



ISSN 1607–2855

Том 2 • № 2 • 2001 С. 96 – 101

УДК 524.523 + 524.7

Визначення вмісту гелію в областях НІІ блакитних компактних карликових галактик

Б.Я. Мелех

Астрономічна обсерваторія Львівського національного університету ім. Івана Франка

Проведено детальне вивчення іонних вмістів гелію в областях НІІ блакитних компактних карликових галактиках за допомогою нових рекомбінаційних коефіцієнтів для HeI [3]. На основі отриманих значень He/H і вмістів важких елементів A/H [1, 2] проаналізовано різні типи залежностей Y–Z. Отримано значення вмісту первинного гелію Y_p і темпу його збагачення dY/dZ для різних варіантів врахування HeI ліній.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ГЕЛИЯ В ОБЛАСТЯХ НІІ ГОЛУБЫХ КОМПАКТНЫХ КАРЛИКОВЫХ ГАЛАКТИК, Мелех Б.Я. – Проведено детальное изучение ионных содержаний гелия в областях НІІ голубых компактных карликовых галактик с помощью новых рекомбинационных коэффициентов [3]. На основе новых содержаний гелия He/H и содержаний тяжелых элементов A/H [1, 2] проанализированы различные типы зависимостей Y–Z. Получены значения содержаний первичного гелия Y_p и темпа его обогащения dY/dZ для различных вариантов учета HeI линий.

HELIUM ABUNDANCE DETERMINATION IN HII REGIONS OF BLUE COMPACT DWARF GALAXIES, Melekh B.Ya. – We present detail study of helium ionic abundances of HII regions in Blue Compact Dwarf galaxies using new emissivities from [3]. On the base of new helium He/H and heavy elements abundances A/H [1, 2] different types of Y–Z dependences were analyzed. The values of primordial helium abundance Y_p and heavy elements enrichment dY/dZ were obtained for different cases of HeI lines using.

На основі розрахунків сітки фотоіонізаційних моделей свічення областей НІІ в блакитних карликових галактиках (БККГ) [1] було виведено нові вирази для іонізаційно-корекційних факторів (ICF), які були використані для визначення хімічного складу цих об'єктів [2]. Причому для пошуку вмісту гелію ми використали іонні вмісти He^+/H^+ та $\text{He}^{++}/\text{H}^+$, знайдені Ізотомим та ін. [7]. В результаті було визначено первинний вміст гелію Y_p і темп збагачення важкими елементами dY/dZ . Знайдене нами по рекомбінаційних коефіцієнтах Смітса [9] значення $Y_p = 0.244 \pm 0.002$ виявилась близьким до знайденого в роботі [7], однак величина $dY/dZ = -4.02 \pm 2.46$ виявилась від'ємною, що суперечить стандартній теорії хімічної еволюції БККГ. Оскільки гелій синтезується в зірках швидше ніж інші елементи, то його вміст в процесі хімічної еволюції зоряного кластера і пов'язаної з ним області НІІ в БККГ мав би зростати, а не спадати.

Зрозуміло, що основну роль при визначенні вмісту первинного гелію відіграє вміст гелію в кожному з об'єктів. Визначення вмісту гелію ґрунтується з одного боку на визначенні іонних вмістів гелію, а з іншого – на ICF(He), які враховують неспостережувані атоми Н і He. Як видно з результатів [2, 6, 7], вмісти He^+/H^+ , знайдені за допомогою рекомбінаційних коефіцієнтів Броклехюрста [4] і Смітса [9] систематично відрізняються. Звичайно, врахування різних коефіцієнтів ударного збудження HeI ліній теж змінює результат, однак основну роль в існуванні відмінностей відіграють рекомбінаційні коефіцієнти. Хоча дані [9] вважаються більш коректними, однак вони, як і [4], не враховують переносу в лініях HeI.

Останнім часом була опублікована робота Бенжаміна та ін. [3], в якій приводяться нові вирази для рекомбінаційних коефіцієнтів з врахуванням переносу випромінювання в лініях HeI. В цій роботі показано, що при врахуванні переносу в лініях HeI дані, отримані в [6, 7], можуть суттєво відрізнитися, особливо для лінії $\lambda 7065 \text{ \AA HeI}$. Тому ми вирішили перерахувати вмісти He^+/H^+ та $\text{He}^{++}/\text{H}^+$ за допомогою рекомбінаційних коефіцієнтів [3] в поєднанні з ударними коефіцієнтами Кінідона і Ферланда [5].

При визначенні іонного вмісту He^+/H^+ , як правило, є два невідомі параметри: електронна концентрація в HeII зоні $n_e(\text{HeII})$ і оптична товщина в $\lambda 3889 \text{ \AA HeI}$ лінії τ_{3889} , яка характеризує перенос в лініях HeI, в процесі чого інтенсивність $\lambda 3889 \text{ \AA HeI}$ лінії зменшується, а інтенсивності більшості інших ліній HeI – збільшуються. Однак для областей НІІ в БККГ і ще важливим третій параметр a_{HeI} який характеризує так звану фонову зоряну абсорбцію (ФЗА). Цей ефект виникає через те, що в результаті спостережень областей НІІ в БККГ отримується інтегральний спектр, який є наслідком накладання емісійного спектру від області НІІ та абсорбційних зоряних спектрів. Якщо вклад останніх є суттєвим, то спостережувані інтенсивності в лініях HeI будуть нижчі від “чистих” емісійних інтенсивностей, що в свою чергу приводить до заниження вмісту He в областях НІІ БККГ. Для врахування ФЗА ми використали еквівалентні ширини $EW(\lambda)$ в HeI лініях областей НІІ в БККГ, люб’язно надані нам Ізотомим (приватне повідомлення). Таким чином загальний вираз для визначення іонного вмісту $y^+ \equiv \text{He}^+/\text{H}^+$ по інтенсивності в лінії λ :

$$y^+(\lambda) = \frac{I(\lambda)}{I(H_\beta)} \frac{F(n_e, T_e)}{f(n_e, T_e, \tau_{3889})} \frac{1}{1 + \gamma} \frac{EW(\lambda) + \alpha_{\text{HeI}}}{EW(\lambda)} \quad (1)$$

де $I(\lambda)/I(H_\beta)$ – відносна інтенсивність лінії λ ; $F(n_e, T_e)$ і $f(n_e, T_e, \tau_{3889})$ – апроксимаційні функції [3] для визначення рекомбінаційних коефіцієнтів і врахування переносу в лініях HeI відповідно; γ – коефіцієнт ударного збагачення, який розраховувався по виразах з [5]. Електронна температура T_e в HeII зоні приймалась рівною електронній температурі в [OIII] зоні [6, 7]. В той же час електронна концентрація n_e в зоні HeII, оптична товщина τ_{3889} та коефіцієнт ФЗА a_{HeI} вважаються невідомими. Їх ми знаходили, використовуючи методику Олайва і Скілмана [8]. Ця методика базується на пошуку середнього (y^+_{aver}) зваженого вмісту:

$$y^+_{\text{aver}} = \frac{\sum_{\lambda} y^+(\lambda)}{\sum_{\lambda} \frac{1}{\sigma(\lambda)^2}} \quad (2)$$

де в якості $\sigma(\lambda)$ ми брали похибки у відносних інтенсивностях відповідних спостережуваних ліній, а $y^+(\lambda)$ розраховувались по виразу (1). Пошук найбільш правдоподібних значень для n_e , τ_{3889} і a_{HeI} зводиться до пошуку мінімального значення для χ^2 функції:

$$\chi^2 = \sum_{\lambda} \frac{(y^+(\lambda) - y^+_{\text{aver}})^2}{\sigma(\lambda)^2} \quad (3)$$

В табл.1 приведені значення n_e , τ_{3889} і a_{HeI} , а також y^+ , y^{++} , отримані нами при відповідному значенні χ^2_{min} для об’єктів, які були використані для визначення вмісту первинного гелію в роботі [7]. Як і в [8], ми розглядали 4 типи поєднання різноманітних ліній HeI: 1) 3 лінії ($\lambda 4471$, $\lambda 5876$, $\lambda 6678$); 2) 4 лінії ($\lambda 4471$, $\lambda 5876$, $\lambda 6678$, $\lambda 7065$); 3) 5 ліній ($\lambda 4026$, $\lambda 4471$, $\lambda 5876$, $\lambda 6678$, $\lambda 7065$); 4) 6 ліній ($\lambda 3889$, $\lambda 4026$, $\lambda 4471$, $\lambda 5876$, $\lambda 6678$, $\lambda 7065$). Для врахування вмісту ізоотопів H і He ми використали вирази $ICF(\text{He})$, знайдені нами в [2]. Вміст важких елементів A/H в областях НІІ БККГ був знайдений нами в тій же роботі [2] за допомогою нових виразів для ICF , отриманих нами на основі розрахунку сітки ФМС даних об’єктів в [1].

Таблиця 1. Значення $n_e(\text{HeII})$, τ_{3889} і a_{HeI} відповідно y_{aver}^+ та y^{++} , отримані для чотирьох різних типів врахування HeI ліній. Вмісти He/H отримані за допомогою наших ICF [1]. * – Лінія $\lambda 4026\text{\AA}$ не спостерігається. Використано поєднання ліній $\lambda 3889\text{\AA}$, $\lambda 4471\text{\AA}$, $\lambda 5876\text{\AA}$, $\lambda 6678\text{\AA}$, $\lambda 7065\text{\AA}$

Тип	n_e, cm^{-3}	τ_{3889}	a_{HeI}	y_{aver}^+	y^{++}	He/H	χ_{min}^2
Об'єкт: 0723+692A							
3 лінії	92 ± 82	0.3 ± 2.7	0.2 ± 0.2	0.0815 ± 0.0008	0.00077 ± 0.00009	0.0823 ± 0.0047	9.52E-6
4 лінії	80 ± 75	1.2 ± 0.8	0.2 ± 0.2	0.0816 ± 0.0033	0.00077 ± 0.00009	0.0824 ± 0.0057	1.28E-3
5 ліній	50 ± 92	1.5 ± 0.9	0.6 ± 0.1	0.0838 ± 0.0035	0.00077 ± 0.00009	0.0846 ± 0.0059	2.78E+0
6 ліній	236 ± 13	0 ± 0	0.2 ± 0.1	0.0756 ± 0.0006	0.00077 ± 0.00009	0.0764 ± 0.0044	8.52E+1
Об'єкт: 0723+692B							
3 лінії	10 ± 29	0.0 ± 2.3	1.2 ± 0.2	0.0927 ± 0.0024	0.0012 ± 0.0004	0.0937 ± 0.0029	4.90E+0
4 лінії	10 ± 1	0 ± 0	1.2 ± 0.2	0.0882 ± 0.0029	0.0012 ± 0.0004	0.0892 ± 0.0033	3.28E+1
5* лінії	10 ± 1	0 ± 0	1.2 ± 0.1	0.0883 ± 0.0014	0.0012 ± 0.0004	0.0893 ± 0.0014	3.38E+1
Об'єкт: 0741+535							
3 лінії	10 ± 370	0.0 ± 3.0	0.1 ± 0.2	0.0849 ± 0.0048	0 ± 0	0.0820 ± 0.0052	3.09E-1
4 лінії	10 ± 42	0.0 ± 0.4	0.1 ± 0.2	0.0843 ± 0.0049	0 ± 0	0.0814 ± 0.0053	4.34E-1
5* лінії	10 ± 39	0 ± 0.2	0.0 ± 0.1	0.0791 ± 0.0021	0 ± 0	0.0764 ± 0.0030	9.39E+0
Об'єкт: 0907+543							
3 лінії	10 ± 100	0.0 ± 3.0	0.1 ± 0.8	0.0946 ± 0.0041	0.0025 ± 0.0001	0.0965 ± 0.0049	4.21E+0
4 лінії	10 ± 41	0.0 ± 0.5	0.0 ± 0.9	0.0942 ± 0.0035	0.00025 ± 0.0001	0.0961 ± 0.0044	4.22E+0
5 ліній	10 ± 48	0.2 ± 0.3	0.6 ± 0.1	0.0979 ± 0.0036	0.00025 ± 0.0001	0.0998 ± 0.0045	4.64E+0
6 ліній	41 ± 36	0 ± 0.6	0.5 ± 0.1	0.0942 ± 0.0044	0.00025 ± 0.0001	0.0961 ± 0.0051	9.25E+0
Об'єкт: 0917+527							
3 лінії	10 ± 120	0 ± 3	0.1 ± 0.1	0.0833 ± 0.0014	0.0020 ± 0.0003	0.0849 ± 0.0021	9.80E-2
4 лінії	10 ± 3	0 ± 0	0.2 ± 0.1	0.0829 ± 0.0019	0.0020 ± 0.0003	0.0845 ± 0.0024	7.30E+0
5 ліній	10 ± 3	0 ± 0	0.1 ± 0.0	0.0811 ± 0.0001	0.0020 ± 0.0003	0.0826 ± 0.0015	7.99E+0
6 ліній	10 ± 3	0 ± 0	0.1 ± 0.0	0.0829 ± 0.0003	0.0020 ± 0.0003	0.0824 ± 0.0015	8.96E+0
Об'єкт: 0926+606							
3 лінії	10 ± 24	0 ± 1.4	0.8 ± 0.1	0.0881 ± 0.0010	0.0014 ± 0.0002	0.0869 ± 0.0027	1.22E+1
4 лінії	11 ± 26	0.5 ± 0.2	0.8 ± 0.1	0.0881 ± 0.0022	0.0014 ± 0.0002	0.0870 ± 0.0033	1.26E+1
5 ліній	11 ± 42	0.5 ± 0.4	0.6 ± 0.0	0.0855 ± 0.0040	0.0014 ± 0.0002	0.0844 ± 0.0046	1.40E+1
6 ліній	10 ± 22	0.5 ± 0.2	0.6 ± 0.0	0.0857 ± 0.0021	0.0014 ± 0.0002	0.0846 ± 0.0032	1.76E+1
Об'єкт: 0940+544N							
3 лінії	105 ± 120	3 ± 3	0.4 ± 0.5	0.0821 ± 0.0024	0 ± 0	0.0805 ± 0.0028	9.10E-4
4 лінії	84 ± 57	0.0 ± 0.9	0.5 ± 0.5	0.0838 ± 0.0047	0 ± 0	0.0821 ± 0.0048	2.56E-1
5 ліній	10 ± 50	1.0 ± 0.9	0.0 ± 0.0	0.0854 ± 0.0033	0 ± 0	0.0837 ± 0.0036	1.68E+1
6 ліній	10 ± 65	1.0 ± 1.0	0.0 ± 0.0	0.0852 ± 0.0039	0 ± 0	0.0835 ± 0.0041	1.80E+1
Об'єкт: 1054+365							
3 лінії	239 ± 279	0.0 ± 3.0	0.1 ± 0.3	0.0794 ± 0.0028	0 ± 0	0.0787 ± 0.0035	2.01E-4
4 лінії	48 ± 38	0.0 ± 0.5	0.3 ± 0.3	0.0847 ± 0.0036	0 ± 0	0.0840 ± 0.0043	6.83E-1
5 ліній	51 ± 41	0.0 ± 0.5	0.5 ± 0.1	0.0873 ± 0.0033	0 ± 0	0.0866 ± 0.0041	1.52E+0
6 ліній	60 ± 36	0.0 ± 0.3	0.4 ± 0.1	0.0846 ± 0.0024	0 ± 0	0.0839 ± 0.0033	8.30E+0
Об'єкт: 1124+792							
3 лінії	10 ± 18	0.0 ± 1.4	0.1 ± 0.2	0.0819 ± 0.0016	0 ± 0	0.0803 ± 0.0021	5.38E+0
4 лінії	10 ± 0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.1	0.0780 ± 0.0009	0 ± 0	0.0764 ± 0.0016	3.99E+1
5 ліній	10 ± 0	0.0 ± 0.0	1.0 ± 0.1	0.0860 ± 0.0011	0 ± 0	0.0843 ± 0.0019	8.32E+1
6 ліній	10 ± 0	0.0 ± 0.0	1.0 ± 0.1	0.0859 ± 0.0011	0 ± 0	0.0842 ± 0.0019	8.65E+1
Об'єкт: 1135+581							
3 лінії	436 ± 260	3.0 ± 3.0	0.4 ± 0.1	0.0783 ± 0.0006	0.0016 ± 0.0001	0.0777 ± 0.0023	1.18E-1
4 лінії	97 ± 28	0.0 ± 0.2	0.4 ± 0.1	0.0824 ± 0.0017	0.0016 ± 0.0001	0.0817 ± 0.0028	7.49E+0
5 ліній	95 ± 37	0.0 ± 0.3	0.0 ± 0.0	0.0772 ± 0.0014	0.0016 ± 0.0001	0.0766 ± 0.0025	2.07E+1
6 ліній	96 ± 26	0.0 ± 0.2	0.0 ± 0.0	0.0771 ± 0.0010	0.0016 ± 0.0001	0.0765 ± 0.0023	2.26E+1
Об'єкт: 1152+579							
3 лінії	274 ± 120	3.0 ± 3.0	0.2 ± 0.2	0.0778 ± 0.0008	0.0010 ± 0.0001	0.0789 ± 0.0058	6.83E-3
4 лінії	240 ± 41	0.0 ± 0.4	0.2 ± 0.2	0.0786 ± 0.0016	0.0010 ± 0.0001	0.0797 ± 0.0061	6.96E-1
5 ліній	240 ± 48	0.0 ± 0.4	0.0 ± 0.0	0.0776 ± 0.0012	0.0010 ± 0.0001	0.0787 ± 0.0059	1.69E+0
6 ліній	239 ± 40	0.0 ± 0.3	0.0 ± 0.0	0.0776 ± 0.0010	0.0010 ± 0.0001	0.0786 ± 0.0059	2.06E+0

Об'єкт: 0946+558							
3 ліній	326 ± 330	3 ± 3	0.0 ± 0.1	0.0774 ± 0.0006	0.0014 ± 0.0001	0.0776 ± 0.0023	8.33E-2
4 ліній	117 ± 91	0.0 ± 0.8	0.0 ± 0.1	0.0805 ± 0.0040	0.0014 ± 0.0001	0.0806 ± 0.0045	1.41E+0
5 ліній	117 ± 84	0.0 ± 0.7	0.5 ± 0.0	0.0872 ± 0.0032	0.0014 ± 0.0001	0.0872 ± 0.0040	8.23E+0
6 ліній	117 ± 81	0.0 ± 0.7	0.5 ± 0.0	0.0872 ± 0.0032	0.0014 ± 0.0001	0.0872 ± 0.0040	8.23E+0
Об'єкт: 0948+532							
3 ліній	447 ± 420	3 ± 3	0.0 ± 0.2	0.0766 ± 0.0009	0.0008 ± 0.0001	0.0774 ± 0.0025	4.61E-1
4 ліній	197 ± 130	0 ± 1	0.0 ± 0.3	0.0795 ± 0.0045	0.0008 ± 0.0001	0.0804 ± 0.0051	1.52E+0
5 ліній	188 ± 110	0.0 ± 0.9	0.8 ± 0.0	0.0870 ± 0.0026	0.0008 ± 0.0001	0.0879 ± 0.0037	6.38E+0
6 ліній	107 ± 120	0.7 ± 1.1	0.8 ± 0.1	0.0880 ± 0.0038	0.0008 ± 0.0001	0.0889 ± 0.0047	9.22E+0
Об'єкт: 1030+583							
3 ліній	10 ± 15	0.0 ± 1.1	0.6 ± 0.1	0.0866 ± 0.0013	0.0021 ± 0.0002	0.0887 ± 0.0020	7.47E+0
4 ліній	10 ± 17	0.6 ± 0.2	0.6 ± 0.1	0.0866 ± 0.0017	0.0021 ± 0.0002	0.0887 ± 0.0023	8.00E+0
5 ліній	10 ± 37	0.6 ± 0.4	0.2 ± 0.0	0.0803 ± 0.0028	0.0021 ± 0.0002	0.0824 ± 0.0031	1.79E+1
6 ліній	20 ± 51	0.5 ± 0.5	0.2 ± 0.0	0.0799 ± 0.0035	0.0021 ± 0.0002	0.0820 ± 0.0038	2.16E+1
Об'єкт: 1205+557							
3 ліній	10 ± 150	0.0 ± 3.0	0.0 ± 0.2	0.0812 ± 0.0039	0.0016 ± 0.0006	0.0789 ± 0.0044	4.66E-1
4 ліній	10 ± 4	0.0 ± 0.0	0.6 ± 0.2	0.0894 ± 0.0056	0.0016 ± 0.0006	0.0868 ± 0.0059	2.17E+1
6 ліній	10 ± 250	0.0 ± 0.0	0.2 ± 0.2	0.0785 ± 0.0018	0.0016 ± 0.0006	0.0763 ± 0.0017	2.86E+1
Об'єкт: 1211+540							
3 ліній	10 ± 80	0.0 ± 3.0	0.4 ± 0.1	0.0827 ± 0.0011	0.0023 ± 0.0001	0.0847 ± 0.0019	6.53E-2
4 ліній	13 ± 54	0.5 ± 0.5	0.4 ± 0.2	0.0826 ± 0.0034	0.0023 ± 0.0001	0.0845 ± 0.0037	1.31E-1
5 ліній	24 ± 43	0.4 ± 0.4	0.5 ± 0.0	0.0830 ± 0.0022	0.0023 ± 0.0001	0.0849 ± 0.0026	1.35E+0
6 ліній	54 ± 44	0.0 ± 0.7	0.5 ± 0.0	0.0821 ± 0.0028	0.0023 ± 0.0001	0.0840 ± 0.0031	2.56E+0
Об'єкт: 1222+614							
3 ліній	184 ± 180	3.0 ± 3.0	0.0 ± 0.0	0.0738 ± 0.0012	0.0015 ± 0.0002	0.0747 ± 0.0024	1.20E+0
4 ліній	10 ± 10	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0764 ± 0.0003	0.0015 ± 0.0002	0.0772 ± 0.0022	4.86E+0
5 ліній	13 ± 10	0.0 ± 0.1	0.2 ± 0.0	0.0797 ± 0.0007	0.0015 ± 0.0002	0.0804 ± 0.0024	9.46E+0
6 ліній	15 ± 10	0.0 ± 0.1	0.2 ± 0.0	0.0793 ± 0.0007	0.0015 ± 0.0002	0.0801 ± 0.0023	1.20E+1
Об'єкт: 1223+487							
3 ліній	10 ± 9	0.0 ± 0.7	0.7 ± 0.1	0.0852 ± 0.0006	0.0010 ± 0.0001	0.0863 ± 0.0016	8.38E+0
4 ліній	10 ± 9	0.5 ± 0.1	0.7 ± 0.1	0.0851 ± 0.0008	0.0010 ± 0.0001	0.0861 ± 0.0017	9.06E+0
5 ліній	10 ± 11	0.5 ± 0.2	0.4 ± 0.0	0.0834 ± 0.0008	0.0010 ± 0.0001	0.0844 ± 0.0017	1.42E+0
6 ліній	52 ± 26	0.0 ± 0.3	0.3 ± 0.0	0.0811 ± 0.0014	0.0010 ± 0.0001	0.0822 ± 0.0020	1.87E+1
Об'єкт: 1256+351							
3 ліній	10 ± 17	0.0 ± 0.9	0.6 ± 0.1	0.0857 ± 0.0008	0.0009 ± 0.0001	0.0858 ± 0.0025	5.41E+0
4 ліній	10 ± 23	1.4 ± 0.2	0.6 ± 0.1	0.0855 ± 0.0013	0.0009 ± 0.0001	0.0856 ± 0.0027	6.95E+0
5 ліній	12 ± 30	1.4 ± 0.3	0.7 ± 0.0	0.0860 ± 0.0012	0.0009 ± 0.0001	0.0861 ± 0.0027	1.18E+1
6 ліній	73 ± 49	0.8 ± 0.4	0.7 ± 0.0	0.0851 ± 0.0020	0.0009 ± 0.0001	0.0851 ± 0.0031	1.85E+1
Об'єкт: 1319+579A							
3 ліній	10 ± 16	0.0 ± 0.7	0.2 ± 0.0	0.1010 ± 0.0002	0.0007 ± 0.0001	0.1010 ± 0.0028	1.43E+1
4 ліній	193 ± 19	3.0 ± 0.1	0.2 ± 0.0	0.0980 ± 0.0008	0.0007 ± 0.0001	0.0981 ± 0.0028	3.17E+1
Об'єкт: 1319+579C							
3 ліній	10 ± 310	0.0 ± 3.0	0.0 ± 0.1	0.0807 ± 0.0017	0.0012 ± 0.0003	0.0778 ± 0.0018	7.12E-1
4 ліній	10 ± 3	0.0 ± 0.0	0.3 ± 0.1	0.0838 ± 0.0023	0.0012 ± 0.0003	0.0808 ± 0.0024	2.02E+1
5* ліній	10 ± 3	0.0 ± 0.0	0.3 ± 0.1	0.0841 ± 0.0023	0.0012 ± 0.0003	0.0810 ± 0.0024	2.15E+1
Об'єкт: 1331+493							
3 ліній	205 ± 170	0.0 ± 0.3	0.3 ± 0.3	0.0773 ± 0.0017	0 ± 0	0.0773 ± 0.0023	2.51E-3
4 ліній	12 ± 16	0.0 ± 0.1	0.5 ± 0.3	0.0837 ± 0.0019	0 ± 0	0.0837 ± 0.0026	2.14E+0
5 ліній	17 ± 16	0.0 ± 0.2	0.2 ± 0.1	0.0804 ± 0.0020	0 ± 0	0.0804 ± 0.0026	3.04E+0
6 ліній	18 ± 15	0.0 ± 0.2	0.2 ± 0.1	0.0802 ± 0.0019	0 ± 0	0.0802 ± 0.0025	3.69E+0
Об'єкт: 1533+574A							
3 ліній	10 ± 270	0.0 ± 3.0	0.1 ± 0.1	0.0839 ± 0.0046	0 ± 0	0.0826 ± 0.0047	2.94E-1
4 ліній	10 ± 16	0.0 ± 0.1	0.1 ± 0.0	0.0830 ± 0.0007	0 ± 0	0.0817 ± 0.0016	9.85E-1
5* ліній	10 ± 17	0.0 ± 0.1	0.1 ± 0.0	0.0827 ± 0.0007	0 ± 0	0.0814 ± 0.0016	2.81E+0
Об'єкт: 1533+574B							
3 ліній	10 ± 460	2.5 ± 2.5	0.1 ± 0.1	0.0827 ± 0.0012	0.0009 ± 0.0002	0.0821 ± 0.0026	3.71E-2
4 ліній	24 ± 240	1.5 ± 1.5	0.1 ± 0.1	0.0827 ± 0.0082	0.0009 ± 0.0002	0.0821 ± 0.0084	4.14E-2
5 ліній	171 ± 160	0.3 ± 1.4	0.4 ± 0.0	0.0861 ± 0.0065	0.0009 ± 0.0002	0.0854 ± 0.0068	6.88E+0
6 ліній	232 ± 43	0.0 ± 0.2	0.4 ± 0.0	0.0841 ± 0.0014	0.0009 ± 0.0002	0.0835 ± 0.0027	3.73E+1

Для визначення Y_p і dY/dZ ми розглядали залежність типу $Y-Z$, де Y і Z – відносні вмісти гелію і важких елементів по атомній масі відповідно:

$$Y = \frac{4He/H(1-Z)}{1+4He/H}, \quad Z = \frac{Za}{1+4He/H+Za}, \quad (4)$$

$$Za = 14N/H + 16O/H + 20Ne/H + 32S/H + 40Ar/H$$

Екстраполяція цієї залежності на $Z = 0$ дає величину Y_p , а її нахил визначає величину dY/dZ . В зв'язку з відсутністю в спектрах областей НІІ в БККГ ліній інших хімічних елементів при визначенні Z ми їх не враховували. Ми також не враховували лінії Fe. При визначенні Y_p ми включили до аналізу ті ж об'єкти, що і Ізотоп та ін. в [7].

Відзначимо, що оскільки для визначення Z необхідні вмісти всіх важких елементів (рівняння (4)), то кількість областей НІІ для аналізу зменшується, так як для деяких з них нам не вдалося знайти вміст Ne/H і S/H. Для їх врахування ми побудували залежності типу $Z-O/H$ по відповідних даних. Ці залежності мають лінійний характер.

В результаті ми отримали наступні апроксимаційні залежності для різних випадків визначення He^+/H^+ (див. вище):

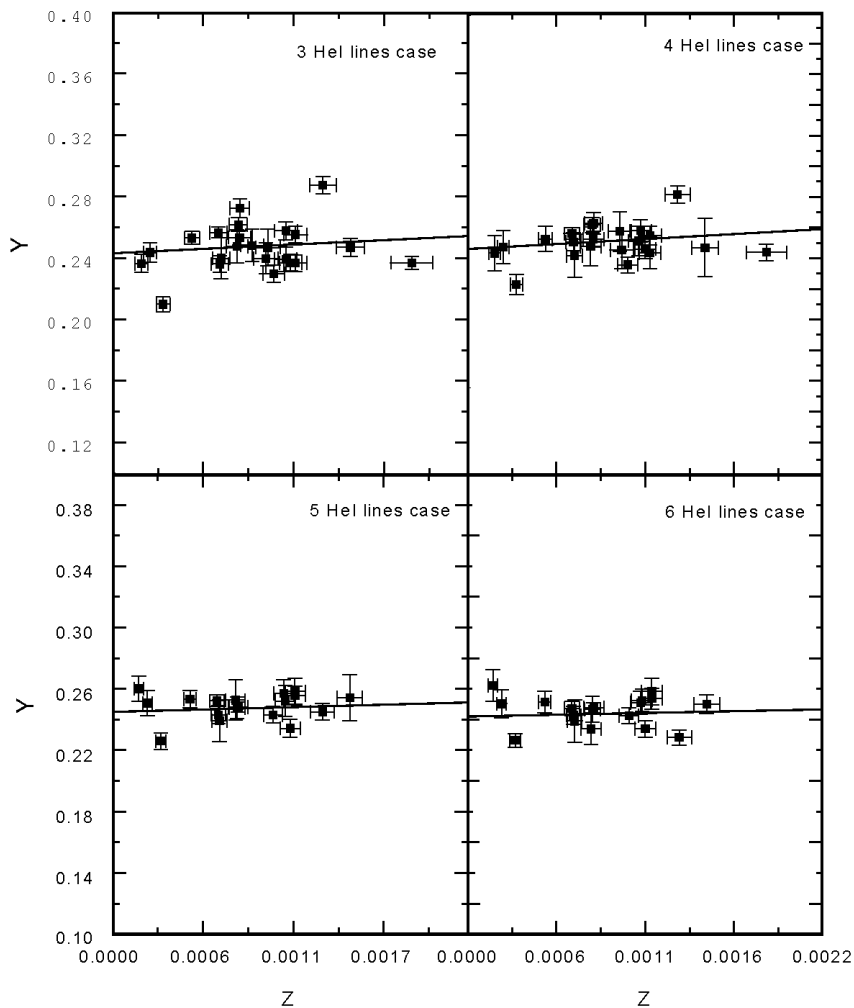


Рис.1. Залежності $Y-Z$, знайдені для різних випадків врахування HeI ліній при визначенні He^+/H^+

– для випадку врахування 3 ліній HeI

$$Z = 15.11 \cdot O/H + 4.72 \cdot 10^{-5} \quad (5)$$

– для випадку врахування 4 ліній HeI

$$Z = 15.22 \cdot O/H + 3.55 \cdot 10^{-5} \quad (6)$$

– для випадку врахування 5 ліній HeI

$$Z = 15.35 \cdot O/H + 3.01 \cdot 10^{-5} \quad (7)$$

– для випадку врахування 6 ліній HeI

$$Z = 15.55 \cdot O/H + 2.20 \cdot 10^{-5} \quad (8)$$

Таким чином, якщо відомий вміст O/H ми можемо, використовуючи вирази (5)–(8) знайти Z . В результаті для всіх вищезгаданих випадків були проаналізовані залежності $Y-Z$ (рис.1) для відібраних вище об'єктів. Їх лінійні апроксимації для обох випадків, зважені по стандартних відхиленнях відповідних значень, приведені нижче:

– для випадку врахування 3 ліній HeI (3 lines case)

$$Y = 0.243 (\pm 0.008) + 5.1 (\pm 8.2) Z \quad (9)$$

– для випадку врахування 4 ліній HeI (4 lines case)

$$Y = 0.246 (\pm 0.007) + 5.9 (\pm 7.0) Z \quad (10)$$

– для випадку врахування 5 ліній HeI (5 lines case)

$$Y = 0.245 (\pm 0.005) + 2.8 (\pm 6.4) Z \quad (11)$$

– для випадку врахування 6 ліній HeI (6 lines case)

$$Y = 0.242 (\pm 0.006) + 2.1 (\pm 6.8) Z \quad (12)$$

Аналіз наших результатів показує, що значення Y_p і dY/dZ в межах 1σ співпадають з відповідними значеннями з робіт Ізотова та ін. [7]. Слід зазначити, що для випадків врахування 2 і 3 ліній HeI ми маємо два значення dY/dZ , а для випадків 4 і 5 ліній – два інших значення, які відрізняються майже в два рази. Ми вважаємо, що ця різниця може бути обумовлена ненадійністю інтенсивностей ліній $\lambda 4026\text{\AA}$ і $\lambda 3889\text{\AA}$, яка блендується з лінією H8, інтенсивність якої, як і в [7], ми прийняли рівною 0.106. Лінія $\lambda 4026\text{\AA}$ має дуже малі еквівалентні ширини в даних об'єктах, що робить її екстремально чутливою до таких ефектів як ФЗА. Також її низька інтенсивність зумовлює низьке, порівняно з іншими лініями, відношення сигналу до шуму. Тому лінію $\lambda 4026\text{\AA}$ HeI теж не можна назвати надійним індикатором вмісту He^+/H^+ . Таким чином, більш правильним ми вважаємо результат, отриманий для випадку врахування чотирьох ліній HeI (вираз(12)).

Таким чином, проблема негативного нахилу dY/dZ , отриманого нами в [2] по іонних вмістах гелію, розрахованих в [7] за допомогою рекомбінаційних коефіцієнтів [9] в поєднанні з ударними коефіцієнтами Кінгдона і Ферланда [5] зникла після врахування нами ФЗА і після застосування нової методики [8] знаходження $n_e(\text{HeII})$, τ_{3889} і a_{HeI} нових рекомбінаційних коефіцієнтів [3].

Автор висловлює подяку Ізотову Ю.І. (ГАО НАНУ) за надані еквівалентні ширини ліній в спектрах областей НІІ в БККГ без яких дана робота була б неможливою та за корисні консультації. Автор також висловлює подяку Головатому В.В. за корисні поради і консультації під час написання цієї роботи.

1. Головатий В.В., Мелех Б.Я., Кин. и физ. неб. тел – 2002. (в друці)
2. Головатий В.В., Мелех Б.Я., Астрон. журн. – 2002. – **79**, №10. – С.1–12.
3. Benjamin R.A., Skillman E.D., Smits D.P., astro-ph/0202227
4. Brocklehurst M., MNRAS. – 1972. – **153**. – P.211.
5. Kingdon J., Ferland G.J., Astrophys.J. – 1995. – **442**. – P.714.
6. Izotov Y.I., Thuan T.X., Lipovetsky V.A., Astrophys.J. – 1994. – **435**. – P.647.
7. Izotov Y.I., Thuan T.X., Lipovetsky V.A., Astrophys.J. – 1997. – **108**. – P.1.
8. Olive K.A., Skillman E.D., astro-ph/0007081.
9. Smits D.P., MNRAS. – 1996. – **278**. – P.683.

Надійшла до редакції 8.09.2001