

ТЕМПЫ ЗВЕЗДООБРАЗОВАНИЯ В БЛИЗКИХ ГАЛАКТИКАХ МАРКАРЯНА

В.Е.КАРАЧЕНЦЕВА¹, О.В.МЕЛЬНИК^{2,3}, И.Д.КАРАЧЕНЦЕВ⁴

Поступила 15 августа 2013

Для 230 наиболее близких галактик Маркаряна с лучевыми скоростями $V_r < 3500$ км/с определены темпы звездообразования по потокам в далеком ультрафиолете, F_{UV} , полученным на спутнике GALEX. Мы кратко обсуждаем наблюдаемые соотношения между темпом звездообразования и другими интегральными параметрами галактик: звездной массой, водородной массой, морфологическим типом и признаком активности. В среднем, галактики Маркаряна имеют запасы газа в 2 раза меньше, чем галактики той же типов и той же звездной массы. Несмотря на повышенную активность, удельный темп звездообразования у галактик Маркаряна, SFR/M_* , не превышает предела $\sim dex(-9.4)$ [лет⁻¹].

Ключевые слова: *галактики: галактики Маркаряна: звездообразование*

1. **Введение.** В 1963г. Б.Е.Маркарян [1] опубликовал список 41 галактики, у которых наблюдалось несоответствие цвета и морфологического типа, в том смысле, что центральные части этих галактик имели более голубой цвет, чем нормальные галактики того же Хаббловского типа. Поэтому в работе [1] было высказано предположение, что излучение ядер некоторых галактик имеет нетепловую природу, и это должно выражаться в избытке ультрафиолетового излучения (*UV excess*) центральных частей. Целенаправленный спектральный обзор северного неба проводился Маркаряном, а затем Маркаряном с сотрудниками в течение 1965-1981гг. на 40–52" Шмидт-телескопе Бюраканской обсерватории с использованием низкодисперсионной призмы. Результатом многолетней работы стала публикация 15 списков галактик с ультрафиолетовым континуумом, которые затем были сведены в Первый Бюраканский обзор - Каталог галактик с УФ континуумом [2]. В Каталоге подробно описаны процесс наблюдений, принципы отбора и классификации типа и спектра объектов, а также общие характеристики Каталога. В мировой литературе объекты каталога [2] получили название галактик Маркаряна. Каталог галактик Маркаряна [3] готовился практически одновременно с [2]. Еще один вариант дополненного новыми наблюдательными данными каталога Маркаряновских галактик был опубликован в работе [4].

Суммируя результаты, представленные в [2-4], можно сказать следующее.

1. Термин "галактики Маркаряна" объединяет галактики самых разных морфологических типов - эллиптические, линзовидные, спиральные, голубые

компактные, иррегулярные карликовые, а также яркие HII области в спиральных и иррегулярных галактиках. Сравнение галактик Маркаряна [2] с объектами других каталогов и списков показывает, что значительная часть их отождествляется с компактными и постэруптивными галактиками [5,6], взаимодействующими галактиками Воронцова-Вельяминова [7,8] и другими пекулярными объектами.

2. Поскольку сейчас практически все галактики Маркаряна имеют измеренные лучевые скорости, возможно сравнить их расположение относительно известных скоплений, групп, малонаселенных систем вплоть до изолированных галактик. Оказывается, что галактики Маркаряна располагаются в системах разной степени кратности, а среди изолированных галактик их не более 2%.

3. Галактики Маркаряна демонстрируют различные степени ядерной активности. В их спектрах наблюдаются признаки квазаров (QSO), Сейфертовских галактик (Sy) 1, 2 и промежуточных типов либо так называемых "галактик Вольфа-Райе" (WR), а также галактик со вспышкой активности (Starburst) либо со спектрами, подобными спектрам HII областей (HII). Часть галактик характеризуется обычными эмиссионными спектрами (e), и очень немногие имеют абсорбционные спектры (a). Заметим, что существующие диагностические диаграммы допускают неоднозначную трактовку принадлежности галактики к тому или иному классу активности.

Перечисленные особенности галактик Маркаряна обуславливают их ценность для решения различных задач, связанных с объяснением происхождения, внутренней эволюции галактик, а также влияния взаимодействия на активные процессы в галактиках. Результаты наблюдений большого числа галактик Маркаряна можно найти в списках литературы каталогов [2–4], материалах конференции [9] и других работах. Современные обзоры дают возможность массового анализа различных свойств галактик Маркаряна. В работе [10] мы использовали потоки в далеком ультрафиолете (*FUV*), полученные со спутника GALEX [11], для определения темпа звездообразования в близких изолированных галактиках каталога LOG [12]. В настоящей работе мы рассматриваем характеристики звездообразования у галактик Маркаряна, расположенных в том же объеме Местного сверхскопления и его окрестностей, что и галактики LOG, и делаем сравнение этих признаков.

2. *Выборка близких галактик Маркаряна.* Из каталога [4] мы отобрали галактики с лучевыми скоростями, приведенными к центроиду Местной группы, $V_{LG} < 3500$ км/с по стандарту, принятому в базе данных NED (<http://nedwww.ipac.caltech.edu>) согласно [13]. Для этих 260 галактик были вычислены расстояния $D = V_{LG}/H_0$ в Мпк, при значении $H_0 = 72$ км/с/Мпк. Из [4] мы также использовали характеристики класса активности. Согласно

отождествлениям, половина из отобранных близких галактик Маркаряна входит в каталоги UM, KUG, SBS и др. (см. соответствующие ссылки в NED).

Мы определили типы галактик Маркаряна (или "родительских" галактик, частью которых являются галактики Маркаряна) по их изображениям на Слоуновском обзоре неба (<http://sdss.eso.org>) либо на Втором Паломарском обзоре (<http://dss.eso.org>) в цифровой шкале де Вокулера. Для более точной классификации, где было возможно, привлекались спектры галактик из Слоуновского обзора. У примерно четверти объектов мы отметили несоответствие вида и спектра. Каждая из 260 галактик Маркаряна была проверена нами в базе данных NED на присутствие ультрафиолетового потока FUV ($\lambda_{eff} = 1539 \text{ \AA}$, $FWHM = 269 \text{ \AA}$) по измерениям на орбитальном телескопе GALEX [11]. Из 260 объектов ультрафиолетовые потоки были обнаружены у 230; отсутствие УФ-потоков отмечено в основном у галактик ранних типов. В тех случаях, когда FUV -изображение галактики распалось на несколько сгущений, мы суммировали поток F_{FUV} по всему оптическому диску галактики. Глобальный темп звездообразования в галактике, SFR , мы определяли согласно схеме, приведенной в работе Ли и др. [14]:

$$\log(SFR[M_{\odot}/\text{yr}]) = \log F_{FUV}^c + 2\log D - 6.78, \quad (1)$$

где D - расстояние до галактики в Мпк, а поток F_{FUV} в единицах [mJy] исправлен за поглощение света как

$$\log(F_{FUV}^c / F_{FUV}) = 0.772(A_B^G + A_B'). \quad (2)$$

Здесь величина Галактического поглощения в B -полосе, A_B^G , была взята по данным [15], а внутреннее поглощение в самой галактике, A_B' , определялось согласно [16]:

$$A_B' = [1.54 + 2.54(\log 2V_{rot} - 2.5)] \log a/b, \quad (3)$$

где a/b - видимое отношение осей галактики, взятое из NED либо измеренное нами, а V_{rot} - максимальная исправленная скорость вращения из базы HyperLeda (<http://leda.univ-lyon1.fr>). Для карликовых галактик с $V_{rot} < 39$ км/с и бедных газом E, S0 галактик внутреннее поглощение принималось равным нулю.

Удельный темп звездообразования галактики (Specific Star Formation Rate) есть $SSFR = SFR/M$. Значение SFR (в единицах солнечной массы в год) определялось по соотношению (1) с учетом (2) и (3), а звездная масса галактики M , (в единицах солнечной массы) определялась по ее интегральной величине K , в предположении, что отношение $M/L_K = 1$ [17] при $M_{K,\odot} = 3.28$ [18]. Поскольку большинство галактик Маркаряна являются голубыми объектами, для которых 2MASS-обзор неба сильно недооценивает интегральные инфракрасные величины, мы определяли K -величину по B -величине, взятой из базы HyperLeda, и среднему показателю цвета: $(B - K) = 4.10$ для типов

$T < 3$; $(B-K) = 4.60 - 0.2T$ для $T = 3-8$ и $(B-K) = 2.35$ для $T = 9, 10$, как в работе [10]. Поправка K_z -величины за Галактическое и внутреннее поглощение определялась как $0.085(A_B^G + A_B')$.

Эффективный темп звездообразования (Star Formation Rate efficiency) есть темп звездообразования, нормированный на единицу водородной массы галактики, т.е. SFR/M_{HI} . Водородная масса (в солнечных единицах) вычислялась как $M_{HI} = 2.36 \times 10^5 D^2 F_{HI}$, а для определения потока F_{HI} (в Jy км/с) мы использовали скорректированную "водородную" величину m_{21}^e из базы данных HyperLeda.

В работах [19,20] были введены безразмерные параметры " $P = past$ " и " $F = future$ ", которые характеризуют эволюционное состояние галактики:

$$P = \log(SFR T_0 / L_K), \quad (4)$$

$$F = \log(1.85 \cdot M_{HI} / SFR \cdot T_0), \quad (5)$$

где $T_0 = 13.7 \cdot 10^9$ лет - возраст Вселенной, а коэффициент 1.85 учитывает вклад гелия и молекулярного водорода в общую массу газа [21].

3. *Некоторые интегральные характеристики галактик Маркаряна.* Определенные нами и вычисленные по формулам раздела 2 параметры близких галактик Маркаряна мы используем далее для построения различных распределений и зависимостей, характеризующих выборку в целом. Заметим, что числа галактик в ряде случаев меньше 260, что обусловлено наличием той или иной величины в используемых базах данных.

На рис.1 приводится распределение галактик по их морфологическим типам и классам активности. Эллиптические галактики, согласно шкале де Вокулера, имеют $T < 0$; $T(S0) = 0$, $T(Sa) = 1$, $T(Sc) = 5$, $T(Sdm) = 8$, а

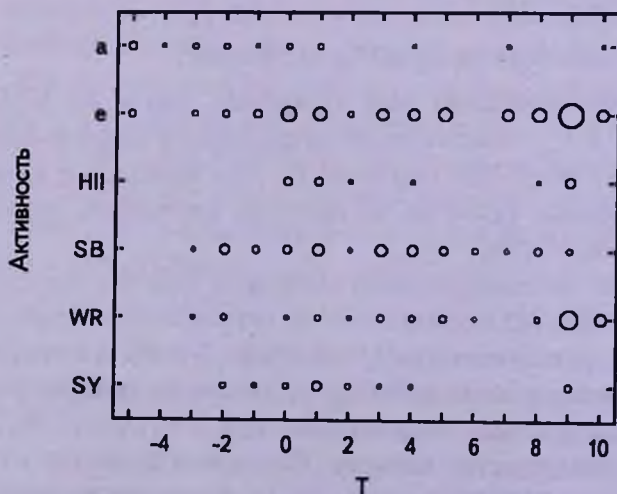


Рис.1. Распределение 260 галактик Маркаряна по морфологическим типам и признакам активности. Площадь кружка пропорциональна числу объектов в соответствующей ячейке.

для голубых компактных BCD и иррегулярных Im, Ig карликов $T=9, 10$. Классы активности взяты из [4]. Значимой корреляции между морфологическим типом и индексом активности не наблюдается (коэффициент корреляции $R=-0.06$), что можно объяснить очень короткой временной фазой активности по сравнению со временем формирования глобальной структуры галактики.

Гистограммы рис.2 представляют распределения чисел галактик по звездной массе (а), водородной массе (b) и по темпу звездообразования (с). Соответствующие значения медиан равны: $medlog(M_*) = 9.696$, $medlog(M_H) = 8.818$ и $medlog(SFR) = -0.969$. Сравнение с таковыми для изолированных галактик каталога LOG, находящихся, напомним, в том же объеме, показывает, что темп звездообразования в галактиках Маркаряна несколько выше, чем в изолированных ($medlog(SFR) = -1.05$), при этом галактики Маркаряна примерно в 2.2 раза более массивные, но содержат меньше нейтрального водорода. Как видно из. рис.3, галактики Маркаряна демонстрируют хорошо известное возрастание доли нейтрального водорода

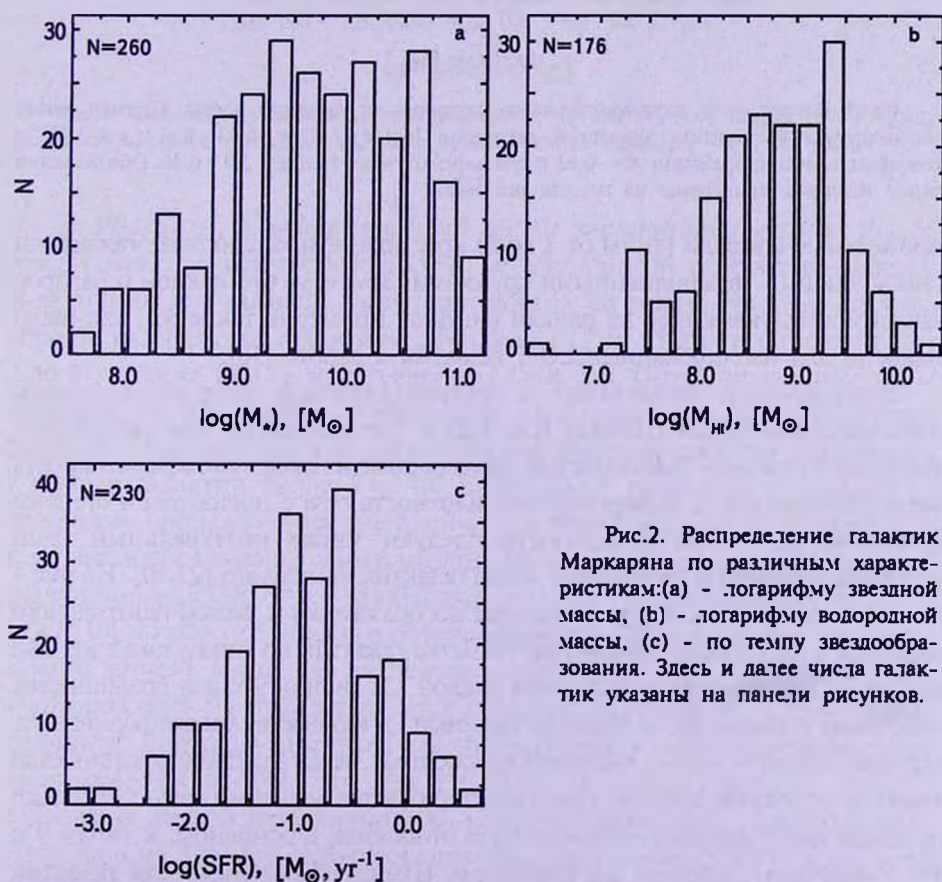


Рис.2. Распределение галактик Маркаряна по различным характеристикам: (а) - логарифму звездной массы, (b) - логарифму водородной массы, (с) - по темпу звездообразования. Здесь и далее числа галактик указаны на панели рисунков.

при переходе от массивных (ярких) галактик к карликовым. Прямая линия соответствует уравнению регрессии $\log(M_{HI}/M_*) = -0.43 \cdot \log(M_*) + 3.25$ с коэффициентом корреляции $R = -0.63$ и стандартным отклонением $SD = 0.46$. На этом и последующих рисунках мы сгруппировали и обозначили разными символами: галактики ранних типов (от -5 до 1) сплошными кружками,

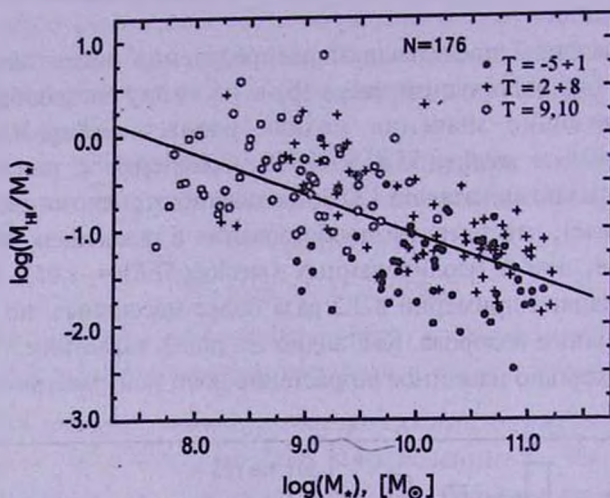


Рис.3. Зависимость доли нейтрального водорода от звездной массы. Прямая линия соответствует уравнению линейной регрессии $\log(M_{HI}/M_*) = -0.43 \cdot \log(M_*) + 3.25$, с коэффициентом корреляции $R = -0.63$ и стандартным отклонением $SD = 0.46$. Обозначения типов галактик приведены на панели рисунка.

нормальные спирали (типы от 2 до 8) крестиками и карликовые галактики (типы 9 и 10) - незаполненными кружками. Заметим, что наклон и разброс зависимости, указанные на панели рисунка, примерно такие же, как было найдено для изолированных LOG галактик в работе [10].

Эмпирически найденный и подтвержденный многочисленными наблюдениями закон Шмидта (см. [22] и цитированную там литературу) связывает степенной зависимостью наблюдаемые в галактиках эффективность звездообразования и поверхностную плотность газа с показателем степени примерно 1.5. Этой зависимости следуют также интегральный темп звездообразования и водородная масса галактик как целого [23,10]. На рис.4 показана зависимость между темпом звездообразования и массой нейтрального водорода в галактиках Маркаряна. Разметка галактик по типам такая же, как на рис.3. Проведенная линия имеет наклон 1.5. Видно, что для большинства массивных галактик закон Шмидта-Кенниката выполняется удовлетворительно. Однако в области малых значений водородных масс галактики отклоняются влево от основной прямой. Они характеризуются малыми (всего несколько десятков км/с) ширинами линии HI и относятся, в основном, к типам 9 и 10. Увеличение разброса на диаграмме Шмидта-Кенниката для галактик

слабее $M_B \sim -15$ и с $V_{max} \sim 50$ км/с отмечалось многими авторами (см. [24] и цитированную там литературу), однако однозначного объяснения этому факту нет. Отметим, однако, что у карликовых изолированных галактик из каталога LOG аналогичная диаграмма закона Шмидта-Кенниката вполне симметрична (см. рис.3 в работе [10]).

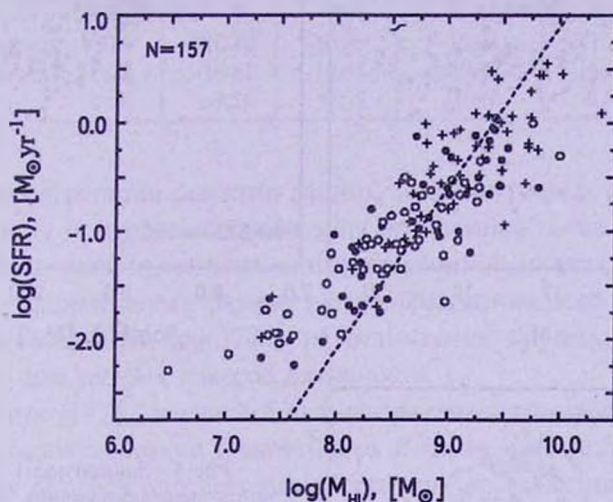


Рис.4. Зависимость темпа звездообразования от водородной массы. Пунктирная линия проведена с наклоном $3/2$. Обозначения типов галактик - как на рис.3

4. *Удельный и эффективный темп звездообразования.* Рис.5а представляет зависимость $\log(SSFR)$ от абсолютной скорректированной B -величины для галактик, сгруппированных по типам. На этом рисунке хорошо разделяются галактики с балджами (T от -5 до 1), спирали (T от 2 до 8), а также BCD и иррегулярные ($T=9, 10$). Сгруппированные типы отмечены на панели рис.5а такими же символами, как на предыдущих рисунках. Наиболее высокий удельный темп звездообразования наблюдается у слабых галактик типов 9 и 10. Спиральные галактики занимают на диаграмме промежуточное положение, а у галактик с балджами удельный темп звездообразования самый низкий. Верхний предел, соответствующий значению $\log(SSFR) = -9.4$ для близких изолированных галактик каталога LOG [10] и галактик близкого объема из работы [23], обозначен горизонтальной линией. Выше нее находится только одна галактика - UGC 4499, в которой Mrk 94 отождествляется с одним из сгущений в спиральной структуре. Еще одна галактика находится близко к отмеченному пределу, имея $\log(SSFR) = -9.42$. Это Mrk 116 = IZw 18 - известный BCD объект с рекордно низкой металличностью, классифицированный в наблюдениях Изотова и др. [25] как WR-галактика. Зависимость $\log(SSFR)$ от звездной массы галактики (рис.5б) более уверенно, чем рис.5а, демонстрирует различия

в удельном темпе звездообразования у галактик с большими и малыми звездными массами. В табл.1 мы приводим средние значения и стандартные отклонения $\log(SSFR)$ для трех подгрупп морфологических типов.

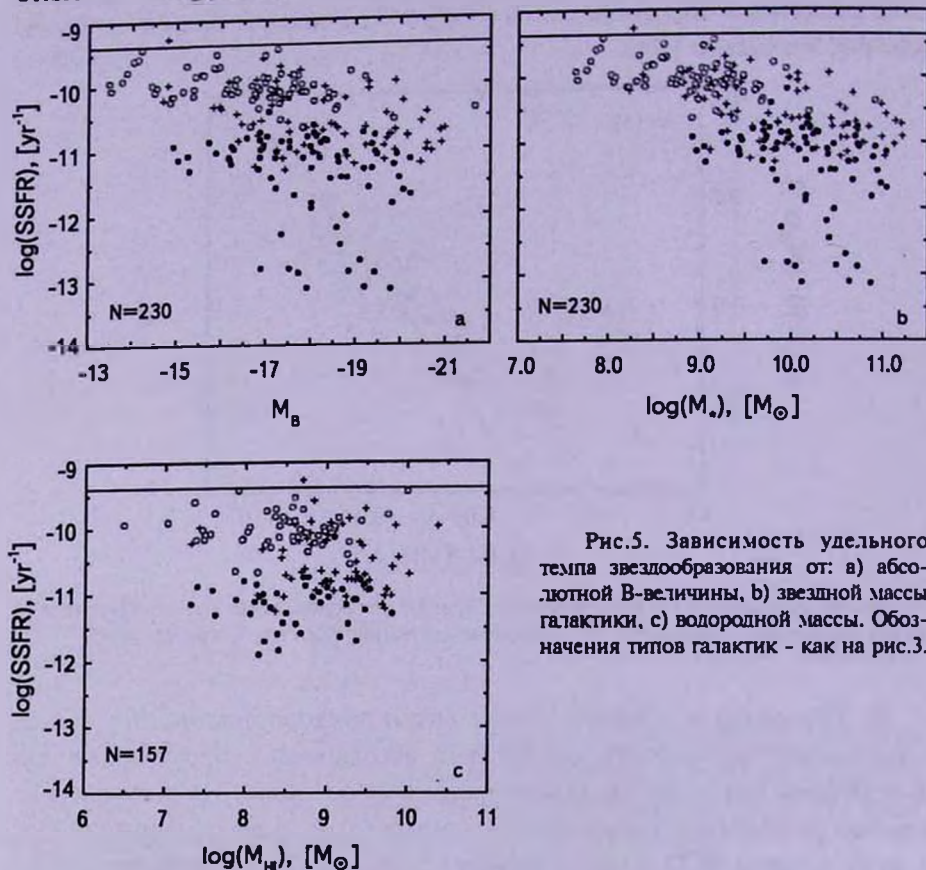


Рис.5. Зависимость удельного темпа звездообразования от: а) абсолютной В-величины, б) звездной массы галактики, с) водородной массы. Обозначения типов галактик - как на рис.3.

Деление по классам активности и попытка найти значимое различие между ними по удельному темпу звездообразования не приводит к определенному результату, см. табл.2. Здесь четко выделяется только малочисленный класс массивных галактик с абсорбционными спектрами: у них среднее значение $\log(SSFR) = -11.99$, самое низкое среди всех галактик.

Таблица 1

УДЕЛЬНЫЙ ТЕМП ЗВЕЗДООБРАЗОВАНИЯ $\log(SSFR)$ ГАЛАКТИК
МАРКАРЯНА РАЗНЫХ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ТИПОВ

Типы	-5++1	2+8	9, 10
Число	79	79	72
Средн.	-11.36	-10.52	-10.02
SD	0.70	0.45	0.26

Таблица 2

УДЕЛЬНЫЙ ТЕМП ЗВЕЗДООБРАЗОВАНИЯ $\log(SSFR)$ ГАЛАКТИК МАРКАРЯНА РАЗНЫХ КЛАССОВ АКТИВНОСТИ

	WR	HII	<i>e</i>	Starburst	Sy	<i>a</i>
Число	41	15	104	40	15	15
Медиана	-10.1	-10.80	-10.26	-10.93	-11.24	-12.71
Средн.	-10.24	-10.61	-10.45	-10.89	-11.26	-11.99
SD	0.56	0.54	0.55	0.37	0.81	1.18

Четкая сегрегация галактик ранних, промежуточных и поздних типов по удельному темпу звездообразования проявляется также и в зависимости $\log(SSFR)$ от водородной массы, представленной на рис.5с. Отметим, что в случае эффективного темпа звездообразования как средние, так и медианные значения $\log(SFRe)$ не отличаются значимо ни для разных типов, ни для разных классов активности.

В работах [19,20] эволюционный статус галактики предложено характеризовать безразмерными параметрами P (past) и F (future), которые не зависят от ошибок определения расстояния до галактики. На рис.6 мы приводим диагностическую диаграмму $\{P-F\}$ для галактик Маркаряна, разделенных по морфологическим типам. Соответствующие значения медиан, средних и стандартных отклонений представлены в табл.3.

Аналогичные данные для разных классов активности мы представили в табл.4, ранжируя их в порядке убывания значений P .

По смыслу величин P и F , галактика с $P=0$ и $F=0$ способна за время

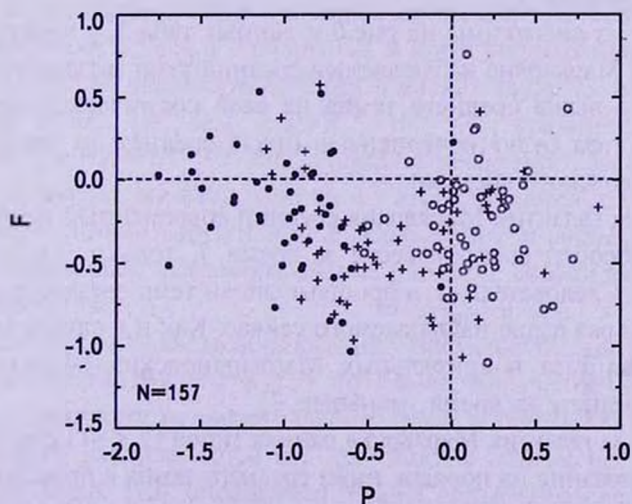


Рис.6. Диагностическая диаграмма "Past" - "Future" для галактик Маркаряна разных типов. Разметка по типам такая же, как на рис.3.

Таблица 3

СТАТИСТИКА "P" - "F" ДЛЯ ГАЛАКТИК МАРКАРЯНА РАЗНЫХ
МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ТИПОВ

Тип	Past				Future			
	Медиана	Средн.	SD	Число	Медиана	Средн.	SD	Число
-5+ +1	-0.98	-1.22	0.70	79	-0.18	-0.20	0.35	46
2+ 8	-0.47	-0.38	0.45	79	-0.37	-0.34	0.34	58
9, 10	0.09	0.11	0.26	72	-0.31	-0.29	0.33	53

Таблица 4

СТАТИСТИКА "P" - "F" ДЛЯ ГАЛАКТИК МАРКАРЯНА РАЗНЫХ
КЛАССОВ АКТИВНОСТИ

Активность	Past				Future			
	Медиана	Средн.	SD	Число	Медиана	Средн.	SD	Число
WR	0.03	-0.10	0.56	41	-0.40	-0.39	0.31	34
c	-0.12	-0.32	0.55	104	-0.28	-0.25	0.36	63
HII	-0.66	-0.47	0.54	15	-0.09	-0.20	0.29	14
Starburst	-0.79	-0.75	0.37	40	-0.32	-0.20	0.34	34
Sy	-1.10	-1.11	0.81	15	-0.30	-0.20	0.39	9
abs.	-2.56	-1.84	1.18	15	-0.07	-0.09	0.19	3

T_0 воспроизвести свою наблюдаемую звездную массу с современным темпом звездообразования; при этом запасы газа в ней достаточны, чтобы поддерживать наблюдаемый темп звездообразования на шкале еще одного Хаббловского времени T_0 .

Как следует из диаграммы на рис.6 и данных табл.3, у иррегулярных и BCD галактик Маркаряна наблюдаемый средний темп звездообразования лишь ненамного выше среднего темпа на всей космической шкале T_0 . Однако запасы газа будут исчерпаны в них в среднем за время около половины Хаббловского времени.

У спиральных галактик Маркаряна средний современный темп звездообразования способен воспроизвести за время T_0 только $\sim(1/2 - 1/3)$ их звездной массы. Следовательно, в прошлые эпохи темп звездообразования был в несколько раз выше наблюдаемого сейчас. Как и в случае Irr, BCD-галактик, запасы газа в спиральных Маркаряновских объектах будут исчерпаны в среднем за время, меньшее T_0 .

У большинства галактик Маркаряна ранних типов ($T \leq +1$) современный темп звездообразования на порядок ниже среднего темпа в прошлые эпохи. Из этого следует парадоксальный вывод, что данная категория галактик Маркаряна могла сохранять свои признаки высокой активности не только в фазе короткой вспышки, но и на всей космической шкале T_0 .

Как следует из данных рис.7, эффективность темпа звездообразования, $\log(SFR_e)$, остается в среднем почти постоянной для всех значений $\log(M_*)$ от 7.5 до 11.5. Она составляет: $\langle \log(SFR_e) \rangle = -9.68$ для типов -5, +1, -9.53 для типов 2, 8 и -9.59 для типов 9, 10. Эти оценки сопоставимы с характерной величиной $\log(SFR_e) = -9.5$ [yr^{-1}], которую получили Шиминович и др. [26] для выборки 190 массивных галактик с $\log M_* > 10.0$.

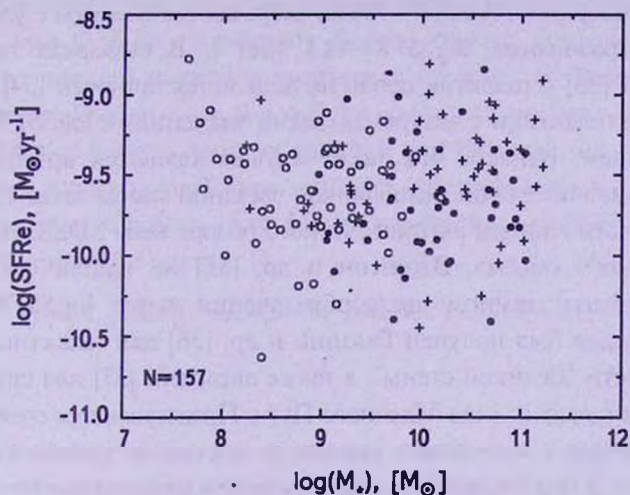


Рис.7. Зависимость эффективности темпа звездообразования от звездной массы галактики. Обозначения типов такие же, как на рис.3.

5. Заключительные замечания. Как установлено многочисленными наблюдениями, звездообразование у галактик в прошлые эпохи ($z \geq 1$) было на порядок более интенсивным, чем в современную эпоху, $z < 0.1$ [27–29]. В настоящее время основные процессы преобразования газа в звезды протекают в дисках спиральных и иррегулярных галактик. Особенностью процессов звездообразования в дисках является их протяженная временная шкала $(\dot{M}_*/M_*)^{-1} = SSFR^{-1} \sim 10^{10}$ лет, сравнимая с возрастом Вселенной $T = H_0^{-1} = 1.37 \cdot 10^{10}$ лет. Причина медленного звездообразования в дисках, вероятно, вызвана наличием у этого процесса жесткой обратной связи, когда слишком интенсивное образование молодых горячих звезд угнетает дальнейшее звездообразование или даже совсем истощает запасы нейтрального газа.

Анализируя темпы звездообразования у примерно 600 галактик Местного объема с измеренными $H\alpha$ и FUV потоками, Караченцев и Кайсина [23] отметили существование максимального предела $\lim(\log SSFR) = -9.4$ [лет^{-1}], ниже которого располагаются все галактики в объеме радиусом 10 Мпк. Караченцев и др. [10] определили темпы звездообразования 520 особо изолированных галактик в объеме Местного сверхскопления радиусом ~ 50 Мпк и также отметили наличие указанного верхнего предела для $\log SSFR$.

Этот факт может показаться тривиальным, поскольку эволюция изолированных галактик протекает без существенного приливного влияния соседей, которое провоцирует вспышки звездообразования. Тем не менее, как показано в настоящей работе, тот же самый максимальный уровень темпа звездообразования имеет место и для активных объектов - галактик Маркаряна. Необходимо отметить, что согласно [30-32] среди большого числа галактик выборки GAMA ($N \sim 70000$) встречаются объекты с удельным темпом звездообразования $\log SSFR \approx -8.5$ [лет⁻¹]. В выборках галактик обзора ALFALFA [33] и галактик особо низкой металличности [34] можно даже обнаружить галактики с экстремальными значениями $\log SSFR \sim [-8.0, -7.5]$. Мы полагаем, однако, что такие случаи являются артефактами, обусловленными значительной недооценкой звездной массы таких галактик по фотометрическим данным автоматического обзора неба SDSS. Исследуя галактики Местного объема, Джонсон и др. [35] не нашли среди них объектов с удельным темпом звездообразования выше $\log SSFR = -9.2$. Аналогичный предел был получен Гавацци и др. [36] для галактик обзора ALFALFA в области "Великой стены", а также авторами [37] для спутников вокруг массивных галактик типа Млечного Пути. Представляется очевидным, что проверка случаев с аномально высокими оценками удельного темпа звездообразования и подтверждение существования максимального предела $SSFR$ позволит лучше понять особенности преобразования газа в звезды. В этом плане мы предполагаем распространить использованный в настоящей работе подход ко всем объектам каталога Маркаряна.

Данная работа выполнена при поддержке грантами РФФИ 13-02-90407-Укр-ф-а, ГФФИ Украины Ф53.2/15, РФФИ 12-02-91338-ННИО. В работе использованы базы данных HyperLEDA (<http://leda.univ-lyon1.fr>), NED (<http://nedwww.ipac.caltech.edu>), SDSS (<http://sdss.eso.org>) и данные со спутника Galaxy Evolution Explorer (GALEX).

¹ Главная астрономическая обсерватория НАН Украины, Украина, e-mail: valkarach@gmail.com

² Астрономическая обсерватория Киевского национального университета им. Тараса Шевченко, Украина

³ Institut d'Astrophysique et de Geophysique, Université de Liège, Belgique, e-mail: melnykol@gmail.com

⁴ Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Россия, e-mail: ikar@sao.ru

STAR FORMATION RATES IN THE NEARBY
MARKARIAN GALAXIESV.E.KARACHENTSEVA¹, O.V.MELNYK^{2,3}, I.D.KARACHENTSEV⁴

For 230 the nearest Markarian galaxies with radial velocities $V_{LG} < 3500$ km/s there were determined star formation rates basing on their far-ultraviolet fluxes derived with GALEX. We briefly discuss different relations between the star formation rate and integral parameters of the galaxies: stellar mass, hydrogen mass, morphological type and activity index. At average, Markarian galaxies have ~ 2 times lower amount of gas than that field galaxies of the same stellar mass and morphological type. In spite of their activity, the specific star formation rate of almost most Markarian galaxies, SFR/M_* , does not exceed the limit $\sim \text{dex}(-9.4)$ in $[\text{yr}^{-1}]$.

Key words: *galaxies: Markarian galaxies: star formation*

ЛИТЕРАТУРА

1. Б.Е.Маркарян, Сообщ. Бюраканск. обс., **34**, 3, 1963.
2. B.E.Markarian, V.A.Lipovetsky, J.A.Stepanian et al., Commun. of the Special Astrophys. Obs., **62**, 5, 1989.
3. J.M.Mazzarella, V.A.Balzano, Astrophys. J. Suppl. Ser., **62**, 751, 1986.
4. A.Petrosian, B.McLean, R.J.Allen, J.W.MacKenty, Astrophys. J. Suppl. Ser., **170**, 33, 2007.
5. F.Zwicky, Catalogue of Selected Compact Galaxies' and of Postruptive Galaxies, Guemligen, Switzerland, 1971.
6. H.C.Arp, Astrophys. J. Suppl. Ser., **14**, 1, 1966.
7. B.A.Vorontsov-Velyaminov, Atlas and Catalog of Interacting Galaxies. Moscow, Sternberg Institute, 1959.
8. B.A.Vorontsov-Velyaminov, Astron. Astrophys. Suppl., **28**, 1, 1977.
9. "The Starburst-AGN Connection" ASP Conf. Ser., **408**, 2009.
10. I.D.Karachentsev, V.E.Karachentseva, O.V.Melnyk et al., Astrophys. Bull., **68**, 2013.
11. D.C.Martin, J.Fanson, D.Schiminovich et al., Astrophys. J., **619**, L1-L6, 2005.
12. I.D.Karachentsev, D.I.Makarov, V.E.Karachentseva, O.V.Melnyk, Astrophys. Bull., **66**, 1, 2011.
13. I.D.Karachentsev, D.I.Makarov, Astron. J., **111**, 794, 1996.
14. J.C.Lee, A.Gil de Paz, R.C.Kennicutt et al., Astrophys. J. Suppl. Ser., **192**, 6, 2011.
15. D.J.Schlegel, D.P.Finkbeiner, M.Davis, Astrophys. J., **500**, 525, 1998.

16. *M.A.W.Verheinen*, *Astrophys. J.*, **563**, 694, 2001.
17. *E.F.Bell, D.H.McIntosh, N.Katz, M.D.Weinberg*, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, **149**, 289, 2003.
18. *J.Binney, M.Merrifield*, *Galactic astronomy*, J.Binney and M.Merrifield, ed., Princeton series in astrophysics, 1998.
19. *I.D.Karachentsev, S.S.Kaisin*, *Astron. J.*, **133**, 1883, 2007.
20. *I.D.Karachentsev, S.S.Kaisin*, *Astron. J.*, **140**, 1241, 2010.
21. *M.Fukugita, P.J.E.Peebles*, *Astrophys. J.*, **616**, 643, 2004.
22. *R.C.Kennicutt, Jr.*, *Astrophys. J.*, **498**, 541, 1998.
23. *I.D.Karachentsev, E.L.Kaisina*, *Astron. J.*, **146**, 46, 2013.
24. *J.C.Lee, R.C.Kennicutt et al.*, **671**, L113 2007.
25. *Yu.I.Izotov, C.B.Foltz, N.G.Guseva et al.*, *Astrophys. J.*, **487**, L37-L40, 1997.
26. *D.Schiminovich, B.Catinella, G.Kaufmann et al.*, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, **408**, 919, 2010.
27. *B.Williams, J.J.Dalcanton, L.C.Johnson et al.*, *Astrophys. J.*, **734L**, 22, 2011.
28. *P.S.Behroozi, R.S.Wechsler, C.Conroy*, *Astrophys. J.*, **770**, 57, 2013.
29. *M.D.Kistler, H.Yuksel, A.M.Hopkins*, arXiv:1305.1630, 2013.
30. *M.A.Lara-Lopez, A.M.Hopkins, A.R.Lopez-Sanchez et al.*, arXiv:1304.3889, 2013.
31. *A.E.Bauer, A.M.Hopkins, M.Gunawardhana et al.*, arXiv:1306.2424, 2013.
32. *A.S.Robotham, J.Liske, S.P.Driver et al.*, arXiv:1301.7129, 2013.
33. *S.Huang, M.P.Haynes, R.Giovanelli, J.Brinchmann*, *Astrophys. J.*, **756**, 113, 2013.
34. *M.E.Filho, B.Winkel, J.S.Almeida et al.*, arXiv:1307.4899, 2013.
35. *D.D.Johnson, D.R.Weisz, J.J.Dalcanton et al.*, arXiv:1305.7243, 2013.
36. *G.Gavazzi, G.Savorgnan, M.Fossati et al.*, *Astron. Astrophys.*, **553**, A90, 2013.
37. *J.I.Phillips, C.Wheeler, M.Boylan-Kolchin et al.*, arXiv:1307.3552, 2013.