

Коронално изхвърляне на маса [Coronal mass ejection]

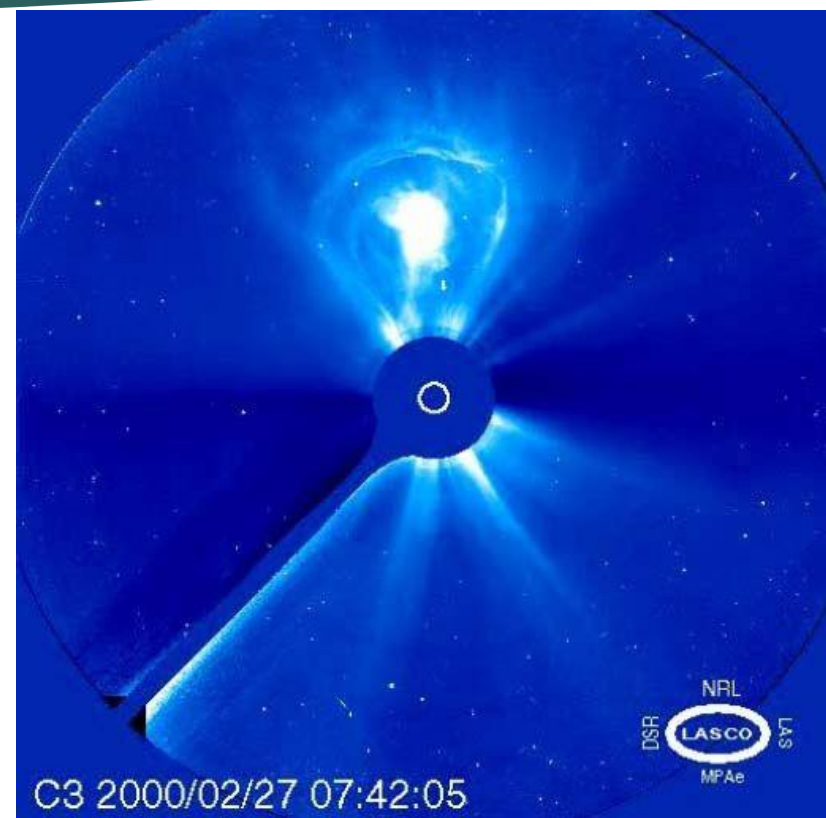
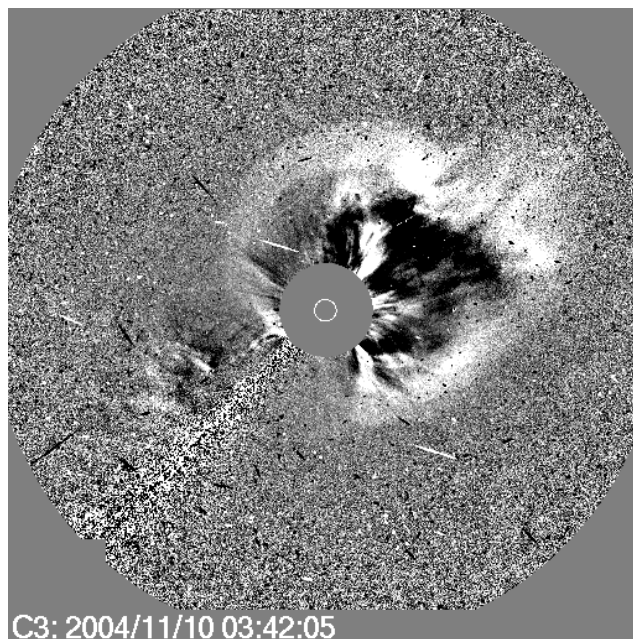
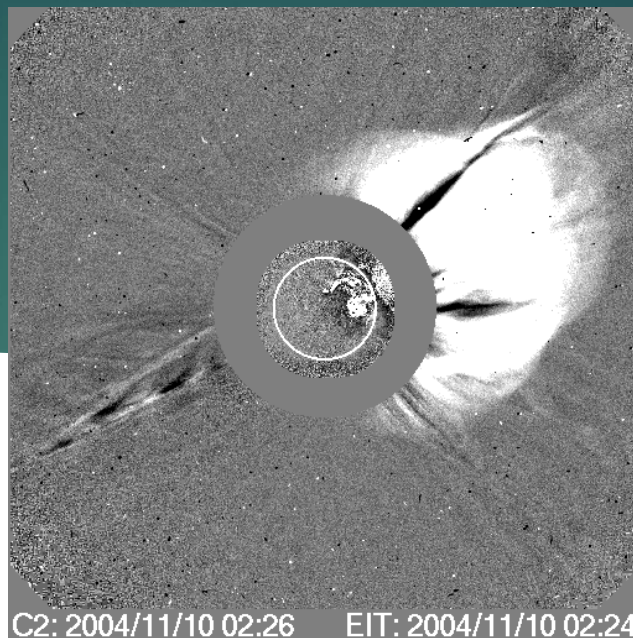
Д-Р РОСИЦА МИТЕВА

ИКИТ-БАН

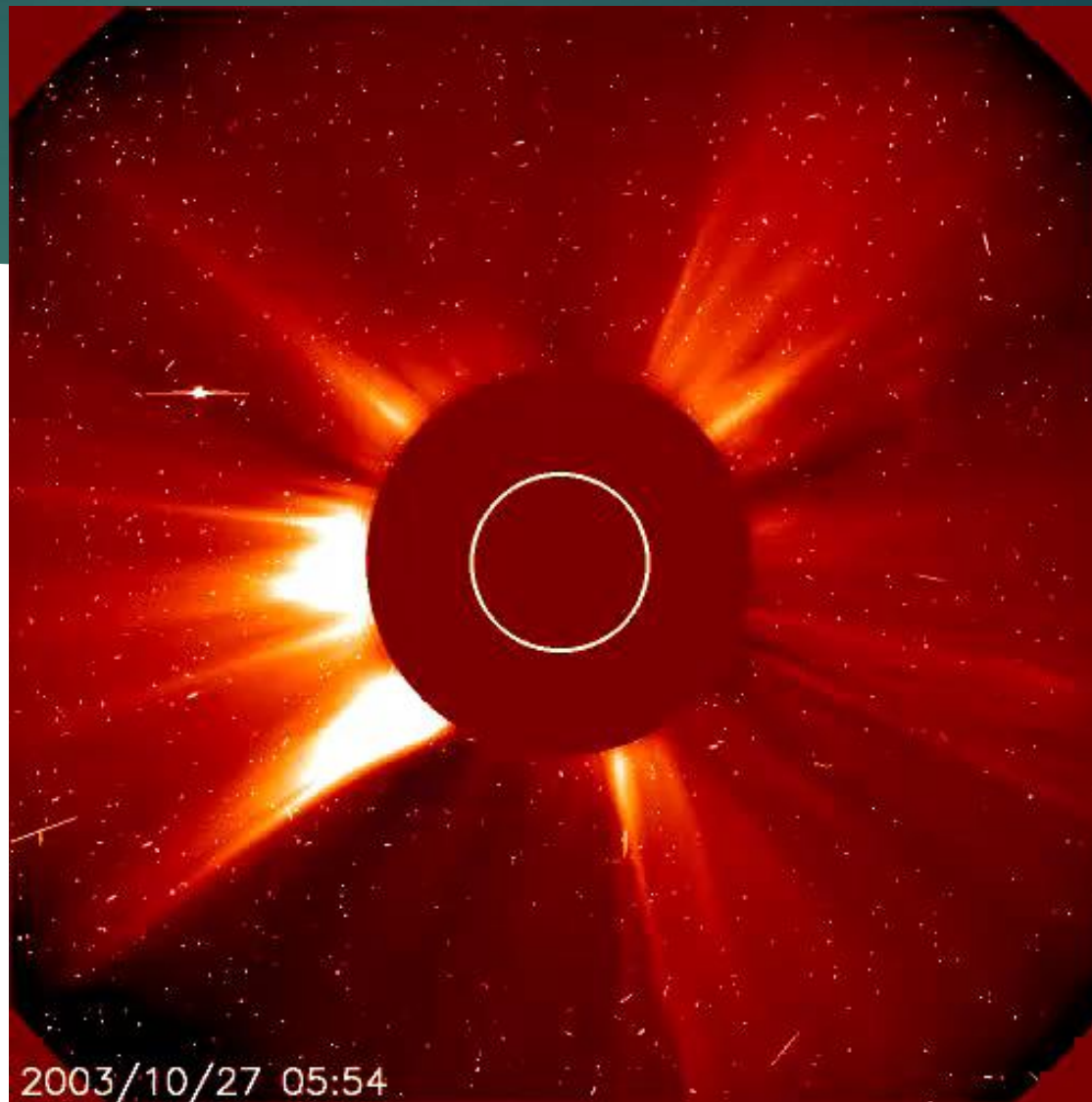
RMITEVA@SPACE.BAS.BG

Дефиниция

- ▶ Изхвърляне на голямо количество коронална маса и магнитно поле от слънчевата атмосфера в междупланетната среда, води до формиране на ударни вълни и смущения, представлява един от основните източници на космическо време на Земята
- ▶ Премахват натрупаната магнитна енергия и плазма (т.нар. магнитно въже) предимно от короната (с малки примеси от хромосфера или фотосфера: по-плътна и студена плазма)

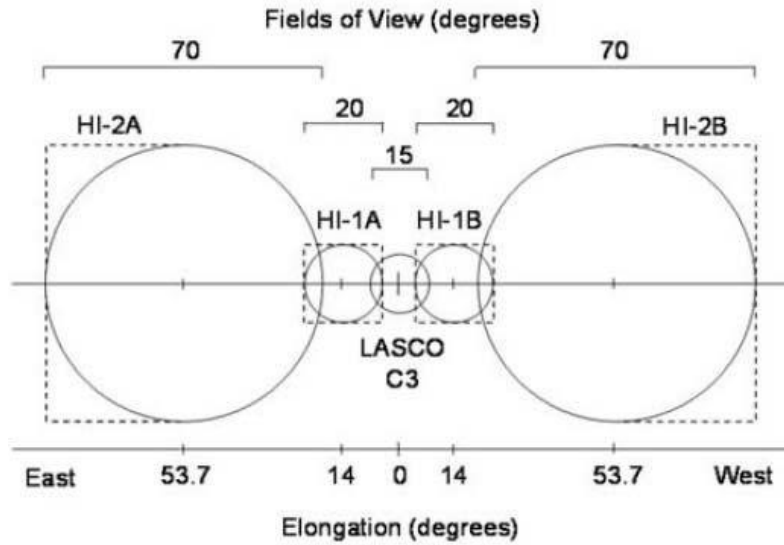


Наблюдения



SOHO/LASCO

Наблюдения

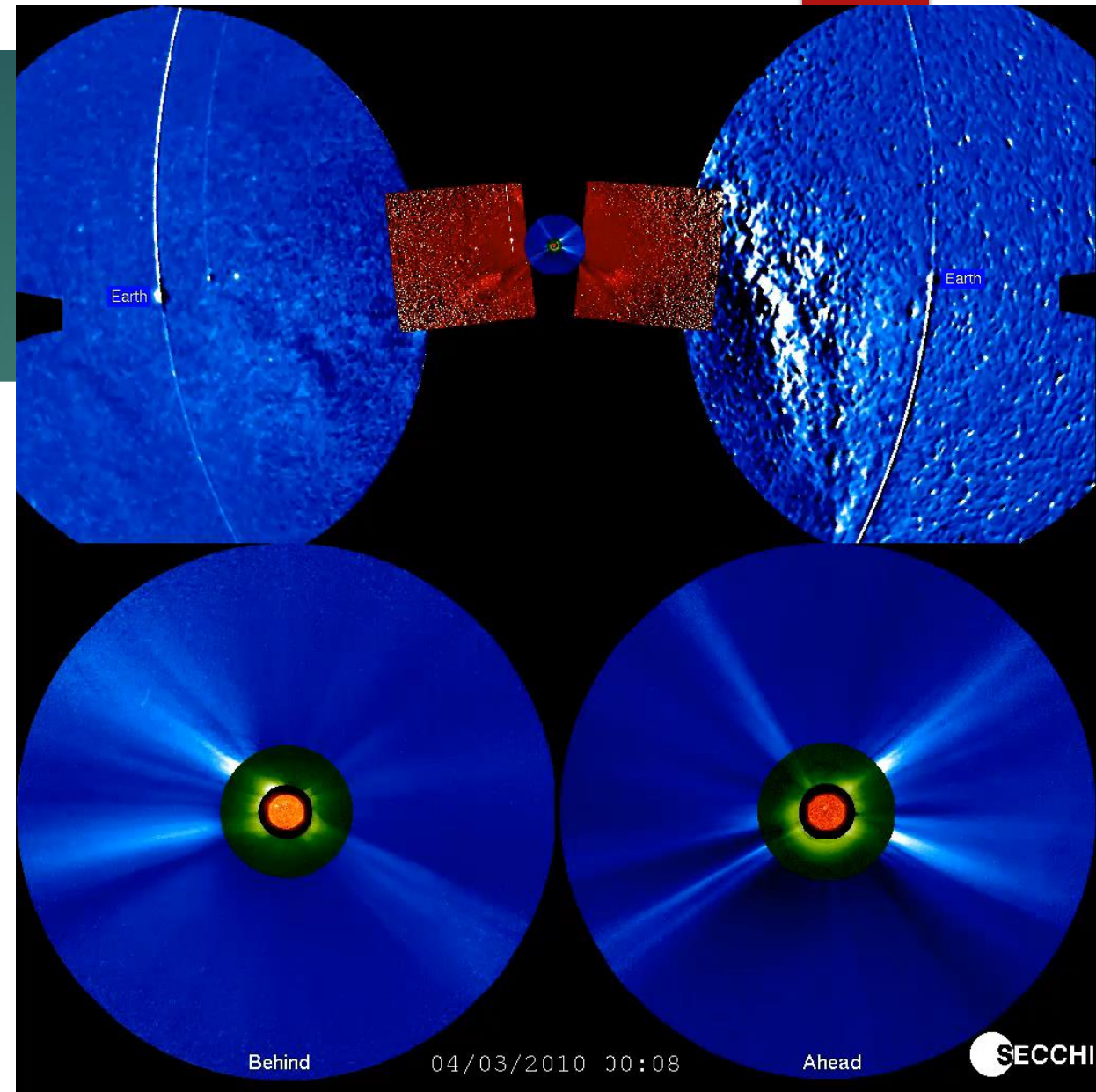


Harrison et al. (2008)

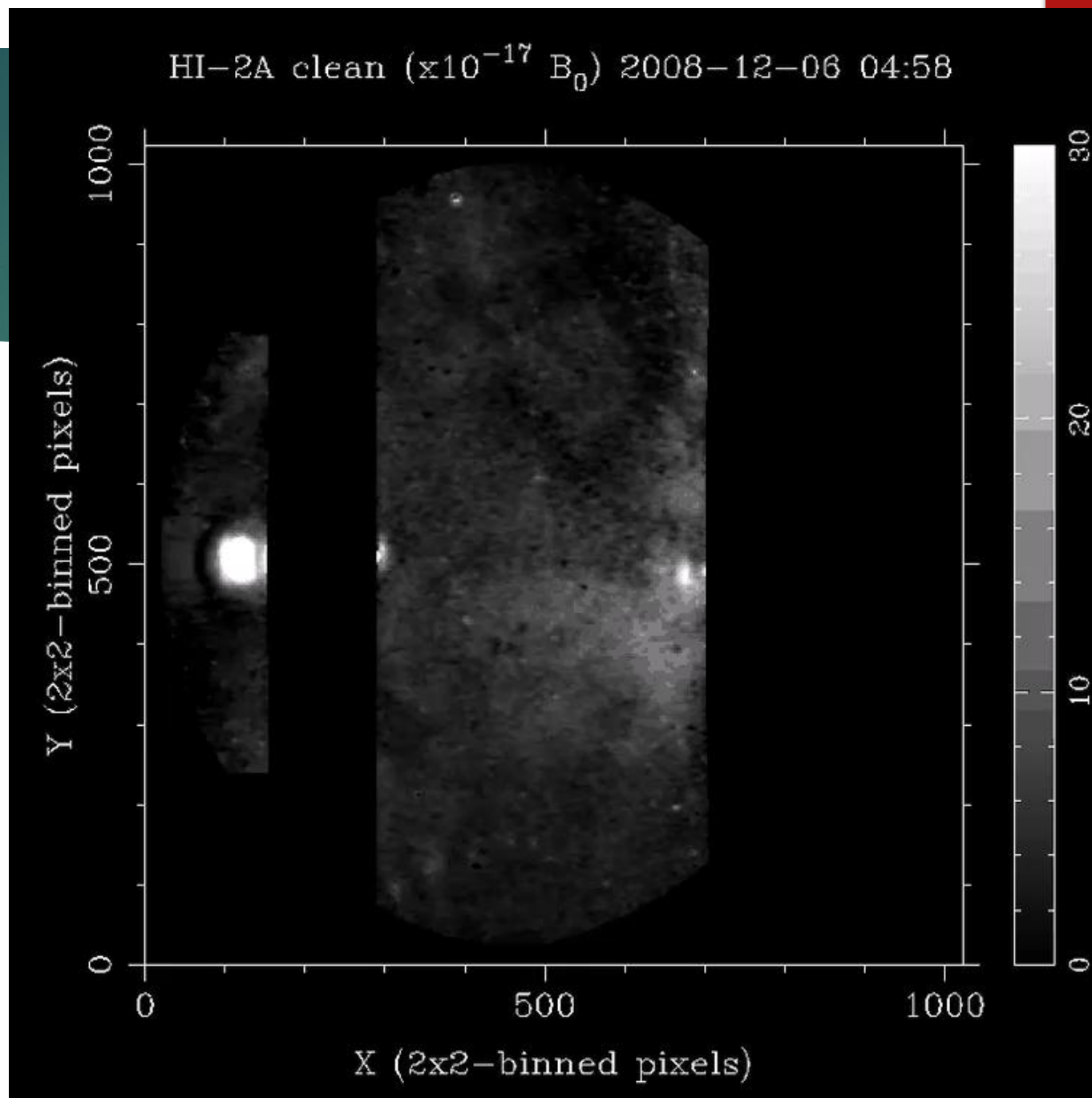
Webb & Howard (2012), Supplementary Material

Combined views from all of the STEREO SECCHI telescopes during a series of CMEs in early April 2010. The bottom panels show the ST-B and ST-A views of the EUVI disk, COR1 and COR2 imagers out to $15R_{\odot}$, and the upper set shows the HI-1 and -2 fields viewing east (left, HI-A) and west (right, HI-B) of the Sun beyond the EUVI, COR1, COR2 set shown to scale.

<http://secchi.nrl.navy.mil/index.php?p=movies>



Наблюдения



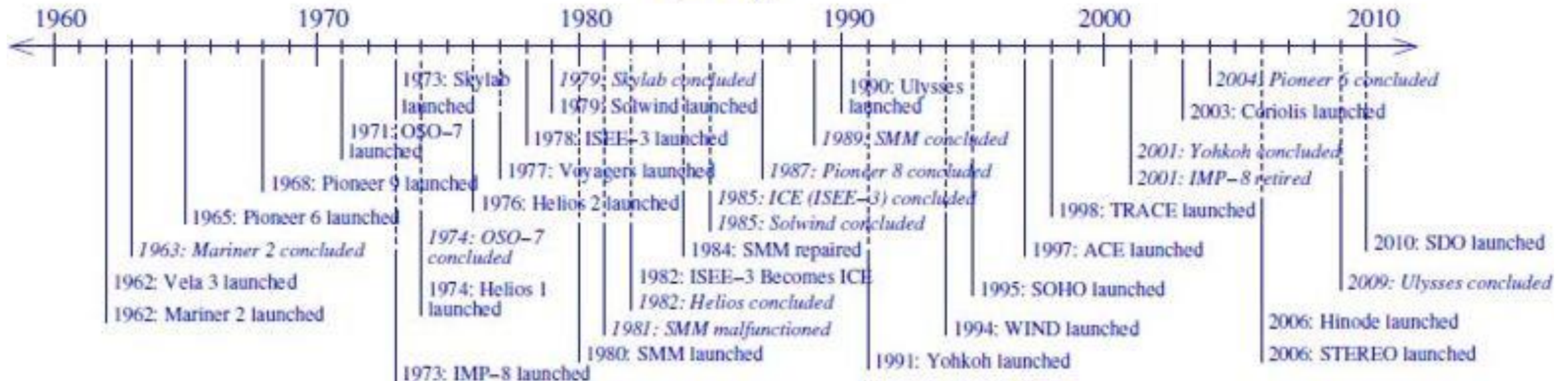
**Webb & Howard (2012),
Supplementary Material**

STEREO/HI2-A images following the latest data
processing pipeline for SECCHI

Наблюдения

- ▶ Първи наблюдения от спътника OSO-7 през 1970-те
- ▶ Наземни наблюдения – коронографи на Mauna Loa Solar Observatory, Sacramento Peak, Norikura (Japan) или чрез радио сцинтилации

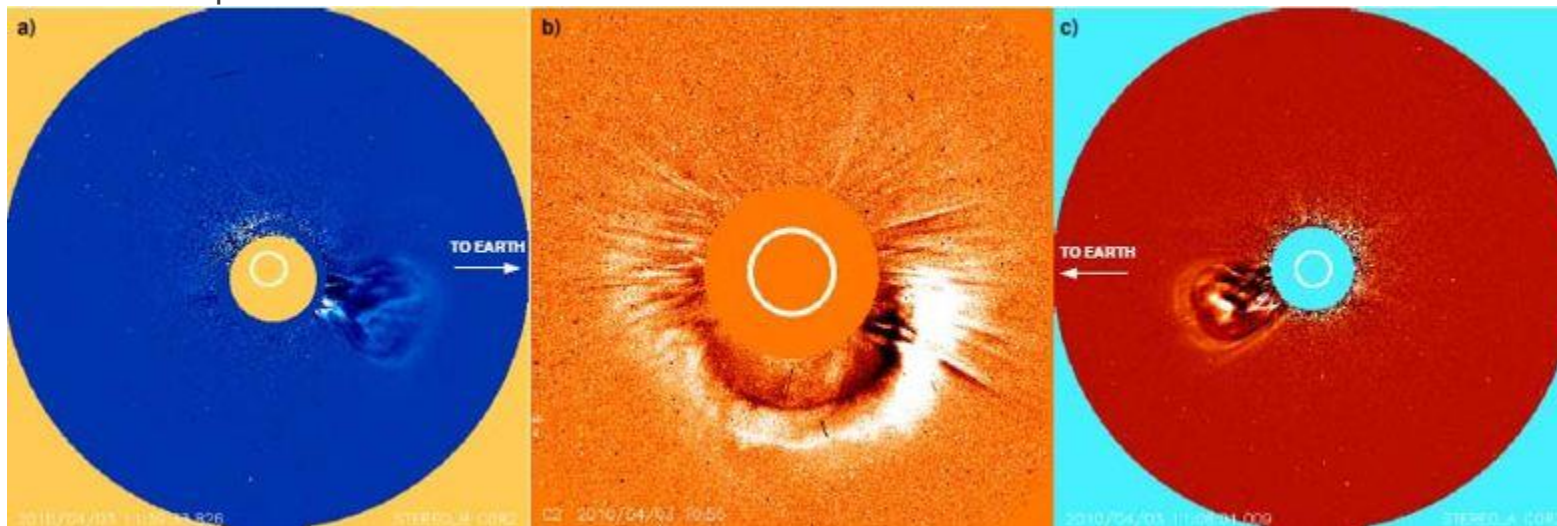
TIMELINE OF SPACECRAFT Space Age



Howard (2011)

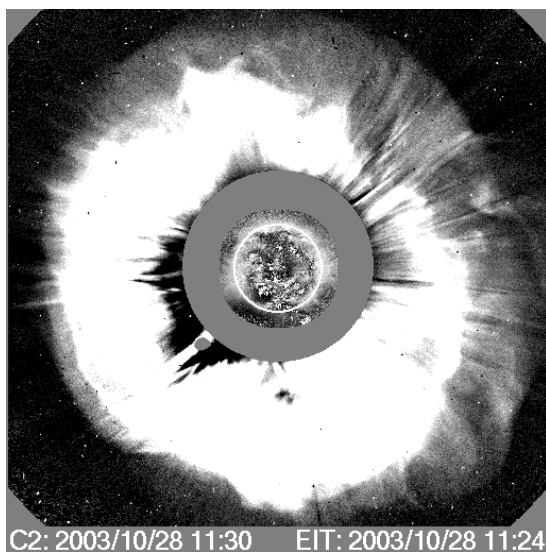
Наблюдения

- ▶ Измервания – предимно в проекция, STEREO – от 3 (2) гледни точки
- ▶ Наблюдения предимно дистанционно в бяла светлина (разсеяни фотони от свободни електрони в короната) и малка част – in situ
- ▶ За увеличаване на контраста при наблюдения – обикновено се премехва фона (изважда се предишното или базово изображение)
- ▶ Началото на изхвърлянето може да бъде придружено с или следва: избухване, еруптиращ протуберанс, коронално потъмняване (coronal dimming), формиране на магнитна арка, сигмoidsни образувания в рентгеново лъчение

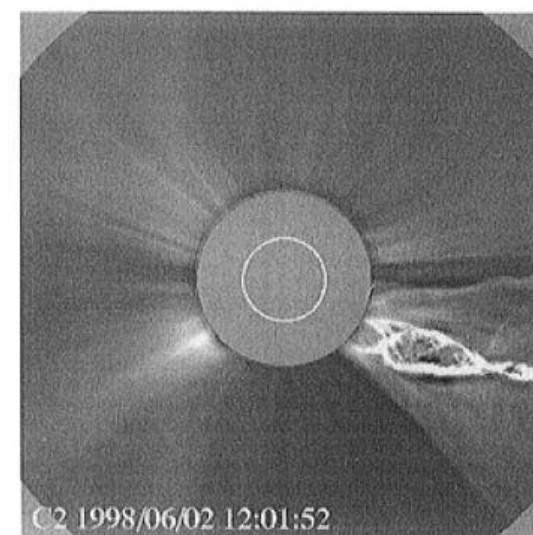
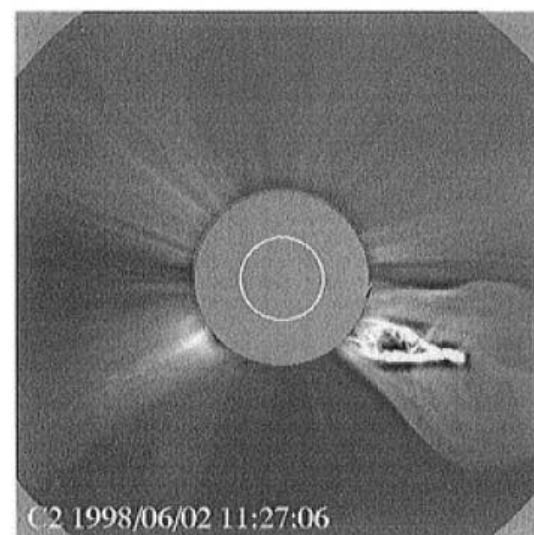
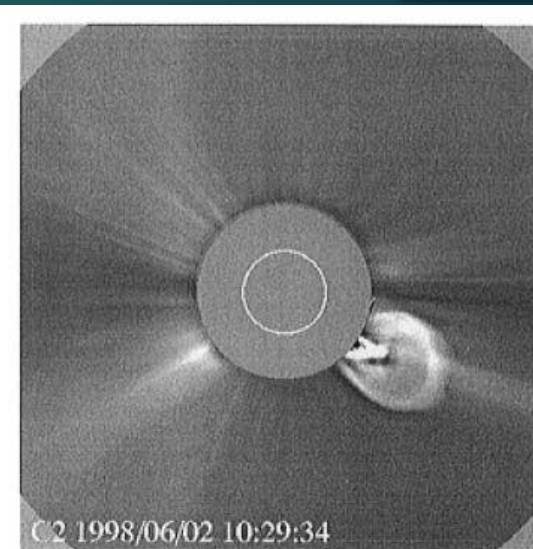
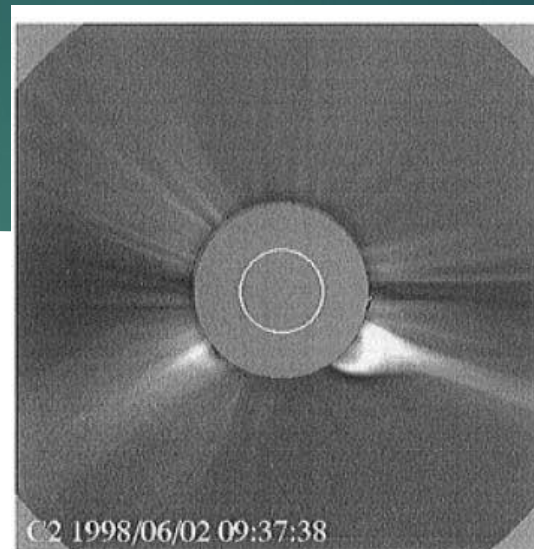


Наблюдения

- ▶ Класическа структура: магнитно въже, празнина и ярък филамент
 - ▶ От „хало“ до тесни, подобни на струи
 - ▶ Възникване и при разместване на стримери
- Зависи от ъгъла на наблюдение, субективност



https://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME_list



1998-06-02, Plunket et al. (2000)

Наблюдения с различни инструменти

Table 1: Average statistical properties from near-Earth space borne coronagraph observations of CMEs. Updated from [Gopalswamy \(2004\)](#). ^a SMM values from [Burkepile *et al.* \(2004\)](#). ^b Updated by S. Yashiro (2011) priv. comm. ^c LASCO masses and energies from [Vourlidas *et al.* \(2010, 2011b\)](#). The Solwind mass and energy values in [Vourlidas *et al.* \(2010, 2011b\)](#) are in error (C.A. de Koning and A. Vourlidas (2012) priv. comm.). Although Solwind operated into 1985, we show only the values for 1979–81 from [Howard *et al.* \(1985\)](#).

Coronagraph	OSO-7	Skylab	Solwind	SMM ^a	LASCO ^b
Epoch	1971	1973–74	1979–81	1980, 84–89	1996–present
FOV ($R_{\odot}$)	2.5–10	1.5–6	3–10	1.6–6	1.2–32
Total # CMEs	27	115	998	1351	> 10000
Speed (km s^{-1})	–	470	472	349	489
Acceleration (m s^{-2})	–	–	–	–	–16 to +5
Width ($^{\circ}$)	–	42	45	46	47
Mass (10^{15}) g ^c	–	6.2	4.1	3.3	1.3
KE (10^{30}) erg ^c	–	–	3.5	8.0	2.0
Mech. E (10^{30}) erg ^c	–	–	–	–	4.2

Καταλοзи

- ▶ SOHO: https://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME_list
https://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME_list/UNIVERSAL/text_ver/
- ▶ CACTUS: <http://sidc.oma.be/cactus/>
- ▶ SEEDS: <http://spaceweather.gmu.edu/seeds/>
- ▶ ARTEMIS: <http://cesam.lam.fr/lascomission/ARTEMIS/>
- ▶ CORIMP: <http://alshamess.ifa.hawaii.edu/CORIMP/>
- ▶ STEREO: <http://solar.jhuapl.edu/Data-Products/COR-CME-Catalog.php>
<https://stereo-ssc.nascom.nasa.gov/events.shtml>
<https://ccmc.gsfc.nasa.gov/analysis/stereo/>
<https://www.helcats-fp7.eu/index.html>

Наблюдателни оценки за:

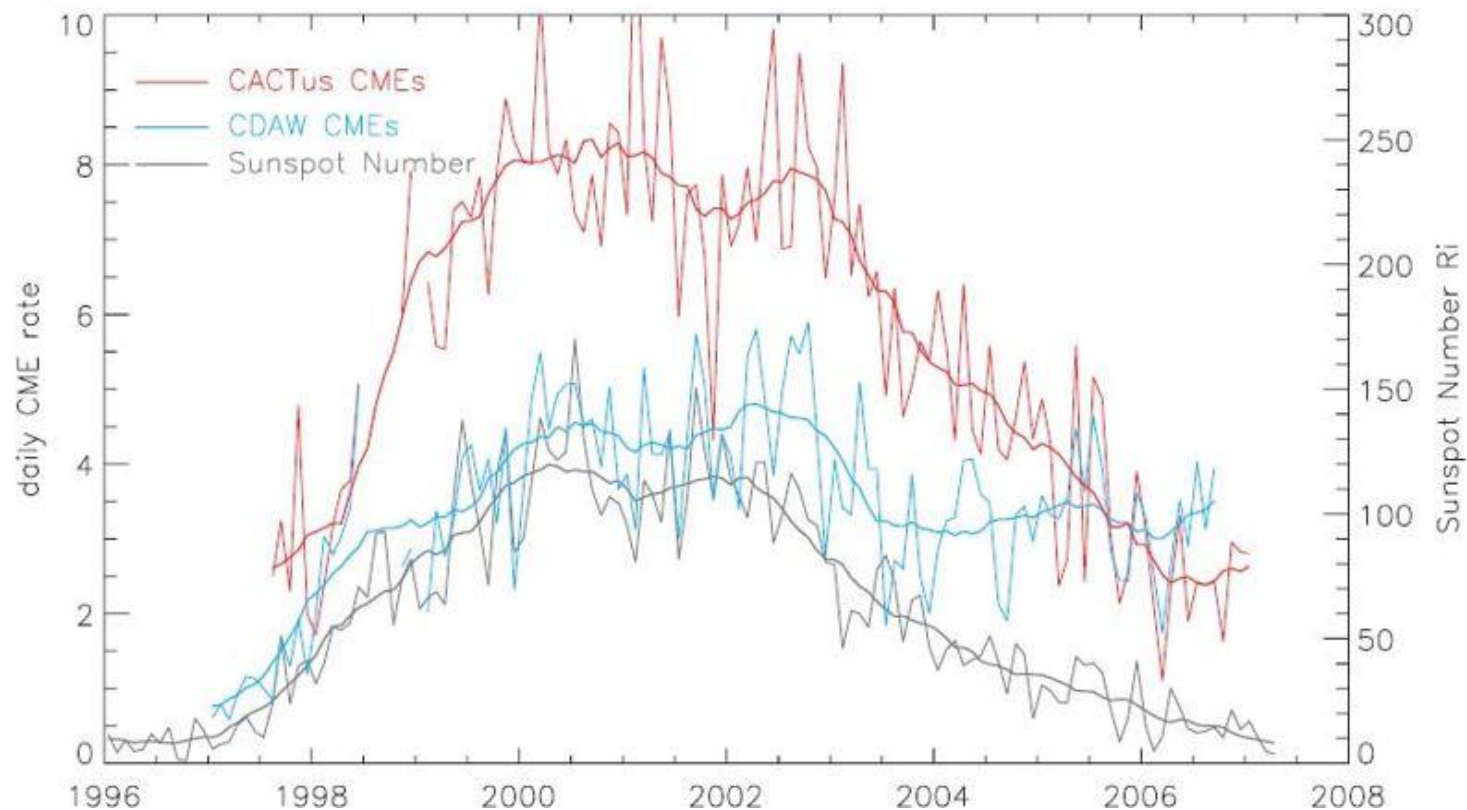
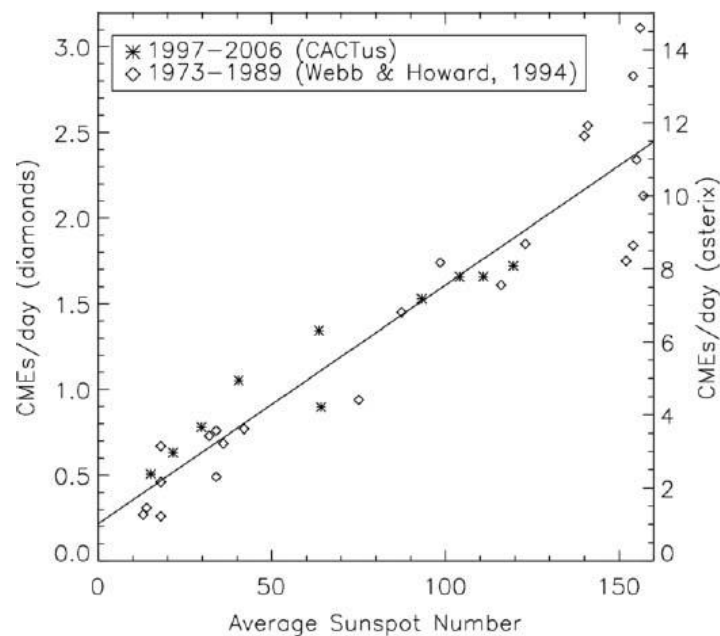
► Брой

Следва слънчевия цикъл по фаза и големина, с двоен максимум, но със закъснение от няколко месеца

~1 дневно (min)

~5 дневно (max)

Линейна връзка с броя слънчеви петна



Robbrecht et al. (2009)

Наблюдателни оценки за:

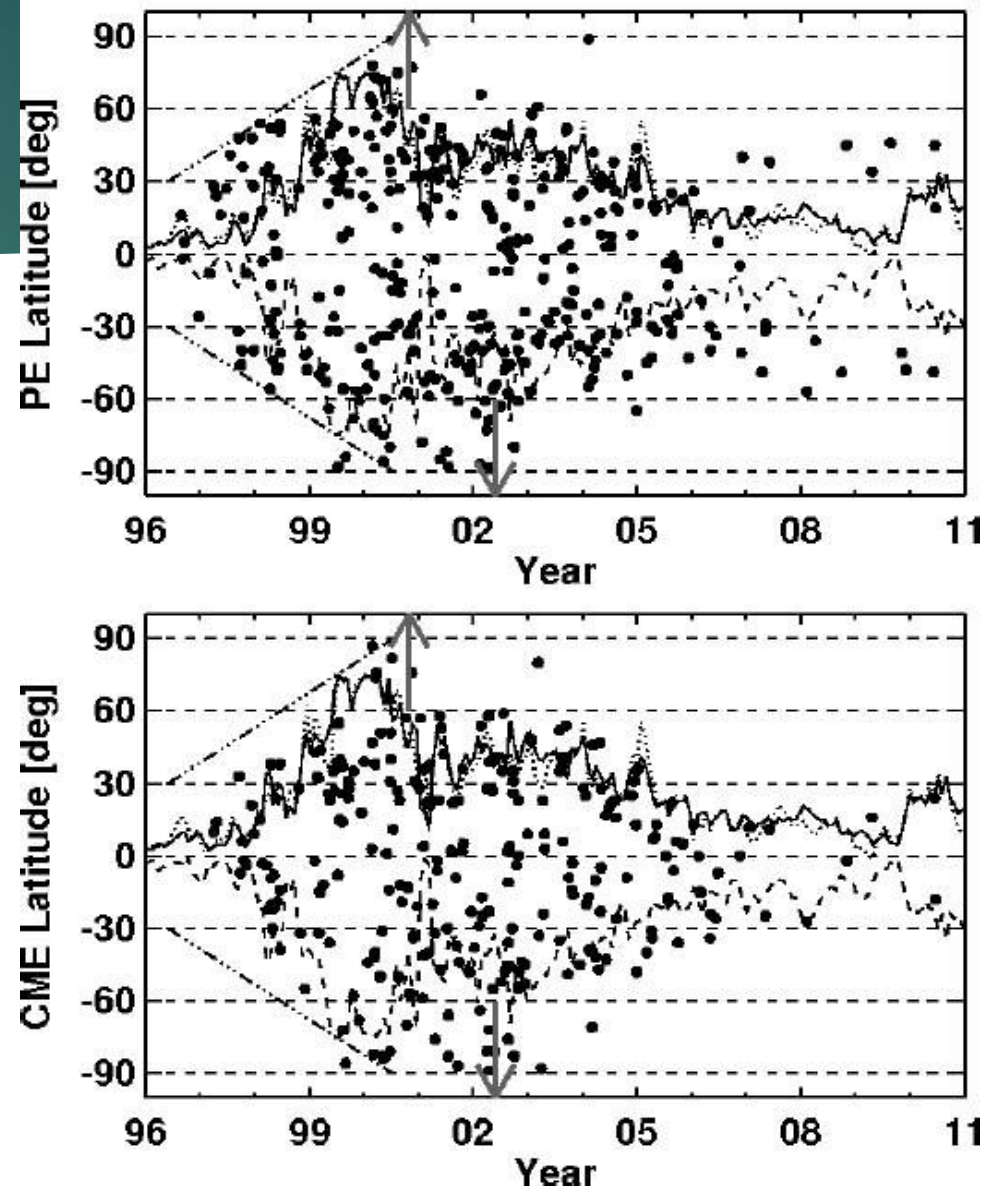
► Местоположение

на високи ширини във фаза слънчев максимум

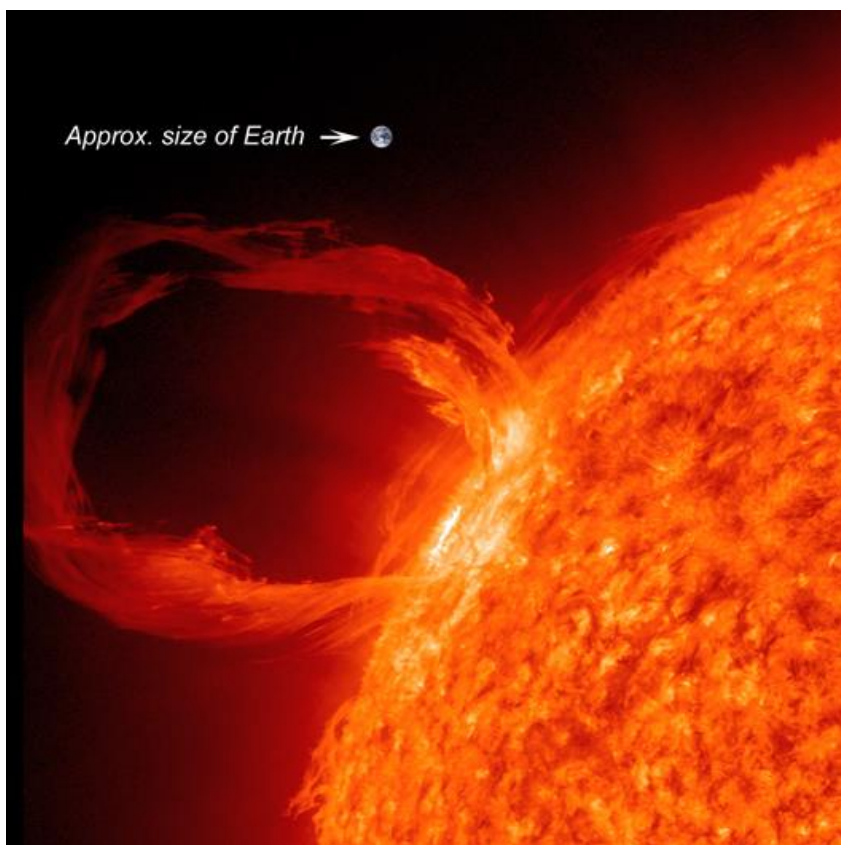
Следва по-добре вариацията на стримери, протуберанси и глобално магнитно поле, а не на активни области

Webb & Howard (2012), Fig. 11

The dotted and dashed curves represent the tilt angle of the heliospheric current sheet in the northern and southern hemispheres, respectively; the solid curve is the average of the two. The up and down arrows denote the times when the polarity in the north and south solar poles, resp., reversed. Note that the high latitude CMEs and PEs are confined to the solar maximum phase and their occurrence is asymmetric in the northern and southern hemispheres. PEs at latitudes below 40° may arise from active regions or quiescent filament regions, but those at higher latitudes are always from the latter. Adapted from Yashiro (2011)

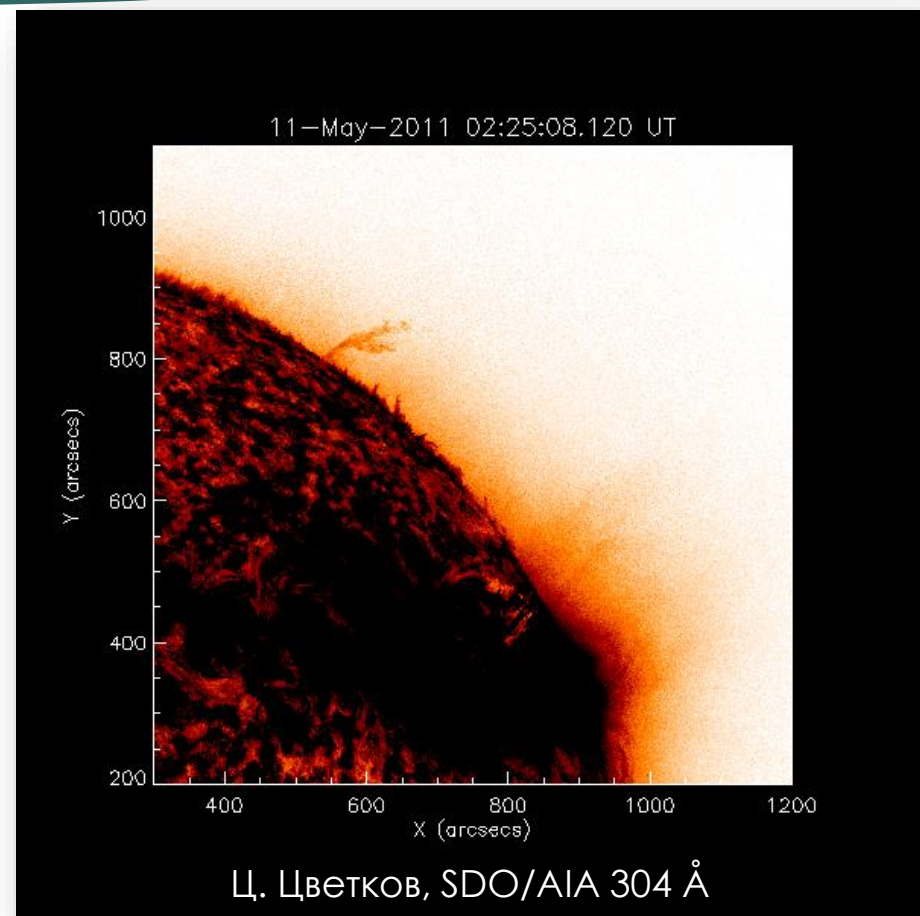


Протуберанси



SDO/AIA 304 Å

https://www.nasa.gov/mission_pages/sunearth/science/solar-prominence.html

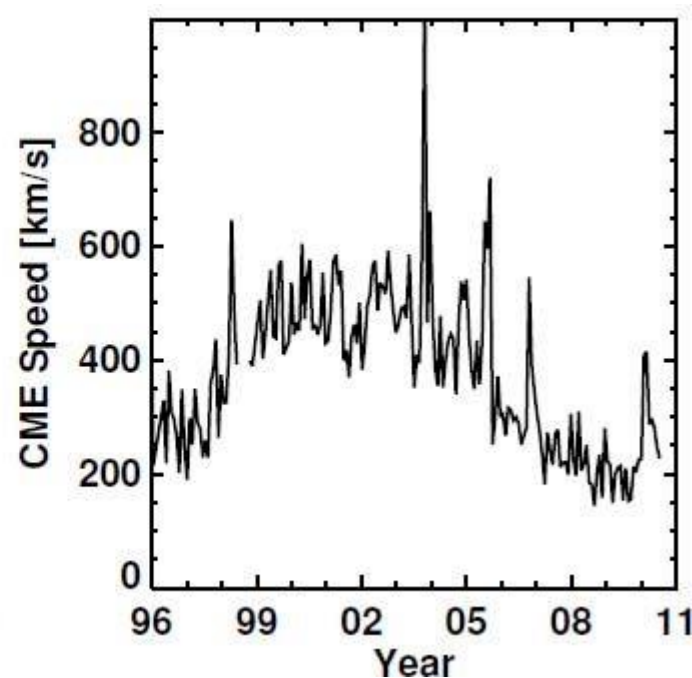
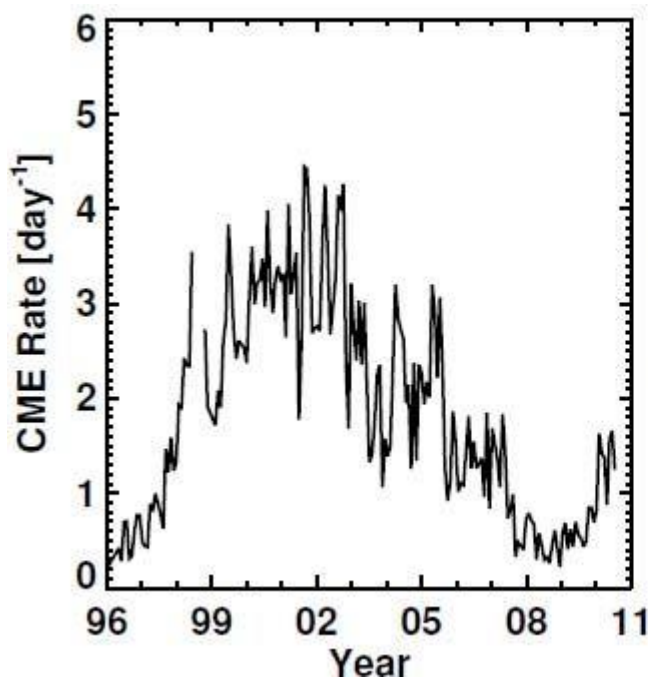


Ц. Цветков, SDO/AIA 304 Å

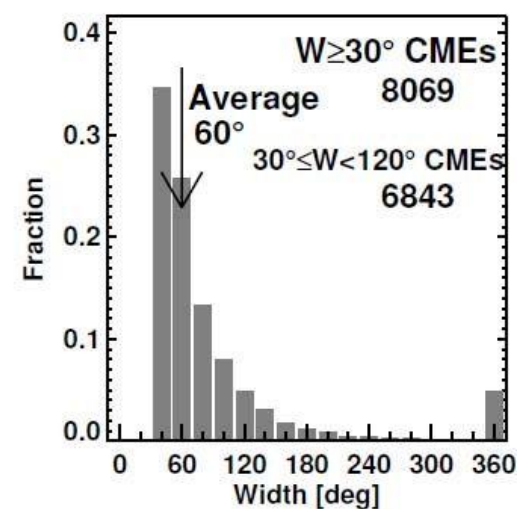
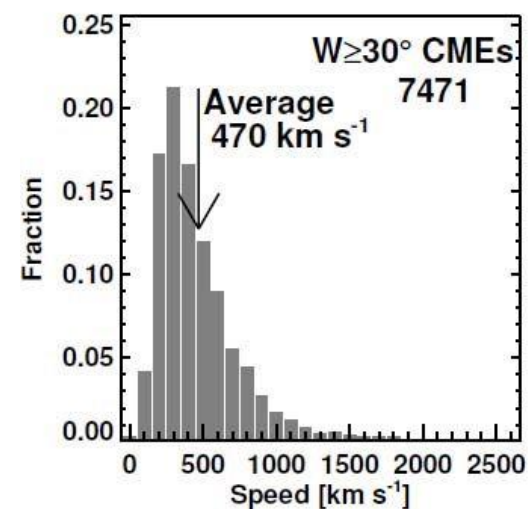
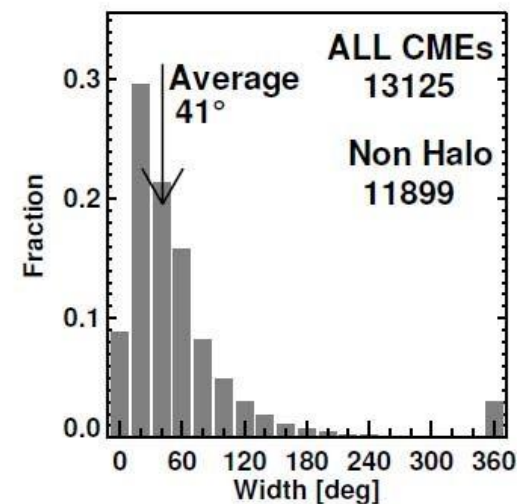
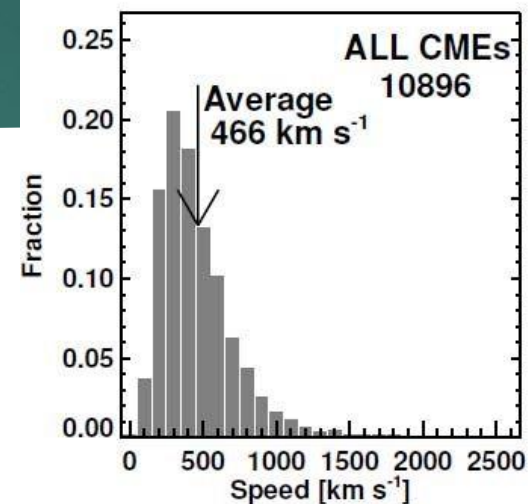
Наблюдателни оценки за:

В проекция

- ▶ Скорост – долна граница
- ▶ Ъглова ширина (angular width) – горна граница



Yashiro (2011)



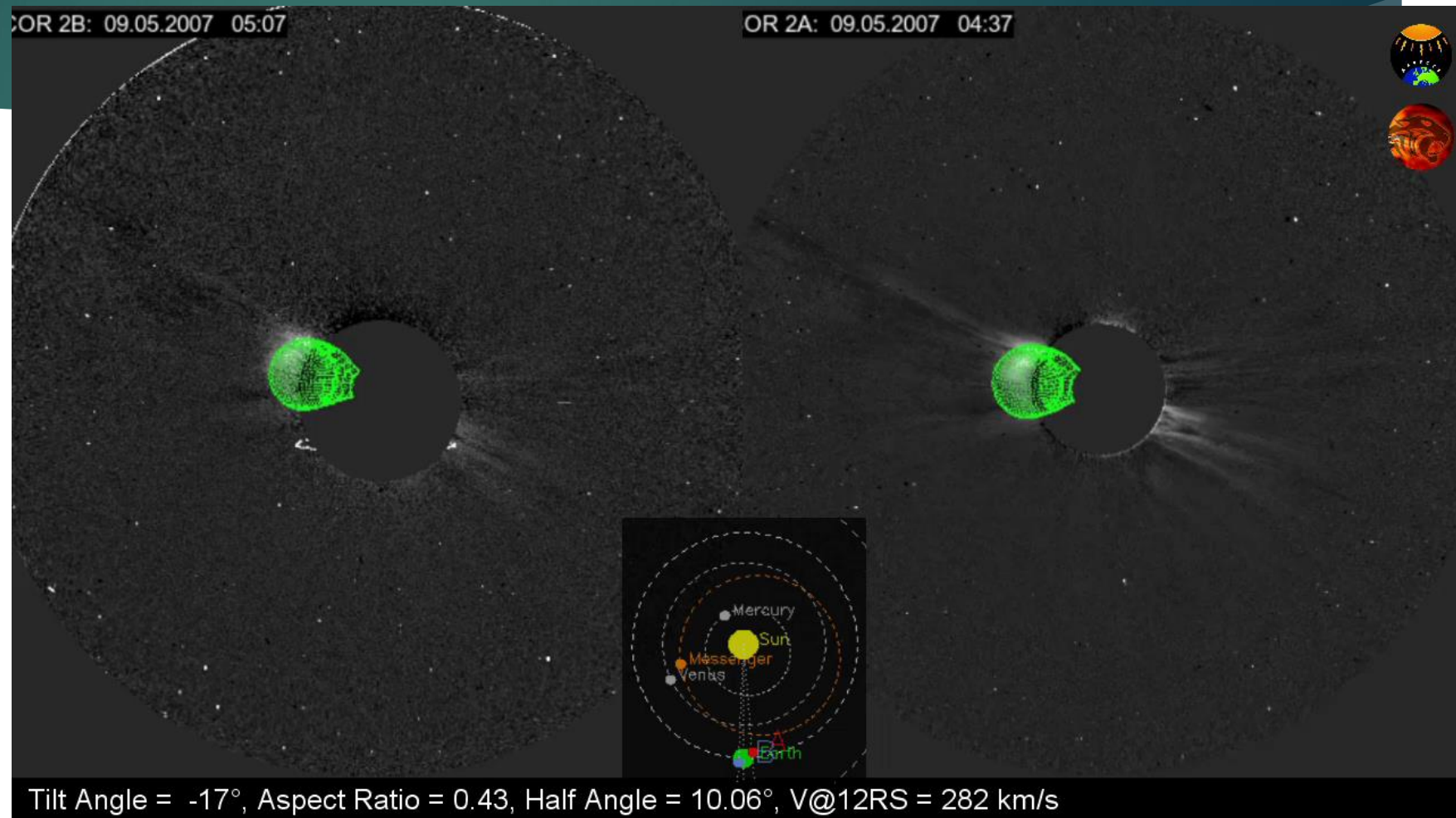
Gopalswamy et al. (2010)

Наблюдателни оценки за:

3-D

(Products - KINCAT)

► <https://www.helcats-fp7.eu/index.html>



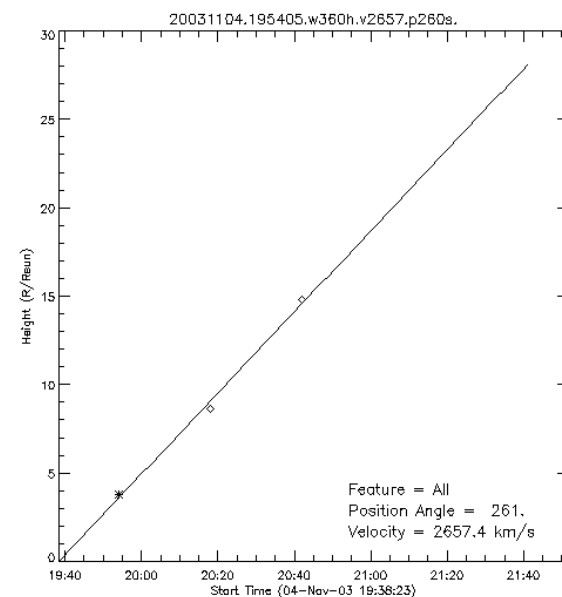
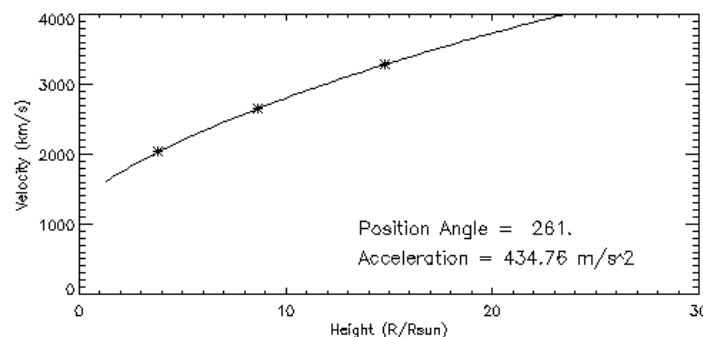
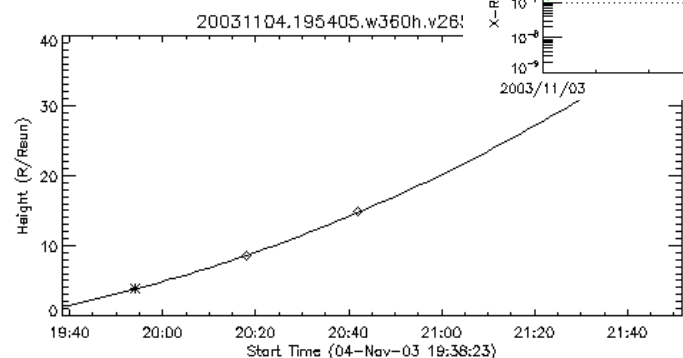
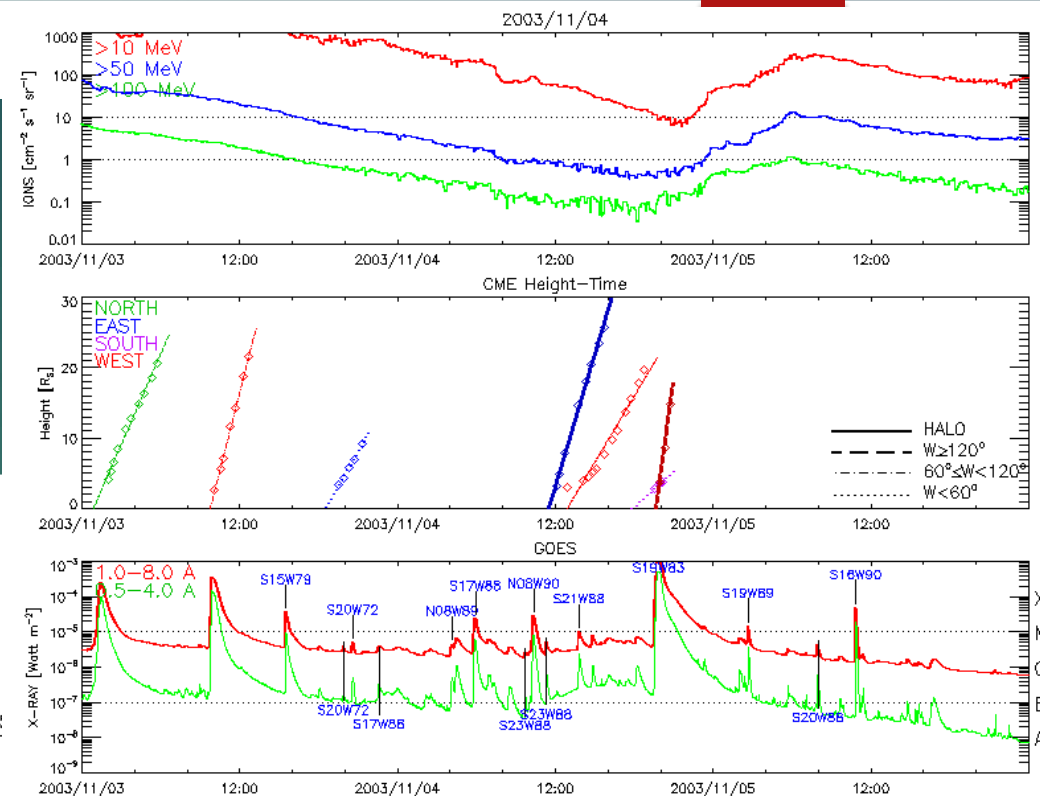
Кинематика

- 3 фази: бавно нарастване ($1.1-3 R_{\odot}$ за десетки минути), бързо ускорение ($100-500 \text{ m/s}^2$ на височина $1.4-4.5 R_{\odot}$ съвпадащо по време с избухването) и разпространение с равномерна скорост или забавяне
- Ускорение – до около $2 R_{\odot}$ (само 17% показват ускорение до $30 R_{\odot}$)

Скорости 20 до над 3000 km/s – под звуковата скорост и над Алфеновата в короната

- Два динамични класа: бавните конорални маси, които при наблюдение с коронографи показват ускорение (често свързани с еруптиращ протуберанс) или бързи коронални маси (често са свързани с избухвания), но се наблюдава голямо припокриване на измерените скорости и ускорения между тези два класа

https://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME_list/UNIVERSAL/2003_11/univ2003_11.html



Наблюдателни оценки за:

► Ускорение

При връзка с активни области – имат константни скорости, при връзка с еруптиращи протуберанси – имат ускорения

► Маса ($\sim 10^{12}$ kg, max $\sim 10^{14}$ kg)

Изиква превръщане от наблюдавания с коронографи интензитет в електронна плътност – чрез модел на томпсъново разсейване (представлява функция на посоката на разпространение)

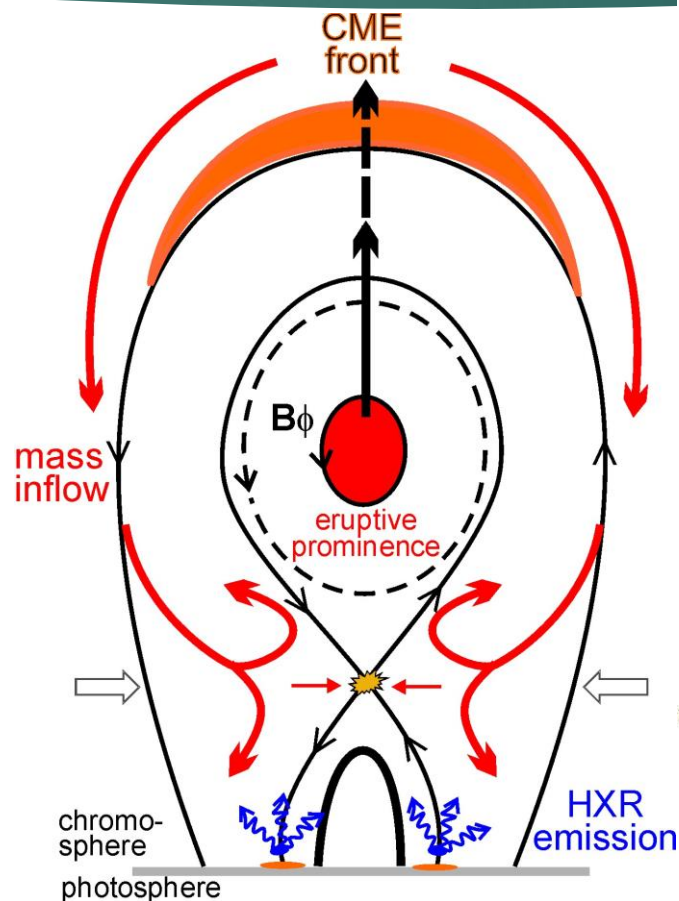
► Енергия

Кинетична енергия $\sim 10^{30}$ erg (max $\sim 10^{34}$ erg), разпределение с наклон -1 (за избухванията: -2)

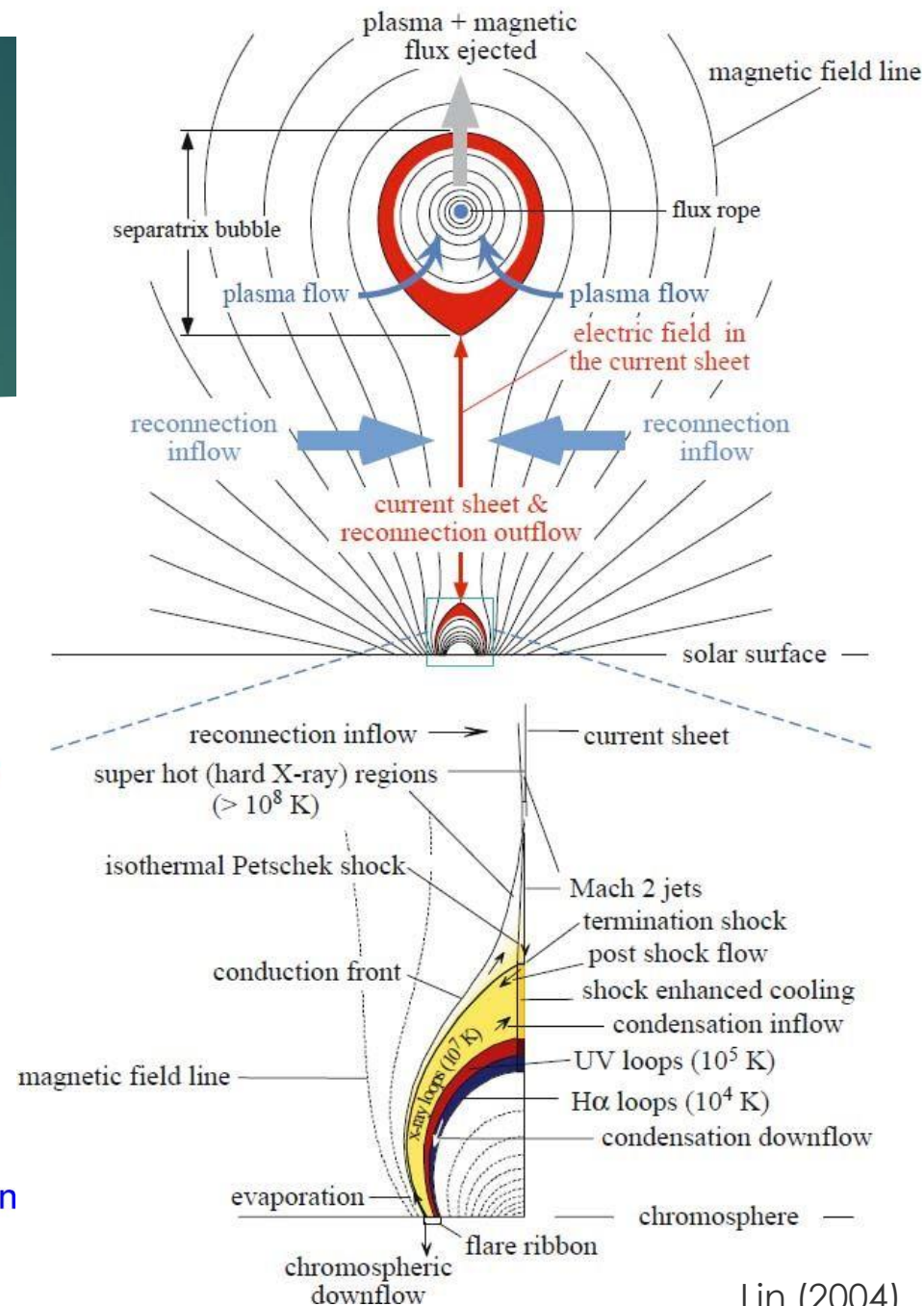
Max free energy: $\sim 10^{36}$ erg

Стандартен модел

- ▶ Проява на процеса магнитно присъединяване, формиране на токов слой (current sheet) и изнасяне на част от коноралната плазма и поле в междупланетното пространство
- ▶ Короналното изхвърляне на маса (КИМ) и избухвания: често има съответствие, но има и много изключения
- ▶ Най-бързите КИМ се наблюдават с избухвания
- ▶ В 100% от случаите има КИМ, когато избухването трае над 6 часа
- ▶ Ускоряват енергетични частици



Temmer et al. (2008)



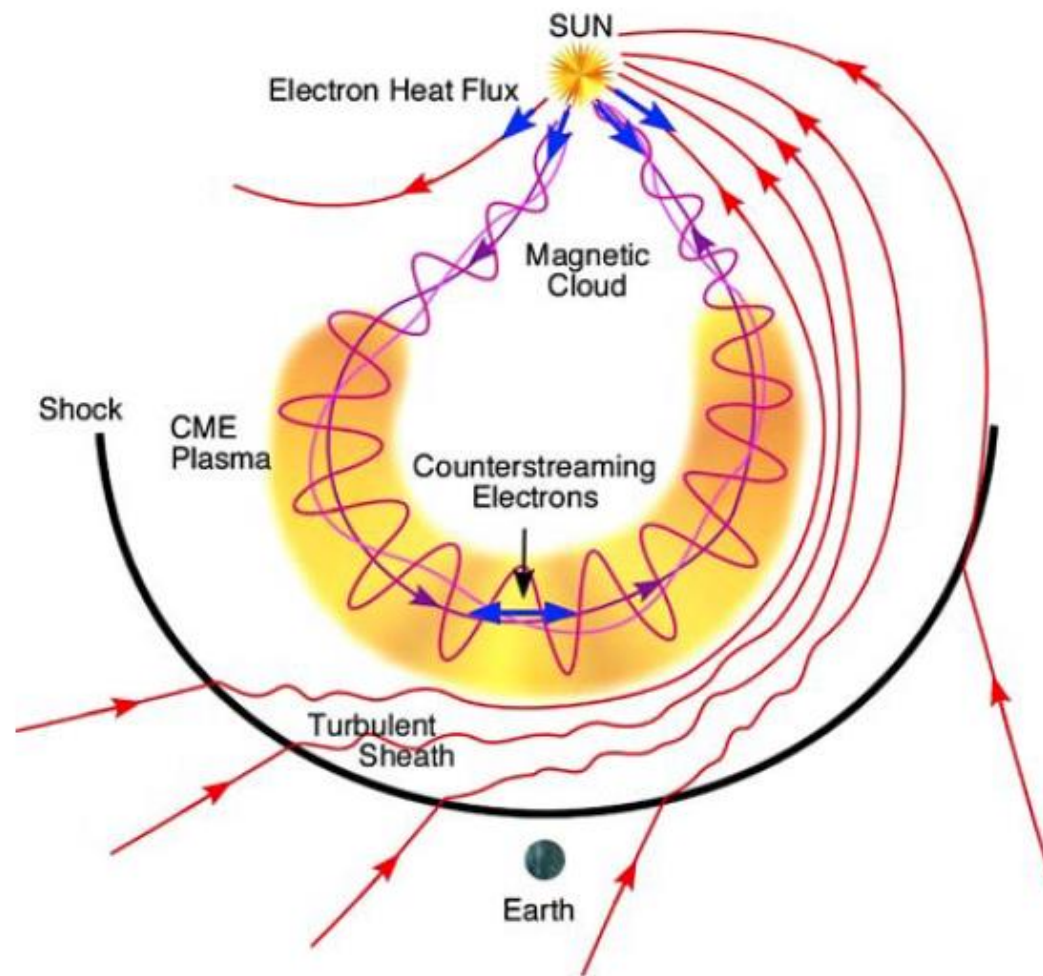
Lin (2004)

ICME: междупланетни

- Схема на междупланетно КИМ

Каталози

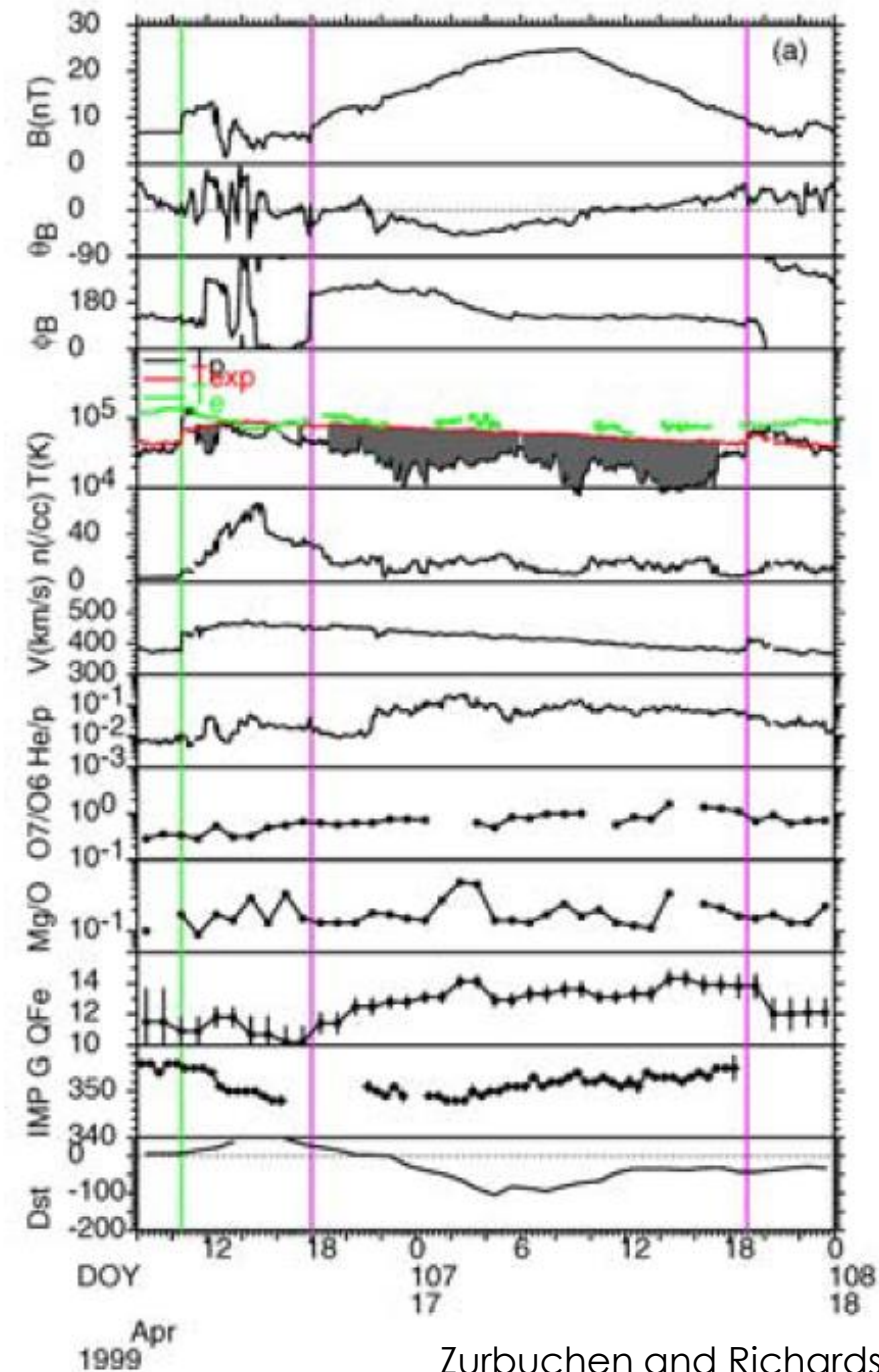
- <http://ipshocks.fi/>
- <http://www.srl.caltech.edu/ACE/ASC/DA/TA/level3/icmetable2.htm>



Zurbuchen and Richardson (2006)

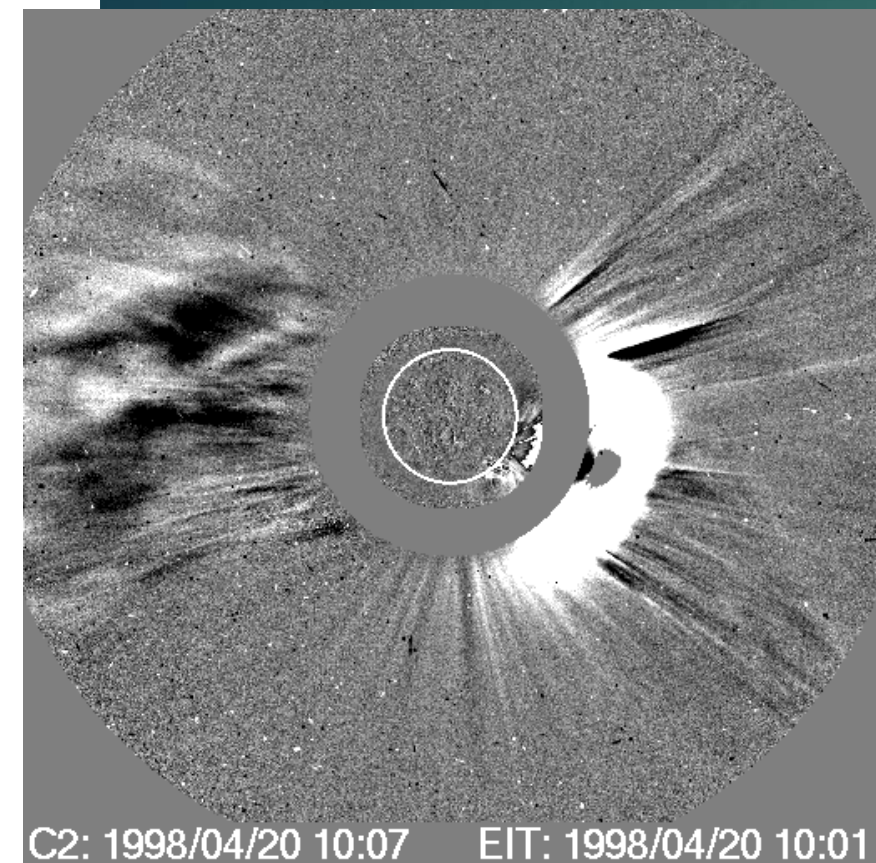
ICME: междупланетни

- ▶ In situ наблюдение на плазма и магнитно поле
- ▶ Конфигурации на т.нар. магнитен облак
- ▶ Радио изображения и радио сцинтилационни наблюдения на пертурбации в междупланетното пространство, свързани с КИМ
- ▶ Причина за геомагнитните бури

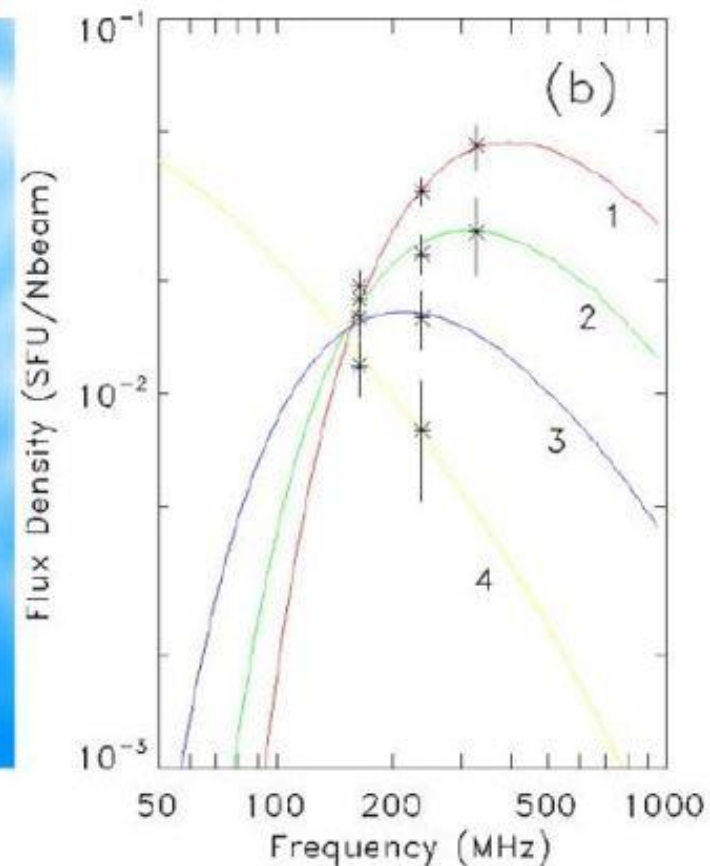
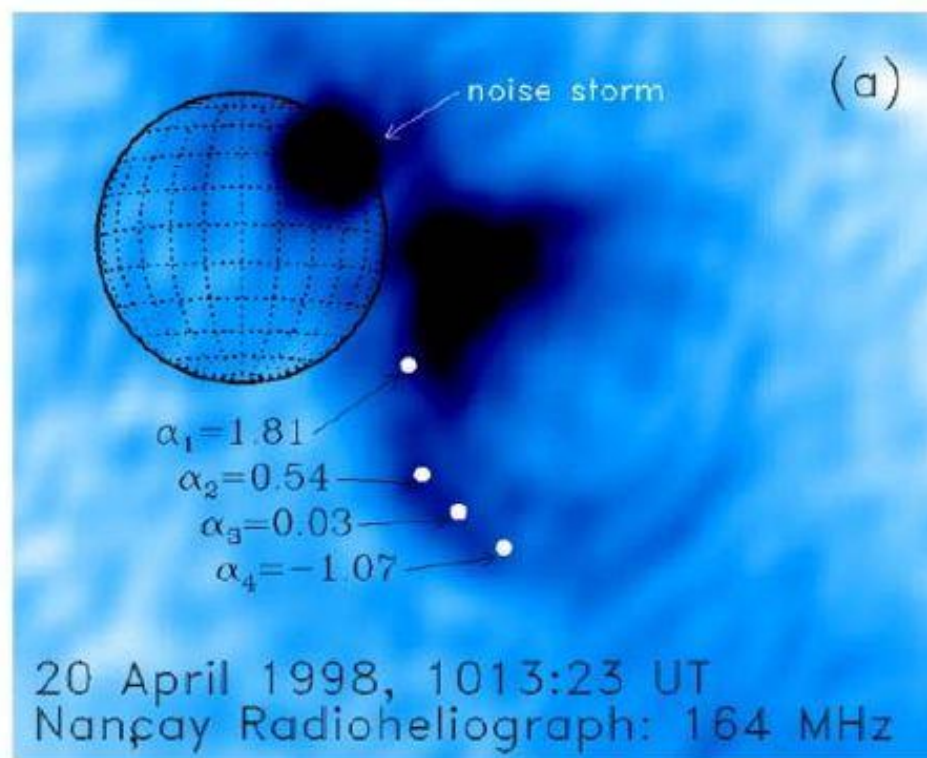


Радио наблюдения

Bastian et al. (2001)



https://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME_list/daily_movies/1998/04/20/



Литература

- ▶ <https://link.springer.com/article/10.12942/lrsp-2012-3>
- ▶ <https://link.springer.com/article/10.12942/lrsp-2011-1>
- ▶ <https://link.springer.com/article/10.1007/s41116-017-0009-6>