

АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

АСТРОФИЗИКА

ТОМ 17

НОЯБРЬ, 1981

ВЫПУСК 4

УДК 524.7

ВАЖНЫЙ СЕЛЕКЦИОННЫЙ ЭФФЕКТ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГАЛАКТИК ПО СКОРОСТЯМ

Б. И. ФЕСЕНКО

Поступила 19 сентября 1980

Принята к печати 27 мая 1981

В выборках по блеску группы галактик с большой видимой населенностью располагаются в сравнительно узком интервале расстояний от наблюдателя. Поэтому там, где число галактик сильно повышено, существует высокий максимум в распределении галактик по скоростям. Этот максимум обусловлен не каким-то одним богатым скоплением, а несколькими группами галактик, оказавшимися рядом случайно. Такая совокупность групп удивительно хорошо маскируется под богатое скопление. С другой стороны, там, где галактик очень мало, ожидается существование глубокого минимума в распределении по скоростям. Причем такой минимум не имеет отношения к, так называемой, ячеистой структуре Вселенной, а появляется благодаря игре случая. Справедливость этих положений подтверждена при моделировании распределений галактик по скоростям в 800 элементарных площадках. Вероятно, игнорирование рассматриваемой наблюдательной селекции и явилось главной причиной обнаружения, так называемых, скрытых масс в богатых скоплениях.

1. Введение. Согласно [1] и некоторым другим работам, все скопления галактик входят в сверхскопления. На сверхскопления приходится только около 2% всего пространства и за их пределами, как правило, нет не только скоплений, но и ярких галактик. Решающим доводом в пользу такой картины мира считается существование резких максимумов и глубоких провалов в распределении галактик по расстояниям от нас. Считается, что поскольку распределение по расстояниям не подвержено искажениям от межзвездного поглощения света и изменчивости условий наблюдений, то упомянутые максимумы и провалы неопровержимо свидетельствуют в пользу реальности сверхскоплений.

Одной из задач этой заметки является показ недостаточной обоснованности такого вывода. Существует весьма интересный вид наблюдательной селекции, игнорировавшийся ранее как при поисках сверхскоплений, так и при изучении движений членов, так называемых, богатых скоплений галактик.

Занимаясь статистикой галактик, исследователь, как правило, изучает объекты ярче фиксированного предельного блеска. Именно в таком положении находились Цвикки и Эйбелл при выделении скоплений галактик, а также разные исследователи распределений скоростей и морфологических типов галактик.

Числа галактик в элементарных площадках (э. п.) подвержены большим колебаниям. Главная причина таких колебаний — присутствие групп галактик. Но оказывается, что в выборке объектов по видимому блеску группы с большой *видимой* населенностью располагаются в сравнительно узком интервале расстояний от нас. Это, в частности, видно из данных, представленных в третьем разделе данной работы. С другой стороны, большой избыток галактик в э. п. обусловлен обычно попаданием туда не одной, а нескольких групп. Вот почему, отбирая области неба с сильно повышенными числами галактик, наблюдатель безусловно будет иметь дело с необычным распределением объектов по скоростям. Причем особенности этого распределения не обязательно вызваны присутствием богатых скоплений или сверхскоплений.

2. *Модель.* Рассмотрим галактики с $m < \bar{m}$. Небо разделяем на одинаковые элементарные площадки. Вводим следующие обозначения:

n — число галактик в э. п.; sn_s — число тех галактик э. п., которые принадлежат группам с s наблюдаемыми членами, то есть с $m < \bar{m}$; S — истинная населенность группы; M — абсолютная звездная величина галактики; $\varphi(M)$ — функция светимости; u — отношение лучевой скорости данной галактики, V_r , к среднему значению лучевых скоростей для галактик с $m < \bar{m}$; H — постоянная Хаббла в единицах км/сМпс и $\sigma^2\{x\}$ — дисперсия случайной величины x .

Имеем

$$n = \sum_{s=1}^k sn_s,$$

где k — максимальная видимая населенность группы.

Вследствие эффекта обрезания выборки предельным блеском, скопление может предстать группой галактик, а группа иногда может оказаться представленной только одним ее ярчайшим членом (тогда $s = 1$). Чем дальше от нас система галактик, тем больше будет величина $S - s$. С другой стороны, у близких к наблюдателю систем большое значение $S - s$

объясняется эффектом разрезания этих систем границами э. п. Ведь населенность s определяется лишь по тем членам группы, которые попали в э. п. Таким образом, наименьшие значения величины $S-s$ должны достигаться на расстояниях, не очень отличающихся от среднего расстояния для всей выборки.

Учитывая сказанное выше, рассмотрим распределение галактик по расстояниям от нас в отдельных э. п. Будем сравнивать такие распределения в э. п. с повышенными и пониженными числами галактик. Предполагаем, что богатые скопления и сверхскопления галактик отсутствуют. Положения центров групп считаем взаимно независимыми.

Положим

$$\varphi(M) = \text{dex}[a + b(M - M_*)], \quad (1)$$

где $b = 0.25$ при $M > M_*$ и $b = 1.4$ при $M < M_*$. $M_* = -21^m$.

Дисперсией скоростей членов группы пренебрегаем и лучевую скорость галактики считаем строго пропорциональной ее расстоянию. Можно показать, что интегральное распределение относительной лучевой скорости y имеет следующий вид:

$$P(y) = \begin{cases} 0.5629y^{1.75} - 0.0244y^6 & \text{при } y < 1.3746, \\ 1.0000 - 0.6519y^{-4} & \text{при } y \geq 1.3746. \end{cases} \quad (2)$$

Моделирование распределения галактик выполняем для э. п. размерами $15^\circ \times 15^\circ$ при $\langle r \rangle = 66.77$ Мпс, чему соответствует $\langle V_r \rangle = 5000$ км/с, если $H = 75$ км/с Мпс. Среднее число галактик в э. п. принимаем равным 84.9, причем берем $\langle n_1 \rangle = 46.2$, $\langle n_2 \rangle = 6.0$, $\langle n_3 \rangle = 3.5$, $\langle n_{12} \rangle = 0.7$ и $\langle n_{20} \rangle = 0.3$. Числа n_1 , n_2 и т. д. взаимно независимы и распределены каждое по закону Пуассона.

В этой модели $\sigma^2(n)/\langle n \rangle = 4.77$, что достаточно близко к значению 3.46, полученному в [2] после обработки подсчетов галактик в обсерватории Лик. Но последнее значение, возможно, несколько занижено, ввиду эффекта разрезания групп границами э. п., более сильного, чем в модели.

При моделировании наиболее трудным является учет того, что самые близкие и самые далекие группы представлены небольшим числом членов. Здесь нужно знать, как зависит функция светимости от населенности и линейных размеров группы и как зависят друг от друга светимости разных ее членов. В дальнейшем рассматривается приближенная модель.

Пусть группы с видимыми населенностями $s < 26$ располагаются по обе стороны от интервала расстояний, где находятся группы с $s = 26$. Предположим, что слева от этого интервала численность групп данной населенности s в четыре раза меньше, чем справа, причем ближайшие и самые удаленные от нас группы представлены только одним *видимым* членом. Остальные группы расположены на промежуточных расстояниях.

Тогда для того, чтобы общее распределение расстояний галактик соответствовало закону (2), зависимость интервала скоростей от величины s должна быть взята в соответствии с табл. 1 (для большей наглядности результатов переходим от расстояний к лучевым скоростям).

Таблица 1

s	V_r (км/с)
1	0—1950
2	1950—2200
3	2200—2450
12	2450—2650
26	2650—3350
12	3350—3850
3	3850—4450
2	4450—5150
1	≥ 5150

Таблица 2

V_r (км/с)	Типичн. э. п.	э. п. с $n \geq 120$	э. п. с $n < 51$
1	2	3	4
0—	2.9	2.8	2.2
1000—	6.7	7.8	5.2
2000—	9.8	22.0	2.2
3000—	12.3	36.4	0.5
4000—	13.9	17.6	8.6
5000—	13.9	14.4	10.2
6000—	10.9	12.0	8.4
7000—	6.0	6.4	4.6
≥ 8000	8.5	9.3	6.5
Число э. п.	800	41	17
$\langle n \rangle$	84.9	128.7	48.4

На самом деле интервалы скоростей для групп разной видимой населенности должны сильно перекрываться. Например, при $V_r < 1950$ км/с будут наблюдаться и группы с $s > 1$, в особенности в тех случаях, когда центр группы располагается вблизи центра э. п. Однако этот недостаток модели как-то компенсируется быстрым нарастанием значений величины s при увеличении V_r .

Результаты моделирования распределения галактик по скоростям в 800 э. п. представлены в табл. 2. Во втором столбце приводится среднее распределение для всех э. п. В третьем столбце распределение дано только для э. п. с $n \geq 120$, а в четвертом — для э. п. с $n \leq 51$. Анализ разных подвыборок показал, что приведенные результаты статистически устойчивы. Так, при $n \geq 120$ коэффициент вариации для среднего числа галактик в фиксированном интервале значений V_r составил 0.06.

Из табл. 2 видно, что в э. п. с повышенным или пониженным числом галактик распределение по скоростям сильно деформировано по сравнению с типичным распределением. В случае $n \geq 120$ появляется высокий максимум при $3000 \leq V_r < 4000$ км/с. При $n \leq 51$ распределение скоростей двухвершинное. Глубокий спад чисел объектов наблюдается в интервале

$2000 \leq V_r < 4000$ км/с. Здесь число галактик в 21.6 раза меньше, чем в э. п. с $n \geq 120$.

В табл. 3 для 41 э. п. с $n \geq 120$ приводится совместное распределение чисел групп с населенностями 12 и 26, попавших в одну и ту же э. п. Интересно, что, за исключением двух случаев, в э. п. оказываются, по крайней мере, две группы повышенной населенности.

Таблица 3

n_{26}	0	1	2	4
0	0	2	10	0
1	0	5	4	0
2	2	9	4	0
3	2	1	1	0
4	1	0	0	0

Итак, отбор элементарных площадок по числу наблюдаемых там галактик ведет к искажениям в распределении по скоростям. Если это явление игнорировать, то можно привести вполне убедительные аргументы в пользу существования сверхскоплений и богатых скоплений.

Действительно, пусть наблюдатель выделил область с сильно повышенным числом галактик. Чтобы окончательно убедиться в том, что здесь расположено богатое скопление, наблюдатель исследует распределение галактик по скоростям и, конечно, получает необычно высокий максимум. Но, как показано выше, такая особенность распределения должна получаться и при полном отсутствии богатых скоплений. Так, в каждой из э. п. с $n \geq 120$ (в нашей модели) можно было бы усмотреть присутствие скопления, содержащего в среднем $128.7 - 84.9 = 43.8$ галактик. На самом деле это число получится еще большим, так как при оценках по данным наблюдений среднего числа галактик фона всегда отбрасываются, как нетипичные, области с повышенными числами объектов. В результате, в каждом выделенном скоплении будет более 50 галактик, тогда как в модели было принято, что $s \leq 26$. Такой результат согласуется с данными табл. 3: почти все э. п. с сильно повышенным числом галактик содержат, по крайней мере, две группы большой видимой населенности. Причем эти группы всегда окажутся близкими друг к другу в пространстве, так как иначе их видимая населенность не будет достаточно большой для выделения данной э. п.

С другой стороны, наблюдатель решает проверить, действительно ли в областях с сильно пониженным числом галактик существует минимум в распределении лучевых скоростей («большая яма» в ячеистой структуре

Вселенной). И действительно, минимум обязательно появляется. Но, как показано в модели, он должен появляться и при отсутствии ячеистой структуры.

Благодаря рассматриваему селекционному эффекту совсем несложно получить огромное сверхскопление в выборке с $m < \overline{m}$. Пусть, например, в большой области неба выделены все э. п. с сильно повышенным числом галактик. В каждой такой э. п. неизбежно существует острый пик в распределении скоростей, даже при отсутствии сверхскопления. Причем везде этот пик приходится на один и тот же сравнительно узкий интервал скоростей. Не понимая сущности наблюдательной селекции, исследователь может сделать неправильный вывод о присутствии сверхскопления, сжатого в направлении луча зрения.

3. *Наблюдательная проверка.* Рассматриваемый селекционный эффект появляется благодаря тому, что в разных интервалах скоростей с одинаковыми математическими ожиданиями чисел галактик дисперсии чисел оказываются разными. Зависимость дисперсии от интервала скоростей проверим для весьма однородной выборки галактик, рассмотренной в работе [3]. Эта выборка составлена из почти всех галактик ярче $F \approx 15^m$ (блеск в фотометрической системе авторов [3]) в каждой из восьми случайно отобранных областей неба площадью $14-18 \square^\circ$. Ввиду того, что эффект различия галактических широт частично компенсировался выбором предельной звездной величины и размеров областей, в дальнейшем будем пренебрегать при расчете дисперсий небольшим различием математических ожиданий чисел галактик в разных областях.

В табл. 4 приводятся усредненные по восьми областям числа галактик в трех интервалах значений относительной лучевой скорости y . Даны также числа $\langle s \rangle = \sigma^2\{n\} / \langle n \rangle$, характеризующие среднюю кратность галактик, наблюдаемых в данном интервале скоростей. Как и ожидалось, в среднем интервале скоростей произошло резкое возрастание значений $\langle s \rangle$. По сравнению с моделью максимум значений $\langle s \rangle$ приходится на большие значения y . Это объясняется, во-первых, неточностью модели и, во-вторых, значительным эффектом разрезания групп границами областей в данной выборке. Однако качественно результат моделирования подтверждается.

Таблица 4

y	$\langle n \rangle$	$\langle s \rangle$
0—0.81	7.25	1.45
0.82—1.13	7.38	8.67
≥ 1.14	6.68	1.02

Кроме того, средняя кратность галактик, найденная для всего интервала скоростей, оказалась равной 3.5 ± 0.8 — в согласии с оценкой по ликсским подсчетам галактик [2]. Она согласуется и с данными для более глубоких выборок [4].

4. *Заключение.* Уже давно скопления Цвикки и Эйбелла считаются многими авторами реально существующими, динамически связанными скоплениями. Открытые в них огромные массы, никак не проявляющие себя в оптическом диапазоне, явились предметом оживленных дискуссий в сотнях работ.

Между тем, анализ статистических свойств выборок галактик, выполненный в [5], показал, что не менее половины указанных скоплений образуется за счет случайного совпадения видимых положений нескольких несвязанных групп. В данной заметке показано, что в каждом таком ложном скоплении распределение скоростей должно иметь необычно высокий максимум. Это явление приводит к тому, что ложные скопления (и, по-видимому, ложные сверхскопления) оказываются удивительно хорошо замаскированными под реальные системы (см. также [5]). Интересно, что из данных табл. 2 при некотором уменьшении числа галактик фона в э. п. (70 вместо 84.9) доля всех галактик в ложных скоплениях, содержащих 50 и более членов, оказывается равной 3%. Это близко к тому, что и наблюдается для скоплений Эйбелла.

Таким образом, существование огромных скрытых масс в богатых скоплениях, строго говоря, еще не вытекает из имеющихся данных наблюдений. Уже сейчас видно, что эти наблюдения допускают такое истолкование, при котором почти все богатые скопления оказываются ложными. Однако необходимы дальнейшие всесторонние исследования в этом направлении.

Псковский педагогический
институт

A SELECTIONAL EFFECT OF LARGE IMPORTANCE DURING THE INVESTIGATION OF THE VELOCITY DISTRIBUTION OF THE GALAXIES

B. I. FESSENKO

When the samples of galaxies according to their apparent brightness were investigated, the groups with large apparent richness were arranged into a narrow distance interval. Therefore, in the regions of the sky with increased number of galaxies, high maximum in velocity

distribution exists. That maximum is stipulated not by a single rich cluster but by several groups of galaxies with a similar distance from the observer. Such a system of groups imitates one rich cluster surprisingly well. In the regions with a small number of galaxies, a deep minimum in the velocity distribution is expected. Such a minimum is not connected with the cell structure of the Universe.

The correctness of these statements is confirmed by the results of the investigation of a model for the distribution of galaxies in the 800 elementary regions of the sky. It is probable that the large unseen mass in the rich clusters of galaxies was obtained because of ignoring of the above effect of the observational selection.

ЛИТЕРАТУРА

1. *J. Einasto, M. Föveer, E. Saar*, Superclusters and Galaxy Formation, Preprint A-3, Tartu, 1979.
2. *Б. И. Фесенко, Н. П. Путьев*, Астрон. ж., 51, 736, 1974.
3. *R. P. Kirshner, A. Oemler Jr., P. L. Schechter, A. J.*, 83, № 12, 1549, 1978.
4. *H. T. MacGillivray, H. T. Dodd*, The Distribution of Faint Galaxies in a Field of 15 Square Degrees near the South Galactic Pole, Preprint, 1979.
5. *Б. И. Фесенко*, Астрон. ж., 56, 1165, 1979.