# АСТРОФИЗИКА

**TOM 59** 

АВГУСТ, 2016

выпуск з

#### РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕКУЛЯРНЫХ ЛУЧЕВЫХ СКОРОСТЕЙ В СКОПЛЕНИЯХ ГАЛАКТИК В МОДЕЛИ С ДИССИПАТИВНЫМ КРАСНЫМ СМЕЩЕНИЕМ

#### В.В.ОРЛОВ<sup>1,2</sup>, А.А.РАЙКОВ<sup>2</sup> Поступила 25 апреля 2016 Принята к печати 22 яюня 2016

В стятье анализируется космологическая модель с диссипативной природой красного смещения. В этой модели наблюдаемые красные смешения галактик в группах и скоплениях состоят из доплеровской части и дополнительного члена, связанного с различием путей, проходимых фотонами. Оценен вклад в красные смешения за счет писсипация для моделей скоплений галактик с цараметрами, сходными с характеристиками наблодаемых скоплений Virgo и Coma. Показано, что для этих моделей диссипативный вклад в несколько раз меньше, чем вклад за счет эффекта Доплера. Тем не менее, эффект обнаружим при наличии независимых от красного смещения наделных оценок расстояний до вероятных членов скоплений галактик и может студить независимых тестом природы красного смещения линий в спектрах внегалактических объектов

Ключевые слова: скопления галактик: космология: природа красного смещения

1. Введение. Вопрос о природе красного смещения галактик возник сразу после открытия закона Хаббла. Примерно одновременно были предложены модели изотропного расширения пространства и потери энергии фотона при движении (модель "усталого света"). Эти и другие модели подробно рассмотрены в [1].

В последнее время появляются отдельные работы (см., например, [2,3] и ссылки в них), в которых проводится сравнение стандартной модели и других моделей с помощью различных тестов (см. также [1]). Пока не удается сделать определенного вывода в пользу той или иной модели. Нельзя исключать и кахой-то третьей, пока неизвестной нам, возможности.

В данной работе мы рассматриваем модель диссипации энергии фотона и исследуем особенности распределения пекулярных лучевых скоростей галактик в скоплениях в рамках данной модели.

2. Распределения пекулярных скоростей в скоплениях галактик. Для нахождения распределения пекулярных лучевых скоростей в скоплении галактик нам необходимо перейти от измеряемых величин красных смещений - к лучевым скоростям галактик.

В кинематике звездных систем для определения пекулярных скоростей

звезд используется следующая формула (в обозначениях, используемых в космологии):

$$V_1 = c(z - \overline{z}), \tag{1}$$

где z - усредненное по галактикам - вероятным членам системы красное смещение центроида системы (группы или скопления).

В космологических моделях дело обстоит иначе. Формула (1) изменяется в зависимости от принятой модели. Рассмотрим последовательно модель с диссипацией энергии фотонов и множество моделей с расширением пространства.

Оценим дополнительные поправки, связанные с диссипацией энергии фотона при его движении в пределах скопления. Для сферического скопления галактик с диаметром  $\Delta r$  Мпк, находящегося на среднем красном смещении z максимальное различие красных смещений, обусловленное упомянутым эффектом, составит

$$\Delta z = (1 + \overline{z}) \frac{H_0}{c} \Delta r .$$
 (2)

(3)

Здесь  $H_0$  - параметр Хаббла. Таким образом, в модели с диссипацией энергии фотонов имеет место суммирование двух вкладов в  $\Delta z$  - доплеровского от внутренних движений галактик (разных энаков) и возрастающего с расстоянием от диссипации энергии фотонов, пришедших с дальнего края скопления.

Для примера рассмотрим ближайщее к нам скопление Virgo и наиболее массивное среди близких скоплений скопление Coma. Наблюдаемые оценки  $\Delta r = 3$  Мпк, z = 0.004 для скопления Virgo и  $\Delta r = 20$  Мпк, z = 0.02 для скопления Virgo и  $\Delta r = 20$  Мпк, z = 0.02 для скопления Coma. По формуле (2) получаем максимальные оценки величин  $c \Delta z$ , обусловленных диссипацией энергии фотонов,  $c \Delta z \approx 200$  км/с для скопления Virgo и  $c \Delta z \approx 1400$  км/с для скопления Coma. Эти величины сравнимы с характерными пекулярными лучевыми скоростями галактик в скоплениях.

Таким образом, в модели "усталого света" имеет место суперпозиция двух эффектов - внутренних движений галактик в скоплении и дополнительной диссипации энергии фотонов, пришедших с дальнего края скопления. Причем, согласно (2), роль последнего эффекта возрастает с увеличением среднего красного смещения галактик скопления и диаметра скопления.

В рамках модели с расширением пространства для определения пекулярной лучевой скорости галактики используется формула [4,5].

$$V_2 = c \frac{z - \bar{z}}{1 + \bar{z}}$$

Эта формула переходит в формулу (1) при z = 0.

330

Отметим, что в модели с расширением пространства красные смещения в разных частях скопления также несколько различаются из-за эффекта проекции. Для сферического скопления максимальное различие достигается между центром диска скопления и его краем в проекции на картинную плоскость. Оно составляет

$$\Delta z = \bar{z} \left[ 1 - \sqrt{\frac{\Delta r^2}{4d^2}} \right] = \bar{z} \frac{\Delta r^2}{8d^2}$$
(4)

где *d* - расстояние от наблюдателя до центра скопления. По формуле (4) получаем максимальные оценки величин  $c \Delta z$ , обусловленных расширением пространства,  $c\Delta z \approx 3$  км/с для скопления Virgo и  $c\Delta z \approx 30$  км/с для скопления Vorgo и  $c\Delta z \approx 30$  км/с для скопления Сопа. Эти величины много меньше характерных пекулярных лучевых скоростей галактик в скоплениях галактик.

3. Скопления в диссипативной модели. Рассмотрим поведение распределения лучевых скоростей в моделях скоплений галактик, по своим характеристикам сходных с реальными скоплениями Virgo и Coma. Для этого применим метод Монте-Карло: смоделируем сферически-симметричное однородное скопление радиусом R, состоящее из N = 1000 галактик, с максвелловским распределением пекулярных скоростей с одномерной дисперсией  $\sigma_1^2$ . Тогда соответствующее распределение пекулярных лучевых скоростей будет гауссианой с дисперсией, равной  $\sigma_1^2$ . На гауссово



Рис.1. Модельное "наблюдаемое" распределение пскулярных лучевых скоростей  $v = c(z - \bar{z})$  (в км/с) для модели скопления Virgo с параметрами R = 1.6 Мпк, расстояние до центра скопления d = 16 Мпк, стандарт распределения пекулярных лучевых скоростей  $\sigma_1 = 750$  км/с.

распределение пекулярных лучевых скоростей будет накладываться эффект диссипации энергии фотонов. Результирующие модельные распределения представлены на рис.1 и 2. На рисунках (особенно на рис.2) заметна асимметрия распределений - распределения скошены в сторону больших красных смещений.



Рис 2. Модельное "наблюдаемое" распределение пекулярных лучевых скоростей v = c(z-z) (в тм/с) для модели скопления Сота с параметрами. R = 10 Мпк, d = 100 Мпк,  $\sigma_1 = 1000$  тм/с.

Из геометрических соображений ясно, что в сферически-симметричном скоплении оказывается больше галактик с расстояниями, превышающими



Рис 3. Геометрическая иллюстрация асимметрии распределения пекулярных лучевых скоростей в скоплении. Здесь *d* - расстояние от наблюдателя *O* до центра *C* скопления, *R* - раднус скопления. Затушевана часть скопления, в которой вклад в красное смещение за счет диссипации энергии фотонов в пределах скопления сильнее, чем в центре скопления.

расстояние от удаленного наблюдателя до центра скопления, чем галактик с меньшими расстояниями. Если разбить скопление на две равные части плоскостью, проходящей через центр скопления ортогонально лучу зрения, то галактики первого типа займут всю дальнюю половину шара и часть ближней половины (рис.3). Эффект, наблюдаемый на рис.3 и вызванный диссипацией энергии фотонов в пределах скопления, может быть испольюван в качестве теста диссипативной модели. Заметим, что подобная асимметрия наблюдается для скопления Сопа (см. рис.5 в [6]).

Как видно из рис.3, отмеченный выше эффект асимметрии должен сильнее проявляться в близких скоплениях галактик с большими размерами и сравнительно невысокой дисперсией пекулярных лучевых скоростей, связанных с внутренними движениями галактик в скоплении. Если предположить, что в модельном скоплении Virgo  $\sigma_1 = 100$  км/с, а радиус скопления R = 10 Мпк, то асимметрия становится существенно заметнее (см. рис.4).



Рис.4. Модельное "наблюдаємое" распределение пекулярных лучевых скоростей  $\nu = c(z-z)$  (в юм/с) для модели скопления Virgo с параметрами: R = 10 Мпк, d = 16 Мпк,  $\sigma_1 = 100$  юм/с.

4. Трехмерная картина. Для успешной реализации предложенного теста может помочь трехмерное распределение галактик в скоплении и его сопоставление с распределением красных смещений галактик. Для этого нужны надежные оценки расстояний до галактик, независимые от красных смещений. Такие оценки делались в последние годы для сравнительно близких (примерно до 10 Мпк) галактик в массовом порядке. В качестве индикаторов расстояния использовались цефеиды, звезды верхней части встви красных гигантов, флуктуации поверхностной яркости и др.

Подобная работа была выполнена в [7] для комплекса галактик в районе групп Сеп А и М 83. По данным [7] нами была построена диаграмма "расстояние до галактики -лучевая скорость галактики относительно центроида Местной Группы" (рис.5). Сплошная прямая линия - результат линейной аппроксимации распределения точек; пунктирная линия - теоретическая зависимость [6] в диссипативной модели  $v = cz = H_0 d$  при  $H_0 = 70$  км/с/Мпк. Обе прямые близки и хорошо описывают распределение галактик на диаграмме. Сильный разброс точек в центральной части диаграммы обусловлен пекулярными движениями галактик в группах Сеп А и М 83, которые формируют центральную область комплекса. Из рисунка видно, что галактики хорошо ложатся на теоретическую прямую линию в диссипативной модели.



Рис.5. Диаграмма "расстояние до галактики - лучевая скорость галактики относительно центроида Местной Группы" по данным [7] для комплекса галактик Сеп А/М 83. Расстояние *d* выражено в Мпк, скорость *v* дана в юм/с.

 Теоретические оценки. Сделаем теорстические оценки ожидаемых распределений красных смещений в скоплениях галактик с учетом двух эффектов – диссипации энергии фотонов при их движении в пределах скопления и пекулярных движений самих галактик.

Вначале рассмотрим случай, когда галактики в скоплении неподвижны - их пекулярные скорости равны нулю. Пусть скопление обладает сферической симметрией (см. рис.3), и дифференциальный закон распределения галактик вдоль радиуса равен f(r). Выполнено условие

334

нормировки

$$\int_{0} f(r) dr = 1.$$
(5)

Обозначим через  $\alpha \in [0, \pi]$  угол между лучом, направленным из центра скопления на наблюдателя, и лучом, направленным из центра скопления на галактику, отстоящую на расстоянии *г* от центра скопления. Тогда квадрат расстояния от наблюдателя до этой галактики равен

$$x^2 = d^2 + r^2 - 2rd\cos\alpha \,. \tag{6}$$

Плотность вероятности угла α имеет вид

$$f_1(\alpha) = \frac{1}{2} \sin \alpha \,. \tag{7}$$

Плотность вероятности случайного вектора (х, г) имеет вид

$$g(x,r)dxdr = f(r)dr\frac{1}{2}\sin\alpha d\alpha, \qquad (8)$$

поскольку случайные величины r и α взаимно независимы. Из формулы (6) выразим дифференциал cos α через дифференциал dx и подставим в (8). Получим

$$g(x,r)dxdr = \frac{x}{2a}f(r)drdx.$$
(9)

Проинтегрируем (9) по *г* при фиксированном х и найдем плотность вероятности расстояния х между галактикой и наблюдателем:

$$f_{2}(x) = \begin{cases} \frac{x}{2d} \int_{d-x}^{R} \frac{1}{r} f(r) dr & \text{при } x < d, \\ \frac{x}{2d} \int_{x-d}^{1} \frac{1}{r} f(r) dr & \text{при } x > d. \end{cases}$$
(10)

Плотность вероятности  $f_3(z_d)$  красного смещения, обусловленного диссипацией энергии фотонов, равна

$$f_3(z_d) = \frac{c}{H_0} f_2 \left[ \frac{c}{H_0} z_d \right]$$
 (11)

Теперь рассмотрим случай, когда пекулярные скорости галактик в скоплении отличны от нуля. Предположим. что они распределены по закону Максвелла. Тогда лучевые пекулярные скорости распределены по нормальному закону с дисперсией  $\sigma^2$ . Плотность вероятности красного смещения, обусловленного внутренними движениями галактик в скоплении. имеет вид:

$$f_4(z_p) = \frac{c}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-c^2 z_p^2 - 2\sigma^2}$$
(12)

Финальное красное смещение равно сумме красных смещений, распределенных по законам (11) и (12):  $z = z_d + z_p$ .

Рассмотрим простейщий случай однородного сферического скопления. Тогда плотность вероятности

$$f(r) = \frac{3r^2}{R^3}.$$
 (13)

Тогда, согласно формуле (10),

$$f_2(x) = \frac{3x}{4dR^3} \left[ R^2 - (d-x)^2 \right].$$
(14)

Согласно (11),

$$f_3(z_d) = \frac{c^2}{H_0^2} \frac{3z_d}{4\,dR^3} \left[ R^2 - \left(\frac{c}{H_0} z_d - d\right)^2 \right].$$
(15)

Максимум функции (14) достигается при

$$x = \frac{2}{3}d + \frac{\sqrt{d^2 + 3R^2}}{3} > d.$$
 (16)

Это согласуется с рис.3.

6. Тесты. Можно предложить следующий тест для сравнения модели с расширением пространства и диссипативной модели. Предположим, что пекулярные лучевые скорости галактик в скоплении распределены по нормальному закону. Кроме того, для каждой из рассматринаемых галактик имеется оценка расстояния, полученная независимо от красного смещения.

Тогда для модели с расширением пространства для оценки пекулярной скорости галактик воспользуемся формулой (3). Полученные пекулярные лучевые скорости должны быть распределены по нормальному закону.

Для диссипативной модели найдем для каждой галактики

$$z_d = \frac{H_0}{c} x, \qquad (17)$$

где x - расстояние от наблюдателя до галактики. Далее определим пекулярное красное смещение, обусловленное внутренним движением галактики в скоплении

$$z_p = z - z_d . \tag{18}$$

Пекулярные скорости  $V_p = cz_p$  будут распределены по нормальному закону.

Используя известные критерии согласия, мы можем проверить на непротиворечивость гипотезы о нормальном распределении скоростей  $V_2$ (3) и V. Полученные статистики критериев должны показать, какая из гипотез о природе красного смещения более жизнеспособна.

Заметим, что реальное распределение пространственных скоростей

336

галактик в сконстении может отличаться от распределения Максвелла. В таком случае критерии согласия не дадут позитивного ответа в обоих случаях. Тем не менее, если реальное распределение скоростей является сферически-симметричным, то ответ можно получить с помощью проверки распределения пскулярных скоростей на симметричность приблизительное раженство чисел галактик с положительными и отрицательными значениями пекулярных скоростей, примерное равенство нулю параметра асимметрии, приблизительное равенство среднего значения и моды распределения пекулярных скоростей. Сравнение этих характеристик для величин  $V_{\gamma}$  и  $V_{\rho}$  должно показать, какая из гипотез лучше согласуется с наблюдательными данными.

Отметим, что для получения надежных выводов в пользу той или иной парадигмы, нам потребуется выполнить статистический анализ нескольких скоплений галактик приблизительно сферической формы. В каждом скоплении должны быть определены расстояния для нескольких десятков вероятных членов, приблизительно равномерно распределенных по всему скоплению. Случайные ошибки расстояний и пекулярных лучевых скоростей, распределенные по нормальным законам, не должны сильно повлиять на результат тестирования, если они малы по сравнению с размером скопления и стандартом распределения некулярных скоростей.

Можно предложить еще один более простой тест. Если мы будем иметь независимые от красных смещений надежные оценки расстояний от наблюдателя до членов скопления, располагающихся на ближнем и дальнем краях скопления, то мы можем определить систематическое различие красных смещений этих галактик. Если галактики дальнего края будут иметь значимо большие красные смещения, то это будет дополнительным аргументом в пользу модели с диссипацией энергии фотонов. Еще одним тестом этой модели может служить степень асимметрии распределения красных смещений в скоплении галактик.

7. Дискуссия и перспективы. В настоящей работе построены распределения величин  $c(z-\bar{z})$  галактик - членов скоплений - в модели с диссипативным красным смещением. Распределения оказываются асимметричными за счет несимметричности вклада из-за диссипации энергии фотонов при движении в пределах скопления. Эту асимметрию можно будет использовать в качестве наблюдательного теста диссипативной модели красного смещения. Точность наблюдательных данных о красных смещениях и независимых от них оценках расстояний для галактик в группах и скоплениях уже приблизилась к нужному порогу.

К решению проблемы природы красного смещения можно подойти и с метафизических позиций. Одним из основных метафизических принципов является принцип Оккама, также называемый принципом бережливости. Он состоит в том, что не следует привлекать новые сущности без крайней на то необходимости: "То, что можно объяснить посредством меньшего, не следует выражать посредством большего (Frustra fit per plura quod potest fieri per pauciora)". Согласно этому принципу, использование новых понятий (новых сущностей) следует расценивать как крайнюю меру, вызванную настолько серьезными противоречиями наблюдательных данных и теоретических построений, что для их объяснения уже недостаточно известных апробированных понятий.

Исходя из принципа Оккама, следует считать предпочтительными модели с меньшим числом свободных параметров, если они одинаково хорошо согласуются с наблюдательными данными. В процессе совершенствования корректной теории часто объединяются утверждения, считавшиеся прежде независимыми, тогда как в противном случае вводятся дополнительные постулаты - теория становится громоздкой и в ней накапливаются внутренние противоречия.

Авторы благодарят Р.В. Герасима за техническую помощь в оформлении статьи.

- Санкт-Петербургский государственный университет,
- Санкт-Петербург, Россия, e-mail. vorvor1956@yandex.ru
- <sup>2</sup> Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, Санкт-Петербург, Россия

#### DISTRIBUTION OF PECULIAR RADIAL VELOCITIES IN CLUSTERS OF GALAXIES IN THE MODEL WITH DISSIPATIVE REDSHIFT

#### V.V.ORLOV, A.A.RAIKOV

In the cosmological model with the dissipative redshift nature, the peculiar redshifts of galaxies in groups and clusters are made up of two contributions: 1) internal movements (the Doppler's effect); 2) dissipation of energy of photons as they move within the cluster. We estimate the contribution in the redshifts due to the dissipation for galaxy cluster models with parameters similar to the characteristics of the observed clusters Virgo and Corna. It is shown that for these models, the dissipative contribution is several times smaller than the contribution due to the Doppler's effect. However, the effect is observed in the presence of independent on redshift reliable estimates of the distances to the

probable members of clusters of galaxies, and can serve as an independent test of the nature of redshift of lines in the spectra of extragalactic objects.

Key words: clusters of galaxies: cosmology: the nature of redshift

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1. В.В.Орлов, А.А.Райков, Астрон. ж., 93, 453, 2016.
- 2 H. Traunmüller, Astrophys. Space Sci., 350, 755, 2014
- 3. M. Lopez-Corredoira, ArXiv: 1501.01487, 2015.
- 4. E.R. Harrison, Astrophys. J., 191, 1.51, 1974.
- 5. D.W. Hogg, ArXiv:astro-ph/9905116v4, 2000.
- 6. F.J. Castander et al., Astron. J., 121, 2331, 2001.
- 7. I.D.Karachentsev et al., Astron. J., 133, 504, 2007.

to be a starter of branching and the second starter in the second starter and

## - I THE STREET

and the second se