

УДК 524.7

Розрахунок оптимізаційних фотоіонізаційних моделей свічення області НII в блакитній компактній карликовій галактиці 1358+576

Б.Я. Мелех

Астрономічна обсерваторія Львівського національного університету

Розраховано два типи фотоіонізаційних моделей свічення області НII 1358+676 шляхом оптимізації вільних параметрів методами Пауелла і АМОЕВА. Моделі відрізнялися початковими значеннями вільних параметрів. Вільними параметрами були прийняті: хімічний вміст, фактор наповнення і кількість іонізуючих квантів. Оптимізація проводилась по лініях інтегральних спектрів свічення фотоіонізаційних моделей, які вищезгаданими методами максимально наближались до спостережуваних шляхом зміни вільних параметрів. Спостережуваний спектр даного об'єкта взято з роботи Ізотова та ін. Електронну концентрацію для 1358+576 ми отримали методом діагностики свічення небулярного газу в області НII. Розподіл енергії в спектрі випромінювання іонізуючих джерел 1358+576 за $\lambda 912\text{\AA}$ був отриманий нами на основі спостережуваних потоків в лініях H_{β} , $\lambda 4471\text{HeI}$, $\lambda 4686\text{HeII}$ методом, що базується на принципі іонізаційно-рекомбінаційної і термічної рівноваги небулярного газу. Порівняно хімічні вмісти, отримані в результаті двох типів оптимізаційного моделювання і з вмістом, знайденим нами раніше. Показано, що обидва типи оптимізаційних моделей дають в результаті дуже близькі хімічні вмісти для більшості елементів. Вмісти важких елементів є більші в порівнянні з вмістами, отриманими нами раніше по нових виразах для ICF.

РАССЧЕТ ОПТИМИЗАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ СВЕЧЕНИЯ ОБЛАСТИ НII В ГОЛУБОЙ КОМПАКТНОЙ КАРЛИКОВОЙ ГАЛАКТИКЕ 1358+576, Мелех Б.Я. – Рассчитаны два типа оптимизационных моделей свечения области НII 1358+576 путем оптимизации свободных параметров методами Пауэлла и АМОЕВА. Модели отличались начальными значениями свободных параметров. Свободными параметрами были приняты: химический состав, фактор наполнения и количество ионизирующих квантов. Оптимизация осуществлялась по линиях интегральных спектров свечения фотоионизационных моделей, которые вышеупомянутыми методами максимально приближались к наблюдаемым путем изменения свободных параметров. Наблюдаемый спектр объекта взято из работы Изотова и др. Электронную концентрацию для 1358+576 мы получили методом диагностики свечения небулярного газа в области НII. Распределение энергии в спектре ионизирующих источников 1358+576 было получено нами на основе наблюдаемых потоков в линиях H_{β} , $\lambda 4471\text{HeI}$, $\lambda 4686\text{HeII}$ методом, которых основан на принципе ионизационно-рекомбинационной и термической равновесий небулярного газа. Проведено сравнение химических составов, полученных нами в результате обоих типов оптимизационного моделирования и с химическим составом, полученным нами ранее. Показано, что два типа оптимизационных моделей дают в результате одинаковый химический состав по большинству элементов. Содержания тяжелых элементов большее, в сравнении с содержаниями, полученными нами ранее.

CALCULATION OF OPTIMIZATION PHOTOIONIZED MODELS OF НII REGION IN BLUE COMPACT DWARF GALAXY 1358+576, by Melekh B.Ya. – Two types of optimization photoionized models of the НII region 1358+576 were calculated using optimization of free parameters by Powell and АМОЕВА methods. The difference between these models was initial values of free parameters. The free parameters were chemical composition, filling factor and number of ionized quanta. Optimization process was realized in the next way: code minimizes the difference between predicted and observed emission lines spectra using the above mentioned methods for free parameter changes. The observed spectrum of this object was derived from Izotov et al. We have found the electron density for 1358+576 using nebular gas luminescence diagnostic method. We have obtained energy distribution in the ionizing spectrum for 1358+576 using method based on the observed fluxes in H_{β} , $\lambda 4471\text{HeI}$, $\lambda 4686\text{HeII}$ lines and on the nebular gas ionization-recombination and nebular gas thermal equilibrium principles. The chemical compositions, obtained as a result of two types of optimized modeling, were compared between themselves as well as with the previously calculated composition. The two types of optimization models were shown to have very similar chemical compositions for the majority of elements. Abundances of massive elements are higher with respect to the ones from our new ICF expressions.

Блакитні компактні карликові галактики (БККГ) завдяки низькій металічності є особливо важливими об'єктами для проблеми визначення вмісту первинного гелію у Всесвіті. Тому задача прецизійного визначення хімічного вмісту в цих об'єктах є дуже важливою. В попередній роботі (В.В.Головатий, Б.Я.Мелех, здано до друку в Астрон.Ж., 2001 – ГМ1) ми знайшли іонізаційно-корекційні фактори (ICF) для визначення хімічного вмісту небулярного газу областей НІІ в БККГ на основі розрахунку сітки фотоіонізаційних моделей їх свічення (ФМС). По цих ICF ми перевизначили хімічний вміст 40 областей НІІ в БККГ (В.В.Головатий, Б.Я.Мелех, підготовлена до друку в Астрон.Ж., 2001 – ГМ2), в тому числі і для об'єкта 1358+576.

Метою даної роботи є розрахунок оптимізаційної (самоузгодженої) ФМС області НІІ 1358+576 з початковим хімічним вмістом (див. кол.2 табл.2), прийнятим в роботі ГМ1 і заданим в моделі I і порівняння його з вмістом, отриманим в ГМ2. Також ми розраховували оптимізаційну ФМС з вихідним хімічним вмістом, отриманим в роботі ГМ2 для даного об'єкту, з метою уточнення вмісту хімічних елементів (модель II). Це дасть можливість перевірити, чи процес оптимізації при різних початкових значеннях вільних параметрів буде збігатися до одного розв'язку.

Для побудови оптимізаційних ФМС ми використали програму Г.Ферланда CLOUDY 94 [3,4] в дистрибутив якої, крім звичайного розрахунку ФМС, входять драйвери для оптимізаційного моделювання методами Пауелла і АМОЕВА [5]. Треба зауважити, що ця програма була використана нами для побудови сітки ФМС в ГМ1. Це забезпечить нам гомогенність атомних даних і алгоритму розрахунку окремої ФМС при порівнянні хімічних вмістів, отриманих в даній роботі і в ГМ2.

Розподіл енергії в спектрі іонізуючого випромінювання за $\lambda < 912\text{\AA}$ для даного об'єкту був отриманий нами в ГМ1 методом, який базується на принципі термічної і іонізаційно-рекомбінаційної рівноваги в областях НІІ. Метод описаний детально в роботі [2] разом з програмою NLEII, яка розроблена нами для його реалізації. Отримана в ГМ1 форма розподілу енергії за $\lambda < 912\text{\AA}$ для іонізуючих джерел 1358+576 (рис.1) використана нами для розрахунку моделей I і II.

Електронну концентрацію n_e для даного об'єкту ми отримали в [2], використовуючи програму DIAGN, яка реалізує метод діагностики небулярного газу [1], що по відношенню інтенсивностей відповідних ліній буде для кожної пари криву $n_e - T_e$. По області перетину цих кривих для 1358+576 ми визначили $n_e = 265 \text{ см}^{-3}$ і $T_e = 15000 \text{ К}$.

Вільними параметрами оптимізаційних ФМС в моделях I і II були: а) фактор наповнення (filling factor – ff); б) кількість іонізуючих квантів Q ; в) хімічний вміст А/Н.

Ці параметри ми ініціалізували наступними величинами: $ff = 0.1$, $\lg(Q) = 53.273$. Параметр Q отриманий шляхом інтегрування всього спектру іонізуючого джерела по частотах. Він в наших моделях є нормуючою величиною, яка, не змінюючи форми розподілу енергії (див. рис.1), змінює потік на кожній з частот спектру джерела. За початковий хімічний вміст в моделі I ми прийняли усереднений вміст по результатах Ізотова і Туана [7] (див. кол.2 табл.2). В наших розрахунках ми використали спостережуваний спектр області НІІ в БККГ 1358+576, отриманий Ізотомим та ін. [6]. Довжини хвиль та іони ліній, по інтенсивностях яких проводилась оптимізація, приведені в кол.1 табл.1. Відносні інтенсивності емісійних ліній ($I(H_\beta) = 1$) приведені в кол.2 даної таблиці.

На першому етапі розрахунку оптимізаційної моделі I ми змінювали вмісти всіх хімічних елементів важчих за Не на однакову величину. Після 26 ітерацій методом Пауелла [5] отримано оптимальну ФМС, інтегральний спектр якої приведений в кол.3 табл.1 (проміжний етап). Відповідно в кол.3 табл.2 приведені значення вільних параметрів, отриманих в процесі розрахунку моделі I. Ці значення вільних параметрів були використані в якості ініціалізуючих величин на другому етапі розрахунку моделі I. Однак, на цьому етапі змінювався вміст кожного окремо хімічного елементу з гелієм включно. Загалом методами Пауелла і АМОЕВА [5] проведено 824 ітерації. Треба зауважити, що метод Пауелла є в основному швидший за АМОЕВА [5], однак в більшості випадків менш точний. Тому для початкових наближень ми використовували метод Пауелла і після цього уточнювали значення вільних параметрів методом АМОЕВА. Інтенсивності з інтегрального спектру найоптимальнішої ФМС, отриманої на цьому етапі, приведено в кол.4 табл.1, а відповідні значення вільних параметрів – в кол.4 табл.2.

При розрахунку моделі II ми задавали ті ж самі вільні параметри, що і в моделі I, однак за ініціалізуючий ми прийняли хімічний вміст для 1358+576, отриманий нами в ГМ2 (див. кол.5 табл.2). Значення параметрів ff і Q ініціалізувались відповідними величинами отриманими в моделі I, а вміст

Таблиця 1. Спостережуваний і інтегральні емісійні спектри оптимізаційних ФМС області НП в БККГ 1358+576

λ , Іон	$I_{\lambda}/I_{H\beta}$			
	ITL97	Модель I		Модель II
1	2	3	4	5
3727 [OII]	1.672	1.207	1.394	1.427
3869 [NeIII]	0.432	0.407	0.397	0.402
4363 [OIII]	0.089	0.056	0.060	0.060
4471 He I	0.028	0.037	0.028	0.028
4686 He II	0.012	0.012	0.012	0.012
4959 [OIII]	1.592	1.333	1.667	1.646
5007 [OIII]	4.874	3.849	4.812	4.751
5876 He I	0.112	0.106	0.079	0.079
6678 He I	0.021	0.029	0.022	0.022
7065 He I	0.020	0.028	0.020	0.020
6300 [OI]	0.043	0.027	0.038	0.039
6312 [SIII]	0.015	0.017	0.014	0.014
6584 [NII]	0.108	0.066	0.107	0.108
6716 [SII]	0.153	0.162	0.137	0.142
6731 [SII]	0.111	0.135	0.114	0.118
7135 [ArIII]	0.059	0.068	0.058	0.056
lg L(H β)	41.05	40.94	41.06	41.09

кожного з хімічних елементів змінювався індивідуально. Загалом було здійснено 371 ітерацію. В результаті розрахунку моделі II ми отримали хімічний вміст та значення інших вільних параметрів, приведених в кол.6 табл.2.

Таким чином ми знайшли хімічний склад області НП в БККГ 1358+576 методом оптимізації фотоіонізаційних моделей свічення двома різними способами. Очевидно, що близькість хімічних вмістів та інших вільних параметрів, знайдених в моделях I і II (кол.4 і 6 табл.2), вказує на однаковий розв'язок такої задачі, отриманий різними шляхами. Як видно, узгодження хімічного складу, а також параметрів Q і ff є добрим, можливо за винятком Ar/H. Однак порівняння хімічного вмісту в кол.5, знайденого нами в ГМ2 по нових ICF, з вмістами в кол.4 і 6 табл.2 вказує на те, що вміст гелію, отриманий методом оптимізаційного моделювання зменшився, а вміст важких елементів збільшився. Який з методів визначення хімічного складу є точнішим, зараз сказати важко, так як побудовано оптимізаційні моделі для одного об'єкту. Зауважимо лише, що моделі I і II – це ще один з способів визначення хімічного вмісту реальних об'єктів, однак він вимагає великого об'єму обчислень. Тим не менше, такий метод визначення хімічного складу областей НП в БККГ може виявитись конче необхідними для задачі уточнення вмісту первинного гелію у Всесвіті.

Автор висловлює глибоку подяку Головатому В.В. за корисні поради і консультації під час написання даної роботи.

1. Головатий В.В., Гершберг Р.Е., Мальков Ю.Ф., Проник В.И., Известия Крым. астрофиз. обсерв. – 1999. – 96, 1.
2. Мелех Б.Я., Журнал фізичних досліджень. – 2000. – 4, №2. – С.225–235.
3. Ferland G.J. Hazy, a Brief Introduction to Cloudy 94, University of Kentucky, Physics Department Internal Report, 1999.
4. <http://www.pa.uky.edu/~gary/cloudy>
5. Press W.H., Teukolsky S.A., Vetterling W.T., Flannery B.P. Numerical Recipes in C, The Art of Scientific Computing. – Second Edition, Cambridge University Press, 1992.
6. Izotov Y.I., Thuan T.X., Lipovetsky V.A., Astrophys. J. Suppl. Ser. – 1997. – 108, 1.
7. Izotov Y.I., Thuan T.X., Astrophys. J. – 1999. – 511, №2. – P.639–659.

Таблиця 2. Значення вільних параметрів, отримані в результаті розрахунків оптимізаційних ФМС. Приведено також значення початкового хімічного вмісту для моделі I.

Вільні параметри	Початковий хім. вміст	Модель I		ICF	Модель II
		3	4		
1	2	3	4	5	6
Filling factor		0.0018	0.002	-	0.0018
lg(Q)		54.245	54.357	-	54.390
He/H	8.01e-2	8.01e-2	5.98e-2	6.73e-2	5.97e-2
O/H	7.27e-5	7.47e-5	1.06e-4	5.47e-5	1.05e-4
N/H	2.47e-6	2.53e-6	4.94e-6	4.10e-6	4.83e-6
Ne/H	1.39e-5	1.42e-5	1.61e-5	1.01e-5	1.63e-5
S/H	2.00e-6	2.06e-6	2.03e-6	1.13e-6	2.04e-6
Ar/H	4.00e-7	4.10e-7	3.92e-7	1.52e-7	3.68e-7

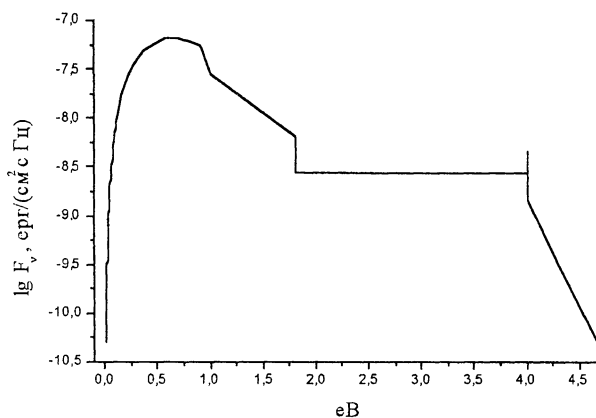


Рис.1. Розподіл енергії в спектрі випромінювання іонізуючих ядер області НП 1358+576, форму якого ми використовували при розрахунку оптимізаційних ФМС. Потоки приведені на внутрішній радіус туманності, який ми прийняли рівним 0.01 пк.