

СПЕКТР Fe X  $\lambda$  6374 Å  
В МОМЕНТ БЕЛОЙ ЛИМБОВОЙ ВСПЫШКИThe Fe X  $\lambda$  6374 Å Spectrum During a White-Light Limb Flare

**Abstract.** A white limb flare occurred during the exposure range of Fe X  $\lambda$  6374 Å. Intensity of the continuum has been used to determine the electron density. The red coronal line has not responded to the flare.

Описывается редкий случай в практике солнечных наблюдений. Событие произошло 11.07.1971 г. в 1h 01m – 2h 02m UT. Служба Солнца проведена была в это время только в Австралии (Culgoora) и частично в Уссурийске (УАФО ДВО РАН). На Рис. 1 выборочно приведены фрагменты наблюдений согласно Culgoora. По счастливой случайности нам удалось частично наблюдать это событие в спектре. На Большом Внезатменном Коронографе Саянской обсерватории с круговой щелью, охватывающей по лимбу  $\sim 45^\circ$ , производились наблюдения спектра линии  $\lambda$  6374 Å во внутренней короне на высоте  $h_1 = 15''$  ( $0.02 R_\odot$ ). «Выброс» из-за края начался в момент, когда происходила экспозиция спектра (40 с) в районе W-экватора. Образование стремительно росло по высоте и увеличивалось в поперечнике. Всё это было видно невооружённым глазом в белом свете. Были сделаны ещё снимки на высотах  $h_2 = 30''$ ,  $h_3 = 45''$  и  $h_4 = 60''$  (см. Рис. 2), а также несколько экспозиций на линию H $\alpha$ , которая в основном оказалась передержанной. Погодные условия, к сожалению, не позволили продолжить наблюдения в других линиях. Непрерывная эмиссия в месте «выброса» была зафиксирована на высоте  $h_1$  (см. Рис. 2а) и едва заметна на высоте  $h_2$ , через 8 минут (нет уверенности в точности времени, которое отмечалось по обычным часам).

В первичном списке CGD вспышка отнесена к классу C балла 1N, однако в список подтверждённых она не попала (не было наблюдений другими обсерваториями). По данным CGD вспышка сопровождалась явлениями в радиодиапазоне, повышенным X-излучением в широком диапазоне (см. Рис. 3), максимум которого практически совпал с максимумом свечения в H $\alpha$ . Протоны  $> 60$  МэВ были зарегистрированы только около 5h UT, когда Земля вошла в канал распространения СКЛ в межпланетном пространстве (Дворников В.М. и др., 1984, Изв. АН СССР Сер. физ., **48**, 2140). На Рис. 4а, б показаны скорость роста образования в высоту и изменение его высоты со временем, оценённые по наблюдениям Culgoora. Максимальная высота петли в картинной плоскости достигает  $\sim 50\,000$  км, а ширина в 1h 30m UT у основания  $> 70\,000$  км.

Надо полагать, что вспышка произошла за лимбом в группе, которая зашла за край днём раньше. Тогда высота с учётом её части, скрытой за лимбом, может быть в пределах 97 000–144 000 км в зависимости от места выброса. На Рис. 2а видно, что эмиссия в непрерывном спектре имеет чёткую градацию по позиционному углу. Оценки интенсивности непрерывного спектра с применением метода, описанного в (Grotrian W., 1934, Z. Astrophys., **8**, 124; Rybanský M., 1971, BAICz, **22**, No. 5, 321) в предположении

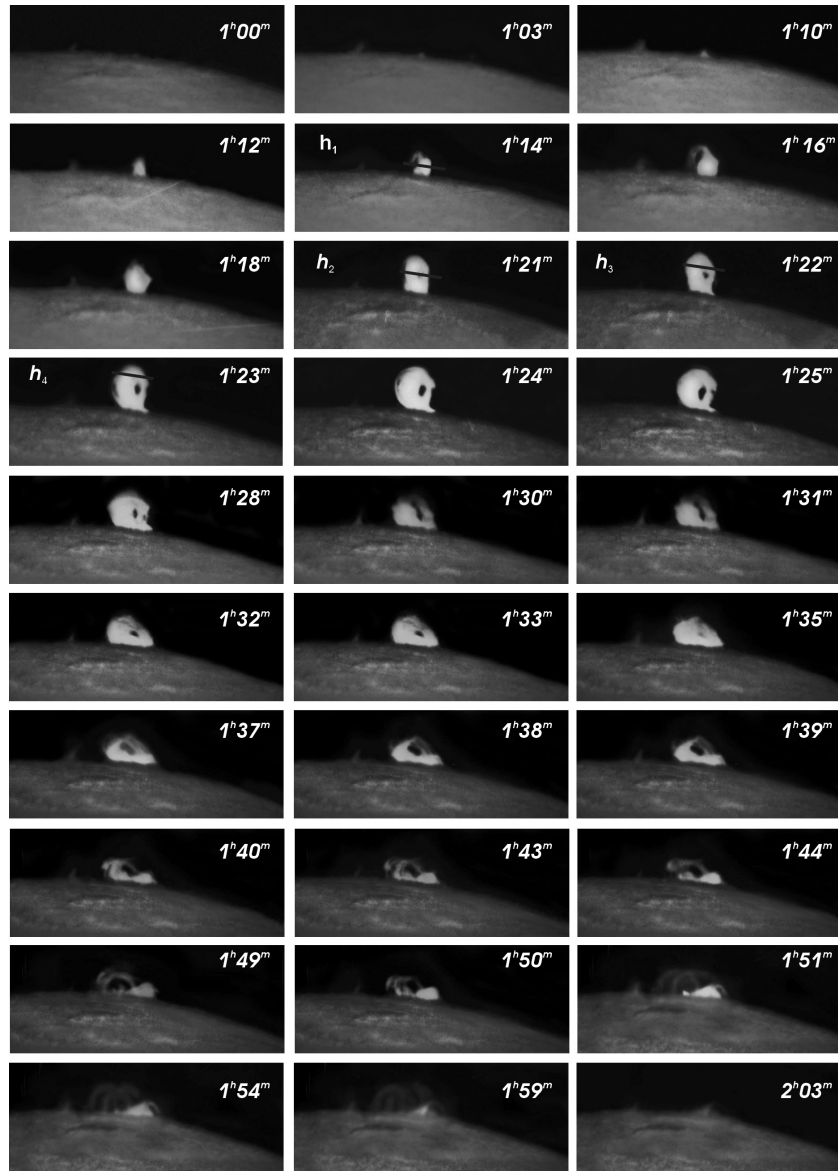


Рис. 1: Фрагменты развития лимбовой вспышки 11.07.1971 г. Линиями параллельными лимбу обозначено положение щели спектрографа во время наших наблюдений.

Томсоновского рассеяния на электронах привели к величине  $n_e \sim 10^{12} \text{ см}^{-3}$ . При этом размер образования по лучу зрения предполагался равным размеру в картинной плоскости. Другой информации для оценки электронной концентрации мы не имели, т.к. располагали спектром в красной области только в диапазоне  $\sim 25 \text{ \AA}$ . Фотометрическая обработка спектров  $\lambda 6374 \text{ \AA}$  на разных высотах позволила получить распределения лучевых скоростей, интенсивностей и полуширин красной линии короны в окрестности и месте вспышки (Рис. 5а, б, в). Известно, что корона реагирует на вспышку повышением яркости зелёной линии и свечением высокотемпературных жёлтых линий кальция ( $T \sim 4 \times 10^6 \text{ K}$ ) (Н. Zirin, 1964, ApJ, **140**, 1216). Согласно (Е. Antonucci, М.А. Dodero, 1995, ApJ, **438**, 480) в поствспышке выше вспышечных петель начинают светиться ещё более высокотемпературные линии мягкого рентгена,  $(6 - 25) \times 10^6 \text{ K}$ .

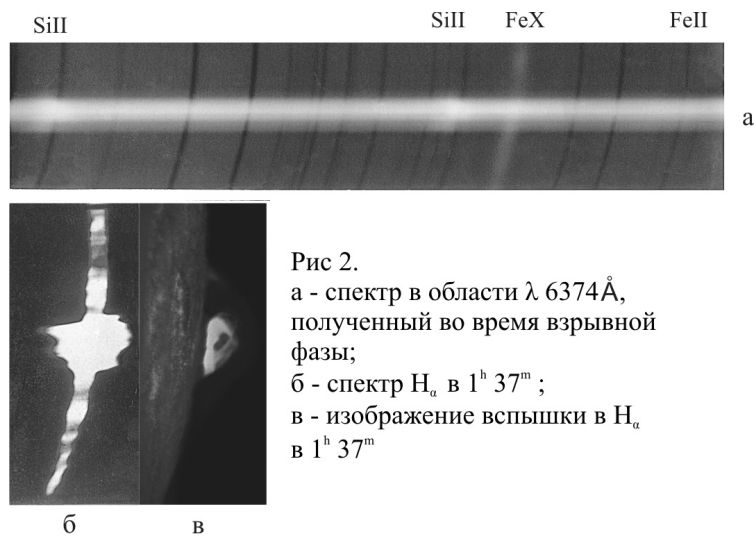


Рис 2.  
 а - спектр в области  $\lambda 6374\text{\AA}$ ,  
 полученный во время взрывной  
 фазы;  
 б - спектр  $H_{\alpha}$  в  $1^{\text{h}} 37^{\text{m}}$  ;  
 в - изображение вспышки в  $H_{\alpha}$   
 в  $1^{\text{h}} 37^{\text{m}}$

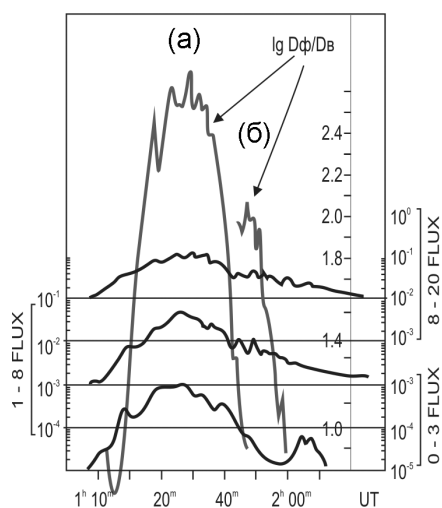


Рис. 3: X-излучение, зарегистрированное в течение вспышки 11.07.1971 г.; а – световая кривая вспышки, б – изменение яркости шипа, заметного на спаде вспышки.

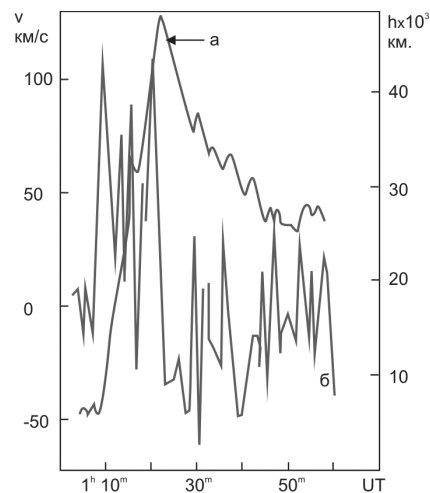


Рис. 4: Вариации высоты (а) и скорости роста по высоте (б) эмиссии вспышки в  $H_{\alpha}$ .

Только одно замечание относительно реакции красной линии на вспышку мы находим в той же работе (Н. Zirin, 1964, ApJ, **140**, 1216): «красная линия не усилена, поэтому можно думать, что материя в предвспышке находится или при температуре эмиссии  $Ca XV$  ( $4 \times 10^6 K$ ), или при температуре эмиссии  $H_{\alpha}$  ( $30\,000 K$ ). Предпочтительно первое.» Согласно нашим результатам, также нельзя сказать, что красная корона отреагировала на вспышку повышением интенсивности. Наоборот, в позиционных углах, занимаемых вспышкой на высоте  $h_4$  (Рис. 5а) наблюдается тенденция к понижению интенсивности линии  $\lambda 6374 \text{\AA}$ . Это может быть обусловлено тем, что вспышка непрозрачна и мы принимаем излучение короны по лучу зрения только от пространства перед вспышкой. Возможно также, что уменьшилось количество плазмы, светящейся в  $\lambda 6374 \text{\AA}$  из-за повышения  $T$  (Н. Zirin, 1964, ApJ, **140**, 1216). По этим же причинам может произойти и уменьшение полуширин на всех высотах в короне в

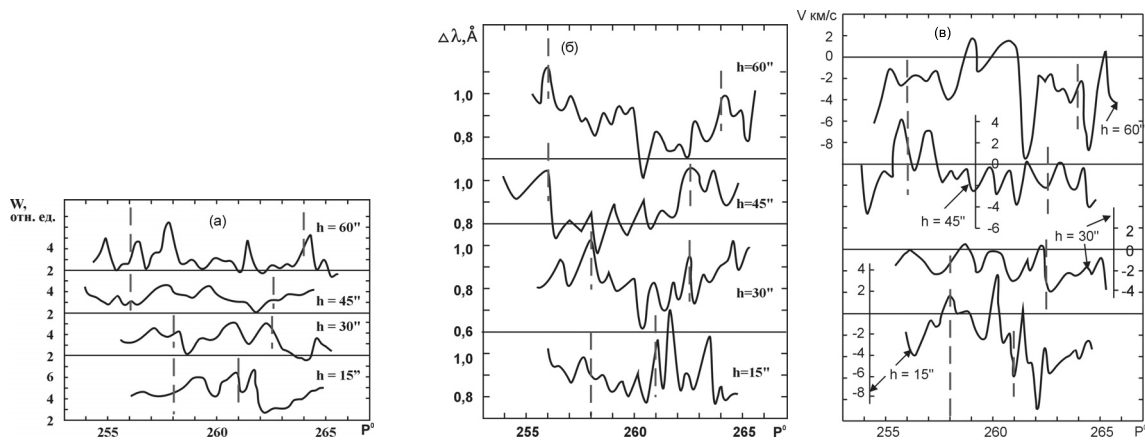


Рис. 5: Распределение интенсивностей  $\lambda 6374 \text{ \AA}$  в окрестности вспышки на разных высотах (а), полуширин (б) и лучевых скоростей (в). Пунктирными вертикалями обозначено положение вспышки.

пространстве перед вспышкой (Рис. 5б). Однозначно интерпретировать это пока затруднительно, желательны одновременные наблюдения в других корональных линиях. Лучевые скорости (Рис. 5в) преимущественно отрицательные. Это тоже можно понять с точки зрения непрозрачности вспышки и наличия горизонтальных движений по лучу зрения в направлении к нам во время увеличения общего объёма тела вспышки.

Интересен снимок в  $\text{H}\alpha$ , сделанный в 1h 37m на уровне хромосферы (Рис. 2б). Надо сказать, что когда после первого снимка спектра  $\lambda 6374 \text{ \AA}$  мы настроились на спектр  $\text{H}\alpha$ , то линия в месте вспышки имела «усы», занимающие всё поле зрения в кадре ( $\sim 25 \text{ \AA}$ ). Если это было вызвано горизонтальными движениями по лучу зрения в обе стороны, то скорости достигали  $\sim 1000 \text{ км/с}$ . В 1h 37m, как видим, ширина линии значительно уменьшилась. К сожалению, спектр переэкспонирован, и обработать его не удалось. В позиционных углах, прилегающих к месту вспышки, в линии  $\text{H}\alpha$  видны неоднородности, наклонные к направлению дисперсии. Это может быть в результате винтового движения (жгут?) в направлении, не совпадающем с лимбом и проектирующемся на него. На изображениях в  $\text{H}\alpha$  через несколько минут (начиная с 1h 45m и далее) мы видим начавшийся обозначаться арочный тоннель.

На Рис. 2а видно, что на фоне непрерывного спектра засветились ещё три эмиссионные линии. Это дублет  $\text{Si II } 6347, 6371 \text{ \AA}$  и линия  $\text{Fe II } 6383 \text{ \AA}$ . Полуширины этих линий велики, от  $1.56$  до  $1.87 \text{ \AA}$ . Если расширение линий считать нетермическим, то оценки нетермических скоростей при температуре, равной максимальной температуре возбуждения этих линий, дают величины порядка  $50 \text{ км/с}$ . Лучевые скорости все отрицательные, но по величине превосходят скорости  $\text{Fe X}$ . На различных высотах они меняются от  $-10 \text{ км/с}$  до  $-40 \text{ км/с}$ . Любопытно, что хромосферные линии дублета  $\text{Si II}$  характеризуются существенно разными по величине как ширинами, так и лучевыми скоростями.

Резюме:

1. Наше наблюдение лимбовой вспышки 11.07.1971 г. позволяет утверждать, что свечение непрерывного спектра происходит на корональных высотах в атмосфере Солнца.
2. В предположении Томсоновского рассеяния света на электронах концентрация их в рассматриваемой вспышке на высоте  $\sim 11\,000$  км составляет  $\sim 10^{12}$  см $^{-3}$ .
3. Уменьшение полуширин  $\lambda\,6374$  Å в месте вспышки может быть обусловлено меньшим количеством вещества на луче зрения перед непрозрачным телом вспышки.

ИСЗФ СО РАН Россия, 664033,  
Иркутск, Лермонтова, 126-а  
*tyagun@mail.ru*

Н.Ф. Тягун  
N.F. Tyagun

Поступила 24 января 2013 г.