

УДК 524.7

## Визначення розподілу енергії за лайманівською межею в спектрі випромінювання ядер областей НІІ в голубих компактних карликових галактиках

Б.Я. Мелех

Астрономічна обсерваторія Львівського університету, Україна

*Отримано розподіл енергії в спектрі випромінювання ядер областей НІІ в голубих компактних карликових галактиках в діапазоні довжин хвиль  $\lambda$  912-22.8 А. Викладено методика розрахунку  $L_c$  спектра і обговорююся два варіанти розв'язку даної задачі. Перший варіант відповідає припущенню про однаковий нахил спектру за водневим і гелієвим скачками (визначались потоки випромінювання на  $\lambda$  912,  $\lambda$  504,  $\lambda$  228 А і спектральний індекс  $\alpha$ ). Другий варіант відповідає припущенню про відсутність гелієвих скачків (визначались потік випромінювання на  $\lambda$  912 А і спектральні індекси в кожному з трьох діапазонів довжин хвиль  $\lambda$   $\lambda$  912–504 А,  $\lambda$   $\lambda$  504–228 А,  $\lambda$   $\lambda$  228–22.8 А). Для швидкого розрахунку  $L_c$  спектра по даній методиці створено на мові програмування C++ спеціальний клас, що дозволяє іншим дослідникам використовувати дану методику в їх програмах.*

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ ЗА ЛАЙМАНОВСКИМ ПРЕДЕЛОМ В СПЕКТРЕ ИЗЛУЧЕНИЯ ЯДЕР ОБЛАСТЕЙ НІІ В ГОЛУБЫХ КОМПАКТНЫХ КАРЛИКОВЫХ ГАЛАКТИКАХ**, Мелех Б.Я. – Получено распределение энергии в спектре излучения ядер областей НІІ в голубых компактных карликовых галактиках в диапазоне длин волн  $\lambda$  912-22.8 А. Изложена методика расчета  $L_c$  спектра и обсуждаются два варианта решения данной задачи. Первый вариант соответствует предположению об одинаковом наклоне спектра за водородным и гелиевым скачками (определялись потоки излучения у  $\lambda$  912,  $\lambda$  504,  $\lambda$  228 А и спектральный индекс  $\alpha$ ). Второй вариант соответствует предположению отсутствия гелиевых скачков (определялись поток излучения у  $\lambda$  912 А и спектральные индексы в каждом из трех диапазонов длин волн  $\lambda$   $\lambda$  912–504 А,  $\lambda$   $\lambda$  504–228 А,  $\lambda$   $\lambda$  228–22.8 А). Для быстрого расчета  $L_c$  спектра по данной методике создан на языке программирования C++ специальный класс, что позволяет другим пользователям использовать данную методику в их программах.

**DETERMINATION OF THE ENERGY DISTRIBUTION BEYOND LAYMAN LIMIT IN EMISSION SPECTRA OF НІІ REGIONS NUCLEI IN BLUE COMPACT DWARF GALAXIES**, by Melekh B.Y. – The energy distribution in the spectrum of НІІ regions in blue compact dwarf galaxies in the wavelength region  $\lambda$  912-22.8 А is obtained. The methods of  $L_c$  spectrum computation were discussed and the two versions of solving this problem are considered. The first version correspond to a supposition on similarity of spectral slopes beyond the hydrogen and helium discontinuities (the

*emission fluxes were evaluated at  $\lambda 912$ ,  $\lambda 504$ ,  $\lambda 228 \text{ \AA}$  and a spectral index  $\alpha$ ). The second version correspond to a supposition that helium discontinuities are absent (emission flux on  $\lambda 912 \text{ \AA}$  and a spectral index in each of the three wavelength bands  $\lambda \lambda 912-504 \text{ \AA}$ ,  $\lambda \lambda 504-228 \text{ \AA}$ ,  $\lambda \lambda 228-22.8 \text{ \AA}$  were determined). A special class in programming language C++ was created for fast  $L_c$  spectrum computation using these methods, and thus other scientists could use these methods in their programmes.*

Використана нами методика базується на припущенні про іонізаційно-рекомбінаційну і термічну рівновагу в туманностях. Спостережувальною основою для розрахунків є інтегральні потоки від областей III голубих компактних карликових галактик в лініях H $\beta$ ,  $\lambda 4471\text{HeI}$ ,  $\lambda 4686\text{HeII}$ , сума інтенсивностей заборонених ліній  $\sum I(\lambda)/I(\text{H}\beta)$ , виправлені за міжзоряне поглинання.

У відповідності з потенціалами іонізації H $^0$ , He $^0$  і He $^+$  область за  $\lambda 912\text{ \AA}$  ми розбили на три інтервали довжин хвиль:  $\lambda \lambda 912-504\text{ \AA}$ ,  $\lambda \lambda 504-228\text{ \AA}$ ,  $\lambda \lambda 228-22.8\text{ \AA}$ . Кванти першого інтервалу поглинаються тільки атомами H $^0$ , другого – He $^0$ , H $^0$ , третього – атомами H $^0$ , He $^0$ , He $^+$  (тяжкими елементами можна знехтувати). Розподіл енергії в кожному з вище згаданих інтервалів  $\lambda$  визначається величиною на початку інтервалу ( $F_{912}$ ,  $F_{504}$ ,  $F_{228}$ ) і параметром, який характеризує зміну потоку з частотою. В планківському представленні таким параметром є температура зірки, в степеневій апроксимації – спектральний індекс  $\alpha$ :

$$F_n = F_0 \left( \frac{n}{n_0} \right)^\alpha; \quad (1)$$

З фізичної точки зору обидва варіанти запису  $F_\nu$  необґрунтовані. З точки зору математичної, степеневе представлення спектру набагато простіше планківського і більш зручне в використанні. Таким чином, неперервний спектр ядра в області довжин хвиль менших  $912\text{ \AA}$  ми представили шістьма параметрами:  $F''_0$ ,  $\alpha'$ ,  $F'''_0$ ,  $\alpha''$ ,  $F''''_0$ ,  $\alpha'''$ , де кількість штрихів вказує на порядковий номер інтервалу  $\lambda$ .

При виводі вихідних рівнянь враховувалось дифузне іонізуюче випромінювання, яке виникає при рекомбінаціях електронів на основні рівні H $^+$ , He $^+$ , He $^{++}$ , на другий рівень іона He $^{++}$ , а також випромінювання в  $L_\alpha$ -лініях атомів HeI і HeII [2]. Детальніше врахування вище згаданих процесів описано в роботах [1,3].

В результаті вихідні рівняння для поглинаючих атомів H $^0$ , He $^0$ , He $^+$ , з врахуванням вище згаданих процесів, запишуться так [1,2,3]:

$$\begin{aligned} F_{912} \int_1^{1.81} x^{\alpha'-1} dx + aF_{504} \int_1^{2.21} x^{\alpha''-1} dx + bF_{228} \int_1^{10} x^{\alpha'''-1} dx &= A; \\ (1-a) F_{504} \int_1^{2.21} x^{\alpha''-1} dx + cF_{228} \int_1^{10} x^{\alpha'''-1} dx &= B; \\ (1-b-c) F_{228} \int_1^{10} x^{\alpha'''-1} dx &= C; \end{aligned} \quad (2)$$

де  $x = \nu/\nu_0(X^i)$ ; A, B, C – функції спостережувальних потоків в лініях H $\beta$ ,  $\lambda 4471\text{HeI}$ ,  $\lambda 4686\text{HeII}$  і електронної температури  $T_e$ . Для  $T_e=10000 \text{ K}$  ці функції запишуться [1]:

$$\begin{aligned}
 A &= \{1.39 F(\text{H}\beta) - [1.73 a + 0.15] F(\text{HeI}) - 0.19 F(\text{HeII})\} 10^{-14}; \\
 B &= \{[4.69 - 1.73 (1 - a)] F(\text{HeI}) - [0.30 c + 0.039] F(\text{HeII})\} 10^{-14}; \\
 C &= \{[0.98 - 0.30 (1 - c)] F(\text{HeII})\} 10^{-14};
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

Тут 'а' і 'b' – доля фотонів відповідно другого і третього інтервалів ( $\lambda\lambda$  504-228А і  $\lambda\lambda$  228-22.8А), поглинених  $\text{H}^0$ , а 'с' – доля фотонів  $\lambda\lambda$  228-22.8А, поглинених  $\text{He}^0$ . Інтегрування ведеться в межах кожного з інтервалів  $\lambda$ . Коефіцієнт 'а', зокрема, ми визначили як  $a = N_{\text{ion}}(\text{H}^0) / [N_{\text{ion}}(\text{H}^0) + N_{\text{ion}}(\text{He}^0)]$ , де  $N_{\text{ion}}(\text{H}^0)$  – кількість іонізацій  $\text{H}^0$ , а  $N_{\text{ion}}(\text{He}^0)$  – кількість іонізацій  $\text{He}^0$ . Аналогічно були визначені 'b' і 'с'. В даному методі 'а', 'b' і 'с' є функціями відповідних  $\alpha$ , хімічного вмісту  $\text{He}/\text{H}$  і відношень інтенсивностей ліній  $\lambda$  4471  $\text{HeI}/\text{H}\beta$  і  $\lambda$  4686  $\text{HeII}/\text{H}\beta$ . Число штрихів в (2) вказує на приналежність до інтервалу  $\lambda\lambda$  912-504А (один штрих),  $\lambda\lambda$  504-228А (два штриха),  $\lambda\lambda$  228-22.8А (три штриха).

Величина  $\Sigma I(\lambda)/I(\text{H}\beta)$  визначалась по залежності між  $\Sigma I(\lambda)/I(\text{H}\beta)$  і сумарною інтенсивністю небулярних ліній  $([\text{OII}] + [\text{OIII}])/\text{H}\beta$ , яка побудована по даним з [5, 6]:

$$\Sigma I(\lambda)/I(\text{H}\beta) = 1.55 [([\text{OII}] + [\text{OIII}] + [\text{NII}]) / I(\text{H}\beta)] + 5.58
 \tag{4}$$

На рис. 1 побудовано залежності  $F_\nu(\lambda)$  за лайманівською межею для галактики 1116+583В, отримані даним методом. Видно велику різницю в потоках на  $\lambda$  22.8А.

В табл. 1 і в табл. 2 представлено результати обчислення розподілу енергії по даній методиці в спектрах 20 областей НІІ в компактних карликових галактиках, які отримані нами по спектрах інтенсивностей емісійних ліній з робіт [7,8] відповідно для першого і другого варіантів пошуку. Варіант 1 відповідає припущенню про однаковий нахил спектру за водневим і гелієвим скачками (визначаються потоки випромінювання на  $\lambda$  912,  $\lambda$  504,  $\lambda$  228А і

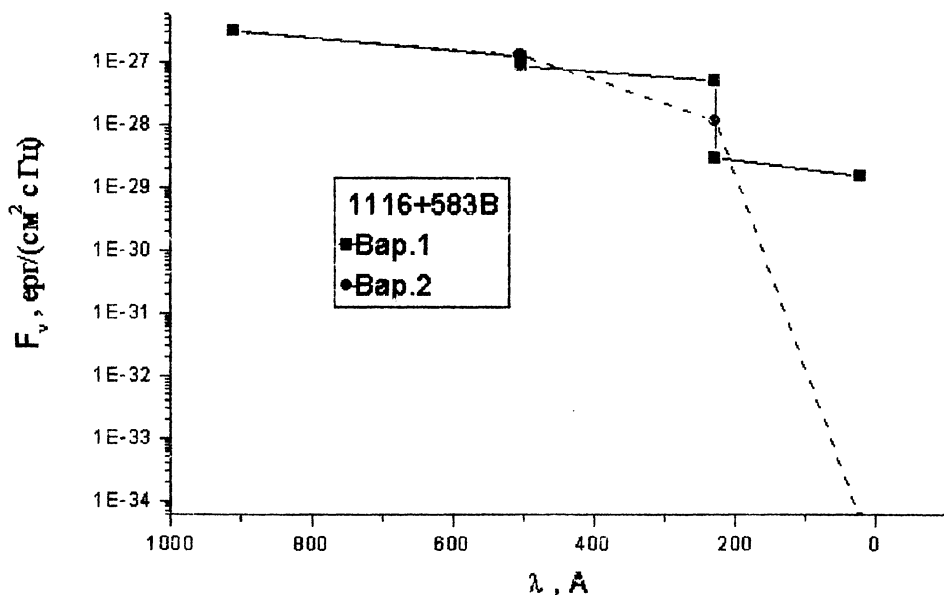


Рис. 1. Розподіл енергії за лайманівською межею в спектрі випромінювання ядра області НІІ 1116+583В в голубій компактній карликовій галактиці.

Таблица 1 (перший варіант; потоки в одиницях ерг/(см<sup>2</sup> с Гц))

НАЗВА	A	F <sub>912</sub>	F <sub>504</sub>	F <sub>228</sub>
0723+692B	-1.32	2.10e-26	4.05e-27	1.36e-28
1030+583	-1.33	1.02e-26	2.27e-27	1e-28
0930+554	-2.7	4.58e-26	7.53e-27	9.8e-28
1116+583B	-1.53	3.14e-27	8.68e-28	3.02e-29
0749+568	-0.82	9.68e-27	2.36e-27	5.44e-29
0907+543	-1.02	4.27e-27	1.12e-27	4.06e-29
0917+527	-1.29	9.39e-27	2.36e-27	8.2e-29
0926+606	-1.2	1.41e-26	3.12e-27	8.92e-29
1205+557	-1.46	3.43e-27	9.1e-28	2.39e-29
1222+614	-1.08	2.37e-26	6.3e-27	1.3e-28
1223+487	-1.21	3.94e-26	9.88e-27	1.71e-28
1256+351	-1.08	6.83e-26	1.73e-26	2.5e-28
1319+579A	-0.86	1.93e-26	4.62e-27	4.77e-29
1319+579B	-1.5	2.74e-27	7.39e-28	1.71e-29
1319+579C	-1.45	4.78e-27	1.3e-27	2.56e-29
1358+576	-1.13	2.01e-26	4.22e-27	9.34e-29
1441+294	-1.17	3.63e-27	5.6e-28	3.49e-29
1533+574B	-1.05	7.31e-26	1.64e-26	3.14e-28
IZw18(NW)	-2.74	2.04e-26	2.69e-27	6.02e-28
0723+692A	-1	2.29e-26	5.14e-27	7.85e-29

Таблица 2 (другий варіант; потоки в одиницях ерг/(см<sup>2</sup> с Гц)).

НАЗВА	F <sub>912</sub>	α	A	α
0723+692B	2.1e-26	-1.31	-4.76	-2.87
1030+583	1.02e-26	-1.32	-4.02	-3.28
0930+554	4.58e-26	-2.71	-3.29	-2.43
1116+583B	3.14e-27	-1.49	-3.02	-6.35
0749+568	8.8e-27	-0.46	-4.85	-2.97
0907+543	3.91e-27	-0.68	-4.19	-2.85
0917+527	9.29e-27	-1.23	-3.68	-4.58
0926+606	1.39e-26	-1.14	-4.32	-4.13
1205+557	3.43e-27	-1.43	-3.24	-7.63
1222+614	2.2e-26	-0.77	-4.09	-5.1
1223+487	3.94e-26	-1.18	-3.77	-8.28
1256+351	6.33e-26	-0.77	-4.31	-6.7
1319+579A	1.79e-26	-0.56	-4.83	-6.53
1319+579B	2.74e-27	-1.47	-3.13	-9.21
1319+579C	4.78e-27	-1.42	-3.16	-10.5
1358+576	2.01e-26	-1.12	-4.63	-4.32
1441+294	3.63e-27	-1.17	-6.06	-0.441
1533+574B	6.64e-26	-0.68	-4.98	-3.97
IZw18(NW)	2.04e-26	-2.77	-3.91	-0.96
0723+692A	2.08e-26	-0.63	-5.07	-4.6

спектральний індекс  $\alpha$ ). Другий варіант відповідає припущенню відсутності гелієвих скачків (визначається  $F_{912A}$  і спектральний індекс в кожному з трьох діапазонів довжин хвиль  $\lambda\lambda$  912-504A,  $\lambda\lambda$  504-228A,  $\lambda\lambda$  228-22.8A). Вміст He/H ми визначали методом, описаним в [4]. Більш детальний аналіз отриманих результатів буде зроблений в наступній роботі.

Згадані вище два варіанти пошуку розподілу енергії за лайманівською межею реалізовано нами програмно на мові програмування C++ з використанням техніки об'єктно-орієнтованого програмування, а саме, створено клас, який повністю реалізує згаданий вище метод. Це дозволяє користувачу, при наявності заголовочного файлу з даним класом, використовувати нашу методику розрахунку  $L_c$  спектру в своїх програмах, шляхом породження від нього нових класів, або ж простим оголошенням об'єктів даного класу і використанням його функцій.

Автор висловлює особливу подяку співробітнику Львівської астрономічної обсерваторії Головатому В.В. за корисні поради та зауваження під час роботи над даною статтею.

1. Головатий В.В., Письма в Астрон.ж., 13, 7,89,1987.
2. Головатий В.В., Астрофизика, 27, 65, 1987.
3. Головатий В.В., Проник В.И., Астрофизика, 32, 1, 1990.
4. Головатий В.В., Дмитерко В.И, Мальков Ю.Ф., Рокач О.В., Астрон.Ж., 70, в.4, с.691, 1993.
5. Потташ С.Р., Планетарные туманности (пер. с англ. под ред. Е.Б. Костяковой), М., 1987.
6. Aller L., Astrophys. J. Suppl. Ser., 51, 211, 1983.
7. Izotov Y.I., Thuan T.X., Lipovetsky V.A., Astrophys. Suppl. Ser.,108, 1, 1997.
8. Izotov Y.I., Thuan T.X., Astrophys. J., 497, 227, 1998.

Надійшла до редакції 12.07.99