

ОБ ОДНОМ ИЗ СЦЕНАРИЕВ ПРОИСХОЖДЕНИЯ СКОПЛЕНИЙ ГАЛАКТИК

Сардор Кутлимуратов^{1,2}, Нилуфар Отожанова¹, Икрам Таджибаев^{1,2}

¹*Чирчикский государственный педагогический университет, Чирчик*

²*Национальный университет Узбекистана, Ташкент*

tadj_ikram@mail.ru, +99897-139-82-00

Аннотация: изучены вопросы происхождения скоплений галактик на фоне нелинейно нестационарной модели коллапсирующих систем. Исследована устойчивость модели относительно двух мод возмущений, при этом степень моды определяет в среднем количество галактик. Построена критическая зависимость начального вириального отношения от степени вращения. Найдены зависимости инкрементов неустойчивости от физических параметров модели.

Ключевые слова: скопления галактик, теория происхождения, нестационарная модель, неустойчивость, возмущения, инкремент неустойчивости.

ABOUT ONE SCENARIO OF THE ORIGIN OF GALAXY CLUSTERS

Sardor Kutlimuratov^{1,2}, Nilufar Otojanova¹, Ikram Tadjibaev^{1,2}

¹*Chirchik State Pedagogical University, Chirchik*

²*National University of Uzbekistan, Tashkent*

tadj_ikram@mail.ru, +99897-139-82-00

Abstract: questions of the origin of galaxy clusters are studied against the background of a nonlinear nonstationary model of collapsing systems. The stability of the model with respect to two perturbation modes is investigated, with the degree of the mode determining on average the number of galaxies. The critical dependence of the

initial virial ratio on the degree of rotation is constructed. The dependences of the instability increments on the physical parameters of the model are found.

Key words: galaxy clusters, theory of origin, non-stationary model, instability, disturbances, instability increment.

GALAKTIKA TO‘DALARI PAYDO BO‘LISHINING BITTA SSENARIYSI HAQIDA

Sardor Qutlimuratov^{1,2}, Nilufar Otojanova¹, Ikram Tadjibaev^{1,2}

¹Chirchiq davlat pedagogika universiteti, Chirchiq

²O‘zbekiston Milliy universiteti, Toshkent

tadj_ikram@mail.ru, +99897-139-82-00

Annotatsiya: galaktikalar to‘dalarining paydo bo‘lish masalalari kollapslanuvchi sistemalarning nochiziqli nostatsionar model fonida o‘rganilgani. Ikkita tebranish modasiga nisbatan modelning barqarorligi o‘rganildi, bunda moda darajasi to‘dadagi galaktikalar o‘rtacha sonini aniqlaydi. Boshlang‘ich virial munosabatning aylanish parametriga kritik bog‘liqlil diagrammasi olindi. Beqarorlik inkrementining model fizik parametrlariga bog‘liqligi topildi.

Kalit so‘zlar: galaktika to‘dalari, kelib chiqish nazariyasi, statsionar bo‘lmagan model, beqarorlik, g‘alayonlanish, beqarorlik inkrementi.

Введение. Скопления галактик – наиболее массивные гравитационно связанные образования во Вселенной [см., например, 1-3]. Также, в их состав входят горячий ионизованный межгалактический газ с температурой в десятки миллионов кельвинов и тёмная материя (тёмная масса). Массы скоплений галактик составляют 10^{13} – 10^{15} масс Солнца, причём основная доля массы обычно приходится на тёмную материю. На втором месте по массе, как правило, находится межгалактический газ, и только на третьем – сами галактики.

Характерный размер массивных скоплений галактик – около 10 млн. световых лет. Скорости движения галактик внутри скопления галактик обычно составляют 1–2 тыс. км/с. Массы скоплений галактик определяются по измерениям разброса скоростей отдельных галактик относительно среднего значения либо по температуре и распределению горячего газа, заполняющего скопление.

О теории происхождения скоплений галактик. По образованиям скоплений галактик существуют много сценарий. Здесь мы приводим основные работы. Авторы [4], считают, что ударные волны, возникающие на нелинейной стадии роста начальных возмущений плотности, придают конденсированному газу своеобразное распределение температуры и плотности. Масштаб возмущений $M \sim 10^{12} \div 10^{14} M_{\text{Sun}}$ типичен для теории адиабатических возмущений плотности и связан с протоскоплениями галактик. Эпоха формирования протоскоплений галактик выбрана соответствующей красному смещению $Z_s \sim 3 \div 5$, что согласуется с результатами по подсчетам квазаров и мощных радиоисточников. Часть газа (1 %) конденсируется адиабатически, имеет низкую температуру и высокую плотность. Выдвинута гипотеза о происхождении плотных тел из такого газа. После нагрева около 20 % газа охлаждается до 10^4 К, и предполагалось, что этот газ уходит в галактики. Оставшийся газ нагрет до 10^6 К, что и объясняет наблюдаемую полную ионизацию межгалактического газа. Также, в работе рассматриваются динамика ударных волн, тепловые процессы в газе, его излучение и вклад в рентгеновский фон, а также процесс фрагментации холодного газа с образованием вышеупомянутых объектов, исходя из космологической модели горячая Вселенная с малыми возмущениями плотности. В работе [5] рассматривается как модель образования скопления галактик, заранее задавая точного неоднородного решения уравнений Эйнштейна. Показано, что при коллапсе скоплений она сохраняет плавный профиль плотности на большей части своей протяженности.

В работе [6] было выполнено двухкомпонентное моделирование N-тел для изучения формирования богатых скоплений галактик, содержащих как светлую,

так и темную материю. Представлена простая динамическая модель, позволяющая качественно объяснить эти численные результаты. Утверждается, что если во Вселенной сформировалась структура путем иерархической кластеризации от малых до крупных масштабов, то сегрегация между галактиками и темной материей кажется неизбежной. Эти результаты позволяют предположить, что вероятным следствием темной материи является недооценка вириальных масс скоплений галактик. В работе [7] представлена модель формирования скопления галактик (P^3M+SPH), содержащие как темную материю, так и газ. Эта модель скопления образуется в результате слияния трех больших групп галактик, в которой временная релаксация создает изотермическое распределение массы без центрального ядра.

Из рассмотренных работ, мы можем сделать вывод о том, что сценарий формирования скоплений галактик, предсказывает такие свойства скоплений галактик, в целом отличных от сценариев, где происходил коллапс. Но все это основано на определенных предположениях и результатах анализа данных наблюдений по скоплениям галактик. Однако нет цельной теории/сценария происхождения скоплений галактик. Для теории скоплений галактик большое значение имеет построение точно аналитически решаемых коллапсирующих моделей.

Нестационарная модель и основные уравнения. Построение аналитически решаемых моделей состоит из двух этапов: построение нелинейно нестационарного, в частности, постепенно пульсирующего состояния с точным законом нестационарности, а затем, решение задачи об устойчивости данной нелинейной модели с целью определения критерия и механизма неустойчивости. Это сделать можно, заставляя как-то пульсировать имеющиеся стационарные модели. Для этой цели подходят не все стационарные модели с точки зрения аналитики, а подходят сферические пространственно однородные в момент начала коллапса модели, для которых известны функции фазовой плотности Ψ_0 . В работе [8] дан вывод нелинейно пульсирующих моделей

$$\Psi_0(r, v_r, v_\perp, t, \lambda) = \frac{\rho(t)\Pi^4}{\pi^2 R^2 \Omega_0^2} \cdot \frac{\chi(f)}{\sqrt{f}}, \quad (1)$$

$$f = \left(1 - \frac{r^2}{R^2}\right) \left(\frac{\Omega_0^2 R^2}{\Pi^4} - v_\perp^2\right) - \left(v_r + \frac{\Omega_0 \lambda r \sin \psi}{\sqrt{1 - \lambda^2 \Pi^2}}\right)^2.$$

Здесь радиус системы меняется по закону $R = \Pi(t) R_0$, где $\Pi(\psi) = \Omega_0^2(1 + \lambda \cos \psi)/(1 - \lambda^2)$ - имеет смысл коэффициента растяжения шара, причём ψ - вспомогательная переменная вместо времени t , $\lambda = 1 - \left(\frac{2T}{|U|}\right)_0$ - амплитуда пульсации, которая принимает значения в интервале $[0;1]$, а $\left(\frac{2T}{|U|}\right)_0$ - вириальное отношение в момент $t=0$, T - кинетическая энергия, U - потенциальная энергия, χ - функция Хевисайда,

$$v_a = -\Omega_0^2 \lambda r \sin \psi / (q \Pi^2), \quad v_b = \Omega_0 r / \Pi^2.$$

Позже эти модели были обобщены на случай твердотельного вращения. Для исследования неустойчивостей на нестационарную модель накладывается малое, в общем случае, несимметричное возмущение. Мы рассматриваем модель, где происхождение скоплений галактик на ранней стадии коллапса протоскоплений обязано гравитационной неустойчивости нелинейно нестационарной модели. При этом степень моды определяет в среднем количество галактик в скоплении. Согласно классификации скоплений галактик [9], скопления называются богатыми, если количество галактик находится в интервале от 100 до 1000. Полагая возмущения потенциала в виде

$$\delta\Phi = A(\psi) r^N \exp(im\varphi) P_n^m(\cos \theta), \quad (2)$$

и путем решения проблемы устойчивости этой неравновесной модели получаем следующее нестационарное дисперсионное уравнение (НДУ):

$$\frac{1}{6} a(\psi) \Pi^3 = \frac{1}{N(N+1)} S_{1N} + \frac{im\Omega(N-2)!}{(N+2)!} S_{2N}, \quad (3)$$

где

$$S_{1N} = \int_{-\infty}^{\infty} W^{-1} E \frac{dP_N(\cosh)}{d \cosh} d\psi_1; \quad S_{2N} = \int_{-\infty}^{\infty} W^{-1} E \cdot \sinh \cdot \frac{d^2 P_N(\cosh)}{d(\cosh)^2} d\psi_1.$$

Остальные обозначения даны в работе [8].

Отметим, что мод колебаний высоких степеней приводят к громоздким системам интегральных или дифференциальных уравнений. Рассмотрим моду колебаний с $N=14$, $m=5$. В этом случае скопление имеет примерно 120 галактик. Из (6) находим, что

$$a(\psi) = \frac{1}{(1 + \lambda \cos \psi)^{26}} K_{149}(y_\tau), \quad \tau = \overline{1, 14}. \quad (4)$$

НДУ для мод $N=16$, $m=6$ и выражения для K_{149} мы здесь не привели. Так мы имеем систему дифференциальных уравнений 56-порядка в случае $N=14$, $m=5$, а для возмущения с $N=16$, $m=6$ имеем систему дифференциальных уравнений 64-порядка.

Анализ результатов и заключения. Неустойчивости двух мод колебаний нами исследовались численно, решая НДУ отдельно для каждой моды. Нами найдены соответствующие зависимости инкремента неустойчивости от значения вириального отношения в момент начала коллапса. На рис.1 приведены критические зависимости начального вириального отношения от параметра вращения. Из графика видно, что с ростом порядка мод значение критического начального вириального параметра уменьшается, это означает, что область неустойчивости медленно уменьшается. Интересно, что темп неустойчивости очень слабо зависит от степени вращения.

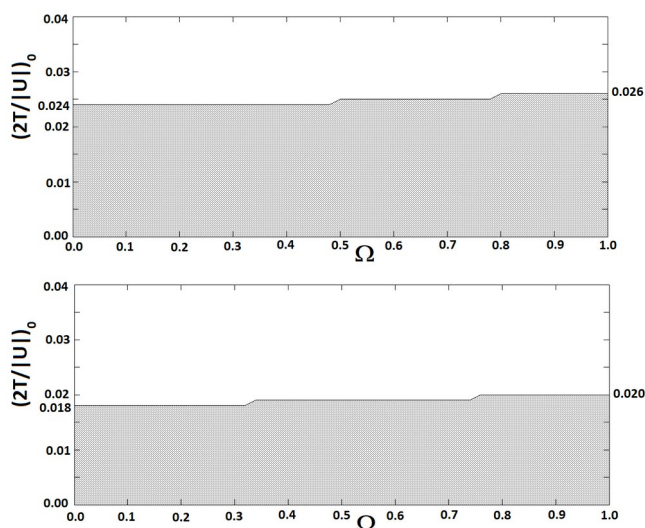


Рис. 1. Критические зависимости начального вириального отношения от параметра вращения (вверху для $N=14$, $t=5$ и внизу для $N=16$, $t=6$).

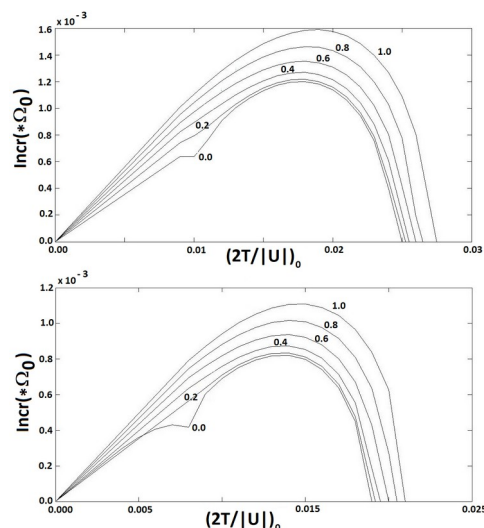


Рис. 2. Поведение инкрементов неустойчивости от $(2T/|U|)_0$ и Ω (вверху для $N=14$, $t=5$ и внизу для $N=16$, $t=6$). Цифрами у кривых обозначены значения параметра вращения.

На рис.2 приведено поведение инкрементов неустойчивости от вириального отношения и параметра вращения. Значения инкрементов неустойчивости в каждом случае увеличиваются с ростом значения параметра вращения. Расчеты показывают, что соответствующая область неустойчивости начинается при значении $(2T/|U|)_0=0.024$ для первой моды, а для второй $(2T/|U|)_0=0.018$. Оба значения вириального отношения соответствуют случаю без вращения, а включение вращения приводит к дестабилизации. Согласно этим результатам, соответствующая физика неустойчивости связана с механизмом неустойчивости радиальных орбит.

Литература

1. Abell G.O., Corwin H.G.Jr., Olowin R.P. A Catalog of Rich Clusters of Galaxies // Astrophysical Journal Supplement v.70, p.1, 1989

2. Kluge M., Bender R. Minor Mergers Are Not Enough: The Importance of Major Mergers during Brightest Cluster Galaxy Assembly // The Astrophysical Journal Supplement Series, Volume 267, Issue 2, id.41, 32 pp, 2023
3. Piraino-Cerda F., Jaffe Y.L., Lourenço A.C., Crossett J.P., Salinas V., Kim D., Sheen Y.K., Kelkar K., Pallero D., Bravo-Alfaro H. Pre- and post-processing of cluster galaxies out to $5 \times R_{200}$: the extreme case of A2670 // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 528, Issue 1, pp.919-936, 2024
4. Sunyaev R.A., Zeldovich Ya.B. Formation of Clusters of Galaxies; Protocluster Fragmentation and Intergalactic Gas Heating // Astronomy and Astrophysics, 1972, vol. 20, p. 189-200
5. Wesson P.S. A note on the formation of clusters of galaxies // Astrophysical Journal, 1983, vol. 268, p.561-564
6. West M.J., Richstone D.O. The Formation of Clusters of Galaxies Containing Dark Matter // Astrophysical Journal, 1988, v.335, p.532-541
7. Thomas P.A., Couchman H.M.P. Simulating the formation of a cluster of galaxies, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 1992, Volume 257, Issue 1, p.11-31
8. Nuritdinov, S.N. Earlier Evolution of Galaxies: Non-linear Models and Instabilities. 2003, Tashkent. 174 p.
9. Кутлимуратов С., Таджибаев И., Отожанова Н, Джумаева Г. Каталог богатых скоплений галактик и результаты статистического анализа // Узбекский физический журнал, 2024, том 26, номер 2, стр.7-17