

АСТРОФИЗИКА

А. А. Никитин

Линии гелия в спектрах звезд, связанные с запрещенными переходами

(Представлено академиком В. А. Амбарцумяном 3.III.1959)

Наблюдения показывают, что в спектрах ряда звезд линии гелия весьма многочисленны и интенсивны. Так, например, в спектре звезды HD 124448 ⁽¹⁾ линии водорода не обнаружены, линии гелия очень интенсивны; за головой серии 2^3S-n^3D у λ 3420 найден скачок интенсивности, подобный скачку за головой серии Бальмера. Если населенности метастабильных уровней 2^3S и 2^1S велики, то следует ожидать в спектрах некоторых звезд появления линий квадрупольных и запрещенных дипольных переходов (обусловленных межмолекулярным эффектом Штарка) типа 2^3S-3^3D и 2^1S-3^1D с $\lambda \sim 3810.16$ и 5043.49 согласно ⁽²⁾.

Обнаружение и исследование этих линий в спектрах звезд представляет интерес, так как дает возможность произвести независимую оценку степени ионизации и возбуждения атомов гелия в атмосферах звезд.

Найдем вначале вероятности указанных переходов.

Вероятность перехода для квадрупольного мультиплета выражается известной формулой

$$A(2^3S-3^3D) = 2773 \cdot 5 \frac{S(2^3S; 3^3D)}{\omega_3} \quad (1)$$

Согласно ⁽³⁾ $S(AB)$ — сила квадрупольного перехода, в приближении центрального поля, имеет вид

$$S(2^3S; 3^3D) = (2S+1) f_r(lL; l'L') S_r, \quad (2)$$

где

$$S_r = - [(2l-1)^2 (2l-3) (2l+1)]^{-1/2} \int_0^\infty r^4 R(3d) R(2s) dr$$

и

$$f_r(lL) = \frac{P(L-3) P(L-2) P(L-1) P(L)}{16 L (L^2-1)}$$

$$L = 2; \quad L' = 0; \quad l = 2; \quad l' = 0;$$

$$P(L) = (L + l)(L + l + 1).$$

Проделявая все необходимые выкладки и используя при вычислении радиального интеграла волновые функции ⁽⁴⁾, получаем что

$$A(2^3S - 3^3D) = 189.2 \text{ сек}^{-1}. \quad (3)$$

Обратимся к оценке вероятности запрещенного дипольного перехода $2^3S - 3^3D$.

Согласно ⁽⁵⁾ квадрат дипольного момента рассматриваемого мультиплета выражается формулой

$$S^2(2^3S, 3^3D) = \sum_{k=1}^3 f_k(J) |C(3d 2S)|^2,$$

$f_k(J)$ — известные функции, данные в ⁽⁵⁾; величина $C(3d 2s)$ для нашего случая имеет вид

$$C(3d 2S) = \frac{\gamma_1 \gamma_2 \bar{F}}{E(3^3D) - E(3^3P)}.$$

В знаменателе стоит разность энергий уровней 3^3D и 3^3P ; $\bar{F}$ — напряженность межмолекулярного электрического поля,

$\gamma_1 - \gamma_2$ — величины, пропорциональные дипольным моментам для переходов $3^3D - 3^3P$ и $3^3P - 2^3S$.

Произведя все расчеты, находим, что вероятность вынужденного дипольного перехода $A^x(3^3D - 2^3S)$ равна

$$A(3^3D - 2^3S) = \left(\frac{\bar{F}}{15590} \right)^2 \cdot 3 \cdot 10^{-4} A(3^3P - 2^3S).$$

$A(3^3P - 2^3S)$ — вероятность перехода $3^3P - 2^3S$, равная примерно 10^5 . Величина $\bar{F}$ по данным ⁽⁶⁾ находится в пределах от 4 до 7 кВ/см. Вероятность запрещенного перехода для этих значений $\bar{F}$ заключена в пределах от 100 до 700 сек^{-1} .

Как известно, эквивалентная ширина слабого мультиплета дается формулой

$$W = \frac{\omega_2}{\omega_1} \frac{A_{21} \lambda^4}{8\pi c} N(2^3S),$$

$N(2^3S)$ — населенность уровня 2^3S , A_{21} — вероятность соответствующего перехода.

Для того, чтобы линии квадрупольного и вынужденного дипольного переходов могли наблюдаться, необходимо, чтобы

$$N(2^3S) > 5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}.$$

Это условие, по-видимому, выполняется для звезд типа HD 12448, так как у них оптическая толщина за границей серии $2^3P - n^3D$ у $\lambda 3420$ будет

порядка единицы. Отождествление, проведенное в (7) для одной из этих линий, представляется нереальным, так как населенность уровня 2^3S в рассматриваемом отождествлении есть величина порядка 10^{15} c.m^{-2} .

Астрофизическая обсерватория
Ленинградского гос. университета

Ա. Ա. ՆԻԿԻՏԻՆ

Հելիումի արգելված գծերը աստղերի մրցույթներում

Հաշվված են հելիումի ատոմի 2^3S-3^3D տիպի կվադրուպոլային և արգելված անցումների հավանականությունները:

Քննարկվում է այդ անցումներից առաջացած սպեկտրալ գծերի հայտնաբերման հնարավորությունը այսպես կոչված «հելիումային» աստղերի մոտ:

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

¹ Д. Поннер, *Publs. Astron. Soc.*, 59, 320, 1947 ² Т. Стам, *Ann. d. Phys.*, 56, 577, 1918. ³ Г. Шортлей, *Phys. Rev.*, 57, 255, 1940. ⁴ Л. Голоберг и Клогстон, *Annual Rev. Phys.*, 56, 927, 1939. ⁵ В. Мулюкчук, *Acta phys. polon.* 4, № 1—2, 1935. ⁶ С. Фостер и Дуглас, *Monthly Notices, Roy. Astron. Soc.* 99, 150, 1939. ⁷ Т. Гринштейн, *Astrophys. J.* 91, 438, 1940.