



ISSN 1607–2855

Том 1 • № 2 • 2000 С. 115 – 118

УДК 524.37

Вплив флуктуацій густини газу в планетарних туманностях на їх емісійний лінійчатий спектр

Н.В. Гаврилова, Н.Л. Тишко

Львівський національний університет ім. Івана Франка, Україна

Побудовано сітку сферично-симетричних фотоіонізаційних моделей свічення планетарних туманностей з різним характером розподілу густини газу в їх оболонках для температур центральних зір $T = 50000$ К та $T = 100000$ К. Флуктуації густини задавалися випадковим чином, використовуючи стандартний генератор випадкових чисел. В кожному з випадків приймалося, що на фоні однорідної густини газу ($n(H) = 500 \text{ см}^{-3}$ та $n(H) = 1000 \text{ см}^{-3}$) існують флуктуації підвищеної густини в 2, 5, 10, 15 та 20 разів. Вирахувано емісійний лінійчатий спектр кожної з моделей туманностей відносно спектру відповідних однорідних моделей. Виявлено біля 10 емісійних ліній, найменш чутливих до флуктуацій густини газу ($\leq 30\%$), які можуть бути використані для більш точного визначення хімічного складу планетарних туманностей.

ВЛИЯНИЕ ФЛУКТУАЦИЙ ПЛОТНОСТИ ГАЗА В ПЛАНЕТАРНЫХ ТУМАННОСТЯХ НА ИХ ИЗЛУЧАТЕЛЬНЫЙ ЛИНЕЙЧАТЫЙ СПЕКТР, Гаврилова Н.В., Тишко Н.Л. – Построено сетку сферически-симметричных фотоионизационных моделей свечения планетарных туманностей с разным характером распределения плотности газа в их оболочках для температур центральных звезд $T = 50000$ К и $T = 100000$ К. Флуктуации плотности задавались случайно с использованием стандартного генератора случайных чисел. В каждом случае принималось, что на фоне однородной плотности газа ($n(H) = 500 \text{ см}^{-3}$ и $n(H) = 1000 \text{ см}^{-3}$) имеются флуктуации с повышенной плотностью в 2, 5, 10, 15 и 20 раз. Рассчитано эмиссионный линейчатый спектр каждой из моделей туманностей относительно соответствующих однородных моделей. Выделено около 10 эмиссионных линий, слабо чувствительных к изменениям плотности газа ($\leq 30\%$), которые можно использовать для более точного определения химического состава планетарных туманностей.

THE INFLUENCE OF PLANETARY NEBULA GAS DENSITY FLUCTUATIONS TO ITS EMISSION LINE SPECTRA, by Havrylova N.V., Tyshko N.L. – The set of spheric-simmetrical photoionization models of planetary nebula luminescence for different radial gas density distributions for central stars temperatures $T = 50000$ К and $T = 100000$ К was created. Gas density fluctuations were chosen randomly. Every range of models was assumed to have basic homogeneous gas density ($n(H) = 500 \text{ см}^{-3}$ and $n(H) = 1000 \text{ см}^{-3}$) and density fluctuations more 2, 5, 10, 15 and 20 times. The line emission spectrum of each planetary nebula model was calculated. We have chosen a set of 10 lines for which the influence of density fluctuations may be neglected, so these lines may be used for more accurate planetary nebula chemical abundance determination.

Вплив флуктуацій густини газу (клумпів) в оболонках планетарних туманностей (ПТ) на формування їх емісійного лінійчатого спектру (ЕЛС) залишається однією з найменш вивчених проблем фізики цих об'єктів. Зображення багатьох ПТ показують, що вони не є однорідні, і тому не можна просто знехтувати наявністю клумпів. Ще Reimbert у своїх роботах [6,7] наголошував, що різниця в одержанні значень електронних температур для ПТ є більшою, ніж похибка розрахунків, що визначає наявність

Таблиця 1. Набір ліній зі спектрів моделей ПТ, інтенсивності яких є найменш чутливі ($\leq 30\%$) до зміни густини газу в оболонках об'єктів.

Лінії, Amic	Модель 1, *	Похибка, %	Модель 2, **	Похибка, %	Модель 3, ***	Похибка, %	Спільні лінії
1666 O III]	+	12.5	+	7.4	+	10.8	+
1749 NIII]	+	8.3	+	4.0	+	10.1	+
1906-08 CIII]	+	7.3	+	10.3	+	10.5	+
2139-42 NII]	+	28.0					
2323-28 CII]	+	18.5					
3726-28 [OII]	+	2.4	+	30.0	+	12.2	+
3868-967 [NeIII]			+	10.6			
4363 [OIII]	+	16.7	+	13.1	+	11.5	+
4470 HeI	+	1.3					
4684 HeII	+	0	+	11.1	+	16.8	+
4959-5006 [OIII]	+	20.8	+	19.5	+	15.5	+
5197-200 [NI]	+	18.4					
5754 [NII]	+	23.8					
6548-83 [NII]	+	17.6			+	15.0	
7751 [ArIII]	+	11.3	+	5.0			
12.8 [NeII]	+	10.9					
15.6 [NeIII]	+	13.9			+	14.4	
21.8 [SiIII]	+	1.5					
25.9 [OIV]	+	18.0			+	7.6	
88.3 [OIV]					+	5.3	
F(4861), E-10 ergs cm-2 sec-1		1.1		19.6		5.3	

* – модель 1: $n(H) = 1000 \text{ cm}^{-3}$; $T=50000 \text{ K}$; ** – модель 2: $n(H) = 1000 \text{ cm}^{-3}$; $T=100000 \text{ K}$;

*** – модель 3: $n(H) = 500 \text{ cm}^{-3}$; $T=100000 \text{ K}$.

великих флуктуацій температури, які призводять до існування просторових флуктуацій густини. Останнім часом завдяки дослідженням багатьох вчених та даним з Хабблівського телескопу існують дані про кількість та розміри цих клумпів. Так, автори робіт [4,5] ідентифікували біля 600 малих клумпів з лінійним діаметром $d \sim 100 \text{ a.o.}$ в туманності NGC 7293, а в роботі [3] знайдено клумпи подібних розмірів у A30 та A78. В роботі [8] розраховано, що для туманності з $D = 20''$ та кількості клумпів $n = 600$ їх лінійний діаметр $d = 0.11''$. Трудність вивчення впливу густини клумпів на ЕЛС полягає у тому, що структура цих неоднорідностей все ще залишається невідомою і є різною в різних об'єктах та може мінятися з часом.

Вивчення цього питання доцільно проводити на теоретичних моделях свічення ПТ [1], що є найбільш ефективним методом дослідження фізичних умов в цих об'єктах. Оскільки спостережуваний ЕЛС ПТ відображає сумарне випромінювання всіх їх газових структур різної густини, то при побудові моделей реальних об'єктів цей ефект необхідно враховувати. У роботі [8] автори розраховували сферично-симетричну модель із кільцем підвищеної густини в оболонці туманності (один макроклумп) і зробили висновок, що існування флуктуацій густини суттєво впливає на визначення іонного та хімічного вмісту, отриманого зі спостережуваного ЕЛС, причому різниця становить в середньому 2-3 рази, а по окремих елементах – 5-6 разів. Нашим завданням було розрахувати фотоіонізаційні моделі свічення ПТ із різним розподілом клумпів і знайти лінії, які є найменш чутливі до флуктуацій густини і які можуть бути використані для визначення хімічного вмісту ПТ.

Розрахунок фотоіонізаційних моделей свічення ПТ проводився за допомогою удосконаленого пакету програм PAN-3, розробленого на Львівській астрономічній обсерваторії В.Головатим, Ю.Мальковим та О.Рокачем. В основі пакету лежить сучасна фотоіонізаційна модель свічення ПТ [1]. Вхідними даними є відстань до об'єкту, температура та радіус центральної зорі, а також радіальний розподіл густини в оболонці та її хімічний вміст. В результаті ми отримуємо повний спектр туманності. При розрахунку враховуються:

- 1) елементарні процеси іонізації (фотоіонізації прямим та дифузним випромінюванням, ударні іонізації та іонізаційні перезарядки);
- 2) процеси рекомбінацій (радіативні, діелектронні рекомбінації та рекомбінаційні перезарядки);
- 3) джерела нагріву газу ПТ прямим та дифузним іонізуючим випромінюванням;
- 4) елементарні процеси охолодження (збудження електронним зіткненням низьколежачих енергетичних рівнів різних атомів та іонів, ударна іонізація, радіативні та діелектронні рекомбінації та вільно-вільні переходи в полях додатніх іонів).

Розподіл густини в моделях був наступним. На фонову низьку густину газу випадковим чином накладалися неоднорідності (клумпи) підвищеної густини. Була побудована програма , яка задавала неоднорідності випадковим чином, використовуючи стандартний генератор випадкових чисел. Форма неоднорідностей описувалася наступною функцією:

$$F(x) = 2n(H)_{\max} / (1 + e^{d \cdot x}), \text{ де } d = 2(r - r_c) / R_c,$$

тут r_c – положення клумпа та R_c – товщина клумпа задавалися випадковим чином.

Вхідні параметри програми:

- а) характеристики туманності:

r_{in} – внутрішній радіус оболонки,
 r_{out} – зовнішній радіус оболонки,
 $n(H)$ – фонові густина,

- б) характеристики клумпів:

n_{min}, n_{max} – кількість клумпів (1...7),
 $n(H)_{min}, n(H)_{max}$ – густина клумпів ($10^3 \dots 10^5$),
 r_{min}, r_{max} – розміри клумпів відносно радіусу оболонки r ($r = r_{out} - r_{in}$), (0.005...0.15),

- в) h – крок виводу (0.1...0.0001).

Задані параметри клумпів узгоджуються із спостережуваними даними. Флуктуації густини газу ми представляли кульовим поясом. Результатом програми є файл із розподілом густини вздовж радіусу

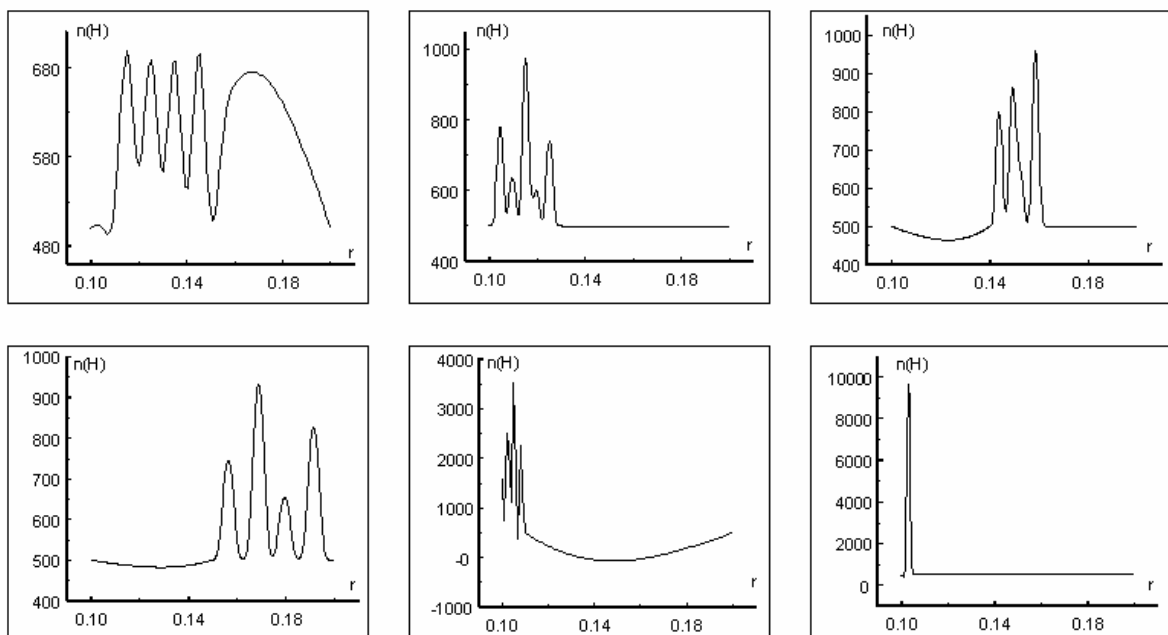


Рис.1. Розподіл густини газу в моделі свічення оболонки ПТ в радіальному напрямку з фоновією густиною 500 см^{-3} та різною кількістю флуктуацій у вигляді кульового поясу з густиною в межах $600 \dots 10000 \text{ см}^{-3}$

оболонки туманності з певним кроком виводу. Для прикладу ми навели декілька розподілів густини газу в радіальному напрямку оболонки в моделі з фоною густиною 500 см^{-3} та різною кількістю клумпів з густинами $600 \dots 10000 \text{ см}^{-3}$ (рис.1). На фонову густину накладалися клумпи з підвищеною густиною в 2, 5, 10, 15 та 20 разів

В результаті ми побудували 30 сферично-симетричних фотоіонізаційних моделей свічення ПТ з різним розподілом газу в їх оболонках. Температури центральних зір (T_*) приймалися 50000 К та 100000 К, фонові густини газу – 500 см^{-3} та 1000 см^{-3} , відстані до об'єктів – 1000пк, радіуси центральних зір – 10^{10} см^{-3} , хімічний склад оболонок – з роботи [2]. За основу бралось три початкові моделі:

- 1) $n(H) = 1000 \text{ см}^{-3}$, $T_* = 50000 \text{ К}$;
- 2) $n(H) = 1000 \text{ см}^{-3}$, $T_* = 100000 \text{ К}$;
- 3) $n(H) = 500 \text{ см}^{-3}$, $T_* = 100000 \text{ К}$.

Ми отримали ЕЛС для кожної моделі з клумпами і вираховували інтенсивності емісійних ліній відносно відповідних інтенсивностей ліній однорідних моделей. В результаті було виявлено біля 10 емісійних ліній, інтенсивності яких найменш чутливі ($\leq 30\%$) до флуктуацій густини газу (див. табл. 1), і які можна використовувати для більш точного визначення хімічного складу ПТ. Як видно з табл. 1, для моделей з нижчими температурами центральних зір ($T_* \approx 50000$) можна використовувати ширшу сукупність емісійних ліній.

Автори висловлюють особливу подяку доценту кафедри астрофізики ЛНУ ім. Івана Франка В.В.Головатому за корисні поради та зауваження під час роботи над даною статтею.

1. Головатый В.В., Мальков Ю.Ф. Современная фотоионизационная модель свечения планетарной туманности. Краткое описание. - Киев, 1991
2. Головатый В.В., Дмитерко В.І., Мальков Ю.Ф., Рокач О.В., АстронЖ., 70, в.4, с.691, 1993
3. Borkowski K.J., Harrington J.P., Tsvetanov Z., Clegg R.E.S., 1993, ApJ, 415, L47
4. Meaburn J., Walsh J.R., Clegg R.E.S., Walton N.A., Taylor D., Berry D.S., 1992, MNRAS, 255, 177
5. Meaburn J., Walsh J.R., 1993, ESO Messenger, 73, 35
6. Peimbert M., 1967, ApJ, 150, 825
7. Peimbert M., 1971, Bol.Obs.Tonantzintla y Tacubaya, 6, 29
8. Viegas S.M., Clegg R.E.S., 1994, MNRAS, 271, 993

Надійшла до редакції 3.09.2000