

АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

АСТРОФИЗИКА

ТОМ 7

АВГУСТ, 1971

ВЫПУСК 3

КВАЗИЗВЕЗДНЫЕ РАДИОИСТОЧНИКИ И ОПТИЧЕСКИЕ КВАЗИЗВЕЗДНЫЕ ОБЪЕКТЫ

М. А. АРАКЕЛЯН

Поступила 26 марта 1971

Сравниваются распределения красных смещений и светимостей квазизвездных радиоисточников и оптических квазизвездных объектов. Различия между распределениями этих двух типов объектов позволяют заключить, что их функции светимости неординаковы. Относительное количество квазизвездных радиоисточников и оптических квазизвездных объектов возрастает со светимостью. Средняя светимость квазизвездных радиоисточников по меньшей мере на полторы звездные величины превосходит среднюю светимость оптических квазизвездных объектов.

Согласно первоначальному определению А. Сандейджа [1] квазизвездные галактики (оптические квазизвездные объекты) являются образованиями, аналогичными по своим оптическим характеристикам квазизвездным радиоисточникам, но не имеющими радиоизлучения. По принятым в настоящее время оценкам пространственная плотность квазизвездных объектов на два-три порядка превосходит пространственную плотность квазизвездных радиоисточников (10^{-8} Мпс^{-3}). Рассматривая квазизвездные радиоисточники как фазу жизни квазизвездных объектов, мы должны, заключить, что эта фаза составляет 10^{-3} — 10^{-2} продолжительности жизни квазизвездных объектов. Не исключена, однако, и возможность того, что эти два типа населения Метагалактики развиваются параллельно.

В обоих возможных предположениях представляет интерес сравнение статистических характеристик двух рассматриваемых типов объектов. Как известно, еще в 1956 году В. А. Амбарцумян [2] показал, что в случае другой аналогичной пары типов объектов — галактик и радиогалактик — мощное радиоизлучение является преимущественным свойством объектов наивысшей оптической светимости.

К сожалению, скудность данных о красных смещениях не позволяет построить функцию светимости оптических квазизвездных объектов непосредственным образом. Тем не менее, как следует из изложенного ниже, имеющиеся данные позволяют заключить, что, аналогично радиогалактикам, квазизвездные радиоисточники обладают в среднем более высокой оптической светимостью, чем оптические квазизвездные объекты.

1. *Распределение оптических квазизвездных объектов и квазизвездных радиоисточников по красному смещению.* Сравним распределения по красному смещению квазизвездных радиоисточников и квазизвездных объектов. Имеющиеся данные о 54-х квазизвездных объектах с известными красными смещениями приведены в табл. 1, где $f(2500)$ — излученная плотность потока в $\text{вт м}^{-2} \text{ц}^{-1}$, отнесенная к длине волны 2500 Å, а $F(2500)$ — соответствующая светимость в вт ц^{-1} , вычисленная для модели Вселенной с нулевым давлением, нулевой космологической постоянной, постоянной Хаббла $100 \text{ км сек}^{-1} \text{ Мпс}^{-1}$ и параметром ускорения $q_0 = +1$. Для части объектов из списка Ч. Брачези, Л. Формиджини и Э. Гандолфи использованы фотометрические данные, полученные этими авторами фотографически [3]. Аналогичные величины для квазизвездных радиоисточников из каталога 4С с известными красными смещениями и фотометрическими данными приведены в [4]. Отметим, что плотности потока $f(2500) = 10^{-30} \text{ вт м}^{-2} \text{ц}^{-1}$ соответствует, примерно, видимая величина $V = 18.4$, а светимости $F(2500) = 10^{32} \text{ вт ц}^{-1}$ — абсолютная величина $M_V = -21.0$.

Для сравнения статистических характеристик оптических квазизвездных объектов и квазизвездных радиоисточников из табл. 1 и из [4] были отобраны объекты с излученными плотностями потока $-30.0 < \lg f(2500) < -29.2$ и красными смещениями $-1.2 < \lg z < +0.4$. Среднее значение логарифма плотности потока и его дисперсия для 29 оптических квазизвездных объектов, удовлетворяющих этим условиям, равны

$$\overline{\lg f(2500)} = -29.70; \quad \sigma^2[\lg f(2500)] = 0.035.$$

Аналогичные величины для 49 квазизвездных радиоисточников (к объектам, перечисленным в [4], добавлен 4С —00.9) равны

$$\overline{\lg f(2500)} = -29.67; \quad \sigma^2[\lg f(2500)] = 0.038.$$

Как видим, оба первых момента распределения видимых величин двух рассматриваемых выборок практически совпадают. Иными словами, распределения по видимым величинам в обеих выборках очень

Таблица 1

QSO	z	V	$B-V$	$U-B$	$\lg f(2500)$	$\lg F(2500)$
1	2	3	4	5	6	7
B 272	0.040	17.25	0.09	-0.86	-29.33	20.90
B 234	0.060	17.52	0.86	-0.43	-29.93	20.66
I Zw 0051+12	0.061					
II Zw 2130+09	0.062					
Тон 1542	0.064					
Маркарян 205	0.070	15.87	0.31	-0.90	-28.76	21.95
III Zw 008+90	0.090					
B 264	0.096	16.89	0.58	-0.65	-29.50	21.51
Миркарян 106	0.122	16.66	0.22	-0.90	-29.11	22.10
Тон 256	0.131	15.91	0.57	-0.84	-28.98	22.29
B 154	0.183	18.56	0.32	-0.70	-30.06	21.49
B 340	0.184	16.97	0.41	-0.74	-29.45	22.11
BSO 2	0.186	18.64	0.28	-0.98	-29.97	21.60
B 382	0.19	17.55	0.50	-0.95	-29.62	21.96
B 114	0.221	17.92	0.08	-0.90	-29.65	22.07
PHL 1186	0.270					
B 46	0.271	17.83	0.36	-0.87	-29.75	22.14
B 142	0.28	17.84	0.25	-0.80	-29.75	22.18
PHL 1194	0.299	17.50	-0.07	-0.85	-29.44	22.54
B 337	0.30	17.62	0.43	-1.39	-29.50	22.48
B 196	0.32	18.87	0.39	-1.06	-30.11	21.93
B 286	0.33	18.65	0.44	-0.65	-30.20	21.86
PHL 1027.	0.363	17.04	-0.03	-0.77	-29.29	22.86
Тон 202	0.366	15.84	0.22	-0.73	-28.93	23.22
PHL 3375	0.390	18.02	0.29	-0.51	-29.89	22.32
PHL 1226	0.404	17.80	-0.07	-0.95	-29.48	22.76
B 312	0.450	19.08	0.14	-0.67	-30.21	22.12
BSO 3	0.54	17.65	0.08	-0.57	-29.65	22.84
B 246	0.69	18.18	0.06	-0.60	-29.85	22.85
B 471	0.78	17.66	0.29	-0.69	-29.73	23.08
B 330	0.92	18.00	0.07	-0.66	-29.81	23.15
B 228	1.20	17.83	0.36	-0.65	-29.82	23.37
BSO 1	1.241	16.98	0.31	-0.78	-29.50	23.72
RS 13	1.287	17.94	0.47	-0.71	-30.10	23.57
B 288	1.29	18.39	0.40	-0.68	-30.05	23.20

Таблица 1 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7
B 201	1.375	16.79	0.26	-0.82	-29.42	23.89
B 86	1.43	17.58	0.40	-0.93	-29.74	23.61
PHL 3632	1.479	18.15	0.13	-0.75	-29.95	23.41
B 185	1.53	18.12	0.18	-0.76	-29.96	23.44
BSO 8	1.75	17.84	0.18	-0.62	-29.85	23.66
PHL 3424	1.847	18.25	0.19	-0.90	-30.01	23.55
B 194	1.864	17.96	0.40	-0.76	-29.91	23.66
RS 23	1.908	18.93	0.19	-0.95	-30.29	23.29
PHL 1222	1.910	17.63	0.41	-0.78	-29.76	23.83
PHL 938	1.955	17.16	0.32	-0.88	-29.58	24.03
BSO 6	1.956	18.41	0.05	-1.01	-29.88	23.74
PHL 1127	1.990	18.29	0.14	-0.83	-30.03	23.60
LB 8755	2.010					
Топ 1530	2.046					
B 19	2.07	17.94	0.29	-0.81	-29.91	23.75
B 189	2.075	19.22	-0.03	-0.83	-30.42	23.24
BSO 11	2.084	18.41	0.06	-0.85	-30.10	23.57
B 360	2.09	17.56	0.41	-0.62	-29.76	23.91
QS 1108+285	2.192					

близки. Поэтому следует ожидать, что при тождественности функций светимости оптических квазизвездных объектов и квазизвездных радиоисточников должны совпадать также распределения по красному смещению объектов этих двух типов и их светимостей, а также распределения объектов двух типов по светимости.

Распределения рассматриваемых объектов по $\lg z$ приведены в табл. 2, откуда следует, что распределения оптических квазизвездных объектов и квазизвездных радиоисточников по красному смещению существенно отличны. Отношение числа оптических квазизвездных объектов и квазизвездных радиоисточников имеет минимум при $\lg z = -0.2$. Статистическая значимость этого минимума не вызывает сомнения — вероятность того, что подобное отклонение является случайным $\sim 10^{-5}$. Подобный характер зависимости от красного смещения числа объектов двух рассматриваемых типов сохраняется и в том случае, когда излученные плотности потока ограничены лишь снизу. Это следует из третьей и четвертой строк табл. 2, где приведены данные об объектах с $\lg f(2500) > -30.0$. Аналогичные данные о всех объектах с известными красными смещениями с учетом нескольких квази-

звездных радиоисточников из каталога 4C, красные смещения которых опубликованы после статьи [4], приведены в пятой и шестой строках табл. 2. Как видим, минимум относительного числа оптических квазизвездных объектов и квазизвездных радиоисточников сохраняется и в этом случае.

Таблица 2

$\overline{\lg z}$		-1.0	-0.6	-0.2	+0.2
Объекты с $-30.0 < \lg f(2500) < -29.2$	QSO	1	10	5	13
	QSRS	0	4	26	19
Объекты с $-30.0 < \lg f(2500)$	QSO	4	11	5	13
	QSRS	1	10	35	19
Все объекты с известными z	QSO	6	15	6	22
	QSRS	1	15	40	40

Распределения светимостей объектов из первых четырех строк табл. 2 приведены в соответствующих строках табл. 3, откуда следует, что разность средних светимостей оптических квазизвездных объектов и квазизвездных радиоисточников отрицательна при малых красных смещениях и монотонно приближается к нулю с ростом z .

Таблица 3

$\overline{\lg z}$		-1.0	-0.6	-0.2	+0.2
Объекты с $-30.0 < \lg f(2500) < -29.2$	QSO	21.51	22.23	22.94	23.69
	QSRS	—	22.51	23.03	23.68
Объекты с $-30.0 < \lg f(2500)$	QSO	21.96	22.32	22.94	23.69
	QSRS	23.80	22.91	23.18	23.68

2. *Функции светимости квазизвездных радиоисточников и оптических квазизвездных объектов.* Приведенные статистические различия между оптическими квазизвездными объектами и квазизвездными радиоисточниками должны быть, очевидно, приписаны различию (нормированных) функций светимости этих объектов. В частности, отрицательная разность между светимостями объектов двух типов на малых расстояниях есть прямое следствие того, что средняя светимость оптических квазизвездных объектов ниже значения, соответствующего квазизвездным радиоисточникам. Действительно, среднее значение логарифма светимости объектов с фиксированным значением z из выборки с ограниченными значениями видимой величины равно

$$\overline{\lg F} = \frac{\int_{\lg F_1}^{\lg F_2} x \varphi(x) dx}{\int_{\lg F_1}^{\lg F_2} \varphi(x) dx}, \quad (1)$$

где $\lg F_k = \lg f_k + 2 \lg z + C$, $\varphi(x)$ — функция светимости, а f_1 и f_2 — предельные значения плотности потока. Следовательно, различия средних светимостей в данном интервале красных смещений свидетельствуют о различии функций светимости в соответствующем интервале светимостей.

Уменьшение различий между средними светимостями этих объектов при росте $\lg z$ связано с тем обстоятельством, что при этом происходит приближение к верхней границе — $F_{\max}$ — того интервала, где обе функции светимости отличны от нуля. Действительно, если в (1) заменить F_2 через $F_{\max}$ и положить F_1 достаточно близким к $F_{\max}$, то, очевидно, $\overline{\lg F}$ будет практически независимым от вида функции светимости. О том, что F_2 при больших z близко к $F_{\max}$ свидетельствует тот факт, что при переходе от выборки объектов с логарифмами плотностей потока в интервале $(-30.0-29.2)$ к выборке с $\lg f(2500) > -30.0$ данные таблиц 2 и 3 не меняются.

Статистические различия в распределении оптических квазизвездных объектов и квазизвездных радиоисточников, иллюстрированные в табл. 2, также находят естественное объяснение в свете различия функций светимости этих объектов. Действительно, избыток оптических квазизвездных объектов с малыми красными смещениями является отражением избытка объектов низкой светимости. Что касается роста их относительного количества при больших z , то он обусловлен тем, что при приближении к $F_{\max}$ значения нормированной функции светимости квазизвездных радиоисточников должны убывать быстрее, чем значения функции светимости оптических квазизвездных объектов.

Различие функций светимости оптических квазизвездных объектов и квазизвездных радиоисточников непосредственно иллюстрируется табл. 4, где приведены числа объектов того и другого типа ($\lg z > -1.2$) в различных интервалах светимости.

Данные табл. 4 позволяют по функции светимости квазизвездных радиоисточников построить функцию светимости оптических квазизвездных объектов. Для этого отношение пространственных плот-

ностей обоих типов объектов по данным третьей строки табл. 4 было представлено параболой

$$\frac{n_{QSO}}{n_{QSRS}} = 1.60 [\lg F(2500)]^2 - 74.29 \lg F(2500) + 864.60. \quad (2)$$

Таблица 4

$\lg F(2500)$		21.4	22.2	23.0	23.8
Объекты с $-30.0 < \lg f(2500) < -29.2$	QSO	2	8	7	12
	QSRS	0	4	25	20
	n_{QSO}/n_{QSRS}		2.00	0.28	0.60
Объекты с $-30.0 < \lg f(2500)$	QSO	2	11	8	12
	QSRS	0	4	31	30

С помощью этого соотношения функция светимости квазизвездных радиоисточников, полученная в [5], была пересчитана в функцию светимости оптических квазизвездных объектов. Обе функции светимости, нормированные в интервале (22.2—24.2), приведены в табл. 5.

Таблица 5

$\lg F(2500)$	22.4	22.8	23.2	23.6	24.0
QSRS	0.23	0.28	0.27	0.18	0.04
QSO	0.52	0.24	0.08	0.10	0.06

Средние светимости оптических квазизвездных объектов и квазизвездных радиоисточников, полученные по этим двум функциям светимости, отличаются примерно на половину звездной величины. Однако реальное различие между средними светимостями этих объектов должно быть гораздо больше, так как наши оценки произведены лишь по объектам с $\lg F(2500) > 22.2$. Между тем очевидно, что различия между двумя функциями светимости должны возрастать с уменьшением светимости.

Оценка пространственной плотности квазизвездных объектов с $21.8 < \lg F(2500) < 22.2$, произведенная методом, примененным в [5], показывает, что эта величина в три-четыре раза превосходит значение плотности объектов с $22.2 < \lg F(2500) < 22.6$. Грубая же экстраполяция функции светимости квазизвездных радиоисточников свидетельствует о примерно двукратном уменьшении их пространственной

плотности при переходе от второго из упомянутых интервалов светимости к первому. Учитывая это обстоятельство, мы получим, что при рассмотрении оптических квазизвездных объектов и квазизвездных радиоисточников из интервала светимости $21.8 < \lg F(2500) < 24.2$ средняя светимость объектов первого из этих типов оказывается примерно на 1.5–2.0 звездные величины ниже значения, соответствующего второму типу объектов.

3. *Оптические квазизвездные объекты и примыкающие популяции.* Два обстоятельства вводят некоторую неопределенность в термин „оптические квазизвездные объекты“. Первое из них — зависимость возможности обнаружения радиоизлучения от предельной плотности радиопотока данного обзора. В принципе не исключена возможность того, что при переходе к меньшим плотностям радиопотока часть объектов, классифицированных нами как оптические квазизвездные объекты, перейдет в разряд квазизвездных радиоисточников. Поэтому и разделение на оптические квазизвездные объекты и квазизвездные радиоисточники является в определенном смысле условным. Поскольку наша статистика основана на объектах с $f(2500) > 10^{-30}$ вт м⁻² ц⁻¹, а пределу каталога 4C соответствует излученная плотность потока, равная на частоте 500 Мц примерно $f(500) = 10^{-26}$ вт м⁻² ц⁻¹, то можно исходить из того, что в настоящей работе произведено сравнение функций светимости объектов с $F(2500)/F(500) > 10^{-4}$ и объектов с $F(2500)/F(500) < 10^{-4}$.

Второе обстоятельство, вводящее долю условности в понятие „оптические квазизвездные объекты“, связано с морфологической характеристикой этих образований. В недавней работе Г. Арпа [6] было, например, показано, что изображения нескольких объектов, входящих в табл. 1, в фокусе 200-дюймового телескопа отличаются от звезд.

С другой стороны, как показал обзор Б. Е. Маркаряна [7–9] на сравнительно небольших расстояниях имеется большое количество (10^{-3} Мпс⁻³) конденсированных сфероидальных образований, сходных с точки зрения их спектра и цвета с квазизвездными объектами [10]. Поскольку степень „квазизвездности“ объекта, очевидно, является функцией его расстояния, то в [10] сделан вывод о том, что квазизвездные объекты представляют собой часть конденсированных сфероидальных объектов, обладающих в среднем более высокими светимостями и более высокой степенью конденсированности.

Средние абсолютные величины M_V для квазизвездных радиоисточников, оптических квазизвездных объектов и конденсированных сфе-

роидальных объектов, составляющих последовательность с убывающей степенью конденсированности, равны примерно -23.0 , -21.0 , -19.0 .

Бюраканская астрофизическая
обсерватория

QUASI-STELLAR RADIO SOURCES AND OPTICAL QUASI-STELLAR OBJECTS

M. A. ARAKELIAN

The distributions of redshifts and luminosities of quasi-stellar radio sources and optical quasi-stellar objects are compared. The differences between distributions of these two types of objects make it possible to conclude that their luminosity functions are different. The relative number of quasi-stellar radio sources and optical quasi-stellar objects raises with luminosity. The mean luminosity of quasi-stellar radio sources exceeds at least by one and a half magnitude the mean luminosity of optical quasi-stellar objects.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. A. R. Sandage, *Ap. J.*, 141, 1560, 1965.
2. В. А. Амбарцумян, *ДАН АрмССР*, 23, 161, 1956.
3. A. Braccetti, L. Formigini, E. Gandolfi, *Astron. Astrophys.*, 5, 264, 1970.
4. М. А. Аракелян, *Астрофизика*, 5, 461, 1969.
5. М. А. Аракелян, *Астрофизика*, 6, 531, 1970.
6. H. Arp, *Ap. J.*, 162, 811, 1970.
7. Б. Е. Маркарян, *Астрофизика*, 3, 55, 1967.
8. Б. Е. Маркарян, *Астрофизика*, 5, 443, 1969.
9. Б. Е. Маркарян, *Астрофизика*, 5, 581, 1969.
10. М. А. Аракелян, Э. А. Дибай, В. Ф. Есипов, Б. Е. Маркарян, *Астрофизика*, 7, 177, 1971.

