

УДК 524.37
PACS 98.58.Li

МОДЕЛЬНО-ДІАГНОСТИЧНИЙ ПІДХІД ДО ВИЗНАЧЕННЯ ХІМІЧНОГО ВМІСТУ ПЛАНЕТАРНИХ ТУМАННОСТЕЙ ЧУМАЦЬКОГО ШЛЯХУ.

Б. Мелех, М. Гаврилів.

*Львівський Національний університет імені Івана Франка
кафедра астрофізики
вул. Кирила і Мефодія, 8, 79000, Львів, Україна
e-mail: bmelekh@gmail.com*

Здійснено діагностику синтетичних емісійних лінійчатих спектрів розрахованої раніше (див. Мелех Б.Я., 2015, Вісник Львівського університету. Серія фізична, 50, 125) сітки фотоіонізаційних моделей світіння (ФМС) газопилових оболонок планетарних туманностей (ПТ), що містять карбонатний, або силікатний пил. У роботі ми обмежуємося лише моделями, розрахованими для Галактичних ПТ. Іонний вміст, отриманий методом перетину кривих $n_e - T_e$ (цей метод ми використовуємо для діагностики спектрів реальних ПТ), у поєднанні з хімічним вмістом, заданим при розрахунку сітки ФМС, використано для виводу нових виразів для іонізаційно-корекційних множників (ІКМ). Всі отримані вирази для ІКМ перевірено на відворюваність ними хімічного вмісту, заданого у моделях. Для визначення хімічного вмісту газового компонента оболонок реальних ПТ Галактики рекомендуються тільки ті ІКМ, які відтворюють модельний вміст важких елементів з точністю до 30% та вміст гелію – до 5%. На основі таких ІКМ перевизначено хімічний вміст оболонок деяких ПТ Галактики.

Ключові слова: Планетарні туманності, пил, фотоіонізаційне моделювання, діагностика, хімічний вміст

1 Вступ

Для визначення хімічного вмісту небулярних середовищ, до яких належать також і планетарні туманності (ПТ), найчастіше використовують іонний вміст, отриманий шляхом діагностики небулярних спектрів (див. [1–4]), а також так звані іонізаційно-корекційні множники (ІКМ), які дозволяють врахувати неспостережувані стадії іонізації хімічних елементів. Для виводу ІКМ зазвичай використовують результати розрахунку сітки фотоіонізаційних моделей світіння (ФМС) небулярних

середовищ, які досліджуються, оскільки моделі дають нам всю необхідну інформацію.

Ця праця є продовженням аналізу сітки газопилових ФМС оболонки ПТ, представленої у роботі [5], з метою виводу іонізаційно-корекційних множників (ІКМ) та уточнення хімічного вмісту цих об'єктів. У праці [5] отримано вирази для ІКМ на основі іонного вмісту, отриманого шляхом усереднення за модельними об'ємами оболонки ПТ, та з використанням хімічного складу, заданого у моделях.

У цій же праці ми представляємо нові ІКМ, отримані нами для ПТ Галактики. Однак, на відміну від попередньої роботи [5], ми визначаємо іонний вміст шляхом діагностики модельних спектрів тим же методом, що використовується для діагностики спектрів реальних ПТ, а не усередненням модельного вмісту (як це було зроблено у [5]). Ми використали для діагностики метод перетину кривих $n_e - T_e$ для різних діагностичних співвідношень, реалізований у програмі Diagn [6]. Такий підхід вже використовувався для виводу ІКМ у працях [7, 8], але сітка у них була виключно газова (без вмісту пилу), а також нееволюційна (не використовувалися еволюційні треки зір попередниць ПТ).

У цій же праці ми використовуємо для виводу ІКМ модельні спектри, отримані на основі сітки газопилових ФМС оболонки ПТ, розрахованої вздовж еволюційних треків їх зір-попередниць. Важливою перевагою цієї сітки моделей є те, що її результати перевірялися на відповідність даним фотометричних спостережень і ІЧ-діапазоні (див. [5]).

2 Короткий опис сітки газопилових фотоіонізаційних моделей світіння оболонки галактичних планетарних туманностей

ФМС ПТ дозволяє нам отримати як іонний вміст неспостережуваних стадій іонізації хімічних елементів, так і модельний емісійний лінійчатий спектр, який, на відміну від спостережуваного, не є обмежений спектральним діапазоном спостережень та браком інтенсивностей багатьох емісійних ліній.

Детально процедура розрахунку сітки ФМС оболонки ПТ описана у праці [5]. Тому тут ми дамо лише її короткий опис лише тієї її частини, що відповідає ПТ Галактики. Хімічний склад газової компоненти оболонки ПТ був взятий з праці [9], у якій автор вивела його усередненням вмісту елементів, отриманих з праць різних авторів (див. табл. 1).

Процедуру врахування пилу під для програми *Cloudy* [14], яка була використана для ФМС у [5], розробив Пітер ван Гуф (Peter van Hoof) [15]. Детальний розрахунок відношення маси пилу до маси газу ПТ Галактики описаний у працях [5, 9] і становить $\Phi_C^{Cloudy} \approx 2.253 \cdot 10^{-3}$ та $\Phi_{Si}^{Cloudy} \approx 3.806 \cdot 10^{-3}$ відповідно для карбонатного та силікатного пилу.

Розділ енергії в спектрі іонізуючого випромінювання ($\lambda \leq 912\text{\AA}$) ядра оболонки ПТ вибрано для зір-попередниць ПТ з масами 1.0 та 1.5 маси Сонця, оскільки більшість ПТ має попередниками зорі саме в такому діапазоні мас. Для визначення маси ядра ПТ (білого карлика) M_c , за масою M_* зорі-попередника ПТ на Головній

Табл. 1: Усереднений хімічний склад оболонки ПТ в Галактиці з праці [9] у форматі $12 + \log(X/H)$.

Елементи	Усереднений вміст
He	11.06 ¹
C	8.70 ¹
N	8.32 ¹
O	8.64 ¹
Ne	8.19 ¹
Na	6.28 ²
Mg	6.21 ²
Si	7.00 ²
S	7.00 ¹
Cl	5.23 ²
Ar	6.52 ¹
K	5.08 ²
Ca	4.08 ²

¹ Компіляція даних Потташа та Бернарда-Саласа ([10], [11]), Потташа та ін. [12], Гілесса та ін. [13]

² Ферланда [14]

послідовності та металічністю Z , було використано наступне співвідношення Вассіліадіса та Вуда [16]. Сітка ФМС оболонки галактичних ПТ у [5] розраховувалась вздовж еволюційних треків також від Вассіліадіса та Вуда [16] з кроком 500 р., до 50000 р. Детальний опис див. у праці [5].

Радіальний розподіл густини в оболонці ПТ, з урахуванням її розширення з віком, задавався за допомогою напів-емпіричного закону Головатого та Малькова [17], який отриманий на основі аналізу мап ізотопів в лінії H_{β} 12 реальних ПТ у припущенні їх сферичної симетрії за допомогою рівняння Абеля. Швидкості розширення оболонки, прийняті у [5], рівні $V_{exp} = 10$ км/с для $T_{eff} \leq 2 \cdot 10^4 K$ і $V_{exp} = 20$ км/с для $T_{eff} > 2 \cdot 10^4 K$. Сумарна маса туманності у моделях сітки визначалася як різниця між масою зорі-попередниці ПТ, M_* , та масою ядра ПТ, M_c . Таким чином зовнішній радіус оболонки ПТ (r_o) визначався шляхом інтегрування розподілу густини за об'ємом туманності до радіусу, при якому досягається маса ПТ. Детальний опис задання розподілу густини можна знайти у праці [5].

У праці [5] ми здійснили також синтетичну фотометрію в ІЧ-діапазоні модельних спектрів, оскільки пилинки поглинають в основному оптичні кванти і перевипромінують в ІЧ-діапазоні. Результати цієї синтетичної фотометрії було порівняно з відповідним даними спостережень. У якості спостережуваних даних ми використали діаграми “колір-колір” в ІЧ діапазоні, отримані в праці [9] на основі результатів спостережень на ІЧ космічних телескопах *Spitzer* та *IRAS*, а також в рамках проекту *2MASS* [18, 19]. Детальний аналіз такого порівняння можна знайти у праці [5].

3 Перевизначення хімічного складу оболонок ПТ Галактики

3.1 Діагностика модельних та спостережуваних емісійних лінійчатих спектрів.

У даній праці, на відміну від [5], ми не використовували для виводу ІКМ модельний іонний вміст. Натомість ми визначили іонний вміст шляхом діагностики модельних емісійних лінійчатих спектрів. Такий підхід дозволяє уніфікувати метод визначення іонного вмісту в моделях та в реальних туманностях. Звичайно, модельні спектри набагато багатші за спостережувані, оскільки вони не обмежені діапазоном спостережень та чутливістю астрономічної апаратури. Через це діагностика модельних спектрів дозволяє отримати вміст хімічних елементів у більшій кількості стадій іонізації.

Для діагностики ми вибрали метод DIAGN (див. [2, 3, 5]), який дозволяє отримати електронні концентрацію (n_e) та температуру (T_e) методом перетину кривих залежностей для всіх важливих та доступних із спектру діагностичних співвідношень між інтенсивностями емісійних ліній. Кожне з таких співвідношень, $I(\lambda_1, X^{+i})$ та $I(\lambda_2, X^{+i})$ іона X^{+i} залежить від n_e та T_e :

$$\frac{I(\lambda_1, A^{+i})}{I(\lambda_2, A^{+i})} = F(n_e, T_e).$$

Функція $F(n_e, T_e)$ залежить також від заселеностей рівнів іона A^{+i} , які розраховуються шляхом розв'язку системи рівнянь статистичної рівноваги (у більшості випадків для 5-рівневої системи). Для кожного із діагностичних співвідношень з спостережуваного чи модельного емісійного лінійчатого спектру ми отримували залежність $T_e - n_e$. Аналогічні залежності розраховуються і для інших іонів. З перетину різних залежностей $T_e - n_e$ визначаються значення T_e та n_e . У випадку наявності у спектрах ліній відповідних діагностичних співвідношень програма DIAGN дозволяє визначити T_e та n_e максимум для чотирьох зон іонізації. Після цього програма розраховує відносні іонні вмісти всіх іонів, лінії яких доступні у спектрі.

3.2 Модельно-діагностичні іонізаційно-корекційні множники.

На основі іонного вмісту, отриманого в результаті діагностики модельних спектрів (мітка *diagn*) та хімічного вмісту, заданого в моделях сітки (мітка *mod*) ми шукали кореляції між величинами типу $\log(X^{+k+1}/X^{+k})_{\text{diagn}}$ та $\log[(A^{+i}/H^+)_{\text{diagn}}/(A/H)_{\text{mod}}]$, де $(A/H)_{\text{mod}}$ – відносний вміст елемента А, заданий під час розрахунку відповідної ФМС сітки, $(A^{+i}/H^+)_{\text{diagn}}$ – відносний вміст в i -й стадії іонізації цього ж елемента, визначений шляхом діагностики модельного спектру, а $(X^{+k+1}/X^{+k})_{\text{diagn}}$ – є одним із співвідношень $(\text{He}^{++}/\text{He}^+)_{\text{diagn}}$, $(\text{C}^{++}/\text{C}^+)_{\text{diagn}}$, $(\text{O}^{++}/\text{O}^+)_{\text{diagn}}$, $(\text{S}^{++}/\text{S}^+)_{\text{diagn}}$, або $(\text{Ar}^{3+}/\text{Ar}^{2+})_{\text{diagn}}$. Такі кореляції використовують (див. напр. [8]) для визначення повного хімічного вмісту елемента А/Н з його іонного вмісту (A^{+i}/H^+) , тобто вони дозволяють врахувати неспостережувані стадії іонізації елемента А.

Ми дослідили всеможливі кореляції такого типу, деякі з яких представлені для прикладу на рис. 1. Отримані залежності апроксимувалися поліномами до 8 степеня:

$$\begin{aligned} \log[(A^{+i}/H^+)_{\text{diagn}}/(A/H)_{\text{mod}}] &= f(x), \\ x &= (X^{+k+1}/X^{+k})_{\text{diagn}}, \\ f(x) &= \sum_{n=0}^8 C_n x^n, \end{aligned} \quad (1)$$

де C_n – коефіцієнти полінома, а $f(x)$ – апроксимаційна функція, що використовується для розрахунку ІКМ:

$$ICF(A_{\text{obs}}^{+i}/H^+) = 10^{-f(x)},$$

де A_{obs}^{+i}/H^+ – відносний іонний вміст елемента А в оболонці реальної ПТ, визначений з діагностики її спостережуваного спектру.

Таким чином повний відносний хімічний вміст цього елемента визначається як:

$$\frac{A}{H} = ICF(A_{\text{obs}}^{+i}/H^+) \cdot \frac{A_{\text{obs}}^{+i}}{H^+}. \quad (2)$$

Параметри виразів для ІКМ, отриманих у такий спосіб, наведено у табл. 2. Всі отримані вирази для ІКМ перевірено на відтворюваність ними хімічного вмісту, заданого у моделях (в останньому стовпці табл. 2 вказані усереднені за всіма ФМС Галактики відношення значення хімічного вмісту, отриманого за допомогою відповідного ІКМ до вмісту, заданого у моделях). Для визначення хімічного вмісту газового компонента оболонок реальних ПТ Галактики рекомендуються тільки ті ІКМ, які відтворюють модельний вміст важких елементів з точністю до 30% та вміст гелію – до 5%.

3.3 Перевизначення хімічного вмісту оболонок планетарних туманностей Галактики.

Усереднений вміст 9-ти хімічних елементів був визначений, використовуючи вирази (1–2) та нові ІКМ (див. табл. 2), на основі відносного іонного вмісту, отриманого попередньо Мальковим [20] за допомогою програми DIAGN із спостережуваних спектрів, представлений у табл. 3–5.

На рис. 2 представлено порівняння порівняння хімічного вмісту, визначеного у цій праці за допомогою модельно-діагностичних ІКМ (Mod-Diagn), з відповідними даними, отриманими з використанням модельних ІКМ з [5] (ModICFs for 1.0Msol – ІКМ для зір-попередниць ПТ масою $1 M_{\odot}$ та ModICFs for 1.5Msol – для $1 M_{\odot}$ відповідно) та модельно-діагностичними ІКМ у праці [20] (Mal'kov 98), які були виведені з використанням газових моделей оболонок ПТ (без пилу). На рисунках наведено також пряму однакових значень. Видно, що вміст гелію, отриманий за допомогою модельно-діагностичних ІКМ, є систематично меншим від тих, що отримані у працях [5] та [20]. Модельно-діагностичний вміст карбону є у межах похибок для більшості ПТ рівним модельному, у той час, як "безпиловий" модельно-діагностичний вміст з

праці [20] є систематично меншим, як від "пилового" модельно-діагностичного, отриманого у цій праці, та і від модельного з [5]. Для сірки ж ситуація діаметрально протилежна – "безпиловий" вміст для більшості ПТ співпадає з модель-дагностичним, в той час, як модельний вміст - систематично вищий. Для більшості ПТ Галактики вміст оксигену та аргону, отриманий у цій праці, є систематично вищим від модельного та "безпилового". Вміст неону, отриманий "безпиловими" ІКМ, для більшості ПТ Галактики виявився систематично вищим від модельно-діагностичного, в той час, як отриманий за модельними ІКМ – систематично нижчим. При цьому діапазони модельного та безпилового вмісту неону не перекриваються. Для інших хімічних елементів порівняння виявилось неможливим через відсутність якісних модельно-діагностичних ІКМ для них.

4 Висновки

Зроблено діагностику модельних спектрів сітки фотоіонізаційних моделей світіння газопилових оболонки ПТ Галактики вздовж еволюційних треків їх зір-попередниць найбільш поширених мас. Іонний вміст, отриманий в результаті такої діагностики, у поєднанні з хімічним вмістом, заданим у моделях, використано для виводу нових виразів для ІКМ.

Використовуючи ці ІКМ, а також іонний вміст галактичних ПТ, отриманий Мальковим [20] із спостережуваних спектрів за допомогою того ж методу, що використовувався нами для визначення іонного вмісту з модельних спектрів (реалізований у програмі DIAGN). Цей підхід відрізняється від представленого у праці [5] способом визначення іонного вмісту (у [5] іонний вміст визначався шляхом усереднення за модельним об'ємом, а не діагностикою модельних спектрів).

Порівняння хімічного вмісту, отриманого за допомогою модельно-діагностичних ІКМ з відповідними даними, отриманими модельними [5] та "безпиловими" (ФМС використаної сітки не містять пил) модельно-діагностичними ІКМ не показали рівності в межах похибки жодного з розглянутих хімічних елементів. Найкраще співпадіння виявилось тільки у випадку сірки. Такі розбіжності в отриманих результатах виявляють ще одну актуальну задачу сучасної небулярної астрофізики – який з представлених методів виводу ІКМ для оболонки ПТ Галактики (модельно-діагностичний чи модельний [5]) є правильнішим? Адже модельний метод має ту перевагу, що для виводу виразів для ІКМ використовується той же діагностичний метод, що і для визначення іонного вмісту. З іншого боку цей метод має лише 2–4 зони іонізації, в той час, як модельний метод базується на іонному вмісті, усередненому за об'ємами сотень модельних зон та зваженому за електронною концентрацією в них.

Така невизначеність у хімічному вмісті, отриманому різними методами, повертає нас до не-ІКМ підходу визначення фізичних характеристик та хімічного вмісту в оболонках ПТ – методу пошуку оптимальних ФМС цих об'єктів (див. напр. працю [21]), які хоч і чисельно громіздкі (потребують розрахунку сотень, а інколи тисяч ФМС для одного об'єкту), однак у випадку ПТ дають однозначне визначення хімічного складу.

Список використаної літератури

1. *D. E. Osterbrock & G. J. Ferland* Astrophysics of Gaseous Nebulae and Active Galactic Nuclei. Second Edition (Saulito, California: University Science Book, ISBN 1-891389-34-3, 2005).
2. *В. В. Головатий, Б. Я. Мелех, Н. В. Гаврилова*, Фізика світіння газових туманностей. Навчальний посібник (Львів: Видавництво ЛНУ ім.І.Франка, 2013).
3. *В. В. Головатий, Р. Е. Гершберг, Ю. Ф. Мальков, В. И. Проник*, Изв. Крым. астрофиз. обсерватории. **96**, 72 (1999).
4. *R. A. Shaw & R. J. Dufour*, Publ. of the Astr. Soc. of the Pac. **107**, 896 (1995).
5. *Мелех Б.Я.* Вісник Львівського університету. Серія фізична, **50**, 125 (2015).
6. *В. В. Головатий, В. И. Дмитерко, Ю. Ф. Мальков, О. В. Рокач*, Астрономический журнал. **70**, 691 (1993).
7. *В. В. Головатий, Н. В. Гаврилова*, Астрономический журнал. **82**, 437 (2005).
8. *V. V. Holovaty, B. Ya. Melekh, M. M. Sokil, N. V. Havrylova*, Astronomy Reports. **57**, 366 (2013).
9. *A. Karska* Porownanie własności podczerwonych mgławic planetarnych w Drodze Mlecznej i Wielkim Obłoku Magellana (Torun: Praca magisterska na kierunku astronomia, 2009).
10. *S. R. Pottash & J. Bernard-Salas*, Astron. Astroph. **457**, 189 (2006).
11. *S. R. Pottash & J. Bernard-Salas*, Astron. Astroph. **490**, 715 (2008).
12. *S. R. Pottash, J. Bernard-Salas & T.L. Roeling*, Astron. Astroph. **481**, 393 (2008).
13. *S. Guiles, J. Bernard-Salas, S. R. Pottash & T. L. Roeling*, Astrophys. J. **660**, 1282 (2007).
14. *G. J. Ferland* Hazy, a Brief Introduction to Cloudy (University of Kentucky: Physics Department Internal Report, 2008), <http://www.nublado.org> .
15. *P. A. M. van Hoof* Photo-Ionization Studies of Nebulae (Ph.D. thesis, Rijksuniversiteit Groningen, 1997).
16. *E. Vassiliadis, P. R. Wood*, Astrophys. J. Supp. **92**, 125 (1994).
17. *В. В. Головатий, Ю. Ф. Мальков*, Астрон. журн. **69**, 1166 (1992).
18. *M. F. Skrutskie, R. M. Cutri, R. Stiening, M. D. Weinberg, S. Schneider, J. M. Carpenter, C. Beichman, R. Capps, T. Chester, J. Elias, J. Huchra, J. Liebert, C. Lonsdale, D.G. Monet, S. Price, P. Seitzer, T. Jarrett, J.D. Kirkpatrick, J. E. Gizis, E. Howard, T. Evans, J. Fowler, L. Fullmer, R. Hurt, R. Light, E. L. Kopan, R. A. Marsh, H. L. McCallon, R. Tam, S. van Dyk & S. Wheelock*, Astronom. J. **131**, 1163 (2006).
19. *M. Meixner, K. D. Gordon, R. Indebetouw, J. L. Hora, B. Whitney, R. Blum, W. Reach, J. P. Bernard, M. Meade, B. Babler, C. W. Engelbracht, B. Q. For, K. Misselt, U. Vijh, C. Leitherer, M. Cohen, E. B. Churchwell, F. Boulager, J. A. Frogel, Y. Fukui, J. Callagher, V. Gorjian, J. Harris, D. Kelly, A. Kawamura, S. Kim, W. B. Latter, S. Madden, C. Markwisch-Kemper, A. Mizuno, N. Mizuno, J. Mould, A. Nota, M. S. Oey, K. Olsen, T. Onishi, R. Paladini, N. Panagia, P. Perez-Gonzalez, H. Shibai, S. Sato, L. Smith, L. Staveley-Smith, A. G. G. M. Tielens, T. Ueta, S. V. Dyk, K. Volk, M. Werner & D. Zaritsky*, Astronom. J. **132**, 2268 (2006).
20. *Yu. F. Mal'kov*, Astronomy Reports. **42**, 293 (1998).

21. *Melekh B.Ya., Demchyna A.V., Holovatyj V.V.*, Kinematics and Physics of the Celestial Bodies. **31**, №2, 73 (2015).

Стаття надійшла до редакції 20.04.2017
прийнята до друку 15.06.2017

**MODEL-DIAGNOSTIC APPROACH TO DETERMINE THE
CHEMICAL COMPOSITION IN PLANETARY NEBULAE OF
MILKY WAY.**

B. Melekh, M. Havryliv

*Ivan Franko National University of Lviv
Astrophysics Department
8 Kyrylo and Methody Str., 79000 Lviv, Ukraine
e-mail: bmelekh@gmail.com*

It was performed the diagnostics of synthetic emission line spectra obtained from grid of gas-dust photoionization models (PhMs) calculated earlier (see Melekh B.Ya., 2015, Visnyk of Lviv University, Physical series, 50, 125). In these models the carbonate or silicate dust grains presence was taken into account. Here we are limited only to models calculated for PNe in Milky Way. Ionic abundances, calculated using curves $n_e - T_e$ crossing method (this method we use also for diagnostics of the real PNe spectra) as well as chemical abundances adopted in PhMs were used to derive the new expressions for ionization-correction factors (ICFs). All ICF expressions obtained by us were tested on reproducing of the corresponding chemical composition adopted in models. Only ICFs reproducing the chemical abundances of heavy elements with error until 30% and 5% – for helium, were recommended by us to use for determination of chemical abundances in real PNe of Milky Way galaxy. Using such ICFs the chemical compositions of some PNe envelopes in Milky Way were redetermined.

Key words: planetary nebulae, dust grains, photoionization modelling, diagnostics, chemical composition

МОДЕЛЬНО-ДИАГНОСТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПЛАНЕТАРНЫХ ТУМАННОСТЕЙ МЛЕЧНОГО ПУТИ.

Б. Мелех, М. Гаврилив.

*Львовский Национальный университет имени Ивана Франка
кафедра астрофизики
ул. Кирила и Мефодия, 8, 79000, Львов, Украина
e-mail: bmelekh@gmail.com*

Осуществлена диагностика синтетических эмиссионных линейчатых спектров рассчитаной ранее (см. Мелех Б.Я., 2015, Вісник Львівського університету. Серія фізична, 50, 125) сетки фотоионизационных моделей свечения (ФМС) газопылевых оболочек планетарных туманностей, содержащих углеродную, или силикатную пыль. В работе мы ограничиваемся только моделями, рассчитанными для ПТ Галактики. Ионные содержания, полученные методом пересечения кривых $n_e - T_e$ (этот метод мы используем для диагностики спектров реальных ПТ), а также химические содержания, заданные при расчете сетки ФМС, использованы для вывода новых выражений для ионизационно-коррекционных факторов (ИКФ). Все полученные выражения для ИКФ проверены на воспроизведение ими химических содержаний, заданных в моделях. Для определения химического содержания газовой компоненты оболочек реальных ПТ рекомендуются только те ИКФ, которые воспроизводят модельное содержание тяжелых элементов с точностью до 30% и содержание гелия – до 5%. На основе таких ИКФ переопределено химическое содержание оболочек некоторых ПТ Галактики.

Ключевые слова: Планетарные туманности, пыль, фотоионизационное моделирование, диагностика, химический состав

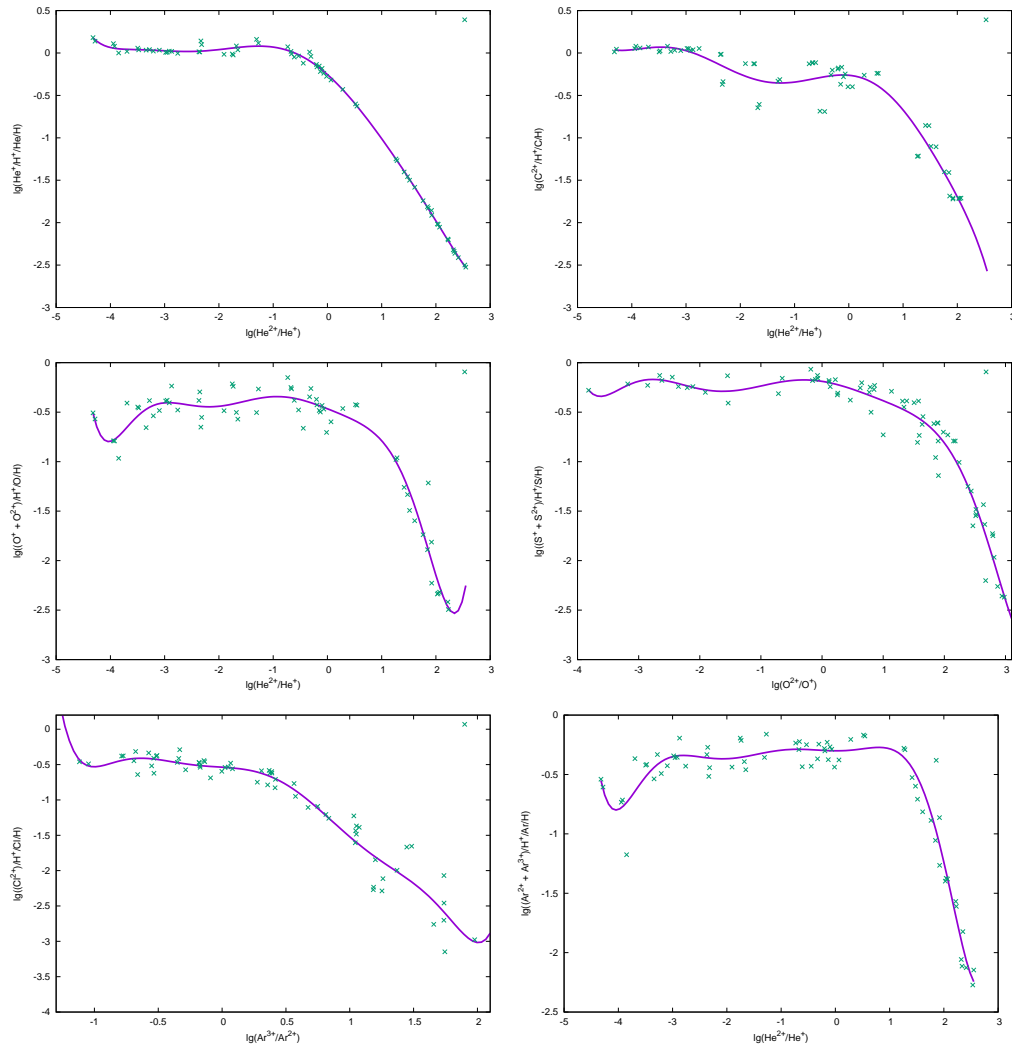


Рис. 1: Приклади визначення ІКМ для розрахунку вмісту гелію, карбону, оксигену, сірки та аргону. Залежності були отримані з результатів діагностики модельних спектрів сітки ФМС оболонки ПТ Галактики вздовж еволюційних треків їх зір-попередниць з масами 1-1.5 M_{\odot} .

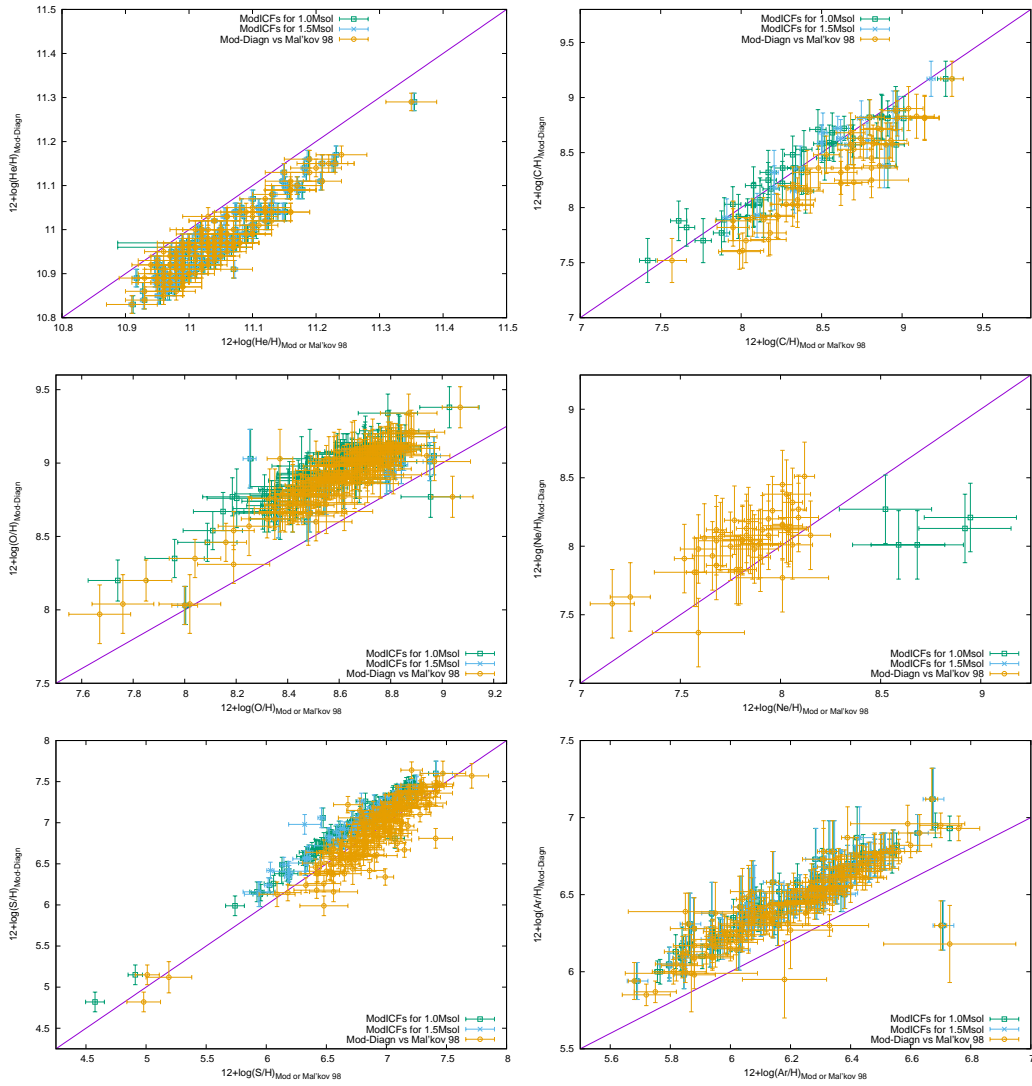


Рис. 2: Порівняння хімічного складу, визначеного за допомогою модельно-діагностичних ІКМ (Mod-Diagn) з відповідними даними, отриманими з використанням модельних ІКМ з [5] (ModICFs for 1.0Msol – ІКМ для зір-попередниць ПТ масою $1 M_{\odot}$ та ModICFs for 1.5Msol – для $1 M_{\odot}$ відповідно) та модельно-діагностичними ІКМ у праці [20] (Mal'kov 98), які були виведені з використанням газових моделей оболонок ПТ (без пилу). На рисунках наведено також пряму однакових значень.

Табл. 2: Вирази для визначення хімічного складу A/H газового компонента в газопилових оболонках ПТ за співвідношеннями між сусідніми стадіями іонізації гелію, карбону, кисню та сірки, отримані шляхом поліноміальної апроксимації результатів СФМС.

$A/H = (A^{+1}/H^+) \cdot 10^{-f(x)}, f(x) \equiv \sum_{n=0}^8 C_n x^n$														
№	A/H	A^{+1}/H^+	x range	C_0	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	SD	$\frac{ICF}{mod}$
$x = \log(\text{He}^{2+}/\text{He}^+)$:														
D11	He/H	$\frac{\text{He}^{2+}}{\text{H}^+}$	-4.5...3	-0.254174	0.430110	-0.232418	0.036678	0.017839	-0.006890	-0.001473	0.000447	8.9e-05	0.04	1.0
D12	He/H	$\frac{\text{He}^+}{\text{H}^+}$	-4.5...3	-0.254174	-0.56989	-0.23242	0.036678	0.017839	-0.00688	-0.00147	0.000447	8.9e-05	0.04	1.0
D13	He/H	$\frac{\text{He}^+ + \text{He}^{2+}}{\text{H}^+}$	-4.5...3	0.0510360	-0.080741	0.012407	0.047106	-0.003024	-0.009459	-0.000580	0.000615	9.2e-05	0.04	1.0
D14	Ar/H	$\frac{\text{Ar}^{2+} + \text{Ar}^{3+}}{\text{H}^+}$	-4.2...2.5	-0.300818	-0.002755	0.068879	0.044084	-0.058488	-0.038782	0.0004355	0.00358	0.00051	0.15	1.1
D15	Ar/H	$\frac{\text{Ar}^{3+}}{\text{H}^+}$	-4.2...2.5	-0.568331	0.311217	0.17534	-0.14288	-0.08382	-0.001189	0.004873	0.001212	0.000125	0.26	1.1
D16	C/H	$\frac{\text{C}^0 + \text{C}^{2+}}{\text{H}^+}$	-4.2...2.5	-0.269748	-0.175586	0.120805	0.280378	-0.003657	-0.124027	-0.053977	-0.00856	-0.000453	0.08	0.7
D17	Cl/H	$\frac{\text{Cl}^{2+}}{\text{H}^+}$	-4.2...2.5	-0.627272	-0.143058	-0.358499	0.018702	0.056045	-0.022907	-0.008242	0.001476	0.000402	0.24	1.1
D110	O/H	$\frac{\text{O}^{2+}}{\text{H}^+}$	-4.2...2.5	-0.591425	-0.054272	-0.004035	-0.051595	-0.059615	-0.023196	0.002269	0.0029996	0.000419	0.20	1.1
D111	O/H	$\frac{\text{O}^0 + \text{O}^{2+}}{\text{H}^+}$	-4.2...2.5	-0.465715	-0.215337	-0.035101	0.0280165	-0.070393	-0.040293	0.0042314	0.0050162	0.0006527	0.16	0.9
$x = \log(\text{Ar}^{4+}/\text{Ar}^{3+})$:														
D21	Ar/H	$\frac{\sum_{i=1}^3 \text{Ar}^{i+}}{\text{H}^+}$	-3...1.4	-0.12128	0.059680	-0.600313	-0.580154	0.2310102	0.3014395	-0.008977	-0.052093	-0.009625	0.10	1.0
D22	Ar/H	$\frac{\text{Ar}^{4+}}{\text{H}^+}$	-3...1.4	-0.461696	0.932331	-1.42927	-1.019292	0.8938249	0.6248323	-0.170666	-0.162592	-0.02539	0.17	1.1
D23	C/H	$\frac{\text{C}^{2+}}{\text{H}^+}$	-3...0.8	-0.807991	-1.689615	-0.343273	2.5513573	1.2160401	-1.855115	-1.942680	-0.651820	-0.074862	0.24	1.1
$x = \log(\text{Ar}^{3+}/\text{Ar}^{2+})$:														
D31	C/H	$\frac{\text{C}^{2+}}{\text{H}^+}$	-2.1...2	-0.138545	-0.082219	0.2035657	-0.826516	-0.9451387	0.50283479	0.4694384	-0.089697	-0.067912	0.20	1.0
D32	Cl/H	$\frac{\text{Cl}^{2+}}{\text{H}^+}$	-1.1...2	-0.537219	-0.116573	-0.114697	-1.2885436	-0.6585255	1.5765861	0.0981003	-0.666238	0.185959	0.21	1.1
D33	S/H	$\frac{\text{S}^{2+}}{\text{H}^+}$	-2.1...2.1	-0.498566	-0.529847	-0.550783	-0.269609	0.2035740	0.1032572	-0.0693187	-0.011996	0.0079712	0.15	1.1
$x = \log(\text{Ne}^{3+}/\text{Ne}^{2+})$:														
D41	Ar/H	$\frac{\text{Ar}^{4+}}{\text{H}^+}$	-1...2.4	-0.77499	0.662923	-0.371197	0.3091958	-0.3354968	-0.0740716	0.3517214	-0.21888	0.0423271	0.12	1.0
D42	Ne/H	$\frac{\text{Ne}^{2+}}{\text{H}^+}$	-2.1...2.4	-0.542725	-0.31605	-0.860981	-0.447629	0.6532211	0.1589378	-0.2312560	-0.017816	0.02506	0.25	1.3
$x = \log(\text{O}^{2+}/\text{O}^+)$:														
D51	Ar/H	$\frac{\text{Ar}^{2+} + \text{Ar}^{3+}}{\text{H}^+}$	-0.3...3	-0.321288	-0.352262	-0.903841	4.9580866	-8.46547	7.2716149	-3.332933	0.7745730	-0.071862	0.20	1.1
D52	Cl/H	$\frac{\text{Cl}^{2+}}{\text{H}^+}$	-2.9...3	-0.516455	0.266128	-0.323956	-0.0067258	0.1165714	-0.014204	-0.017666	0.0011034	0.0007642	0.21	1.1
D53	S/H	$\frac{\text{S}^{2+}}{\text{H}^+}$	-0.1...3.1	-0.309176	-0.191425	-0.15004	1.9434094	-3.524390	2.7190681	-1.0517539	0.1969260	-0.013991	0.19	1.1
D54	S/H	$\frac{\text{S}^+ + \text{S}^{2+}}{\text{H}^+}$	-3.9...3	-0.188592	-0.096197	-0.153571	0.0355605	0.03835359	-0.0146770	-0.0066947	0.0008187	0.0003128	0.15	1.0

Табл. 3: Хімічний вміст оболонки ПТ Галактики, отриманий усередненням відповідних даних, розрахованих за допомогою ІКМ, виведених у цій праці (див. текст), та іонного вмісту з праці [20].

Model\A:	$12 + \lg (A/H)_{averaged}$											
	He	ΔHe	C	ΔC	O	ΔO	Ne	ΔNe	S	ΔS	Ar	ΔAr
A 4	10.83	0.02	-	-	9.03	0.20	-	-	-	-	-	-
A 70	11.09	0.02	-	-	8.98	0.20	-	-	-	-	-	-
Al 2-E	11.02	0.02	-	-	8.77	0.13	-	-	-	-	6.60	0.08
BB 1	10.88	0.02	-	-	8.20	0.14	8.19	0.25	5.12	0.19	-	-
BD+30	-	-	-	-	-	-	-	-	7.11	0.15	-	-
Cn 1-5	-	-	-	-	-	-	-	-	7.60	0.15	-	-
Cn 2-1	10.90	0.02	-	-	9.20	0.13	-	-	6.96	0.10	6.54	0.12
DdDm 1	-	-	12.72	0.20	-	-	-	-	6.64	0.10	6.04	0.20
H 1-11	10.88	0.02	-	-	9.01	0.20	-	-	6.63	0.15	6.30	0.13
H 1-17	10.90	0.02	-	-	8.86	0.14	-	-	6.41	0.10	6.35	0.11
H 1-2	10.91	0.02	-	-	8.77	0.14	-	-	6.81	0.12	6.30	0.16
H 1-20	11.02	0.02	-	-	9.34	0.13	-	-	7.26	0.10	6.96	0.12
H 1-23	-	-	-	-	-	-	-	-	7.06	0.12	-	-
H 1-31	10.97	0.02	-	-	9.08	0.13	-	-	6.89	0.09	6.58	0.12
H 1-32	-	-	-	-	-	-	-	-	6.75	0.10	6.58	0.20
H 1-40	-	-	-	-	-	-	-	-	6.98	0.12	-	-
H 1-50	10.99	0.02	-	-	9.11	0.14	-	-	-	-	-	-
H 1-54	-	-	-	-	-	-	-	-	6.72	0.10	6.41	0.20
H 1-56	10.95	0.02	-	-	9.12	0.20	-	-	6.95	0.10	6.54	0.13
H 1-58	-	-	-	-	-	-	-	-	6.13	0.15	-	-
H 1-59	11.05	0.02	-	-	8.98	0.20	-	-	-	-	6.65	0.12
H 1-60	10.94	0.02	-	-	9.10	0.20	-	-	-	-	6.14	0.13
H 1-66	11.15	0.02	-	-	8.76	0.20	-	-	6.62	0.09	6.45	0.08
H 1-67	11.09	0.02	-	-	8.87	0.14	-	-	-	-	-	-
H 2-1	-	-	-	-	-	-	-	-	6.64	0.15	-	-
H 2-18	10.90	0.02	-	-	9.03	0.20	-	-	-	-	6.39	0.12
H 2-37	-	-	-	-	-	-	-	-	6.77	0.10	6.78	0.20
H 2-39	10.98	0.02	-	-	8.76	0.20	-	-	-	-	6.38	0.13
H 4-1	10.88	0.02	-	-	8.62	0.14	-	-	5.15	0.12	-	-
H β 4	10.96	0.02	-	-	9.14	0.14	-	-	7.16	0.09	6.77	0.12
H β 5	11.03	0.02	-	-	9.07	0.13	8.14	0.25	6.92	0.09	6.82	0.08
H β 8	10.95	0.02	-	-	9.07	0.13	-	-	6.79	0.10	6.33	0.12
HE 2-131	-	-	-	-	-	-	-	-	7.19	0.15	-	-
HE 2-141	11.04	0.02	-	-	8.79	0.13	-	-	6.67	0.12	-	-
HE 2-15	11.15	0.02	-	-	8.72	0.13	-	-	7.02	0.12	-	-
HE 2-250	11.09	0.02	-	-	8.78	0.13	-	-	7.30	0.09	6.66	0.11
HE 2-5	10.88	0.02	-	-	8.71	0.13	-	-	6.24	0.09	6.21	0.12
HE 2-7	10.86	0.02	-	-	8.74	0.13	-	-	6.84	0.09	6.32	0.12
Hu 1-1	10.88	0.02	-	-	8.87	0.14	-	-	6.94	0.10	6.34	0.12
Hu 1-2	11.11	0.02	7.91	0.17	8.35	0.13	7.83	0.25	6.87	0.09	6.09	0.08
Hu 2-1	10.93	0.02	-	-	8.66	0.13	-	-	5.99	0.12	-	-
IC 1297	10.96	0.02	8.22	0.20	9.06	0.14	8.08	0.25	7.14	0.09	6.44	0.12
IC 1747	10.93	0.02	-	-	9.10	0.14	8.12	0.25	6.84	0.10	6.44	0.12
IC 2003	10.92	0.02	8.53	0.17	8.79	0.14	7.98	0.25	6.38	0.09	6.15	0.08
IC 2149	-	-	-	-	-	-	-	-	6.41	0.12	-	-
IC 2165	10.97	0.02	8.81	0.16	8.74	0.14	7.93	0.25	6.64	0.09	6.26	0.08
IC 2448	10.97	0.02	-	-	8.85	0.20	-	-	-	-	-	-
IC 2553	10.92	0.02	-	-	9.14	0.14	8.45	0.25	7.20	0.10	6.72	0.11
IC 2621	10.89	0.02	-	-	9.10	0.13	-	-	7.23	0.09	6.75	0.08
IC 351	10.88	0.02	8.36	0.16	8.87	0.14	8.10	0.25	6.82	0.10	6.35	0.08
IC 3568	10.91	0.02	-	-	8.92	0.20	-	-	6.44	0.19	5.99	0.25
IC 418	-	-	-	-	-	-	-	-	6.74	0.15	-	-
IC 4191	10.92	0.02	-	-	9.13	0.14	-	-	6.83	0.10	6.63	0.12
IC 4406	10.97	0.02	-	-	9.02	0.13	-	-	7.34	0.10	6.56	0.11
IC 4593	-	-	-	-	-	-	-	-	6.68	0.12	-	-
IC 4634	-	-	7.70	0.20	-	-	-	-	6.63	0.09	6.38	0.20
IC 4673	11.13	0.02	-	-	8.99	0.14	-	-	7.10	0.09	6.77	0.12
IC 4732	10.94	0.02	-	-	8.86	0.13	-	-	7.22	0.10	6.13	0.11
IC 4776	-	-	7.52	0.20	-	-	-	-	6.40	0.10	6.49	0.20
IC 4846	10.92	0.02	7.92	0.20	9.00	0.13	-	-	6.79	0.09	6.23	0.12
IC 4997	10.99	0.02	7.77	0.20	8.66	0.13	-	-	6.34	0.10	6.41	0.12
IC 5117	10.85	0.02	-	-	8.90	0.14	8.00	0.25	6.61	0.09	6.32	0.09
IC 5217	10.87	0.02	8.18	0.20	8.90	0.14	7.82	0.25	6.85	0.09	6.43	0.12
IC 972	11.02	0.02	-	-	9.00	0.14	-	-	-	-	6.75	0.12

Табл. 4: Продовження Табл. 3

Model\A:	$12 + \lg (A/H)_{averaged}$											
	He	ΔHe	C	ΔC	O	ΔO	Ne	ΔNe	S	ΔS	Ar	ΔAr
J 320	10.89	0.02	8.32	0.20	8.79	0.13	8.12	0.25	6.49	0.09	6.18	0.12
J 900	10.90	0.02	9.17	0.16	8.82	0.13	8.05	0.25	6.69	0.09	6.00	0.08
K 1-7	10.97	0.02	-	-	8.90	0.14	-	-	-	-	-	-
M 1-1	11.02	0.02	-	-	8.31	0.13	7.37	0.25	6.38	0.09	6.00	0.07
M 1-14	-	-	-	-	-	-	-	-	6.16	0.12	-	-
M 1-17	10.95	0.02	-	-	8.95	0.14	-	-	7.14	0.09	6.44	0.09
M 1-20	-	-	-	-	-	-	-	-	6.38	0.10	6.31	0.20
M 1-25	11.01	0.02	-	-	9.01	0.13	-	-	7.36	0.15	-	-
M 1-26	-	-	-	-	-	-	-	-	7.05	0.15	-	-
M 1-29	11.04	0.02	-	-	9.03	0.14	-	-	7.47	0.10	6.78	0.08
M 1-30	-	-	-	-	-	-	-	-	7.31	0.15	-	-
M 1-34	11.00	0.02	-	-	9.12	0.14	-	-	7.44	0.12	-	-
M 1-35	11.08	0.02	-	-	9.01	0.13	-	-	7.01	0.10	6.64	0.12
M 1-4	10.86	0.02	-	-	8.89	0.14	-	-	6.55	0.10	6.17	0.12
M 1-42	11.04	0.02	-	-	8.77	0.14	-	-	6.97	0.09	6.51	0.12
M 1-50	10.98	0.02	-	-	9.09	0.20	-	-	6.84	0.09	6.58	0.12
M 1-53	10.95	0.02	-	-	8.92	0.20	-	-	-	-	6.16	0.13
M 1-72	-	-	-	-	-	-	-	-	6.51	0.15	-	-
M 1-8	11.09	0.02	-	-	8.82	0.14	-	-	6.70	0.12	6.27	0.25
M 2-10	-	-	-	-	-	-	-	-	7.43	0.15	-	-
M 2-11	11.04	0.02	-	-	8.89	0.14	-	-	6.89	0.09	6.30	0.08
M 2-16	10.99	0.02	-	-	9.06	0.14	-	-	7.08	0.09	6.80	0.12
M 2-18	-	-	-	-	-	-	-	-	6.38	0.12	-	-
M 2-22	11.04	0.02	-	-	8.90	0.14	-	-	-	-	6.59	0.12
M 2-23	-	-	-	-	-	-	-	-	6.57	0.10	6.28	0.20
M 2-27	-	-	-	-	-	-	-	-	7.20	0.10	7.12	0.20
M 2-30	10.96	0.02	-	-	9.08	0.20	-	-	6.87	0.10	6.53	0.09
M 2-31	-	-	-	-	-	-	-	-	7.02	0.09	6.73	0.20
M 2-33	10.94	0.02	-	-	9.04	0.13	-	-	6.59	0.12	-	-
M 2-36	11.00	0.02	-	-	9.11	0.13	-	-	7.09	0.10	6.72	0.12
M 2-4	-	-	-	-	-	-	-	-	6.91	0.10	6.87	0.20
M 2-42	-	-	-	-	-	-	-	-	7.02	0.09	6.52	0.20
M 2-51	10.97	0.02	-	-	8.89	0.20	-	-	-	-	-	-
M 2-55	11.04	0.02	-	-	8.95	0.13	-	-	-	-	-	-
M 2-6	-	-	-	-	-	-	-	-	6.64	0.12	-	-
M 3-1	10.95	0.02	-	-	8.71	0.13	-	-	7.11	0.10	6.36	0.12
M 3-10	10.91	0.02	-	-	9.22	0.14	-	-	6.93	0.09	6.61	0.08
M 3-15	10.93	0.02	-	-	9.00	0.14	-	-	6.75	0.09	6.53	0.12
M 3-2	11.29	0.02	-	-	8.03	0.13	-	-	7.15	0.15	5.95	0.25
M 3-20	10.92	0.02	-	-	9.05	0.13	-	-	6.70	0.09	6.26	0.11
M 3-21	10.94	0.02	-	-	9.11	0.14	-	-	6.95	0.09	6.70	0.12
M 3-33	10.87	0.02	-	-	8.95	0.20	-	-	6.59	0.10	6.24	0.12
M 3-38	10.92	0.02	-	-	8.78	0.14	-	-	6.93	0.09	6.45	0.08
M 3-42	11.04	0.02	-	-	9.07	0.13	-	-	7.18	0.09	6.95	0.08
M 3-43	11.05	0.02	-	-	9.06	0.14	-	-	7.24	0.12	-	-
M 3-45	10.91	0.02	-	-	8.81	0.14	-	-	7.04	0.09	6.35	0.12
M 3-48	11.04	0.02	-	-	8.71	0.13	-	-	-	-	-	-
M 3-50	11.07	0.02	-	-	9.09	0.13	-	-	7.57	0.15	6.93	0.08
M 3-7	-	-	-	-	-	-	-	-	7.19	0.12	-	-
M 4-3	10.93	0.02	-	-	8.98	0.13	-	-	6.72	0.10	6.21	0.13
M 4-6	10.96	0.02	-	-	8.88	0.14	-	-	6.49	0.09	6.52	0.12
ME 1-1	10.96	0.02	-	-	9.12	0.13	-	-	7.18	0.09	6.78	0.12
ME 2-1	10.96	0.02	8.58	0.16	8.90	0.13	8.02	0.25	6.62	0.09	6.19	0.08
ME 2-2	11.13	0.02	-	-	8.66	0.13	7.81	0.25	6.26	0.10	6.11	0.12
MyCn 18	10.92	0.02	-	-	8.60	0.13	-	-	7.12	0.12	-	-
NGC 1535	10.86	0.02	8.03	0.16	8.99	0.20	-	-	7.50	0.10	6.24	0.09
NGC 2022	11.00	0.02	8.23	0.16	8.64	0.20	8.04	0.25	6.67	0.09	6.38	0.08
NGC 2242	11.00	0.02	7.60	0.16	7.97	0.20	7.81	0.25	-	-	5.85	0.07
NGC 2371	11.03	0.02	8.25	0.16	8.92	0.13	8.15	0.25	7.46	0.09	6.61	0.08
NGC 2392	10.90	0.02	7.82	0.17	8.69	0.14	7.91	0.25	7.02	0.09	5.98	0.09
NGC 2438	10.96	0.02	-	-	9.03	0.13	-	-	6.96	0.09	6.62	0.12
NGC 2440	11.05	0.02	8.68	0.18	8.85	0.13	8.01	0.25	6.92	0.09	6.50	0.08
NGC 2452	11.00	0.02	-	-	9.07	0.13	-	-	7.38	0.09	6.62	0.08
NGC 2610	11.03	0.02	7.71	0.15	8.04	0.20	7.63	0.25	-	-	6.10	0.08
NGC 2792	11.00	0.02	-	-	8.72	0.20	-	-	6.60	0.19	-	-
NGC 2818	11.10	0.02	7.93	0.20	8.67	0.13	8.05	0.25	7.10	0.09	6.45	0.12
NGC 2867	10.93	0.02	8.81	0.20	9.04	0.14	8.18	0.25	7.10	0.10	6.39	0.12

Табл. 5: Продовження Табл. 4

Model\A:	$12 + \lg (A/H)_{averaged}$											
	He	ΔHe	C	ΔC	O	ΔO	Ne	ΔNe	S	ΔS	Ar	ΔAr
NGC 2899	11.10	0.02	-	-	8.62	0.13	-	-	-	-	6.18	0.25
NGC 3132	11.02	0.02	-	-	8.94	0.13	-	-	7.38	0.15	-	-
NGC 3211	10.97	0.02	-	-	8.96	0.20	8.01	0.25	-	-	-	-
NGC 3242	10.84	0.02	8.48	0.17	8.89	0.14	7.86	0.25	6.37	0.10	6.20	0.09
NGC 3587	10.89	0.02	-	-	8.81	0.20	-	-	-	-	6.39	0.12
NGC 3918	10.93	0.02	8.59	0.16	8.93	0.14	8.13	0.25	6.86	0.09	6.48	0.08
NGC 40	-	-	-	-	-	-	-	-	6.99	0.15	-	-
NGC 4361	11.03	0.02	7.61	0.16	8.04	0.20	7.58	0.25	-	-	5.87	0.07
NGC 5189	10.99	0.02	8.15	0.20	8.93	0.13	-	-	7.22	0.09	6.70	0.12
NGC 5307	10.89	0.02	-	-	8.90	0.14	-	-	6.60	0.12	-	-
NGC 5315	10.97	0.02	8.32	0.20	8.95	0.13	-	-	7.04	0.10	6.77	0.13
NGC 5873	10.98	0.02	-	-	8.87	0.14	8.07	0.25	6.59	0.09	6.17	0.12
NGC 5882	10.98	0.02	7.89	0.20	9.11	0.13	-	-	7.42	0.09	6.67	0.12
NGC 6058	10.89	0.02	-	-	8.79	0.20	-	-	-	-	6.11	0.12
NGC 6153	10.94	0.02	8.82	0.20	9.38	0.14	-	-	7.48	0.09	6.90	0.12
NGC 6210	10.95	0.02	8.07	0.20	9.11	0.13	-	-	6.75	0.10	6.49	0.12
NGC 6302	11.17	0.02	8.20	0.17	8.79	0.13	8.08	0.25	7.35	0.10	6.61	0.08
NGC 6309	11.00	0.02	-	-	9.09	0.13	8.20	0.25	7.15	0.09	6.73	0.07
NGC 6326	10.99	0.02	-	-	9.10	0.14	-	-	6.88	0.09	6.45	0.12
NGC 6369	10.91	0.02	-	-	8.94	0.13	-	-	6.77	0.12	-	-
NGC 6439	10.99	0.02	-	-	9.12	0.14	8.51	0.25	7.24	0.09	6.40	0.09
NGC 6445	10.98	0.02	8.83	0.20	9.20	0.13	-	-	7.27	0.09	6.69	0.12
NGC 650	10.97	0.02	-	-	8.99	0.13	8.10	0.25	7.21	0.10	6.51	0.12
NGC 6537	11.14	0.02	7.88	0.18	8.54	0.13	7.77	0.25	7.34	0.09	6.65	0.07
NGC 6543	-	-	8.02	0.20	-	-	-	-	7.29	0.10	6.78	0.20
NGC 6563	10.96	0.02	-	-	8.99	0.13	-	-	-	-	6.45	0.11
NGC 6565	10.90	0.02	8.57	0.18	9.01	0.14	7.92	0.25	7.20	0.09	6.48	0.09
NGC 6567	10.96	0.02	8.90	0.20	8.91	0.13	-	-	6.46	0.10	6.05	0.11
NGC 6572	10.96	0.02	8.38	0.20	9.05	0.13	-	-	7.08	0.10	6.49	0.11
NGC 6578	10.96	0.02	-	-	9.21	0.13	-	-	-	-	6.56	0.12
NGC 6620	10.97	0.02	-	-	9.12	0.14	8.32	0.25	7.37	0.09	6.67	0.09
NGC 6644	10.89	0.02	8.63	0.17	8.81	0.14	8.06	0.25	6.57	0.09	6.04	0.08
NGC 6720	10.95	0.02	8.88	0.18	9.08	0.13	8.27	0.25	6.89	0.09	6.50	0.09
NGC 6741	10.92	0.02	8.61	0.16	8.91	0.13	8.21	0.25	7.00	0.09	6.46	0.08
NGC 6751	-	-	-	-	-	-	-	-	7.24	0.15	-	-
NGC 6778	11.11	0.02	-	-	9.09	0.13	-	-	7.39	0.10	6.74	0.12
NGC 6781	11.01	0.02	-	-	8.89	0.13	-	-	-	-	-	-
NGC 6804	10.99	0.02	-	-	8.73	0.20	-	-	-	-	6.24	0.12
NGC 6807	11.00	0.02	-	-	8.98	0.13	-	-	6.42	0.10	6.27	0.11
NGC 6818	10.97	0.02	8.82	0.16	9.04	0.13	8.12	0.25	7.03	0.09	6.48	0.08
NGC 6826	-	-	8.36	0.20	-	-	-	-	6.59	0.10	6.47	0.20
NGC 6833	10.92	0.02	-	-	8.46	0.13	-	-	6.15	0.10	5.94	0.12
NGC 6853	10.97	0.02	8.57	0.20	8.92	0.13	8.26	0.25	7.08	0.11	6.54	0.11
NGC 6879	10.91	0.02	-	-	9.02	0.13	-	-	6.55	0.10	6.37	0.11
NGC 6881	10.94	0.02	-	-	9.02	0.14	8.13	0.25	6.99	0.09	6.68	0.07
NGC 6884	10.95	0.02	-	-	8.99	0.14	7.83	0.25	6.70	0.09	6.52	0.09
NGC 6886	10.93	0.02	-	-	9.03	0.13	8.38	0.25	7.02	0.09	6.55	0.08
NGC 6891	-	-	8.03	0.20	-	-	-	-	6.18	0.10	6.42	0.20
NGC 6894	10.87	0.02	-	-	9.18	0.14	-	-	7.35	0.12	-	-
NGC 6905	10.97	0.02	8.36	0.17	8.86	0.13	7.98	0.25	7.64	0.10	6.31	0.07
NGC 7009	10.93	0.02	8.17	0.20	9.09	0.14	8.16	0.25	7.00	0.10	6.55	0.11
NGC 7026	10.92	0.02	8.45	0.20	9.13	0.14	-	-	7.22	0.09	6.78	0.12
NGC 7027	10.97	0.02	8.72	0.11	8.84	0.14	8.01	0.25	6.77	0.09	6.46	0.08
NGC 7139	10.99	0.02	-	-	8.83	0.13	-	-	-	-	-	-
NGC 7293	11.15	0.02	-	-	8.66	0.13	-	-	-	-	-	-
NGC 7662	10.89	0.02	8.58	0.17	8.89	0.14	8.04	0.25	6.54	0.10	6.21	0.08
PB 4	10.97	0.02	-	-	9.01	0.20	-	-	-	-	-	-
PB 6	11.16	0.02	8.71	0.18	8.67	0.13	8.08	0.25	6.79	0.09	6.30	0.07
PC 12	-	-	-	-	-	-	-	-	6.83	0.15	-	-
PC 13	10.98	0.02	-	-	9.03	0.20	-	-	-	-	6.42	0.15
PRMG 1	10.85	0.02	-	-	8.57	0.20	-	-	-	-	6.31	0.18
Ps 1	-	-	-	-	-	-	-	-	4.82	0.12	-	-
SwSt 1	-	-	-	-	-	-	-	-	6.79	0.15	-	-
Tc 1	-	-	-	-	-	-	-	-	6.56	0.15	-	-
Vy 2-3	10.88	0.02	-	-	8.88	0.20	-	-	-	-	6.09	0.11