

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ SLOSHING-КОЛЕБАНИЙ ВО ВСПЫШЕЧНЫХ КОРОНАЛЬНЫХ ПЕТЛЯХ ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ SDO/AIA

Каракотов Р.Р., Кузнецов А.А., Анфиногентов С.А.

Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия

ESTIMATING THE PARAMETERS OF SLOSHING OSCILLATIONS IN FLARING CORONAL LOOPS OBSERVED BY SDO/AIA

Karakotov R.R., Kuznetsov A.A., Anfinogentov S.A.

Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS, Irkutsk, Russia

Using high-resolution EUV imaging observations from SDO/AIA, we analyzed 313 flare events of classes C and M in the period from 01.01.2013 to 31.12.2014. Flares were observed in 131 Å, 171 Å, 335 Å channels and 17 cases of sloshing oscillations were identified in 131 Å channel. Time-distance diagram was built for each case and parameters of oscillations, such as oscillation period, flare loop length, propagation speed and plasma temperature, were obtained. We found that in most cases oscillation propagation velocity is in order of magnitude to the velocities of slow magnetic sound (~500 km/s), however, in some cases oscillation propagates with fast magnetic sound velocity (~800–900 km/s). We also found linear scaling between flare loop length and oscillation period.

DOI: 10.31725/0552-5829-2022-143-146

Плазма солнечной короны – среда, в которой могут существовать различные типы магнитогидродинамических (МГД) волн. Такие волны создают возмущение макропараметров плазмы, например, температуры, плотности, величины магнитного поля. Наблюдаемые в короне волны и колебания важны, поскольку по ним, опираясь на теорию корональной гелиосейсмологии, можно проводить не прямой анализ солнечной атмосферы, определяя температуру плазмы и величину магнитного поля. Одно из проявлений медленных волн в корональных петлях называют плещущимися («sloshing») колебаниями. Они представляют из себя возмущения, перемещающиеся вдоль петли, которые при наблюдении проявляются как области повышенной яркости в ультрафиолетовом диапазоне, перемещающиеся вперед и назад по петле, отражаясь от её оснований. Рассматриваются эти колебания, например, в работе [1]. Тем не менее, до сих пор было известно всего несколько случаев наблюдения колебаний данного типа.

В данной работе мы провели масштабный поиск sloshing-колебаний в солнечных вспышках. Были использованы наблюдения SDO/AIA в КУФ диапазоне на длинах волн 131 Å, 171 Å, 335 Å. Проанализировано 313 вспышек класса М, зафиксированных в период с 01.01.2013 по 31.12.2014 (максимум 24-го солнечного цикла). В результате были идентифицированы 17 эпизодов колебаний типа sloshing (таблица), наблюдавшихся в кана-

ле 131 Å. Для каждого события при помощи построенных пространственно-временных диаграмм были определены периоды зафиксированных колебаний. Длина корональной петли определялась по координатам её оснований в предположении, что петля имеет форму полуокружности и её основания лежат на концах её (полуокружности) диаметра. Таким образом, мы получили скорость движения возмущения для каждого события. Температуру плазмы получили из предположения, что возмущение в петле перемещается с трубочной скоростью, которая в условиях солнечной короны становится равна скорости звука c_s [2]:

$$c_s = \sqrt{\frac{\gamma k_b T}{\widehat{\mu}_p m_p}} \quad (1)$$

где $\gamma = 5/3$ – показатель адиабаты, k_b – постоянная Больцмана, T – температура плазмы, $\widehat{\mu}_p = 0.6$ – средняя молярная масса частицы в солнечной короне, m_p – масса протона.

Полученные параметры событий приведены в таблице. На основании проведённых исследований, мы построили зависимость длины петли L от периода колебаний в ней τ (см. рис. 1). Аппроксимация методом наименьших квадратов данной зависимости линейной функцией соответствует средней скорости волны $L/\tau = 376 \pm 32$ км/с, что, в свою очередь, позволяет определить среднюю температуру по формуле (1) как 6.177 ± 1.002 МК. Полученные значения соответствуют типичным значениям температуры в солнечной короне во время вспышек.

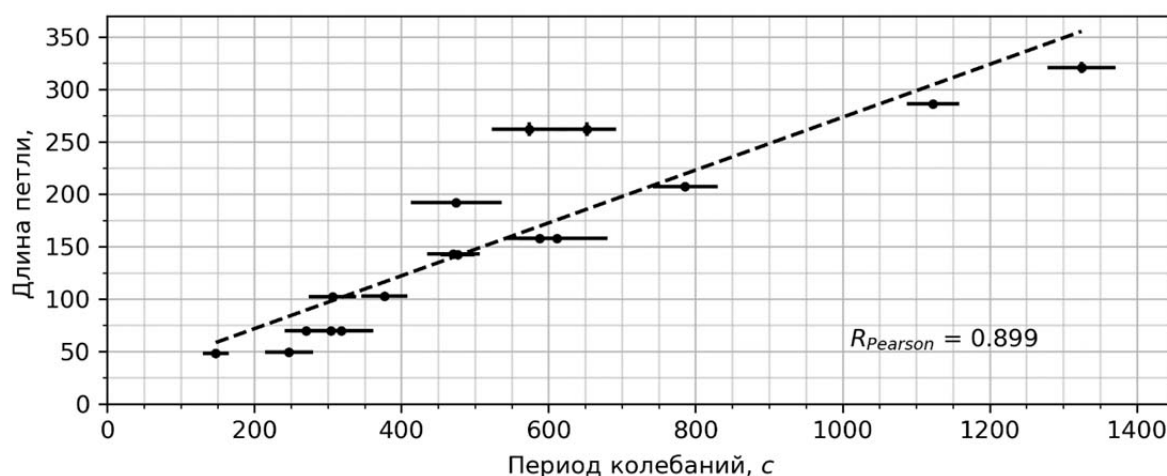


Рис. 1. Зависимость длины корональной петли от периода плещущихся колебаний, которые в ней наблюдались; пунктирной линией обозначен линейный тренд.

Гистограмма распределения колебаний по периодам (рис. 2а) показывает, что захваченные колебания с меньшими периодами наблюдаются чаще, чем колебания с большими периодами. При этом распределение по

длинам петель (рис. 2b) не показывает определённого тренда – вероятность возникновения колебаний в петлях с разной длиной можно считать более-менее постоянной.

Таблица. Значения параметров корональных петель и sloshing колебаний в них.

Время события	Период колебания, с	Длина петли, Мм	Скорость перемещения возмущения, км/с		Температура плазмы, МК	
			min	max	min	max
2013-10-22T00:12:00	247±33	49±1.4	340	470	5	9.6
2013-10-22T01:03:00	270±29	70±2.7	448	601	8.8	15.8
2013-10-22T01:15:00	318±44	70±2.7	371	529	6	12.2
2013-10-22T01:40:00	304±55	70±2.7	373	581	6.1	14.7
2013-10-25T21:10:00	474±62	192±2.8	706	944	21.7	38.9
2013-11-15T03:07:00	786±44	207±2.6	493	566	10.6	14
2013-11-23T03:35:00	652±40	262±6.5	737	876	23.8	33.5
2013-11-23T03:51:00	573±51	262±6.5	817	1027	29.2	46
2014-02-02T06:35:00	306±32	102±1.8	592	758	15.3	25.1
2014-02-02T09:44:00	377±32	103±1.6	495	605	10.7	16
2014-02-14T17:11:00	588±28	158±3.2	501	573	11	14.3
2014-02-14T18:01:00	611±69	158±3.2	453	593	9	15.4
2014-06-12T09:33:00	470±36	143±3.3	552	673	13.3	19.8
2014-06-12T18:16:00	476±23	143±1.6	564	636	13.9	17.6
2014-06-12T10:04:00	148±18	48±1.8	561	769	13.8	25.8
2014-12-13T05:56:00	1123±36	286±3.5	488	533	10.4	12.4
2014-12-14T19:58:00	1325±46	321±5.3	460	510	9.2	11.4

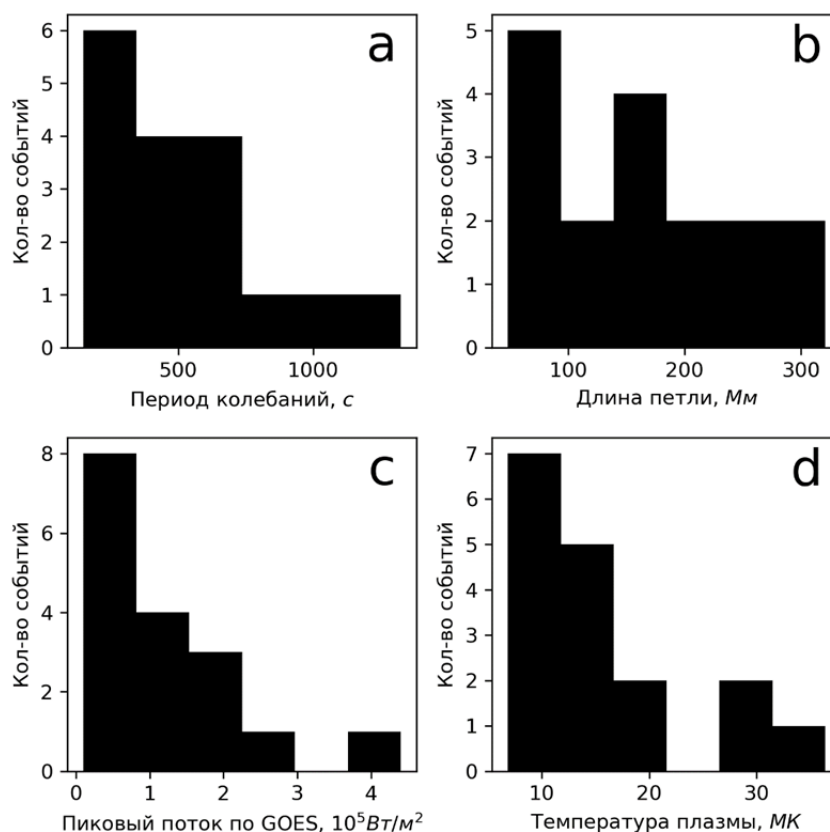


Рис. 2. Гистограмма распределения событий с sloshing-колебаниями по периоду (a), по длине петли (b), по пиковому потоку в GOES (c), по полученной температуре плазмы (d).

Распределение событий по температуре плазмы (рис. 2d) показывает падение встречаемости с ростом температуры. Вспышки с большей температурой происходят реже, чем вспышки с меньшей температурой [3], поэтому количество событий с колебаниями в более горячих вспышках меньше; аналогичная зависимость ещё более сильно выражена в распределении событий с колебаниями по классу вспышки (рис. 2с).

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 21-12-00195.

Литература

1. *Kumar et al.* Solar dynamics observatory/atmospheric imaging assembly observations of a reflecting longitudinal wave in a coronal loop // *The Astrophysical Journal Letters*, Vol. 779, December 2013.
2. *Nakariakov V.M., Verwichte E.* Coronal Waves and Oscillations // *Living Reviews in Solar Physics*, Vol. 2, 2005.
3. *Lippiello E., de Arcangelis L., Godano C.* Time-energy correlations in solar flare occurrence // *Astronomy & Astrophysics*, Vol. 511, February 2010.