

АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

АСТРОФИЗИКА

ТОМ 2

МАРТ, 1966

ВЫПУСК 1

ОТНОШЕНИЕ ВИРИАЛЬНОЙ МАССЫ К СВЕТИМОСТИ И НЕСТАЦИОНАРНОСТЬ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМ ГАЛАКТИК

И. Д. КАРАЧЕНЦЕВ

Поступила 28 декабря 1965

Определены вириальные отношения массы к светимости f для 87 пар, 11 тройных систем, 29 групп и 15 скоплений галактик. Сделан вывод о возрастании в среднем степени нестационарности систем с ростом их светимостей. Вычислено вириальное отношение массы к светимости для Метагалактики. Получено указание на общность явлений нестационарности систем галактик и расширения Метагалактики.

1. *Введение.* В литературе неоднократно обсуждался вопрос о несоответствии между оценками масс галактик, сделанными по внутренним движениям в них и полученными путем применения теоремы вириала к скоплениям, группам и парам галактик [1, 2]. У некоторых систем расхождение чрезвычайно велико и достигает полутора — двух порядков. Поскольку определение вириальной массы сопряжено с предположением о стационарности системы, то отказ от него кажется естественным объяснением существующего расхождения. обстоятельный анализ ситуации в некоторых системах [3 — 5] показывает, что другие объяснения аномально больших значений вириальных масс не обладают достаточной убедительностью. Однако, при вычислении вириальной массы конкретной системы приходится делать статистические предположения о факторах проекции, связывающих наблюдаемые величины с величинами, которые входят в теорему вириала. Поэтому в случае отдельной системы с малым числом членов всегда существует значительная неопределенность в выводе о ее нестационарности. Наглядным примером может служить детальное рассмотрение Лимбером и Мэтьюсом [6] ситуации в Квинтете Стефана.

Из сказанного выясняется необходимость применения теоремы вириала к возможно большему числу систем галактик для отыскания

средних численных характеристик их нестационарности. Имеющиеся оценки отношений вириальной массы к светимости f пестрят разнообразием принимаемых значений факторов проекции, величины постоянной Хаббла и других исходных параметров. Чтобы достичь необходимой однородности материала и иметь возможность сопоставлять вириальные отношения f у пар, групп и скоплений галактик, в настоящей работе искомые значения f для всех систем рассчитаны при единообразных предположениях.

Данные о лучевых скоростях галактик брались в основном из каталогов [7, 8]. Неисправленные лучевые скорости Пэйджа, которые содержатся в морфологическом каталоге Воронцова-Вельяминова [9], приводились к центру Галактики так же, как и в [7]. Оценки фотографических звездных величин Холмберга, Хьюмаса, Цвикки и других были взяты в порядке предпочтения, указанном в [9]. В некоторых случаях при отсутствии данных звездная величина галактик оценивалась по эмпирической зависимости „звездная величина — логарифм углового диаметра“, построенной для карт Паломарского атласа. Учет галактического поглощения осуществлялся по формуле $\Delta m = 0^m.24 \cos \epsilon \sec b$; в низких галактических широтах поглощение учитывалось по карте Шарова [10]. Вычисления светимостей систем галактик велись при значении параметра Хаббла $h = 75 \text{ км сек}^{-1} \text{ мпс}^{-1}$ и абсолютной фотографической величине Солнца $M_{\odot} = +5^m.37$. Проекции угловых расстояний между членами в системах галактик были измерены на картах Паломарского атласа.

2. *Определение вириальных масс.* Если система находится в стационарном состоянии, то кинетическая энергия ее T связана с потенциальной энергией U соотношением

$$2T + U = 0. \quad (1)$$

Для системы гравитирующих частиц это выражение может быть записано в виде

$$\sum_{i=1}^N m_i \Delta v_i^2 = \sum_{\text{по всем парам}} \gamma \frac{m_i m_j}{r_{ij}}, \quad (2)$$

где N — число частиц в системе с массами m_i, m_j , пекулярными скоростями относительно центра тяжести Δv_i и взаимными расстояниями r_{ij} , а γ — постоянная тяготения. В системе с большим числом частиц трудно учитывать индивидуальные различия масс, поэтому обычно полагают, что все частицы имеют одинаковые массы. При этом пред-

положении суммарная масса пары галактик, находящаяся из теоремы вириала, может быть записана как

$$\mathfrak{M} = \gamma^{-1} p \rho_{12} \Delta v_r^2, \quad (3)$$

где ρ_{12} — расстояние между компонентами пары в проекции на картинную плоскость, Δv_r — разность лучевых скоростей, а p — фактор проекции, зависящий от характера движений в паре. Для круговых движений Пэйдж [11] получил $p = \frac{32}{3\pi}$, для радиальных — p равно $\frac{16}{\pi}$, а

при случайном характере движений — $\frac{12}{\pi}$ [12]. Заметим, что использованное предположение о равенстве масс у галактик в паре несколько занижает определяемую вириальную массу пары. Если считать, что массы галактик пропорциональны их светимостям, то при средней разности звездных величин у компонентов приводимых ниже пар $\Delta m = 0^m.87$ вириальная масса получается на 17% больше, чем вычисленная по формуле (3).

Для групп галактик при случайном характере движений в них и условии сферической симметрии фактор проекции был вычислен Лимбером и Мэтьюсом [6]. В предположении равенства масс членов группы суммарную вириальную массу группы можно выразить в виде

$$\mathfrak{M} = \gamma^{-1} 3\pi \frac{N}{N-1} \bar{\rho} < \Delta v_r^2 >, \quad (4)$$

где N — число членов группы, $\bar{\rho}$ — среднее гармоническое расстояние между членами группы в проекции на картинную плоскость, а $< \Delta v_r^2 >$ — среднее значение квадрата дисперсии лучевых скоростей.

В случае скоплений галактик удобно пользоваться выражением потенциальной энергии через подсчеты галактик в параллельных полосах одинаковой ширины; тогда при тех же предположениях случайного характера движений, равенства масс членов и сферической симметрии полная масса скопления равна

$$\mathfrak{M} = \gamma^{-1} \frac{3 \Delta y < \Delta v_r^2 >}{\sum_{i=1} \varphi_i^2(y)}, \quad (5)$$

где Δy — ширина полосы подсчетов, а $\varphi_i(y)$ — доля галактик в i -той полосе.

Определяя по формулам (3) — (5) вириальные массы систем галактик и деля их на соответствующие интегральные светимости этих

систем, можно получить средние отношения вириальной массы к светимости f для галактик, входящих в системы, и сопоставить их с индивидуальными оценками f по внутренним движениям звезд и эмиссионных областей в галактиках.

3. *Оценки f для отдельных галактик.* Большинство определений отношения массы к светимости для отдельных галактик сделаны в последние годы Бэрбиджами и их сотрудниками. Сводка оценок f для 42 галактик приведена в табл. 1. В первом столбце приведены номера галактик по каталогу NGC, во втором — оценки отношения массы к светимости в единицах солнечного, далее указаны типы галактик по классификации Хаббла и соответствующие ссылки на работы, в которых вычислены f .

В некоторых случаях, когда с уверенностью можно было судить, что данная галактика принадлежит к группе или скоплению с известными лучевыми скоростями, оценки f были пересчитаны к расстояниям соответствующих систем.

Таблица 1

ОТДЕЛЬНЫЕ ГАЛАКТИКИ

NGC	$f/f_{\odot}$	Тип	Литер.	NGC	$f/f_{\odot}$	Тип	Литер.
55	~ 6	Irr	[13]	3623	15	Sa-b	[13]
157	1.9	Sc	[13]	3646	~ 3.4	Sc	[13]
221	13.5	E	[14]	4111	8.3	E	[22]
224	16	Sb	[13]	4258	~ 7.8	Sb	[25]
253	≈ 9	Sc	[15]	4406	32	E	[26]
300	9	Sc	[16]	4472	18	E	[26]
598	11	Sc	[13]	4486	18	E	[22]
681	3.6	Sa	[17]	4631	5.6	Irr	[27]
1068	1.9	Sb	[18]	4736	0.5	Sb	[28]
1084	0.8	Sc	[19]	4826	4	Sb	[29]
1792	~ 1	Sc	[20]	5005	6.3	Sb	[13]
2146	3	Sc	[13]	5055	2.8	Sb	[13]
2782	7.6	Sa	[21]	5128	6.1	E	[30]
2903	≈ 4.2	Sb	[13]	5248	3	Sc	[13]
3031	20	Sb	[13]	5457	13	Sc	[13]
3034	7.4	Irr	[13]	6503	0.5	Sc	[13]
3115	19	E	[22]	7331	1.2	Sb	[31]
3379	9	E	[23]	7469	0.3	Sa	[32]
3504	≈ 1	SBb	[13]	7479	0.5	SBb	[33]
3521	≈ 4	Sb	[24]	LMC	4	Irr	[13]
3556	1.4	Sc	[13]	SMC	7	Irr	[34]

Как видно, определения f сделаны преимущественно для спиральных галактик. Это обусловлено тем, что у эллиптических галактик

вращение почти незаметно, и массу приходится вычислять из теоремы вириала по дисперсии скоростей звезд в центральных областях галактик. Найденные таким методом оценки f включены в табл. 1 с исправлением к принятым в статье значениям h и $M_{\odot}$.

Из таблицы видно, что для эллиптических галактик отношение массы к светимости в среднем больше, чем для спиральных. Для 8 эллиптических галактик $f_E = (15.5 \pm 1.7) f_{\odot}$, а для 34 спиралей — $f_S = (5.4 \pm 0.9) f_{\odot}$. Различия в f у подтипов спиралей мало заметны и не превышают дисперсии значений f . Если принять даваемую Сандэйджем [35] распространенность галактик разных хаббловских подтипов, то для единичного объема Метагалактики можно вычислить среднее значение $\bar{f} = (8.2 \pm 1.2) f_{\odot}$.

Обращает на себя внимание, что у 25 изолированных галактик среднее отношение массы к светимости составляет $6.1 f_{\odot}$, а у 17 галактик, входящих в группы и скопления, — $9.3 f_{\odot}$. Значительная часть этого эффекта обусловлена большей распространенностью эллиптических галактик в скоплениях и группах, чем в фоне между скоплениями. Однако в отдельности и для эллиптических галактик и для спиральных небольшое различие все же существует.

Рассмотрим теперь вириальные оценки f для пар, групп и скоплений галактик.

4. *Пары галактик.* При отборе пар галактик для вычисления вириальных масс возникает проблема, как отличать физические пары от оптических. Накладывание каких-либо ограничений на взаимные расстояния и разности лучевых скоростей компонентов всегда привносит нежелательную селекцию. Поэтому критерии того, что считать физической парой, обычно основываются на интуитивных вероятностных соображениях. В некоторых случаях указанием на физическую связь компонентов служит наличие между ними перемычек или других пекулярных образований. Приводимый в табл. 2 перечень пар галактик не содержит пар с расстояниями между членами более 200 клс, хотя такие пары несомненно существуют (M 31 и наша Галактика). В списке пар галактик Пэйджа [36] есть кратные системы типа трапеции, которые рассматриваются как несколько пар. В табл. 2 включены только изолированные пары. Для них вклад соседних галактик в потенциальную энергию пары составлял не более 30%. Критерий изолированности не выполнялся только в тех случаях, когда по лучевой скорости соседнюю галактику с уверенностью можно было отнести к переднему фону или когда между членами пары заметна перемычка. Для контроля возможного присутствия оптических пар предпринимался следу-

Таблица 2

ПАРЫ ГАЛАКТИК

NGC (α , δ)	$\frac{L}{L_{\odot}} \cdot 10^{-10}$	$f/f_{\odot}$	Тип	NGC (α , δ)	$\frac{L}{L_{\odot}} \cdot 10^{-10}$	$f/f_{\odot}$	Тип
1	2	3	4	1	2	3	4
274	2.2	3.8	E	3226	1.4	34	S
275			S	3227			E
382			E	3395		5.7	S
383			E	3396			S
(0106) ¹	4.8	14	E	3447	1.7	24	S
(-1536)			E	3447 A			S
545 ²			E	3454		6.0	S
547			E	3455			S
750	4.1	6.4	E	(1055) ¹	0.65	500	E
751			E	(+5702)			E
871			S	3504		1.3	S
877			S	3512			S
1331	7.6	139	E	(1104) ¹	2.1	18	E
1332			E	(+1842)			E
1888			S	(1107)		6.8	S
1889			E	(+2432)			S
2276	0.8	~0	S	3607	8.4	108	E
2300			E	3608			E
2562			S	3769		1.9	S
2563			E	Анон			S
2672	5.1	53	E	3786	0.24	70	S
2673			E	3788			S
2693			E	3799		0.9	S
2694			E	3800			S
2719	4.8	9.8	S	3990	3.4	92	E
Анон			S	3998			E
2831			E	4038		~0	S
2832			E	4039			S
2872	1.6	381	E	(1203) ²	1.2	6.4	E
2875			S	(+3121)			S
2985			S	4105		12	E
3027			S	4106			E
3031	2.8	159	S	(1213) ²	3.5	1.0	E
3034			S	(+2852)			S
(0943)			S	4294		175	S
(+0317)			S	4299			S
(0955) ²	2.8	18	E	4382	2.9	~0	E
(+2906)			E	4394			S
3065			E	4485		12	S
3066			S	4490			S
3166	2.0	7.5	S	3481*	2.2	81	E
3169			S	Анон			E

¹ — Пары в удаленных скоплениях галактик [7].

Таблица 2 (продолжение)

1	2	3	4	1	2	3	4
4527	4.3	109	S	5774	1.7	2.4	S
4536			S	5775			S
4567	1.7	5.3	S	5846	3.9	36	E
4568			S	Анон			E
4631	2.9	42	S	5857	5.6	1.5	S
4656			S	5859			S
4647	5.5	9.6	S	5898	4.6	91	E
4649			E	5903			E
4676 ^{a3}	4.4	3.6	E	(1520) ¹	8.0	25	E
4676 ^b			E	(+2754)			E
4754	2.8	523	E	5929	1.3	12	S
4762			S	5930			E
4782	7.8	50	E	5953	1.8	0.5	E
4783			E	5954			S
4809	0.46	1.8	S	5982	7.8	133	E
4810			S	5985			S
4819	5.9	58	S	6068	4.9	2.9	S
4821			E	Анон			S
4926	4.3	443	E	1181 ^{a3}	4.0	60	E
Анон			E	1181 ^b			E
5005	3.8	25	S	(1627) ⁴	2.9	11	E
5033			S	(+3942)			E
5194	4.6	2.8	S	(1718) ²	4.8	9.0	S
5195			E	(+4907)			E
5257	17	6.1	S	6658	7.9	19	E
5258			S	6661			E
5278	7.8	0.35	S	(1955)	3.5	26	E
5279			S	(+4017)			E
(1345)	4.2	133	S	6962	7.4	43	S
(+3407)			S	6964			E
5363	3.1	110	E	7236 ^s	4.1	~0	E
5364			S	7237			E
5426	5.0	3.8	S	7318 ^a	5.1	151	S
5527			S	7318 ^b			S
5473	3.1	0.4	E	7320	5.0	7.4	S
5485			E	7331			S
5480	3.4	59	S	7576	4.8	217	E
5481			E	7585			S
5506	1.1	227	S	7714	2.6	1.1	S
5507			E	7715			S
5544	1.6	~0	E	(2339)	5.0	114	S
5545			E	(-0354)			S
5574	1.7	3.0	E	7752	11.6	0.2	S
5576			E	7753			S
(1448) ¹	7.6	37	E				
(+2623)			E				

², ³, ⁵ — Лучевые скорости взяты, соответственно, из [38], [39] и [41].

⁴ — Галактики № 14 и № 17 в скоплении Минковского [40].

ющий подсчет. Если бы пары в табл. 2 были оптическими, то их компоненты с большими лучевыми скоростями отличались бы в среднем по звездной величине на $+0^m.18$ от компонентов с меньшими скоростями. Однако вычисленная разность величин составляет $-0^m.11$ с погрешностью $\pm 0^m.15$ из-за дисперсии Δm у компонентов. Этот результат показывает, что примесь оптических пар в действительности невелика.

Результаты определения суммарных светимостей и отношений массы к светимости для 87 пар галактик представлены в табл. 2. В первом столбце указаны номера галактик пар по каталогу NGC; в скобках даны координаты центров пар. Во втором столбце приведены суммарные светимости пар, а в третьем — вириальные отношения массы к светимости. Последний столбец дает типы галактик.

Отношения f вычислялись при факторе проекции, соответствующем случайному характеру движений в парах. Можно было определять среднюю величину f методом Пэйджа [36] по распределению ρ_{12} и Δv , у пар галактик. Но удобнее вычислять индивидуальные значения, чтобы потом группировать пары по представляющим интерес признакам.

Среднее отношение массы к светимости для совокупности пар равно $(62 \pm 8) f_{\odot}$, средняя светимость пары — $(4.2 \pm 0.4) \cdot 10^{10} L_{\odot}$. Пары галактик с E и S0 компонентами имеют $f_E = 72 f_{\odot}$, пары со спиральным населением (S и Irr) — $f_S = 43 f_{\odot}$, а смешанные — $f_{E+S} = 77 f_{\odot}$. Обращает на себя внимание отсутствие большого различия между значениями f_E и f_S , которое получилось у Пэйджа и Ван ден Берга [37]. Причина этого расхождения неясна. Возможно, что здесь играет роль эффект случайной выборки, так как для 18 приводимых в [37] пар f_E , f_{E+S} и f_S близки к значениям Ван ден Берга. Интересно отметить, что отношение вириальной массы к светимости пары в среднем зависит от ее местонахождения; 22 пары, входящие в скопления галактик, имеют $f = 97 f_{\odot}$, 17 пар в группах — $52 f_{\odot}$, а 48 пар между скоплениями и группами — $49 f_{\odot}$. Поскольку во всех трех случаях влияние соседних галактик по критерию изолированности невелико, то причина различия должна быть иная.

Распределение пар галактик по величинам отношений f и характер корреляции ρ_{12} с Δv , теоретически позволяют судить о преимущественных движениях в парах. К сожалению, дисперсия наблюдаемых величин настолько велика, что эти тонкие эффекты совершенно затупеваются.

5. *Тройные системы галактик.* Данные об одиннадцати тройных системах + галактик приведены в табл. 3. Среднее отношение вириаль-

ной массы к светимости у триплетов равно $(85 \pm 28)f_{\odot}$; средняя суммарная светимость — $(4.9 \pm 0.9) \cdot 10^{10} L_{\odot}$. Критерий изолированности был выбран таким же, как и для пар. В нескольких тройных системах две галактики значительно ярче третьей, и их можно рассматривать как пару галактик. В этом проявляется неизбежная неточность класси-

Таблица 3

ТРОЙНЫЕ СИСТЕМЫ ГАЛАКТИК

NGC (α , δ)	$\frac{L}{L_{\odot}} \cdot 10^{-10}$	$f/f_{\odot}$	Тип
3379—84—89	2.4	156	E
(1108+2902) ¹	7.4	20	E
3605—07—08	1.3	190	E
3623—27—28	3.9	22	S
3681—84—86	2.0	352	S
(1144—0334) ¹	5.4	82	S
3991—94—95	3.9	26	S
4270—73—81	4.1	88	E
4478—86—Апол	6.6	18	E
(1648+4535) ¹	5.7	1.0	E
7769—70—71	11.4	1.6	S

Обозначения те же, что и в табл. 2.

кации систем галактик. Заметим, что у пяти триплетов, расположенных в группах и скоплениях, среднее f немного больше, чем у шести остальных ($91 f_{\odot}$ и $81 f_{\odot}$).

6. *Группы галактик.* Отношение массы к светимости определялось только для тех групп, у членов которых известно не менее трех лучевых скоростей. Критерий изолированности был несколько усилен: требовалось, чтобы соседние с группой галактики вносили вклад в потенциальную энергию группы меньше 20% . С целью выяснения возможного влияния галактик фона была определена средняя разность звездных величин для галактик с наибольшей и наименьшей лучевой скоростью. По 29 приведенным в табл. 4 группам средняя разность равна $+0^m.07$, тогда как ожидаемое значение при проектировании галактик фона составляет $+0^m.61 \pm 0^m.20$. Отсюда можно заключить, что влияние эффекта фона незначительно.

¹ — Вычислено по данным [38].

ГРУППЫ ГАЛАКТИК

NGC	$\frac{L}{L_{\odot}} \cdot 10^{-10}$	$f/f_{\odot}$	Тип
68—69—71—72, <i>Анон</i>	10.2	190	E
125—127—128, <i>Анон</i>	11.3	410	E
375—79—80—82—83—84—85—86—88	16.2	188	E
584—596—636	8.6	50	E
736—50—51	14.0	412	E+S
1068—73—87	21.0	708	S
1441—49—51—53	6.5	116	E
2444 <i>a-c-d-e-f-g</i> ¹	2.1	32	E+S
2655—2715—2748	8.5	202	S
2805—14—20, 2458*	3.3	84	S
09 ^h 36 ^m —04 ^s 37' (VV—116) ¹	6.9	22	E+S
2976—3031—34—77	1.1	290	S
3151—58—59—61—63	24.8	236	E
3177—85—90—93	2.4	26	S
3338—46—51—68—77—79—84—89—3412	7.1	466	E+S
3395—96—3413—24—30, 2604*	4.2	12	S
3610—13—19—42	8.5	440	E
4245—74—78—83—4314	2.4	200	E+S
4260—61—70—73—81	8.6	290	E+S
4374—87—4406—35—38—58—61—73—77—79 ²	14	1500	E
4464—67—72—92 ²	9.3	162	E
4621—38—47—49—60 ²	9.8	187	E
5426—27—68—93	9.5	332	S
5473 ³	31	1534	E+S
5806—13—31—38—46 _a —46 _b —50	13.2	996	E
6166 <i>A-B-C</i> ¹	13	168	E
6927—28—30, <i>Анон</i>	6.2	144	E+S
6962—63—64, <i>Анон</i>	11.1	80	E+S
7317—18 _a —18 _b —19	9.3	132	E+S

Обозначения те же, что и в табл. 2. В последнем столбце указан преобладающий тип населения группы.

¹, ⁴ — Вычислено по данным, соответственно, [42] и [40].

² — Оценки f , сделанные в [5], вычислены с неверным значением фактора проекции и с ρ — средним, а не гармоническим средним. В данной таблице приведены исправленные значения.

³ — Чрезвычайно рассеянная группа, рассмотренная нами в [43].

Суммарная светимость группы определялась не только по галактикам с известными лучевыми скоростями, но и по тем, которые можно было причислить к данной группе на основании их яркости и положения.

Из данных табл. 4 следует, что среднее отношение вириальной массы к светимости у групп равно $(331 \pm 96) f_{\odot}$, а средняя суммарная светимость — $(10.5 \pm 1.2) \cdot 10^{10} L_{\odot}$. Группы с преобладающим эллиптическим населением ($E:S > 2$) имеют в среднем $f_E = 388 f_{\odot}$, группы со смешанным населением — $330 f_{\odot}$, а группы, где преобладают спирали ($S:E > 2$), — только $236 f_{\odot}$. Как и в случае пар, для групп галактик обнаруживается зависимость отношения массы к светимости от положения относительно системы более высокого порядка. У групп, находящихся в скоплениях, $\bar{f} = 443 f_{\odot}$, у прочих — $302 f_{\odot}$.

7. Скопления галактик. В литературе известны оценки отношения вириальной массы к светимости всего для 6 скоплений галактик. Нами вычислены f еще для 9 скоплений. Результаты представлены в табл. 5. В первом столбце даны названия скоплений или координаты

Таблица 5

СКОПЛЕНИЯ ГАЛАКТИК

α, δ	$L/L_{\odot}$	$f/f_{\odot}$	Тип	n	Литер.
01 ^h 20 ^m +33°00'	$4.2 \cdot 10^{11}$	258	E+S	3	[38]
0123—0138	$3.9 \cdot 10^{11}$	300	E	41	
0316+4120	$1.0 \cdot 10^{12}$	461	E	7	
0818+2114	$2.4 \cdot 10^{11}$	1156	E+S	5	
Ursa Majoris	$7.1 \cdot 10^{11}$	623	S	56	[37]
1145+5559	$7.0 \cdot 10^{11}$	246	E+S	4	
Canes Venatici	$1.5 \cdot 10^{11}$	300	S	17	[5]
Virgo	$1.2 \cdot 10^{12}$	668	E+S	90	
Virgo Southen	$3.2 \cdot 10^{11}$	344	S	12	[4]
1257+2814	$4.9 \cdot 10^{12}$	1020	E	50	
1520+2754	$5.3 \cdot 10^{12}$	1580	E	8	[44]
1603+1755	$1.8 \cdot 10^{12}$	556	S	15	
1627+3938	$2.0 \cdot 10^{12}$	755	E	22	[44]
2308+0720	$8.5 \cdot 10^{11}$	598	E	3	
2318+0755	$2.0 \cdot 10^{11}$	182	E+S	5	[44]
Сверхскопление					
Hercules	$1.5 \cdot 10^{13}$	1270	E+S	6	

их центров. Во втором и третьем — интегральные светимости и вириальные отношения массы к светимости. В четвертом столбце указан преобладающий тип населения. Индекс n означает число членов в скоплении с известными лучевыми скоростями. В последнем столбце содержится ссылка на литературу, в которой определялось f .

Интегральные светимости у далеких скоплений определялись по прокалиброванной зависимости между звездными величинами и угловыми диаметрами галактик на картах Паломарского атласа. Сравнение полученных таким способом интегральных светимостей Coma и Virgo с данными других авторов говорит о достаточно хорошем согласии оценок. Интервал звездных величин, в котором определены светимости членов скоплений, составлял в среднем $4^m \pm 1^m$ от ярчайшего члена скопления. Пример скопления Virgo [5] показывает, что изменение интервала подсчетов на 1^m увеличивает вириальную массу и интегральную светимость таким образом, что их отношение остается практически постоянным.

Ввиду сильной зависимости f от светимости скопления имело смысл при вычислении средних значений f разбить скопления на две группы. К первой относились скопления с $L < 10^{12} L_{\odot}$. У девяти таких скоплений $\bar{f} = (446 \pm 102) f_{\odot}$ и $\bar{L} = (4.3 \pm 0.8) \cdot 10^{11} L_{\odot}$. Для шести богатых скоплений $\bar{f} = (841 \pm 168) f_{\odot}$ и $\bar{L} = (2.7 \pm 0.8) \cdot 10^{12} L_{\odot}$. При классификации системы галактик как небольшого скопления или как богатой группы были привлечены соображения удобства расчета потенциальной энергии; в тех случаях, когда проще сделать подсчеты галактик в параллельных полосах, нежели измерять взаимные расстояния между галактиками, система (например Pegasus) классифицировалась как бедное скопление.

Подобно парам и группам галактик скопления показывают зависимость среднего отношения массы к светимости от типа населения. В скоплениях с преобладающим эллиптическим населением $f_E = 786 f_{\odot}$, со смешанным населением — $f_{E+S} = 502 f_{\odot}$, а со спиральным — $f_S = 456 f_{\odot}$.

* Пары, группы и скопления галактик обнаруживают любопытное постоянство среднего отношения f_E/f_S . Для пар $f_E/f_S = 1.68$, для групп — 1.65 и для скоплений — 1.72. Заметим, что значения f_E/f_S у пар по Пэйджу и Ван ден Бергу сильно отличаются от приведенных. Примечательно и другое совпадение. Среднее отношение f для индивидуальных галактик, входящих в группы и скопления, к f остальных равно 1.52, для пар это отношение — 1.53, а для групп, входящих и не входящих в скопления, — 1.48.

В табл. 5 включено одно сверхскопление галактик. Вириальная масса его вычислялась по дисперсии лучевых скоростей скоплений относительно средней для всей сверхсистемы. Было бы желательно измерить лучевые скорости и определить отношение f для других сверхскоплений.

8. *Отношение вириальной массы к светимости для Метагалактики.* Применение теоремы вириала к заведомо нестационарной системе носит формальный характер. В случае пар, групп и скоплений галактик мы заранее не знаем стационарны или нет эти системы. Сама операция применения теоремы вириала позволяет выяснить справедливость исходной предпосылки. Из очевидного равенства

$$2T/|U| = f_v/f_n, \quad (6)$$

где f_n — нормальное отношение массы к светимости у галактик системы (определенное по внутренним движениям в них), а f_v — вириальное отношение, на основании вычисленной правой части можно судить о степени нестационарности системы или величине кинетического избытка в ней. Помня такую возможность, определим вириальное отношение массы к светимости для Метагалактики.

Мысленно вырежем в макрооднородном эвклидовом пространстве сферу радиуса r_0 . Потенциальная энергия ее равна

$$U = -\frac{3}{5} \gamma \frac{\mathfrak{M}^2}{r_0}, \quad (7)$$

где $\mathfrak{M}$ — суммарная масса галактик, расположенных внутри сферы. При линейной зависимости между скоростью и расстоянием галактик $v = hr$ удвоенная кинетическая энергия галактик в том же объеме равна

$$2T = \mathfrak{M} \frac{\int_0^{r_0} v^2(r) r^2 dr}{\int_0^{r_0} r^2 dr} = \frac{3}{5} \mathfrak{M} h^2 r_0^2. \quad (8)$$

Подставляя (7), (8) в теорему вириала, для суммарной вириальной массы галактик получаем выражение

$$\mathfrak{M} = \gamma^{-1} h^2 r_0^3. \quad (9)$$

Обозначим светимость единицы объема Метагалактики через $n\bar{L}$, тогда отношение вириальной массы к светимости для Метагалактики записывается в виде

$$f_{\text{vir}} = 3h^2/4 \pi \gamma n\bar{L}. \quad (10)$$

Как и следовало ожидать, $f_{\text{мг}}$ не зависит от размеров вырезаемой сферы и является определенной динамической характеристикой Метагалактики. Воспользовавшись космологическим понятием критической плотности $\rho_k = 3h^2/8\pi$, (10) можно выразить как

$$f_{\text{мг}} = \frac{2\rho_k}{\rho} f_n, \quad (11)$$

где ρ — наблюдаемая плотность вещества в Метагалактике. Влиянием дисперсии лучевых скоростей относительно хаббловского закона и неоднородностью распределения галактик при достаточно больших объемах можно пренебречь (тем более, что эти эффекты входят в теорему вириала с разными знаками).

Для вычисления $f_{\text{мг}}$ требуется знать среднюю светимость единичного объема Метагалактики $\overline{nL}$. Однако из наблюдений эта величина непосредственно не определяется. Наблюдения позволяют вычислить следующие величины. Статистическая зависимость между звездными величинами и лучевыми скоростями галактик фона $m_{\text{ф}} = 5 \lg v - 4^{\text{м}}24$ [7] дает среднюю абсолютную величину галактик $\overline{M} = -19^{\text{м}}87$. Соответствующая ей светимость средней галактики $\tilde{L}$ равна $1.24 \cdot 10^{10} L_{\odot}$. Если принять, что у всех галактик $M = \overline{M}$, то подсчеты галактик до разных звездных величин или угловых диаметров позволяют определить число таких галактик в единице объема n_0 . Из подсчетов [45] получается $n_0 = 1.95 \cdot 10^{-2}$ галактик/мпс³. Отношение искомой величины $\overline{nL}$ к произведению находимых из наблюдений $n_0 \tilde{L}$ не сильно отличается от единицы. По определению n_0 и $\tilde{L}$, оно равно

$$F = \frac{\overline{nL}}{n_0 \tilde{L}} = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} 10^{-0.4M} \varphi(M) dM}{10^{0.2} \int_{-\infty}^{\infty} M \varphi(M) dM \cdot \int_{-\infty}^{\infty} 10^{-0.6M} \varphi(M) dM}, \quad (12)$$

где $\varphi(M)$ — функция светимости галактик.

Из-за неточностей подсчетов и возможной погрешности $\Delta m = \pm 0^{\text{м}}3$ ошибка в оценке произведения $n_0 \tilde{L}$ не превышает $\pm 25\%$. Большая неопределенность кроется в значении F . Чтобы определить F , нужно задаться какой-то функцией светимости галактик. Расчет, основывающийся на дисперсии точек относительно зависимости $m_{\text{ф}}(v)$ [7], дает $F = 0.604$. При $\varphi(M) = \text{const} \cdot 10^{s(M - M_{\text{max}})}$ в (12) получаются

расходящиеся интегралы. Если ограничиться интервалом в пять звездных величин от $M_{\max}$ то для $s=0.2$ (функция светимости Цвикки) $F=0.534$, для $s=0.78$ (начальный участок функции светимости Сома [46]) $F=1.17$, для $s=0.6$ (когда $\varphi(M)$ выглядит как подсчеты галактик в однородном фоне $N(m)$) $F=0.915$. Будем считать, что F заключено в пределах между единицей и 0.6, тогда значение $f_{\text{мг}}$ будет находиться в интервале $(1290 \div 2140) f_{\odot}$. По-видимому это реальная точность, с которой известны отношения $f_{\text{мг}}$ и $2T/|U|$ для Метагалактики.

9. *Обсуждение результатов. Выводы.* Рис. 1 воспроизводит средние значения светимостей и отношений вириальной массы к светимости (с соответствующими дисперсиями) для различных систем галактик. Двумя горизонтальными прямыми отмечена вероятная полоса значений f Метагалактики. Принято, что области диаметром более 100 мпс ($L \geq 1.1 \cdot 10^{14} L_{\odot}$) уже в достаточной степени однородны. Анализ рис. 1 позволяет сделать следующие заключения. Если бы все системы галактик были стационарны, то они располагались бы вдоль горизонтальной прямой, проходящей через среднее значение f отдельных галактик. В действительности существует монотонное увеличение отношения f с ростом светимости (или населенности) системы. Следовательно у всех систем галактик $2T/|U| > 1$, и степень нестационарности в среднем увеличивается со светимостью системы. Плавная кривая, которую можно провести через все усредненные значения f , непрерывно переходит в значение f для Метагалактики. В этом мы видим подтверждение мысли В. А. Амбарцумяна [47], что имеется некоторая связь между явлением нестационарности систем галактик и расширением Метагалактики. Обратившись к данным табл. 2—5, можно заметить, что ни одно индивидуальное значение f у пар, триплетов, групп и скоплений галактик не превышает среднего значения f Метагалактики; последнее является как бы потолком оценок f у систем галактик.

Представляет интерес выяснить, какой процент систем галактик удовлетворяет условию стационарности. Будем считать, что стационарные системы имеют $0 < f \leq 10 f_{\odot}$. Среди пар галактик в этом интервале значений f находится 38 систем. Статистический расчет показывает, что около 10 из них попали в интервал из-за соответствующей ориентации относительно луча зрения. Таким образом, стационарные пары составляют не более 32% от общего числа. У тройных систем галактик процент стационарных всего 18%, среди групп — < 3%, а среди скоплений галактик, по-видимому, вообще нет стационарных образований.

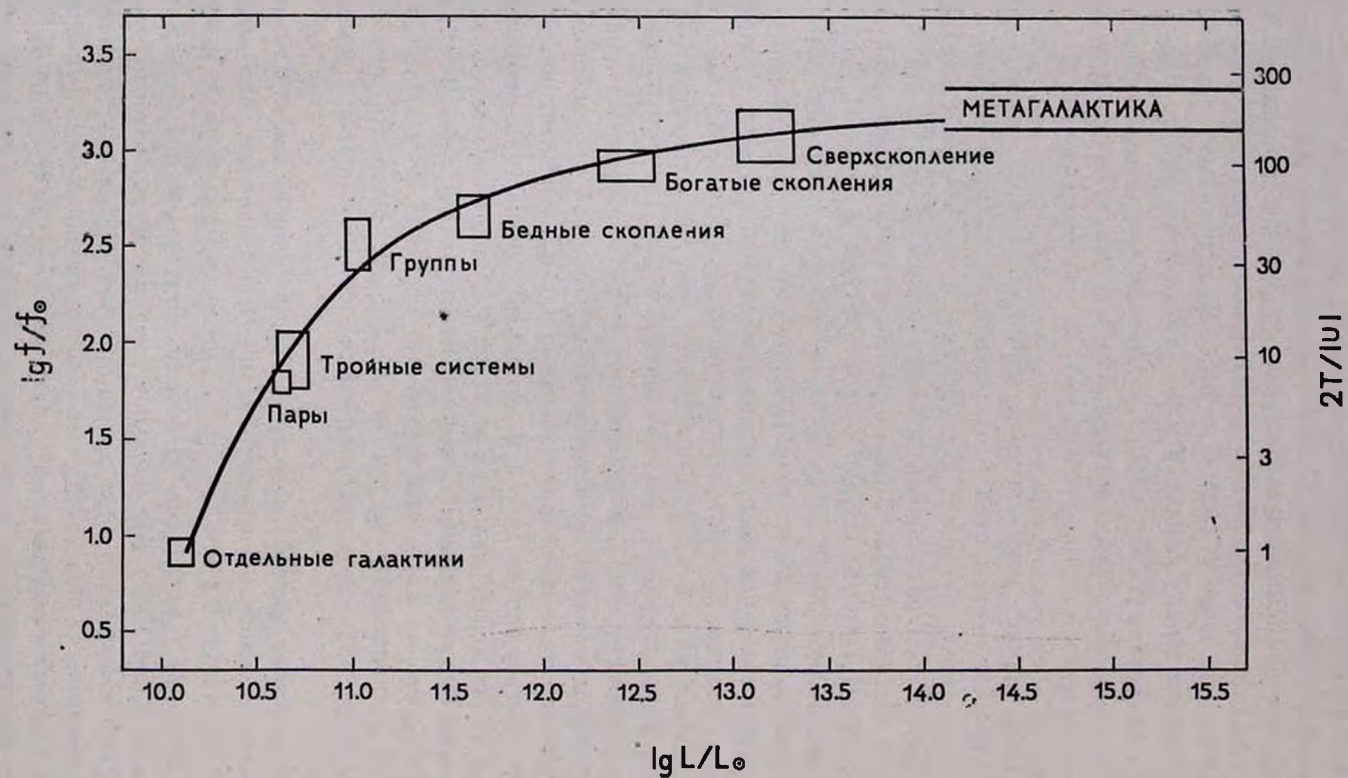


Рис. 1.

В заключение остановимся на возможности объяснения больших значений f с точки зрения присутствия в системах галактик скрытой материи. Нетрудно убедиться, что однородный метагалактический фон невидимого вещества, часто допускаемый из космологических соображений, при любой плотности не может обеспечить стационарность и пар и скоплений галактик. Требуется предполагать, что плотность скрытого вещества возрастает при переходе от скоплений к группам и парам галактик (грубо говоря, пропорционально плотности видимого вещества в степени $3/4$). Но для пар галактик эта плотность должна быть столь велика, что масса темного вещества в объеме средней галактики превышала бы собственную массу звездного вещества в ней. Более того, значительная дисперсия отношений f у систем галактик приводила бы к очень запутанной картине распределения скрытого вещества.

В этой связи уместно сослаться на пример известной группы галактик, в которую входят М 81 и М 82. Расхождение между вириальным и нормальным отношением массы к светимости носит здесь конкретный характер. Вириальное отношение f у группы равно $290 f_{\odot}$. Основная доля светимости группы приходится на М 81 и М 82. Рассматривая их как пару, получаем $f = 232 f_{\odot}$. Но для М 81 и М 82 индивидуальные оценки f составляют всего $20 f_{\odot}$ и $7.4 f_{\odot}$. Чтобы обеспечить стационарность системы, невидимому веществу пришлось бы приписать плотность порядка $10^{-23} \text{ г см}^{-3}$. Тогда невидимое вещество намного увеличивало бы индивидуальные значения f у М 81 и М 82, что в действительности не наблюдается. С другой стороны, недавно обнаруженные взрывные процессы в ядре М 82 хорошо гармонируют с общими представлениями о нестационарности систем галактик.

Автор глубоко признателен акад. В. А. Амбарцумяну за обсуждение результатов работы.

Бюраканская астрофизическая
обсерватория

THE VIRIAL MASS-LUMINOSITY RATIO AND THE INSTABILITY OF THE DIFFERENT SYSTEMS OF GALAXIES

I. D. KARACHENTSEV

The virial mass-luminosity ratio f for 87 pairs, 11 triplets, 29 groups and 15 clusters of galaxies are determined.

A conclusion is made to average the increase of a degree of the systems of instability with their luminosity increase.

The virial mass-luminosity ratio for Metagalaxy is calculated. An indication is obtained about the community of instability phenomena of the systems of galaxies and the expansion of Metagalaxy.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. В. А. Амбарцумян, Изв. АН АрмССР, сер. физ.-мат., 11, 9, 1958.
2. Proceedings of the conference on instability of systems of galaxies, A. J., 66, 10, 1961.
3. G. de Vaucouleurs, Ap. J., 131, 585, 1960.
4. И. Д. Караченцев, Изв. АН АрмССР, сер. физ.-мат., 17, 103, 1964.
5. И. Д. Караченцев, Астрофизика, 1, 303, 1965.
6. D. N. Limber, W. G. Mathews, Ap. J., 132, 286, 1960.
7. M. L. Humason, N. U. Mayall, A. R. Sandage, A. J., 61, 97, 1956.
8. N. U. Mayall, A. de Vaucouleurs, A. J., 67, 363, 1962.
9. Б. А. Воронцов-Вельяминов, А. А. Красножурская, Морфологический каталог галактик, I, МГУ, 1962. Б. А. Воронцов-Вельяминов, В. П. Архипова, II, МГУ, 1964. Б. А. Воронцов-Вельяминов, В. П. Архипова, III, МГУ, 1963.
10. А. С. Шаров, Астрон. ж., 40, 900, 1963.
11. Th. Page, Ap. J., 116, 63, 1952.
12. В. А. Амбарцумян, Изв. АН АрмССР, сер. физ.-мат., 9, 23, 1956.
13. Transactions I.A.U., XIV, 507, 1961, Academic press, London and New York.
14. E. M. Burbidge, G. R. Burbidge, R. A. Fish, Ap. J., 133, 393, 1961; 133, 1092, 1961.
15. E. M. Burbidge, G. R. Burbidge, K. H. Prendergast, Ap. J., 126, 339, 1962.
16. G. de Vaucouleurs, J. Page, Ap. J., 136, 107, 1962.
17. E. M. Burbidge, G. R. Burbidge, K. H. Prendergast, Ap. J., 142, 154, 1965.
18. E. M. Burbidge, G. R. Burbidge, K. H. Prendergast, Ap. J., 130, 26, 1959.
19. E. M. Burbidge, G. R. Burbidge, K. H. Prendergast, Ap. J., 137, 376, 1963.
20. V. C. Rubin, E. M. Burbidge, G. R. Burbidge, Ap. J., 140, 80, 1964.
21. Problems of extra-galactic research, I. A. U. symp. № 15, The MacMillan company, New York, 1962, 103.
22. A. Poveda, Ap. J., 134, 910, 1961.
23. R. H. Miller, K. H. Prendergast, Ap. J., 136, 713, 1962.
24. E. M. Burbidge, G. R. Burbidge, D. J. Crampton, V. C. Rubin, K. H. Prendergast, Ap. J., 139, 1058, 1964.
25. E. M. Burbidge, G. R. Burbidge, K. H. Prendergast, Ap. J., 138, 375, 1963.
26. R. A. Fish, Ap. J., 139, 284, 1964.
27. G. de Vaucouleurs, A. de Vaucouleurs, Ap. J., 137, 363, 1963.
28. E. M. Burbidge, G. R. Burbidge, Ap. J., 133, 726, 1961.
29. V. C. Rubin, E. M. Burbidge, G. R. Burbidge, K. H. Prendergast, Ap. J., 141, 835, 1965.
30. E. M. Burbidge, G. R. Burbidge, Ap. J., 129, 271, 1959.
31. V. C. Rubin, E. M. Burbidge, G. R. Burbidge, D. J. Crampton, Ap. J., 141, 759, 1965.
32. E. M. Burbidge, G. R. Burbidge, K. H. Prendergast, Ap. J., 137, 1022, 1963.
33. E. M. Burbidge, G. R. Burbidge, K. H. Prendergast, Ap. J., 132, 654, 1960.

34. *G. de Vaucouleurs*, Problems of extragalactic research, I. A. U. symposium № 15, The MacMillan company, New York, 1962, 15.
35. *A. R. Sandage*, Ap. J., 133, 355, 1961.
36. *Th. Page*, Ap. J., 132, 910, 1960.
37. *S. van den Bergh*, A. J., 66, 566, 1961.
38. *F. Zwicky, M. L. Humason*, Ap. J., 132, 627, 1960; 133, 794, 1961; 139, 269, 1964.
39. *E. M. Burbidge, G. R. Burbidge*, Ap. J., 133, 726, 1961; 130, 629, 1959.
40. *R. Minkowski*, A. J., 66, 558, 1961.
41. *J. L. Greenstein*, Ap. J., 135, 679, 1962.
42. *E. M. Burbidge, G. R. Burbidge*, Ap. J., 130, 12, 1959; 134, 248, 1961.
43. *И. Д. Караченцев*, ДАН АрмССР (в печати).
44. *И. Д. Караченцев*, Изв. АН АрмССР, сер. физ.-мат., 17, 109, 1964.
45. *И. Д. Караченцев*, ДАН СССР, 158, 815, 1964.
46. *G. O. Abell*, Problems of extragalactic research, I. A. U. symp. № 15, The MacMillan company, New York, 1962, 213.
47. *В. А. Амбарцумян*, Вопросы космогонии, 8, М., 1962, 3.