

УДК: 524.7—76

ИССЛЕДОВАНИЕ ДАЛЬНОГО ИНФРАКРАСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ГАЛАКТИК МАРКАРЯНА. II. СРАВНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ГАЛАКТИК В РАДИО-, ОПТИЧЕСКОМ И ИК-ДИАПАЗОНАХ

Ю. И. ИЗОТОВ, И. Ю. ИЗОТОВА

Поступила 16 марта 1988

Принята к печати 16 июня 1988

Проведено статистическое исследование галактик Маркарьяна в оптическом, дальнем инфракрасном и радиодиапазонах. На основе ранговых коэффициентов Спирмена показано существование истинной корреляции между мощностью излучения галактик Маркарьяна на длине волны 6.3 см и их светимостью в дальнем ИК-диапазоне. Массы атомарного водорода и вириальные (полные) массы галактик лучше коррелируют с оптической светимостью. Показано, что активные ядра не оказывают заметного влияния на темпы звездообразования в сейфертовских галактиках.

1. *Введение.* В [1] было проведено статистическое исследование галактик Маркарьяна в оптическом и дальнем инфракрасном диапазонах. В данной работе характеристики, полученные в [1], сравниваются с результатами наблюдений галактик Маркарьяна в радиодиапазоне.

Подобные исследования для отдельных выборок из списка Маркарьяна проводились в ряде работ. В [2] обнаружена тесная корреляционная связь между радиомощностью голубых компактных галактик (BCG) на длине волны 6.3 см и их светимостью в дальнем инфракрасном диапазоне. Показано, что BCG в радиодиапазоне характеризуются более плоскими спектрами, чем спиральные галактики, поэтому значительная доля радиоизлучения голубых компактных галактик имеет тепловую природу. Была найдена слабая корреляционная связь между светимостью в ИК-диапазоне и массой атомарного водорода в BCG по наблюдениям в линии 21 см. В [2] приводятся аргументы в пользу того, что ИК-излучение в голубых компактных галактиках возникает в зонах ионизованного водорода, а не в гигантских молекулярных облаках.

Сравнение характеристик голубых компактных галактик в оптическом и радиодиапазоне на длине волны 6.3 см проведено в работе [3]. В среднем отношение светимостей в радио- и оптическом диапазонах у BCG в 10 раз выше, чем у спиральных галактик. Отмечается, что зависимость

радиосветимости VCG на $\lambda = 6.3$ см от оптической светимости L_V , отличная от зависимости для нормальных галактик, указывает на малый вклад синхротронного излучения на длине волны 6.3 см, которое в VCG генерируется при вспышках сверхновых.

В [4] проведено исследование 4 клочковатых неправильных галактик, входящих в список Маркаряна. В двух галактиках отношение радиомощности $P_{6.3}$ к инфракрасной светимости L_{FIR} значительно превосходит соответствующую величину для нормальных галактик из каталогов RC2, UGC и CGCG. У неправильных галактик, по-видимому, отсутствует ядро, поэтому нетепловое радиоизлучение генерируется преимущественно массивными звездами, тогда как нагрев пыли осуществляется как массивными звездами, так и звездами промежуточных масс. Высокое значение $P_{6.3}/L_{FIR}$ у двух из рассматриваемых в [4] галактик свидетельствует о большой скорости звездообразования, в частности, у Марк 297 она в 10 раз выше, чем в нормальных спиральных галактиках, а частота вспышек сверхновых оценивается в 1 событие за 2—3 года.

В работах [6, 7] исследуются функция радиосветимости, двумерная (радио, рентген) и трехмерная (радио, рентген, оптика) функции светимости сейфертовских галактик. Показано существование истинной корреляции между радио- и рентгеновским излучениями галактик типа Sy 1, а также определена зависимость средней радиосветимости $\bar{P}_{1.4}$ и функции радиосветимости $F (\geq P)$ от оптической светимости L_p галактик.

Сравнение характеристик отдельных галактик Маркаряна в оптическом, ИК- и радиодиапазонах проведено также в [8, 9].

В настоящей работе проводится статистическое исследование галактик всего списка Маркаряна, для которых известны радиоданные.

2. Сравнение характеристик галактик Маркаряна в оптическом, дальнем инфракрасном и радиодиапазонах. В [1] показано, что сейфертовские и H II-галактики из списка Маркаряна имеют ряд отличительных свойств в оптическом и инфракрасном диапазонах. Поэтому в данной работе сохранено разделение галактик Маркаряна на сейфертовские (IRS) и H II-галактики (IRE). Данные наблюдений в дальнем ИК-диапазоне предоставлены Центром астрономических данных Астрономического совета АН СССР, результаты наблюдений в радиоконтинууме на длинах волн 6.3 см и 20 см приведены в [2—5, 9—11], массы атомарного водорода и вириальные массы галактик по наблюдениям на длине волны 21 см—в [5, 12—23]. Данные об излучении галактик в оптическом диапазоне взяты из работ, перечисленных в [1].

На рис. 1 представлены дифференциальные функции радиосветимости сейфертовских и H II-галактик, входящих в списки Маркаряна, на длине волны 6.3 см. Функции радиосветимости построены с учетом точных зна-

чений и верхних пределов потоков в радиодиапазоне. При этом использовалась методика, разработанная в [24]. Как следует из рис. 1, сейфертовские галактики в среднем имеют в ~ 15 раз более высокую светимость, чем H II-галактики, однако диапазон изменения $P_{6.3}$ в обоих случаях велик и составляет 3 порядка величины.

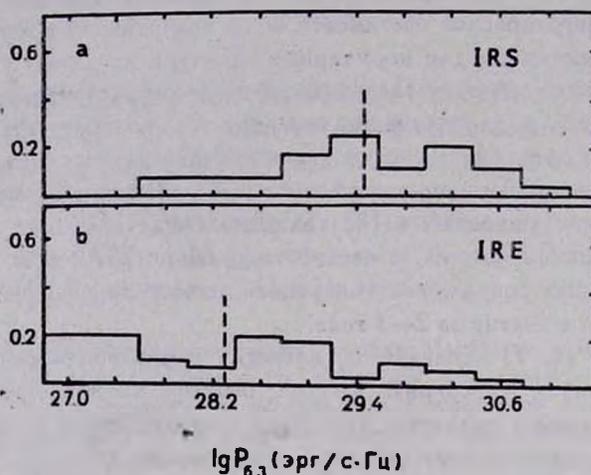
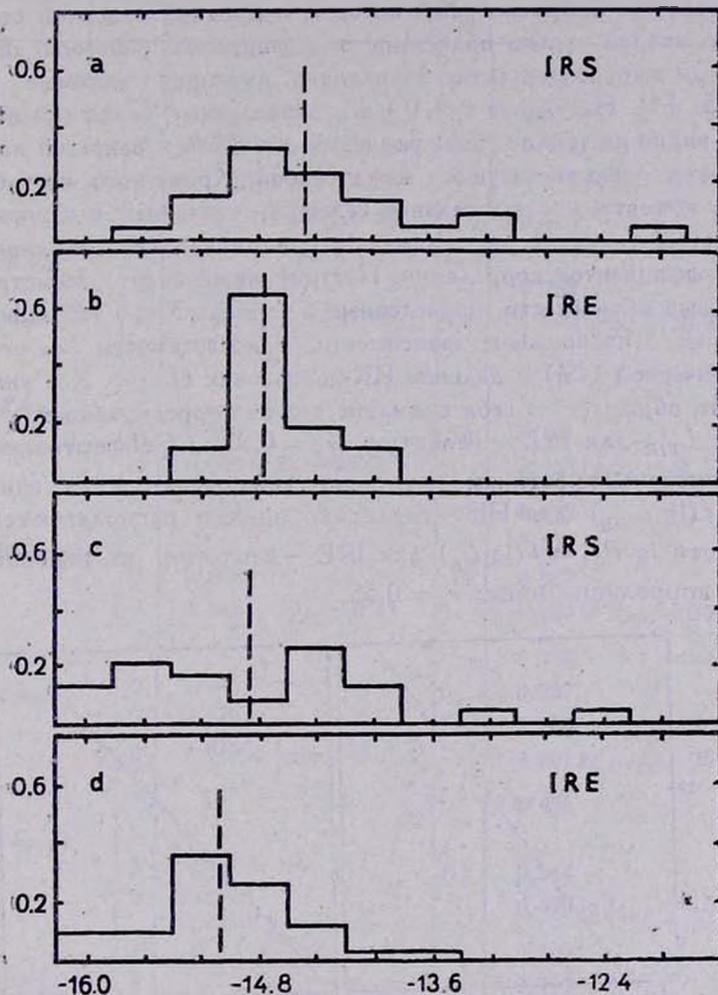


Рис. 1. Дифференциальная функция радиосветимости IRS и IRE-галактик на длине волны $\lambda = 6.3$ см.

На рис. 2 изображены распределения галактик Маркаряна по величинам $P_{6.3}/L_{FIR}$ и $P_{6.3}/L_B$, также учитывающие вклад галактик с верхними пределами потоков на длине волны 6.3 см. Приведенные на рис. 2 распределения позволяют сделать определенные выводы о тесноте связи между L_B и $P_{6.3}$, а также L_{FIR} и $P_{6.3}$. Средние значения $P_{6.3}/L_{FIR}$ и $P_{6.3}/L_B$ для сейфертовских галактик мало отличаются от тех же величин в случае IRE-галактик. Однако разброс величин для сейфертовских галактик значительно больше, что указывает на слабую связь радиосветимости и светимостей в оптическом и инфракрасном диапазонах для IRS-галактик. С другой стороны, несмотря на большой разброс радиосветимостей IRE-галактик, значения $P_{6.3}/L_{FIR}$ для них находятся в узком диапазоне, что является прямым указанием на тесную корреляционную связь между $P_{6.3}$ и L_{FIR} . Из рис. 2 также следует, что радиосветимость IRE-галактик с оптической светимостью связана слабее, чем с инфракрасной.

В данной работе проводился поиск регрессионных зависимостей между характеристиками галактик Маркаряна в оптическом диапазоне (оптической светимостью L_B), в дальнем ИК-диапазоне (инфракрасной светимостью L_{FIR}), светимостью L_h (горячего компонента пыли), отношением L_{FIR}/L_B и радиодиапазоне (мощностью радиоизлучения на длине волны

6.3 см $P_{6.3}$, массой атомарного водорода M_H и вириальной массой M_T . В табл. 1 в строках 3 и 4 приведены коэффициенты линейной корреляции r и уравнения регрессии для зависимостей с $r > 0.5$, по крайней мере, для одного класса объектов. Здесь n — количество галактик, по которым на-



$$\lg(P_{6.3}/L_{FIR}), \lg(P_{6.3}/L_B)$$

Рис. 2. Гистограммы распределения галактик Маркаряна по

$$\frac{P_{6.3}}{L_{FIR}} \text{ (a, b) и } \frac{P_{6.3}}{L_B} \text{ (c, d)}.$$

ходились корреляционные связи, при этом выбирались лишь галактики с надежными измерениями потоков на длинах волн 60 и 100 мкм, 6.3 см и в

линии 21 см. Однако, как отмечалось в [7], определенные таким образом корреляционные связи могут быть подвержены эффектам селекции. Для выявления истинных корреляционных связей и выяснения вопроса о том, в какой степени коэффициенты линейной корреляции отражают реальные зависимости, для тех же выборок были рассчитаны коэффициенты ранговой корреляции Спирмена [25], которые приведены в первой строке таблицы. Во второй строке приведены коэффициенты ранговой корреляции для полных выборок галактик Маркаряна, имеющих видимые величины $m \leq 13^m5$ [1]. На уровне $q = 0.1$ все приведенные коэффициенты значимы. Как видно из табл. 1, коэффициенты линейной и ранговой корреляции достаточно хорошо согласуются между собой. Кроме того, из табл. 1 следует, что эффекты наблюдательной селекции, связанные с неполнотой выборок слабых галактик, не оказывают принципиального влияния на значение коэффициентов корреляции. Поэтому ниже будут рассмотрены корреляционные зависимости, приведенные в строках 3 и 4 таблицы.

На рис. 3 изображены зависимости радиосветимости $P_{6.3}$ от светимости в оптическом (L_B) и дальнем ИК-диапазонах (L_{FIR}). Как уже отмечалось выше, обращает на себя внимание тесная корреляционная связь между $P_{6.3}$ и L_{FIR} для IRE — галактик ($r_c = 0.93$). Сейфертовские галактики (помечены крестиками) хорошо укладываются на зависимость $\lg P_{6.3} = f(\lg L_{FIR})$ для III — галактик, однако располагаются правее зависимости $\lg P_{6.3} = f(\lg L_B)$ для IRE — галактик, их ранговый коэффициент корреляции ниже: $r_c = 0.55$.

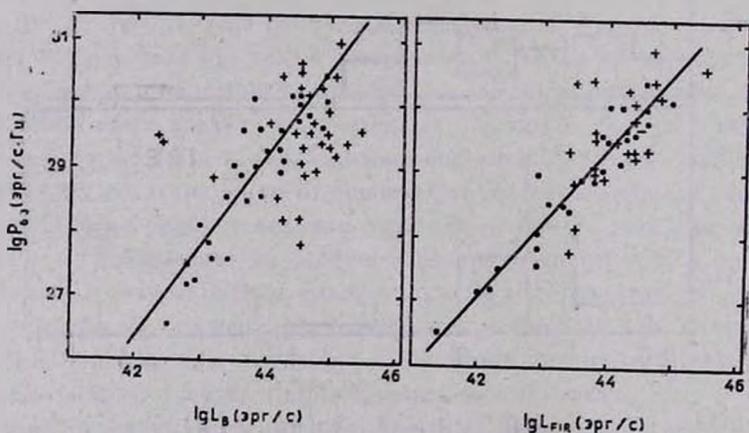


Рис. 3. Зависимость мощности радиоизлучения $P_{6.3}$ галактик Маркаряна $\lambda = 6.3$ см волны $\lambda = 6.3$ см от оптической L_B и инфракрасной L_{FIR} светимостей. Крестиками обозначены галактики Сейфорта, точками — N II-галактики. Сплошными линиями проведены уравнения регрессии для N II-галактик.

Тесная корреляционная связь между $P_{6.3}$ и L_{FIR} показывает, что инфракрасное и радиоизлучение возникают в одних и тех же местах галак-

Таблица 1

КОЭФФИЦИЕНТЫ КОРРЕЛЯЦИИ И УРАВНЕНИЯ ЛИНЕЙНОЙ КОРРЕЛЯЦИИ

Зависимость	Тип галактик				
	IRS		IRE		
	r	N	r	N	
$\lg P_{6.3} = f(\lg L_B)$	1		0.871	25	
	2		0.969	14	
	3	0.254	28	0.891	25
	4			$1.390 \lg L_B - 31.72$	
$\lg M_H = f(\lg L_B)$	1		0.685	49	
	2		0.739	20	
	3	0.673	28	0.753	49
	4	$1.075 \lg L_B - 37.72$		$1.092 \lg L_B - 38.41$	
$\lg M_T = f(\lg L_B)$	1		0.635	32	
	2		0.691	13	
	3	0.750	16	0.701	32
	4	$0.908 \lg L_B - 28.95$		$0.958 \lg L_B - 31.1$	
$\lg P_{6.3} = f(\lg L_{FIR})$	1	0.552	24	0.933	24
	2			0.978	14
	3	0.589	24	0.957	24
	4	$0.863 \lg L_{FIR} - 8.43$		$1.130 \lg L_{FIR} - 20.29$	
$\lg M_H = f(\lg L_{FIR})$	1		0.588	44	
	2		0.737	20	
	3	0.571	21	0.700	44
	4	$0.826 \lg L_{FIR} - 26.31$		$0.801 \lg L_{FIR} - 25.57$	
$\lg M_T = f(\lg L_{FIR})$	1		0.496	33	
	2				
	3	0.364	12	0.544	31
	4			$0.520 \lg L_{FIR} - 11.87$	
$\lg P_{6.3} = f\left(\lg \frac{L_{FIR}}{L_B}\right)$	1		0.600	24	
	2		0.793	14	
	3	0.278	24	0.747	24
	4			$2.066 \lg \left(\frac{L_{FIR}}{L_B}\right) + 29.01$	
$\lg P_{6.3} = f(\lg L_h)$	1	0.614	25	0.956	17
	2			0.965	12
	3	0.733	25	0.962	17
	4	$1.503 \lg L_h - 37.23$		$1.121 \lg L_h - 23.91$	

тик Маркаряна. Оптические светимости L_B и $P_{6.3}$ в IRE-галактиках связаны несколько слабее ($r_c = 0.87$), а для сейфертовских галактик корреляционная связь отсутствует ($r_c = 0.30$).

В работе [26] в качестве величины, характеризующей скорость звездообразования в галактике, используется отношение светимости в дальнем ИК-диапазоне к оптической светимости L_{FIR}/L_B .

На рис. 4 представлены зависимости радиомощности $P_{6.3}$ от избытка инфракрасного излучения L_{FIR}/L_B для сейфертовских и Н II-галактик. Обнаружена довольно тесная корреляционная связь между $\lg P_{6.3}$ и $\lg(L_{FIR}/L_B)$ ($r_c = 0.75$) для Н II-галактик, показывающая, что с увеличением L_{FIR}/L_B , а, следовательно, и темпа звездообразования в галактике, растет светимость галактики в радиодиапазоне. Зависимость $P_{6.3}$ от L_{FIR}/L_B свидетельствует о том, что радиоизлучение в IRE-галактиках возникает в областях звездообразования.

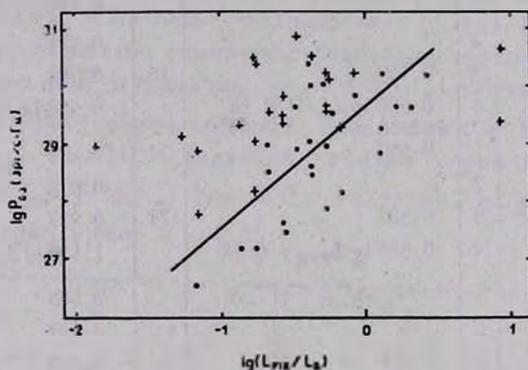


Рис. 4. Зависимость мощности радиоизлучения $P_{6.3}$ галактик Маркаряна $\lambda = 6.3$ см от инфракрасного избытка L_{FIR}/L_B . Обозначения те же, что и на рис. 3.

В случае сейфертовских галактик корреляционная связь между $P_{6.3}$ и L_{FIR}/L_B не обнаружена ($r_c = 0.30$). В галактиках Сейферта температура пыли выше, чем в Н II-галактиках [1], что указывает на высокую активность звездообразования в них. Отсутствие зависимости между $P_{6.3}$ и L_{FIR}/L_B для IRS-галактик возможно объясняется тем, что активные ядра галактик Сейферта не дают заметного вклада в излучение в дальнем инфракрасном диапазоне [27], однако их светимость в оптическом диапазоне сравнима со светимостью галактики. Поэтому галактики Сейферта на диаграмме $\lg P_{6.3} - \lg(L_{FIR}/L_B)$ находятся систематически выше Н II-галактик.

Для Н II-галактик зависимость $P_{6.3}$ от L_B (рис. 3) более крутая, чем для нормальных галактик, где $P_{6.3} \sim L_B^{0.94}$ [3, 28]. Следовательно, темп звездообразования в Н II-галактиках увеличивается с ростом светимости

в оптическом диапазоне. Такой же вывод следует из зависимости $P_{6.3}$ от L_{FIR}/L_B (рис. 4), поскольку для IRE-галактик величина L_{FIR}/L_B увеличивается с ростом L_B [1].

Отметим также, что в IRE-галактиках зависимость $P_{6.3} \sim L_{FIR}^{1.13}$ более крутая, чем для спиральных галактик [28] и совпадает с зависимостью для голубых компактных галактик [2], тогда как зависимость $P_{6.3} \sim L_B^{1.39}$ значительно отличается от зависимости $P_{6.3} \sim L_B^{0.72}$ для VCG [3].

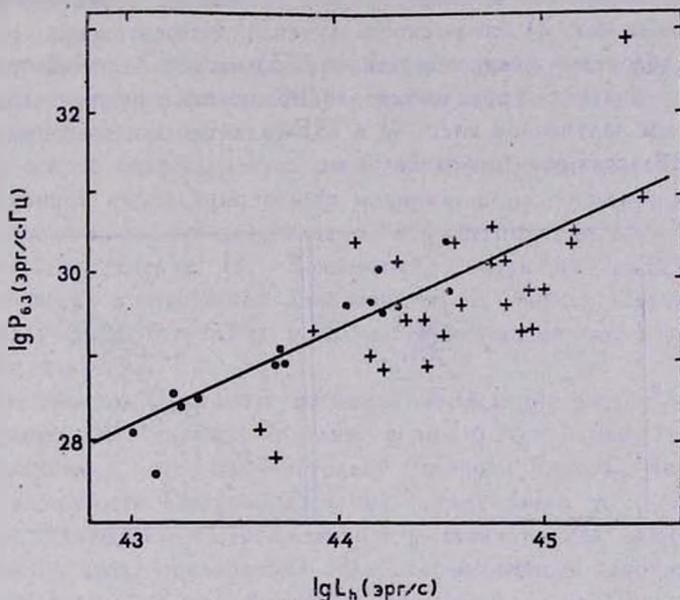


Рис. 5. Зависимость разносветимости галактик $P_{6.3}$ от светимости L_h горячего компонента пыли. Обозначения те же, что и на рис. 3.

В работе [29] показано, что значительный вклад в излучение сейфертовских галактик в дальнем ИК-диапазоне дает пыль, нагретая до температуры $\sim 10^2$ К. Выясним, связано ли излучение горячего компонента пыли с областями звездообразования, или это результат активности ядер. Для этого примем, что излучение в дальнем ИК-диапазоне (12—100 мкм) обусловлено присутствием в галактике двухкомпонентной пыли—«горячей» с $T_d \sim 100$ —200 К и «холодной» с $T_d \sim 30$ —50 К. На рис. 5 представлены зависимости радиосветимости $P_{6.3}$ от светимости «горячего» компонента L_h для галактик с измеренными плотностями потоков на длинах волн 12 и 25 мкм. Так же, как и в случае зависимости $P_{6.3}$ от L_{FIR} , характеризующей излучение «холодного» компонента (рис. 3), наблюдается тесная корреляционная связь ($r_c = 0.96$) между $P_{6.3}$ и L_h для IRE-галактик,

подтверждающая вывод о том, что в III-галактиках Маркаряна инфракрасное и радиоизлучение возникают в областях звездообразования. Для сейфертовских галактик корреляционная связь между $P_{\nu.3}$ и L_h существенно слабее ($r_c = 0.61$), а сами IRS-галактики на рис. 5 располагаются систематически ниже IRE-галактик. Это, наряду с тем фактом, что IRS-галактики хорошо укладываются на зависимость $\lg P_{\nu.3} - \lg L_{FIR}$ для IRE-галактик (рис. 3) и полным отсутствием корреляции между $P_{\nu.3}$ и L_B , позволяет сделать следующие выводы:

1) радиоизлучение в сейфертовских галактиках возникает в областях звездообразования; 2) оптическое излучение сейфертовских галактик не связано с областями звездообразования; 3) нагрев «горячей» пыли в сейфертовских галактиках обусловлен как молодыми горячими звездами, так и нетепловым излучением ядер; 4) в IRE-галактиках нагрев пыли осуществляется в областях звездообразования.

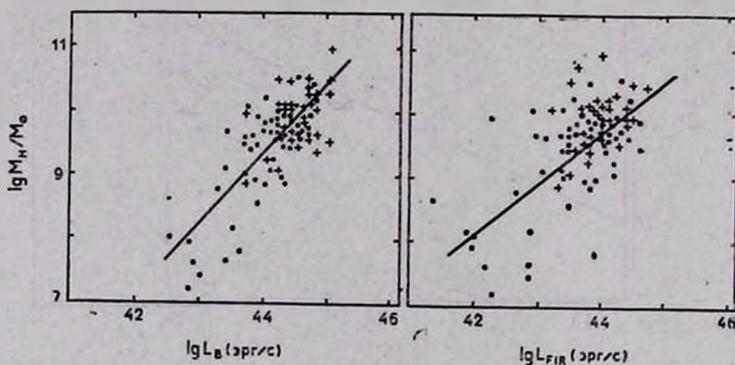


Рис. 6. Зависимость массы атомарного водорода в галактиках Маркаряна от оптической светимости. Обозначения те же, что и на рис. 3.

На рис. 6 представлены зависимости массы атомарного водорода M_H в галактиках Маркаряна, полученной по наблюдениям в линии 21 см, от светимости в оптическом и дальнем инфракрасном диапазонах. В отличие от $P_{\nu.3}$ масса газа M_H в галактиках IRE несколько лучше коррелирует со светимостью в оптическом диапазоне, а у сейфертовских галактик наоборот. Сейфертовские галактики хорошо укладываются на зависимость

$\lg \frac{M_H}{M_\odot} = f(\lg L_B)$ для III-галактик, однако располагаются выше зави-

симости $\lg \frac{M_H}{M_\odot} = f(\lg L_{FIR})$ и степень корреляции у них существенно ниже.

Сравним зависимости вириальной (полной) массы галактик Маркаряна M_T от L_B и L_{FIR} (таб. 1).

Так же, как и в случае зависимости массы газа M_H от L_B и L_{FIR} , корреляционная связь между полной массой IRE-галактик M_T и их светимостями в оптическом диапазоне более тесная, чем связь между M_T и L_{FIR} . Зависимости, изображенные на рис. 6, и отсутствие корреляционной связи между M_H , M_T и L_{FIR}/L_B показывают, что полная масса галактики M_T и масса газа M_H не являются основными факторами, влияющими на темп звездообразования в ней.

3. *Заключение.* Сформулируем основные результаты сравнительного анализа характеристик галактик Маркаряна в оптическом, дальнем инфракрасном и радиодиапазонах.

1) На основе коэффициентов ранговой корреляции показано существование истинной корреляции между мощностью радиоизлучения IRE-галактик на длине волны 6.3 см, инфракрасной светимостью L_{FIR} и светимостью горячего компонента L_h . Зависимость мощности радиоизлучения $P_{6.3}$ от светимости в оптическом диапазоне более слабая. Сделан вывод, что радиоизлучение с $\lambda = 6.3$ см и ИК-излучение возникают в одних и тех же областях галактик.

2) Показано существование истинной корреляции между мощностью радиоизлучения IRE-галактик на длине волны 6.3 см и избытком инфракрасного излучения L_{FIR}/L_B . Поскольку величина L_{FIR}/L_B является индикатором активности звездообразования в галактиках, то обнаруженная зависимость показывает, что непрерывное радиоизлучение может возникать в областях звездообразования. Наиболее вероятный источник излучения на длине волны 6.3 см — вспышки сверхновых звезд. Отсутствие связи между $P_{6.3}$ и L_{FIR}/L_B для сейфертовских галактик объясняется тем, что активные ядра не оказывают значительного влияния на светимость в дальнем ИК-диапазоне, но сравнимы со светимостью галактики в оптическом диапазоне. Этот вывод находится в согласии с результатами, полученными в [27] и [1].

3) В сейфертовских галактиках радиоизлучение на длине 6.3 см, так же, как и в IRE-галактиках, возникает в областях звездообразования, тогда как оптическое излучение IRS-галактики не связано с процессами звездообразования.

4) Нагрев «горячей» пыли в сейфертовских галактиках обусловлен как молодыми горячими звездами, так и в значительной степени нетепловым излучением активных ядер, что подтверждает вывод, сделанный в [29].

5) Для IRE-галактик мощность радиоизлучения на длине волны 6.3 см, $P_{6.3} \sim L_{FIR}^{1.13}$, совпадает с зависимостью для голубых компактных

галактик. Более крутая, чем линейная, зависимость указывает на увеличение скорости звездообразования с ростом инфракрасной светимости L_{FIR} .

6) Масса газа M_H и вириальная масса галактик M_T для IRE-галактик несколько лучше коррелируют с оптической светимостью L_B , чем со светимостью в дальнем ИК-диапазоне. Для IRS-галактик эта корреляция слабая. Отсутствие зависимости массы газа M_H и вириальной массы галактики M_T от избытка инфракрасного излучения L_{FIR}/L_B показывает, что темп звездообразования в галактике не зависит от M_H и M_T .

Главная астрономическая
обсерватория АН УССР
Киевский государственный
университет

STUDY OF THE FAR INFRARED EMISSION OF MARKARIAN GALAXIES. II. COMPARISON OF THE GALAXY CHARACTERISTICS IN RADIO, OPTICAL AND FAR INFRARED RANGES

YU. I. IZOTOV, I. YU. IZOTOVA

The statistic study of Markarian galaxies in the optical, radio and far infrared ranges is carried out. The existence of true correlation between 6.3 cm radio emission and far infrared luminosity of the Markarian galaxies has been shown on the basis of the rank correlation coefficients. The atomic hydrogen masses and virial masses of the galaxies have closer correlation with optical luminosities. It has been shown that active nuclei of Seyfert galaxies do not appreciably influence the star formation rate.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ю. И. Изотов, И. Ю. Изотова, *Астрофизика*, 30, 34, 1989.
2. D. Kanth, F. Serve, Paris Inst. Astrophys., Prepr. № 114, 1985.
3. U. Klein, R. Wislebinski, T. X. Thuan, *Astrophys. J.*, 141, 241, 1984.
4. U. Klein, J. Heidmann, R. Wislebinski, E. Wanderlich, *Astron. and Astrophys.*, 154, 373, 1986.
5. G. de Vaucouleurs, A. de Vaucouleurs, H. G. Corwin, *Second Reference Catalogue of Bright Galaxies*, Texas, 1976.
6. Р. А. Кандалян, *Астрофизика*, 18, 580, 1982.
7. Р. А. Кандалян, *Астрофизика*, 26, 301, 1987.
8. H. Karoji, M. Dennefeld, N. Ukita, *Astron. and Astrophys.*, 155, L3, 1986.

9. C. G. Wynn-Williams, E. E. Becklin, *Astrophys. J.*, 308, 620, 1986.
10. J. M. Mazzarella, V. A. Balzano, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 62, 751, 1986.
11. A. S. Wilson, E. J. Meurs, *Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.*, 50, 217, 1984.
12. J. H. Blegung, P. Biermann, *Astron. J.*, 88, 161, 1983.
13. P. Biermann, J. N. Clarke, K. J. Fricke, *Astron. and Astrophys.*, 75, 19, 1979.
14. G. D. Botham, J. M. Heckman, R. A. Schommer, B. Balick, *Astron. J.*, 89, 1293, 1984.
15. L. Bottinelli, L. Gouguenheim, J. Heidman, *Astron. and Astrophys.*, 22, 281, 1973.
16. J. R. Fisher, R. B. Tully, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 47, 139, 1981.
17. M. P. Haynes, R. Giovanelli, *Astron. J.*, 89, 758, 1984.
18. T. M. Heckman, B. Balick, W. T. Sullivan III, *Astrophys. J.*, 224, 745, 1978.
19. W. K. Huchtmeier, O. G. Richter, *Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.*, 63, 323, 1986.
20. I. F. Mirabel, A. S. Wilson, *Astrophys. J.*, 277, 92, 1984.
21. S. E. Schneider, G. Helou, E. E. Salpeter, Y. Terzian, *Astron. J.*, 92, 742, 1986.
22. J. B. Hutchings, A. C. Gower, R. Price, *Astron. J.*, 92, 6, 1987.
23. J. M. Jackson, A. H. Barrett, J. T. Armstrong, P. T. P. Ho, *Astron. J.*, 93, 531, 1987.
24. Y. Avni, A. Soltan, H. Tananbaum, G. Zamorant, *Astrophys. J.*, 238, 800, 1980.
25. М. Дж. Кендалл, А. Стьюарт, Статистические выводы и связи, Наука, М., 1973.
26. T. de Jong, P. E. Clegg, B. T. Soifer, M. Rowan-Robinson, H. J. Habing, J. R. Houck, H. H. Aumann, E. Ratmond, *Astrophys. J.*, 278, L67, 1984.
27. J. M. R. Espinosa, R. J. Rudy, B. Jones, *Astrophys. J.*, 309, 76, 1986.
28. T. de Jong, U. Klein, R. Wislebinski, E. Wunderlich, *Astron. and Astrophys.*, 147, L6, 1985.
29. M. H. K. deGrijp, G. K. Miley, J. Lub, T. de Jong, *Nature*, 314, 240, 1985.