

Shock waves in solar atmosphere
Fisenko M. (Russian Federation)
Ударные волны в солнечной атмосфере
Фисенко М. И. (Российская Федерация)

*Фисенко Михаил Иванович / Fisenko Mikhail – старший научный сотрудник,
лаборатория магнитной гидродинамики,
Уссурийская астрофизическая обсерватория
Дальневосточное отделение Российской Академии наук,
г. Уссурийск, с. Горнотаежное*

Аннотация: сделано открытие ударных волн при наблюдениях солнца как звезды квази-нулевым методом. Ударные волны связаны с солнечными вспышками в $H\alpha$. Показано, что амплитуда ударных волн падает к краю солнца, из этого следует, что эти волны являются глобальными. Делается вывод, что появление этих волн возможно связано со взрывами в глубоких слоях солнца.

Abstract: the discovery of shock waves at observations sun like stars quasi-zero method. Shock waves associated with solar flares in $H\alpha$, it is shown that the amplitude of shock waves decreases to the edge of the sun, it follows that these waves are global. The conclusion is that the appearance of these waves may be connected with explosions in the deeper layers of the sun.

Ключевые слова: ударные волны, солнечные вспышки, глобальные волны, взрывы в глубоких слоях солнца.
Keywords: shock waves, solar flares, the global wave of explosions in the deep layers of the sun.

Солнечные вспышки являются наиболее энергичными событиями в солнечной системе, но по сравнению с общей мощностью солнца они едва заметны. Авторами [1] показано, что общая энергия, излучаемая вспышкой, превышает на два порядка величину энергии вспышки, излучаемой в мягкой рентгеновской области. Вспышка дает большой вклад в видимую область солнечного спектра. Эти результаты имеют значение для нашего понимания солнечно-вспышечной активности и изменчивости нашей звезды. Ими также показано, что вспышки происходят на фоне звуковых волн в фотосфере и непрерывных колебаний грануляции. В течение длительного периода солнечный поток считался постоянным, и только недавно спутниковые эксперименты показали, что он меняется непрерывно. На изменения солнечного потока влияют подповерхностная конвекция на солнце и эруптивные события. На самых коротких интервалах времени колебания с периодом 300 сек. дают вклад в поток солнца 0.003% и самые сильные солнечные вспышки до 0.015% [2]. Исходя из этого, на наш взгляд, целесообразна попытка поиска подобных колебаний в глобальном потоке солнца, как звезды, и возможной связи колебаний с явлениями солнечной активности.

Измерения потока солнца проведены на горизонтальном солнечном телескопе АЦУ –5 в параллельном пучке в период с 1980 по 1984 г. г., длина волны максимальной чувствительности приемника излучения 1.6 мкм. При измерениях был использован нулевой (компенсационный) метод, из сигнала вычиталась постоянная составляющая, а оставшаяся часть усиливалась.

Инфракрасное излучение на солнце возникает в условиях термодинамического равновесия и характеризуется истинной кинетической температурой. Оно образуется в различных слоях солнечной атмосферы от самых глубоких, наблюдаемых на 1.6 мкм частей фотосферы до уровня температурного минимума в хромосфере, наблюдаемого в миллиметровой области. Из-за ограниченного пространственного разрешения многих инфракрасных измерений в качестве хорошей оценки $B_\lambda(\mu=1)$ часто берётся F_λ , поскольку значение $R_\lambda(\mu)$ по поверхности диска мало меняется из-за малости градиента $\partial T(\tau_\lambda=1) / \partial \lambda$. $B_\lambda(\mu=1)$ - монохроматическая яркость в центре диска, F_λ - полный солнечный поток и относительное изменение яркости от центра к лимбу $R_\lambda(\mu) = B_\lambda(\mu) / B_\lambda(1)$, где $\mu = \cos \theta$ [3]. Укажем, что при измерениях был использован компенсационный метод.

Наблюдения проводились в широкой полосе и в области длин волн более 1 мкм. Калибровка проводилась по центру солнца в фокусе Ньютона серым клином и набором калиброванных диафрагм.

Абсолютный поток определялся из известного распределения энергии в непрерывном спектре солнца по данным Лабса и Неккела [4]. В качестве регистрирующего устройства использовался компенсационный самописец G1 B1. Нелинейность 0.2 %, отклонение измерительных диапазонов 1%, постоянство нулевой точки 0.1%. Стандартный компенсационный самописец действует по принципу компенсатора тока или компенсатора напряжения с непрерывным автоматическим уравниванием.

Ударные волны перед вспышкой

На рисунке 1 показана ударная волна. Наблюдения были сделаны 16 мая 1984 года с фильтром ИКС – 5. На рисунке показано мировое время UT, как и на остальных рисунках. По данным хромосферных наблюдений в $H\alpha$ в активной области в 00^h09^m наблюдались две ярких точки с перемишкой,

соединяющей точки. Скорее всего, это была петля. Ударная волна не затухает до 00^h 38^m. В 00^h 36^m в той же активной области началась вспышка в виде двух ярких точек, перемилька к этому времени исчезает. Максимальный поток в волне 0.375 мВт/ см² мкм, или $1.3 \cdot 10^{-4}$ от потока солнца, или $5.02 \cdot 10^{29}$ эрг/сек. Ударную волну мы связываем с явлениями в петле в активной области.

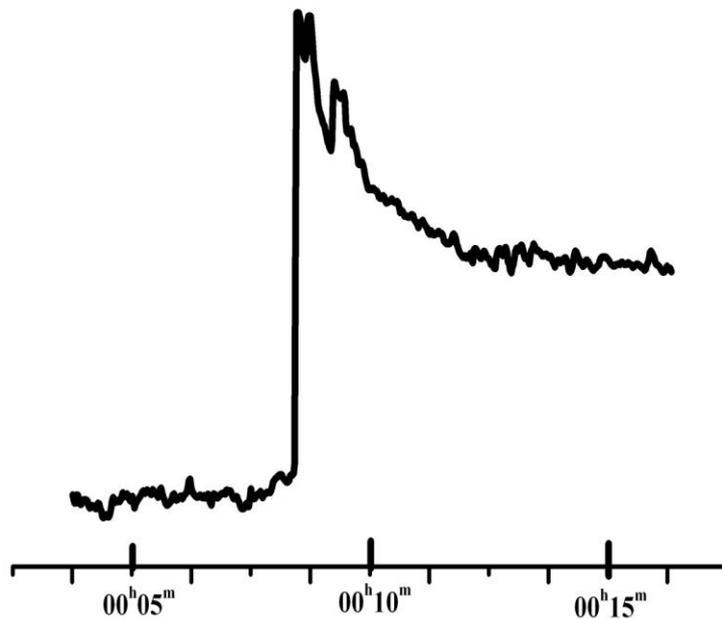


Рис. 1. Ударная волна 16 мая 1984 года. Фильтр ИКС-5

Вспышка 2 февраля 1982 года

На следующем рисунке (Рис. 2) показана ударная волна, предшествующая солнечной вспышке. Вспышка началась в 02^h 19^m, как по данным VORO, так и по данным CULG. Максимум по данным VORO – 02^h 23^m, конец 02^h 27^m, по данным CULG – 02^h 24^m, и 02^h 33^m, соответственно. Координаты S05E61, балл 1F по данным VORO. На рисунке начало вспышки показано вертикальным штрихом на 02^h 19^m. Максимальный поток в волне 0.633 мВт/см² мкм, или $1.6 \cdot 10^{-3}$, или $6.2 \cdot 10^{30}$ эрг/сек.

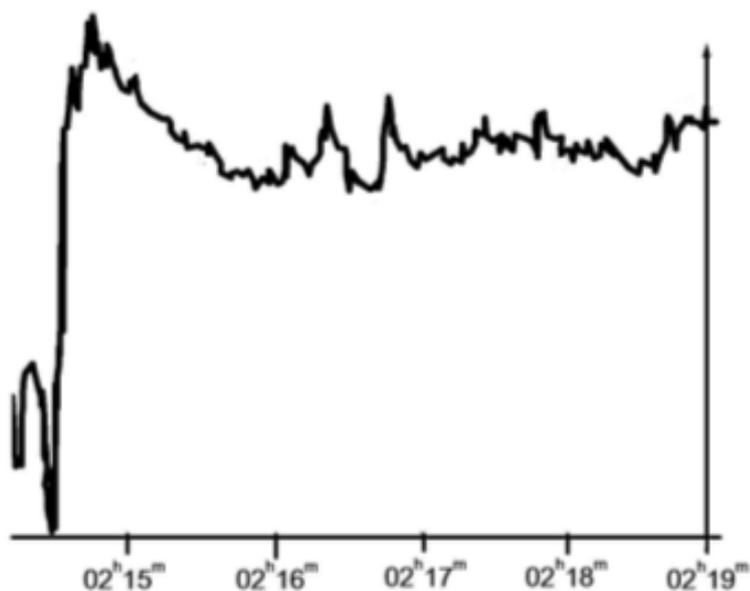


Рис. 2. Ударная волна 2 февраля 1982 года. Стрелкой показано начало солнечной вспышки в линии H α .

Вспышка 18 июня 1982 года.

На рисунке 3 приведены обстоятельства возникновения солнечной вспышки за 18 июня 1982 года. Начало вспышки 01^h 23^m, максимум 01^h34^m, конец 02^h 26^m. Координаты вспышки N14 E75, балл 1N. Максимальная амплитуда ударной волны 0.273 мВт/см² мкм, или $9.5 \cdot 10^{-4}$, или $3.67 \cdot 10^{30}$ эрг/сек. Длительность волны 393 сек.

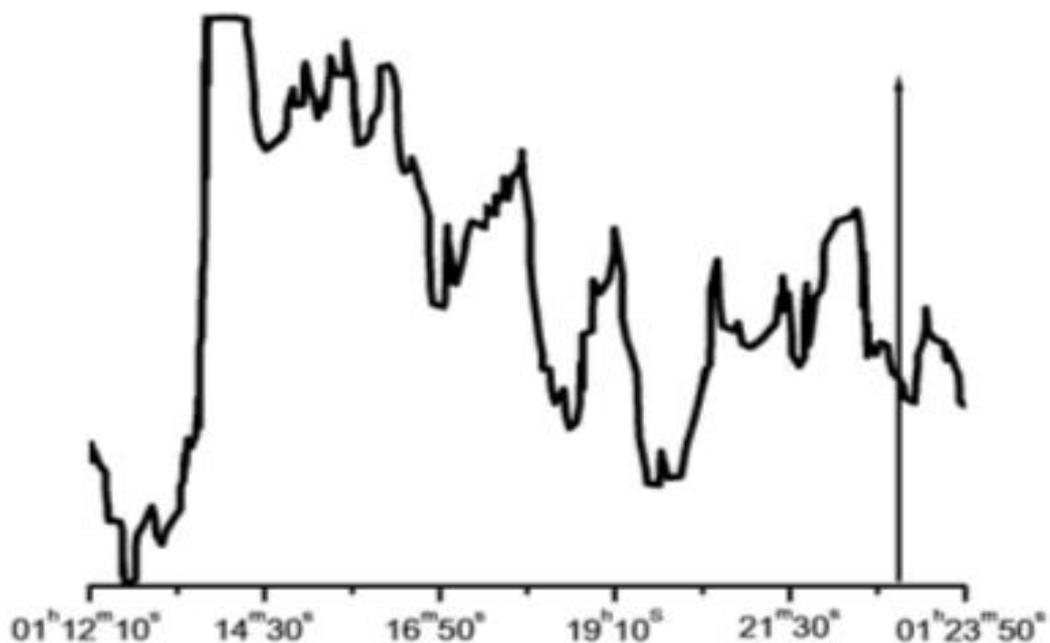


Рис. 3. Ударная волна 18 июня 1982 года

Всего было обнаружено 7 ударных волн. На следующем рисунке представлена зависимость максимальных амплитуд волн от долготы Q.

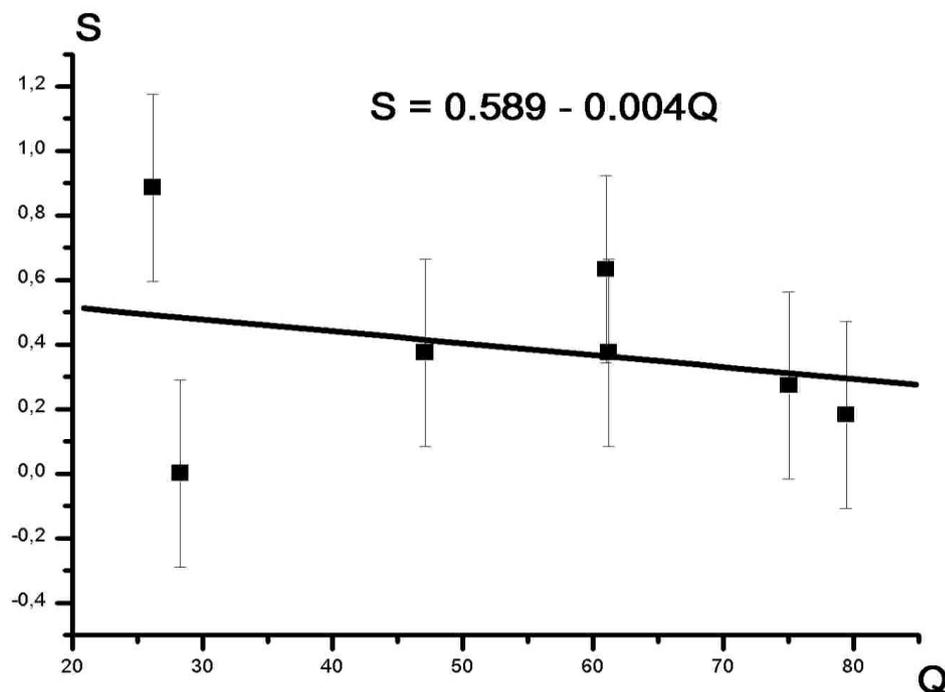


Рис. 4. Зависимость максимальных амплитуд волн от долготы

По одной оси показана амплитуда S волны, по второй – долгота Q. Вертикальные штрихи - дисперсия волны. Амплитуда ударных волн падает к краю, т.е. вклад в амплитуду колебаний оптически тонких слоев мал, таким образом эти волны могут быть глобальными. Возможно, они связаны со взрывами в глубоких слоях солнца [5]. Время релаксации в ударных волнах составляет величину 171.85 сек, с дисперсией 62,5сек. Энергия процессов, вызывающих солнечную вспышку, во много раз превосходит энергию, используемую в экспериментальных исследованиях по получению высокотемпературной плазмы [6]. Моделирование обнаруженных на солнце процессов может привести к созданию новых, мощных источников энергии.

Литература

1. *Kretzschmar Matthieu, de Wit Thierry Dudok, Schmutz Werner, Mekaoni Sabri, Hochedez Jean-Fran3ois, Dewitt Steven.* The effect of flares on total solar irradiance // *Nature Physics*, 2010. V. 6, p. 690 – 692.
2. *Claus Fröhlich, Judith Lean.* Solar Radiative output and its Variability: Evidend and Mechanisms. [Электронный ресурс]. URL: [rivernet.nsu.edu/courselocker /PaleoClimate/Frohlich_Lean_SolIrdoverview.pdf](http://rivernet.nsu.edu/courselocker/PaleoClimate/Frohlich_Lean_SolIrdoverview.pdf)
3. *Лена П.* Инфракрасные наблюдения Солнца. // *Инфракрасная и субмиллиметровая астрономия.* М.: Мир, 1979. С. 106-117.
4. *Yaïm O.* Поток энергии солнца и его изменения. Москва: Мир, 1980. С. 558.
5. *Stanislav Kozlov.* Analytical.physics. [Электронный ресурс]. URL: <http://ru.newastrophysics.com/wp/category/articles//>.
6. *Никулин В. Я.* Сильноточный разряд типа плазменный фокус. Физические процессы и применения в технологиях. [Электронный ресурс]. URL: [http:// www.dissercat.com/content/silnotochnyi-razryad-tipa-plazmennyi-fokus-fizicheskie-protsessy-i-primeneniya-v-tekhnologiy//](http://www.dissercat.com/content/silnotochnyi-razryad-tipa-plazmennyi-fokus-fizicheskie-protsessy-i-primeneniya-v-tekhnologiy//).