

АСТРОФИЗИКА

А. А. Никитин

О приближенной оценке относительного содержания азота
в планетарных туманностях

(Представлено академиком В. А. Амбарцумяном 24/V 1962)

Мультиплеты N III $\bar{\lambda}_2$ 4640 ($2s^2 3p^2 P-2s^2 3d^2 D$), $\bar{\lambda}_1$ 4100 ($2s^2 3s^2 S-2s^2 3p^2 P$) и $\bar{\lambda}_3$ 4379 ($2s^2 4f^2 F-2s^2 5g^2 G$), где $\bar{\lambda}_1$, $\bar{\lambda}_2$, $\bar{\lambda}_3$ —средние длины волн линий, входящих в указанные мультиплеты, весьма интенсивны в спектрах многих планетарных туманностей, особенно туманностей высокого возбуждения (¹). Представляет интерес определить относительное содержание азота с помощью указанных выше мультиплетов, считая, что их появление обусловлено главным образом механизмом рекомбинации. Настоящая заметка посвящена этому вопросу. Как известно, количество энергии, излучаемое единицей объема туманности в линиях какого-либо мультиплета, дается выражением

$$E(n - n') = K \frac{b_n n^+ n_e}{T_e^{3/2}} F^*(n - n') h\nu(n - n') \quad (1)$$

$$K = \frac{h^3}{(2\pi m k)^{3/2}} \frac{4\pi^2 e^2}{mc^3} F^*(n - n') = \omega_{n'} \gamma_{nn'}^2 f_{n'n} e^{-\frac{\lambda_n}{kT_e}},$$

n_e —электронная плотность, n^+ —число ионов N IV в основном состоянии $2s^2 1S_0$; b_n —множитель, определяющий населенность уровня n (n включает всю совокупность квантовых чисел, определяющих уровень) может быть найден из уравнений стационарности для термов $3d^2 D$, $3p^2 P$, $5g^2 G$ (²). Прочие обозначения обычные.

Наблюдаемые интенсивности обычно выражаются в долях интенсивности линии водорода H_β . Ее интенсивность определяется выражением(³):

$$E(U_\beta) = 2,28 \cdot 10^{-19} \frac{n_e^2}{T_e^{3/2}} b_4 e^{x_4}; \quad x_4 = \frac{0,993 \cdot 10^4}{T_e}. \quad (2)$$

Как показали расчеты для N III, произведение $b_n F^*(n - n')$ очень слабо изменяется с температурой электронов, поэтому все дальнейшие оценки будут производиться с $b_n F^*(n - n')$, найденными

при $T_e = 10^4$; для большинства рассматриваемых туманностей электронные температуры имеют примерно такой порядок величины.

b_4 — множитель, определяющий интенсивность линии H_β , может быть взят из известных теоретических расчетов или получен из наблюдений. Мы будем пользоваться b_4 , полученными из наблюдений⁽⁴⁾. Деля выражение (1) на (2) и производя необходимые подсчеты, получаем следующие выражения:

$$\begin{aligned}\frac{n^+}{n_e} &= 0,077 b_4 e^{a_4} \frac{E(\bar{\lambda}_1)}{E(H_\beta)}; \\ \frac{n^+}{n_e} &= 0,12 b_4 e^{a_4} \frac{E(\bar{\lambda}_2)}{E(H_\beta)}; \\ \frac{n^+}{n_e} &= 1,35 b_4 e^{a_4} \frac{E(\bar{\lambda}_3)}{E(H_\beta)}.\end{aligned}\quad (3)$$

Расчетные данные и результаты даны в табл. 1 и 2. Величины n_e и T_e взяты из⁽⁵⁾. Для расчетов относительных интенсивностей линий с $\bar{\lambda}_1$, $\bar{\lambda}_2$, $\bar{\lambda}_3$ брались данные⁽¹⁾ и исправлялись за покраснение с помощью методов⁽⁶⁾ и⁽⁷⁾. Оба метода в среднем дают одни и те

Таблица 1

Туманность	n_e	T_e	b_4	$\frac{E(\bar{\lambda}_1)}{E(H_\beta)}$	$\frac{E(\bar{\lambda}_2)}{E(H_\beta)}$	$\frac{E(\bar{\lambda}_3)}{E(H_\beta)}$
NGC 7662	$5,10^4$	$1,310^4$	0,30	0,052	0,062	0,008
• 2440	$4,10^4$	$1,710^4$	0,35	0,126	0,09	0,014
• 7027	$4,10^4$	$1,910^4$	0,35	0,044	0,044	0,005
I C 2165	$2,810^4$	$1,510^4$	0,30	0,038	0,064	—
NGC 6572	$5,10^4$	$1,310^4$	0,26	0,025	0,018	0,003
NGC 7009	$1,510^4$	$1,210^4$	0,25	0,068	0,078	0,011

же результаты. Для расчетов можно также взять другие значения для n_e и T_e , определенные в⁽³⁾, в этих данных T_e очень близко к 10^4 для ряда туманностей, но, как уже отмечалось выше, окончательные оценки от величин T_e сильно не зависят, и поэтому мы будем основываться только на данных табл. 1.

С помощью формул (3) и табл. 1 получаем нужный нам результат.

Табл. 2 показывает, что величины $\frac{n^+}{n_e}$, определенные по трем мультиплетам, удовлетворительно согласуются между собой. В других работах, из которых наиболее недавняя⁽⁸⁾, предпринимались попытки определить относительное содержание азота по интенсивности запрещенных линий; хотя эти результаты по методике расчетов очень приближены, представляет интерес сравнить данные табл. 2 с расчетами других авторов. Расчеты⁽⁸⁾ даны в табл. 3.

Значение в скобках для NGC 7027 дано в (9). Сравнение обеих таблиц показывает, что относительное содержание азота, полученное

Таблица 2

Туманн.	$\frac{n^+}{n_e}$			Туманн.	$\frac{n^+}{n_e}$		
	по $\bar{\lambda}_1$	по $\bar{\lambda}_2$	по $\bar{\lambda}_3$		по $\bar{\lambda}_1$	по $\bar{\lambda}_2$	по $\bar{\lambda}_3$
NGC 7662	$2,6 \cdot 10^{-3}$	$4,7 \cdot 10^{-3}$	$6,7 \cdot 10^{-3}$	I C 2165	$1,8 \cdot 10^{-3}$	$4,2 \cdot 10^{-3}$	—
NGC 2440	$6,4 \cdot 10^{-3}$	$6,7 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-2}$	NGC 6572	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$2,1 \cdot 10^{-3}$
NGC 7027	$2,2 \cdot 10^{-3}$	$3,4 \cdot 10^{-3}$	$4,3 \cdot 10^{-3}$	NGC 2009	$3 \cdot 10^{-3}$	$5,2 \cdot 10^{-3}$	$8,1 \cdot 10^{-3}$

из исследования рекомбинационного спектра, систематически больше той же величины, найденной из запрещенных линий с помощью полуэмпирической диаграммы—относительное содержание против потен-

Таблица 3

Туманн.	$\frac{n}{n_e}$	Туманн.	$\frac{n}{n_e}$	Туманн.	$\frac{n}{n_e}$
NGC 7027	$4,9 \cdot 10^{-4}$ $(8,3 \cdot 10)^{-4}$	NGC 6740	10^{-3}	I C 2165	$3 \cdot 10^{-4}$
NGC 7662	$1,4 \cdot 10^{-5}$	NGC 2440	$2,5 \cdot 10^{-3}$	I C 5217	$4,4 \cdot 10^{-5}$

циала ионизации (у нас не учтены другие ионизации N, что еще больше усиливает расхождение). Расчет показывает, что азот, по-видимому, более обилен в планетарных туманностях (особенно высокого возбуждения), чем это считалось ранее. Некоторые другие результаты по этой проблеме будут приведены в последующих публикациях.

Автор благодарит чл.-корр. АН СССР В. В. Соболева за интерес, внимание к работе и ценные советы.

Ленинград, ЛГУ

Ա. Ա. ՆԻԿԻՏԻՆ

Մոլորակաձև միգամածություններում ազոտի հարաբերական բաժակի մոտավոր գնահատականի մասին

НИИ-ի տեղական սեկտորինացիոն սպեկտրը համեմատված է դիտված սպեկտրի հետ և այդ համեմատությունից ստացված է որոշ մոլորակաձև միգամածությունների թաղանթներում ազոտի տոկոսային պարունակություն մոտավոր գնահատականը: Ստացված մեծությունը միջին հաշվով ազելի բարձր է, քան արդելված զժերով ստացված հուշն մեծությունից:

ЛИТЕРАТУРА — ЧРЦЦЦЦПРРРЗПРР

¹ А. Вийзе, *Ар. J.*, v. 95 № 3, 1942. ² А. А. Никитин, *Вестник ЛГУ* (в печати) 1962. ³ Сб. Физические процессы в газовых туманностях, Изд. И. Л. 1948, стр. 118, 127, 191. ⁴ В. Лиллер и Л. Аллер, *Ар. J.*, v. 120, № 1, 1954. ⁵ М. Симон, *М. N.*, v. 115, № 3, 1955. ⁶ Л. Берман, *М. N.* v. 96, 890, 1936. ⁷ Л. Уитфорд, *Ар. J.* v. 107, № 1, 1948. ⁸ Л. Аллер, *Ар. J.* v. 125, № 1, 1957. ⁹ М. Симон, *Report on Progress in Physics*, v. 23, 313, 1960