

АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

АСТРОФИЗИКА

ТОМ 16

ФЕВРАЛЬ, 1980

ВЫПУСК 1

УДК 523.855

ФУНКЦИЯ СВЕТИМОСТИ СЕЙФЕРТОВСКИХ ГАЛАКТИК

В. Ю. ТЕРЕБИЖ

Поступила 8 июня 1979

Образована выборка сейфертовских галактик, включающая 121 объект на площади около $15\,000$ кв. градусов. Определены пространственная плотность ($6.3 \cdot 10^{-5}$ Мпс $^{-3}$) и распределение светимостей этих галактик. Средняя по интервалу $-18.5 > M_p > -23.5$ абсолютная величина сейфертовских галактик $\langle M_p \rangle = -19.74 \pm 0.08$. Показатель n в зависимости пространственной плотности от фотографической светимости $\varphi \sim L_p^{-n}$ равен 1.6 на слабом конце функции светимости ($M_p > -21.0$) и 3.5 — на ярком. К классу сейфертовских относится $1/250$ часть всех галактик в интервале абсолютных величин $-18.5 > M_p > -23.5$. Галактики типа Sy2 составляют не менее $1/4$ сейфертовских галактик и характеризуются распределением абсолютных величин, смещенным в сторону малых светимостей.

1. *Введение.* Число известных сейфертовских галактик стало в настоящее время достаточно большим для детального изучения их статистических характеристик. В качестве первого шага естественно рассмотреть распределение видимых и абсолютных величин сейфертовских галактик, определить их пространственную плотность. Исследования в этом направлении неоднократно проводились ранее на сравнительно небольшом материале; отметим, в частности, работу Хукры и Сарджента [1], в которой функция светимости определяется по выборке, включающей около 40 сейфертовских галактик. В настоящей работе с этой целью используются данные о втрое большем числе сейфертовских галактик.

2. *Выборка сейфертовских галактик.* Принятое нами рабочее определение сейфертовской галактики совпадает с обычно используемым (см., например, [2]). Именно, объект считается относящимся к классу сейфертовских галактик, если 1) его изображение на картах Паломарского обзора неба отличается от изображений звезд и 2) в спектре ядра наблюдают-

ся широкие эмиссионные линии. Первое условие необходимо для того, чтобы исключить квазизвездные объекты, при рассмотрении которых необходимо учитывать эффекты эволюции, а также кривизну и нестационарность космологической модели.

Для того, чтобы исключить влияние неодинаковой степени изученности различных областей неба и поглощения света в Галактике, мы ограничились рассмотрением области, удовлетворяющей следующим двум условиям. Прежде всего, рассматривалась область, исследованная в первых 11 списках обзора Маркаряна и сотрудников [3—5]. В первом приближении эта область определяется условиями:

$$\begin{cases} \alpha = 3^{\text{h}}0 - 5^{\text{h}}5, & -15^\circ \leq \delta \leq 10^\circ, \\ \alpha = 6^{\text{h}}0 - 18^{\text{h}}0, & \delta > 0, \\ \alpha = 20^{\text{h}}5 - 3^{\text{h}}0, & \delta \geq -15^\circ. \end{cases} \quad (1)$$

Далее в этой области были оставлены участки с не слишком малой галактической широтой:

$$|b''| \geq 20^\circ. \quad (2)$$

Определенная условиями (1) и (2) область соответствует телесному углу $\Omega = 4.62$ ср. $\simeq 15\,000$ кв. град.; в ней найдена 121 сейфертовская галактика (январь 1979 г.). Таким образом, в среднем приходится около 125 кв. град. на 1 сейфертовскую галактику. Примерно $3/4$ этих галактик входит в списки объектов Маркаряна. Распределение всех рассматриваемых галактик в выделенной области неба приблизительно равномерно.

Список сейфертовских галактик, удовлетворяющих указанным выше условиям (для краткости обозначим данную выборку посредством S1), представлен в табл. 1, содержащей последовательно: наименования галактики; красное смещение; фотографическую видимую величину; галактическое поглощение $A_p = 0.24 \cos \sec |b''|$; абсолютную фотографическую величину, вычисленную при $H_0 = 75$ км/с·Мпс; классификацию, основанную на относительной ширине эмиссионных линий [6, 7]. Источником сведений о сейфертовских галактиках служили оригинальные наблюдения и обзоры [2, 8]; в последних дана обширная библиография. Во всех случаях, когда имеются измерения Цвикки и сотрудников [9—12] видимых величин галактик, в таблице приведены эти оценки. В остальных случаях даны оценки видимых величин согласно [3—5]; они отмечены скобками.

3. *Распределение видимых величин.* При определении пространственной плотности сейфертовских галактик существенное значение имеет вопрос о полноте рассматриваемой выборки. Пусть m_p означает видимую

Таблица 1

ВЫБОРКА СЕЙФЕРТОВСКИХ ГАЛАКТИК

Галактика	Другие наименования	z	m_p	A_p	M_p	Класс
1	2	3	4	5	6	7
Mkn 335		0.025	(14 ^u)	0 ^m .36	-21 ^m .4	1
III Zw 2		0.050	16.0	0.31	-22.1	1
Mkn 938		0.019	(14)	0.25	-20.7	2
Mkn 945		0.015	(15)	0.26	-19.2	2
IV Zw 29		0.103		0.62		1
Mkn 348	NGC 262	0.014	15.0	0.47	-19.3	2
I Zw 1		0.061	14.0	0.31	-23.2	1
Mkn 352		0.015	14.8	0.47	-19.6	1
Mkn 975		0.050	15.0	0.32	-21.8	1
Mkn 1	NGC 449	0.016	15.2	0.48	-19.3	2
Mkn 984		0.048	15.1	0.31	-21.6	2?
II Zw 1		0.054	15.1	0.27	-21.8	1
Mkn 993		0.017	14.0	0.48	-20.6	2?
Mkn 358		0.046	15.0	0.47	-21.8	1
Mkn 573			14.0	0.28		2
Mkn 1014		0.163	(16)	0.28	-23.4	1
Mkn 584		0.078	15.3	0.29	-22.5	1
4G 29.6		0.109		0.47		1
Mkn 590	NGC 863	0.027	14.0	0.29	-21.4	1
Akn 79		0.120	13.6	0.66	-21.5	1
Mkn 1040	NGC 931	0.017	13.9	0.53	-20.8	1
Mkn 1044		0.016	(14.5)	0.27	-19.9	1
NGC 985	Mkn 1048	0.043	(14.5)	0.28	-22.0	1
Mkn 595		0.028	15.0	0.33	-20.6	2
NGC 1068		0.0036	9.7	0.30	-21.4	2
Mkn 372	IC 1854	0.031	15.0	0.41	-20.9	2
Mkn 609		0.032	(14.5)	0.32	-21.3	1
III Zw 55	NGC 1410	0.025	14.7	0.36	-20.6	2
3C 120	4C 05.20	0.033	14.2	0.52	-21.9	1
Mkn 618		0.034	(14.5)	0.42	-21.6	1
Akn 120	Mkn 1095	0.033	14.6	0.67	-21.6	1
Mkn 3		0.014	13.8	0.62	-20.4	2
Mkn 6	IC 450	0.020	14.8	0.55	-20.0	2
Mkn 374		0.044	(15.5)	0.62	-21.4	1

Таблица 1 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7
Mkn 376		0.056	(16 ^m)	0 ^m 62	-21 ^m 4	1
Mkn 9		0.040	15.2	0.50	-21.2	1
Mkn 78		0.038	(15)	0.48	-21.3	2
Mkn 79		0.022	13.3	0.50	-22.0	1
Mkn 10		0.029	14.0	0.48	-21.8	1
Mkn 382		0.034	15.5	0.50	-20.7	1
Mkn 704		0.029	15.2	0.37	-20.5	1
Mkn 110		0.036	(16)	0.34	-20.1	1
Mkn 705	Akn 202	0.028	13.9	0.37	-21.7	1
Zw 0934+01		0.051	15.4	0.40	-21.5	1
3C 227		0.085	17.3	0.36	-20.7	1
Mkn 124		0.057	(16)	0.32	-21.1	1
Mkn 715		0.084	15.6	0.32	-22.3	2?
Mkn 716		0.058	(16.5)	0.30	-20.6	
Mkn 720		0.045	15.0	0.32	-21.6	
Mkn 141		0.039	15.2	0.33	-22.0	1
Mkn 142		0.045	(16.5)	0.30	-20.0	1
NGC 3227		0.0033	12.2	0.29	-18.7	2
Ton 524a		0.060		0.28		1
Mkn 34		0.051	(16)	0.31	-20.8	2
Mkn 634		0.066	(16)	0.27	-21.4	1?
Mkn 728		0.034	(16)	0.28	-20.0	2
Tol 1059+105		0.034		0.28		1
NGC 3516		0.0093	12.3	0.36	-20.9	1
Mkn 734		0.050	(15)	0.27	-21.8	1
VV 144	Mkn 40	0.020	(16)	0.28	-18.8	1
Mkn 176	I Zw 26	0.027	14.7	0.28	-20.8	2
Mkn 739	NGC 3758	0.030	14.8	0.25	-20.8	2?
Mkn 744	NGC 3786	0.010	13.5	0.25	-19.7	1
Mkn 42		0.024	15.2	0.26	-20.0	1
NGC 4051		0.0023	11.5	0.26	-18.6	1
Akn 347	NGC 4074	0.022	15.4	0.25	-19.6	2
NGC 4151		0.0033	11.2	0.25	-19.6	1
NGC 4235		0.0077	13.2	0.26	-19.5	1
Mkn 766	NGC 4253	0.013	13.7	0.24	-20.1	1
Mkn 50		0.023	(15.5)	0.27	-19.6	1

Таблица 1 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7
Тон 1542	Аkn 374, Мkn 771	0.064	15 ^m .1	0 ^m .24	-22 ^m .2	1
Мkn 231		0.041	14.1	0.28	-22.3	1
V Comae		0.092		0.24		1
Мkn 236		0.052	(17)	0.29	-19.8	1
Мkn 783		0.068	(16)	0.24	-21.4	2?
Мkn 64	В 340	0.184	(17)	0.24	-22.6	1
ЗС 287.1		0.216		0.27		1
Мkn 268		0.041	15.3	0.24	-21.0	2
Мkn 270	NGC 5283	0.0090	14.3	0.32	-18.9	2
Мkn 69		0.076	(16.5)	0.25	-21.2	1
Мkn 662		0.055	(15.5)	0.25	-21.5	2
Мkn 279		0.031	14.5	0.33	-21.4	1
Мkn 463		0.051	14.8	0.25	-22.0	2
Мkn 464		0.031	(16.5)	0.25	-20.3	1
Мkn 668		0.079	(16)	0.25	-21.7	1
NGC 5548		0.017	13.1	0.25	-21.3	1
Мkn 474	NGC 5683	0.041	15.5	0.28	-20.8	1
Мkn 817		0.031	14.3	0.30	-21.5	1
Мkn 686	NGC 5695	0.014	13.9	0.26	-20.1	2
I Zw 92	Мkn 477	0.037	15.2	0.29	-20.9	2
Мkn 478		0.078	(15)	0.26	-22.7	1
Мkn 841		0.036	(14)	0.30	-22.1	1
Мkn 854		0.155	(17.5)	0.29	-21.7	1
4С 35.37		0.157		0.29		1
Мkn 290		0.031	(15)	0.32	-20.7	1
Мkn 486		0.039	15.2	0.32	-21.1	1
Мkn 291		0.035	(15)	0.33	-21.1	1
Мkn 298	IC 1182	0.034	15.2	0.34	-20.8	2
Мkn 871	IC 1198	0.033	14.9	0.36	-21.1	1
Мkn 876		0.129	(15.5)	0.37	-23.4	1?
III Zw 77	Мkn 699	0.034	15.4	0.34	-20.6	1
Мkn 885		0.025	15.4	0.39	-20.0	1?
Мkn 504		0.036	(17)	0.41	-19.2	1
Мkn 700		0.034	15.4	0.41	-20.7	1
Мkn 506		0.043	15.3	0.46	-21.4	1
ЗС 390.3		0.057	15.3	0.53	-22.0	1
Мkn 509		0.036	(13)	0.48	-23.2	1

Таблица 1 (окончание)

1	2	3	4	5	6	7
Mkn 896		0.027	(16 ^m)	0 ^m 53	-19 ^m 7	1
II Zw 136		0.062	14.3	0.49	-23.1	1
Mkn 304	II Zw 175	0.066	14.6	0.43	-22.9	1
Mkn 917		0.025	14.5	0.61	-21.1	2
Akn 564		0.025	14.4	0.56	-21.1	1
NGC 7469		0.017	13.0	0.34	-21.5	1
Mkn 315	II Zw 187	0.039	14.8	0.43	-21.6	1
MCG-2-58-22	Mkn 926	0.048	(14.5)	0.28	-22.2	1
NGC 7603	Mkn 530	0.029	14.4	0.29	-21.2	1
Mkn 533	NGC 7674	0.029	13.6	0.32	-22.0	2
Tol 2327-027				0.28		1
PKS 2349-01		0.174		0.28		1
Mkn 541		0.041	15.5	0.30	-20.9	1
Mkn 543	NGC 7811	0.026	14.9	0.29	-20.5	1

величину, исправленную за галактическое поглощение, $N(m_{p_0})$ — число галактик в выборке, видимая величина которых не превосходит m_{p_0} . Поскольку выборка S1 содержит близкие объекты и нет оснований предполагать, что их пространственная плотность меняется при удалении от Галактики, показателем неполноты выборки может служить отличие наклона зависимости $\lg N - m_{p_0}$ от 0.6.

Другой часто используемый метод контроля полноты связан с изучением распределения величины $V(z)/V_{\max}$ [13—15], где $V(z)$ — объем пространства, соответствующий объекту с красным смещением z , $V_{\max} \equiv V[z_{\max}(M)]$ — объем, соответствующий максимальному красному смещению, при котором объект с абсолютной величиной M включается в выборку с предельной величиной m_* . Как легко видеть, в случае статического эвклидова пространства $\lg(V/V_{\max}) = -0.6(m_* - m)$, так что распределение V/V_{\max} и видимых величин строго эквивалентны. Отличие методов проявляется только в нестационарных космологических моделях, однако было показано [16], что и здесь информация, содержащаяся в распределении V/V_{\max} , практически совпадает с таковой для распределения видимых величин.

Ввиду сказанного мы ограничимся при рассмотрении полноты выборки исследованием зависимости $\lg N - m_{p_0}$. Она представлена на рис. 1 как для всех рассматриваемых галактик S1, так и для галактик из фиксированных интервалов светимости. Вертикальные отрезки соответствуют значениям стандартного отклонения σ величины $N(m_{p_0})$, найденным по формуле

$$\sigma = \sqrt{N[1 - N/N(\infty)]}, \quad (3)$$

где $N(\infty)$ — полное число объектов в выборке.

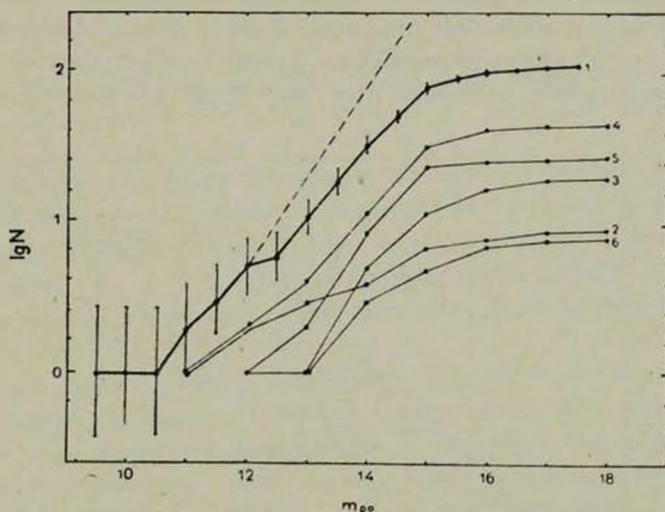


Рис. 1. Распределение видимых величин сейфертовских галактик. Кривая 1—всей выборки SI; кривые 2—6—галактик с абсолютными величинами $M_p = -19, -20, -21, -22$ и -23 соответственно. Пунктирная прямая представляет зависимость $\lg N = 0.6 m_{p0} + \text{const}$.

Как видно из рис. 1, почти на всем промежутке видимых величин наклон зависимости $\lg N - m_{p0}$ существенно меньше 0.6. В интервале $10^m 5 \leq m_{p0} \leq 15^m 0$ наблюдаемый наклон приблизительно равен 0.38, что соответствует показателю β в зависимости числа источников от потока $N \sim S^{-\beta}$, равному 0.95. Это свидетельствует о значительном влиянии наблюдательной селекции при обнаружении сейфертовских галактик. Как показывает наличие излома распределения, наиболее существенно селекция проявляется для галактик слабее $15^m 0$.

Аналогичный вид имеют зависимости $\lg N - m_{p0}$, построенные для галактик из различных интервалов абсолютных величин (рис. 1). Это указывает на то, что фактор селекции не зависит от M_p . Прямой проверкой этого важного заключения должен служить анализ диаграммы $M_p - m_{p0}$; как показало соответствующее рассмотрение, величины M_p и m_{p0} коррелируют для объектов выборки SI очень слабо.

Для выяснения возможных причин уменьшения наклона зависимости $\lg N - m_{p0}$ мы построили ее (рис. 2) отдельно для двух подгрупп SI: 1) галактик, для которых имеются точные измерения m_p согласно [9—12]; 2) галактик, входящих в списки объектов Маркаряна. Если учесть, что в последний обзор не включены яркие галактики, давно известные в ка-

честве сейфертовских, то видно, что характер зависимости $\lg N - m_p$ для подгрупп такой же, как и для всей выборки.

Таким образом, приведенные данные ясно показывают, что селекция в выборке сейфертовских галактик начинается с ярких объектов, причем вероятность обнаружения произвольно взятой сейфертовской галактики зависит от ее видимой величины и не зависит от абсолютной величины.

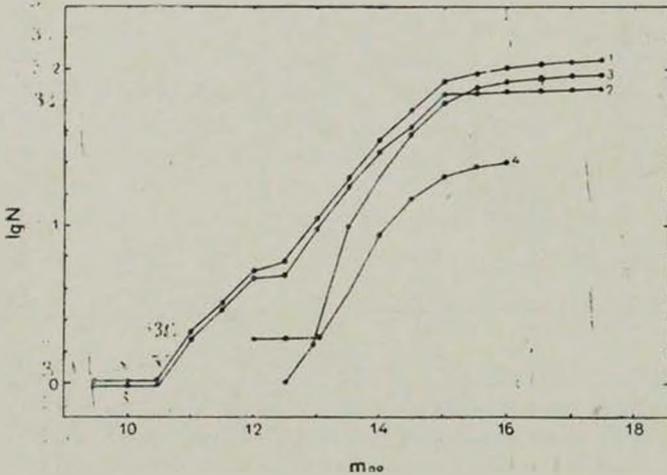


Рис. 2. Распределение видимых величин сейфертовских галактик. Кривая 1 — всей выборки S1; 2 — галактик, видимые величины которых измерены Цвикки и др.; 3 — галактик, входящих в списки Маркаряна и др.; 4 — галактик типа Sy 2.

Мы обозначим эту вероятность посредством $p(m)$. Точная оценка роли селекции для данной выборки дается фактором полноты выборки $P(m_*)$, представляющим собой отношение числа реально наблюдающихся в выборке объектов к ожидаемому для полной выборки числу галактик. Явное выражение для $P(m_*)$ дано в приложении к данной статье; численные значения, найденные в предположении, что $P(12.0) = 1$, указаны в последнем столбце табл. 2.

4. *Функция светимости.* Как показали Нейман и Скотт [17, 18], функция светимости может быть найдена с точностью до постоянного множителя и по неполной выборке, если фактор селекции не зависит от абсолютной величины. Пусть m_* означает предельную величину выборки, $\Psi(M)$ — долю объектов, светимость которых заключена в конечном промежутке $\left| M - \frac{1}{2} \Delta M, M + \frac{1}{2} \Delta M \right|$, ρ_0 , Mpc^{-3} — полную плотность галактик. Тогда

$$\Psi(M) = \frac{1}{C(m_*)} \sum_{M_i, m_i \leq m_*} 10^{0.6(M_k + 25)}, \quad (4)$$

$$C(m_*) = \sum_{m_i \leq m_*} 10^{0.6(M_k + 25)}, \quad (5)$$

$$\rho_0 = \frac{5}{\ln 10} \frac{C(m_*)}{\Omega} \left| \int_0^{m_*} p(m) 10^{0.6m} dm \right|^{-1}, \quad (6)$$

где суммирование в (4) распространяется на объекты выборки с предельной величиной m_* , абсолютная величина которых заключена в промежутке $[M - (1/2)\Delta M, M + (1/2)\Delta M]$, а в (5) — на все объекты ярче m_* . Соотношения (4)—(6) следуют из формул (П6) и (П7) приложения к данной статье; они могут быть получены и из более общего анализа Неймана и Скотт*.

Найдем сначала плотность распределения $\psi(M_p)$. Обычно применяемая процедура определения функции светимости связана с рассмотрением объектов ярче некоторой фиксированной величины m_* . Если при этом предел m_* ограничивает лишь яркую часть распределения $N(m_p)$, так что выборку можно считать полной, то для нахождения $\Psi(M_p)$ не требуется дополнительных предположений. Однако объем выборки в этом случае невелик и экспериментальная функция светимости содержит значительную неопределенность. В альтернативном случае, когда число галактик ярче m_* составляет значительную долю объема выборки, обычно применяют некоторую процедуру, исправляющую выборку за эффекты селекции. Из сказанного выше следует, что $\Psi(M_p)$ зависит от предельной величины выборки лишь в той мере, в какой фактор селекции зависит от абсолютной величины. Поскольку, как было выяснено выше, последняя зависимость слаба, мы определяем функцию светимости следующим образом.

Собразуем из основной выборки S1 ряд выборок с предельной величиной, меняющейся от $12^m 0$ до $18^m 0$, и найдем функцию светимости отдельно для каждой из этих выборок. Если предположение о независимости фактора селекции от M_p справедливо, то результаты должны совпадать с точностью до естественных статистических флуктуаций. При этом функция светимости, найденная по всей выборке, и будет давать наиболее точное приближение к реальной функции светимости.

* Метод построения функции светимости, использованный Хукрой и Сарджентом [1], эквивалентен нашему. Заметим, однако, что нет необходимости вычислять, как это делают указанные авторы, неполноту для каждого интервала видимых величин в отдельности. Нормированная функция светимости $\psi(M_p)$ не зависит от полноты, а оценка полной пространственной плотности ρ_0 пропорциональна фактору $P(m_*)$, характеризующему выборку в целом (см. соотношение (П7)).

Результаты применения указанной процедуры (при $\Delta M = 1^{m_0}$) представлены в табл. 2. В седьмом столбце этой таблицы указано число галактик в каждой выборке, в восьмом — фактор полноты $P(m_*)$, определенный соотношением (П5). Как и следовало ожидать, значения $\Psi(M_p)$, найденные по выборкам с достаточно большим числом галактик, удовлетворительно согласуются. Мы примем значения нормированной к 1 функции светимости, приведенные в последней строке табл. 2.

Таблица 2

m_*	$\Psi(M_p)$					$N(m_*)$	$P(m_*)$
	-19^m	-20^m	-21^m	-22^m	-23^m		
12.0	0.86	0.12	0.03	0	0	5	1.00
12.5	0.86	0.12	0.03	0	0.0008	6	
13.0	0.85	0.10	0.04	0.010	0.0007	11	0.95
13.5	0.69	0.22	0.07	0.019	0.0006	19	
14.0	0.68	0.20	0.10	0.024	0.0013	33	0.91
15.0	0.55	0.25	0.16	0.037	0.0016	81	0.58
16.0	0.51	0.30	0.16	0.031	0.0015	102	0.18
18.0	0.50	0.31	0.16	0.029	0.0017	111	0.013

Обратимся к нахождению полной пространственной плотности сейфертовских галактик. Для этого в (6) необходимо определить фактор селекции $p(m)$. Один из возможных способов нахождения $p(m)$ заключается в следующем. Предположим, что в выборке, ограниченной предельной величиной m_* , известны все объекты вплоть до некоторой величины $m_1 \leq m_*$, а в промежутке $m_1 \leq m_* \leq m_*$ вероятность обнаружения $p(m)$ пропорциональна реально наблюдаемому числу объектов*:

$$p(m) = \begin{cases} 1 & , m \leq m_1, \\ n(m)/n(m_1) 10^{0.6(m-m_1)} & , m_1 \leq m \leq m_*, \end{cases} \quad (7)$$

где $n(m) = dN(m)/dm$ — плотность распределения видимых величин галактик в выборке. Подстановка (7) в (6) дает искомое выражение для плотности:

$$\rho_0 = \frac{3}{\Omega} C(m_*) 10^{-0.6m_1} \left[1 + 0.6 \ln 10 \frac{N(m_*) - N(m_1)}{n(m_1)} \right]^{-1} \text{ Мпс}^{-3}. \quad (8)$$

Сводка оценок ρ_0 при разных значениях m_1 и m_* для выборки S1 представлена в табл. 3. Как видно, зависимость от принятых предполо-

* В отличие от Неймана и Скотт [18], мы не ищем аналитическую аппроксимацию $p(m)$, а используем наблюдаемое распределение видимых величин.

жений относительно полноты выборки незначительна и пространственная плотность определяется достаточно надежно. Мы приняли $\lg \rho_0 = -4.20$ ($\rho_0 = 6.3 \cdot 10^{-5}$ Мпс⁻³). Значения пространственной плотности сейфертовских галактик различных светимостей $\varphi(M_p) \equiv \rho_0 \psi(M_p)$, Мпс⁻³·вел⁻¹, указаны в табл. 4. Во втором столбце этой таблицы приведено число галактик каждого интервала светимости, в последнем — доля сейфертовских галактик среди всех галактик данной светимости $\delta(M_p)$. При нахождении $\delta(M_p)$ мы воспользовались значениями функции светимости галактик поля, приведенными в [1]. Принимая плотность всех галактик в интервале абсолютных звездных величин $[-18.5, -23.5]$ равной $1.7 \cdot 10^{-2}$ Мпс⁻³, находим, что сейфертовские галактики составляют приблизительно 1/250 долю всех галактик из указанного интервала светимости.

Таблица 3

m_1 m_2	$\lg \rho_0, \text{Мпс}^{-3}$		
	12	13	14
14	-4.09	-4.07	-4.13
15	-4.25	-4.22	-4.36
16	-4.24	-4.21	-4.36
18	-4.19	-4.20	-4.35

Таблица 4

ФУНКЦИЯ СВЕТИМОСТИ СЕЙФЕРТОВСКИХ ГАЛАКТИК

M_p	n	$\lg \varphi(M_p), \text{Мпс}^{-3} \cdot \text{вел}^{-1}$	$\delta(M_p)$
-19	9	-4.50 ± 0.14	0.003
-20	20	-4.71 ± 0.09	0.004
-21	46	-5.00 ± 0.05	0.015
-22	28	-5.74 ± 0.07	0.052
-23	8	-6.97 ± 0.15	0.48:

Иногда удобно иметь аналитическое представление функции светимости. В качестве такого представления, основанного на данных табл. 4, можно принять следующее:

$$\lg \varphi(M_p) = \begin{cases} 0.25 M_p + 0.26, & -18.5 \geq M_p \geq -21.0, \\ 0.99 M_p + 15.77, & -21.0 > M_p > -23.5. \end{cases} \quad (9)$$

Коэффициенты в (9) соответствуют показателю n в зависимости плотности сейфертовских галактик от светимости $\varphi \sim L_p^{-n}$, равному 1.6 на слабом конце функции светимости и 3.5 — на ярком.

Средняя по интервалу $-18.5 \geq M_p \geq -23.5$ абсолютная величина сейфертовских галактик равна $\langle M_p \rangle = -19.74 \pm 0.08$. Поскольку функция светимости неизвестна при низких значениях последней, полученное значение есть верхняя граница для средней светимости. Средняя же выборочная абсолютная величина, определенная простым усреднением значений M_p из табл. 1, равна -21.06 ± 0.10 . Таким образом, наблюдаемая селекция, связанная с недооценкой числа галактик низкой све-

тимости, приводит к смещению наблюдаемой средней абсолютной величины сейфертовских галактик по крайней мере на 1^m4 в сторону высоких значений светимости.

5. *Функция светимости галактик типа Sy 2.* Выборка сейфертовских галактик S1 включает 102 классифицированные согласно [6, 7] галактики; 26 из них относятся к типу Sy 2. Поскольку классификация основана на относительных ширинах эмиссионных линий в спектре ядра галактики, интересно выяснить, связана ли эта характеристика со светимостью галактики. Вообще говоря, при этом необходимо учитывать вклад ядра в светимость всей системы, однако, ввиду недостаточности данных об относительных светимостях ядер, мы не будем принимать во внимание это обстоятельство.

Сопоставляя представленные на рис. 2 распределения видимых величин галактик типа Sy 2 и всех галактик S1, можно заключить, что эти распределения в одинаковой мере искажены наблюдательной селекцией. Поэтому и фактор полноты выборки $P(m_*)$ для галактик Sy 2 приблизительно равен таковому для всех сейфертовских галактик.

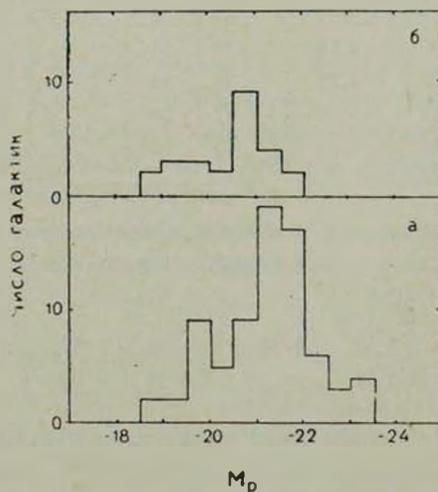


Рис. 3. Выборочные распределения абсолютных величин галактик типа Sy 1 (а) и Sy 2 (б).

На рис. 3 представлено наблюдаемое распределение абсолютных величин сейфертовских галактик рассматриваемых двух типов. Помимо смещения максимума распределения галактик Sy 2 в сторону малых светимостей, для них следует отметить и относительно больший вес слабого крыла. Применение распределения χ^2 , рассматриваемого в качестве критерия

однородности выборок [19], показало, что распределения 3а и 3б отличаются с уровнем значимости $P_1 = 0.02$.

Значения функции светимости галактик типа Sy 2, найденные описанным выше способом, приведены в табл. 5. Дефицит ярких галактик Sy 2 становится заметным при сравнении нормированной к 1 функции распределения $\Psi(M_p)$ с данными последней строки табл. 2. Средние абсолютные величины сейфертовских галактик 1 и 2 типов равны -19.82 ± 0.10 и -19.55 ± 0.15 соответственно. С точки зрения распределения Стьюдента эти средние значения различны с уровнем значимости $P_2 = 0.18$. Сопоставляя приведенные данные, следует заключить, что галактики Sy 2 несколько менее ярки, чем галактики типа 1.

Таблица 5
ФУНКЦИЯ СВЕТИМОСТИ ГАЛАКТИК ТИПА Sy 2

M_p	n	$\Psi(M_p)$	$\lg \Psi(M_p), \text{ Мпс}^{-3} \cdot \text{век}^{-1}$
-19	5	0.68	-4.95 ± 0.17
-20	5	0.19	-5.51 ± 0.17
-21	13	0.13	-5.67 ± 0.08
-22	2	0.0045	-7.13 ± 0.29

Полная пространственная плотность галактик типа Sy 2 найдена равной $1.6 \cdot 10^{-5} \text{ Мпс}^{-3}$. Поскольку для выделения галактик типа Sy 2 требуются наблюдения с довольно высоким спектральным разрешением, полученную выше оценку доли галактик с относительно узкими разрешенными линиями (1/4) следует считать нижней границей.

6. *Обсуждение результатов.* Проблема обнаружения сейфертовских галактик неоднократно обсуждалась наблюдателями; было предложено несколько подходов к ее решению. До сих пор наиболее продуктивными остаются спектральные наблюдения с низким разрешением [3], позволяющие выделить в области значительных размеров галактики с наиболее ярко выраженным ультрафиолетовым континуумом. Как известно, около 10% галактик Маркаряна относится к классу сейфертовских.

Несмотря на эффективность обзора Маркаряна и сотрудников с точки зрения выявления сейфертовских галактик следует признать, что многие (даже яркие, $13^m - 15^m$) сейфертовские галактики остаются необнаруженными. Например, вместо 82 галактик выборки S1 ярче 15^m мы должны наблюдать в рассматриваемой области неба около 140 сейфертовских галактик указанной яркости. Столь значительная селекция может быть обусловлена либо неполнотой обзоров, на основании которых производятся поиски сейфертовских галактик, либо пропусками этих галактик при наблюдениях с высоким спектральным разрешением, либо и той, и

другой причинами. Как показывает анализ приведенных в [1] данных о распределении видимых величин галактик Маркаряна из первых четырех списков, определенные выше характеристики селекции для выборки сейфертовских галактик являются простым следствием селекции, присущей обзору [3—5].

Поскольку оценки доли галактик каждого интервала светимости $\Psi(M_p)$ не зависят от полноты выборки, эта величина определена сравнительно надежно. Именно по этой причине наши значения $\Psi(M_p)$ хорошо согласуются с соответствующими значениями, которые можно получить из данных [1, 20], основанных на рассмотрении втрое меньшего числа галактик. Оценки полной плотности сейфертовских галактик содержат несколько большую неопределенность; в частности, Хукра и Сарджент [1] приходят к значению $\rho_0 = 8.1 \cdot 10^{-5}$ Мпс⁻³, Аракелян [20] — к значению $\rho_0 = 6.75 \cdot 10^{-5}$ Мпс⁻³ (все при $H_0 = 75$ км/с · Мпс).

Функция светимости галактик поля согласно [1] и наши данные относительно функции светимости всех сейфертовских галактик и отдельно галактик типа Sy 2 представлены на рис. 4. Как уже отмечали Хукра и

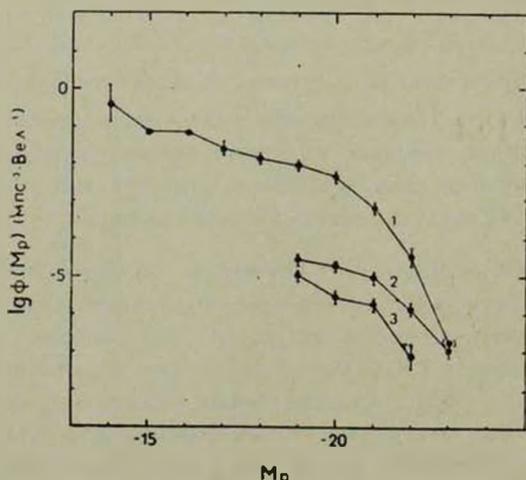


Рис. 4. Функция светимости галактик поля (1), сейфертовских галактик (2) и галактик типа Sy 2 (3).

Сарджент [1], большинство галактик вблизи $M_p = -23.0$ являются сейфертовскими. В связи с этим представляет интерес исследовать непрерывность функции светимости при переходе к квазизвездным объектам. Для решения этого вопроса необходимо образовать достаточно хорошо исследованную выборку последних в оптическом диапазоне, что представляет более сложную проблему, чем в случае сейфертовских галактик.

Автор признателен рецензенту за полезные замечания.

Фактор полноты выборки. Рассмотрим выборку объектов некоторого класса, видимая величина которых не превосходит m_* . Пусть Ω — телесный угол, в котором заключены объекты выборки; $f(M)dM$ — число объектов, абсолютная величина которых заключена в интервале $(M, M+dM)$; $p(m)$ — вероятность того, что объект величины m рассматриваемого класса будет включен в выборку; $V(z)$, Мпс^3 — объем пространства, соответствующий красному смещению z ; ρ_0 , Мпс^{-3} — пространственная плотность объектов; $\psi(M)$ — плотность распределения абсолютной величины M .

Выборочное распределение $f(M)$ и нормированная функция светимости $\psi(M)$ связаны очевидным соотношением

$$f(M) = \frac{\Omega}{4\pi} \rho_0 \psi(M) \int_0^{z_*(M)} p \left[M + 25 + 5 \lg \left(\frac{c}{H_0} z \right) \right] dV(z), \quad (\text{П1})$$

где параметр Хаббла H_0 измеряется в $\text{км/с} \cdot \text{Мпс}$, скорость света c — в км/с , $z_*(M)$ — решение уравнения

$$M + 25 + 5 \lg \left(\frac{c}{H_0} z_* \right) = m_*. \quad (\text{П2})$$

Полагая $V_*(M) \equiv V[z_*(M)]$, переходя в (П1) к видимым величинам и учитывая соотношение

$$V/V_* = 10^{-0.6(m_* - m)}, \quad (\text{П3})$$

находим

$$f(M) = \frac{\Omega}{4\pi} \rho_0 \psi(M) V_*(M) \cdot P(m_*), \quad (\text{П4})$$

где

$$P(m_*) = \int_{-\infty}^{m_*} p(m) d10^{-0.6(m_* - m)} \quad (\text{П5})$$

— отношение числа реально наблюдающихся в выборке объектов к ожидаемому для полной выборки числу объектов. По этой причине естественно назвать $P(m_*)$ фактором полноты выборки.

Учитывая в (П4) условие нормировки $\psi(M)$, находим:

$$\psi(M) = \frac{V_*^{-1}(M) f(M)}{\int_{-\infty}^{\infty} V_*^{-1}(M) f(M) dM} = \frac{10^{0.6M} f(M)}{\int_{-\infty}^{\infty} 10^{0.6M} f(M) dM}, \quad (\text{П6})$$

$$p_0 = \frac{4\pi}{\Omega} P^{-1}(m_*) \int_{-\infty}^{\infty} V_*^{-1}(M) f(M) dM. \quad (\text{П7})$$

Последние два соотношения и должны служить для нахождения функции светимости и пространственной плотности объектов по неполной выборке. Рабочие формулы (4)—(6) следуют из них, если $f(M)$ представить в виде суммы δ -функций, соответствующих светимостям объектов выборки, и воспользоваться явным выражением для $V_*^{-1}(M)$.

При вычислении фактора полноты выборки можно воспользоваться выражением

$$P(m_*) = 10^{-0.6(m_* - m_1)} \left[1 + 0.6 \ln 10 \frac{N(m_*) - N(m_1)}{n(m_1)} \right], \quad m_1 \leq m_*, \quad (\text{П8})$$

следующим из (П5) и (7).

Южная станция ГАИШ

THE LUMINOSITY FUNCTION OF SEYFERT GALAXIES

V. Yu. TEREBIZH

The sample of 121 Seyfert galaxies in an area covering 15000 square degrees is formed. The space density ($6.3 \cdot 10^{-5} \text{ Mpc}^{-3}$) and the luminosity distribution of these galaxies are determined. Mean (in the range $-18.5 \geq M_p \geq -23.5$) absolute magnitude of Seyfert galaxies $\langle M_p \rangle = -19.74 \pm 0.08$. A parameter n in the relation between space density and photographic luminosity $\varphi \sim L_p^{-n}$ is found to be equal 1.6 at the low-luminosity end ($M_p \geq -21.0$) and 3.5—at the bright one. To the class of Seyfert galaxies belongs 1/250 of all galaxies in the range $-19 \geq M_p \geq -23$. Sy 2 galaxies comprise no less than a quarter of Seyfert galaxies and their distribution of absolute magnitudes is slightly shifted to the low-luminosity end.

ЛИТЕРАТУРА

1. J. Huchra, W. L. W. Sargent, Ap. J., 186, 433, 1973.
2. D. W. Weedman, Ann. Rev. Astron. Astrophys., 15, 69, 1977.
3. Б. Е. Маркарян, Астрофизика, 3, 55, 1967; 5, 443, 581, 1969.
4. Б. Е. Маркарян, В. А. Липовецкий, Астрофизика, 7, 571, 1971; 8, 155, 1972; 9, 487, 1973; 10, 307, 1974; 12, 389, 657, 1976.

5. Б. Е. Маркарян, В. А. Липовецкий, Дж. А. Степанян, *Астрофизика*, 13, 223, 397, 1977.
6. D. W. Weedman, *Ap. J.*, 159, 405, 1970.
7. E. Ye. Khachikian, D. W. Weedman, *Астрофизика*, 7, 389, 1971.
8. D. W. Weedman, *M. N.*, 184, 11P, 1978.
9. F. Zwicky, E. Herzog, P. Wild, *Catalogue of Galaxies and of Clusters of Galaxies*, vol. 1, 1961.
10. F. Zwicky, E. Herzog, *Catalogue of Galaxies and of Clusters of Galaxies*, vol. 2, 1963; vol. 3, 1966; vol. 4, 1968.
11. F. Zwicky, M. Karpowicz, C. T. Kowal, *Catalogue of Galaxies and of Clusters of Galaxies*, vol. 5, 1965.
12. F. Zwicky, C. T. Kowal, *Catalogue of Galaxies and of Clusters of Galaxies*, vol. 6, 1968.
13. P. Kafka, *Nature*, 213, 346, 1967.
14. M. Rowan-Robinson, *M. N.*, 138, 445, 1968.
15. M. Schmidt, *Ap. J.*, 151, 393, 1968.
16. В. Ю. Теребиж, *Астрофизика*, 9, 209, 1973.
17. J. Neyman, E. L. Scott, *Proc. 4-th Berkeley Symp. Math. Stat. and Prob.*, 3, 261, 1961.
18. J. Neyman, E. L. Scott, *Confrontation of Cosmological Theories with Observational Data*, Symp. No. 63 of IAU, Ed. by M. S. Longair, 1974. (Русск. пер. Космология. Теории и наблюдения, Мир, М., 1978, стр. 173).
19. H. Cramér, *Mathematical Methods of Statistics*, 1946. (Русск. пер. Г. Крамер, Математические методы статистики, Мир, М., 1975, стр. 482).
20. М. А. Аракелян, *Диссертация*, ГАИШ, М., 1977.