

А. А. НИКИТИН

К ВОПРОСУ ОБ ОЦЕНКЕ НАСЕЛЕННОСТЕЙ МЕТАСТАБИЛЬНЫХ УРОВНЕЙ АТОМА ГЕЛИЯ В ОБОЛОЧКАХ ЗВЕЗД И ТУМАННОСТЕЙ

(Представлено академиком В. Г. Фесенковым 10 V 1952)

Задача о накоплении атомов в метастабильных состояниях была впервые рассмотрена В. А. Амбарцумяном⁽¹⁾. В данной работе оцениваются эквивалентные ширины линий поглощения гелия, оканчивающихся на метастабильных уровнях 2^1S и 2^3S в спектре диска Солнца и в туманности Ориона.

Уравнения стационарности, в предположении большой оптической толщины в линиях основной серии, для 2^1S и 2^3S имеют вид:

$$n_k(F_k + A_{2k1S} + Z_k + Z'_k) = \sum_{n=2}^{\infty} \sum_{l=0}^{n-1} F_{nl}. \quad (1)$$

Левая часть (1) представляет число переходов с уровня k под действием радиации, столкновений с электронами, путем спонтанного перехода с одновременным испусканием двух квантов и ударов II рода. Правая часть есть суммарное число рекомбинаций на все триплетные и синглетные уровни соответственно. Для различных T_e оно дано в⁽²⁾.

На основе данных⁽³⁻⁵⁾ левая часть (1) может быть легко вычислена:

$$A_{2k1S} = 700 \text{ для } k = 2^1S; \quad A_{2k1S} = 0 \text{ для } k = 2^3S;$$

$$Z_k = n_e 8 \pi a_0^2 \left(\frac{2kT_e}{\pi m} \right)^{1/2} e^{-I_k/kT_e} \left(\frac{I_k}{kT_e} + 1 \right);$$

$$Z'_{2^2S} = n_e 0,04 \pi a_0^2 \left(\frac{2kT_e}{\pi m} \right)^{1/2}; \quad Z'_{2^2S} = n_e 8 \cdot 10^{-4} \frac{\pi a_0^2}{kT_e}; \quad (2)$$

$$F_k = W \frac{4\pi e^2}{mc^3 R} B \ln(1 - e^{-h\nu_k/kT_e}) \frac{kT}{h}; \quad B = 2 \cdot 10^{30};$$

W — коэффициент дилуции.

Если положить $\Gamma \sim 5 \cdot 10^3$ и $T_e \sim 10^4$, то для оценки населенности уровня 2^1S нужно учитывать члены F_k , A_{2k1S} и Z_k , а для 2^3S — F_k и Z_k .

Положим вначале, что

$$n_e = n_e(0) e^{-\beta r}; \quad n^+ = n^+(0) e^{-\beta_1 r}; \quad \beta = 2\beta_1 = 1,3 \cdot 10^{-8}, \quad (3)$$

где $n_e(0) \approx 10^{11}$ и $n^+(0) \approx 10^9$.

С помощью (1), (2) и (3) получаем для эквивалентной ширины линий поглощения, связанных с 2^1S и 2^3S , следующее выражение:

$$W_k = \frac{\pi e^2}{mc^2} \lambda_k^2 f_k n^+ (0) n_e (0) C \left[\frac{1}{2\gamma} + \frac{1}{\gamma^2} + \frac{\ln(1 + \gamma)}{\gamma^3} \right]; \quad (4)$$

C и γ — известные постоянные.

Из формулы (4) находим, что для линии λ 10830 ($2^3S - 2^3P$) $W = 50$ мА. Величина примерно такого же порядка получается и для линии λ 20582 ($2^1S - 2^1P$). Для остальных линий этих серий W_k значительно меньше.

На основе (6) можно показать, что для хромосферы приближенно

$$n^+ n_e = 10^5 \cdot r^2 e^{-\kappa r}. \quad (5)$$

Тогда для указанных выше линий $W \approx 1$ А.

Поскольку (3) и (5) получены из наблюдений разных лет, это говорит о том, что интенсивность этих линий меняется с течением времени. Недавние наблюдения полностью подтверждают это. Наблюденная W для λ 10830 колеблется в пределах от 2 А до 100 мА. Повышенная интенсивность линии λ 10830 в спектрах кальциевых флоккул, в противоположность спектрам водородных флоккул, также легко объяснима различными электронными плотностями этих образований, сказывающихся на увеличении числа ударов II рода. Наличие жесткой линейчатой радиации короны (?), несомненно, должно отразиться в какой-то мере на населенности метастабильных уровней, вызывая автоионизацию атомов гелия с двумя возбужденными электронами.

На основе уравнения (1) нетрудно также произвести оценку массы газовой компоненты диффузной туманности в Орионе по найденной в ее спектре линии поглощения гелия λ 3889 ($2^3S - 3^3P$). Если положить $\sqrt{n_e} = x$, то для его определения имеем уравнение

$$\alpha x^2 - \beta x - W = 0;$$

$$\alpha = \kappa D (r_2 - r_1); \quad \beta = a_1 \arctg \frac{r}{a} \Big|_{r_1}^{r_2}; \quad a = \frac{c}{x}; \quad (6)$$

$\kappa = 0,1$ — обильность гелия по отношению к водороду; $r_2 - r_1$ — линейные размеры туманности. Прочие величины легко получаются из вышеприведенных формул.

Из (8) известно, что $W \approx 0,2$ А; отсюда из (6) находим: $n_e \approx 10^2$ и с помощью (9) получаем, что $M \approx 10 M_\odot$.

Поступило
10 V 1952

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ В. А. Амбарцумян, Изв. ГАО, 14, № 6 (1935). ² А. А. Никитин, Уч. зап. ЛГУ, в. 22, № 136, 48 (1950). ³ А. Киппер, Сборн. Развитие советской науки в Эстонии, изд. АН ЭССР, 1950, стр. 250. ⁴ Б. М. Яворский, ДАН, 51, № 4, 267 (1946). ⁵ D. R. Bates, A. Fundaminsky and oth., Phil. Trans., A, 243, No. 860 (1950). ⁶ О. А. Мельников и Е. Я. Перепелкин, Изв. ГАО, 14, № 122 (1935). ⁷ И. С. Шкловский, Астр. журн., 22, 249 (1945). ⁸ O. Wilson Ar. J., 91, № 2 (1940). ⁹ D. Greenstein, Ar. J., 104, № 3 (1946).