

Some chain—like features in the galaxy distribution in the Jagellonian Field are revealed by the method of J. Narlikar and K. Subramanian. The statistical reality of the discovered structures is shown. The lengths of chains and their number densities are evaluated. Some rich galaxy clusters seem to be the «knots» within the chains.

ЛИТЕРАТУРА

1. *J.Narlikar, K.Subramanian*, Astron. and Astrophys., **151**, 264, 1985.
2. *K.Rudnicki, T.Z.Dworak, P.Flin*, Acta Cosmolog., **1**, 7, 1972.