

И. С. ШКЛОВСКИЙ

К ВОПРОСУ ОБ ОТОЖДЕСТВЛЕНИИ КОРОНАЛЬНОЙ ЛИНИИ  
 $\lambda 5694,42 \text{ \AA}$

(Представлено академиком Г. А. Шайном 1 IX 1948)

Как известно, желтая корональная линия  $\lambda 5694,42 \text{ \AA}$  обладает рядом замечательных особенностей, в частности, локализацией областей свечения над группами больших пятен вблизи солнечных извержений и протуберанцев „типа солнечных пятен“ (1). Области свечения этой линии, тесно связанные с рядом весьма активных образований в солнечной атмосфере, повидимому, являются ответственными за магнитные и ионосферные возмущения. Поэтому представляет большой интерес отождествление этой линии.

Эдлен (2) отождествил  $\lambda 5694,42 \text{ \AA}$  с переходом  ${}^3P_1 - {}^3P_0$  внутри основной конфигурации Ca XV. Потенциал ионизации Ca XV равен 812 V, т. е. существенно больше, чем у других корональных ионов. Поэтому Вальдмайер (1) считал области свечения желтой линии самыми „горячими“ в короне, каковое заключение должно определять характер физических процессов в активных областях солнечной атмосферы.

Однако это отождествление, как на это указывал сам Эдлен, встречается с трудностью: необходимо присутствие второй линии, возникающей при переходе  ${}^3P_2 - {}^3P_1$ . Линия эта, длина волны которой должна быть близка к  $5694,42 \text{ \AA}$ , до последнего времени не была обнаружена в короне. Недавно Вальдмайер (3) открыл новую корональную линию  $\lambda 5446 \text{ \AA}$ , по своему поведению весьма схожую с  $\lambda 5694,42 \text{ \AA}$ . Это дало ему основание приписать найденную новую линию переходу Ca XV  ${}^3P_2 - {}^3P_1$ .

Мы проверим справедливость предположения Вальдмайера, для чего вычислим отношение интенсивностей линий  $\lambda 5694,42 \text{ \AA}$  и  $\lambda 5446 \text{ \AA}$ , считая, что отождествление Эдлена правильно.

Так как точность экстраполяции разностей термов основного состояния в изoeлектронной последовательности CI, II, OIII, ... , Ca XV, ... не позволяет сделать определенного заключения — какому из переходов,  ${}^3P_2 - {}^3P_1$  или  ${}^3P_1 - {}^3P_0$ , соответствует линия  $\lambda 5694,42 \text{ \AA}$ , мы рассмотрим обе возможности.

Распределение ионов Ca XV по различным уровням основного состояния может быть найдено решением системы линейных уравнений, каждое из которых есть условие стационарности для определенного уровня. Конфигурации  $2s^2 2p^2$  принадлежат 5 уровням:  ${}^3P_0 < {}^3P_1 < {}^3P_2 < {}^1D_2 < {}^1S_0$ .

Можно показать, что спонтанные переходы с уровня  ${}^1S_0$  совершаются преимущественно на уровень  ${}^3P_1$ . Поэтому мы будем полагать, что всякое возбуждение (электронным ударом) уровня  ${}^1S_0$

эквивалентно возбуждению уровня  ${}^3P_1$ . Вышеуказанную последовательность уровней будем изображать последовательностью чисел 1, 2, ..., 5. Тогда система уравнений запишется в виде:

$$\begin{aligned}
 N_0(b_{01} + b_{01}) + N_2(A_{21} + b_{21} + b_{21}) + N_3(A_{31} + b_{31} + b_{31}) = \\
 = N_1 \left( A_{10} + \sum_{k=0}^4 b_{1k} \right), \\
 N_0 b_{02} + N_1 b_{12} + N_3(A_{31} + b_{31}) = N_2 \left( A_{21} + A_{20} + \sum_{k=0}^4 b_{2k} \right), \quad (1) \\
 N_0 b_{03} + N_1 b_{13} + N_2 b_{23} = N_3 \left( A_{31} + A_{32} + A_{30} + \sum_{k=0}^4 b_{3k} \right),
 \end{aligned}$$

где  $N_k$  — концентрация ионов Ca XV на  $k$  уровне,  $b_{ik}$  — вероятность электронного удара первого ( $i < k$ ) и второго ( $i > k$ ) рода. Для величин  $b_{ik}$  имеем выражение

$$b_{ik} = N_e T_e^{-1/2} 8,54 \cdot 10^{-6} \frac{\Omega(ik)}{2J_i + 1} \text{ сек.}^{-1}. \quad (2)$$

Эта формула получена Мензелом и Хеббом (4) квантово-механическим расчетом для соударений с медленными электронами при исследовании аналогичной проблемы в случае иона OIII, принадлежащего той же конфигурации, что и Ca XV.  $\Omega(ik)$  затабулировано в (4);  $T_e$  — электронная температура короны, которая весьма высока;  $J_i$  — внутреннее квантовое число исходного уровня.

Мы найдем вероятности переходов  $A_{ik}$  в двух предположениях.

а) Переход  $P_2 - P_1 \rightarrow \lambda 5446 \text{ \AA}$ ,  $P_1 - P_0 \rightarrow 5694 \text{ \AA}$ .

Отношение волновых чисел разностей термов  $R_i = \frac{P_2 - P_1}{P_1 - P_2} = 1,0455$ . На основании теории промежуточной связи (5), указанному значению  $R_i$  соответствует параметр связи  $\chi = 0,453$ . Этим параметром полностью определяется положение терма  ${}^1D$ . Для вероятности запрещенного перехода (обусловленного магнитно-дипольным излучением) имеем следующую точную формулу (5):

$$A_m = \frac{2,69 \cdot 10^{-11}}{2J_i + 1} \nu^3 S_m(\chi),$$

где  $\nu$  выражено в обратных сантиметрах, а  $S_m$  — безразмерный параметр, затабулированный для различных конфигураций как функция  $\chi$ .

б) Переход  $P_2 - P_1 \rightarrow \lambda 5694 \text{ \AA}$ ,  $P_1 - P_0 \rightarrow \lambda 5446 \text{ \AA}$ . В этом случае  $R_1 = 0,956$ ,  $\chi = 0,528$ .

В табл. 1 приводим результаты вычислений.

Таблица 1

Переход	$A_m$ (а), сек. $^{-1}$	$A_m$ (б), сек. $^{-1}$
${}^3P_2 - {}^3P_1$	95	66
${}^3P_1 - {}^3P_0$	75	103
${}^1D_2 - {}^3P_1$	631	512
${}^1D_2 - {}^3P_2$	542	580

Для  $N_e T_e^{-1/2}$  примем три значения: 1)  $1,17 \cdot 10^6$ ; 2)  $3,5 \cdot 10^5$ ; 3)  $1,17 \cdot 10^5$ , что охватывает весь диапазон возможных изменений  $N_e$  и  $T_e$ . Отношение интенсивностей линии  $\lambda 5694 \text{ \AA}$  и  $\lambda 5446 \text{ \AA}$  запишется:

$$\frac{I}{I} \frac{N_i A_m 5446}{N_k \bar{A}_m 5694},$$

где  $i = 1, k = 2$  в случае а,  $i = 2, k = 1$  в случае б;  $A_m$  — вероятность излучения  $\lambda 5694 \text{ \AA}$ ,  $\bar{A}_m$  — вероятность излучения  $\lambda 5446 \text{ \AA}$ .

Решения системы (1) могут быть сведены в табл. 2.

Таблица 2

	1	2	3
$I, a$	1,05	1,19	1,46
$I, b$	0,33	0,60	0,61

Наблюдения Вальдмайера дают  $I/\bar{I} = 5$ , в резком противоречии с нашими вычислениями. Могут возникнуть сомнения в справедливости формулы (2) для Ca XV. Она была выведена для OIII в предположении существования рессел-саундерсовской связи, и  $Z = 2$  ( $Z$  — заряд иона).

Однако для иона Fe XIII (конфигурация также  $p^2$ ), у которого  $\chi$  и  $Z$  почти такие, как и у Ca XV, вычисленные аналогичным образом относительные интенсивности линий  $\lambda 10798, 10747, 3388 \text{ \AA}$  находятся в хорошем согласии с наблюдениями.

Это заставляет нас притти к заключению, что отождествление  $\lambda 5694,42 \text{ \AA}$  было сделано неправильно.

Особенность поведения этой линии должна объясняться отличием физических условий (главным образом, кинетической температуры  $T_e$ ) в областях свечения ее от нормальных условий, господствующих в короне.

Можно стоять на точке зрения, противоположной вальдмайеровской: области свечения желтой линии суть наиболее «холодные» части короны. Приходится считаться с тем фактом, что в горячей корональной материи могут происходить конденсации, которые, охлаждаясь, дают протуберанцы типа солнечных пятен. При этом, возможно, существуют стадии ионизации элементов более низкие, чем в короне, хотя все еще достаточно высокие. Особое внимание, естественно, должно быть обращено на наиболее обильные элементы. После водорода и гелия, повидимому, неон является самым обильным элементом в Галактике (6). Хотя никаких следов неона в солнечной атмосфере не обнаружено (из-за особенностей его спектра), но вряд ли приходится сомневаться, что в короне он присутствует в значительных количествах. Известно, что в короне отождествлены две линии аргона. В этой связи укажем, что переход Ne VI  $2s 2p^2 P_{3/2} - {}^2S_{1/2}$ , как это можно установить по лабораторным данным, дает линию с волновым числом  $17525 \text{ см}^{-1}$ , в то время как для желтой линии  $\nu = 17560 \text{ см}^{-1}$ . Совпадение можно считать удовлетворительным, если учесть, что разность термов  ${}^2P_{3/2} - {}^2S_{1/2}$  определялась из измерения весьма малых длин волн (рентгеновская область) и поэтому не может быть достаточно точной.

Решающим экспериментом, позволяющим сделать выбор между предположениями о „горячих“ или „холодных“ областях свечения

желтой линии, является измерение полуширины ее, что можно сделать вне затмения.

Первый государственный астрономический  
институт им. Штернберга  
Московского государственного университета

Поступило  
29 VIII 1948

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> M. Waldmeier, *Astron. Mitteilungen d. Eidgenoss. Sternwarte, Zürich*, No. 146 (1946). <sup>2</sup> B. Edlen, *Z. f. Astroph.*, **22**, 30 (1942). <sup>3</sup> M. Waldmeier, *Astron. Mitteilungen d. Eidgenoss. Sternwarte, Zürich*, No. 151 (1947). <sup>4</sup> M. Hebb and D. Menzel, *Astroph. J.*, **92**, 408 (1940). <sup>5</sup> E. Condon and G. Shortley, *The Theory of Atomic Spectra*, Cambridge Univ. Press, 1935. <sup>6</sup> A. Unsold, *Z. f. Astroph.*, **21**, 22 (1941).