

УДК: 524.45—323.4

## ВИДНЫ ЛИ ЯЧЕЙКИ В ГЛУБОКОЙ ВЫБОРКЕ ГАЛАКТИК?

Б. И. ФЕСЕНКО

Поступила 3 ноября 1983

Принята к печати 15 мая 1984

Обосновывается важное значение анализа видимого распределения слабых галактик для решения проблемы крупномасштабного строения Вселенной. Впервые рассмотрен аналитический метод расчета флуктуаций чисел галактик, вызванных ячеистыми структурами. Применение полученной формулы к глубокой выборке галактик не подтвердило реальности рассмотренной модели ячеек. Результаты наблюдений легко объяснимы небольшими флуктуациями в межзвездном ослаблении света.

1. *Введение.* Быстрый рост числа определений лучевых скоростей галактик позволяет изучать трехмерное распределение этих объектов с использованием закона Хаббла для вывода расстояний. Но важнейшим источником сведений о скоплениях и сверхскоплениях по-прежнему остается видимое распределение галактик на небе.

Во-первых, лучевые скорости определены для нескольких тысяч галактик, а распределение на небе можно построить для сотен тысяч.

Во-вторых, лучевые скорости, за редкими исключениями, остаются неизвестными для галактик низкой поверхностной яркости, которых в пространстве большинство. И, что еще важнее, нижний предел для яркости измеряемых галактик, очевидно, различен для разных направлений и расстояний.

В-третьих, данные о лучевых скоростях относятся в основном к тем галактикам, которые попали в ранее выделенные видимые сгущения галактик. Согласно [1], это приводит и к селекции галактик по расстояниям от нас. Так возникают ложные скопления и сверхскопления. В областях же, специально отобранных для изучения по признаку сильно пониженного числа галактик, закономерно образуются «черные области Вселенной».

В-четвертых, до сих пор отсутствуют прямые указатели расстояний до галактик. В косвенных методах расстояние определяется с большой случайной ошибкой. Поэтому закон Хаббла, в конечном счете, получают всегда из корреляционных зависимостей вида  $10^{0.2m} - V_r$ ,  $D^{-1} - V_r$  и т. д.,

где  $m$  — видимая звездная величина и  $D$  — угловой диаметр. Это мешает выявлению возможной тонкой структуры зависимости  $r - V_r$  ( $r$  — расстояние). Здесь также чрезвычайно опасны систематические ошибки определения и использования величин  $m$  и  $D$ , возникающие из-за трудности обеспечения одинаковости свойств отбираемых галактик при разных угловых координатах и расстояниях.

Роль отклонений от линейности в законе Хаббла, а также возможного существования недоплеровских составляющих красного смещения видна из следующего примера. На рис. 1 сплошной линией показана типотетическая зависимость  $r - V_r$  для конкретной области неба, пунктир соответствует усредненной (линейной) зависимости для всего неба. Все галактики с  $r_1 < r < r_2$  имеют одно и то же значение  $V_r = V_0$ . Используя же усредненную зависимость  $r - V_r$ , мы ошибочно присвоим всем этим галактикам одно и то же расстояние:  $V_0 / H$ . Ничего не зная о реальной зависимости  $r - V_r$ , мы сделаем вывод о существовании здесь скопления или сверхскопления.

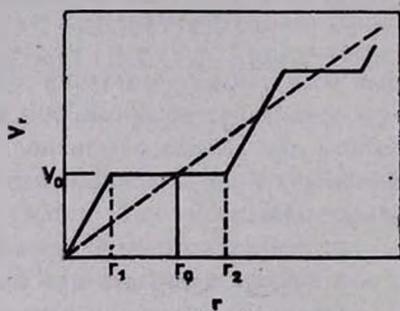


Рис. 1.

Из сказанного выше ясно, как важно было бы проверить реальность сверхскоплений галактик, не прибегая к данным о лучевых скоростях. И подсчеты галактик на небе дают нам эту возможность.

Самым богатым источником данных о видимом распределении галактик являются подсчеты, выполненные в Ликской обсерватории. Анализ корреляционных функций указывает на возможное существование сгущений с диаметром до 20 Мпс ( $H = 75$  км/с/Мпс). Но если учесть действие неравномерного межзвездного ослабления света, этот вывод не подтверждается.

Роль этого существенного источника ошибок понижается при переходе к более далеким галактикам и соответственно уменьшению угловых размеров изучаемых областей. Дальше мы будем рассматривать данные [2], где подсчетами охвачено более 28 000 галактик до  $B \approx 22^m$  в области  $15^\circ$  с координатами центра:  $l = 231^\circ$  и  $b = -80^\circ$ .

В [2] определялись средние кратности галактик по формуле, взятой из [3],

$$\langle s \rangle = (\langle n^2 \rangle - \langle nn' \rangle) / \langle n \rangle, \quad (1)$$

где  $n$  и  $n'$ -числа галактик в элементарных площадках размеров  $d \times d$ . Рассматривались значения величины  $d$  от  $0.08^\circ$  до  $0.64^\circ$ . Как и было предсказано в [3], зависимость  $\langle s \rangle$  от  $\langle n \rangle$  оказалась линейной при больших значениях  $d$ . Экстраполяция этой линейной зависимости на значение  $\langle n \rangle = 0$  привела к значению  $\langle s \rangle = 3.6$ , совпадающему в пределах случайной ошибки со значениями, полученными ранее для Ликских подсчетов [4] и Ягеллонской площадки [3]. (по неопубликованным данным автора такое же значение следует из данных каталога Цвикки с сотрудниками для галактик ярче  $15.5^m$ ). Следовательно, на расстояниях, меньших тех, которые приписываются гипотетическим сверхскоплениям, видимое распределение галактик определяется не богатыми скоплениями, а небольшими видимыми группами галактик.

Дополнительную (и еще не исследованную) информацию о системах галактик может дать угловой коэффициент линейной зависимости  $\langle n \rangle - \langle s \rangle$  при больших значениях  $\langle n \rangle$ . Ниже мы займемся его анализом и сравним два случая: небольшое неравномерное межзвездное ослабление света в пределах области и ячеистую структуру.

2. *Неравномерное межзвездное ослабление.* Обозначим через  $n$  наблюдаемое число галактик в элементарной площадке (э. п.),  $\lambda$  — математическое ожидание этого числа при фиксированной величине межзвездного ослабления,  $\lambda_0$  среднее значение  $\lambda$  для всей области. Из тождества

$$n - \lambda_0 = (n - \lambda) + (\lambda - \lambda_0)$$

и взаимной независимости величин  $n - \lambda$  и  $\lambda - \lambda_0$  следует равенство:

$$\frac{\langle (n - \lambda_0)^2 \rangle}{\lambda_0} = \frac{\langle (n - \lambda)^2 \rangle}{\lambda_0} + \frac{\langle (\lambda - \lambda_0)^2 \rangle}{\lambda_0}. \quad (2)$$

Его левая часть равна значению  $\langle s \rangle$ , определенному в (1). Первый член справа обозначим  $\langle s_0 \rangle$ , это истинная средняя кратность галактик, равная единице в случае распределения Пуассона. Если пренебречь разрезанием групп галактик границами э. п., то величина  $\langle s_0 \rangle$  не зависит от размера э. п., а значит, и от величины  $\langle n \rangle$ . Последний член правой части (2) представим так:

$$\frac{\langle (\lambda - \lambda_0)^2 \rangle}{\lambda_0} = K^2 \langle n \rangle,$$

где  $\langle n \rangle = \lambda_0$  и  $K = \delta\lambda/\lambda_0$ , причем  $\delta\lambda = \sqrt{\langle (\lambda - \lambda_0)^2 \rangle}$ .

Равенство (2) принимает вид:

$$\langle s \rangle = K^2 \langle n \rangle + \langle s_0 \rangle. \quad (3)$$

Если угловые размеры неоднородностей поглощающего слоя намного больше размеров э. п., то и величина  $K^2$  не зависит от  $\langle n \rangle$ .

Итак, для соблюдения линейной зависимости  $\langle s \rangle$  от  $\langle n \rangle$  достаточно, чтобы размеры э. п. существенно превышали размеры групп галактик, но были в то же время меньше угловых размеров неоднородностей поглощения. В [2] линейная зависимость получена при  $0.24^\circ \leq d \leq 0.64^\circ$ . При среднем расстоянии соответствующих галактик 1000 Мпс углу  $0.24^\circ$  соответствует в пространстве отрезок длины 4.2 Мпс.

Из данных [2] следует значение  $K = \delta\lambda/\lambda_0 \approx 0.11$ . А согласно [5], число видимых галактик пропорционально величине  $dex(-a)$ , где  $a$  — межзвездное ослабление в звездных величинах. Отсюда  $\delta\lambda/\lambda_0 \approx 2.3 \delta a$ , где  $\delta a$  — среднее квадратическое отклонение величины поглощения. Следовательно,  $\delta a \approx K/2.3 \approx 0.048^m$ .

Степень фотометрической неоднородности данных [2] в разных местах изученной области остается неизвестной. Имеется только указание, что колебания предельной звездной величины не больше  $0.1^m$ . Если они не меньше в среднем  $0.04^m$ , то колебания межзвездного ослабления, требующиеся для объяснения значения  $K$ , не больше  $0.027^m$ .

3. Ячейки пространства, свободные от галактик. Пусть галактики заполняют стенки ячеек пространства неправильной формы. Ввиду того, что в уравнении (3) эффект групп и скоплений учитывается членом  $\langle s_0 \rangle$ , а мы здесь занимаемся истолкованием величины  $K$ , дискретное распределение мы вправе заменить непрерывным распределением светящегося вещества по стенкам ячеек конечной толщины. Сделаем еще такие предположения.

1) В том месте, где луч зрения встречает стенку, она имеет форму сферической оболочки с внешним и внутренним радиусами  $R$  и  $kR$  ( $k < 1$ ). Величину  $k$  считаем постоянной. Величина  $R$  может медленно изменяться вдоль стенки и значительно различаться для разных стенок.

2) Любое направление нормали к поверхности стенки считаем равновероятным, так что плотность вероятности острого угла  $\vartheta$  между нормалью и лучом зрения равна  $\sin \vartheta$  ( $0 \leq \vartheta \leq \frac{\pi}{2}$ ).

Длина пути луча внутри стенки (см. выделенные фрагменты луча на рис. 2) определяется так:

$$l = Ry(\theta),$$

где

$$y(\theta) = \begin{cases} \cos \theta - \sqrt{k^2 - \sin^2 \theta}, & \sin \theta < k, \\ 2 \cos \theta, & \sin \theta > k. \end{cases}$$

Пусть  $i$  — номер стенки,  $i = 1, 2, \dots, N$ . Если узкий усеченный конус, внутри которого мы видим галактики, заменить отрезком прямой, то наблюдаемое в э. п. число галактик будет пропорционально величине:

$$L = \sum_{i=1}^N l_i,$$

откуда

$$\langle L \rangle = N \langle l \rangle \text{ и } \langle L^2 \rangle = N \langle l^2 \rangle + (N^2 - N) \langle l \rangle^2, \quad (4)$$

где индекс  $i$  опущен. Тогда получим:

$$\delta\lambda/\lambda_0 \approx \sqrt{\langle L^2 \rangle - \langle L \rangle^2} / \langle L \rangle. \quad (5)$$



Рис. 2.

Заметим, что  $\langle l \rangle = \langle R \rangle \langle y \rangle$  и  $\langle l^2 \rangle = (\langle R \rangle^2 + \sigma_R^2) \langle y^2 \rangle$ , где  $\sigma_R^2$  — дисперсия величины  $R$ ,

$$\langle y \rangle = \int_0^{\pi/2} y(\theta) \sin \theta d\theta \text{ и } \langle y^2 \rangle = \int_0^{\pi/2} y^2(\theta) \sin \theta d\theta.$$

Если величина  $N$  распределена по закону Пуассона, то в (4) величины  $N$  и  $N^2$  заменяются на  $\langle N \rangle$  и  $\langle N \rangle^2 + \langle N' \rangle$ . Получаем

$$\frac{\delta\lambda}{\lambda_0} = \sqrt{\frac{1}{\langle N \rangle} (1 + \sigma_R^2 / \langle R \rangle^2) \frac{\langle y^2 \rangle}{\langle y \rangle^2}}. \quad (6)$$

Пусть  $\langle N \rangle = 10$  и  $\sigma_R^2 / \langle R \rangle^2 = 0.1$ . Тогда при  $k = 0.35, 0.55, 0.75$  и  $0.95$  величина  $\delta\lambda/\lambda_0$  примет значения  $0.40, 0.43, 0.51$  и  $0.87$ . Зависимость результата от величины  $\langle N \rangle$  весьма слабая.

Согласно грубой оценке, значения  $\delta\lambda/\lambda_0$  могут быть завышены из-за небольших размеров области не более, чем в 1.5 раза. С другой стороны, при определении функции  $y(\theta)$  выше молчаливо предполагалось, что величины  $l$  для противоположных стенок одной и той же ячейки, пересекаемых

лучом зрения, взаимно независимы. Поэтому отсутствовал множитель 2 в первом из равенств для  $y(\theta)$ . При рассмотрении функции  $y(\theta)$  с этим множителем значения  $\delta\lambda/\lambda_0$  не уменьшаются, так как становится меньше число  $\langle N \rangle$  в равенстве (6).

Наблюдаемое значение величины  $\delta\lambda/\lambda_0$  составляет 0.11, причем средняя ошибка не превышает 0.03. Поэтому можно считать, что рассмотренная модель ячеистого распределения вещества, согласно которой  $(\delta\lambda/\lambda_0)^{min} = 0.40$ , не согласуется с данными наблюдений. Вместе с тем, эти данные легко объяснимы совместным эффектом небольшой фотометрической неоднородности (которую нужно учитывать также и при рассмотрении случая ячеистых структур) и небольшого переменного поглощения света.

Горьковский педагогический  
институт

## ARE THE CELLS VISIBLE IN A DEEP SAMPLE OF GALAXIES?

B. I. FESSENKO

The significance of apparent distribution analysis of galaxies for the investigation of large scale structure of the Universe is found and an analytical method for the calculation of fluctuation of galaxy numbers in the case of cells is derived.

The application of this method to a deep sample of galaxies in the case of cells was not confirmed. The observational data are easily explainable by small variations in the value of interstellar extinction.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Б. И. Фесенко, *Астрофизика*, 17, 719, 1981.
2. Н. Т. MacGillivray, R. J. Dodd, M. N. RAS, 193, 1, 1980.
3. Б. И. Фесенко, А. М. Фесенко, *Астрон. ж.*, 55, 262, 1978.
4. Б. И. Фесенко, Н. П. Питьев, *Астрон. ж.*, 51, 736, 1974.
5. D. Burstein, C. Heiles, *Ap. J.*, 225, 40, 1978.