

А. Р. ПЕТРОСЯН

ЭМПИРИЧЕСКИЕ ЗАВИСИМОСТИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ КИСЛОРОДА И АЗОТА В ОБЛАСТЯХ ЗВЕЗДООБРАЗОВАНИЯ В ГАЛАКТИКАХ

Выборка НII областей (~ 500 объектов) разделена на 8 классов. Каждый класс содержит НII области соответственно из: Галактики; галактик Sa—Sbc и Sc—Sim; карликовых иррегулярных и гигантских иррегулярных галактик; голубых компактных карликовых и гигантских галактик, а также ядерных образований.

Для НII областей этих классов по значениям $\lg([OIII] + [OII])/H\beta$ и $\lg[NII]/H\beta$ получены эмпирические зависимости для определения содержания кислорода и азота в них.

Получены следующие результаты:

- карликовые иррегулярные и карликовые голубые компактные галактики, по всей вероятности, являются аналогичными объектами;
- химический состав карликовых ($M_p \geq -18^m$), голубых компактных галактик отличается от состава гигантских голубых компактных галактик, а карликовых иррегулярных ($M_p \geq -18^m$) — от гигантских иррегулярных;
- отношение N/O приблизительно постоянно в каждом классе и значимо не меняется от класса к классу.

Введение. В последние два десятилетия ведутся интенсивные исследования с целью определения содержания тяжелых элементов (в основном, кислорода и азота) в излучающем межзвездном газе галактик (см., например, обзоры [1, 2]).

Непосредственное определение содержания этих элементов возможно лишь в НII областях с высокой электронной температурой, а значит низким содержанием тяжелых элементов.

Для определения содержания тяжелых элементов в низкотемпературных НII областях применяются как модельные расчеты [3, 4], так и эмпирические зависимости между наблюдаемыми отношениями интенсивностей сильных эмиссионных линий и электронной температурой или непосредственного содержания соответствующих элементов (в основном, для кислорода) [5—10].

Известно, что эмиссионные линии в НII областях вызываются фотоионизацией со стороны коротковолнового излучения ранних O—В звезд. Их относительные интенсивности зависят от: электронной плотности и ионизационной структуры НII областей; температуры ионизующих звезд; электронной температуры в среде, которая сама, в основном, зависит от обилия кислорода (как охлаждающего агента); обилия элементов, создающих эти линии. В свою очередь, обилие элементов в данный момент времени и в данной области галактики зависит от: начальной функции масс (НФМ) звезд, ее наклона и верхнего предела; темпа звездообразования (ТЗО) и изменения ТЗО в течение времени; химического состава теряемой звездами массы и существования крупномасштабных потоков масс, как, например, выбросы из ядер галактик.

Указанные параметры, в зависимости от типа галактик и локализации HII областей в галактиках меняются в широких пределах. Так, HII области в нашей Галактике по своим размерам, массе и количеству ранних звезд на один-два порядка уступают исследуемым HII областям в других спиральных галактиках. Последние, в свою очередь, отличаются от гигантских и сверхгигантских HII областей в irregулярных галактиках, а также от межгалактических изолированных и ядерных HII областей [11—13]. Можно сказать, что последовательность нормальные → гигантские → сверхгигантские → ядерные HII области не только количественная, но и качественная [13, 14—16].

Созданная нами в настоящей работе общая выборка HII областей разделена на восемь классов. По объектам каждого класса построены эмпирические зависимости между: а) содержанием кислорода и наблюдаемым и исправленным за покраснение отношением $I([OIII] \lambda\lambda 4959, 5007 + [OII] \lambda\lambda 3726, 3729) / I(H\alpha)$ (далее $[OIII] + [OII]) / H\alpha$ [6—9]; б) содержанием азота и отношением $I([NII] \lambda 6584) / I(H\alpha)$ (далее $[NII] / H\alpha$) [17, 18].

Приводится обсуждение некоторых полученных результатов.

Классы и соответствующие выборки HII областей. Собраны по возможности все данные по определению содержания кислорода и азота в HII областях. Создана общая выборка таких объектов, насчитывающая почти 500 определений. Причем, для более 70% из них с одновременным определением обилия O и N.

Общая выборка HII областей разделена на восемь соответствующих классов с указанием их объемов:

- галактические HII области—HII MW (N=52);
- HII области в спиральных галактиках ранних морфологических типов (Sa—Sbc)—HII Sa/bc (N=50);
- HII области в спиральных галактиках поздних морфологических типов (Sc—Sm)—HII Sc/m (N=83);
- HII области в гигантских irregулярных галактиках ($p < -18^m$)—HII G Irr (N=73);
- HII области в карликовых irregулярных галактиках ($p \geq -18^m$)—HII Dirr (N=82);
- гигантские голубые компактные HII области ($M_p < -18^u$)—HII BCGG (N=26);
- карликовые голубые компактные HII области ($M_p \geq -18^u$)—HII BCDG (N=95);
- ядерные HII области—HII Nuc. (N=37).

Такое разделение фактически является отражением спектральной классификации HII областей, что хорошо видно из двумерной диаграммы $\lg([OIII] + [OII]) / H\alpha \div \lg[NII] / H\alpha$, представленной на рис. 1. Это также отражает тонкую структуру областей из диаграммы работ [19, 20], содержащих объекты с тепловым механизмом фотоионизации. На диаграмме рис. 1 для каждого класса HII областей точки обозначают положения средних значений величин $\lg([OIII] + [OII]) / H\alpha$ и $\lg[NII] / H\alpha$, а границы соответствующих прямоугольников—их 3σ уровня.

Данные для объектов выборки получены по наблюдениям на разных телескопах, с разной аппаратурой, обработаны иногда разными методами.

От части HII областей наблюдаются авроральные, трансавроральные или радиорекомбинационные линии излучения, с помощью которых непосредственно определяется T_e и вычисляется содержание тя-

желых элементов. Процент таких объектов в различных классах HII областей неодинаков: среди HII MW—100%; HII BCG—78% (большинство из которых HII BCDG); HII Irg—52% (большинство из которых это HII области из БМО и ММО); HII области спиральных галактик—22% и то, в основном, HII Sc/m, в ядерных HII областях таких нет.

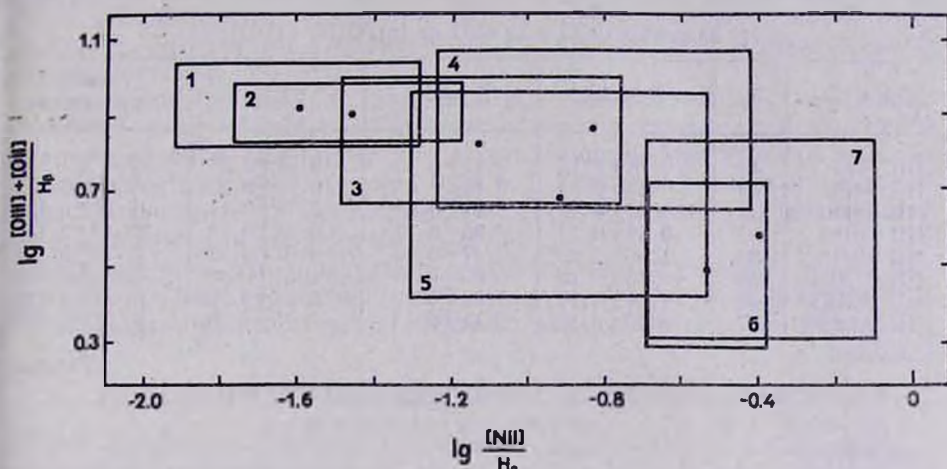


Рис. 1. Двумерная классификационная диаграмма HII областей. Точки — положения средних значений величин $\lg([OIII] + [OII])/H_\beta$ и $\lg[NII]/H_\alpha$, а соответствующие прямоугольники их 3σ уровни для следующих классов HII областей: 1—HII BCDG; 2—HII DIrr; 3—HII GIrr; 4—HII BCGG; 5—HII Sc/m; 6—HII Sa/bc; 7—HII Nuc

Очень часто один и тот же объект (например, туманность Орiona, 30 Dor NGC 604 или II Zw 40) исследован разными авторами. Этим мы воспользовались для оценки внутренних ошибок используемых далее величин. Получены следующие оценки средних ошибок: для отношения $\lg([OIII] + [OII])/H_\beta \sim 0,05$ dex и $\lg[NII]/H_\alpha \sim 0,08$ dex, для $12 + \lg O/H \sim 0,08$ dex, $12 + \lg N/H \sim 0,18$ dex и $\lg N/O \sim 0,10$ dex. Средняя точность отношений $\lg([OIII] + [OII])/H_\beta$ и $\lg[NII]/H_\alpha$ для HII областей без точного значения T_e , те же самые. Содержание кислорода для них определяется эмпирическим путем, с точностью $0,20 \div 0,25$ dex, а отношение $\lg N/O \sim 0,10$ dex [7, 9, 10]. Для объектов с большим обилием тяжелых элементов ($12 + \lg O/H > 9,0$) ошибки определения содержания кислорода и отношения $\lg N/O$ могут достичь 0.4 dex и 0.2 dex соответственно [10, 21].

Эмпирические зависимости $12 + \lg O/H - \lg([OIII] + [OII])/H_\beta$ для всех классов HII областей. В настоящее время считают, что наилучшим индикатором для вычисления содержания кислорода эмпирическим способом является отношение $([OIII] + [OII])/H_\beta$ [6, 9, 22]. На основе собранных для каждого класса HII областей наблюдаемых отношений $([OIII] + [OII])/H_\beta$ и значений обилия кислорода получены регрессионные уравнения первой степени в виде:

$$12 + \lg \frac{O}{H} = (B \pm \Delta B) + (A \pm \Delta A) \lg([OIII] + [OII])/H_\beta. \quad (1)$$

В табл. 1 для каждого класса HII областей в отдельности приведены следующие данные: название класса, объем используемой выбор-

ки III областей, $A \pm \Delta A$ и $B \pm \Delta B$ — коэффициенты уравнения (1); коэффициент корреляции для данной зависимости с интервалом его достоверности на уровне 95% ($\rho \pm \sigma_\rho$). Ошибка определения значений $12 + \lg O/H$ по зависимости (1). Последняя вычисляется следующим

Таблица 1

Зависимости $12 + \lg O/H$ от $\lg([OIII] + [OII])/H\beta$

Класс	N	$A \pm \Delta A$	$B \pm \Delta B$	$\rho \pm \sigma_\rho$	Точность определения
III MW	49	-0.78 ± 0.18	9.11 ± 0.13	-0.53 ± 0.28	$(0.17 \pm 0.14) \text{dex}$
III Sa bc	49	-1.15 ± 0.05	9.40 ± 0.03	-0.96 ± 0.28	(0.05 ± 0.05)
III Sc m	68	-1.2 ± 0.08	9.44 ± 0.06	-0.88 ± 0.24	(0.12 ± 0.12)
III G rr	69	-0.54 ± 0.14	8.95 ± 0.12	-0.43 ± 0.24	(0.13 ± 0.13)
III D rr	80	-1.36 ± 0.23	9.47 ± 0.20	-0.56 ± 0.22	(0.18 ± 0.13)
III BCGG	28	-0.49 ± 0.15	8.85 ± 0.13	-0.54 ± 0.38	(0.15 ± 0.13)
III BCDG	94	1.09 ± 0.24	7.02 ± 0.22	0.42 ± 0.20	(0.21 ± 0.18)
III Nuc	37	-0.40 ± 0.19	9.11 ± 0.13	-0.35 ± 0.34	(0.27 ± 0.19)

Таблица 2

Сравнение точности определения значений $12 + \lg O/H$ по разным эмпирическим зависимостям

Класс	Эмп. зависимость	Настоящая работа	Эмпирическая зависимость из работы [8]	Эмпирическая зависимость из работы [9]	Эмпирическая зависимость из работ [7, 10]
III MW		$(0.17 \pm 0.14) \text{dex}$	$(0.24 \pm 0.18) \text{dex}$	$(0.19 \pm 0.14) \text{dex}$	$(0.21 \pm 0.15) \text{dex}$
III Sa bc		(0.05 ± 0.05)	(0.13 ± 0.09)	(0.06 ± 0.05)	(0.08 ± 0.08)
III Sc m		(0.12 ± 0.12)	(0.22 ± 0.17)	(0.14 ± 0.12)	(0.13 ± 0.13)
III G rr		(0.13 ± 0.13)	(0.21 ± 0.14)	(0.16 ± 0.14)	(0.14 ± 0.15)
III D rr		(0.18 ± 0.13)	(0.30 ± 0.12)	(0.20 ± 0.17)	(0.17 ± 0.16)
III BCGG		(0.15 ± 0.13)	(0.26 ± 0.16)	(0.20 ± 0.16)	(0.23 ± 0.21)
III BCDG		(0.21 ± 0.18)	(0.45 ± 0.52)	(0.39 ± 0.35)	(0.35 ± 0.37)
III Nuc		(0.27 ± 0.19)	(0.26 ± 0.24)	(0.28 ± 0.32)	$(0.22 \pm 0.23)^*$
					(0.31 ± 0.36)

* Точность вычислена по нижней ветке эмпирической зависимости [7, 10] (см. также [6]).

образом. Для всех объектов данного класса по наблюдаемым величинам $\lg([OIII] + [OII])/H\beta$ и соответствующим данному классу уравнением (1) вычисляются значения $12 + \lg O/H$. Полученные величины сравниваются с имеющимися.

Для выяснения эффективности использования уравнения типа (1) для каждого класса в отдельности вычислена точность определения значения $12 + \lg O/H$ для этих классов по общим эмпирическим зависимостям работ [7—10]. Полученные данные вместе с результатами нашей работы приведены в табл. 2.

Согласно табл. 2, индивидуальные эмпирические зависимости для каждого класса III областей в отдельности дают более высокие точности при определении содержания кислорода, чем кривые, построенные по общей выборке III областей [6, 7—10].

Эмпирические зависимости $12 + \lg N/H - \lg[NII]/H\alpha$ для всех классов III областей. Эмпирические зависимости для прямого определения содержания азота по интенсивностям сильных эмиссионных линий [NII] мало используются (см. только [17, 18]).

Для каждого класса III областей на основе собранных наблю-

даемых отношений $[NII]/H_{\alpha}$ и значений обилия азота нами получены регрессионные уравнения первой степени в виде

$$12 + \lg N/H = (D \pm \Delta D) + (C \pm \Delta C) \lg [NII]/H_{\alpha}. \quad (2)$$

В табл. 3 для каждого класса HII областей в отдельности приведены следующие данные: название класса и объем используемой выборки, коэффициенты уравнения (2) с ошибками; коэффициент корреляции с интервалом достоверности на уровне 95%. Точность определения значения $12 + \lg N/H$.

Как видно из табл. 3, для всех классов HII областей величины $12 + \lg N/H$ и $\lg [NII]/H_{\alpha}$ значительно коррелированы. Точность определения значения $12 + \lg N/H$ для подавляющего большинства классов HII областей меньше или равна 0,20 dex. Это даст основание рекомендовать полученные эмпирические зависимости для вычисления обилия азота, особенно для статистических целей.

Малые точности определения содержания кислорода и азота для ядер спиральных галактик (см. табл. 1 и 3), по всей вероятности, обусловлены присутствием в спектрах этих объектов балмеровских

Таблица 3

Зависимости $12 + \lg N/H$ от $\lg [NII]/H_{\alpha}$

Класс	N	$C \pm \Delta C$	$D \pm \Delta D$	$\rho \pm \sigma_{\rho}$	Точность определения
HII MW	52	0.58 ± 0.15	7.94 ± 0.11	0.49 ± 0.27	$(0.18 \pm 0.15) \text{ dex}$
HII Sa bc	44	1.28 ± 0.26	8.41 ± 0.14	0.61 ± 0.30	(0.18 ± 0.18)
HII Sc m	62	1.00 ± 0.07	8.21 ± 0.07	0.88 ± 0.25	(0.17 ± 0.11)
HII OIrr	64	0.62 ± 0.10	7.72 ± 0.12	0.62 ± 0.25	(0.20 ± 0.21)
HII DIrr	55	0.64 ± 0.08	7.58 ± 0.12	0.72 ± 0.26	(0.14 ± 0.12)
HII BCGG	27	0.93 ± 0.11	7.92 ± 0.10	0.85 ± 0.39	(0.21 ± 0.13)
HII BCDG	78	0.89 ± 0.10	8.05 ± 0.17	0.70 ± 0.22	(0.20 ± 0.20)
HII Nuc	29	1.13 ± 0.13	8.39 ± 0.07	0.85 ± 0.37	(0.47 ± 0.30)

Таблица 4

Средние значения $12 + \lg O/H$, $12 + \lg N/H$ и $\lg N/O$ для классов HII областей

Класс	$12 + \lg O/H$	$12 + \lg N/H$	$\lg N/O$
HII MW	8.57 ± 0.14	7.53 ± 0.13	-1.04 ± 0.19
HII Sa bc	8.80 ± 0.25	7.72 ± 0.20	-1.08 ± 0.32
HII Sc m	8.59 ± 0.33	7.25 ± 0.37	-1.34 ± 0.50
HII OIrr	8.51 ± 0.09	7.02 ± 0.23	-1.49 ± 0.25
HII DIrr	8.29 ± 0.15	6.65 ± 0.19	-1.64 ± 0.24
HII BCGG	8.45 ± 0.13	7.17 ± 0.40	-1.28 ± 0.42
HII BCDG	8.02 ± 0.13	6.63 ± 0.28	-1.39 ± 0.31
HII Nuc	8.86 ± 0.12	7.84 ± 0.41	-1.02 ± 0.43

Таблица 5

Зависимости $\lg N/O$ от $12 + \lg O/H$

Класс	N	$a \pm \Delta a$	$b \pm \Delta b$	$\rho \pm \sigma_{\rho}$
HII MW	52	-0.26 ± 0.08	1.19 ± 0.71	-0.41 ± 0.27
HII Sa bc	44	0.19 ± 0.10	-2.80 ± 0.86	0.30 ± 0.31
HII Sc m	62	0.21 ± 0.08	-3.03 ± 0.65	0.35 ± 0.26
HII OIrr	64	0.19 ± 0.17	3.11 ± 1.43	0.14 ± 0.25
HII DIrr	55	-0.21 ± 0.13	0.16 ± 1.10	-0.21 ± 0.27
HII BCGG	27	0.56 ± 0.24	-5.99 ± 2.01	0.42 ± 0.39
HII BCDG	77	-0.10 ± 0.09	-0.61 ± 0.76	-0.12 ± 0.22
HII Nuc	28	0.08 ± 0.23	-1.71 ± 2.04	0.07 ± 0.38

линий поглощения звездной природы, которые искажают истинные значения отношения $([OII] + [OIII])/H\beta$ и $[NII]/H\alpha$ [13, 23].

Обилие кислорода и азота в разных классах HII областей. Для всех объектов выборки, используя наблюдаемые отношения $([OII] + [OIII])/H\beta$ и $[NII]/H\alpha$, по эмпирическим зависимостям (1)–(2) заново вычислены содержания кислорода и азота. Вычислены также средние значения обилия кислорода и азота по классам HII областей, а также значения N/O для них. Эти средние значения приведены в табл. 4.

Сравнительно большие разбросы величин $12 + \lg O/H$, $12 + \lg N/H$ для класса HII областей из Sc/m галактик, по всей вероятности, обусловлены тем, что эти величины не только сильно меняются от галактики к галактике, но и вдоль диска одной галактики их изменения значительны (см., например, [2, 9]).

По наблюдательным данным, для каждого класса HII областей в отдельности, рассмотрены зависимости величин $\lg N/O$ от $12 + \lg O/H$. Построены соответствующие регрессионные уравнения в виде

$$\lg N/O = (b \pm \Delta b) + (a \pm \Delta a) (12 + \lg O/H) \quad (3)$$

и вычислены соответствующие коэффициенты корреляции. В табл. 5 для каждого класса приведены объекты используемых выборок, коэффициенты уравнения (3) и коэффициенты корреляции с интервалами достоверности на уровне 95%.

На основе данных табл. 4 аналогичная зависимость построена (см. рис. 2) и по всем классам HII областей. Соответствующее регрессионное уравнение имеет вид $\lg N/O = (-5,96 \pm 1,97) + (0,55 \pm 0,23) (12 + \lg O/H)$, а коэффициент корреляции равен $0,72 \pm 0,75$. По тем же данным табл. 4 на рис. 3 построена зависимость $12 + \lg O/H$ от $12 + \lg N/H$.

Обсуждение некоторых результатов. Существует мнение, что внегалактические изолированные HII области (BCDG) [24, 25] генетически связаны или аналогичны с irregулярными галактиками [26–28].

Из данных табл. 1 настоящей работы (см. также рис. 1 и 3) видно, что по обилию азота и кислорода классы BCDG и D1rr более близки друг к другу. Можно предположить, что упоминутая генетическая связь более четко выражена между этими объектами.

Почти одинаковое обилие кислорода и азота в BCGG, G1rr и Sc/m классах можно считать указанием на то, что история звездообразования в них одинакова, или подтверждением того, что звездообразование это локальный процесс, не зависящий от глобальных характеристик галактик [29] (см. также [30]).

Между тем, заметное отличие химического состава классов HII областей BCDG от BCGG и D1rr от G1rr указывает на то, что морфологическая структура не играет единственной роли для классификации галактик по эволюционной последовательности [31]. Их светимость, предположительно и масса, имеют важное значение [28, 32]).

Подобие химической структуры HII областей, наблюдаемых в спиральных рукавах Sa/bc галактик и ядерных областях галактик поздних морфологических типов, показывает, что объекты с одинаковой историей звездообразования в зависимости от морфологического типа галактик могут быть локализованы как в ядерных, так и во внешних областях галактик.

Споры о первичной или вторичной природе азота ведутся до сих пор. Данные, приведенные, например, в последних работах [33–35],

показывают, что больше половины, если не весь азот, является первичным. В противоположность этому, например, в работах [36, 37] приводятся доводы в пользу основной-вторичной природы азота.

Наблюдаемое в HII областях обилие элементов и связи типа уравнения (3) (см., например, [36, 38]) позволяют анализировать

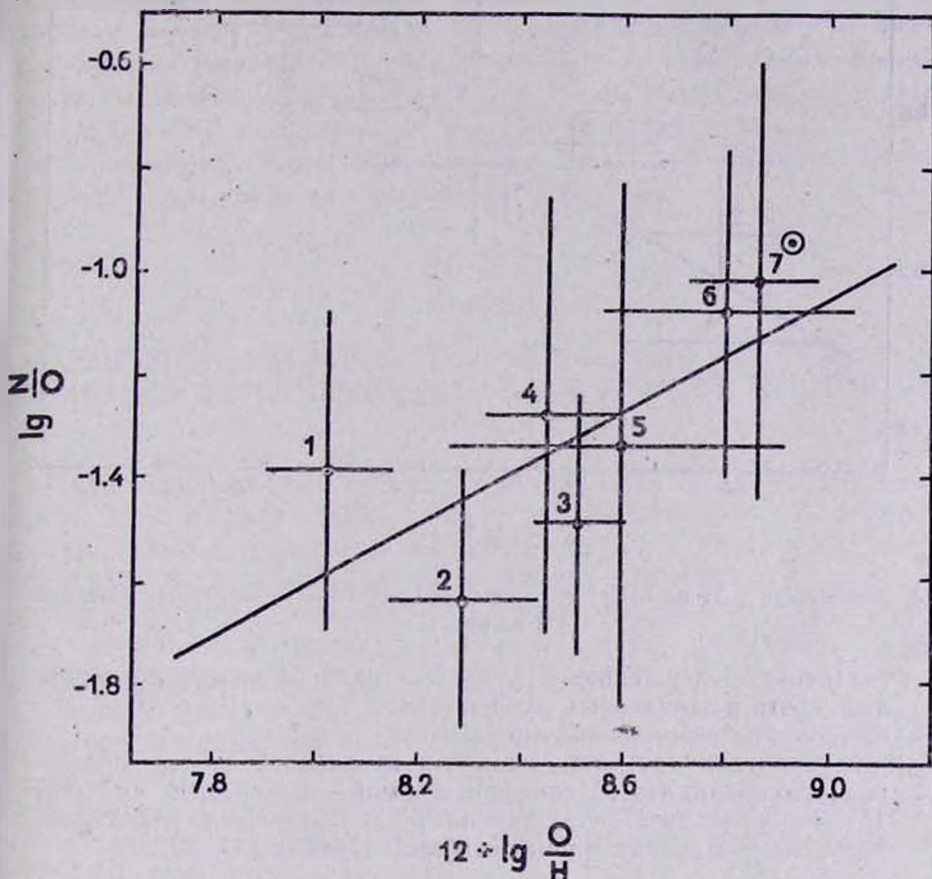


Рис. 2. Зависимость N/O от O/H для классов HII областей; номера классов те же, что и на рис. 1

теории химической эволюции галактик, в частности, отмеченный выше вопрос.

Согласно нашим данным (см. табл. 5), на уровне 95% корреляции между параметрами $\lg N/O$ и $12 + \lg O/H$ для D Irr, G Irr, BCDG Sa/bc и ядерных классов HII областей не обнаружено. Наблюдается слабая положительная корреляция для Sc/m и BCGG классов HII областей и слабая отрицательная корреляция по HII областям Галактики. Последняя, в основном, обусловлена значением этих параметров для периферических галактических HII областей S38 и S48 [9]. На уровне значимости 95% корреляция не наблюдается и по всем классам HII областей (см. выше).

Можно сделать вывод, что отношение $\lg N/O$ приблизительно постоянно в каждом классе HII областей и заметно не меняется от класса к классу.

Это может быть следствием того, что:

- և ը որոշվում համար $\lg([OIII] + [OII])/H\beta$ և $\lg[NII]/H\alpha$ մեծությունների արժեքների հիման վրա դուրս են բերվել էմպիրիկ կապակցություններ:
- Ստացվել են հետևյալ արդյունքները՝
- թզուկ անկանոն և սեղմ կապույտ թզուկ գալակտիկաները ամենայն հավանականությամբ համանման օբյեկտներ են
 - Սեղմ կապույտ թզուկ ($M_p \geq -18^m$) գալակտիկաների քիմիական կազմությունը տարրերովում է սեղմ կապույտ, բայց հսկա, գալակտիկաների քիմիական կազմությունից: Նմանապես, թզուկ անկանոններին ($M_p \geq -18_m$) տարրերովում է հսկա անկանոններից:
 - Յուրաքանչյուր դասում N/O հարաբերությունը մոտավորապես հաստատուն է այն դասից դաս էականորեն չի փոխվում:

A. R. PETROSIAN

EMPIRICAL RELATIONS FOR OXYGEN AND NITROGEN ABUNDANCE DETERMINATION IN STAR FORMING REGIONS OF GALAXIES

Total sample of HII regions (~ 500 objects) is divided on eight classes. Each of these classes contains HII regions from: the Galaxy; Sa—Sbc, Sc—Sm galaxies; dwarf; giant irregular galaxies; blue compact dwarf, giant galaxies and also nuclear formation.

For each class using $\lg([OIII] + [OII])/H\beta$ and $\lg[NII]/H\alpha$ ratios, empirical relations for oxygen and nitrogen abundance determination are constructed.

Several results were obtained:

- Dwarf irregular and dwarf blue compact galaxies are probably similar objects.
- Chemical structure of all of dwarfs ($M_p \geq -18^m$) and giant blue compact galaxies, dwarf ($M_p \geq -18^m$) and giant irregular galaxies differ from each other.
- N/O ratios approximately are constant in each class of HII regions and there is no any significant difference between classes.

ЛИТЕРАТУРА

1. M. Peimbert, Ann. Rev. Astron. Astrophys., 13, 113, 1975.
2. B. E. J. Pagel, M. G. Edmunds, Ann. Rev. Astron. Astrophys., 19, 77, 1981.
3. H. E. Smith, Astrophys. J., 199, 591, 1975.
4. K. B. Kwitter, L. H. Aller, Mon. Not. Roy. Astron. Soc., 196, 939, 1981.
5. D. Alloin, S. Collin—Souffrin, M. Joly, L. Vigroux, Astron. Astrophys., 78, 200, 1979.
6. B. E. J. Pagel, M. G. Edmunds, D. E. Blackwell, M. S. Chun, G. Smith, Mon. Not. Roy. Astron. Soc., 189, 95, 1979.
7. B. E. J. Pagel, M. G. Edmunds, G. Smith, Mon. Not. Roy. Astron. Soc., 193, 219, 1980.

8. M. L. McCall, "The Chemistry of Galaxies", Ph. Dissertation, Austin, 1982.
9. P. A. Shaver, R. X. McGee, L. M. Newton, A. C. Danks, S. R. Pottasch, Mon. Not. Roy. Astron. Soc., 204, 53, 1983.
10. M. G. Edmunds, B. E. J. Pagel, Mon. Not. Roy. Astron. Soc., 211, 507, 1984.
11. R. Terlevich, J. Melnick, Mon. Not. Roy. Astron. Soc., 193, 39, 1981.
12. P. W. Hodge, Astron. J., 88, 1323, 1983.
13. Y. Taniguchi, Publ. Astron. Soc. Japan, 38, 571, 1986.
14. V. A. Ambartsumian, IAU—URSI Symp. No. 20 (ed. F. J. Kerr, A. W. Rodgers), Canberra, P. 122, 1964.
15. J. S. Gallagher III, D. A. Hunter, Astrophys. J., 274, 141, 1983.
16. R. C. Kennicutt, Jr., Astrophys. J., 287, 116, 1984.
17. A. Р. Петросян, А. Ц., № 1355, с. 6, 1984.
18. F. Sabbadin, S. Ortolani, A. Bianchini, Astron. Astrophys., 131, 1, 1984.
19. J. A. Baldwin, M. M. Phillips, R. Terlevich, Publ. Astron. Soc. Pacific, 93, 5, 1981.
20. S. Vellieux, D. E. Osterbrock, Astrophys. J. Suppl. Ser., 63, 295, 1987.
21. A. Serrano, M. Peimbert, Rev. Mexicana Astron. Astrophys., 8, 117, 1983.
22. G. Stasinska, D. Alloin, S. Collin—Souffrin, M. Joly, Astron. Astrophys., 93, 362, 1981.
23. V. C. Rubin, W. K. Ford Jr., Astrophys. J., 305, L 35, 1986.
24. W. L. W. Sargent, L. Searle, Astrophys. J., 162, L 155, 1970.
25. L. Searle, W. L. W. Sargent, Astrophys. J., 173, 25, 1972.
26. J. S. Gallagher, III, D. A. Hunter, Ann. Rev. Astron. Astrophys., 22, 37, 1984.
27. J. Melnick, R. Terlevich, P. P. Eggleton, Mon. Not. Roy. Astron. Soc., 216, 255, 1985.
28. L. Vigroux, G. Stasinska, G. Comte, in "Star—Forming Dwarf Galaxies and Related Objects" (ed. D. Kunth, T. X. Thuan, J. T. T. Van), Editions Frontieres, p. 425, 1985.
29. D. A. Hunter, J. S. Gallagher III, Astron. J., 90, 80, 1985.
30. F. Viallefond, in "Star—Forming Dwarf Galaxies and Related Objects" (ed. D. Kunth, T. X. Thuan, J. T. T. Van), Editions Frontieres, p. 207, 1985.
31. A. Sandage, Astron. Astrophys., 161, 89, 1986.
32. R. F. G. Wyse, J. Silk, Astrophys. J., 296, L1, 1985.
33. A. I. Diaz, M. Tosi, Astron. Astrophys., 158, 60, 1986.
34. J. B. Laird, Astrophys. J., 289, 556, 1985.
35. J. Tomkin, D. J. Lambert, Astrophys. J. 279, 220, 1984.
36. A. Serrano, M. Peimbert, Rev. Mex. Astron. Astrophys., 8, 117, 1983.
37. M. Peimbert, A. M. Sarmiento, Astron. Express, 1, 97, 1984.
38. R. J. Talbot, W. D. Arnett, Astrophys. J., 186, 51, 1973.
39. M. G. Edmunds, B. E. J. Pagel, Mon. Not. Roy. Astron. Soc., 185, 77p, 1978.