

АСТРОНОМИЯ

А. Б. СЕВЕРНЫЙ

**ОПЫТ ФОСФОРОФОТОИ РАФИРОВАНИЯ СОЛНЕЧНЫХ
ПРОТУБЕРАНЦЕВ В ИНФРАКРАСНЫХ ЛУЧАХ**

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

При визуальных наблюдениях (например, в спектрографион) наиболее ярко светящиеся в линии гелия D_3 (λ 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 (¹). На рис. 2 приведена спектrogramма линии D_3 такого характерного протуберанца, полученная с помощью спектрографа со спектрографом (²). 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_α (λ 6563 Å), позволяет ожидать не менее интенсивного свечения протуберанцев в инфракрасной линии гелия λ 10830 Å, соответствующей переходу $2^3P^0 - 2^3S$ в «основное» (метастабильное) состояние ортогелия.

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 λ 10830 Å. Полуширина полос пропускания для указанных излучений ≈ 6 Å. На рис. 3 приведена фотография протуберанца в линии λ 10830 Å, полученная на коронографе с помощью только что указанного фильтра и вспышечного фосфора, помещенного в контакт с эмульсией фотопластиинки (о вспышечных фосфорах см. (³)).

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_α (λ 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 $\lambda \lambda 6000-11000 \text{ \AA}$. Для относительной интенсивности протуберанца (в тех же единицах) мы получили значение 0,0059, что при полосе пропускания нашего фильтра в $\sim 12 \text{ \AA}$ соответствует эквивалентной ширине $\approx 0,07 \text{ \AA}$. Так как интенсивность непрерывного спектра Солнца в этой длине волны $\lambda 10830 \text{ \AA}$ составляет $1,03 \cdot 10^6 \text{ эрг/см}\cdot\text{сек}\cdot1 \text{ \AA}$, то интенсивность свечения протуберанца в линии гелия $\lambda 10830 \text{ \AA}$ будет составлять приблизительно $7 \cdot 10^4 \text{ эрг/см}\cdot\text{сек}\cdot1 \text{ \AA}$, что совпадает по порядку величины с энергией, излучаемой протуберанцами средней яркости в лучах водородной линии H_α .

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

$$\frac{E_{ps}}{E_{32}} = \frac{n_s}{n_3} \frac{g_p}{g_s} \frac{g_2}{g_3} \frac{\nu_{ps}}{\nu_{32}} \frac{A_{ps}}{A_{32}} e^{-\frac{\chi_{ps} - \chi_{32}}{kT}}, \quad (1)$$

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 χ_{ps} и χ_{32} . Здесь g — веса состояний, ν — 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

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

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

где χ'_0 и χ_0 — потенциалы ионизации, а χ_{0s} и χ_{02} — потенциалы возбуждения гелия и водорода. Исключив n_s и n_2 из уравнений (1) и (2), для отношения n'_1/n_1 получим

$$\frac{n'_1}{n_1} = \frac{g'_0}{g_0} \frac{g_3}{g_2} \frac{\nu_{32}}{\nu_{ps}} \frac{A_{32}}{A_{ps}} \frac{E_{ps}}{E_{32}} e^{-\frac{(\chi'_0 - \chi_0) + (\chi_{32} - \chi_{ps}) - (\chi_{02} - \chi_{0s})}{kT}}. \quad (3)$$

Используя для вероятности перехода $p \rightarrow s$ и весов состояний ортогелия данные Гольдберга (4) и приняв $T = 5000^\circ \text{K}$, получим $(n'_1/n_1)_{\lambda=10830 \text{ \AA}} = \frac{1}{6,4} \frac{E_{ps}}{E_{32}}$. 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 $\approx 16\%$, в полном соответствии с недавними оценками Унзольда (6) и Мензела (7) для относительного изобилия 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 ($\lambda 5876 \text{ \AA}$) значение 0,005, т. е. значение в $\sim 10-15$ раз меньшее, чем для $\lambda 10830 \text{ \AA}$, в то время как аналогичный расчет по формулам (1) и (2) дает $(n'_1/n_1)_{D_3} = \frac{1}{1,2} \frac{E_{D3}}{E_{32}} \approx 10\%$.

Если теперь принять во внимание возможные отклонения от термодинамического равновесия путем введения вместо функции χ / kT функции возбуждения $\Phi(\chi)$, для которой имеются оценки Унзольда⁽⁶⁾, 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

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

Рис. 1

Рис. 2

Рис. 3

К статье В. Н. Арсеньев, Е. В. Соколов и Т. П. Чукина, стр. 213.

780