

УДК 524.37:520.353

ПЛАНЕТАРНЫЕ ТУМАННОСТИ НИЗКОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ

Л. Н. КОНДРАТЬЕВА

Поступила 15 мая 1984

Принята к печати 3 ноября 1984

Представлены результаты спектрофотометрического исследования трех объектов: М 1—46, РС 12 и М 1—39. Определены интенсивности эмиссионных линий, электронная плотность, получены оценки эффективной температуры центральных звезд.

Летом 1983 г. в Астрофизическом институте АН Каз.ССР продолжались спектральные исследования планетарных туманностей малых угловых размеров. Наблюдения проводились на дифракционном спектрографе с ЭОП-ом, установленном в кассегреневском фокусе телескопа АЗТ-8. Спектрограммы получены в трех спектральных диапазонах $\lambda\lambda = 3800\text{—}5400$; $4800\text{—}6600$; $5700\text{—}7600$ А с дисперсией $110\text{—}150$ А/мм. В исследуемой группе выделено три объекта со спектрами низкого возбуждения: М 1—46; РС 12; М 1—39. Интегральные яркости туманностей М 1—46 и РС 12 составляют $13^m.1$ и $13^m.8$; М 1—39 в 8—10 раз слабее. Спектры М 1—46 впервые получены Воронцовым-Вельяминовым [1], два других объекта раньше не исследовались. Относительные интенсивности эмиссионных линий, исправленные за межзвездное поглощение, приводятся в табл. 1. Точность, обусловленная внутренней сходимостью результатов, не ниже 20%, символом (:) выделены интенсивности, измеренные по одной спектрограмме. Для туманности М 1—39 в области длин волн $\lambda\lambda 3800\text{—}5400$ А удалось получить только линии [O III] и H_3 . Постоянная межзвездного поглощения $S(H_3)$ определялась по наблюдаемому бальмеровскому декременту. Теоретические значения взяты из работы [2]. Отношения интенсивностей линий [S II] использовались для оценки электронной концентрации N_e [S II] [3]. Эффективная температура центральных звезд и параметры светимости $\Delta = L_*/L_\odot d^2$, где d — расстояние до туманности, определялись по методу Занстра [4].

Полученные значения приведены в табл. 2. На основе радиоизмерений туманности М 1—46 при $\nu = 5$ ГГц [5] определена мера эмиссии $EM = 1.237 \cdot 10^6$ пс/см⁶. Для РС 12 известен суммарный поток в линиях

H_{α} и [N II] [6]. С учетом соотношения интенсивностей этих линий и коэффициента $C(H_{\beta})$, получено значение $EM = 6.35 \cdot 10^5$ пс/см².

Таблица 1

ИНТЕНСИВНОСТИ ЭМИССИОННЫХ ЛИНИЙ

Обозначения туманности	15+3°1 MI-39	0+17 1 PC 12	16-1°1 MI-46
3970 [Ne III] H _ε	—	—	115:
4340 H _γ	—	45.7:	46.5
4471 He I	—	10.3:	—
4660	—	9.0:	—
4861 H _β	100	100	100
4959 [O III]	75.2	86.6	12.1
5007 [O III]	(135)	208	40
5876 He I	—	27.4	21.1:
6548 [N II]	150	—	—
6563 H _α	286	264	295
6583 [N II]	384	123	148
6678 He I	—	12.4:	10.6
6717 [S II]	23.0	10.9:	8.0
6731 [S II]	31.4	17.5:	13.5
7065 He I	26.9:	11.2:	4.1
7136 [A III]	21.3:	19.2	15.0
7325 [O II]	55.9:	30.4	23.0

Таблица 2

ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТУМАННОСТЕЙ И
ИХ ЯДЕР

Обозначение туманности	$C(H_{\beta})$	N_e [S II]	$T(H I)$	$T(He I)$	$\lg \Delta$
MI-46	0.79 ± 0.08	4500	27000	34000	2.60
PC 12	0.20 ± 0.09	3500	30000	48000	1.90
MI-39	0.30	2100	—	—	—

Низкое возбуждение спектров может быть следствием высокой плотности газа и низкой температуры освещающей звезды. Для ослабления интенсивностей линий [O III] требуется $N_e \geq 5 \cdot 10^5$ см⁻³. Однако, если в изучаемых туманностях существуют области подобной плотности, размеры их настолько малы ($R \leq 5 \cdot 10^{-6}$ пс), что они не могут оказать решающего влияния на ионизационное состояние (эффективный размер

соответствующих зон оценивался по наблюдаемой мере эмиссии). Следовательно, основной причиной низкого возбуждения остается пониженная температура центральных звезд.

Для ядра М 1-46 значения $T(\text{H I})$ и $T(\text{He I})$ близки между собой. Вероятно, туманность не полностью ионизована. Можно оценить ее видимый линейный размер, предполагая, что он равен радиусу зоны ионизации центральной звезды, $R - s_0$, где $s_0 = U(sp)/2\bar{N}_e^{2/3}$,

$$U(sp) = f(T_* L_*) = f(T_* \Delta d).$$

Получаем соотношение типа $\bar{N}_e^{2/3} s_0 = R^{2/3} f(T_* \Delta)$.

Отсюда $R_1 = S_0 = 0.033$ пс ($R_* = 0.62 R_\odot$, $L_* = 760 L_\odot$).

Кроме того, можно оценить линейный радиус ионизованной оболочки по наблюдаемой мере эмиссии, $R_2 = EM/2\bar{N}_e^{2/3}$, используя $N_e[\text{SII}]$ в качестве средней электронной концентрации. $R_2 = 0.032$ пс, $d_2 = 1.15$ кпс. Наконец, расстояние до объекта определяется при сопоставлении наблюдаемого коэффициента $C(\text{H}\beta)$ с распределением межзвездного вещества [7] $d_3 = 0.95$ кпс, $R_3 = 0.026$ пс. Принимаем $\bar{d} = 1.05$ кпс, $\bar{R} = 0.030$ пс и $m_i = 0.020 M_\odot$, где m_i — масса ионизованной оболочки.

В спектре туманности PC 12 линии He I достигают максимальной для планетарных туманностей интенсивности. Температура $T(\text{He I})$ достаточно высока для ионизации He^+ ионов. Туманность, по всей вероятности, находится в стадии, непосредственно предшествующей появлению в спектре линий He II. Значение $T(\text{He I})$ существенно выше $T(\text{H I})$, водородная составляющая туманности, вероятно, полностью ионизована. Для линейного радиуса оболочки мы получали следующие оценки:

$$R(EM) = 0.026 \text{ пс}, \quad d = 2.1 \text{ кпс},$$

$$R(C(\text{H}\beta)) \approx 0.01 \text{ пс}, \quad d \approx 0.7 \text{ кпс}.$$

Наблюдаемое межзвездное поглощение дает приближенное значение d , т. к. туманность расположена на большой галактической широте. При заданных величинах T_* , Δ и $d = 2.1$ кпс радиус соответствующей зоны ионизации составляет $s_0 = 0.030$ пс. Вообще говоря, $s_0 > R$, однако различие невелико и может служить лишь косвенным аргументом в пользу нашего вывода о полной ионизации водородной составляющей PC 12.

Оценка линейного размера туманности М1-39 и эффективной температуры ее ядра не проводилась из-за отсутствия необходимых данных о потоках в эмиссионных линиях и слабого звездного континуума $d(C(\text{H}\beta)) \approx 0.4$ кпс. По своим спектральным характеристикам туманность близка PC 12.

Исследуемые объекты можно отнести к разряду молодых, учитывая пониженную температуру возбуждающих звезд и компактные размеры ионизованных оболочек. Однако среди туманностей низкого возбуждения встречаются объекты совершенно другого рода — высокой плотности, с $EM \geq 10^8$ пс/см⁶ [8, 9]. Чем вызвано столь существенное различие физических параметров туманностей при близких значениях температуры возбуждающих звезд? Согласно расчетам [10], небольшая разница в массе ядер приводит к значительному изменению темпа их эволюции. Мера эмиссии и электронная концентрация объектов M1-46; PC 12 и M1-39 присущи скорее протяженным, проэволюционировавшим туманностям. Логично предположить, что ядра исследуемых объектов имеют меньшую массу ($\sim 0.6 M_{\odot}$) и медленнее разогреваются по сравнению с центральными звездами туманностей с высокой мерой эмиссии.

Астрофизический институт
АН Каз.ССР

LOW-EXCITATION PLANETARY NEBULAE

L. N. KONDRATYEVA

The spectrophotometric results for three objects: M 1—46, PC 12, M 1—39 are presented. The relative emission-line intensities and electron densities are determined. The effective temperatures of central stars are evaluated.

ЛИТЕРАТУРА

1. Б. А. Воронцов-Вельяминов, Е. Б. Костякова, О. Д. Докучаева, А. В. Архипова, *Астрон. ж.*, 52, 264, 1975.
2. M. Brocklehurst, *M. N. R. A. S.*, 153, 471, 1971.
3. И. Носов, *Астрон. цирк.*, 1050, 1979.
4. R. J. Hurman, M. J. Seaton, *M. N. R. A. S.*, 132, 15, 1966.
5. D. K. Milne, L. H. Aller, *Astron. Astrophys.*, 38, 183, 1975.
6. J. H. Cahn, J. B. Kaler, *Ap. J. Suppl. Ser.*, 189, 22 : 319, 1971.
7. T. H. Neckel, 4697 *Stern und Sternhaufen Bekannter Absorption*, Landessternwarte Heidelberg Konigst Veroffentlih, 1967.
8. Sun Kwok, C. R. Purton, D. W. Keenan, *Ap. J.*, 250, 232, 1981.
9. D. N. Sperdel, J. L. Giultani, G. R. Knapp, *Ap. J.*, 275, 330, 1983.
10. D. Shonberger, *Astron Astrophys.*, 103, 119, 1981.