

ИНФРАКРАСНЫЕ И РАДИООСОБЕННОСТИ ГАЛАКТИК С УФ-ИЗБЫТКОМ

Ж.Р.МАРТИРОСЯН

Поступила 16 марта 2007

Принята к печати 6 июня 2007

Приводится статистическое исследование галактик с УФ-избытком. Использована выборка 702 галактик Казаряна (ГК). ГК были отождествлены с объектами из каталогов MAPS, IRAS FSC, IRAS PSC и NVSS. Для более 92% ГК были известны звездные величины O и E . Показано, что выборка ГК полная - до $16^m.0$ в синих и до $16^m.5$ - в красных лучах. Более 36% ГК были отождествлены с инфракрасными (ИК) источниками на длинах волн 12, 25, 60 и 100 мкм. Вычисление далеких ИК (far-infrared, FIR) светимостей показало, что 4% ГК обладают сильным FIR излучением ($L_{FIR} \geq 10^{11} L_{\odot}$). Более 32% ГК были отождествлены с радиоисточниками на частоте 1.4 ГГц. Определение радиосветимостей показало, что в выборку ГК с известными лучевыми скоростями входит один мощный $L_{R} \geq 10^{23}$ Вт Гц⁻¹ радиообъект (Kaz 273), являющийся объектом типа BL Lac. Выявлена тесная корреляция ($r=0.93$) между FIR и радиосветимостями для галактик с УФ-избытком. Исследование связи FIR и радиосветимостей для галактик разных спектральных классов показало, что коэффициент корреляции более высок ($r=0.99$), и наклон зависимости более крутой ($a=1.18$) для сейфертовских галактик. По результатам вычисления логарифма отношения FIR и радиоплотностей потоков установлено, что в выборку входят 4 ГК с радиоизбытком, а галактики с ИК- избытком - отсутствуют.

Ключевые слова: *галактики с УФ-избытком; инфракрасные и радиоособенности*

1. *Введение.* Идея В.А.Амбарцумяна об активности ядер галактик лежит в основе объяснения процессов, происходящих в мире галактик. Отметим некоторые из них: бурные движения материи, изменения яркости, извержения струй и сгущений и т.д. [1]. Наблюдения показали, что излучение тех галактик, в которых происходят эти процессы, часто имеет ультрафиолетовый избыток (УФИ), поэтому они также относятся к числу активных галактик.

Однако явление активности не ограничивается УФИ. Согласно В.А.Амбарцумяну, инфракрасная эмиссия представляет другую, очень важную форму активности некоторых ядер, а сильная радиочастотная эмиссия всегда связана с активностью ядер.

Интересно сопоставление разных обзоров для нахождения всевозможных корреляций между разными диапазонами спектра галактик. Такие корреляции существуют даже тогда, когда механизмы излучения в разных диапазонах разные. Например, давно установлено, что

инфракрасное (ИК) излучение нормальных галактик обусловлено тепловым механизмом - излучением межзвездной пыли. Между тем радиоизлучение галактик в основном обусловлено нетепловым механизмом - синхротронным излучением релятивистских электронов в межзвездных магнитных полях [2]. Несмотря на это, общеизвестной корреляцией является тесная корреляция между ИК- и радиоизлучением галактик [2-9]. Это означает, что имеется физическая связь процессов, рождающих ИК- и радиоизлучения.

К концу прошлого столетия с развитием внеатмосферной астрономии стали возможны исследования внегалактических источников с помощью IRAS в инфракрасном диапазоне спектра на длинах волн 12, 25, 60 и 100 мкм. Обзор IRAS покрывает примерно 96% неба и содержит около 20000 галактик [3]. В последнем десятилетии был выполнен обзор NVSS на частоте 1.4 ГГц. Обзор содержит около $1.8 \cdot 10^6$ источников [3].

Таким образом, была проведена огромная наблюдательная работа, которая позволяет выполнить статистическое исследование. Несколько десятилетий в этом направлении проводятся активные исследования.

В [3-9] используются выборки, составленные из ИК-, радиообзоров, а также выборки нормальных галактик. В настоящей работе, используя вышеотмеченные обзоры, приведены некоторые особенности галактик с УФИ [5-7] в ИК- и радиодиапазонах.

2. Выборка галактик с УФИ. Для статистического исследования была использована выборка 702 галактик [10-15], обнаруженных М.А.Казаряном на обзорных пластинках, полученных на 1-м телескопе системы Шмидта Бюраканской обсерватории с $1^\circ.5$ объективной призмой.

Ранее, в работе [16], по известным и по оцененным звездным величинам, собранным из разных источников, была показана полнота выборки тогда еще 580 галактик из 5-и списков М.А.Казаряна.

В настоящей работе, по уже уточненным координатам, во избежание вышеуказанной наблюдательной селекции, ГК были отождествлены с объектами из каталога MAPS. Для 92% ГК точные оптические величины O и E были взяты из данного каталога. Были использованы интегральные величины O и E , которые по эффективным длинам волн можно считать сходными с B и R , соответственно.

Для определения полноты выборки, распределение галактик принимается однородным и полнота проверяется уравнением

$$\log N = am + b,$$

где N - полное количество объектов выборки до данной звездной величины. При полной выборке $a=0.6$. Как видно из рис.1, прямо-

линейная часть распределения звездных величин доходит до $16^m.0$ в синих и до $16^m.5$ - в красных лучах.

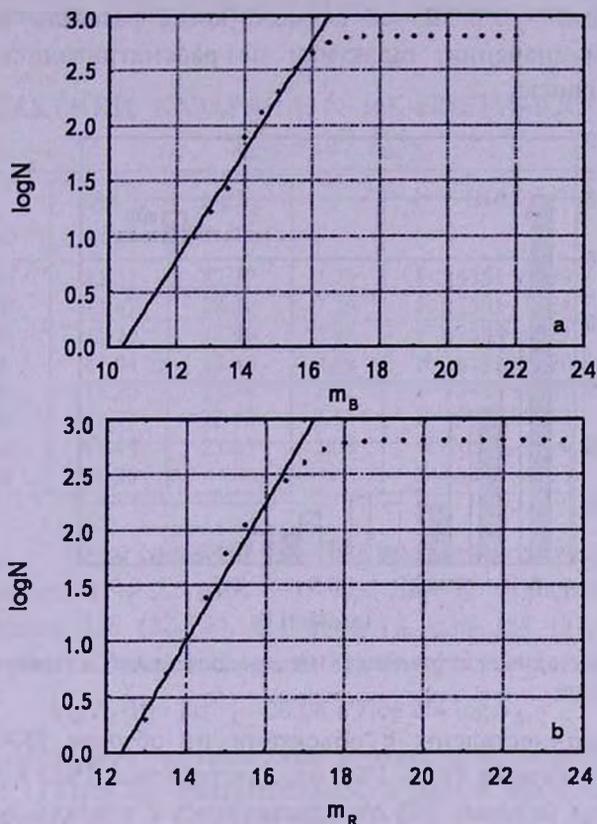


Рис.1. Распределение звездных величин ГК в синих а) и в красных б) лучах.

Уравнения прямолинейных частей распределений следующие:

$$\log N = 0.49 m_B - 5.09 \quad (\text{в синих лучах})$$

$$\log N = 0.62 m_R - 7.69 \quad (\text{в красных лучах})$$

Таким образом, используемую выборку можно считать полной, что позволяет провести достоверные статистические исследования.

3. *ГК - как источники ИК- и радиоизлучения.* Для ГК проводилось сравнение их оптических координат с координатами ИК- и радиоисточников (т.е. так называемая "cross"-корреляция). В работах [3,6,7] галактики считаются идентичными с ИК-источниками, когда разности их координат не превосходят $60''$, а для радиоисточников - $45''$. Руководствуясь этим принципом отбора, подробно рассматривались граничные случаи. На рис.2 показана гистограмма разностей оптических координат и координат, приведенных в каталогах IRAS FSC и PSC, а

также в NVSS. В результате, ГК считали идентичными с ИК-источниками, когда разности их координат не превышали $0'.9$, а с радиоисточниками - $0'.8$. В тех случаях, когда разности координат превышали эти значения, галактики не рассматривались и были исключены из списка.

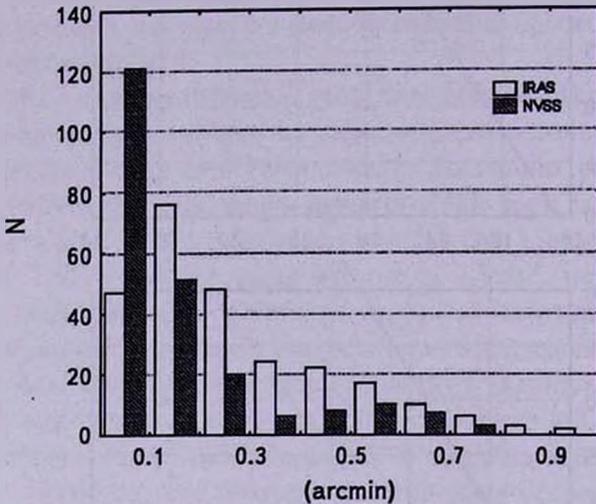


Рис.2. Разности координат оптических и ИК (заштрихованная), а также оптических и радио, в минутах дуги.

ГК были отождествлены с объектами из обзоров IRAS FSC и IRAS PSC. С объектами IRAS FSC отождествлялись 250 ГК, а с IRAS PSC - 148 ГК, из которых 143 отождествлялись с объектами из обоих каталогов. Для галактик, которые вошли в оба каталога, мы использовали значения плотностей потоков, взятые из IRAS FSC, так как граничная плотность потока на 60 мкм - $S_{60} \approx 0.3 \text{ Ян}$, т.е чувствительность IRAS FSC в 2.5 раза выше, чем IRAS PSC [6]. Для остальных 5-и ГК значения плотностей потоков взяты из IRAS PSC. Таким образом, из 702 ГК с ИК-источниками отождествлены 255 (36.3%).

Для 47% ГК из 702 известны лучевые скорости. Из 255 ГК, отождествленных с объектами IRAS, для 198 (77.6%) известны лучевые скорости. Для них были определены интегральные светимости $L_{FIR}(L_{\odot})$ в диапазоне $40\text{-}120 \text{ мкм}$ [17].

$$L_{FIR}(L_{\odot}) = 5.6 \cdot 10^5 D(\text{Мпк})^2 (2.58 S_{60} + S_{100}),$$

где D - расстояние до галактики в Мпк ($H = 75 \text{ км с}^{-1} \text{ Мпк}^{-1}$), а S_{60} и S_{100} - плотности потоков на длинах волн 60 и 100 мкм в Ян.

Вычисления показали, что 8 ГК обладают сильным FIR-излучением [3]. В табл.1 приведены ГК, для которых $L_{FIR} \geq 10^{11} L_{\odot}$. Таким образом, из 198 ГК 4% обладают сильным FIR-излучением. FIR-светимости

нашей выборки охватывают область $10^{7.68} L_{\odot} \leq L_{FIR} \leq 10^{11.47} L_{\odot}$.

Как было сказано выше, ГК отождествлялись с объектами из обзора NVSS, выполненного на частоте 1.4 ГГц, который покрывает небесную

Таблица 1

ГАЛАКТИКИ КАЗАРЯНА С ИК-СВЕТИМОСТЯМИ

$$L_{FIR} \geq 10^{11} L_{\odot}$$

Kaz	V (км/с)	$\log L_{FIR}$ (L_{\odot})	$\log L_R$ (Вт/Гц)	q	IRAS	Спектральный класс
32	11160	11.31	22.37	2.79	F 14351+7239	
170	15370	11.47	23.10	2.23	F 17501+6824	Н II
176	24450	11.25	22.96	2.15	F 17584+6917	
194	6200	11.04	22.30	2.59	F 18131+6820	Н II
348	4280	11.20	22.74	2.32	F 23488+1949	Sbst, Н II
411	13740	11.13	22.45	2.54	F 15062+7338	
512	15230	11.44	23.25	2.05	F 20567-1109	
664	35400	11.25	-	-	F 18010+6721	

сферу с $\delta_{2000} > -40^\circ$ и содержит $\sim 1.8 \cdot 10^6$ радиоисточников с граничной чувствительностью в 2.5 мЯн [7]. Из 702 ГК с радиоисточниками отождествлялись 226 (32.2%). Из этих ГК для 184 (81.4%) известны лучевые скорости. Вычислены радиосветимости этих галактик.

$$\log L_R (\text{Вт} \cdot \text{Гц}^{-1}) = 20.08 + 2 \log D + \log S_R.$$

Здесь D - расстояние до галактики в Мпк, а S_R - плотность потока на частоте 1.4 ГГц в Ян. Радиосветимости нашей выборки охватывают область $10^{19.92} \text{Вт} \cdot \text{Гц}^{-1} \leq L_R \leq 10^{24.97} \text{Вт} \cdot \text{Гц}^{-1}$.

Мощными радиообъектами считаются те галактики, которые на частоте 1.4 ГГц имеют радиосветимость $L_R \geq 10^{25} \text{Вт} \cdot \text{Гц}^{-1}$ [3]. В нашу выборку ГК с известными лучевыми скоростями входит только один мощный радиоисточник со светимостью $L_R = 10^{24.97} \text{Вт} \cdot \text{Гц}^{-1}$. Эта галактика Kaz 273 (UGC 11130) является объектом типа BL Lac. Его красное смещение $z = 0.051$, а абсолютная фотографическая величина $M = -21.46$. Kaz 273 является источником рентгеновского излучения и членом скопления Цвикки N8343 [16].

4. *Связь между ИК- и радиосветимостями ГК.* У разных выборок галактик, обсуждаемых в литературе, эта зависимость получается тесной с высоким коэффициентом корреляции и рассматривается как доказательство продолжающегося звездообразования в этих галактиках [3-7]. Линейная природа зависимости ИК-радиосветимостей объясняется прямой зависимостью между звездообразованием и происхождением космических лучей [3].

Для 143 ГК, которые отождествлялись как с ИК-, так и с радиисточниками, приведена зависимость между светимостями на частоте 1.4 ГГц и вышеуказанными интегральными светимостями в диапазоне 40-120 мкм (т.е. $L_{FIR}(L_{\odot})$). Как видно из рис.3, получается

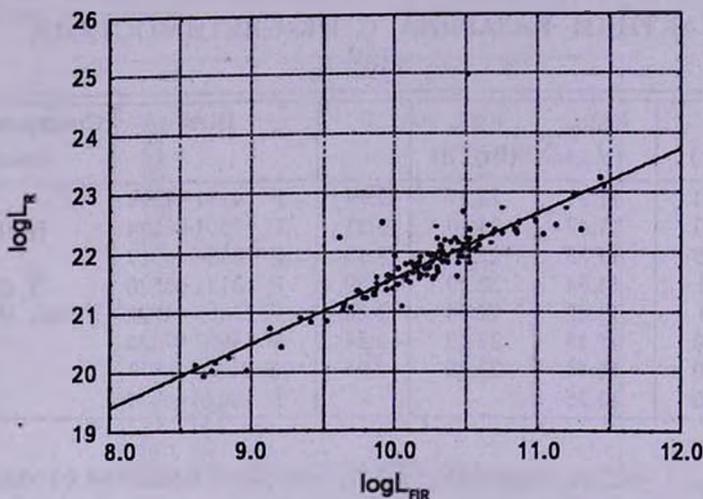


Рис.3. Зависимость между ИК- и радиосветимостями.

тесная корреляция с коэффициентом корреляции $r=0.87$. Уравнение линейной регрессии для полученной зависимости имеет вид:

$$\log L_R = (10.73 \pm 0.53) + (1.08 \pm 0.05) \log L_{FIR} .$$

Из рис.3 видно, что один объект из нашей выборки имеет большое отклонение от линейной зависимости. Этот объект - вышеотмеченный мощный радиисточник Kaz 273. Исключая этот объект из рассмотрения, для коэффициента корреляции получаем $r=0.93$.

Для исключения влияния зависимости светимости галактик от их массы [2], была исследована зависимость ИК- и радиосветимостей нормированных по площади поверхности галактик. Для этой цели были использованы угловые диаметры ГК [10-15]. Коэффициент корреляции и при учете $L(M)$ зависимости остается высоким ($r=0.92$). Уравнение линейной регрессии для полученной зависимости имеет вид:

$$\log L_R = (11.88 \pm 0.29) + (0.96 \pm 0.03) \log L_{FIR} .$$

Согласно некоторым работам, зависимость между ИК- и радиосветимостями может быть нелинейной. По-видимому, это обусловлено тем, что ИК- и радиосветимости не прямо пропорциональны темпу звездообразования в этих галактиках.

Так как в выборку ГК входят галактики разных спектральных классов, то в работе рассматривалась зависимость ИК- и радиосветимостей также

для отдельных классов [8,9]. Символы спектральной классификации ГК взяты из NED, где приведены следующие обозначения: HII, Sbst, Sy, LINER, AGN, NLAGN и QSO [18].

В табл.2 приведены коэффициенты a и b линейной зависимости $\log L_R = a \log L_{FIR} + b$, коэффициенты корреляций, количество галактик по разным спектральным классам, а также стандартные отклонения SD. Как видно из таблицы, для ГК, являющихся сейфертовскими галактиками, коэффициент корреляции получается выше ($r = 0.99$), чем для всей выборки.

Таблица 2

ЗАВИСИМОСТИ ИК- И РАДИОСВЕТИМОСТЕЙ ПО РАЗНЫМ СПЕКТРАЛЬНЫМ КЛАССАМ

Спектральный класс	a	b	r	Количество галактик	SD
Sy	1.18 (± 0.06)	9.78 (± 0.62)	0.99 (± 0.05)	11	0.11
LINER	1.14 (± 0.24)	10.13 (± 2.49)	0.92 (± 0.19)	6	0.19
H II, Sbst	0.99 (± 0.09)	11.72 (± 0.99)	0.93 (± 0.09)	18	0.23
Не классифицированные	1.06 (± 0.04)	10.97 (± 0.44)	0.92 (± 0.04)	106	0.23

Наблюдаемая тесная корреляция между ИК- и радиосветимостями не может быть обусловлена зависимостью светимостей галактик от расстояния, так как аналогичная зависимость существует также между плотностями ИК- и радиопотоков. Это служит доказательством того, что зависимость между ИК- и радиоизлучением обусловлена какими-

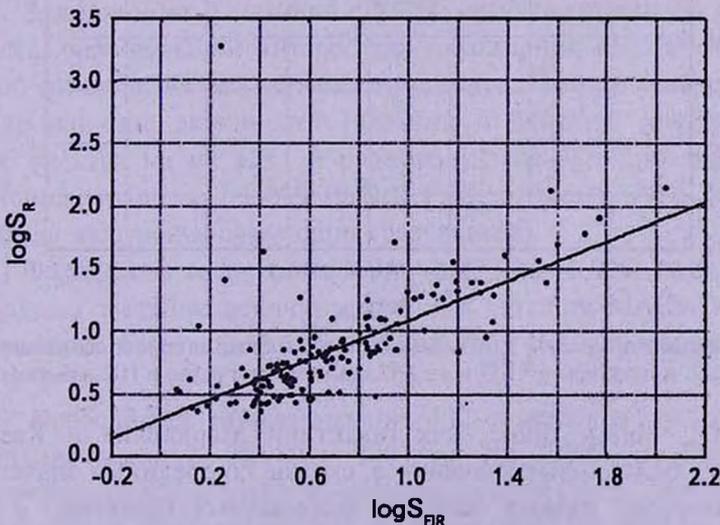


Рис.4. Зависимость между плотностями потоков ИК- и радиоизлучения.

то внутренними причинами [2,3]. Из рис.4 видно, что между $\log S_{FIR}$ и $\log S_R$ есть приблизительно линейная зависимость, уравнение которой следующее:

$$\log S_R = (0.3 \pm 0.05) + (0.78 \pm 0.07) \log S_{FIR} \quad (r = 0.67).$$

Исключая из рассмотрения Kaz 273, получаем, $r = 0.82$.

Возвращаясь к нелинейности связи $\log L_{FIR}(L_\odot)$ и $\log L_R$, мы использовали параметр q [3], который лучше всего характеризует дисперсию корреляции ИК- и радиосветимостей:

$$q \equiv \log \left(\frac{S_{FIR}}{3.75 \cdot 10^{12} \text{ Вт м}^{-2}} \right) - \log \left(\frac{S_R}{\text{Вт м}^{-2} \text{ Гц}^{-1}} \right),$$

Здесь S_R - плотность потока на частоте 1.4 ГГц, в единицах $\text{Вт м}^{-2} \text{ Гц}^{-1}$, а

$$S_{FIR} \equiv 1.26 \cdot 10^{-14} (2.58 S_{60} + S_{100}) \text{ Вт м}^{-2},$$

где S_{60} и S_{100} - плотности потоков на длинах волн 60 и 100 мкм в Ян, соответственно. На рис.5 приведена зависимость $\log L_{FIR}(q)$, среднее значение q для всей выборки равно, $q = 2.27$. Это значение схоже со значением, полученным для выборки галактик Маркаряна $q \approx 2.3$ [7]. Этим подтверждается тот факт, что галактики с бурным звездообразо-

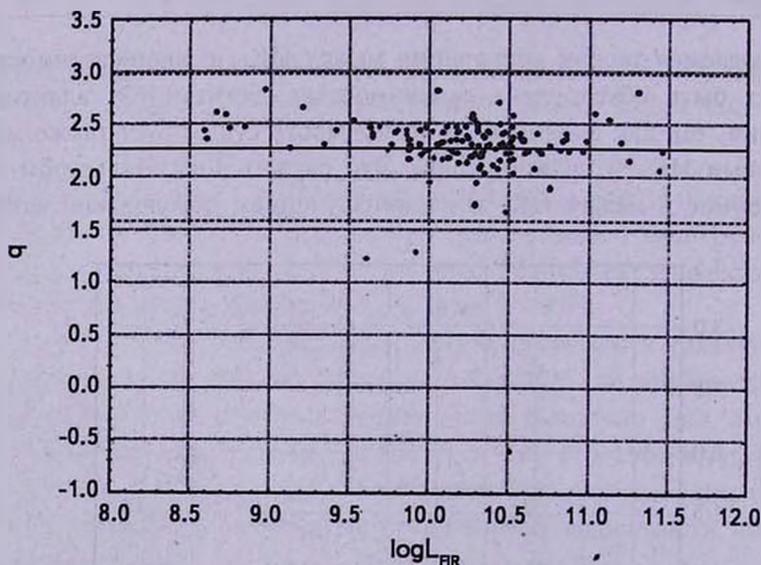


Рис.5. Зависимость между q и FIR-светимостями. Сплошная линия обозначает среднее значение $q = 2.27$. А пунктиры $q = 1.57$ и $q = 2.97$ характеризуют радио и ИК-избытки галактик.

ванием (HII, Sbrst), такие, как галактики Маркаряна и Казаряна, имеют почти одинаковые значения q , схожие со средними значениями, полученными для разных выборок нормальных галактик, $q \approx 2.35$. Это показывает, что параметр q не зависит от темпа звездообразования [3]. Как видно из рис.5, все точки на графике ограничены двумя

параллельными линиями, значения которых соответствуют избытку и дефициту радиоизлучения, отличающихся от среднего значения в 5 раз. На рисунке видно, что только 3 ГК остаются за пределами этой полосы. Это означает, что примерно 98% ГК из этой выборки имеют "нормальные" значения q .

Объекты, имеющие малые или большие значения q , существенно разные. Галактики, имеющие экстремальные значения q , которые отличаются от среднего значения q в 5 раз, принято считать объектами с ИК- или радиоизбытком [3]. В нашем случае среди 165 ГК, для которых известны значения q , имеются 4 галактики с радиоизбытком ($q \leq 1.57$) и нет ни одной галактики с ИК- избытком ($q \geq 2.97$). В табл.3 приведены галактики с радиоизбытком.

Таблица 3

ГАЛАКТИКИ КАЗАРЯНА С РАДИОИЗБЫТКОМ

Каз	V (км/с)	$\log L_{IR}$ (L_{\odot})	$\log L_R$ (Вт/Гц)	q	NVSS	Спектральный класс
87	4440	9.61	22.26	1.21	164320+703758	BL Lac
273	15300	10.51	24.97	-0.6	180650+694928	
391	-	-	-	1.54	122816+231242	
541	7600	9.92	22.50	1.28	222933-194954	

Индикатором присутствия AGN в галактике считается ее радиоизбыток. Среди ГК таких кандидатов 4 (2.4%), один из которых уже известен как объект типа BL Lac, а природа остальных пока не определена.

5. **Заключение.** Галактики с УФИ, являясь активными галактиками, представляют большой интерес для нахождения всевозможных корреляций, сопоставляя разные области спектра. Интересно было выяснить, каково влияние активности галактик в ближней ультрафиолетовой части спектра на их ИК- и радиоизлучательные способности?

Используя обзоры IRAS FSC и PSC, а также NVSS, для выборки ГК были получены следующие результаты:

1) Определена полнота выборки 702 ГК, для 92% из которых были приведены звездные величины O и E в каталоге MAPS. Установлено, что выборка ГК в синих лучах полная до $16^m.0$, а в красных лучах - до $16^m.5$.

2) Проводились отождествления ГК с источниками ИК-излучения на длинах волн 12, 25, 60 и 100 мкм. Из 702 ГК с объектами IRAS отождествлены 255 (36.3%), из которых для 198 ГК (77.6%) по известным лучевым скоростям вычислены интегральные светимости в диапазоне 40-120 мкм. Показано, что около 4% ГК обладают сильным FIR-

излучением с $L_{FIR} \geq 10^{11} L_{\odot}$. Такие светимости характерны для двойных или взаимодействующих галактик [3].

3) ГК отождествлялись также с объектами из каталога NVSS на частоте 1.4 ГГц. Из 702 ГК с радиоисточниками отождествлены 226 (32.2%), из которых для 184 (81.4%) по известным лучевым скоростям вычислены радиосветимости. В выборку галактик с УФИ входит только один мощный радиоисточник с $L_R \geq 10^{25}$ Вт Гц⁻¹. Эта галактика является объектом типа VL Lac.

4) Рассматривалась также связь между ИК- и радиосветимостями галактик с УФИ. Получилась достаточно тесная зависимость с коэффициентом корреляции $r=0.93$. Для ГК, являющихся сейфертовскими галактиками, коэффициент корреляции получается выше ($r=0.99$). Корреляция остается также тесной после учета влияния связи между массой и светимостью галактик ($r=0.92$). Наклоны зависимостей в пределах ошибок очень мало отличаются от единицы.

5) Вычислены значения параметра q , характеризующего дисперсию корреляции между ИК- и радиосветимостями. Для галактик с УФИ получено среднее значение $q=2.27$, близкое к значениям, полученным для нормальных галактик ($q=2.35$) и для галактик Маркаряна ($q=2.3$). В нашу выборку входят 4 ГК с радиоизбытком, но нет ни одной ГК с ИК-избытком.

Резюмируя полученные результаты, можно с уверенностью утверждать, что галактики с УФИ, как и нормальные галактики, следуют линейной зависимости между ИК- и радиосветимостями.

Ереванский государственный университет,
Кафедра астрофизики им. В.А.Амбарцумяна,
Армения, e-mail: jaklin@ysu.am

INFRA-RED AND RADIO FEATURES OF GALAXIES WITH UV EXCESS

J.R.MARTIROSIAN

Statistical research of galaxies with UV-excess has been carried out. Sample of 702 Kazarian's galaxies (KG) is used. KG has been identified with objects from catalogues MAPS, IRAS FSC, IRAS PSC and NVSS. Magnitudes O and E are known for more than 92% KG. It is shown, that the sample is complete up to $16^m.0$ in blue and up to $16^m.5$ - in red colors.

More than 36% KG have been identified with infra-red sources at wavelengths 12, 25, 60 and 100 microns. The calculation of FIR luminosities has shown that 4% of KG is luminous IR galaxies with $L_{FIR} \geq 10^{11} L_{\odot}$. More than 32% KG have been identified with radio sources at frequency 1.4 GHz. Definition of radio luminosities has shown, that in the KG sample there is a radio-loud ($L_R \geq 10^{25} \text{ WHz}^{-1}$) BL Lac type object Kaz 273 with known radial velocity. Tight correlation ($r=0.93$) between FIR and radio luminosities for galaxies with UV-excess is received. The investigation of connection FIR and radio luminosities for galaxies of different spectral classes has shown that the coefficient of correlation is higher ($r=0.99$), and the inclination of dependence is steeper ($a=1.18$) for Seyfert type galaxies. From calculations of logarithm of the ratio FIR and radio flux densities it is established, that in the sample there are 4 KG with radio excess, while galaxies with IR-excess are absent.

Key words: *galaxies: UV-excess: infrared and radio properties*

ЛИТЕРАТУРА

1. В.А.Амбарцумян, Научные труды, 3-й том, Ереван, 1988.
2. В.Г.Малумян, Астрофизика, 43, 33, 2000.
3. Min S.Yun, Naveen A.Reddy, Astrophys. J., 554, 803, 2001.
4. J.J.Condon, M.L.Anderson, G.Helou, Astrophys. J., 376, 95, 1991.
5. Ю.И.Изотов, И.Ю.Изотова, Астрофизика, 30, 312, 1989.
6. M.D.Bicaу, G.Kojoian et. al, Astrophys. J., 98, No.2, 369, 1995.
7. Shao-Gung Luo, Xue-Bing Wu, Chin. J. Astron. Astrophys., 5, No.5, 448, 2005.
8. В.Г.Малумян, В.Г.Панадзян, Астрофизика, 43, 549, 2000.
9. В.Г.Малумян, В.Г.Панадзян, Астрофизика, 44, 603, 2001.
10. М.А.Казарян, Астрофизика, 15, 5, 1979.
11. М.А.Казарян, Астрофизика, 15, 193, 1979.
12. М.А.Казарян, Э.С.Казарян, Астрофизика, 16, 17, 1980.
13. М.А.Казарян, Э.С.Казарян, Астрофизика, 18, 512, 1982.
14. М.А.Казарян, Э.С.Казарян, Астрофизика, 19, 213, 1983.
15. М.А.Казарян, Г.В.Петросян, Астрофизика, 48, 409, 2005.
16. М.А.Казарян, Ж.Р.Мартиросян, Астрофизика, 46, 207, 2003.
17. P.A.Duc, I.F.Mirabel, J.Maza, Astron. Astrophys. Suppl. Ser., 124, 533, 1997.
18. S.Veilleux, D.E.Osterbrock, Astrophys. J. Suppl. Ser., 63, 295, 1987.