

УДК [524.37+524.5+524.7](076.5)

Методика багатостадійного пошуку оптимізованих фотоіонізаційних моделей світіння високометалічних небулярних об'єктів

Б.Я. Мелех, Н.В. Гаврилова, М.М. Сокіл

Кафедра астрофізики Львівського національного університету ім. І.Франка

Досліджено новий багатостадійний метод для визначення хімічного складу та фізичних параметрів високометалічних небулярних об'єктів, який базується на розрахунку оптимізованих фотоіонізаційних моделей світіння (ОФМС) цих об'єктів з використанням діагностичних співвідношень між інтенсивностями емісійних ліній. Проаналізовано чутливість відносних інтенсивностей в лініях та діагностичних співвідношень до варіацій хімічного вмісту. Зроблено висновок про необхідність включення вмістів гелію, кисню та сірки до вільних параметрів першої стадії розрахунку ОФМС.

МЕТОДИКА МНОГОСТАДИЙНОГО ПОИСКА ОПТИМИЗИРОВАННЫХ ФОТОИОНИЗАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ СВЕЧЕНИЯ ВЫСОКОМЕТАЛЛИЧЕСКИХ НЕБУЛЯРНЫХ ОБЪЕКТОВ, Мелех Б.Я., Гаврилова Н.В., Сокил М.М. — Исследован новый многостадийный метод для определения химического состава и физических параметров высокометаллических небулярных объектов, который основан на расчете оптимизированных фотоионизационных моделей свечения (ОФМС) этих объектов с использованием диагностических соотношений между интенсивностями эмиссионных линий. Проанализирована чувствительность относительных интенсивностей в линиях и диагностических соотношений к вариациям химического состава. Сделан вывод о необходимости включения содержаний гелия, кислорода и серы к свободным параметрам первой стадии расчета ОФМС.

METHOD OF MULTI-STAGE SEEK FOR MODELS OF HIGH-METALLICITY NEBULAR OBJECTS' EMISSION, by Melekh B.Ya., Gavrylova N.V., Sokil M.M. — The new 3-stages method for the chemical composition and physical parameters of high-metallicity nebular objects determination was investigated. It's based on calculations of the optimization photoionization models (OPhMs) of these objects with using diagnostic ratios between the emission line intensities. The sensitivity of the relative line intensities and the diagnostic ratios to the chemical abundances variations was analyzed. It was concluded that there is necessity to include the He/H, O/H and S/H to the first stage of OPhMs free parameters.

Ключевые слова: свечение небулярных объектов; метод определения химического состава.

Key words: nebular objects' emission; determination of chemical composition.

1. ВСТУП

Нами досліджено новий багатостадійний метод для визначення хімічного складу та інших фізичних параметрів високометалічних небулярних об'єктів. Метод базується на розрахунку оптимізованих фотоіонізаційних моделей світіння (ОФМС) цих об'єктів з використанням діагностичних співвідношень між інтенсивностями емісійних ліній [1]. Алгоритм розрахунку ОФМС ґрунтується на зміні вільних входних параметрів з метою відтворення спостережуваних спектрів цих об'єктів. Часто у якості критерія відповідності модельного спектру спостережуваному використовують χ^2 -функцію, записану як суму її складових для кожної спостережуваної і відповідної модельної величини. Суть алгоритму оптимізації полягає в мінімізації χ^2 -функції, шляхом зміни вільних параметрів. Для розрахунків фотоіонізаційних моделей ми використали програму Г. Ферланда *Cloudy* [2] та реалізацію алгоритму оптимізації П. ван Гуфа *Phymir* [3], що входить у *Cloudy* як функція.

2. ОПИС МЕТОДУ

Запропонований метод складається із трьох стадій розрахунку. Метою першої стадії моделювання є пошук іонізаційної структури туманності при фіксованому вмісті важких елементів. Відтворюються такі діагностичні співвідношення між інтенсивностями ліній: $\lambda 4959[\text{OIII}]/\lambda 4363[\text{OIII}]$, $\lambda 5007[\text{OIII}]/\lambda 4363[\text{OIII}]$, $\lambda 6716[\text{SII}]/\lambda 6731[\text{SII}]$, $\lambda 5007[\text{OIII}]/\lambda 3727[\text{OII}]$, $\lambda 5876(\text{HeI})/\lambda 4686(\text{HeII})$, $\lambda 4471(\text{HeI})/\lambda 4686(\text{HeII})$, $\lambda 6678(\text{HeI})/\lambda 4686(\text{HeII})$. Такі співвідношення є (як показано далі) слабо-чутливими до варіацій хімічного вмісту та визначають електронні температури і концентрації для різних іонів, що впливає на іонний і, відповідно, хімічний вміст елементів. На другій стадії моделювання при знайдений іонізаційній структурі туманності оптимізується вміст хімічних елементів. При цьому основну роль відіграють потоки в емісійних лініях. На третій стадії всі вільні параметри включаються у варіацію

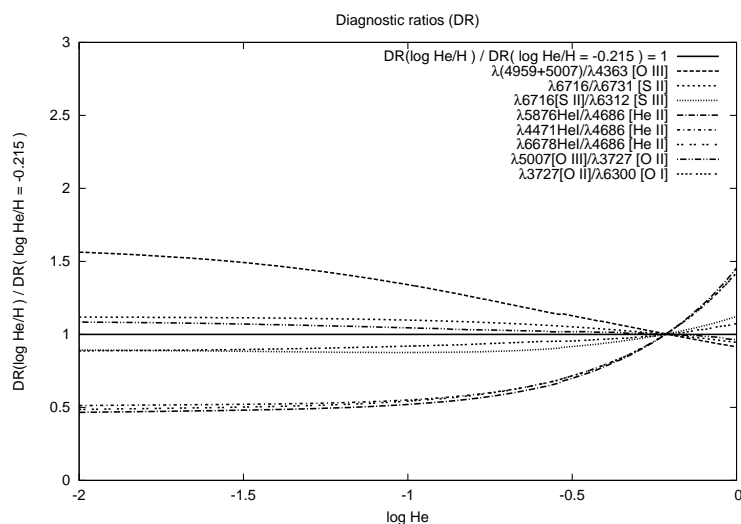


Рис. 1. Чутливість діагностичних співвідношень (DR) до варіацій вмісту гелію, подана відносно результату моделі, у якій вміст $\lg \text{He}/\text{H} = -0.215$

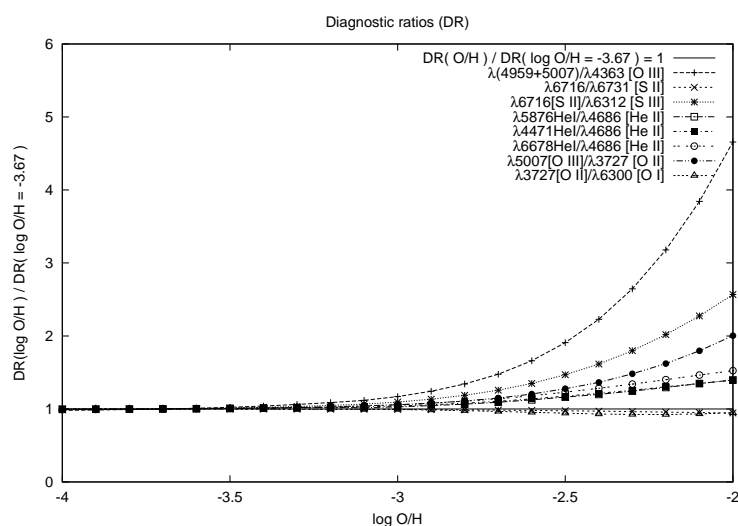


Рис. 2. Чутливість діагностичних співвідношень (DR) до варіацій вмісту кисню, подана відносно результату моделі, у якій вміст $\lg \text{O}/\text{H} = -3.67$

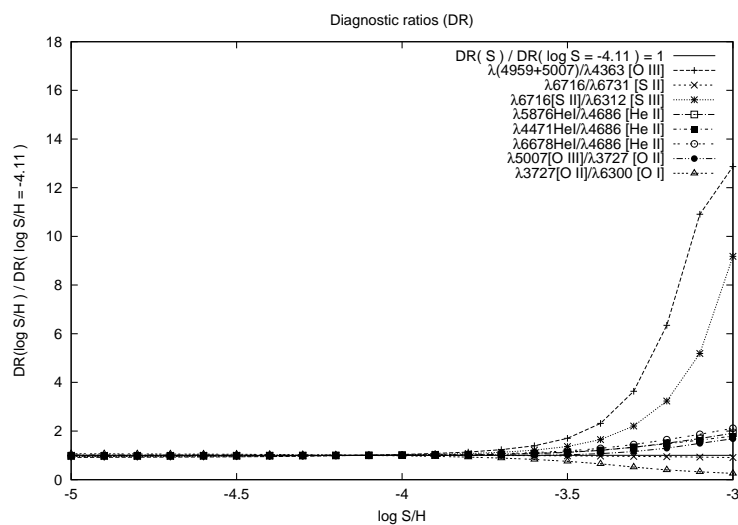


Рис. 3. Чутливість діагностичних співвідношень (DR) до варіацій вмісту сірки, подана відносно результату моделі, у якій вміст $\lg \text{S}/\text{H} = -4.11$

з метою врахування відхилень від припущень, зроблених при поділі процесу пошуку ОФМС на згадані вище стадії.

Перевагою такого підходу є те, що використовуються діагностичні співвідношення між інтенсивностями емісійних ліній, слабочутливі до невеликих варіацій хімічного вмісту. Також розбиття на стадії пошуку ОФМС зменшує приблизно у два рази кількість фотоіонізаційних моделей світіння (ФМС), які необхідно розрахувати для пошуку оптимальної ФМС.

3. ПЕРЕВІРКА ЧУТЛИВОСТІ РЕЗУЛЬТАТІВ ОФМС ДО ВАРІАЦІЙ ВІЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ

Нами було проаналізовано чутливість відносних інтенсивностей в лініях та діагностичних співвідношень між ними до варіацій хімічного вмісту. Були розраховані однопараметричні сітки ФМС для кожного вільного параметра ОФМС в діапазоні значень високометалічних небулярних об'єктів. Вільними параметрами задачі пошуку ОФМС були:

1) сім Лус-потоків, які визначатимуть форму іонізуючого Лус-спектру (1.01Ryd, 1.8Ryd, 1.81Ryd, 2.57Ryd, 4.00Ryd, 4.01Ryd, 40Ryd, див. також [1]);

2) загальна кількість іонізуючих квантів $Q_{\text{іон}}$, яка виконує роль нормуючого множника для форми Лус-спектру, визначеної потоками $F(1\text{Ry})-F(40\text{Ry})$;

3) концентрація водню;

4) фактор наповнення об'єму туманності небулярним газом;

5) відносні вмісти елементів He/H, O/H, N/H, Ne/H, S/H, Ar/H, Fe/H.

Ініціалізація проводилась з використанням результатів діагностичних методів (фізичні параметри) та з використанням нових іонізаційно-корекційних множників (вмісти хімічних елементів, див. [4]).

4. АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ТА ВИСНОВКИ

Використовуючи результати такого моделювання, було протестовано припущення про нечутливість діагностичних співвідношень до варіацій хімічного вмісту. Зроблено наступні висновки щодо уточнення методу багатадійного розрахунку ОФМС високометалічних небулярних об'єктів:

1) При малих вмістах діагностичні співвідношення для вмісту більшості хімічних елементів (крім гелію) є нечутливі до варіації останніх.

2) При високих вмістах O/H (> -3.5) та S/H (> -4.0) деякі діагностичні співвідношення стають чутливими до варіації вмістів відповідних хімічних елементів (див. рис. 1–3), тому варіація їх вмістів після попереднього аналізу повинна бути включена у першу стадію пошуку ОФМС високометалічних небулярних об'єктів.

3) Діагностичні співвідношення є нечутливі до варіації вмістів N/H, Ar/H, Fe/H. Метод апробовано на розрахунок фізичних характеристик та хімічного вмісту волокон Крабовидної туманності, результати якого ми плануємо опублікувати у наступній праці.

1. Мелех Б.Я. Двостадійне оптимізоване моделювання світіння зони НІІ у блакитній компактній карликовій галактиці SBS 0335+052 // Журнал фізичних досліджень. — 2009. — **13**, № 3. — С. 3901.
2. <http://www.nublado.org>
3. <http://dissertations.ub.rug.nl/faculties/science/1997/p.a.m.van.hoof/>
4. Гаврилова Н.В., Головатий В.В., Мелех Б.Я. Іонізаційно-корекційні фактори для визначення хімічного вмісту планетарних туманностей з неоднорідним розподілом густини небулярного газу // Журн. фіз. досл. — 2002. — **6**, № 4. — С. 451.

Надійшла до редакції 16.08.2012