

АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

АСТРОФИЗИКА

ТОМ 10

НОЯБРЬ, 1974

ВЫПУСК 4

О ПОВЕРХНОСТНОЙ ЯРКОСТИ ГАЛАКТИК С ЭМИССИОННЫМИ ЛИНИЯМИ

М. А. АРАКЕЛЯН

Поступила 17 марта 1974

Произведено статистическое исследование распределения средних поверхностных яркостей галактик с эмиссионными линиями. Показано, что относительное количество таких галактик существенно убывает с уменьшением средней поверхностной яркости. Аналогичное явление имеет место и для компактных галактик Цвикки. Эти результаты интерпретируются как следствие того, что относительная продолжительность фазы, в которой возможно образование эмиссионных линий, коррелирует с поверхностной яркостью галактик.

В статье [1] было произведено сравнение средних поверхностных яркостей галактик Маркаряна [2—7] и „нормальных“ галактик. Для оценки поверхностных яркостей тех и других объектов использовались размеры, приведенные в Морфологическом каталоге галактик (МКГ) Б. А. Воронцова-Вельяминова и соавторов [8—11], и видимые величины, приведенные в каталоге галактик и скоплений галактик (КГСГ) Ф. Цвикки и соавторов [12—17]. „Нормальные“ галактики были представлены примерно ста яркими объектами, поверхностные яркости которых детально исследовались ранее Ж. Эдманном, Н. Эдманн и Ж. де Вокулером [18].

В [1] был сделан вывод, что в среднем галактики Маркаряна по поверхностной яркости примерно в два раза превосходят нормальные галактики.

В настоящей заметке делается попытка оценить относительное количество галактик с эмиссионными линиями в различных интервалах значений поверхностной яркости и показать, что эта величина существенно уменьшается с уменьшением поверхностной яркости.

1. *Галактики с эмиссионными линиями.* Для оценки относительного количества галактик с эмиссионными линиями в различных интервалах поверхностной яркости были отобраны все объекты в области неба с $6^{\text{h}}48^{\text{m}} < a < 14^{\text{h}}12^{\text{m}}$ и $41^{\circ} < b < 77^{\circ}$, для которых в МКГ содержатся внешние размеры, а в КГСГ — видимые величины. Эта область неба была выбрана потому, что согласно [5] она целиком покрыта обзором Маркаряна.

Для 1918 отобранных объектов были вычислены средние поверхностные яркости с квадратной секунды дуги в системе, использованной в [1], т. е.

$$B = m_p - 0.25 \operatorname{cosec} b'' + 2.5 \lg \frac{\pi ab}{4},$$

где m_p — видимая величина галактики в системе КГСГ, b'' — галактическая широта, a и b — большая и малая оси галактики в секундах дуги по МКГ. Распределение галактик по параметру B представлено во второй строке табл. 1.

Таблица 1

B	19.1—20.0	20.1—21.0	21.1—22.0	22.1—23.0	23.1—24.0	24.1—25.0	25.1—26.0	26.1—27.0
N	5	114	692	785	257	54	10	1
n	3	17	47	24	4	0	0	0
n/N	0.60	0.15	0.07	0.03	0.02	0	0	0

Из этих галактик 70 содержатся в списках [2—7], а для 25 других наличие эмиссионных линий известно из других источников*. Поскольку в спектрах практически всех галактик Маркаряна содержатся эмиссионные линии, то эту совокупность мы будем называть галактиками с эмиссионными линиями. Заметим, что в группу галактик с эмиссионными линиями не включены объекты, содержащие в своих спектрах лишь дублет $\lambda 3727$, поскольку известно, что этот дублет довольно часто наблюдается в галактиках, не обладающих иными особенностями. Следует обратить внимание на то обстоятельство,

* Разумеется, в рассмотренной области неба как число галактик вообще, так и число галактик Маркаряна значительно больше. Однако многие из них не могли быть включены в статистику, т. е. для них в МКГ не приведены внешние размеры, или в КГСГ не приведены видимые величины. При этом относительное количество не вошедших в МКГ галактик Маркаряна по причине их сравнительно малых размеров должно быть несколько больше.

что число спиралей среди галактик с эмиссионными линиями крайне незначительно. Следовательно, в случае большинства галактик эмиссия не может быть приписана свечению областей III.

Распределение 95 галактик с эмиссионными линиями по параметру B представлено в третьей строке табл. 1, а относительное количество этих галактик — в четвертой. Как видим, относительное количество галактик с эмиссионными линиями монотонно убывает с уменьшением поверхностной яркости.

Средняя поверхностная яркость и ее дисперсия для галактик с эмиссионными линиями равны соответственно

$$\langle B_{em} \rangle = 21.7, \quad \sigma^2(B_{em}) = 0.66.$$

Эти значения находятся в хорошем согласии с результатами, полученными в [1]. Аналогичные величины для остальных 1823 объектов, которые мы будем называть галактиками без эмиссионных линий*, равны

$$\langle B_{abs} \rangle = 22.3, \quad \sigma^2(B_{abs}) = 0.84.$$

Полученное среднее значение поверхностной яркости несколько меньше значения, полученного для нормальных галактик в [1]. Это, по-видимому, обусловлено тем, что в выборке, рассмотренной в настоящей работе, имеется большое число галактик, морфологически сходных с галактиками Маркаряна. Кроме того, в принципе, поверхностная яркость этих галактик может быть несколько выше, чем было получено в [1] по нормальным галактикам, благодаря тому, что среди них имеется определенное количество невыявленных галактик с эмиссионными линиями.

Рассмотрим далее результаты, получаемые после учета влияния наклона галактик. С помощью рассмотренной в [1] выборки нормальных галактик может быть получено следующее соотношение между величиной B , отношением осей галактик и поверхностной яркостью в системе Холмберга (\bar{B})

$$\bar{B} = B + 0.22 \frac{a}{b} + 0.73.$$

В таблице 2 представлено распределение рассматриваемых галактик по параметру \bar{B} .

* Для подавляющего большинства этих галактик спектральные наблюдения отсутствуют. Поэтому приведенное название и индекс „abs“ являются условными.

Таблица 2

\bar{B}	20.1—21.0	21.1—22.0	22.1—23.0	23.1—24.0	24.1—25.0	25.1—26.0	26.1—27.0	27.1—28.0
N	4	78	543	818	370	87	15	3
n	2	12	48	29	2	2	0	0
n/N	0.50	0.15	0.09	0.04	0.01	0.02	0	0

Среднее значение и дисперсия поверхностной яркости в системе \bar{B} для галактик с эмиссионными линиями равны, соответственно,

$$\langle \bar{B}_{em} \rangle = 22.8, \quad \sigma^2(\bar{B}_{em}) = 0.57,$$

а для галактик без эмиссионных линий

$$\langle \bar{B}_{abs} \rangle = 23.5, \quad \sigma^2(\bar{B}_{abs}) = 0.86.$$

Таким образом, как и в [1], учет наклона ведет к небольшому возрастанию разности между средними значениями поверхностных яркостей галактик с эмиссионными линиями и галактик без эмиссионных линий. Это является следствием того, что видимое (а следовательно и истинное) сжатие галактик с эмиссионными линиями несколько меньше.

В обеих системах средние значения поверхностных яркостей галактик с эмиссионными линиями с высокой степенью статистической значимости отличаются от поверхностных яркостей галактик без эмиссионных линий.

2. *Компактные галактики Цвикки.* Как известно, Ф. Цвикки [19] опубликовал каталог, содержащий более 3700 компактных галактик. Напомним, что Цвикки называет галактику компактной, если она, или некоторая ее часть, обладает фотографической, визуальной или болометрической поверхностной яркостью, превышающей 20-ю звездную величину с квадратной секунды дуги. Такое определение компактности, очевидно, допускает возможность включения в каталог [19] множества галактик со средней поверхностной яркостью, значительно меньшей, чем приведенное предельное значение.

Спектральные наблюдения галактик Цвикки, произведенные У. Л. У. Сарджентом [20], показали, что в спектрах заметной доли этих объектов (преимущественно голубых) присутствуют эмиссионные линии, а некоторые проявляют спектральные особенности ядер галактик Сейферта. Следовательно, голубые компактные галактики Цвикки близки по своей физической природе к галактикам Маркаряна.

Поэтому представляет интерес вычисление средних поверхностных яркостей галактик Цвикки и сопоставление их с другими объектами, в частности, с галактиками Маркаряна.

Каталог [19] содержит преимущественно слабые объекты, и поэтому нам удалось выделить лишь 318 одиночных галактик, для которых в МКГ приведены размеры. Средняя поверхностная яркость и дисперсия для этих объектов равны, соответственно,

$$\langle B^{Zw} \rangle = 22.1, \quad \sigma^2(B^{Zw}) = 1.13.$$

В системе \bar{B} имеем

$$\langle \bar{B}^{Zw} \rangle = 23.2, \quad \sigma^2(\bar{B}^{Zw}) = 1.26.$$

Как видим, отличие этих параметров от значений, соответствующих всем галактикам области, рассмотренной в предыдущем разделе

($\langle B \rangle = 22.3$, $\langle \bar{B} \rangle = 23.5$), незначительно. Наблюдаемая же разница может быть приписана тому, что относительное количество объектов с эмиссионными линиями среди компактных галактик значительно больше, чем среди случайно взятых. (Как видно из нижеследующего, объекты с эмиссионными линиями составляют примерно 45 процентов компактных галактик Цвикки).

Мы можем, таким образом, констатировать, что отличие средних поверхностных яркостей галактик Цвикки от средних поверхностных яркостей случайно взятых галактик заметно меньше, чем различие между поверхностными яркостями галактик с эмиссионными линиями и без них.

Обратимся теперь к галактикам, для которых имеются спектральные данные. Как отмечалось, спектральные наблюдения части галактик Цвикки произведены Сарджентом. Из 125 исследованных Сарджентом объектов в нашей выборке присутствуют лишь 29. Для остальных в МКГ необходимые данные не содержатся. Однако в литературе имеются результаты спектральных наблюдений еще для 59 из рассмотренных в настоящей заметке 318 галактик Цвикки. Средняя поверхностная яркость и дисперсия для 88 объектов с известными спектральными данными равны, соответственно,

$$\langle B_{sp}^{Zw} \rangle = 21.8, \quad \sigma^2(B_{sp}^{Zw}) = 0.91.$$

Рассмотрим теперь объекты, в спектрах которых содержатся эмиссионные линии водорода. Для 41 подобного объекта имеем

$$\langle B_{em}^{Zw} \rangle = 21.6, \quad \sigma^2(B_{em}^{Zw}) = 0.56.$$

Наконец, для 47 объектов, в спектрах которых эмиссионных линий нет или присутствует лишь дублет λ 3727, имеем

$$\langle B_{abs}^{Zw} \rangle = 22.0, \quad \sigma^2(B_{abs}^{Zw}) = 1.16.$$

Распределение этих 88 галактик и галактик с эмиссионными линиями по параметру B представлено в табл. 3.

Таблица 3

B	19.9–20.8	20.9–21.8	21.9–22.8	22.9–23.8	23.9–24.8
N	16	28	32	11	1
n	6	21	12	2	0
n/N	0.38	0.75	0.38	0.18	0

Приведем, наконец, аналогичные числа, полученные после учета наклона галактики. Для 88 галактик с известными спектральными данными

$$\langle \bar{B}_{sp}^{Zw} \rangle = 22.9, \quad \sigma^2(\bar{B}_{sp}^{Zw}) = 1.00,$$

а для галактик с эмиссионными линиями и без эмиссионных линий, соответственно,

$$\langle \bar{B}_{em}^{Zw} \rangle = 22.7, \quad \sigma^2(\bar{B}_{em}^{Zw}) = 0.64,$$

$$\langle \bar{B}_{abs}^{Zw} \rangle = 23.1, \quad \sigma^2(\bar{B}_{abs}^{Zw}) = 1.25.$$

Распределение этих 88 галактик по параметру \bar{B} приведено в табл. 4.

Таблица 4

\bar{B}	20.9–21.8	21.9–22.8	22.9–23.8	23.9–24.8	24.9–25.8
N	14	29	28	15	2
n	6	20	10	5	0
n/N	0.43	0.69	0.36	0.33	0

Как видим, относительное количество объектов с эмиссионными линиями среди компактных галактик Цвикки, имеющих сравнительно высокие средние поверхностные яркости, очень велико — при $B \leq 21.8$ и $\bar{B} \leq 22.8$ объекты с эмиссионными линиями составляют примерно 60% всех галактик Цвикки.

3. *Голубые галактики Аро.* Первый список голубых галактик, содержащий 44 объекта, был опубликован еще в 1956 г. Г. Аро [21], отметившим и высокую поверхностную яркость этих галактик. Наблюдения Аро и других авторов показали, что в спектрах подавляющего большинства голубых галактик присутствуют эмиссионные линии. Поэтому и эта выборка иллюстрирует тот факт, что наличие эмиссионных линий коррелирует с высокой средней поверхностной яркостью.

После исключения двойных объектов остаются лишь 24 галактики Аро, для которых имеются данные, позволяющие вычислить средние поверхностные яркости в системах, рассматриваемых в настоящей заметке. Среднее значение и дисперсия поверхностной яркости этих галактик равны, соответственно,

$$\langle B_H \rangle = 21.4, \quad \sigma^2(B_H) = 0.58.$$

В системе \bar{B} имеем

$$\langle \bar{B}_H \rangle = 22.5, \quad \sigma^2(\bar{B}_H) = 0.75.$$

Таким образом, средняя поверхностная яркость голубых галактик Аро практически совпадает со средней поверхностной яркостью компактных галактик Цвикки, содержащих в своих спектрах эмиссионные линии.

4. *Заключение.* Спектральное исследование галактик Аро и Маркаряна показало ранее, что в спектрах голубых галактик (и галактик с ультрафиолетовым континуумом) в подавляющем большинстве случаев наблюдаются эмиссионные линии. С другой стороны, результаты, приведенные в [1] и в настоящей заметке, свидетельствуют о том, что наличие эмиссионных линий, как правило, коррелирует с относительно высокой поверхностной яркостью в фотографической области спектра. Аналогичная картина наблюдается и при рассмотрении компактных галактик Цвикки. Однако, как это легко видеть из результатов разделов 1 и 2, даже при самых высоких поверхностных яркостях существует множество объектов, которые не были занесены в число галактик с ультрафиолетовым континуумом. Например, из объектов с $B \leq 20.5$ лишь треть была отнесена к галактикам с ультрафиолетовым континуумом.

Полученные результаты в принципе допускают две интерпретации. Предполагая, что поверхностная яркость может заметно измениться в течение времени, существенно меньшего, чем возраст галактики, можно заключить, что присутствие эмиссионных линий является свойством,

характерным для фазы высокой поверхностной яркости, которую проходят все галактики или большинство их. Другая возможность состоит в том, что поверхностная яркость галактик меняется медленно, а эмиссионные линии образуются преимущественно в галактиках высокой поверхностной яркости или присутствуют в них более продолжительное время.

Для выбора между этими двумя возможностями очень важно соотношение между характерным временем изменения поверхностной яркости (τ_b) и характерным временем изменения интенсивности спектральных линий (τ_{em}). Представляется более правдоподобным, что

$$\tau_{em} \ll \tau_b.$$

В пользу этого говорят следующие соображения.

1. Эмиссионные линии в подавляющем большинстве рассматриваемых галактик наблюдаются в ядрах или окооядерных областях. Очевидно, что время, в течение которого газ этих областей должен рассеяться, невелико по сравнению со временем, в течение которого может существенно измениться звездный состав галактик. С другой стороны, газ может также выбрасываться из ядра, как это непосредственно наблюдается в объектах сейфертовского типа. Эти обстоятельства будут приводить к быстрой переменности и, вероятно, рекуррентности эмиссионного спектра.

2. Мощность коротковолнового излучения, ионизирующего газ, также является гораздо более быстропеременной, чем основной звездный состав галактики. По оценкам Д. В. Видмана [22] в галактиках, не относящихся к сейфертовскому типу, при нормальном звездном составе число горячих гигантов достаточно для того, чтобы обеспечить наблюдаемый эмиссионный спектр. Характерное же время изменения параметров горячих гигантов значительно меньше характерного времени изменения основной массы звезд, ответственной за спектр и поверхностную яркость галактики.

Ионизация газа в объектах сейфертовского типа, по широко распространенному представлению, обусловлена синхротронным механизмом, который также является быстропеременным.

3. Если исключить крайне неестественные формы распределения яркости в галактиках, то необходимо считать, что высокая поверхностная яркость коррелирует с большим значением градиента поверхностной яркости. Следовательно, предполагая, что в галактиках происходят довольно быстрые изменения одного из этих параметров, мы должны предположить также быстрые изменения второго. Однако

быстрые изменения градиента поверхностной яркости, по-видимому, являются неправдоподобными.

Исходя из этого, представляется естественным вывод о том, что суммарная продолжительность стадии эмиссионного спектра, которая может быть непрерывной, зависит от структуры галактики и, следовательно, от поверхностной яркости или ее градиента. Это согласуется с результатом работы А. В. Засова и В. М. Лютого [23]. Следовательно, производимые часто оценки относительной продолжительности стадии эмиссионного или сейфертовского спектра галактик по относительному количеству наблюдаемых в настоящее время объектов того и другого типа являются мало обоснованными.

В заключение отметим целесообразность спектрального исследования галактик высокой поверхностной яркости, поскольку такое исследование может привести к обнаружению новых галактик с эмиссионными линиями. Разумеется, нельзя утверждать, что в спектрах большинства галактик высокой поверхностной яркости будут обнаружены эмиссионные линии, но очень вероятно, что эти галактики обладают какими-либо иными особенностями.

Автор благодарен академику В. А. Амбарцумяну за внимание к работе и полезное обсуждение и К. П. Цветковой за помощь.

Бюраканская астрофизическая
обсерватория

ON THE SURFACE BRIGHTNESS OF EMISSION LINE GALAXIES

M. A. ARAKELIAN

The statistical investigation of mean surface brightness distribution of emission line galaxies is carried out. It is shown that the relative number of such galaxies significantly decreases with the decrease of the mean surface brightness. Similar phenomenon takes place when Zwicky compact galaxies are considered. These results are interpreted as due to the fact, that the duration of emission line phase is in correlation with the surface brightness of galaxies.

ЛИТЕРАТУРА

1. M. A. Arakelian, C. Balkowski, *Astron. Astrophys.* (in press).
2. Б. Е. Маркарян, *Астрофизика*, 3, 55, 1967.

3. Б. Е. Маркарян, *Астрофизика*, 5, 443, 1969.
4. Б. Е. Маркарян, *Астрофизика*, 5, 581, 1969.
5. Б. Е. Маркарян, В. А. Липовецкий, *Астрофизика*, 7, 511, 1971.
6. Б. Е. Маркарян, В. А. Липовецкий, *Астрофизика*, 8, 155, 1972.
7. Б. Е. Маркарян, В. А. Липовецкий, *Астрофизика*, 9, 487, 1973.
8. Б. А. Воронцов-Вельяминов, А. А. Красногурская, *Морфологический каталог галактик*, т. 1, М., 1962.
9. Б. А. Воронцов-Вельяминов, В. П. Архипова, *Морфологический каталог галактик*, т. 2, М., 1964.
10. Б. А. Воронцов-Вельяминов, В. П. Архипова, *Морфологический каталог галактик*, т. 3, М., 1963.
11. Б. А. Воронцов-Вельяминов, В. П. Архипова, *Морфологический каталог галактик*, т. 4, М., 1968.
12. F. Zwicky, E. Herzog, P. Wild, *Catalogue of Galaxies and of Clusters of Galaxies*, I, 1961.
13. F. Zwicky, E. Herzog, *Catalogue of Galaxies and of Clusters of Galaxies*, II, 1963.
14. F. Zwicky, E. Herzog, *Catalogue of Galaxies and of Clusters of Galaxies*, III, 1966.
15. F. Zwicky, E. Herzog, *Catalogue of Galaxies and of Clusters of Galaxies*, IV, 1968.
16. F. Zwicky, M. Karłowicz, C. T. Kowal, *Catalogue of Galaxies and of Clusters of Galaxies*, V, 1965.
17. F. Zwicky, C. T. Kowal, *Catalogue of Galaxies and of Clusters of Galaxies*, VI, 1968.
18. J. Heidmann, N. Heidmann, J. de Vaucouleurs, *Mem. of R. A. S.*, 75, 85, 105, 121, 1972.
19. F. Zwicky, *Catalogue of Selected Compact Galaxies and of Post Eruptive Galaxies*, 1971.
20. W. L. W. Sargent, *Ap. J.*, 160, 405, 1970.
21. G. Haro, *Bol. Obs. Tonantzintla y Tacubaya*, 14, 8, 1956.
22. D. W. Weedman, *Ap. J.*, 171, 5, 1972.
23. А. В. Засов, В. М. Лютый, *Астрон. ж.*, 50, 253, 1973.