

УДК 524.7

С. Л. Парновский, О. З. Гайдамака, П. Ю. Шаров

Астрономическая обсерватория Киевского национального университета имени Тараса Шевченко
04053 Киев, ул. Обсерваторная, 3**Оценка космологических параметров по пекулярным скоростям плоских галактик каталога RFGC**

По данным о пекулярных скоростях 1493 плоских видимых с ребра спиральных галактик из каталога RFGC получены значения параметров $\Omega_m = 0.21_{-0.09}^{+0.22}$ и $\sigma_8 = 1.07_{-0.24}^{+0.28}$, которые отличаются от оценок WMAP приблизительно на 3σ . Из-за сильной корреляции между этими величинами форма границ доверительных областей в 1σ , 2σ и 3σ достаточно узкая. Это дает возможность использовать полученную оценку для проверки соответствующих значений, полученных иными путями.

ОЦІНКА КОСМОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЗА ПЕКУЛЯРНИМИ ШВИДКОСТЯМИ ПЛОСКИХ ГАЛАКТИК З КАТАЛОГУ RFGC, Парновський С. Л., Гайдамака О. З., Шаров П. Ю. — За даними про пекулярні швидкості 1493 плоских видимих з ребра спіральних галактик з каталогу RFGC отримано значення параметрів $\Omega_m = 0.21_{-0.09}^{+0.22}$ та $\sigma_8 = 1.07_{-0.24}^{+0.28}$, які відрізняються від оцінок WMAP приблизно на 3σ . Через сильну кореляцію між цими величинами форма границь довірчих областей в 1σ , 2σ і 3σ доволі вузька. Це дає можливість використовувати отриману оцінку для перевірки відповідних значень, одержаних іншими шляхами.

THE ESTIMATION OF COSMOLOGICAL PARAMETERS FROM PECULIAR VELOCITIES OF FLAT GALAXIES FROM THE RFGC CATALOGUE, by Parnovsky S. L., Gaydamaka O. Z., Sharov P. Yu. — We estimated the parameters Ω_m and σ_8 using the data on peculiar velocities of 1493 flat edge-on spirals from the RFGC catalogue. The values obtained, $\Omega_m = 0.21_{-0.09}^{+0.22}$, $\sigma_8 = 1.07_{-0.24}^{+0.28}$, differ from the WMAP values approximately by 3σ . Due to strong correlation between the quantities, the shape of the 1σ , 2σ and 3σ -boundaries are rather thin. This allows us to use our estimate for verifications of the corresponding values obtained by different methods.

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время космология как наука получила возможность оперировать несравненно более точными значениями параметров, чем до сих пор. Разработаны методы определения космологических параметров с погрешно-

стью в несколько процентов вместо характерных погрешностей недавнего прошлого $\pm 30\%$. Прежде всего следует назвать использование наблюдений неоднородностей реликтового излучения совместно с независимым определением z -фактора и фотометрического расстояния для вспышек Сверхновых типа Ia. Есть также менее точные методы, использующие, например, гравитационное линзирование. Их ценность заключается в проверке соответствия космологических параметров, полученных разными путями. Наша работа посвящена определению космологических постоянных Ω_m и σ_8 по данным о пекулярных скоростях 1493 плоских галактик из каталога RFGC [10]. При этом применен метод, использованный в работах Фельдмана и др. [5]. Его преимущество заключается в том, что не делается никаких предварительных предположений о наличии или отсутствии космологического члена или квинтэссенции, адиабатичности первичных флуктуаций и т. п. Метод был применен к совокупности данных о пекулярных скоростях галактик из выборок SFI [4, 6, 8, 9], ENEAR [3], Mark III [13–15], RFGC. При этом данные для RFGC галактик брались из списка пекулярных скоростей [11]. Названный список содержит пекулярные скорости 1328 галактик, причем небольшая часть данных является заведомыми промахами. После опубликования этого списка были проведены новые измерения лучевых скоростей и ширин линий H I для ряда галактик каталога RFGC. На основе новых данных для ряда галактик и уточнения данных для 34 галактик в работе [1] построена новая выборка из 1561 галактики, которая после отбрасывания промахов свелась к выборке для 1493 плоских галактик. На основе полученной в [1] регрессии были вычислены пекулярные скорости всех 1493 галактик. Эти данные в скором времени предполагается сделать доступными через интернет. Здесь мы обрабатываем эти данные по методу, предложенному в работе [5]. При этом используются исключительно пекулярные скорости, рассчитанные в рамках D-модели (см. [1]), поскольку именно такие данные использовались в работе [5] как для RFGC, так и для остальных каталогов. В результате обработки были получены значения Ω_m и σ_8 . Погрешности каждой из этих величин достаточно велики и существенно превышают погрешности их определения, например, по данным спутника WMAP. Однако эти две величины достаточно хорошо скоррелированы, и граница доверительной зоны является довольно узкой. В результате наши данные могут быть использованы для проверки совпадения результатов обработки данных по анизотропии реликтового излучения и по пекулярным скоростям галактик. Естественно, что по мере появления новых данных о расстояниях до галактик каталога RFGC будет повышаться точность и надежность использованного нами метода.

ВЫБОРКА И МЕТОД ОБРАБОТКИ

При обработке использовались данные каталога RFGC о пекулярных скоростях 1493 плоских галактик, видимых с ребра. Эти галактики равномерно покрывают небесную сферу, за исключением области поглощения Млечного Пути. Их средняя лучевая скорость равна 5800 км/с, к этому значению близка также медиана 5500 км/с и мода 5200 км/с выборки. Выборка полна до расстояний приблизительно $56h^{-1}$ Мпк. По сравнению с выборкой RFGC-галактик, использованных в [5], эта выборка существенно увеличилась в объеме. Кроме того, в отличие от списка [11], при обработке не использовались данные заведомо неправильных измерений параметров галактик. Для 34 галактик были использованы новые данные о лучевых скоростях и ширинах линий H I, существенно отличающиеся от использованных при составлении списка [11].

Метод обработки данных [5] основан на больших количествах предварительных исследований. Расчеты проводились в два этапа. Вначале определялась зависимость относительной пекулярной скорости v_{12} для пар галактик от расстояния между ними:

$$v_{12}(r) = \frac{\sum_{A,B} (s_A - s_B) q_{AB}}{\sum_{A,B} q_{AB}^2}, \quad (1)$$

$$q_{AB} = \frac{r_A - r_B}{2r} \left(1 + \sum_{i=1}^3 n_A^i n_B^i \right). \quad (2)$$

Здесь r — расстояние между галактиками А и В, s — радиальная составляющая пекулярных скоростей, n_A^i и n_B^i — компоненты единичных векторов в направлении галактик А и В соответственно, r_A и r_B — расстояния до этих галактик. Заметим, что все расстояния умножены на постоянную Хаббла, т. е. мы приводим соответствующие им скорости разбегания галактик в км/с.

На втором этапе полученная зависимость $v_{12}(r)$ аппроксимировалась зависимостью

$$v_{12}(r) = -\frac{2}{3} H_0 r \Omega_m^{0.6} \bar{\xi}(r) [1 + \alpha \bar{\xi}(r)], \quad (3)$$

где H_0 — постоянная Хаббла, $\Omega_m = \rho_m / \rho_c$, о величине константы α будет сказано ниже, а функция $\bar{\xi}(r)$ дается выражением

$$\bar{\xi}(r) = \frac{3 \int_0^r \xi(x) x^2 dx}{r^3 [1 + \bar{\xi}(r)]}. \quad (4)$$

В качестве функции $\xi(r)$ используется одно из двух выражений, полученных путем фурье-преобразования спектра мощности PSCz [7]. Первое выражение имеет вид

$$\begin{aligned} \xi(r) &= \left(\frac{\sigma_8}{0.83} \right)^2 \left[\left(\frac{r}{r_1} \right)^{-1.72} + \left(\frac{r}{r_2} \right)^{-1.28} \right], \\ \bar{\xi}(r) &= \frac{(\sigma_8/0.83)^2}{1 + \bar{\xi}(r)} \left[\frac{3}{1.28} \left(\frac{r}{r_1} \right)^{-1.72} + \frac{3}{1.72} \left(\frac{r}{r_2} \right)^{-1.28} \right]. \end{aligned} \quad (5)$$

Здесь $r_1 = 2.33h^{-1}$ Мпк, $r_2 = 3.51h^{-1}$ Мпк; при этом $\alpha = 1.2 - 0.65\gamma$, где $\gamma = -(d \ln \bar{\xi} / d \ln r)|_{\xi=1}$. Второе выражение соответствует упрощенной степенной модели:

$$\xi(r) = \left(\frac{\sigma_8}{0.83} \right)^2 \left(\frac{r}{r_0} \right)^{-1.3}, \quad \bar{\xi}(r) = \frac{3\xi(r)}{1.7(1 + \bar{\xi}(r))}, \quad (6)$$

где $r_0 = 4.76h^{-1}$ Мпк, $\alpha = 0.355$.

Аппроксимация проводится методом максимального правдоподобия [2]. Результаты вычислений относительных пекулярных скоростей и их аппроксимации приведены на рис. 1. В отличие от работы [5] мы не пытаемся определить величины погрешностей отдельных точек. Мы предполагаем, что остаточные отклонения точек от регрессионных кривых (3) распределены по нормальному закону с нулевым средним и постоянной дисперсией σ^2 . Применяя метод максимального правдоподобия, мы одновременно получаем

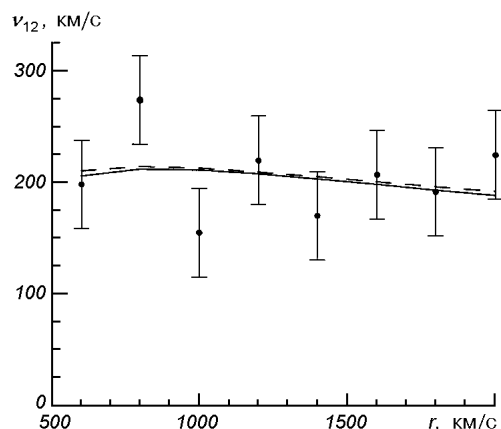


Рис. 1. Зависимость $v_{12}(r)$, рассчитанная по данным пекулярных скоростей 1493 галактик RFGC. Сплошная и штриховая линии — аппроксимации зависимостями (3)—(5) и (3), (4), (6) соответственно. Ошибки σ рассчитаны по методу наибольшего правдоподобия

космологические параметры Ω_m и σ_8 , а также значение дисперсии. Наиболее вероятному значению $\sigma = 40$ км/с соответствуют длины «усов» на рис. 1. Эта же величина используется при построении границ зон 1σ , 2σ , 3σ распределения величин космологических параметров.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Путем применения описанного выше метода мы получаем для аппроксимации (5) наиболее вероятные значения $\Omega_m = 0.21$ и $\sigma_8 = 1.07$. Для определения погрешностей мы строим рис. 2, на котором проведены границы доверительных областей, соответствующие отклонениям в 1σ , 2σ , 3σ . Границы области 1σ дают нам погрешность $\Omega_m = 0.21^{+0.22}_{-0.09}$ и $\sigma_8 = 1.07^{+0.28}_{-0.24}$. В эту очень большую погрешность попадают, естественно, и значения $\Omega_m = 0.27 \pm 0.04$, $\sigma_8 = 0.84 \pm 0.04$ [12], полученные обработкой данных наблюдений WMAP (отмечены крестиком). Однако при сравнении результатов следует принимать во внимание, что значения космологических параметров сильно скоррелированы друг с другом, а доверительная область длинная и узкая. Лучше обратиться к рис. 2, из которого видно, что полученные описываемым методом космологические параметры отклоняются от параметров WMAP приблизительно на 3σ . Естественно, использованный здесь метод не может претендовать на точность результатов WMAP,

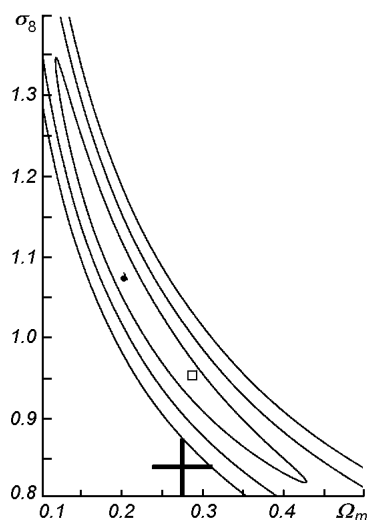
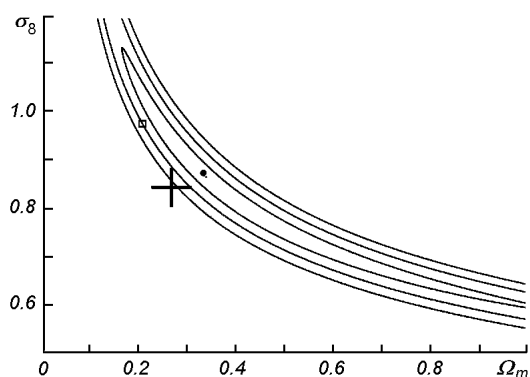


Рис. 2. Границы доверительных областей 1σ , 2σ и 3σ космологических параметров при аппроксимации функции $v_{12}(r)$ зависимостью (3)—(5). Точка — наиболее вероятное значение, крестик — данные WMAP с их погрешностями, квадратик — данные [5]

Рис. 3 То же, что на рис. 2, но для аппроксимации (3), (4), (6)



однако порядок величин пекулярных скоростей соответствует стандартным современным космологическим параметрам. Приемлемое совпадение результатов, полученных совершенно разными методами, является косвенным подтверждением адекватности оценок космологических параметров. На рис. 2 квадратиком обозначены значения $\Omega_m = 0.29$ и $\sigma_8 = 0.95$, полученные при использовании той же аппроксимации в работе [5]. Видно, что результаты [5] заведомо попадают в 1σ -область наших оценок, а сами доверительные области в 1σ существенно перекрываются.

Естественно, что полученный результат зависит и от вида аппроксимации $\xi(r)$. Для оценки степени этой зависимости мы проделали аналогичные вычисления и для регрессии (6). В результате мы получили значения космологических параметров $\Omega_m = 0.32_{-0.15}^{+0.68}$ и $\sigma_8 = 0.88_{-0.28}^{+0.24}$ и границы доверительных областей, изображенных на рис. 3. Видно, что это значение лучше соответствует космологическим параметрам, полученным по данным WMAP. Отклонения составляют порядка 2σ . В тоже время граница области 1σ смещается в область больших Ω_m , что и определяет более высокую погрешность этой величины, полученной при использовании регрессии (6). На рис. 3 квадратиком показаны значения $\Omega_m = 0.21$, $\sigma_8 = 0.9$, рассчитанные в [5] на основе регрессии (6). Эта точка окружена доверительной областью, форма и размер которой близки к доверительной области наших результатов. Поэтому взаимное различие следует оценить на уровне $1-1.5\sigma$.

В этом различии нет ничего удивительного, поскольку в работе [5] использовались данные четырех каталогов пекулярных скоростей, а в данной работе — только RFGC. При этом отличались и сами пекулярные скорости для каталога RFGC, поскольку в данной статье используются данные только для подвыборки, не содержащей сильных отклонений от зависимости Талли — Фишера, а также более новая аппроксимация расстояний, взятая из [1]. В работе [5] использовалась иная аппроксимация, а также не исключались данные даже для заведомых промахов. Незначительное увеличение размеров доверительной области по сравнению с [5] вызвана теми же причинами. Заметим также, что метод обработки, применяемый в данной статье, не связан с каким-либо предположением о распределении пекулярных скоростей, которое в [5] предполагалось лог-нормальным.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применяя метод [5] определения космологических параметров к данным о пекулярных скоростях выборки 1493 плоских галактик из каталога RFGC, мы получили две оценки космологических параметров Ω_m и σ_8 . Они отклоняются от значений, полученных по данным наблюдения WMAP, на

2-3 σ и имеют довольно большие погрешности при определении каждого из космологических параметров. Однако скоррелированность значений Ω_m и σ_8 , выражающаяся в узости доверительных областей, позволяет использовать эти данные для сравнения со значениями космологических параметров, полученных другими путями. При этом результаты применения аппроксимаций (5) и (6) отличаются друг от друга существенно сильнее, чем аналогичные величины, полученные в работе [5] ($\Omega_m = 0.29_{-0.09}^{+0.15}$, $\sigma_8 = 0.95_{-0.11}^{+0.20}$ и $\Omega_m = 0.21_{-0.06}^{+0.15}$, $\sigma_8 = 0.97 \pm 0.17$). Это свидетельствует о том, что получаемые значения космологических параметров являются более модельезависимыми, чем предполагалось в работе [5].

1. Парновский С. Л., Тугай А. В. Коллективные движения плоских галактик на масштабе 100 Мпк с использованием новых данных // Письма в Астрон. журн.—2004.—30, № 6.—С. 403—413.
2. Худсон Д. Статистика для физиков. М.: Мир, 1970.—296 с.
3. da Costa, L. N., Bernardi M., Alonso M. V., et al. Redshift-distance survey of early-type galaxies. I. Sample selection, properties, and completeness // Astron. J.—2000.—120, N 1.—P. 95—109.
4. da Costa L. N., Freudling W., Wegner G., et al. The mass distribution in the nearby universe // Astrophys J.—1996.—468, N 1.—P. L5—L8.
5. Feldman H., Juszkiewicz R., Ferreira P., et al. An estimate of Ω_m conventional priors // Astrophys. J.—2003.—596, N 2.—P. 131—134.
6. Giovanelli R., Haynes M. P., Freudling W., et al. Peculiar velocity dipoles of field galaxies // Astrophys. J.—1998.—505, N 2.—P. L91—L94.
7. Hamilton A. J. S., Tegmark M. The real-space power spectrum of the PSCz survey from 0.01 to 300h Мpc⁻¹ // Mon. Notic. Roy Astron. Soc.—2002.—330, N 3.—P. 506—530.
8. Haynes M. P., Giovanelli R., Chamaraux P., et al. The I-band Tully—Fisher relation for SC galaxies: 21 centimeter H I line data // Astron. J.—1999.—117, N 5.—P. 2039—2051.
9. Haynes M. P., Giovanelli R., Salzer J. J., et al. The I-band Tully—Fisher relation for SC galaxies: Optical imaging data // Astron. J.—1999.—117, N 4.—P. 1668—1687.
10. Karachentsev I. D., Karachentseva V. E., Kudrya Y. N., et al. The revised flat galaxy catalogue // Bull. SAO.—1999.—47.—P. 5—185.
11. Karachentsev I. D., Karachentseva V. E., Kudrya Y. N., et al. A list of peculiar velocities of RFGC galaxies // Bull. SAO.—2000.—50.—P. 5—38.
12. Spergel D. N., Verde L., et al. First-year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) observations: Determination of cosmological parameters // Astrophys. J. Suppl. Ser.—2003.—148.—P. 175—194.
13. Willick J. A., Courteau S., Faber S. M., et al. Homogeneous velocity-distance data for peculiar velocity analysis. I. Calibration of cluster samples // Astrophys. J.—1995.—446, N 1.—P. 12—38.
14. Willick J. A., Courteau S., Faber S. M., et al. Homogeneous velocity—distance data for peculiar velocity analysis. II. Calibration of field samples // Astrophys. J.—1996.—457, N 1.—P. 460—489.
15. Willick J. A., Courteau S., Faber S. M., et al. Homogeneous velocity—distance data for peculiar velocity analysis. III. The Mark III catalog of galaxy peculiar velocities // Astrophys. J. Suppl. Ser.—1997.—109, N 2.—P. 333—366.

Поступила в редакцию 26.12.03