

А. Б. СЕВЕРНЫЙ

## ОПЫТ ФОСФОРОФОТОРАФИРОВАНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ПРОТУБЕРАНЦЕВ В ИНФРАКРАСНЫХ ЛУЧАХ

(Представлено академиком Г. А. Шайном 9 XI 1950)

При визуальных наблюдениях (например, в спектрогелиоскоп) наиболее ярко светящиеся в линии гелия  $D_3$  ( $\lambda$  5876 Å) протуберанцы часто представляются в виде невысоких конусообразных выступов, лишенных заметных структурных особенностей. Рис. 1 воспроизводит фотографию такого протуберанца в линии  $D_3$ , полученную нами с помощью работающего на обсерватории интерференционно-поляризационного фильтра типа Лио, недавно описанного нами (<sup>1</sup>). На рис. 2 приведена спектрограмма линии  $D_3$  такого характерного протуберанца, полученная с помощью спектрогелиоскопа со спектрографом (<sup>2</sup>). Довольно интенсивное временами свечение протуберанцев в линии  $D_3$  (переход  $3^3D - 2^3P^0$ ), которое, кстати, далеко не всегда сопровождается интенсивным их свечением в водородной линии  $H_\alpha$  ( $\lambda$  6563 Å), позволяет ожидать не менее интенсивного свечения протуберанцев в инфракрасной линии гелия  $\lambda$  10830 Å, соответствующей переходу  $2^3P^0 - 2^3S$  в «основное» (метастабильное) состояние ортогогелия.

Осуществленный недавно А. Б. Гильваргом (Институт кристаллографии АН СССР) и автором интерференционно-поляризационный фильтр из кварца позволяет при параллельном расположении первой пары поляризаторов выделить одновременно два излучения солнечной короны  $\lambda\lambda$  10747 и 10798 Å, принадлежащие дублету Fe XIII, а при скрещенном расположении указанных поляризаторов фильтр пропускает линию гелия  $\lambda$  10830 Å. Полуширина полос пропускания для указанных излучений  $\simeq 6$  Å. На рис. 3 приведена фотография протуберанца в линии  $\lambda$  10830 Å, полученная на коронографе с помощью только что указанного фильтра и вспышечного фосфора, помещенного в контакт с эмульсией фотопластинки (о вспышечных фосфорах см. (<sup>3</sup>)).

Несмотря на расплывчатые очертания протуберанца, обусловленные отчасти длительной экспозицией (доходящей до 10 мин.), а отчасти зерном фосфора, подобные фотографии доступны для фотометрической обработки. С этой целью на пластинку с изображением протуберанца впечатывается ослабленное изображение центра солнечного диска в той же длине волны. Отсутствие вуали, обусловленное употреблением фосфора после исчезновения фосфоресценции, позволяет достаточно уверенно оценить и исключить влияние околосолнечного ореола. Для интенсивности ореола в единицах интенсивности центра солнечного диска мы получили в среднем (по 8 фотографиям) значение 0,003 (с отклонениями до 0,01 и 0,0007 для отдельных дней). Заметим попутно, что измерения интенсивности ореола в лучах водородной линии  $H_\alpha$  ( $\lambda$  6563 Å) дают в среднем значение в 7–10 раз

большее, т. е. такое, какого и следовало бы ожидать при справедливости закона Рэлея в области длин волн  $\lambda\lambda$  6000—11000 Å. Для относительной интенсивности протуберанца (в тех же единицах) мы получили значение 0,0059, что при полосе пропускания нашего фильтра в  $\sim 12$  Å соответствует эквивалентной ширине  $\simeq 0,07$  Å. Так как интенсивность непрерывного спектра Солнца в этой длине волны  $\lambda$  10830 Å составляет  $1,03 \cdot 10^6$  эрг/см·сек·1 Å, то интенсивность свечения протуберанца в линии гелия  $\lambda$  10830 Å будет составлять приблизительно  $7 \cdot 10^4$  эрг/см·сек·1 Å, что совпадает по порядку величины с энергией, излучаемой протуберанцами средней яркости в лучах водородной линии  $H_\alpha$ .

Пренебрегая самопоглощением, сравним энергии, излучаемые при переходах  $p \rightarrow s$  ортогелия и  $3 \rightarrow 2$  водорода. Для отношения энергий будем иметь

$$\frac{E_{ps}}{E_{32}} = \frac{n_s}{n_2} \frac{g_p}{g_s} \frac{g_2}{g_3} \frac{\nu_{ps}}{\nu_{32}} \frac{A_{ps}}{A_{32}} e^{-\frac{\chi_{ps} - \chi_{32}}{kT}}, \quad (1)$$

если использовать формулу Больцмана для отношений чисел атомов  $n_p/n_s$  и  $n_3/n_2$  в смежных состояниях с сравнительно небольшими разностями потенциалов возбуждения  $\chi_{ps}$  и  $\chi_{32}$ . Здесь  $g$  — веса состояний,  $\nu$  — частоты, а  $A$  — вероятности соответствующих переходов. Хотя условия в протуберанцах далеки от условий локального термодинамического равновесия, попытаемся сначала оценить отношение чисел ионов гелия  $n'_1$  и водорода  $n_1$  с помощью формулы Саха — Больцмана для гелия и водорода

$$\frac{n'_1 n_e}{n_s} = \frac{g'_0}{g_s} K e^{-\frac{\chi'_0 - \chi_{0s}}{kT}}, \quad \frac{n_1 n_e}{n_2} = \frac{g_0}{g_2} K e^{-\frac{\chi_0 - \chi_{02}}{kT}},$$

$$K \equiv 2 \frac{(2\pi m k T)^{3/2}}{h^3}, \quad (2)$$

где  $\chi'_0$  и  $\chi_0$  — потенциалы ионизации, а  $\chi_{0s}$  и  $\chi_{02}$  — потенциалы возбуждения гелия и водорода. Исключив  $n_s$  и  $n_2$  из уравнений (1) и (2), для отношения  $n'_1/n_1$  получим

$$\frac{n'_1}{n_1} = \frac{g'_0}{g_0} \frac{g_3}{g_p} \frac{\nu_{32}}{\nu_{ps}} \frac{A_{32}}{A_{ps}} \frac{E_{ps}}{E_{32}} e^{-\frac{(\chi'_0 - \chi_0) + (\chi_{32} - \chi_{ps}) - (\chi_{20} - \chi_{s0})}{kT}}. \quad (3)$$

Используя для вероятности перехода  $p \rightarrow s$  и весов состояний ортогелия данные Гольдберга (4) и приняв  $T = 5000^\circ \text{K}$ , получим  $(n'_1/n_1)_{\lambda=10830 \text{ Å}} = \frac{1}{6,4} \frac{E_{ps}}{E_{32}}$ . Так как водород и гелий в протуберанцах находится, в основном, в однократно ионизированном состоянии (5) и, как показывают наши измерения, величины  $E_{ps}$  и  $E_{32}$  одного порядка, то для относительного изобилия гелия получается значение  $\simeq 16\%$ , в полном соответствии с недавними оценками Унзоляда (6) и Мензела (7) для относительного обилия гелия в атмосфере Солнца (18—20%). Это подтверждается нашими измерениями спектрограмм линии  $D_3$  для 5 характерных протуберанцев, которые дают в среднем для эквивалентной ширины линии  $D_3$  ( $\lambda$  5876 Å) значение 0,005, т. е. значение в  $\sim 10$ —15 раз меньшее, чем для  $\lambda$  10830 Å, в то время как аналогичный расчет по формулам (1) и (2) дает  $(n'_1/n_1)_{D_3} = \frac{1}{1,2} \frac{E_{Dp}}{E_{32}} \simeq 10\%$ .

Если теперь принять во внимание возможные отклонения от термодинамического равновесия путем введения вместо функции  $\chi/kT$  функции возбуждения  $\Phi(\chi)$ , для которой имеются оценки Унзоляда<sup>(6)</sup>, то для отношений  $n'_1/n_1$  получаются еще более высокие значения, так что приведенная нами оценка представляет собой нижний предел.

Крымская астрофизическая обсерватория  
Академии наук СССР  
Симеиз

Поступило  
4 XI 1950

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> А. Б. Гильварг и А. Б. Северный, Изв. Крымск. астрофиз. обсерватории, 6 (1950). <sup>2</sup> А. Б. Северный, там же, 4, 191 (1949). <sup>3</sup> В. В. Антонов-Романовский, В. Л. Левшин, З. Л. Моргенштерн и З. А. Трапезникова, ДАН, 54, № 1 (1946). <sup>4</sup> L. Goldberg, Aph. Journ., 90, 414 (1939). <sup>5</sup> И. С. Шкловский, ДАН, 68, № 6 (1949). <sup>6</sup> A. Unsöld, Zs. f. Aph., 24, H. 1—2, 22 (1947). <sup>7</sup> Л. Гольберг и Л. Аллер, Атомы, звезды, туманности, гл. VI, 1948.

Рис. 1



Рис. 2

Копировано А. И. Ардашев, Г. В. Сажин и Т. П. Чукаев, стр. 112.

УДК

