

А. А. НИКИТИН

**К ВОПРОСУ О ПОЯВЛЕНИИ ЛИНИЙ КИСЛОРОДА В СПЕКТРЕ  
СОЛНЦА И НЕКОТОРЫХ ЗВЕЗД**

(Представлено академиком Г. А. Шайном 16 IV 1952)

В фраунгоферовом спектре и в спектре вспышки Солнца до настоящего времени были зарегистрированы следующие линии, принадлежащие атому кислорода: в инфракрасной части квинтет  $\lambda 7774$  ( $3^5S - 3^5P$ ) и триплет  $\lambda 8446$  ( $3^3S - 3^3P$ ) и, кроме того, есть слабые следы присутствия линии  $\lambda 9266$  ( $3^5P - 3^5D$ ). В видимой части спектра, также недавно, были найдены линии полярных сияний  $\lambda 5577$ , 6300, 6364 в поглощении, возникающие при запрещенных переходах между термами основной конфигурации атома кислорода.

В данной работе рассматривается вопрос о возможности отождествления некоторых линий в спектре диска Солнца и некоторых других звезд с линиями атома кислорода, обусловленными переходами с изменениями главного квантового числа. Почти все до сих пор наблюдаемые линии возникали при переходах между термами какой-либо одной электронной конфигурации. Как следует из рассмотрения спектральных термов  $O1$ , наиболее вероятным является обнаружение следующих линий:  $\lambda 4368,3$  ( $3^3S - 4^3P$ ),  $3692,441$  ( $3^3S - 5^3P$ ),  $3947,4$  ( $3^5S - 4^5P$ ).

В данной работе мы не будем касаться линий, обусловленных переходами между термами полиад, базирующихся на состояниях  $^1D_2$  и  $^1S_0$  основной электронной конфигурации. Для решения задачи вначале целесообразно оценить теоретически отношение эквивалентных ширин указанных выше линий к эквивалентным ширинам  $\lambda 8446$  и  $7774$ . Для этой цели нужно знать силы осцилляторов соответствующих переходов. Их можно оценить приближенно, используя для вычислений водородоподобные волновые функции, построенные по методу Слэтера <sup>(1)</sup> для соответствующих состояний изучаемого атома, вводя  $z_{эфф}$  (эффективный заряд) с помощью экспериментально найденных величин спектральных термов  $O1$ .

Как известно, сила осциллятора мультиплета, возникающего при переходах между двумя термами  $\gamma SL - \gamma SL - 1$  двух электронных конфигураций типа  $nl^k n'l' - nl^k n''l''$ , определяется выражением:

$$f(\gamma SL - \gamma SL - 1) = \frac{8\pi^2 m \nu}{3e^2 h} \frac{S(\gamma SL - \gamma SL - 1)}{\omega_{L-1}}. \quad (1)$$

Величина  $S(\gamma SL - \gamma SL - 1)$  — суммарная сила всех линий мультиплета — выражается формулой:

$$S(\gamma SL - \gamma SL - 1) = (2S + 1)(2L + 1)l(2l - 1) \frac{e^2 a_0^2}{4l^2 - 1} \rho^2; \quad (2)$$

$\rho^2$  — квадрат матричного интеграла соответствующего перехода. Всюду использованы обычные спектроскопические и атомные обозначения, принятые в (2). Результаты расчетов даны в табл. 1.

Таблица 1

Переход	$\lambda$ , Å	$f$	$W_k$
$3^3S - 3^3P$ . . . . .	8446	1,0	$W_1$
$3^3S - 4^3P$ . . . . .	4368,3	0,5	$W_2$
$3^3S - 5^3P$ . . . . .	3692,4	0,2	$W_3$
$3^5S - 3^5P$ . . . . .	7774	1,2	$W_4$
$3^5S - 4^5P$ . . . . .	3947,4	0,5	$W_5$

Из табл. 1 видно, что полученные силы осцилляторов сравнимы между собой по величине. Это обстоятельство, повидимому, характерно для элементов с высоким потенциалом возбуждения, в противоположность элементам с низким потенциалом, для которых переходы без изменения главного квантового числа существенно преобладают над

остальными переходами. В спектрах полярных сияний недавно были найдены линии  $\lambda$  8446, 7774 и 4368,30 в эмиссии значительной интенсивности. Это также говорит о том, что силы осцилляторов соответствующих линий сравнимы между собой по порядку величин. В связи с этим следует заметить, что обычное использование правила сумм, в предположении  $\sum_n f_n = 1$ , следует признать неверным для

элементов, подобных кислороду. Полученные цифры, конечно, весьма приближенны, но они дают правильный порядок отношения интенсивностей внутри каждой серии.

Если допустить, следуя (3), что кислород в основном возбужден и ионизован в верхних слоях атмосферы Солнца, имея, кроме того, в виду, что наблюдаемые линии кислорода весьма слабы, то для вычисления эквивалентной ширины можно использовать формулу, справедливую только для тонкого слоя:

$$W_k = \frac{\pi e^2}{mc^2} \lambda_k^2 f_k N; \quad (3)$$

$N$  — число атомов, находящихся на уровнях  $3^3S$  и  $3^5S$ .

Используя данные табл. 1, получаем следующие теоретические оценки для отношения эквивалентных ширин рассматриваемых линий:

$$\frac{W_1}{W_2} \approx 7; \quad \frac{W_1}{W_3} \approx 27; \quad \frac{W_2}{W_5} \approx 1; \quad \frac{W_1}{W_4} \approx 0,55; \quad \frac{W_3}{W_5} \approx 0,2; \quad \frac{W_4}{W_5} \approx 9.$$

Обратимся к сравнению с наблюдательными данными, взятыми из каталога Роуланда (4), который особенно удобен для наших целей, поскольку при его составлении использовались высокодисперсионные спектрограммы. Оценки интенсивности в шкале Роуланда, по известным таблицам или графикам (7), переводились в шкалу эквивалентных ширин. Получились следующие отношения наблюдаемых эквивалентных ширин:

$$\frac{W_1}{W_3} \approx 30; \quad \frac{W_1}{W_2} \approx 6; \quad \frac{W_2}{W_3} \approx 10; \quad \frac{W_1}{W_4} \approx 0,6.$$

Оценку интенсивности линии  $\lambda$  3947,4 нельзя произвести из-за blends с линиями Fe II, Ti II и т. д. Над пятнами все линии ведут себя одинаково — они сильно ослаблены. Совпадение длин волн у всех этих линий достаточно хорошее. Для  $\lambda$  4368,3  $\Delta\lambda = 0,05$  Å, для  $\lambda$  3692,441  $\Delta\lambda = 0,001$ . Таким образом, повидимому, следует считать, что линия  $\lambda$  3692,44 принадлежит атому кислорода (в каталоге она

была вообще не отождествлена), а линию  $\lambda$  4368,3, которая в каталоге приписывается принадлежащей Ni ( $z^5G^0 - f^3F$ ), следует считать также принадлежащей в основном кислороду с небольшой блендой Ni, Fe II. Кстати, другие линии этого же мультиплета Ni очень слабы и над пятнами немного усилены.

В спектрах других звезд отношение интенсивностей указанных выше линий таково: Pleion  $\frac{W_2}{W_5} \approx 3$ ;  $z$  Andromedae 46—47 г.;  $\frac{W_2}{W_5} \approx 2$ ;  $\alpha$  Cygni  $\frac{W_2}{W_5} > 1$  <sup>(5)</sup>;  $\nu$  Sagittari  $\frac{W_4}{W_5} \approx 30$ ;  $\psi$  Persei линия 3947,4 вообще не видна, в то время как линия 4368,30 найдена на спектрограммах.

К сожалению, многочисленные бленды Fe II, Ti II и т. д. лишают эти сопоставления достаточной надежности.

В спектрах ряда новых звезд, по данным Мак-Ловлина, на определенной стадии развития оболочки новой, линии кислорода в спектре становятся хорошо заметными, причем линия 4368,3 интенсивнее линии 3947,3. Возвращаясь к рассмотрению линий кислорода в спектре Солнца, следует отметить, что сопоставление ряда солнечных каталогов, по видимому, говорит в пользу того, что интенсивность линий кислорода значительно <sup>(6)</sup> меняется с течением времени, и потому некоторые слабые линии могут оказаться незарегистрированными в том или ином каталоге. Систематические наблюдения над этими линиями представляются поэтому крайне желательными.

Причину этой переменности, по видимому, следует искать в действии жесткой радиации короны, как это было указано И. С. Шкловским <sup>(3)</sup>. Селективностью возбуждения также, как нам кажется, следует объяснять и наличие в спектре Солнца линий, связанных только с уровнями  $3^3S$ ,  $3^5S$ ,  $3^3P$ ,  $3^5P$  (имея в виду разрешенные переходы). Весьма любопытно то, что в спектрах некоторых звезд (VV Цефей,  $\nu$  Sagittari и др.) появление и наличие интенсивных линий кислорода сопровождалось появлением линий Fe II, Ti II в эмиссии, но только линий мультиплетов, связанных с переходами: для Fe II:  $b^4P - z^4D^0$ ,  $b^4F - z^4D^0$ ; для Ti II:  $a^2D - z^2F^0$ ,  $a^2P - z^2D^2$  и т. д. В спектре Солнца указанные выше мультиплеты весьма интенсивны и, по видимому, их появление до некоторой степени также носит селективный характер.

Дальнейшие наблюдательные и экспериментальные работы в свете вышеизложенных соображений представляются весьма желательными.

Поступило  
7 IV 1952

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> J. C. Slater, Phys. Rev., 36, 57 (1930). <sup>2</sup> Е. Кондон и Г. Шортли, Теория атомных спектров, М.—Л., 1949, стр. 232. <sup>3</sup> И. С. Шкловский, Солнечная корона, 1951, стр. 247. <sup>4</sup> Ch. E. St. John et al., Revision of Rowlands Preliminary Table etc., 1928. <sup>5</sup> Г. А. Шайн и П. Ф. Шайн, Изв. Крымск. астрофиз. обс., 4, 51 (1950). <sup>6</sup> M. Minnaert et al., Photometric Atlas of the Solar Spectrum etc., Utrecht, 1940; Allen, Ap. J., 88, 125 (1938). <sup>7</sup> Д. Н. Mentzel et al., ibid., 91, 320 (1940).