

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА СТЕПЕНИ КОНЦЕНТРАЦИИ ДЛЯ БОГАТЫХ СКОПЛЕНИЙ ГАЛАКТИК

Сардор Кутлимурастов^{1,2}, Нилуфар Отожанова¹, Айжан Турдалиева¹, Икрам Таджибаев^{1,2}

¹ Чирчикский государственный педагогический университет, Чирчик

² Национальный университет Узбекистана, Ташкент
tadj_ikram@mail.ru, +99897-139-82-00

Аннотация. В данной статье выполнен анализ данных наблюдений по скоплениям галактик. Вычислены распределения поверхностной плотности для 40 скоплений галактик и определены значения степени концентрации. Найдены эмпирические формулы зависимости между степенью концентрации и физическими параметрами скоплений галактик.

Ключевые слова: богатые скопления галактик, поверхностной плотности, степень концентрации, эмпирическая формула, богатства скоплений.

RESULTS OF CONCENTRATION DEGREE CALCULATION FOR RICH GALAXY CLUSTERS

Sardor Kutlimuratov^{1,2}, Nilufar Otojanova¹, Ayjan Turdalieva¹, Ikram Tadjibaev^{1,2}

¹Chirchik State Pedagogical University, Chirchik

²National University of Uzbekistan, Tashkent
tadj_ikram@mail.ru, +99897-139-82-00

Abstract. In this article, an analysis of observational data on galaxy clusters is performed. Surface density distributions for 40 galaxy clusters are calculated and the values of the concentration degree are determined. Empirical formulas for the relationship between the concentration degree and the physical parameters of galaxy clusters are found.

GALAKTIKALAR BOY TO'DALARI UCHUN KONTSENTRATSIYA DARAJASINI HISOBLASH NATIJALARI

Sardor Qutlimuratov^{1,2}, Nilufar Otojanova¹, Ayjan Turdalieva¹, Ikram Tadjibaev^{1,2}

¹ Chirchiq davlat pedagogika universiteti, Chirchiq

² O'zbekiston Milliy universiteti, Toshkent
tadj_ikram@mail.ru, +99897-139-82-00

Annotatsiya. Ushbu maqola galaktika boy to'dalari bo'yicha kuzatuv ma'lumotlarini tahlil qilishga bag'ishlanadi. Unda 40 ta galaktika to'dalari uchun sirt zichlik taqsimoti hisoblab chiqilgan va shu asosida kontsentratsiya darajasi qiymatlari aniqlangan. Galaktika to'dalarining kontsentratsiya darajasi va fizik parametrlari orasidagi o'zaro bog'liqlik uchun empirik formulalar topilgan.

Kalit so'zlar: galaktikalar boy to'dalari, sirt zichlik, kontsentratsiya darajasi, empirik formulalar, to'da boylik darajasi.

Введение. Скопления галактик – наиболее массивные гравитационно связанные образования во Вселенной, и они занимают особое место в современной астрофизике и космологии. Как и все объекты во Вселенной, скопления сформировались из ничтожно малых флуктуаций, заложенных на этапе инфляционного расширения Вселенной [1-5]. Эти возмущения происходили в момент, когда возраст Вселенной составлял 400 тыс. лет. Их изучение важно для понимания эволюции Вселенной, распределения темной материи и барионного вещества. Богатые скопления содержат большое количество – от нескольких сотен до нескольких тысяч – галактик, горячий межгалактический газ и темную материю, определяющую их массу [6].

Скопления галактик представляют собой один из непрерывного ряда объектов: галактики $\Rightarrow$ группы $\Rightarrow$ скопления $\Rightarrow$ сверхскопления $\Rightarrow$ крупномасштабная структура. Галактики обычно объединяются в группы и скопления. Группы галактик содержат от 3 до 30 ярких галактик, в то время как скопления галактик содержат от 30 до 300 и более ярких галактик. Скопления галактик принято подразделять на две группы: регулярные и иррегулярные. Регулярные скопления характеризуются более чётко выраженной концентрацией галактик к центру, более высокой плотностью и массой, и, как правило, они значительно массивнее иррегулярных. Большинство членов регулярных скоплений – это галактики с отсутствующим или очень слабым звездообразованием (эллиптические и линзовидные галактики), в то время как в иррегулярных скоплениях галактик много спиральных и неправильных галактик с активно идущим в них образованием звёзд. Такое различие свидетельствует о влиянии более плотного окружения галактик и межгалактического газа, в котором они движутся, на эволюцию галактик.

В настоящее время хорошо изучены скопления галактик и получен ряд результатов по этим объектам. Но, пока конкретно не объяснен термин «богатство скоплений галактик». Если скопление галактик содержит от нескольких сотен до нескольких тысяч галактик, то его можно назвать богатым. Около 10 процентов всех галактик входят в состав богатых скоплений, состоящих из тысяч галактик, окружённых горячим газом.

Богатые скопления галактик включают: галактики – эллиптические и спиральные, сгруппированные вокруг массивного центра; межгалактический газ – горячий рентгеновский газ, заполняющий пространство между галактиками; темную материю – невидимую массу, составляющую до 80 процентов массы скопления.

Скопления галактик образуются за счет слияния меньших групп галактик под действием гравитации. Этот процесс сопровождается нагревом газа, ударными волнами и выбросами энергии в рентгеновском диапазоне.

Отметим, что до сих пор было опубликовано множество наблюдательных исследований скоплений галактик. В данной работе рассмотрены основные свойства скоплений галактик, результаты анализа данных их наблюдений и проблемы определения степени концентрации к их

центру. Нами изучены распределения галактик в скоплениях с $R_L > 100$ (здесь $R_L = L_{200}/L$, L – светимость скопления галактик, L_{200} – светимость в радиусе r_{200} , r_{200} – радиус скопления, в котором средняя плотность скоплений в 200 раз больше критической плотности Вселенной) на основе наблюдательных данных из базы SDSS и каталогов [7-9]. В результате нами составлен сводный каталог, который содержит 213 самых богатых скоплений галактик [10]. Из каталога выбрано 40 богатых скоплений галактик, вычислены поверхностная плотность и степени концентрации, также выполнен поиск эмпирических зависимостей между основными физическими характеристиками.

Расчет поверхностной плотности и степени концентрации для скоплений галактик. Чтобы определить степени концентрации нам необходимы данные наблюдения поверхностной плотности для скоплений галактик. Отметим, что мы по поискам и результатам наблюдательных данных не нашли значения поверхностной плотности для скоплений галактик. Поэтому на основе готовых изображений, которые даны в базе SDSS, вычислены их значения. Значения поверхностной плотности можно определить, как хорошо всем известно, путем подсчета количества галактик в кольцах вокруг центра скопления. Очевидно, чем больше количество колец, тем увереннее и точнее мы находим поведение наблюдаемой плотности по расстоянию от центра до периферии скопления. При начертании колец разность поверхности колец должна быть одинаковой. По формуле (1) – находим площадь первого круга:

$$S_n = \pi R_n^2. \quad (1)$$

При начертании последующих колец надо учитывать, что площади этих колец должны быть одинаковыми. Для этого нами взята эталонная площадь первого кольца, которая принимается равной последующим:

$$S_1 = \Delta S_1 = \Delta S_2 = \dots = \Delta S_n.$$

Нами выбраны 20 колец и вычислены значения поверхностной плотности. Далее определяется количество галактик в каждом кольце. Видимая поверхностная плотность определялась по формуле $F = \frac{N}{S}$ ($[F]$ измеряется в arcmin^{-2}).

Как мы знаем, скопления галактик, в основном, имеют сферическую форму и, предполагая сферическую симметрию скопления, распределение поверхностной плотности можно взять близким к степенному закону. Исходя из этого, мы обобщили модель Кинга и функцию распределения поверхностной плотности $\sigma(r)$ скопления представляем в виде

$$\sigma(r) = \frac{\sigma_0}{\left[1 + \left(\frac{r}{r_c}\right)^2\right]^\gamma}, \quad (2)$$

где γ , r_c и σ_0 являются свободными параметрами, а γ характеризует степень концентрации галактик к центру скопления галактик, r_c – величина, которая связана с радиусом ядра скопления r_c и σ_0 – видимая плотность в центре.

Далее нами выполнены взаимные сравнения видимых поверхностных плотностей распределения галактик в скоплениях. Отметим, что точность нахождения значений свободных параметров модели (2), особенно, степени концентрации (γ) галактик к центру, для конкретных скоплений в сильной мере зависит от точности определения наблюдаемой плотности в них.

С целью определения значений указанных трех свободных параметров в (2) для конкретных скоплений галактик требуется минимизировать функцию

$$\sigma(\gamma, r_c, \sigma_0) = \sum_k [\sigma(r_k, \gamma, r_c, \sigma_0) - \sigma_{obs}^{(k)}]^2, \quad (3)$$

что описывает поведение суммы квадратов разности между теоретическими (σ) и наблюдаемыми значениями ($\sigma_{obs}^{(k)}$) плотности в кольцах вокруг центра скопления. Минимизацию функции в (3) достаточно выполнить симплексным методом, который уже давно хорошо апробирован во многих задачах астрофизики (см., например, работу [11]).

Используя метод минимизации функционала (3), на основе данных наблюдений нами определены значения параметра γ , радиус ядра скоплений r_c и поверхностная плотность в центре скопления σ_0 . Результаты представлены ниже в таблице.

Таблица. Результаты расчета степени концентрации γ

№	Название	σ_0	r_c	γ
1	J001051.4+290940	155,6814	0,1931	0,2462
2	J002016.1+000446	78,4472	0,8172	0,3175
3	J002712.5-193045	85,6719	0,574	0,2415
4	J002800.9+244744	241,8503	0,231	0,3669
5	J004118.5+252609	72,5782	0,2149	0,1508
6	J004511.7+084111	40,9774	2,4684	0,3908
7	J023127.6+065856	82,7679	0,5312	0,2619
8	J023952.7-013419	386,835	0,1613	0,3569
9	J083057.3+655031	117,9669	0,4227	0,2607
10	J085007.9+360414	112,2458	1,1409	0,3528
11	J090912.7+105829	203,5664	0,1259	0,2804
12	J091609.0-002226	77,5699	1,4599	0,3187
13	J091753.4+514338	386,4694	0,1315	0,3351
14	J092048.3+302818	132,4687	0,1242	0,1712
15	J094951.8+170711	133,7621	0,514	0,2986
16	J100226.8+203102	109,7053	0,6505	0,2510
17	J105417.5+143904	160,7753	0,2526	0,2664
18	J111450.3-121351	171,6555	0,1563	0,244
19	J112358.8+212850	83,036	0,5638	0,2263
20	J113553.9+400132	14,2845	2,1784	0,254
21	J115235.4+371543	18,4877	0,1334	0,1006
22	J115914.9+494748	33,2696	0,4127	0,2469

23	J121218.5+273255	40,0439	0,6385	0,3299
24	J122902.5+473721	39,3388	0,2603	0,2649
25	J123048.9+103247	17,9791	2,1219	0,3066
26	J124932.5+495344	16,9474	0,054	0,0371
27	J130650.0+463333	20,964	2,5626	0,5735
28	J131129.5-012028	121,2828	1,0006	0,3661
29	J131505.2+514903	149,471	0,516	0,3095
30	J133238.4+503336	215,0104	0,1807	0,2719
31	J133520.1+410004	173,7122	0,1898	0,2133
32	J140102.1+025242	94,3957	1,1394	0,3554
33	J141424.1-002240	20,8051	0,2613	0,1289
34	J144431.8+311336	236,0683	0,0694	0,2307
35	J153940.5+342527	162,4453	0,248	0,2380
36	J155820.0+271400	221,4657	0,1008	0,2334
37	J160319.0+031645	104,5931	0,5564	0,2300
38	J164019.8+464242	371,6218	0,0326	0,2324
39	J164325.4+132236	132,0536	0,2691	0,2209
40	J212823.4+013536	99,4691	1,4662	0,3122

Интересно, что распределение поверхностной плотности хорошо описывается с этими параметрами. Как видно, значения степени концентрации γ лежат в интервале от 0,037 до 0,57.

Эмпирические зависимости. Однако с точки зрения изучения скоплений галактик более важно наличие корреляции степени концентрации γ с их отдельными физическими характеристиками. Мы выполнили также поиск эмпирических зависимостей параметра γ с основными физическими характеристиками скоплений, а именно с радиусом скоплений, богатством скоплений и красным смещением.

Зависимость между γ и радиусом скоплений галактик. Анализ данных показывает наличие эмпирической зависимости

$$\gamma = -0.197(\pm 0.101) + 0.345(\pm 0.076) \cdot r_{500} \quad (4)$$

Следовательно, чем меньше γ , тем плотнее скопление. При этом коэффициент корреляции $\rho = -0.61$.

Зависимость между γ и богатством скоплений. Нами обнаружена хорошая корреляция ($\rho = 0.59$) и следующая статистическая формула:

$$\gamma = 0.109(\pm 0.037) + 0.001(\pm 2.3 \cdot 10^{-4}) \cdot R_{L500}. \quad (5)$$

Как видно из эмпирической зависимости (5), увеличение степени богатства скоплений также подразумевает увеличение значения степени концентрации, т.е. увеличение яркости скопления приводит к увеличению γ .

Зависимость между γ и красным смещением. Коэффициент корреляции между этими величинами равен $\rho = 0.62$. Соответствующая эмпирическая формула имеет вид

$$\gamma = 0.142(\pm 0.029) + 0.474(\pm 0.104) \cdot z, \quad (6)$$

Как видно, с увеличением значения красного смещения происходит рост γ , т.е. постепенное уменьшение концентрации скоплений.

Следует отметить наличие весьма слабой зависимости γ от радиуса (r_{200}) и видимой величины скоплений. При этом коэффициент корреляции равен 0,19 и 0,22.

Заключение. Выполнен анализ данных наблюдений по скоплениям галактик на основе базы данных SDSS DR8. На основе данных наблюдений вычислено количество галактик в скоплениях и найдены распределения поверхностной плотности в скоплениях галактик. Методом минимизации функции на основе данных наблюдений определены значения степени концентрации, радиус ядра скопления и поверхностная плотность в центре для 40 богатых скоплений галактик. Вычислены коэффициенты корреляции между степенью концентрации и основными физическими параметрами. Найдены эмпирические формулы зависимости между степенью концентрации γ и физическими параметрами богатых скоплений галактик.

Литература

1. Abell G.O. (1959). Astrophysical Journal Supplement, 3, 211
2. Abell G.O., Corwin H.G.Jr., Olowin R.P. (1989). Astrophysical Journal Supplement, 70, 1
3. Kluge M., Bender R. (2023). The Astrophysical Journal Supplement Series, 267, 2, 41, 32
4. Kopylova F.G., Kopylov A.I. (2022). Astrophysical Bulletin, 77, 4, 347
5. 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. (2024). Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 528, 1, 919
6. Vikhlinin A.A., Kravtsov A.V., Markevich M.L., Sunyaev R.A., Churazov E.M. (2014). Physics-Uspekhi, 57, 4, 339
7. Wen Z.L., Han J.L., Liu F.S. (2012). Astrophys. J. Suppl. Ser., 199, 34
8. Wen Z.L., Han J.L. (2015). Astrophys. J., 807, 178
9. Wen Z.L., Han J.L. (2024). Astrophys. J. Suppl. Ser., 272, 39
10. Kutlimuratov S., Tadjibaev I., Otojanova N, Djumaeva G. (2024). Uzbek Journal of Physics, 26, 2, 7
11. Nuritdinov S.N., Tadjibaev I.U., Rastorguev A.S. (2021). Astronomy Letters 47, 3, 163