

АНАЛИЗ ДИНАМИКИ РАЗВИТИЯ ВСПЫШКИ SOL2013-05-17

**Купряков Ю.А.^{1,2}, Бычков К.В.², Горшков А.Б.²,
Малиутин В.А.², Белова О.М.²**

¹*Астрономический ин-т ЧАН, Ондřejев, Чешская Республика*

²*Астрономический институт им. П.К. Штернберга, МГУ им. М.В. Ломоносова,
Москва, Россия*

ANALYSIS OF THE DYNAMICS OF THE SOLAR FLARE SOL2013-05-17

**Kupryakov Yu.A.^{1,2}, Bychkov K.V.², Gorshkov A.B.²,
Maliutin V.A.², Belova O.M.²**

¹*Astronomical Institute ASCR, Fričova 298, 251 65 Ondřejov Czech Republic*

²*Sternberg Astronomical Institute, Moscow State University, Moscow, Russia*

The flare SOL2013-05-17 was observed by us at the Astronomical Institute of the Czech Academy of Sciences on HSFA-2 – a horizontal facility for solar research. We obtained spectra in the lines CaII H, H α , H β , D3, H ϵ and CaII IR 8542 Å. After processing the spectra, integral radiation fluxes in the lines of hydrogen, helium and calcium were determined for 6 time episodes. Within the framework of the heated gas model, a theoretical calculation of the plasma parameters was performed taking into account the physical conditions in the chromosphere, including self-absorption in spectral lines. As a result of the calculations, it was possible to achieve full agreement between the observed and theoretical fluxes. A comparison of six lines of hydrogen, helium and ionized calcium at once made it possible to reconstruct the temperature, density, turbulent velocity and spatial structure of the radiating gas with a high degree of confidence. The physical parameters of the solar flare elements were determined and an analysis of the processes was performed. To explain the observed flows, it was necessary to consider 3 gas layers oriented across the line of sight, with their own individual parameters. The plasma concentration of an individual layer varies within the range of $2.0 \cdot 10^{12}$ – $1.0 \cdot 10^{13}$ cm⁻³, the height is 5000–7000 km, the temperature is 5000–8450 K, the turbulent velocity is 50–200 km/s.

<https://doi.org/10.31725/0552-5829-2024-209-212>

Введение

Вспышки в зависимости от занимаемой площади и величины эмиссии подразделяются на два основных класса: небольшие компактные и двухленточные вспышки. В компактных вспышках корональное излучение появляется в предвспышечных петлях, в результате чего наблюдаются небольшие изменения в этих петлях. Более мощные вспышки этого класса могут захватывать полностью всю структуру петли.

В двухленточных вспышках активизация солнечной атмосферы происходит более драматично, при этом изменения в крупномасштабной структуре активной области наблюдаются задолго до вспышечной фазы. Волокна, часто расположенные параллельно нейтральной линии магнитного поля, начинают быстро разрушаться, после чего наступает вспышечная

фаза. В линии $H\alpha$ эта фаза отмечается уярчением двух узких лент по обе стороны от нейтральной линии, которые дают название этому типу вспышек. Наблюдения в мягких рентгеновских лучах и в EUV показывают, что эти $H\alpha$ ленты являются подножиями аркады ярких корональных петель, далеко отстоящими от нейтральной линии.

В работе [1] исследована динамика сверхгорячей плазмы (>30 МК) в эруптивной солнечной вспышке X-класса и неэруптивной однопетлевой солнечной вспышке C-класса. Показано, что для выполнения энергетического баланса и формирования сверхгорячей плазмы во вспышечной области в обоих случаях необходимо рассматривать подавленную на порядок теплопроводность по сравнению с классическим значением. Анализ тепловой и нетепловой компонент рентгеновских спектров солнечной вспышки показал, что динамика термодинамических параметров сверхгорячей плазмы связана с параметрами степенного спектра ускоренных электронов. Это свидетельствует о формировании популяции ускоренных электронов со степенным спектром тепловых электронов сверхгорячей плазмы. Также выявлена тонкая структура вспышечных лент по $H\alpha$ наблюдениям телескопа NST обсерватории BBSO [2]. Наблюдения показали, что вспышечные ленты организованы в виде тонкой цепочки уярчений с характерным размером ~ 100 км. Формирование таких уярчений может быть связано с диссипацией электрических токов в нижних слоях солнечной атмосферы.

Наблюдения

Все спектральные наблюдения были получены нами на обсерватории Чешской Академии Наук (Ondřejov) на горизонтальном солнечном телескопе Horizontal-Sonnen-Forschungs-Anlage (HSFA-2). Главное зеркало телескопа имеет диаметр 500 мм и фокусное расстояние 35 м.

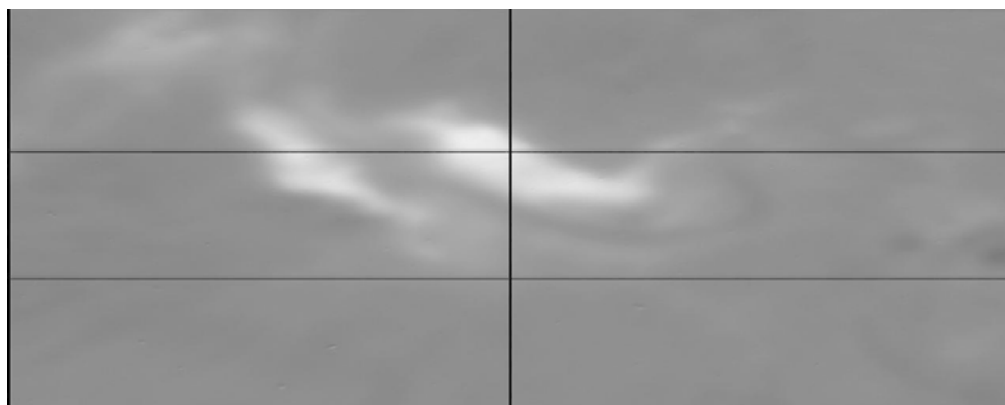


Рис. 1. Вид вспышки в линии $H\alpha$, активная область NOAA 11748, координаты N12E22, момент 09:00:45 UT. Вертикальная линия соответствует положению щели спектрографа, две горизонтальные линии служат для определения масштаба.

Наша задача состояла в определении потоков излучения в линиях CaII H, H ϵ , H β , D3, H α и CaIR 8542 Å, а также теоретическом расчете параметров плазмы для вспышки M3.2 17 мая 2013 года в активной области NOAA 11748. Начало вспышки соответствовало 08:43, максимум 08:57 и окончание 09:19 UT. Для обработки мы выбрали 6 моментов времени в указанном интервале.

Вычисление потоков

Детали расчётов приведены нами в работе [3]. Мы вначале произвели редукцию спектров с учетом снимков темного и плоского поля и получили профили линий в координатах интенсивность $\text{erg}/(\text{s}/\text{cm}^2 \text{ \AA ster})$ – длина волны Å, а затем определили значение самих потоков в линиях в $\text{erg}/\text{s}/\text{cm}^2$ (см. рис. 2, 3).

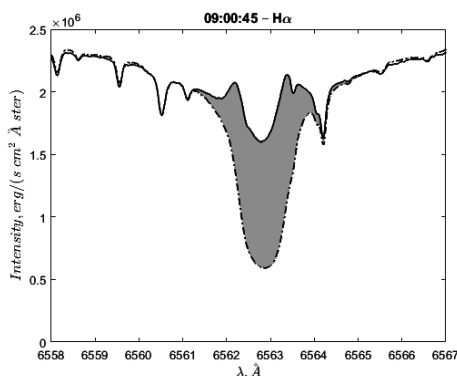


Рис. 2. Профиль линии H α в координатах интенсивность $\text{erg}/(\text{s}/\text{cm}^2 \text{ \AA ster})$ – длина волны Å. Заштрихованная часть – поток в линии.

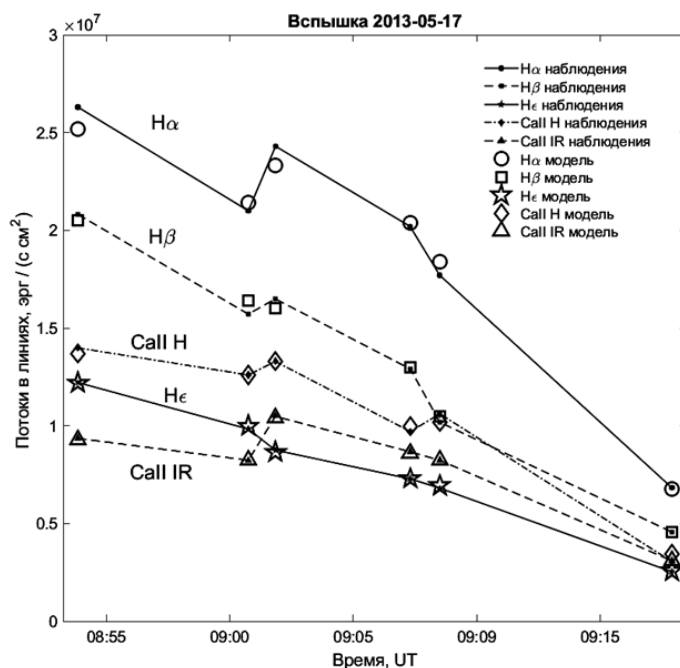


Рис. 3. Наблюдаемые и теоретические значения потоков.

Отметим, что линия HeI D3 наблюдалась в поглощении (отрицательный поток), поэтому мы проводили расчеты потоков линий в излучении таким образом, чтобы поток в линии гелия был близким к нулю, $<10^3$ эрг/см²/с, а потоки в бальмеровской серии и у кальция совпадали с наблюдаемыми до 5%. Удивительно, но все моменты времени потребовали именно по 3 газовых слоя. В работе [4] отлично можно наблюдать подобные слои. В первых четырех моментах и абсолютные, и относительные потоки нам удалось объяснить с точностью 5%. В пятом моменте времени 09:08:30 UT удавалось подобрать 4 линии с точностью 1% кроме CaII H: резонансная линия кальция получилась на 15% слабее нужного. Мы решили изменить параметры слоев, чтобы теоретические абсолютные потоки лежали в 5%-ом интервале. В итоге H α получилась ярче наблюдаемой на 4%, а CaII H – на 4% слабее наблюдаемой. Таким образом, абсолютные потоки укладываются в ошибку 4%, но относительный поток $F(H\alpha)/F(CaII H)$ отличается от наблюдаемого на 8%. В шестом моменте 09:17:54 UT ситуация аналогичная: поток CaII H в этот момент времени получился ярче требуемого на 14%. Наблюдаемые и теоретически рассчитанные потоки излучения в линиях приведены на рис. 3.

Дискуссия и выводы

Для объяснения наблюдаемых потоков потребовалось рассмотреть 3 газовых слоя, ориентированных поперек луча зрения, со своими индивидуальными параметрами. Концентрация плазмы отдельного слоя варьируется в пределах $2.0 \cdot 10^{12} - 1.0 \cdot 10^{13}$ см⁻³, высота 5000–7000 км, температура 5000–8450 К, турбулентная скорость 50–200 км/с.

Скорее всего, эти слои находятся в магнитных трубках (жгуты) и изолированы друг от друга магнитным полем.

Литература

1. Шарыкин И.Н., Струминский А.Б., Зимовец И.В. // Письма в Астрон. журн. 2015. Т. 41. С. 57–71.
2. Sharykin I.N., Kosovichev A.G., Zimovets I.V. // Astrophys. J., 807:102.
3. Купряков Ю.А., Бычков К.В., Белова О.М. и др. // Вестник Московского университета. Серия 3: Физика, астрономия. 2024, Т. 79, № 2, С. 2420801.
4. Mrozek T., Li Z., Karlický M. et al. // Solar Physics, 2024, 299, 81.