

СВЯЗЬ КИНЕМАТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ cD СКОПЛЕНИЙ ГАЛАКТИК С ИХ ИЗЛУЧАТЕЛЬНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

Г.А.АРУТЮНЯН, В.С.АРУТЮНЯН

Поступила 31 мая 2013

Обсуждается возможность существования корреляции между дисперсией скоростей регулярных скоплений галактик и их суммарной светимостью. Основываясь на общепринятой гипотезе о том, что регулярные скопления галактик представляют собой уравновешенные системы, мы попытались найти похожую по соотношению Фейбер-Джексона связь между указанными величинами. То обстоятельство, что не было найдено такого соотношения, может быть интерпретировано как следствие неполноты использованных выборок галактик или, что представляется наиболее вероятным, как несостоятельность предположения об уравновешенности этих скоплений.

Ключевые слова: *галактики: cD скопления*

1. *Введение.* Механизм формирования космических тел остается объектом не иссякающих споров, несмотря на то, что существует, так называемое, традиционное объяснение данного процесса для всех изучаемых иерархических уровней. С другой стороны, в наше время астрофизика располагает огромным количеством наблюдательного материала, и, в принципе, любая теория, созданная для интерпретации процесса формирования, должна быть согласована с существующим многообразием данных. И поэтому, несомненно, что при интерпретации астрофизических явлений, в качестве первого приближения, очень важным является поиск и констатация существующих корреляций между различными физическими величинами, характеризующими космические тела и их системы.

В числе таких корреляционных соотношений, которые имеют как фундаментальное, так и прикладное значение, следует отметить, например, очень интересные связи между чисто кинематическими характеристиками галактик и их светимостью. С физической точки зрения такая связь может быть и должна считаться естественной, поскольку обе характеристики, так или иначе, связаны с энергетическими запасами данного объекта. Более того, обнаруженные соотношения достаточно просто объясняются на основе современных представлений формирования галактик. Тем не менее, некоторый разброс значений найденных параметров в зависимости от подтипов галактик пока еще требует объяснения.

С другой стороны, оставаясь в рамках современных представлений об образовании галактик и их систем, мы можем попробовать найти аналогичные соотношения для систем более высокого иерархического класса. Для этой цели достаточно привлекательными объектами являются регулярные скопления галактик. Дело в том, что эти скопления считаются равновесными системами, которые успели "термализоваться" за хаббловское время. Поэтому наиболее подходящими системами для поиска корреляций типа светимость - кинематика являются именно регулярные скопления галактик и, в первую очередь, сD скопления.

2. *Постановка задачи.* Исследование кинематики галактик различных морфологических типов позволило выявить некоторые очень интересные соотношения. Фейбер и Джексон [1] была открыта зависимость между светимостью эллиптических галактик и дисперсией скоростей звезд в центре галактик. Она описывается соотношением

$$L \propto \sigma^\alpha, \quad (1)$$

где L - светимость галактики, σ - дисперсия скоростей в центре эллиптической галактики и $3 < \alpha < 5$. Параметр α больше и, следовательно, зависимость (1) круче для галактик-гигантов и, тем более, для сверхгигантских сD галактик. Для спиральных галактик Талли и Фишер [2] получили аналогичное соотношение

$$L \propto v_{max}^4, \quad (2)$$

где v_{max} - максимальная скорость вращения.

При некоторых предположениях относительно динамических свойств галактик данные эмпирические зависимости можно получить также и теоретически. Для этого следует исходить из предположения динамического равновесия рассматриваемой галактики, при котором выполняется теорема вириала. Кроме этого, предполагается также, что значение отношения масса-светимость постоянная величина для звезд данного подтипа галактик. Тогда достаточно уверенно можно получить, что светимость галактики пропорциональна четвертой степени скорости или дисперсии скоростей.

Зависимость от подтипа галактики существенна для полученных соотношений. Например, для эллиптических галактик, такой разброс виден из вышеуказанного факта, что параметр α имеет разные значения для карликов и гигантов. Что касается спиральных галактик, то показано, что галактики более поздних подклассов для данной скорости вращения обычно имеют большую светимость по сравнению с ранними подтипами [3].

Существование как вышеуказанных корреляционных соотношений, так и их очевидная зависимость от подтипов галактик ставит немало вопросов, связанных с механизмом формирования галактик. Может ли отклонение от средней зависимости, характеризующей четвертой степенью, исполь-

зовано для проверки выполнения теоремы вириала для данных объектов? Этот вопрос требует детального изучения. С другой стороны, представляет определенный интерес - наблюдаются ли аналогичные соотношения для систем более высокого иерархического уровня, представителями которого являются скопления галактик?

Как известно, теорема вириала широко применяется для определения масс космических систем, в том числе, скоплений галактик, в результате чего получаются очень большие массы, которые на порядок превосходят массы, получаемые с помощью светимостей галактик. Причина такого разногласия может быть следствием либо недоучета всей массы, заключенной в объеме скопления, либо неправомерности применения теоремы вириала.

Ясно, что на уровне скоплений галактик не может быть проверена возможность существования аналога соотношения Талли-Фишера, поскольку нет достоверных данных о вращении скоплений галактик. Однако можно сделать попытку выявить аналогичную соотношению Фейбер-Джексона зависимость, если она существует. С этой целью нами составлена некоторая выборка cD скоплений галактик по Руду и Састри [4] (компактных по Цвики и богатства I и I-II, согласно Бауцу и Моргану). Как известно, такие скопления принадлежат группе регулярных галактик, состоящих главным образом из эллиптических и линзовидных галактик (см., например, [5] и ссылки в ней). Поэтому, с большей вероятностью они могут считаться аналогами эллиптических галактик в семействе скоплений галактик.

Хорошо известно [6], что галактики, принадлежащие различным морфологическим типам, в скоплениях имеют разные распределения. Более ранние типы показывают большую концентрацию к центру. С другой стороны, достаточно давно были начаты также исследования кинематических свойств галактик различных морфологических типов (см., например, [7]). Очень важным результатом исследований кинематики галактик в скоплениях, на наш взгляд, может считаться то, что дисперсия скоростей ранних типов галактик меньше по сравнению с дисперсией скоростей галактик поздних типов. То есть, если объединить результаты по сегрегации и по дисперсиям, можно заключить, что дисперсия скоростей членов скоплений тем больше, чем далеки они от центра скопления.

Указанные различия должны быть учтены при анализе возможности выполнения соотношения (1) в случае скоплений.

3. Наблюдательный материал. Нами было выбрано 40 регулярных cD скоплений из списка Эйбелла [8]. Из них 21 скопление совпадает со скоплениями, рассмотренными в [9]. Для составления списков галактик этих скоплений мы воспользовались возможностями электронного архива NED. Из архива были отобраны те галактики, для которых известны радиальные скорости. Диапазон радиальных скоростей отобранных галактик

составляет 3000 км/с, т.е. $-1500 \leq v - v_{cD} \leq 1500$, где v_{cD} - скорость центральной cD галактики. В проекции эти галактики находятся внутри круга с радиусом 5 Мпк вокруг центральной cD галактики.

В табл.1 приведен список скоплений, отобранных для исследований. Приведены координаты центральных галактик, а также количество галактик, которые удовлетворяли нашим критериям.

Таблица 1

Abell	$\alpha(2000)$	$\delta(2000)$	m_{cD}	v_{cD}	$\sigma(v)$	N_{cD}
85	00 ^h 41 ^m 50 ^s .5	-09°18' 11"	14.7	16690	715	341
119	00 56 16.1	-01 15 19	14.39	13330	623	372
133	01 02 41.7	-21 52 55	13.8	17073	667	93
160	01 12 59.6	15 29 29	15.2	13137	659	56
193	01 25 07.6	08 41 58	13.2	14726	703	93
262	01 52 46.5	36 09 07	13.7	4855	516	221
347	02 25 26.8	41 49 27	13.18	5207	682	161
376	02 46 03.9	36 54 19	13.7	14563	688	135
399	02 57 53.1	13 01 51	16.5	21378	721	147
401	02 58 57.8	13 34 58	15.32	22275	843	167
426	03 18 44.9	41 28 04	15.4	5059	688	284
496	04 33 38.7	-13 15 49	12.2	9814	663	423
779	09 19 46.8	33 44 59	12.9	6948	620	253
1060	10 36 42.8	-27 31 42	12.65	3593	702	231
1644	12 57 11.6	-17 24 34	13.1	14233	694	295
1650	12 58 41.5	-01 45 41	16.04	25352	695	297
1691	13 11 08.6	39 13 37	15.0	21678	632	181
1749	13 29 21.0	37 37 23	14.7	16817	804	88
1767	13 36 08.3	59 12 23	16.11	21304	676	218
1795	13 48 52.5	26 35 34	15.2	18965	672	242
1809	13 53 06.4	05 08 59	15.2	23632	688	167
1927	14 31 06.8	25 38 01	16.70	28894	541	101
1983	14 52 55.3	16 42 11	14.55	13205	562	142
2029	15 10 56.1	05 44 41	14.73	23368	886	122
2052	15 16 44.5	07 01 18	13.96	10330	575	221
2063	15 23 05.3	08 36 33	13.61	10245	648	243
2067	15 23 08.4	30 52 39	16.0	22005	701	218
2089	15 32 49.8	28 02 22	14.5	22076	562	88
2107	15 39 39.0	21 46 58	14.33	12525	609	122
2124	15 44 59.0	36 06 34	14.9	19810	681	183
2147	16 02 17.0	15 58 29	14.4	10647	705	590
2162	16 12 35.5	29 29 05	13.79	9549	657	197
2197	16 27 41.1	40 55 37	14.0	9523	635	928
2199	16 28 38.5	39 33 06	12.78	9100	633	979
2256	17 04 27.2	78 38 25	13.8	17797	785	232
2666	23 50 58.6	27 08 51	13.24	8191	775	169
2734	00 11 21.6	-28 51 16	13.9	18553	653	223
3376	06 00 41.1	-40 02 40	13.5	13973	654	182
3558	13 27 56.8	-31 29 44	12.6	14061	734	846
4059	23 57 0.7	-34 45 33	13.0	14705	614	269

В столбце (1) приведен номер скопления по каталогу Эйбелла, (2) и (3) - прямое восхождение и склонение центральной ϵD галактики, (4) - $m_{\epsilon D}$ видимая звездная величина центральной галактики, (5) - $v_{\epsilon D}$ радиальная скорость ϵD галактики, (6) - $\sigma(v)$ дисперсия скоростей и (7) - количество галактик.

Следует отметить, что данные табл.1 приведены без коррекций. Вследствие этого в некоторых случаях, когда скопления расположены близко друг к другу, могут быть наложения данных. Такой эффект явно наблюдается, например, в случае известной пары скоплений, A2197-A2199, координаты и радиальные скорости центральных галактик которых очень близки по своим значениям. Поэтому при анализе, даже центральная галактика одного скопления оказалась в числе членов другого скопления.

4. *Зависимость светимости от дисперсии скоростей в скоплениях.* Для абсолютного большинства галактик, отобранных согласно вышеприведенным критериям, NED дает также и звездные величины. Это позволило нам вычислить их светимости и, в конечном счете, получить суммарную светимость скопления или, по крайней мере, ярчайших его членов. Полученные суммарные светимости приведены на рис.1 в зависимости от дисперсии. Как и следовало ожидать, наблюдается некоторая корреляция, однако дисперсия очень большая, а коэффициент корреляции незначителен. В любом случае не может быть речи о таком четко выраженном соотношении,

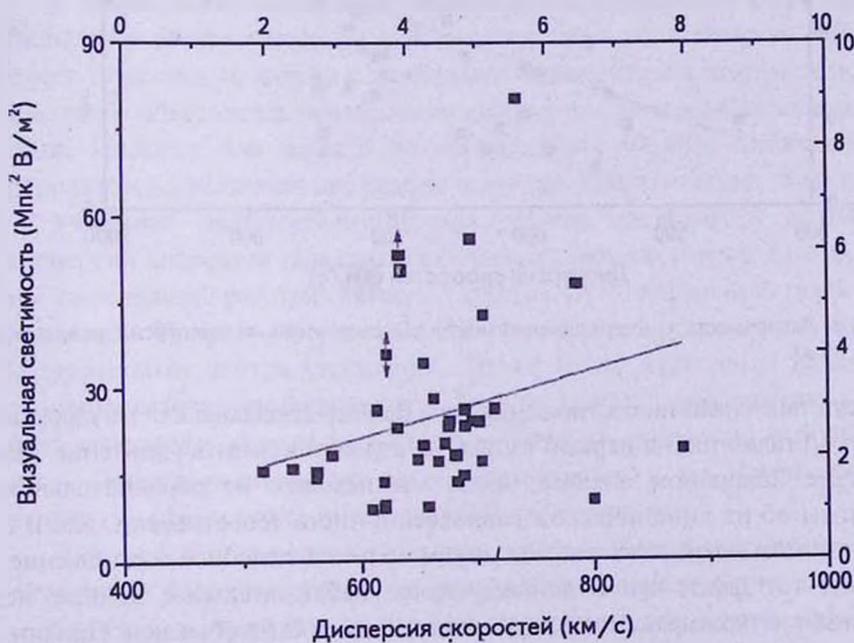


Рис.1. Зависимость суммарной светимости ϵD скоплений от дисперсии скоростей ($R \leq 5$ Мпк).

как в случае дисперсии и светимости отдельных эллиптических галактик.

Мы повторили соответствующие расчеты также для усеченного списка галактик, в котором учитываются лишь те галактики, которые на проекции находятся не дальше, чем 2.5 Мпк от центральной галактики. Тем самым в соответствующих выборках увеличили относительное количество галактик ранних типов, которые, как известно, тяготеют к центру скопления. На рис.2 приведена связь светимостей и дисперсий скоростей для данной усеченной выборки. На первый взгляд здесь ситуация улучшается потому, что более наглядно вырисовывается корреляция. Однако и в этом случае, несмотря на некоторое улучшение корреляции, дисперсия продолжает оставаться очень большой, а наблюдаемая незначительная корреляция не позволяет говорить о квазифункциональной зависимости типа соотношения (2).

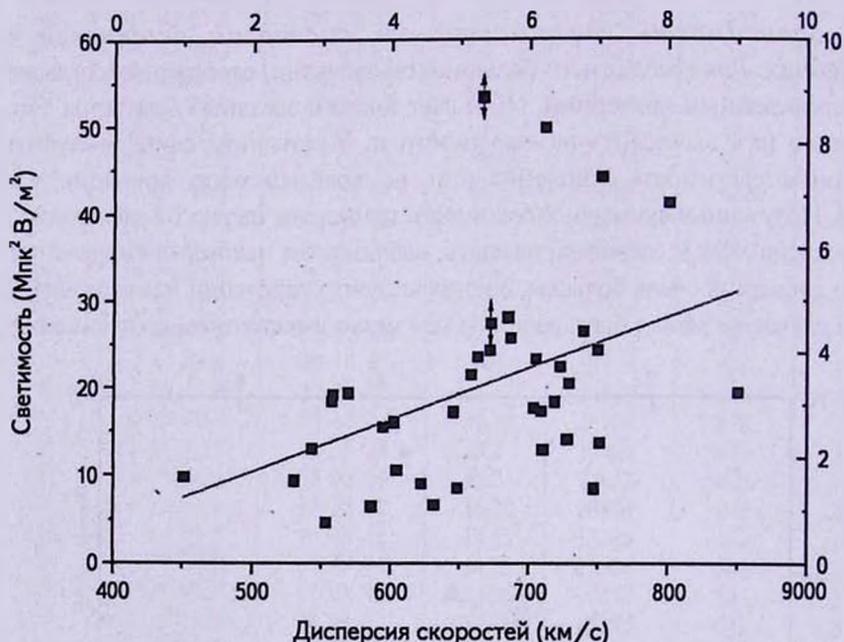


Рис.2. Зависимость суммарной светимости σD скоплений от дисперсии скоростей ($R \leq 2.5$ Мпк).

Отсутствие аналогии соотношения типа Фейбер-Джексона для регулярных скоплений галактик, на первый взгляд, не должно вызывать удивление. Но при более подробном анализе, когда мы исходим из первоначальной парадигмы об их динамическом равновесии, чисто теоретически, как и в случае эллиптических галактик, мы можем получить подобное соотношение. Поэтому, тот факт, что в данном случае наблюдательные данные не показывают четко выраженной корреляции, должен быть объяснен. Причин, на наш взгляд, может быть несколько. Во-первых, некорректными могут быть использованные критерии отбора галактик, входящих в состав

использованных скоплений, хотя, в принципе, эти критерии почти не отличаются от широко используемых. Во-вторых, причиной может быть то, что светимость и дисперсия скоплений вычислены на основе всего некоторой части галактик каждого скопления. Но, с другой стороны, здесь учтены ярчайшие галактики, суммарная светимость которых составляет большую часть светимости скопления. В-третьих, причиной такого несоответствия может быть неправомочность использования теоремы вириала.

Последняя возможность может казаться наиболее неприемлемой с точки зрения господствующих взглядов в теории формирования космических объектов и систем. Тем не менее, она должна быть рассмотрена, поскольку не существует доказательств о том, что рассматриваемые регулярные скопления галактик действительно находятся в равновесном состоянии. Это утверждение не следует из наблюдательных данных и является априорным и продиктовано наиболее распространенными представлениями во внегалактической космогонии. Именно эти представления и приводят к необходимости введения понятия темной материи. И не случайно, что необходимость содержания темной материи резко увеличивается, когда мы переходим от галактик и их небольших систем к скоплениям галактик. Это может быть следствием того, что системам более высоких иерархических классов необходимо больше времени для установления равновесного состояния, чем требуют системы более низкого иерархического уровня.

5. Радиальная зависимость дисперсии скоростей в скоплениях.

Радиальное распределение дисперсии скоростей в эллиптических галактиках имеет гауссовскую форму с наибольшим значением в центре галактики. Оно легко объясняется радиальными скоростями звезд в галактиках данного типа. Поэтому для выведения соотношения Фейбер-Джексона была использована величина дисперсии в центре эллиптических галактик.

Учитывая вышеупомянутое, мы решили исследовать зависимость дисперсии скоростей галактик в скоплениях нашего списка. С этой целью мы определили расстояния всех галактик от центральной галактики в проекции. Координаты центральной галактики не всегда совпадают с координатами центра скопления. То же самое касается и радиальной скорости центральной галактики. То есть, центральная галактика может быть смещена с центра скопления и обладать скоростью относительно него. Однако разность не очень существенна и не может изменить картину распределения интересующей нас величины.

Для того, чтобы получить распределение величины дисперсии в зависимости от радиуса-вектора, мы выполнили вычисления по следующей схеме. Первое значение величины дисперсии для центра или самого близкого окружения центральной галактики получено с помощью первых 22 галактик по стандартной схеме

$$\sigma_1(v) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{22} (v_i - \bar{v})^2}{22}}, \quad (3)$$

где v_i - скорость i -той галактики по расстоянию от центра. Следующие точки получены с добавлением следующих по расстоянию галактик, т.е.

$$\sigma_n(v) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{22+n} (v_i - \bar{v})^2}{22+n}}, \quad \text{при } n \leq 28. \quad (4)$$

При $n > 28$ дисперсия вычислялась по формуле

$$\sigma_n(v) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{50} (v_{n+i} - \bar{v})^2}{50}}. \quad (5)$$

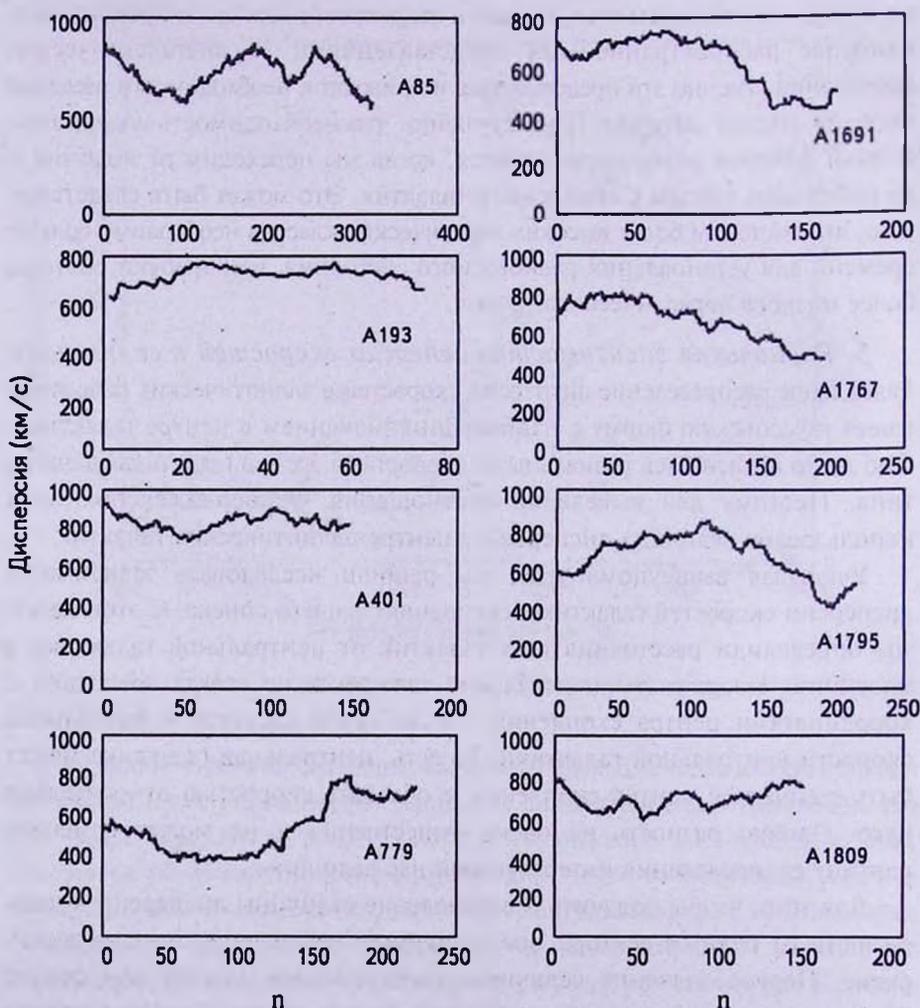


Рис.3. Радиальная зависимость дисперсии в скоплениях. В качестве абсциссы использованы индексы n , которые определены формулами (3)-(5).

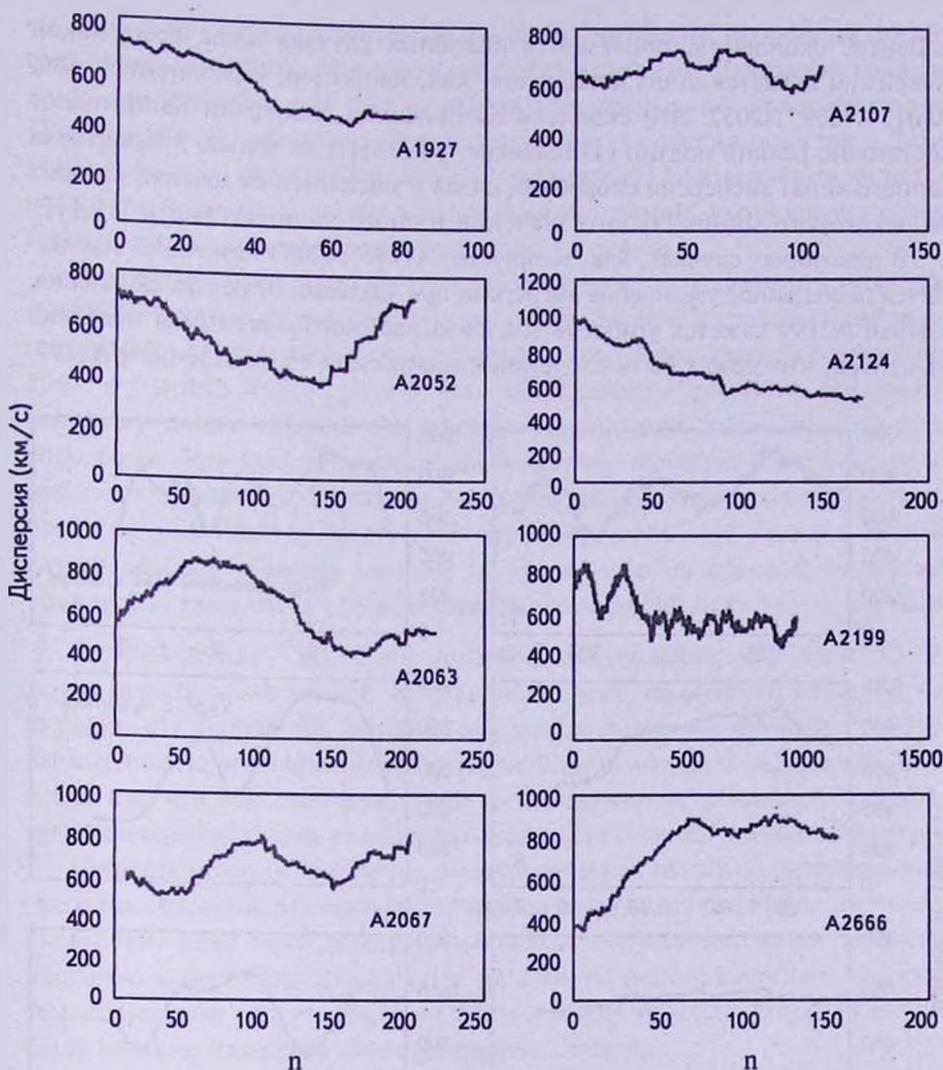


Рис.3. (Окончание)

Таким образом, до 28-й точки дисперсия скоростей вычисляется с помощью 22-50 галактик, после чего вычисления произведены для подвыборок с постоянным количеством 50, где соседние подвыборки отличаются друг от друга одной галактикой. Несомненно, статистический вес первых 28-и точек ниже по сравнению с остальными. Тем не менее эти точки могут быть рассмотрены для иллюстрации поведения дисперсии.

На рис.3 мы показываем дисперсию скоростей в зависимости от радиуса-вектора для некоторых характерных случаев. В отличие от эллиптических галактик, скопления галактик показывают достаточно широкое разнообразие профилей дисперсии. Из приведенных графиков хорошо видно, что в некоторых случаях наблюдается максимум дисперсии

в центре скопления, причем и в подобных случаях чаще всего такой максимум является лишь локальным, как, например, в скоплениях A85, A401, A1809, A2052. Эти скопления по профилю дисперсии напоминают достаточно редкий подтип cD галактик, у которых (и только в галактиках данного типа) дисперсия скоростей, падая с удалением от центра, доходит до некоторого минимального значения и снова начинает расти [10,11].

В некоторых случаях, как, например, A1795, A2063 или A2067 наблюдается постепенное увеличение дисперсии при удалении от центра скопления. Случай A2199 кажется уникальным из-за двойного максимума недалеко от центра, что может быть следствием наложения со скоплением A2197.

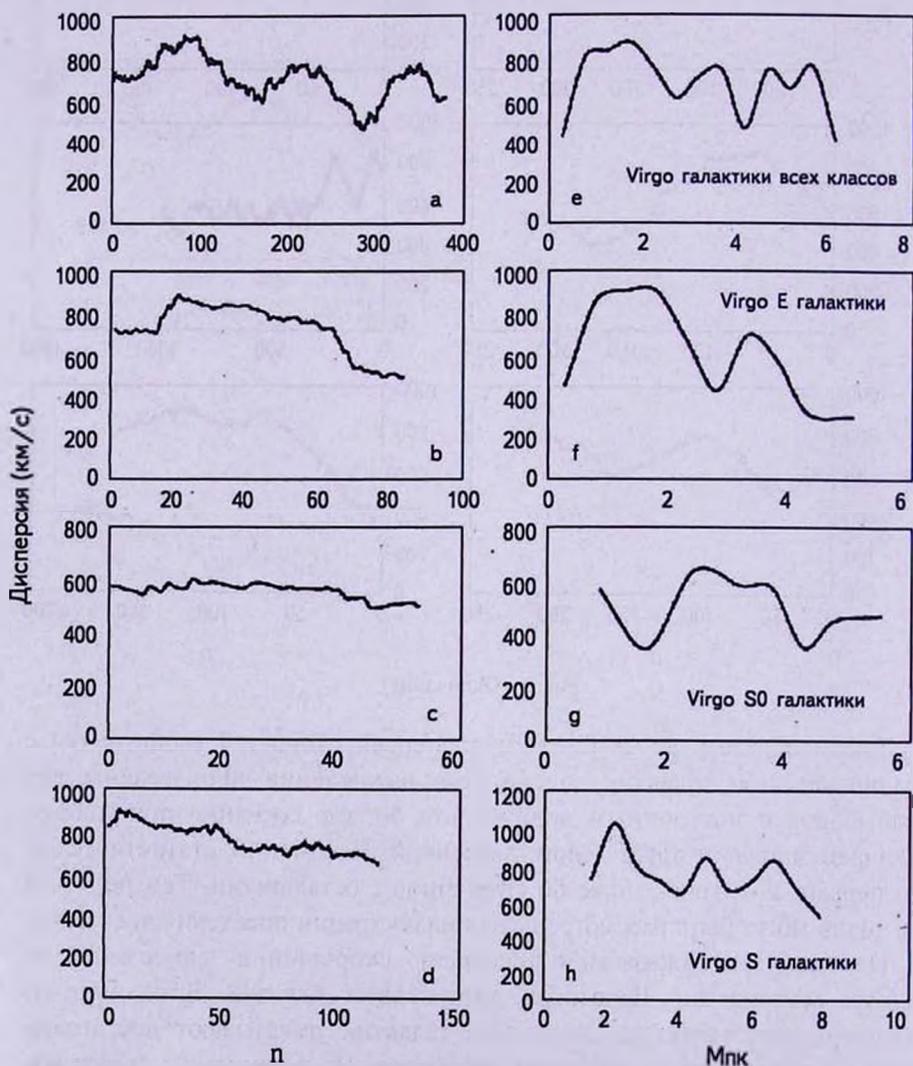


Рис.4. Зависимость дисперсии скоростей (см. в тексте).

Одной из причин сложности профиля дисперсии скоплений может быть также сегрегация скоплений по классам галактик. Для рассмотренных нами скоплений у нас нет необходимых данных по классификации. Поэтому мы сделали аналогичный анализ для скопления галактик в Деве. Несмотря на то, что это скопление не является cD скоплением, а является ярким представителем богатых спиральными скоплениями, такой анализ может быть полезным для лучшего понимания ситуации.

Как показывают аналогичные вычисления, и в данном случае мы имеем достаточно сложный профиль дисперсии. Как и следовало ожидать, поведения для подвыборок разных морфологических классов отличаются друг от друга (см. рис.4). На приведенном рисунке показаны соответствующие графики для величины дисперсии, вычисленной двумя способами. Рис.4a-d построены аналогичным образом, как графики на рис.3, а на рис.4e-h, приведены графики, которые построены для концентрических кругов, которые не перекрываются. Как видно в первом случае разброс величин меньше по сравнению со вторым, поскольку количество галактик в соответствующих концентрических кругах меньше.

6. Заключение. Результаты исследований дисперсии скоростей скоплений галактик показывают, что в данном случае, по крайней мере, для той выборки cD скоплений, которую мы рассмотрели, не наблюдается четко выраженной корреляции между суммарной светимостью и дисперсией. Если считается, что эти скопления, как и эллиптические галактики, являются равновесными системами, то полученный результат является не совсем понятным.

С другой стороны, в отличие от эллиптических галактик, рассмотренные скопления галактик отличаются достаточно сложными профилями дисперсии скоростей. Если даже комплексная форма полученных нами профилей частично может быть результатом неполноты использованных выборок, тем не менее не может быть речи о гауссовском профиле, которым должна была характеризоваться уравновешенная система.

Исследования показывают, что профиль величины дисперсии скоростей имеет различную форму для различных морфологических классов галактик. Если будет доказана статистическая достоверность данного заключения, то потребуются аргументированное объяснение этому факту.

На наш взгляд, полученные результаты говорят о том, что регулярность формы скопления не является основанием для утверждения факта его динамического равновесия. И несмотря на то, что в современной астрофизике доминирует мнение об их стационарности, что обеспечивается введением гипотетической темной материи, этот вопрос нельзя считать до конца решенным и требует дальнейших исследований на основе более богатого материала.

RELATION OF KINEMATICAL PROPERTIES OF cD CLUSTERS OF GALAXIES WITH THEIR RADIATIVE CHARACTERISTICS

H.A.HARUTYUNIAN, V.S.HARUTYUNYAN

The possibility of correlation existence between the velocity dispersion in regular clusters of galaxies and their total luminosity is considered. Based on the generally accepted hypothesis that the regular clusters of galaxies are equilibrated systems we tried to find a relationship similar to the Faber-Jackson relation. The fact that there were no such relation, can be interpreted as a consequence of incompleteness of the used galaxies' sample or, most probably, as the failure of the assumption on the steadiness of these clusters.

Key words: *galaxies: cD clusters*

ЛИТЕРАТУРА

1. *S.M.Faber, R.E.Jackson*, *Astrophys. J.*, 204, 668, 1976.
2. *R.B.Tully, J.R.Fisher*, *Astron. Astrophys.*, 54, 661, 1977.
3. *V.C.Rubin, D.Burstein, W.K.Ford, N.Thonnard*, *Astrophys. J.*, 289, 81, 1985.
4. *H.J.Rood, G.N.Sastry*, *Publ. Astron. Soc. Pacif.*, 83, 313, 1971.
5. *N.A.Bahcall*, *Ann. Rev. Astron. Astrophys.*, 15, 505, 1977.
6. *A.Oemler, Jr.*, *Astrophys. J.*, 194, 1, 1974.
7. *G.A.Tammann*, *Astron. Astrophys.*, 21, 355, 1972.
8. *G.O.Abell*, *Astrophys. J. Suppl.*, 3, 211, 1958.
9. *W.R.Oegerle, J.M.Hill*, *Astron. J.*, 122, 2858, 2001.
10. *A.Dressler*, *Astrophys. J.*, 231, 659, 1979.
11. *D.Carter, G.Efstathiou, R.S.Ellis, I.Inglis, J.G.Godwin*, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, 195, 15, 1981.