



УДК 524.7

Моделирование поля скоростей для выборки 1501 плоской галактики, вызванного одиночным аттрактором

А.В. Тугай

Астрономическая обсерватория Киевского национального университета имени Тараса Шевченко

Было проведено численное моделирование пекулярных скоростей галактик на масштабе 100 Мпк, вызываемых одиночным сферически-симметричным избытком распределения плотности (аттрактором). На основе новых данных были подтверждены результаты проведенной ранее обработки выборки Disco, включающей 1271 спиральную галактику. Было получено меньшее значение угла между направлением на аттрактор и дипольной компонентой мультипольного разложения поля скоростей. Установлено, что для новой выборки галактик влияние реально существующих аттракторов на эффективное значение постоянной Хаббла достигает 2%.

МОДЕЛЮВАННЯ ПОЛЯ ШВИДКОСТЕЙ ДЛЯ ВИБІРКИ 1501 ГАЛАКТИКИ, ЩО СПРИЧИНЮЄТЬСЯ ОДИНОЧНИМ АТРАКТОРОМ, Тугай А.В. — Було проведено чисельне моделювання пекулярних швидкостей галактик на масштабі 100 Мпк, які спричиняються одиночним сферично-симетричним надлишком розподілу густини (аттрактором). На основі нових даних були підтверджені результати проведеної раніше обробки вибірки Disco, що складається з 1271 спіральної галактики. Було отримане менше значення кута між напрямком на аттрактор і дипольною компонентою мультипольного розкладу поля швидкостей. Встановлено, що для нової вибірки галактик вплив реально існуючих аттракторів на ефективне значення постійної Хаббла досягає 2%.

SIMULATION OF VELOCITY FIELD FOR THE SAMPLE OF 1501 GALAXIES CAUSED BY THE INDIVIDUAL ATTRACTOR, by Tugay A.V. — We made the numerical simulation of galaxies' peculiar velocities on the 100 Mpc scale caused by the individual spherical-symmetrical excess of density (attractor). On the base of new data we confirmed results of earlier realized processing of Disco sample, which consists of 1271 spiral galaxy. We obtained smaller value of angle between the direction to attractor and the direction of bulk motion of galaxies. An influence of real attractors on the value of the Hubble constant run up to 2%.

1. ВВЕДЕНИЕ

Исследование коллективных движений галактик активно ведётся с 1976 года, когда в своей пионерской работе [7] В.Рубин показала, что на фоне общего хаббловского разбегания галактик существует также их упорядоченное движение. Для нахождения радиальной компоненты пекулярной скорости отдельной галактики необходимо знать её красное смещение и иметь независимую оценку расстояния до галактики. С этой целью на практике используется метод Талли-Фишера для спиральных галактик и метод $D_n - \sigma$ для эллиптических. Существует также ряд других критериев, каждый из которых носит статистический характер и даёт оценку с точностью 8–15%. Существует целый набор списков пекулярных скоростей галактик [5, 8, см. также обзор 9] из которых наибольшей глубиной выборки обладает список Disco [5], содержащий пекулярные скорости 1327 плоских галактик из каталога RFGC [6]. Недавно этот список был дополнен новыми данными [2], что дало возможность исследовать пекулярные скорости 1501 плоской галактики.

После сглаживания пекулярных скоростей отдельных галактик мы получаем усреднённое поле радиальных компонент скоростей движения галактик V_r . Существует ряд подходов применяемых для дальнейшей его обработки. В рамках некоторой теории гравитационной неустойчивости можно по этому полю восстановить распределение плотности и тангенциальные компоненты скорости

коллективного движения [4]. Наблюдательные выборки небольшого объема позволяют рассмотреть коллективное движение галактик как поток с постоянной скоростью и в одинаковом направлении (bulk motion). Подобное приближение часто используется до сих пор и ниже называется D-моделью. В работе [1] для исследования движения галактик выборки Disco применялось мультипольное разложение поля скоростей вплоть до квадрупольного (DQ-модель) и октупольного (DQO-модель) членов.

Общепринято, что причиной пекулярных движений галактики являются локальные неоднородности плотности в пределах и за пределами выборки. При этом пустоты играют незначительную роль, а основной вклад в создание пекулярной скорости вносят компактные концентрации масс — аттракторы. К ним относятся Великий Аттрактор, сверхскопление Персей–Рыбы, концентрация Шепли и другие сверхскопления. Ряд авторов учитывают также влияние скопления в Деве в границах Местного Сверхскопления.

Одной из основных целей обработки списков пекулярных скоростей является определение положения и параметров аттракторов в близлежащей Вселенной (до 200 Мпк). Для исследования точности восстановления картины аттракторов в работе [3] было проведено компьютерное моделирование поля пекулярных скоростей галактик выборки Disco для случая одиночного аттрактора. Используемый аттрактор представляет собой распределение избыточной плотности с радиальной зависимостью в виде кинговского профиля:

$$\rho(r) = \rho_b \left[1 + \frac{A}{(1+x^2)^{1.5}} \right]; \quad x = \frac{r}{r_a}, \quad (1)$$

где ρ_b — фоновая плотность вещества. Параметр A характеризует массу аттрактора, а r_a — его размер. В [3] был также рассмотрен вопрос о том, насколько поле пекулярных скоростей выборки Disco, полученное в работе [1], может быть объяснено принятой в настоящее время картиной распределения аттракторов. В данной статье проводится аналогичная обработка данных новой выборки плоских галактик, для которой в работе [2] были вычислены компоненты поля скоростей.

В качестве исходных данных о положениях галактик здесь мы используем выборку из 1501 плоской галактики, расстояния до которых были вычислены в [2]. Среднее расстояние до галактик выборки равно 5800 км/с, выборка полна до 5600 км/с.

2. МЕТОД

Для того, чтобы не вводить в качестве дополнительного параметра постоянную Хаббла, связанную с однородным распределением материи, мы расстояния и прочие величины с размерностью длины вроде ρ_a будем приводить в км/с. По формулам (3)–(4) работы [3] были вычислены радиальные пекулярные скорости галактик новой выборки для случая 50 расстояний до аттрактора r (с шагом 400 км/с до 20000 км/с), 26 его положений равномерно распределённых по небесной сфере (направления на вершины, центры ребер и граней куба, параллельного осям галактической декартовой системы координат с центром в точке наблюдателя) и 2 параметров ρ_a : 1000 и 3000 км/с. Такие значения удобны для моделирования, так как они по порядку соответствуют значениям ρ_a для реальных аттракторов. Значение $\rho_a = 1000$ км/с характерно для небольших наблюдаемых аттракторов, а $\rho_a = 3000$ км/с соответствует наибольшим из наблюдаемых аттракторов.

Полученные пекулярные скорости галактик обрабатывались аналогично методам, примененным в [3]. С помощью методов регрессионного анализа, основанных на методе наименьших квадратов определялись параметры регрессии для следующих трёх моделей. Дипольная (D) модель:

$$V_r = D_i n_i + \varepsilon r. \quad (2)$$

Квадрупольная (DQ) модель:

$$V_r = D_i n_i + \varepsilon r + Q_1(n_x^2 - n_z^2)r + Q_2(n_y^2 - n_z^2)r + Q_{xy}n_x n_y r + Q_{xz}n_x n_z r + Q_{yz}n_y n_z r. \quad (3)$$

Октупольная (DQO) модель:

$$V_r = D_i n_i + \varepsilon r + Q_1(n_x^2 - n_z^2)r + Q_2(n_y^2 - n_z^2)r + Q_{xy}n_x n_y r + Q_{xz}n_x n_z r + Q_{yz}n_y n_z r + \\ + O_{xyz}n_x n_y n_z r^2 + O_{xxx}n_x^3 r^2 + O_{yyy}n_y^3 r^2 + O_{zzz}n_z^3 r^2 + O_{xxy}n_x^2 n_y r^2 + O_{xxz}n_x^2 n_z r^2 + \\ + O_{yyx}n_y^2 n_x r^2 + O_{yyz}n_y^2 n_z r^2 + O_{zzx}n_z^2 n_x r^2 + O_{zzy}n_z^2 n_y r^2 \quad (4)$$

Во всех случаях ε — изменение параметра Хаббла для нашей выборки вызванное присутствием аттрактора, D_i — дипольная компонента поля скорости (bulk motion), тензоры Q_{ik} и O_{ikl} характеризуют квадрупольную и октупольную компоненты поля скоростей и содержат соответственно 5 и 10 параметров. Все исходные величины, а именно пекулярные скорости отдельных галактик и все получаемые величины, например вектор D , приведены в системе отсчёта реликтового излучения.

В данной статье мы рассматриваем только величины ε и D_i . Использование трёх моделей связано с тем, что эти параметры отличаются при расчётах по разным моделям, но с одинаковыми V_r , вызванными тем же самым модельным аттрактором. Полученные для различных параметров аттрактора величины относительного изменения постоянной Хаббла сравнивались с единицей. Направления дипольной компоненты скорости сравнивались с направлением на центр аттрактора. Исследовалась также зависимость модуля дипольной скорости от параметров аттрактора.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ

Расчёты показали, что для всех параметров и положений аттрактора значение ε не превышает 2%. Для выборки Disco было получено меньшее значение, но и в теперешнем случае можно исходя из полученного результата сделать вывод о том, что реально существующие аттракторы практически не влияют на величину постоянной Хаббла.

Для реальной асимметричной выборки аттрактор, помещённый в начало координат, приведёт к появлению не равного нулю вектора D . В работе [3] этот эффект был назван нулевым потоком галактик. Направление и величина нулевого потока зависят от параметра r_a и модели. Значение модуля вектора D равно нулю для нулевого и бесконечного параметра r_a . В D и DQ моделях максимальное значение D нулевого потока равно 100 км/с при $r_a = 5000$ км/с. В DQO модели максимальный поток характеризуется величиной $D = 320$ км/с при $r_a = 8000$ км/с. Нулевой поток становится сравнимым со скоростями пекулярных движений при $r_a > 3000$ км/с и использовании DQO модели.

Были вычислены направления нулевого потока для значений r_a от 200 до 3000 км/с и трёх моделей. Они практически совпадают с результатами расчетов для выборки Disco и направлены к югу от галактического экватора.

Рассмотрение величины и направления вектора D приводит к закономерностям, описанным в [3]. Зависимость модуля D от расстояния имеет минимум в районе 2–5 тыс. км/с. На меньших расстояниях направление диполя близко к направлению нулевого потока и может быть противоположно направлению на аттрактор. На расстояниях, существенно превышающих минимум, а уменьшается пропорционально расстоянию в степени $-2,7$. На рис. 1 приведены значения средних и максимальных углов отклонения для DQO-модели. Эти значения оказались на 20% меньше соответствующих значений для выборки Disco вследствие увеличения числа галактик выборки.

Зависимости $D(r)$ для новой выборки плоских галактик характеризуются теми же особенностями, что и соответствующие зависимости для выборки Disco. Они различаются между собой при различных положениях аттрактора на небесной сфере. В зависимости от взаимной ориентации аттрактора и нулевого потока, компонента D в направлении аттрактора при малых расстояниях может быть как положительной, так и отрицательной. При больших расстояниях она всегда положительна и падает при увеличении r . Компонента вектора D , перпендикулярная направлению на аттрактор, существенна лишь на расстояниях, не превышающих минимум.

Аналогично работе [3] была рассмотрена 4-аттракторная модель реального распределения масс, включающая Великий Аттрактор, скопление в Деве, сверхскопление Персей–Рыбы и концентрацию

Шепли. Были вычислены поправки к параметру Хаббла и вектор дипольной компоненты потока галактик. Результаты не отличаются от полученных ранее.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное моделирование поля пекулярных скоростей галактик показало, что для более объемной выборки сохраняются результаты работы [3]:

1. Моделирование поля пекулярных скоростей галактик, вызванного одиночным аттрактором, позволяет установить, что эффективные поправки к параметру Хаббла малы при любых разумных размерах аттрактора.

2. Вектор дипольного момента характеризует положение аттрактора, только если последний находится на большом расстоянии, сравнимом с размерами выборки или превышающим их.

3. Для близких аттракторов направление дипольного момента может отличаться от направления на аттрактор весьма значительно. Вектор D может быть ориентирован в направлении, противоположном аттрактору.

4. Четырехаттракторная модель реального распределения масс предсказывает дипольную компоненту скорости, близкую к реально полученным результатам.

Среди новых результатов следует отметить возрастание поправки к параметру Хаббла приблизительно в 2 раза и уменьшение на 20% угла отклонения дипольного потока галактик от направления на аттрактор.

Автор выражает благодарность С.Л.Парновскому за внимание к выполненной работе и помощь в подготовке статьи.

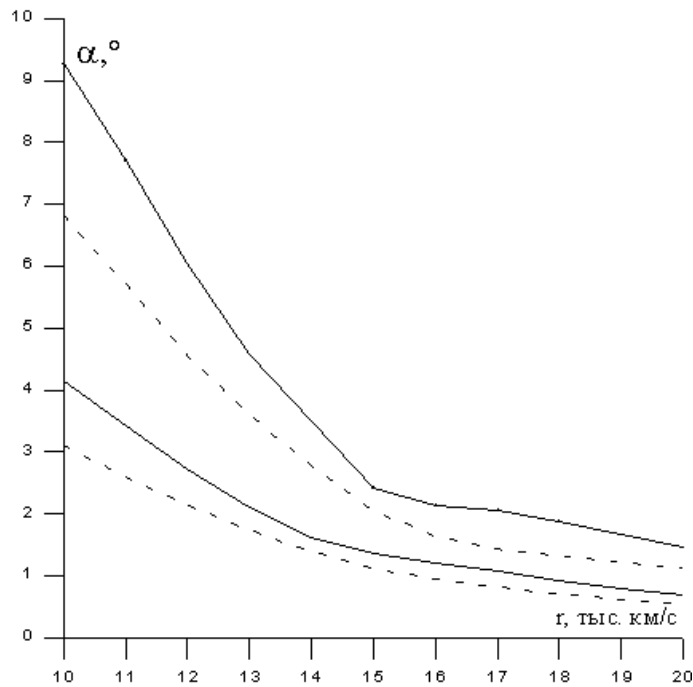


Рис. 1. Угол между направлением вектора D и направлением на аттрактор. Сплошная линия соответствует значению $r_a = 1000$ км/с, штрихованная — $r_a = 3000$ км/с. Верхние линии соответствуют максимальному значению угла среди 26 направлений, нижние — усредненному значению по направлениям.

1. Парновский С.Л., Кудря Ю.Н., Караченцева В.Е., Караченцев И.Д. Коллективные движения плоских галактик на масштабах 100 Мпк в квадрупольном и октупольном приближениях // Письма в Астрон. журн. — 2001. — **27**, № 12. — С. 1–11.
2. Парновский С.Л., Тугай А.В. Коллективные движения плоских галактик на масштабе 100 Мпк с использованием новых данных // Письма в Астрон. журн. — отправлено в редакцию.
3. Тугай А.В., Парновский С.Л. Моделирование крупномасштабных движений галактик, вызванных одичным аттрактором // Кинематика и физика небесных тел. — 2003. — **19**, № 3. — в печати.
4. Dekel A., Eldar A., Kolatt T., Yahil A., Willick J.A., Faber S.M., Courteau S., Burstein D. POTENT reconstruction from Mark III velocities // Astrophys. J. — 1999. — **522**. — P. 1–38.
5. Karachentsev I.D., Karachentseva V.E., Kudrya Yu.N., Makarov D.I., Parnovsky S.L. A list of peculiar velocities of RFGC galaxies // Bull. SAO. — 2000. — **50**. — P. 5–38.
6. Karachentsev I.D., Karachentseva V.E., Kudrya Yu.N., Sharina M.E., Parnovsky S.L. The revised Flat Galaxy Catalogue // Bull. SAO. — 1999. — **47**. — P. 5–185.
7. Rubin V.C., Thonnard N., Ford W.K., Roberts M.S. Motion of the Galaxy and the local group determined from the velocity anisotropy of distant SC I galaxies. II — The analysis for the motion // Astron. J. — 1976. — **81**. — P. 719–737.
8. Willick J.A., Courteau S., Faber S.M., Burstein D., Dekel A., Strauss M.A. Homogeneous Velocity-Distance Data for Peculiar Velocity Analysis. III. The Mark III Catalog of Galaxy Peculiar Velocities // Astropys. J. Suppl. Ser. — 1997. — **109**. — P. 333–391.
9. Zaroubi S. Cosmic Flows: Review of Recent Developments // astro-ph:0206052.

Поступила в редакцию 29.05.2003