



ISSN 1607–2855

Том 1 • № 1 • 2000 С. 111 – 114

УДК 524.7

Про визначення хімічного вмісту областей НІІ в голубих компактних карликових галактиках

Б.Я. Мелех

Астрономічна обсерваторія Львівського національного університету, Україна

Зібрано вибірку емпіричних співвідношень, які пропонуються різними авторами для визначення хімічного складу газових туманностей. На основі відносних інтенсивностей спектрів спостережень знайдено хімічний вміст 10 областей НІІ в голубих компактних карликових галактиках (ГККГ), використовуючи іонізуючо-корекційні фактори для планетарних туманностей. Порівняно і проаналізовано отримані вмісти з відповідними даними інших авторів. Побудовано фотоіонізаційні моделі свічення даних НІІ областей в ГККГ з хімічним вмістом приведеним в [20] і спектрами іонізуючого випромінювання знайденими нами на основі потоків в лініях H_{β} , $\lambda 4471\text{HeI}$, $\lambda 4686\text{HeII}$ [6]. Отримано інтегральні спектри фотоіонізаційних моделей свічення областей НІІ в ГККГ, які використано для отримання відносних іонних вмістів даних об'єктів. Отримані відносні іонні вмісти були використані для визначення хімічного вмісту по вищезгаданим вибірці співвідношень. Знайдені вмісти хімічних елементів для кожного з емпіричних співвідношень порівнювалися з відповідним хімічним вмістом, заданим в відповідній фотоіонізаційній моделі свічення. Зроблено висновок про необхідність побудови сітки фотоіонізаційних моделей свічення для НІІ областей в ГККГ з метою пошуку нових іонізаційно-корекційних факторів.

ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ОБЛАСТЕЙ НІІ В ГОЛУБЫХ КОМПАКТНЫХ КАРЛИКОВЫХ ГАЛАКТИКАХ, Мелех Б.Я. – Собрана выборка эмпирических соотношений, предлагаемых различными авторами для определения химического состава газовых туманностей. Используя ионизационно-коррекционные факторы для планетарных туманностей, на основе относительных интенсивностей спектров наблюдений найден химический состав 10 НІІ регионов в голубых компактных карликовых галактиках (ГККГ). Проведены сравнения и анализ полученных составов с соответствующими данными других авторов. Построены фотоионизационные модели свечения данных НІІ областей в ГККГ с химическим составом, найденным в [20], и спектрами ионизирующего излучения, полученными нами на основе потоков в линиях H_{β} , $\lambda 4471\text{HeI}$, $\lambda 4686\text{HeII}$ [6]. Полученные интегральные спектры фотоионизационных моделей свечения областей НІІ в ГККГ были использованы для получения относительных ионных содержаний в данных объектах. Полученные ионные содержания были использованы для определения химического состава по выше упомянутой выборке соотношений. Определенный таким образом химический состав каждым из соотношений, сравнивался с соответствующим химическим составом, заданным в соответствующей фотоионизационной модели свечения. Сделано заключение об необходимости построения сетки фотоионизационных моделей свечения для областей НІІ в ГККГ с целью определения ионизационно-коррекционных факторов.

ON DETERMINATION OF CHEMICAL COMPOSITION OF HII REGION IN BLUE COMPACT DWARF GALAXIES, by Melekh B.Ya. – We have collected empirical expressions for gaseous nebulae chemical composition determination from different sources. We obtained chemical composition for 10 HII regions in Blue Compact Dwarf Galaxies (BCDG) using planetary nebulae (PN) ionization correction factors (ICF's) on the base of observational spectra relative intensities from these objects. Obtained compositions were compared and analyzed with results from different authors. We built photoionization models of this HII regions in BCDG with chemical composition determined in [20] and ionization emission spectra, obtained on the base of observed fluxes in H_{β} , $\lambda 4471\text{HeI}$, $\lambda 4686\text{HeII}$ lines [6]. Predicted spectra of photoionized models were used for relative ionic abundances determination in these objects. Obtained relative ionic abundances were used for chemical compositions determination from collection of empirical expressions. The chemical abundance obtained from every tested expressions were compared with correspond abundance specified in photoionization model. We conclude, that it is necessary to build a photoionization grid for HII regions in BCDG for ICF's in these objects determination.

Визначення хімічного вмісту в голубих компактних карликових галактик (ГККГ) є особливо цінним для уточнення первинного вмісту гелію у Всесвіті, оскільки в цих об'єктах спостерігаються активні процеси зореутворення з речовин, яка ще, в основному, не приймала участі в зоряній еволюції, тобто з аномально низьким вмістом важких елементів. Вміст первинного гелію отримують шляхом екстраполяції на нульову металічність хімічного вмісту областей НІІ в ГККГ. Окрім цього порівняння хімічного вмісту даних об'єктів з вмістом, наприклад, планетарних туманностей може дати цінну інформацію про темпи хімічної еволюції речовини у Всесвіті.

Процеси зореутворення в ГККГ проходять в компактних згустках навколо яких внаслідок іонізації оточуючого газу виникають гігантські області іонізованого газу (НІІ-області). Хімічний вміст в цих НІІ областях і є предметом розгляду.

Оскільки від реальних об'єктів спостерігаються найчастіше лінії одної-двох стадій іонізації елементу, то для визначення хімічного вмісту елементу необхідно знати зв'язок між його спостережуваними і неспостережуваними стадіями іонізації. Для цього виводять вирази для так званих іонізаційно-корекційних факторів (ICF), які пов'язують іонний вміст елемента з його хімічним вмістом:

$$A/H = ICF(A) A^{+i}/H^{+},$$

де A/H – відносний хімічний вміст елементу A , A^{+i}/H^{+} – його відносний іонний вміст в i -й стадії іонізації.

Хімічний вміст в НІІ областях ГККГ визначають, використовуючи або емпіричні співвідношення для ICF, які ґрунтуються на близькості потенціалів іонізації, але не враховують різниці в ефективних перерізах іонізації, або ж при допомозі виразів для цих факторів, отриманих [18, 20] з сітки фотоіонізаційних моделей свічення НІІ областей, розрахована Г.Стасінською [17].

Ми поставили собі за мету в даній роботі протестувати вибірку виразів для ICF, зроблену нами, а також ICF знайдені в [3] для планетарних туманностей на їх придатність для середовищ з низькою металічністю, а саме для НІІ областей в ГККГ.

Для цього першим чином на основі спостережуваних спектрів 10 НІІ областей в ГККГ, отриманих Ю.І.Ізотовим та ін. [18, 20] ми визначили хімічний вміст при допомозі програми для діагностики плазми DIAGN (опис програми дано в роботі [4]), в якій закладено ICF для планетарних туманностей (ПТ), знайдені В.В.Головатим та ін. [3]. В програмі DIAGN методом перетину кривих Te - ne , знаходяться електронні температура Te і концентрація ne , на основі яких програма шукає іонні вмісти, по яких, за допомогою виразів для ICF ПТ [3] знаходиться хімічний вміст. Отриманий таким чином хімічний вміст порівнювався з вмістом, знайденим в [18, 20]. Результати представлені в табл.1. Видно, що різниця між отриманими результатами в одиницях $12+\lg(A/H)$ в більшості випадків досягає і перевищує 0.5, що виходить за межі похибок визначення хімічності в програмі DIAGN. Це свідчить про непридатність застосування ICF ПТ в умовах областей НІІ в ГККГ.

Оскільки спектри спостережень дають, в основному, набагато менше ліній, ніж інтегральні спектри фотоіонізаційних моделей свічення (ФІМС), ми побудували ФІМСи для обраних нами 10 об'єктів, при допомозі програми PAN3 (аксісиметрична модифікація програми, описаної в [2]), яка по атомних даних найближча до DIAGN і добре узгоджується на стандартних тестах з іншими [8] фотоіонізаційними програмами. Розподіли енергії в спектрі іонізуючого випромінювання були отримані нами за допомогою модифікованого нами [5, 6] метода Головатого-Проника [1]. Бралась результати другого варіанту пошуку з роботи [6]. Ми задавали в кожній з ФІМС хімічний вміст отриманий в [18, 20]. Кожна ФІМС будувалась в сферично-симетричному наближенні. Зовнішній радіус НІІ регіонів брався з спостережень, а внутрішній – з рівності об'єму газу, що випромінює в лініях $H\beta$, HeI 4471, $HeII$ 4686 відношенню світності небулярного газу до об'ємного коефіцієнта випромінювання в цих лініях. Отримані інтегральні спектри ФІМС ми використовували як вхідні до програми DIAGN. Різницю між отриманими таким чином хімічними вмістами і відповідними вмістами, знайдених Ю.І.Ізотовим та Т.Туаном [18,20] зображено на рис.1. Видно що різниця в одиницях $12+\lg(A/H)$ майже досягає для азоту і кисню 1.2, а по розкиду 1.67. Похибка програми DIAGN для даної вибірки при роботі з інтегральними спектрами ФІМС для кисню не перевищувала 0.16, а для азоту 0.11. Тобто можна зробити висновок, що даний тест тільки підтвердив результат попереднього про непридатність ICF планетарних туманностей для низькометалічних середовищ, якими є області НІІ в ГККГ.

Нами було зроблено також вибірку емпіричних співвідношень, які дають різноманітні автори для визначення ICF в небулярних середовищах. Програма DIAGN, після визначення ne і Te , визначає також відносні іонні вмісти елементів. Ці іонні вмісти, які ми отримували під час попереднього вищезгаданого

Таблиця 1. Порівняння хімічних вмістів знайдених нами за допомогою коду DIAGN (права колонка) і Ю.Ізотвим та ін. (ліва колонка). Хімічний вміст дано в одиницях $12+\lg(A/H)$, де А-відповідний хімічний елемент.

Об'єкт :	0832+699		0946+558		0948+532		1135+581		1159+545	
He	10.9	-	10.92	10.97	10.93	10.96	10.90	10.92	10.90	10.92
O	7.58	8.73	8.04	8.50	8.04	7.67	8.02	8.07	7.47	8.30
N	5.91	6.77	6.52	6.90	6.58	7.23	6.55	7.05	5.92	7.09
Ne	6.85	7.47	7.35	7.44	7.35	6.54	7.38	7.15	6.77	7.15
S	6.01	6.90	6.59	7.01	6.54	6.73	6.46	6.35	5.94	6.47
Ar	5.32	5.82	5.71	5.79	5.90	5.43	5.79	5.64	5.29	5.46

Таблиця 1. Продовження.

Об'єкт :	1211+540		1249+493		1415+437		1420+544		1533+469	
He	10.9	10.95	-	10.95	-	10.93	-	11.07	-	11.00
O	7.68	8.59	7.72	7.38	7.51	7.25	7.75	8.23	8.01	7.36
N	6.08	6.84	6.11	5.90	5.92	5.74	6.18	6.54	6.70	6.23
Ne	6.94	7.39	7.03	6.48	6.78	-	7.06	-	7.27	6.42
S	6.22	6.68	6.18	5.72	5.93	5.62	6.18	6.38	6.41	6.03
Ar	5.47	5.51	5.35	4.86	5.29	4.96	5.62	5.50	5.81	5.32

Таблиця 2. Результати тестування емпіричних виразів для визначення хімічного вмісту в областях НІІ ГККГ. RCA-відносний хімічний вміст, TE-вираз для його визначення, TE/ICA-усереднене по 10 вибраних областях НІІ відношення результатів, отриманих TE до заданого в ФІМС хімічного вмісту (ICA), %-процентне відхилення TE/ICA від одиниці, Ref-номера джерел походжень та використань TE.

RCA	Testing Expressions (TE)	TE/ICA	%	Ref
N/H	$(O/O^+)(N^+/H^+)$	0.99	0.73	7,10,11,12,14-16
He/H	$(He^+/H^+)[1-0.25(O^+/O)]^{-1}$	1.02	1.6	14-16,12
S/H	$[(S^++S^{++})/H^+][(O^++O^{++})/O^+]$	1.1	9.7	21
S/H	$(O/O^+)(S^++S^{++})/H^+$	1.1	12	11
S/H	$1/[0.013+x\{5.10+x\{-12.78+x(14.77-6.11x)\}\}](S^++S^{++})/H^+;x=O^+/O$	1.15	14.6	18,20
He/H	$(He^++He^{++})/H^+$	0.78	22	13,11
N/O	N^+/O^+	0.76	24	23
O/H	$(O^++O^{++})/H^+$	1.3	28	18,20,7
O/H	$1/[1-0.95N^{4+}(N^++N^{++}+N^{3+}+N^{4+})]*(O^++O^{++}+O^{+++})/H^+$	1.3	28	10
O/H	$[1+He^{++}/He^+]^{2/3}(O^++O^{++})/H^+$	1.3	30	10
O/H	$(1+He^{++}/He^+)(O^++O^{++})/H^+$	1.3	31	11,19,12
S/H	$[1.43+0.196(O^{++}/O^+)^{1.29}]*(S^++S^{++})/H^+$	1.6	56	9
Ar/H	$[(Ar^{++}+Ar^{3+}+Ar^{4+})/H^+]*(S^++S^{++})/S^{++}$	0.29	71	7
Ar/H	$1.87(Ar^{++}/H^+)$	0.25	75	11,23
O/H	$[(He^{++}+He^+)/H^+]^{2/3}(O^++O^{++})/H^+$	0.2	80	23
Ne/H	$(Ne^{++}+Ne^{3+})/H^+$	0.18	82	14-16,23
Ar/H	$(Ar^{++}+Ar^{3+}+Ar^{4+})/H^+$	0.14	86	14-16
Ar/H	$[(Ar^{++}+Ar^{3+})/H^+][1+He^{++}/He^+]$	0.14	86	7
O/H	$[(O^++O^{++})/H^+][(He^++He^{++})/H^+]$	0.081	92	13,22
Ar/H	$1/[0.99+x[0.091+x(-1.14+0.077x)]](Ar^{++}+Ar^{3+})/H^+;x=O^+/O$	3.64	264.2	18,20
Ne/O	Ne^{++}/O^{++}	30	2900	23
Ne/H	$(O/O^+)(Ne^{++}/H^+)$	39	3800	11

тесту, були використані нами для тестування вищезгаданої вибірки емпіричних співвідношень.

А саме, по усередненому відносному іонному вмісту даного елемента визначався його хімічний вміст по кожному з вищезгаданих емпіричних виразів. Якщо якийсь з виразів визначався через вміст іншого елемента, то вміст того елемента ми шукали за допомогою виразу, приведеного в тім же літературнім джерелі. У випадку відсутності такого виразу вираз з вибірки виключався з тестування. Знайдений таким чином хімічний вміст порівнювався з відповідним вмістом, заданим в ФІМС, тобто з вмістом, отриманим Ю.Ізотвим та Т.Туаном [18, 20]. Усереднені по 10 вищезгаданих областях НІІ в ГККГ результати представлено в табл. 2 в порядку від найкращого (мінімальне відхилення відношень

вищезгаданих хімічних вмістів від одиниці) до найгіршого. Особливо нас цікавили вирази, які відігравали активну роль при визначенні хімічного вмісту в НІІ областях ГККГ. Ці вирази мають літературні джерела (Ref) [18-20]. Це вираз для визначення S/H (14.6% відхилення), вирази для визначення O/H (28 і 31% відхилення) та Ar/H (264.2% відхилення). Вираз (20) з [18,20] для Ar/H взагалі дає від'ємні, тобто некоректні результати. Як видно, коли три перших вирази ще вписуються в 50% відхилення, то два останні для визначення Ar/H виходять за це відхилення. Вирази для визначення вмісту сірки та аргону отримані Т.Туаном, Ю.І.Ізотовим та В.А.Ліповецьким [20] на основі сітки ФІМС областей НІІ Г.Стасінської [17], що вимагає додаткового аналізу цієї роботи.

На основі всього сказаного вище можна зробити висновок про необхідність побудови сітки ФІМС для областей НІІ в ГККГ, з метою знаходження ICF даних об'єктів.

Автор висловлює глибоку подяку канд. фіз.-мат. наук Головатому В.В. і докт. фіз.-мат. наук Ізотову Ю.І. за корисні поради і консультації під час написання даної роботи.

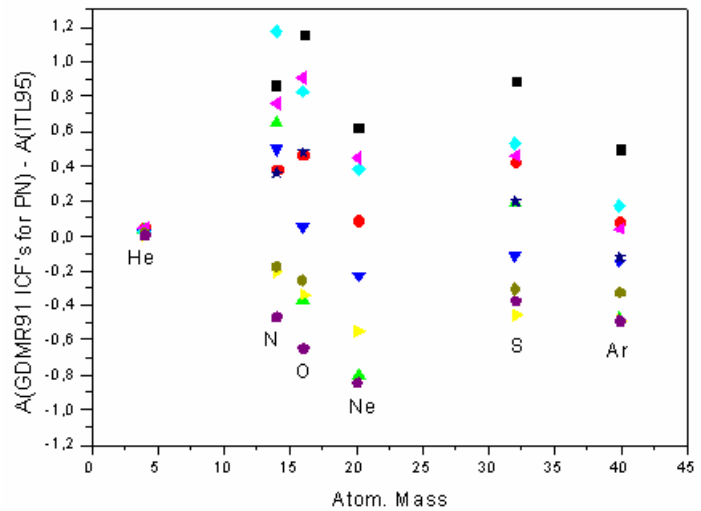


Рис.1. Різниця хімічних вмістів, отриманих на основі інтегральних спектрів ФІМС для вибірки з 10 областей НІІ в ГККГ (кожен з об'єктів позначений відмінним від інших символом) програмою DIAGN на основі ICF для планетарних туманностей, отриманих в [3] і відповідних вмістів отриманих в [20]. Вміст подано в одиницях $A=12+\lg(A/H)$, де A/H-відносний хімічний вміст елемента A.

1. В.В.Головатый, В.И.Проник, АСТРОФИЗИКА, 32, 1, 1990.
2. В.В.Головатый, Ю.Ф. Мальков, "Современная фотоионизационная модель свечения планетарных туманностей", ИТФ-91-66Р, Киев-1991
3. В.В.Головатый, В.И.Дмитерко, Ю.Ф. Мальков, О.В. Рокач, Астрон.Ж., 70, в.4, с.691, 1993.
4. Головатый В.В., Гершберг Р.Е., Мальков Ю.Ф., Проник В.И., Известия Крым. астрофиз. обсерв., 96, 1, 1999
5. Мелех Б.Я., Вісник Астрономічної школи, т.1, №1, 94, 2000
6. Мелех Б.Я., Журнал фізичних досліджень, т.4, №2, 225, 2000
7. Barker T., ApJ, 1983, 267,630 ; 270,641
8. Ferland, G., Binette, L., Contini, M. et al., in The Analysis of Emission Lines, Space Telescope, Science institute Symposium Series, R.Williams & M.Livio, editors (Cambridge University Press),1995
9. Koppen J., Acker A., Steuholm B., Astron. and Astrophys., 1991, 248, 197
10. Kinsburg R.L., Barlow M.J., MNRAS, 1994, 271, 257
11. Leisy P., Donnefeld M., A&A Suppl.Series, 1996, 116, 95
12. Lequeux J., Peimbert M., Rayo J.F., Serrano A., Torres-Peimbert S., 1979, A&A, 90, 155
13. Seaton M., MNRAS, 1968, 139,129
14. Stasinska G., A&A, 1978, 66, 257
15. Stasinska G., A&A, 1980, 84, 320
16. Stasinska G., A&A Suppl.Ser., 1982, 48, 299
17. G.Stasinska, Astron. Astrophys. Supl. Ser., 83, 501, 1990
18. Izotov Y.I., Thuan T.X., Lipovetsky V.A., ApJ, 435, 10, 1994
19. Izotov Y.I., Thuan T.X., ApJ, 1999, v.511, No.2, p.639-659
20. Thuan T.X., Izotov Y.I., Valentin A.Lipovetsky, ApJ, 445, 108, 1995
21. Peimbert M., Costero R., Bol.Obs.Ton.Tacubaga,1969,5,3
22. Peimbert M., Bol.Obs.Ton.Tacubaga, 1971, 6, 29
23. Peimbert N., Luridiana V., Torres-Peimbert S., Rev. Mex.Astrof., 1995, 31, 147

Надійшла до редакції 15.08.2000