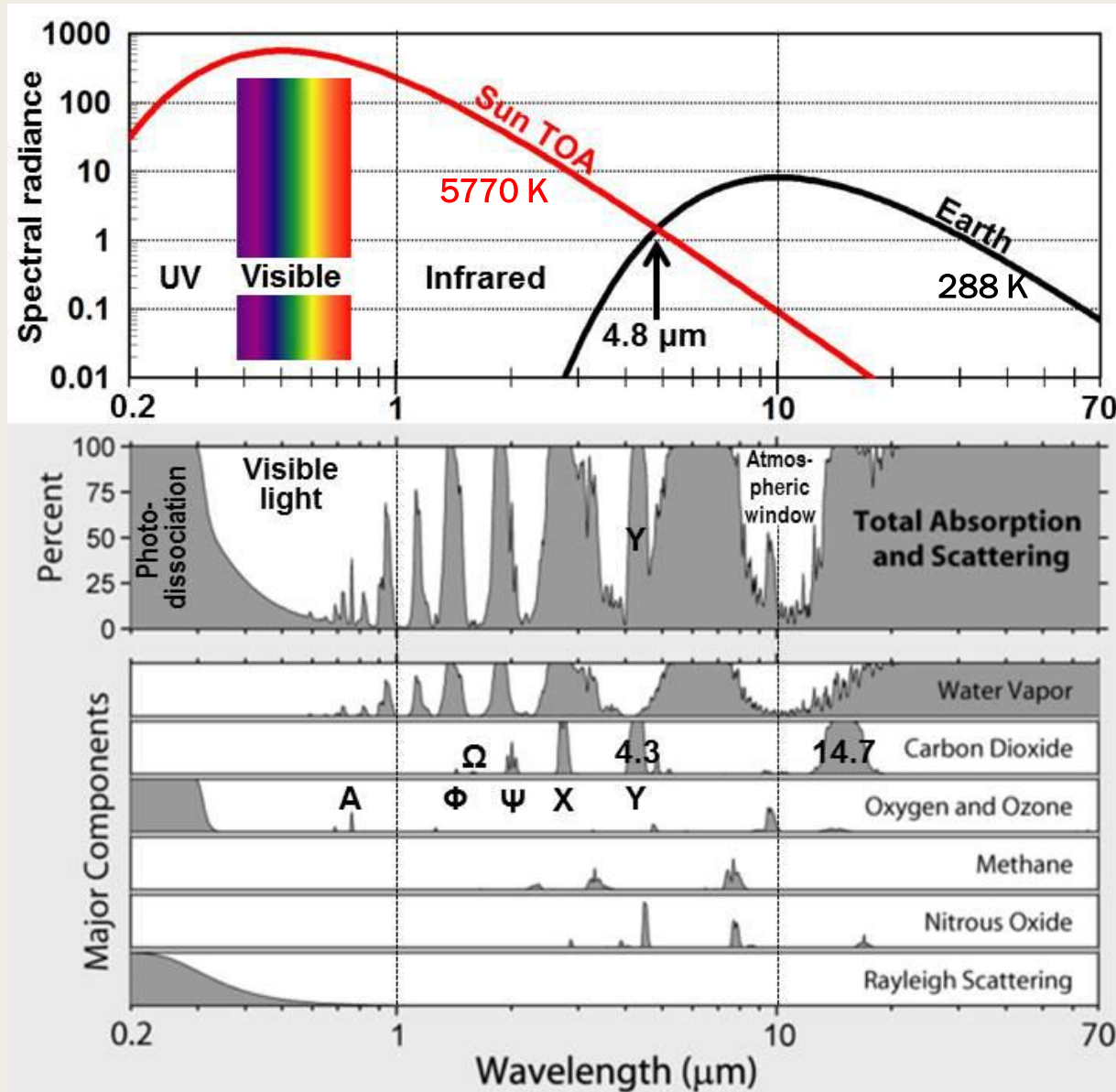


НАЗЕМНИ И СПЪТНИКОВИ НАБЛЮДЕНИЯ НА СЛЪНЦЕТО

д-р Росица Митева
ИКИТ-БАН
rmiteva@space.bas.bg

Наземни наблюдения на Слънцето



Пропускане на слънчевата радиация през земната атмосфера

Гама, рентген, повечето ултравиолет – само от спътници

Видим спектър

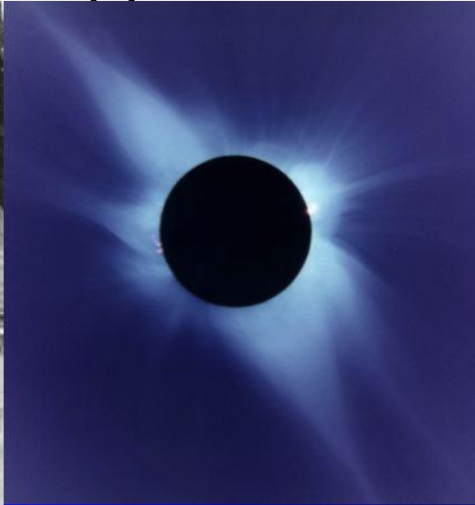
Инфрочервения спектър – в определени прозорци

Радио вълни – от GHz до ~ 10 MHz

Къси радио вълни – от спътници

За непрекъснато наблюдение на Слънцето са нужни мрежи от обсерватории (напр. GONG, RSTN).

Наземни наблюдения на Слънцето: коронографи



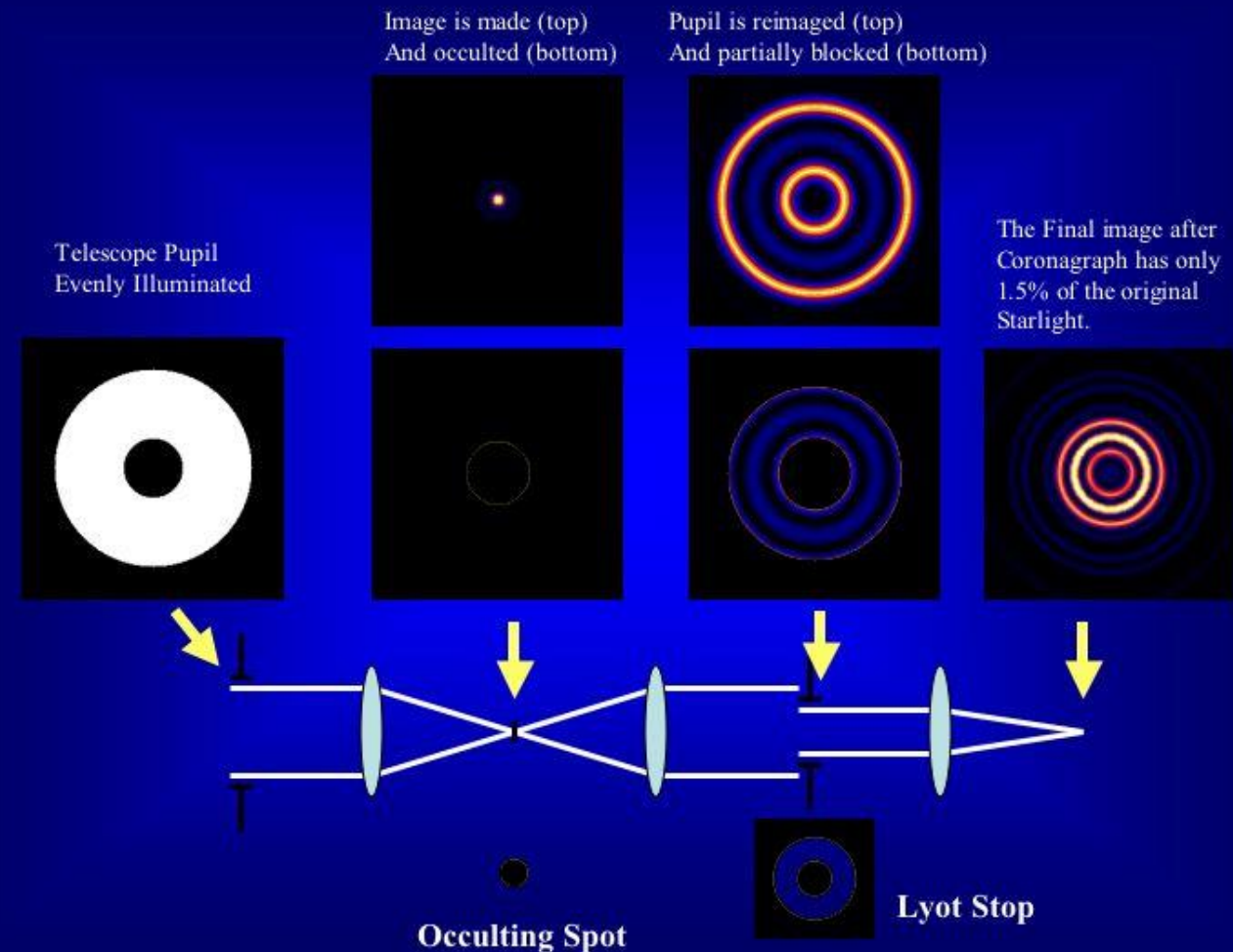
Bernard Lyot, 1939, at Pic du Midi
French Astronomer
Inventor of the Coronagraph



<https://en.wikipedia.org/wiki/Coronagraph>

Коронографи се използват и на спътници, вкл. при търсене на ехопланети.

<http://lyot.org/background/coronagraphy.html>



Наземни наблюдения на Слънцето

https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_solar_telescopes

https://www.kso.ac.at/index_en.php

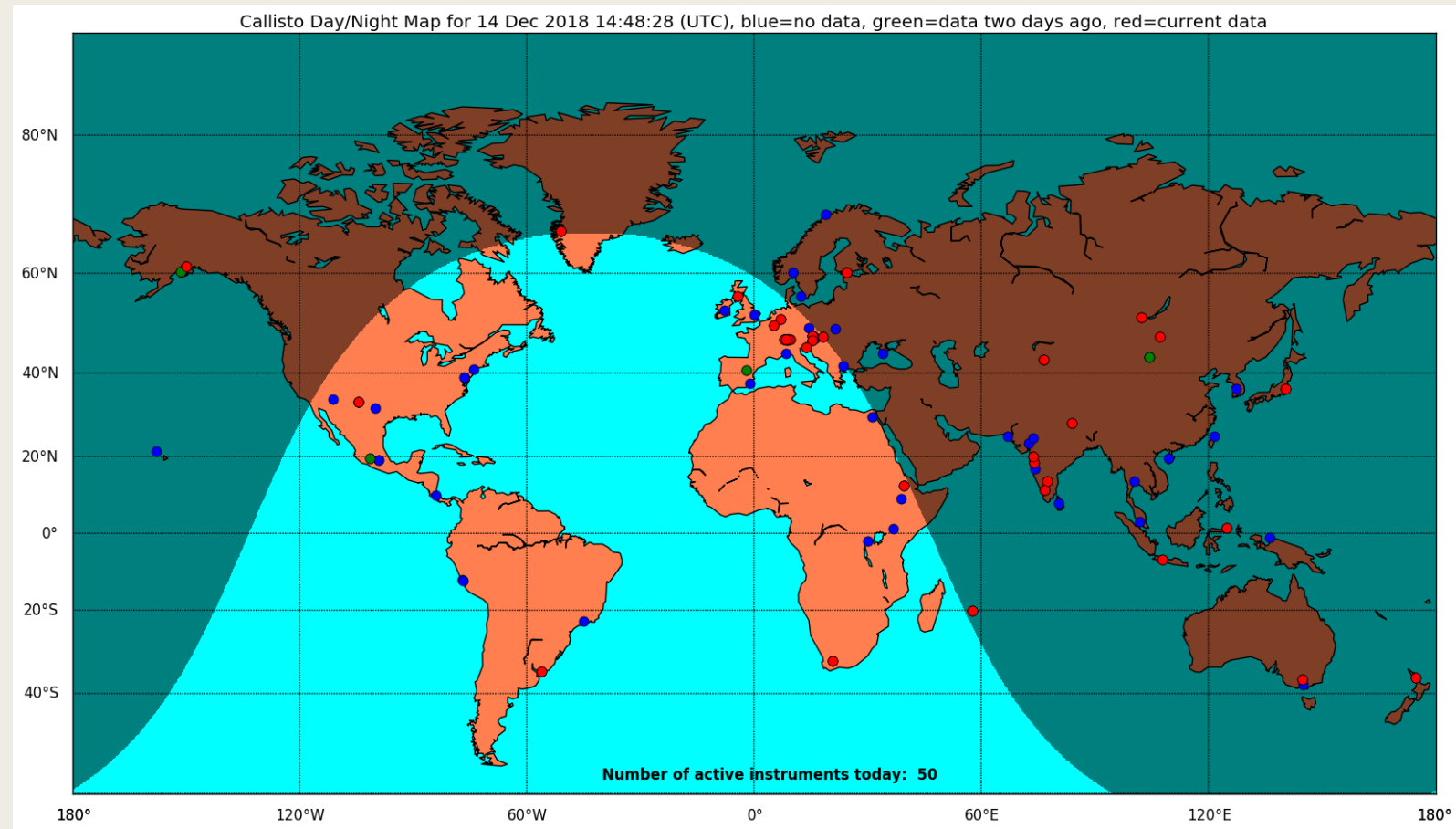
<http://www.bbso.njit.edu/>

<https://www.nso.edu/>

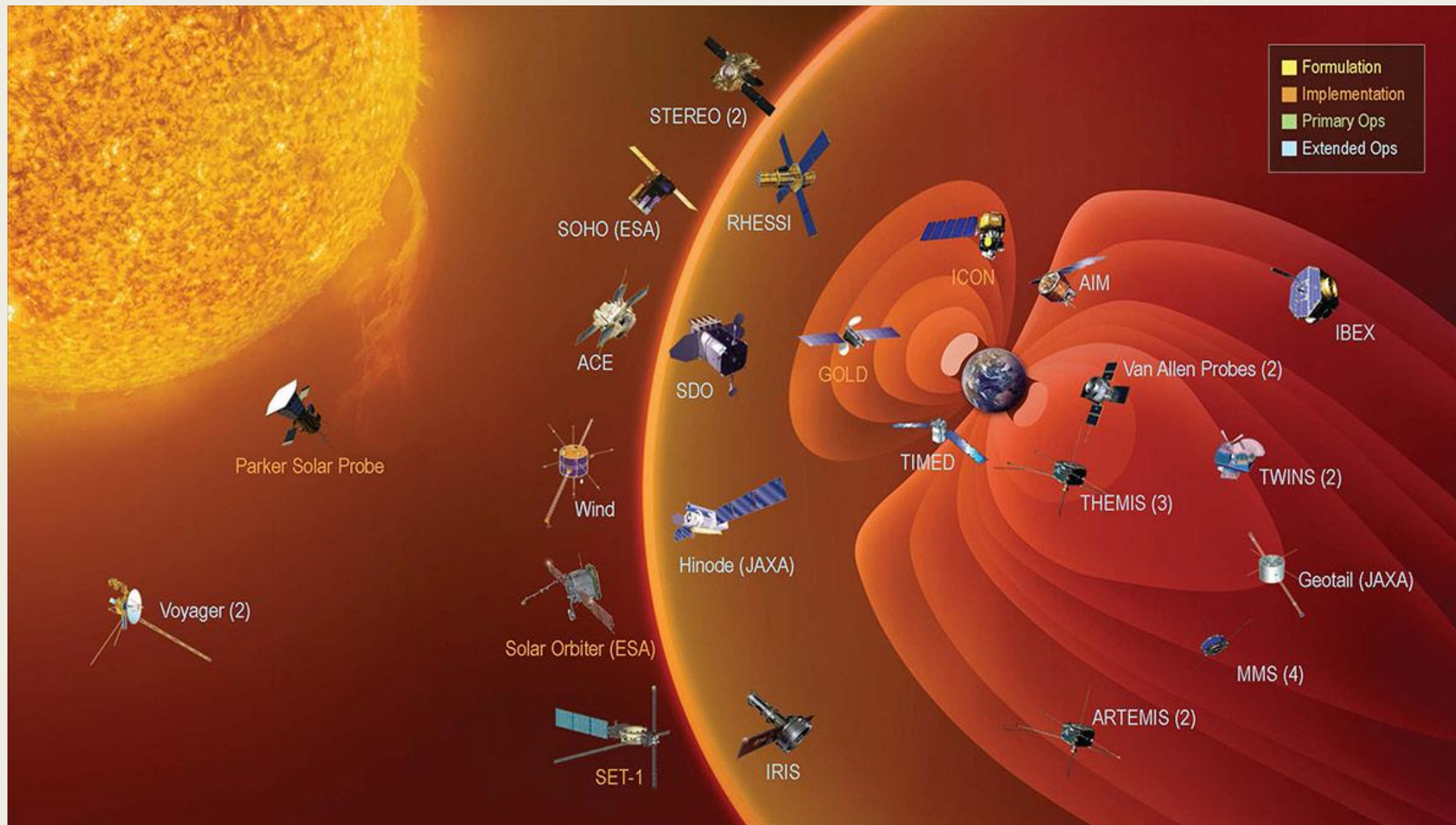
<http://www.isf.astro.su.se/>

<http://secchirh.obspm.fr/>

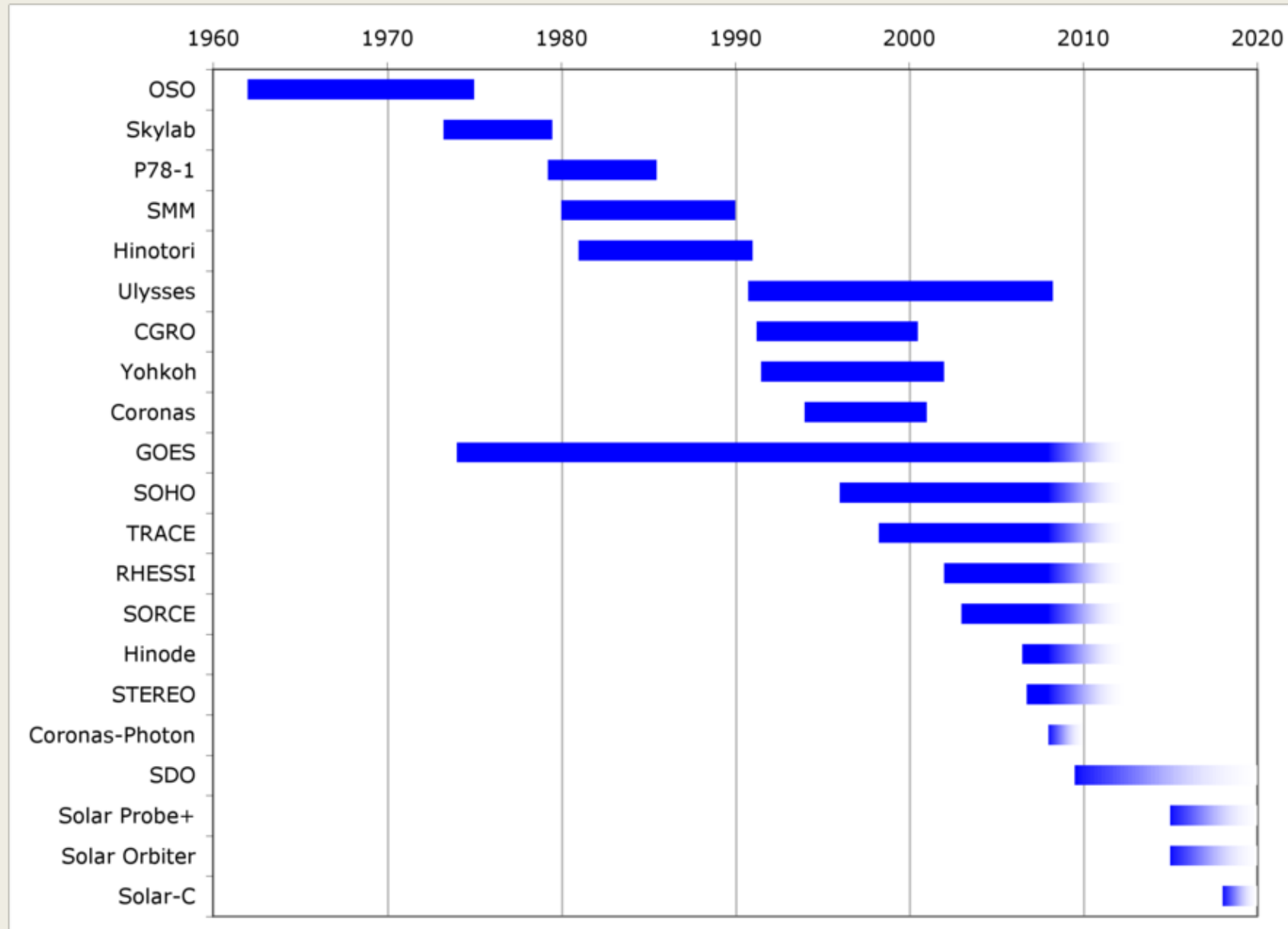
<http://www.e-callisto.org/>



Спътникови наблюдения на Слънцето



Спътникови наблюдения на Слънцето

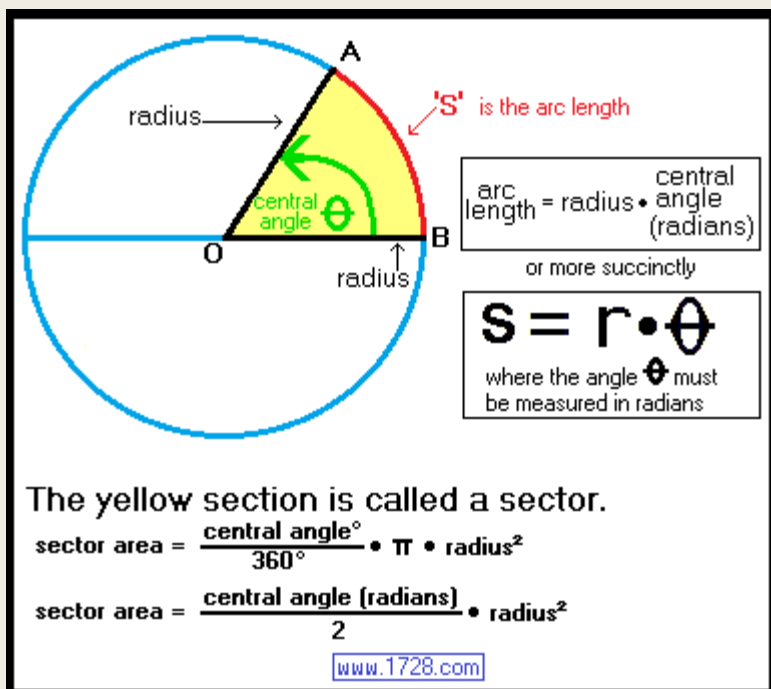


Избрани слънчеви мисии

http://www.scholarpedia.org/article/Solar_Satellites

- GOES
- (*Yohkoh*)
- (*TRACE*)
- SOHO
- (*Ulysses*)
- ACE
- Wind
- (*RHESSI*) → ***Fermi***
- Hinode
- STEREO A&B
- SDO
- DSCOVR (← ACE)
- Parker solar probe (12.08.2018); Solar Orbiter (2020?); Solar C(?)

Разделителна способност



s – arc length [m]

r – radius of the circle [m]

θ – central angle [radians] = $(1/3600)(\pi/180)$

1" (Земя) 30 m

1" (Луна) 1.87 km

1" (Слънце) 728 km

1" (Марс) 237 km

1" (1 parsec) 1 AU

Спътникови наблюдения на Слънцето: GOES

Geosynchronous Operational Environmental Satellite (GOES)

<https://www.goes.noaa.gov/>

https://en.wikipedia.org/wiki/Geostationary_Operational_Environmental_Satellite

Серия от метеорологични спътници на геостационарна орбита > 1975
(> 1995: 3-осова стабилност)

Space Environment Monitor (SEM)

X-ray Sensor (XRS)

Поток от целия диск в 0.5–4, 1–8 Å

От отношението (твърдост на спектъра) се оценява T и EM на плазмата

Energetic Particle Sensor (EPS)

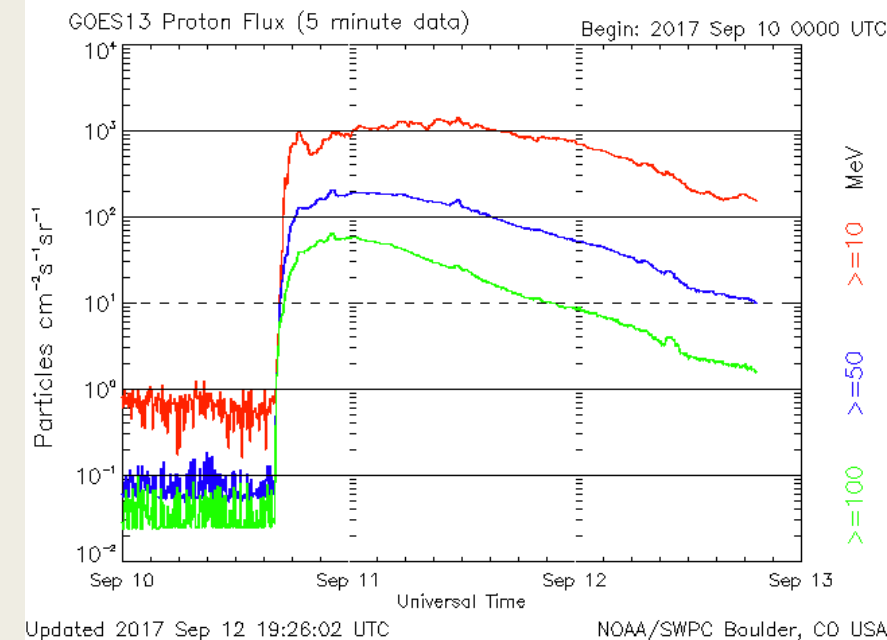
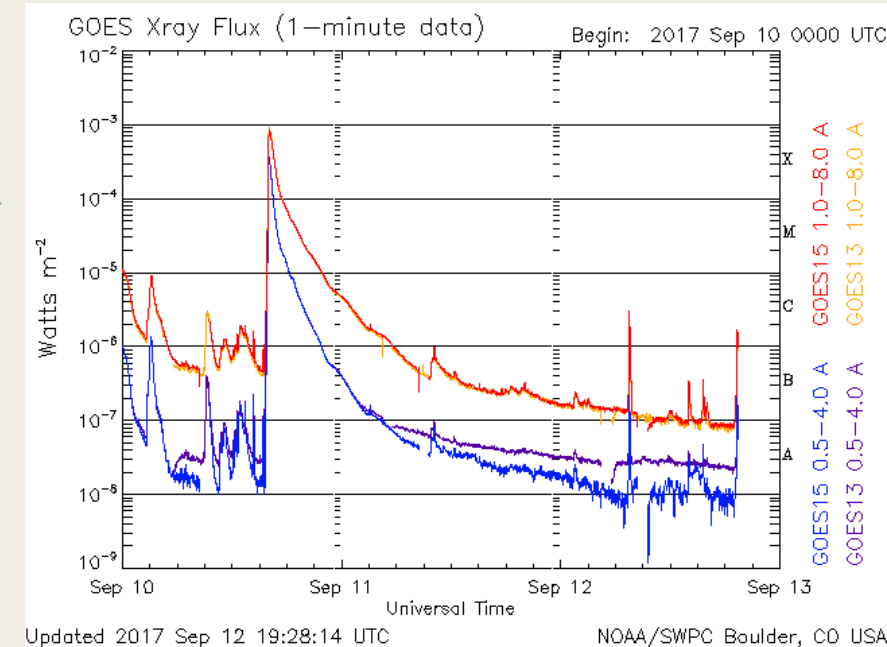
За измерване потоци от протони, алфа-частици и електрони

Magnetometer

Измерва трите взаимно перпендикулярни компоненти на земното магнитно поле

Soft X-ray Imager (SXI) (само на GOES-12, 13)

Дават криви на блясъка на всяка минута, докато широкоивичните филтри дават изображения в няколко канала между 6 и 60 Å.



Спътникови наблюдения на Слънцето: Yohkoh

Solar-A, “sunbeam”

<http://www.lmsal.com/SXT/>

<http://solar.physics.montana.edu/sxt/>

<https://hesperia.gsfc.nasa.gov/sftheory/yohkoh.htm>

<http://ylstone.physics.montana.edu/ylegacy/>

1991/Aug/31–2001/Dec/14

Kagoshima Space Center

Леко елиптична ниска орбита (low-earth orbit), 90 min



Credit: ISAS/JAXA

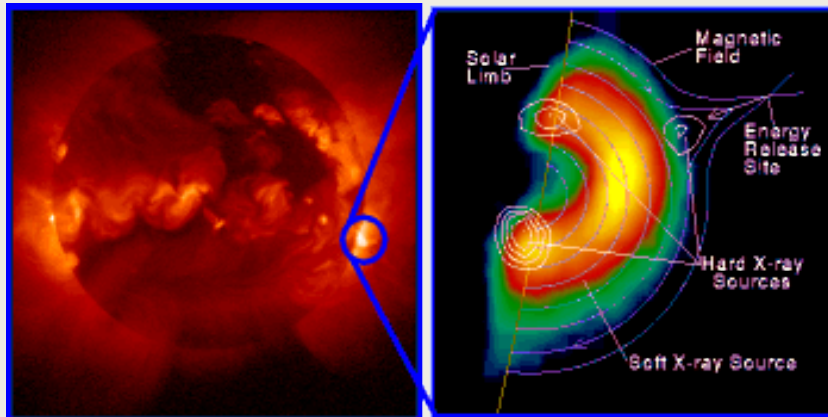
Instruments

Bragg Crystal Spectrometer (BCS): whole Sun

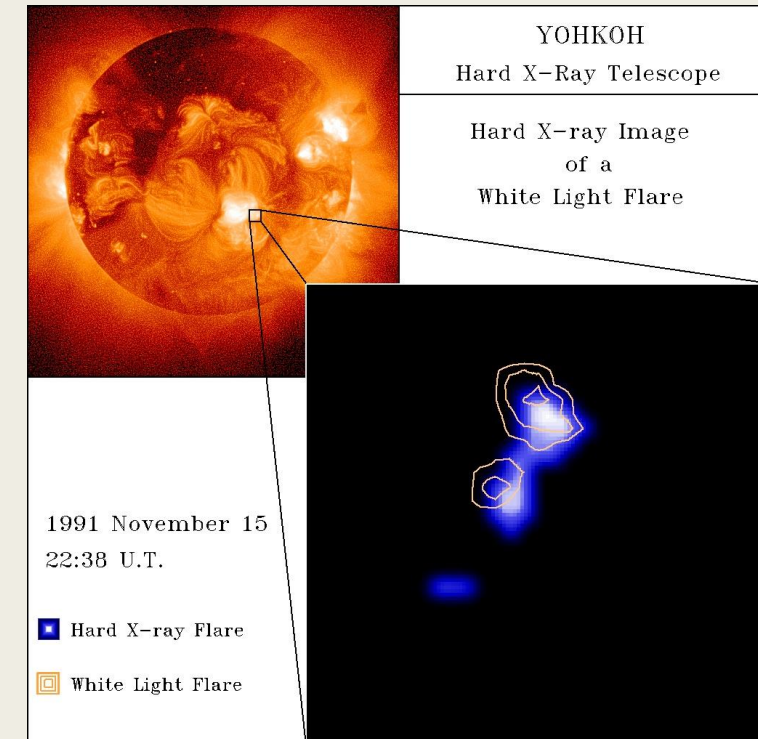
Wide Band Spectrometer (WBS)

Soft X-Ray Telescope (SXT): whole Sun, 3–45 Å (0.25–4 keV), 2.5", 0.5–2 sec

Hard X-Ray Telescope (HXT): whole Sun, 4 channels 15–100 keV, 5", 0.5 sec



<https://hesperia.gsfc.nasa.gov/sftheory/flareimage.htm>



Спътникови наблюдения на Слънцето: SOHO

Solar and Heliospheric Observatory

<http://sci.esa.int/soho/>

<https://sohowww.nascom.nasa.gov/>

ESA & NASA

1995/Dec/2 – 2018/Dec/31

Atlas II-AS, Cape Canaveral

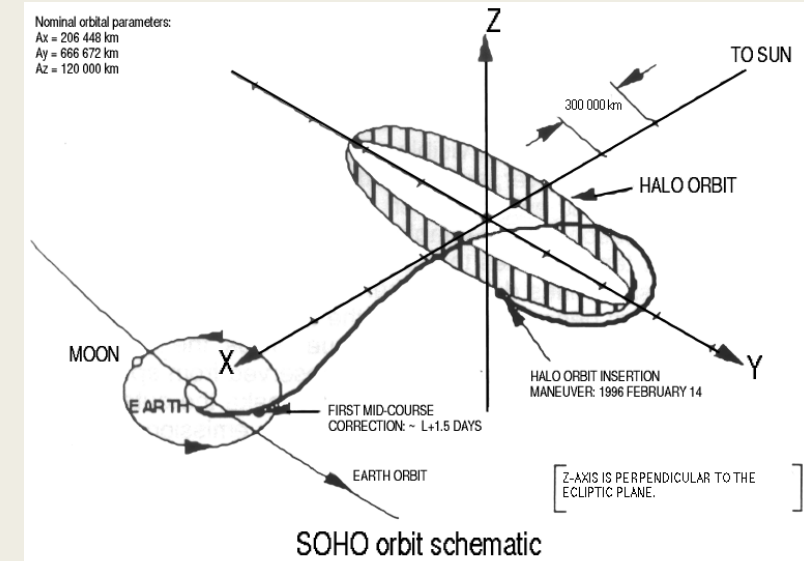
Хало орбита около L1

Jun-Nov 1998 SOHO загуба на спътника: липсат научни данни

3-осово стабилизиран без жироскоп

Наблюдения от

- Ядрото (чрез осцилации и слънчеви тресения),
- През външна атмосфера до короната и слънчевия вятър (дистанционни и *in situ*),
- До разстояние от 10 ае (*in situ*)



Instruments

CDS (Coronal Diagnostic Spectrometer)

CELIAS (Charge, Element, and Isotope Analysis System)

COSTEP (Comprehensive Suprathermal and Energetic Particle Analyzer)

EIT (Extreme ultraviolet Imaging Telescope)

ERNE (Energetic and Relativistic Nuclei and Electron experiment)

GOLF (Global Oscillations at Low Frequencies)

LASCO (Large Angle and Spectrometric Coronagraph)

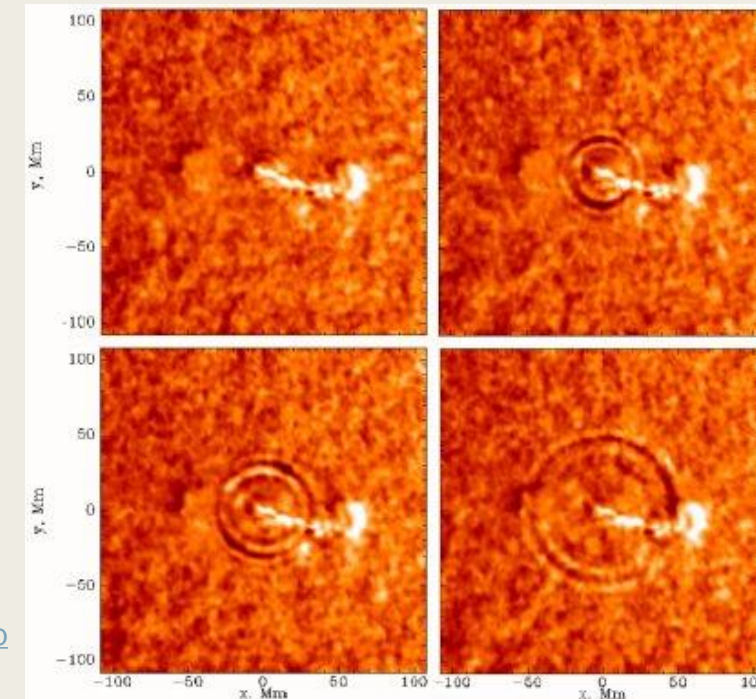
MDI (Michelson Doppler Imager)

SUMER (Solar Ultraviolet Measurements of Emitted Radiation)

SWAN (Solar Wind Anisotropies)

UVCS (Ultraviolet Coronagraph Spectrometer)

VIRGO (Variability of Solar Irradiance and Gravity Oscillations)



<http://sci.esa.int/soho/37379-sun-quake/>

Спътникови наблюдения на Слънцето: SOHO

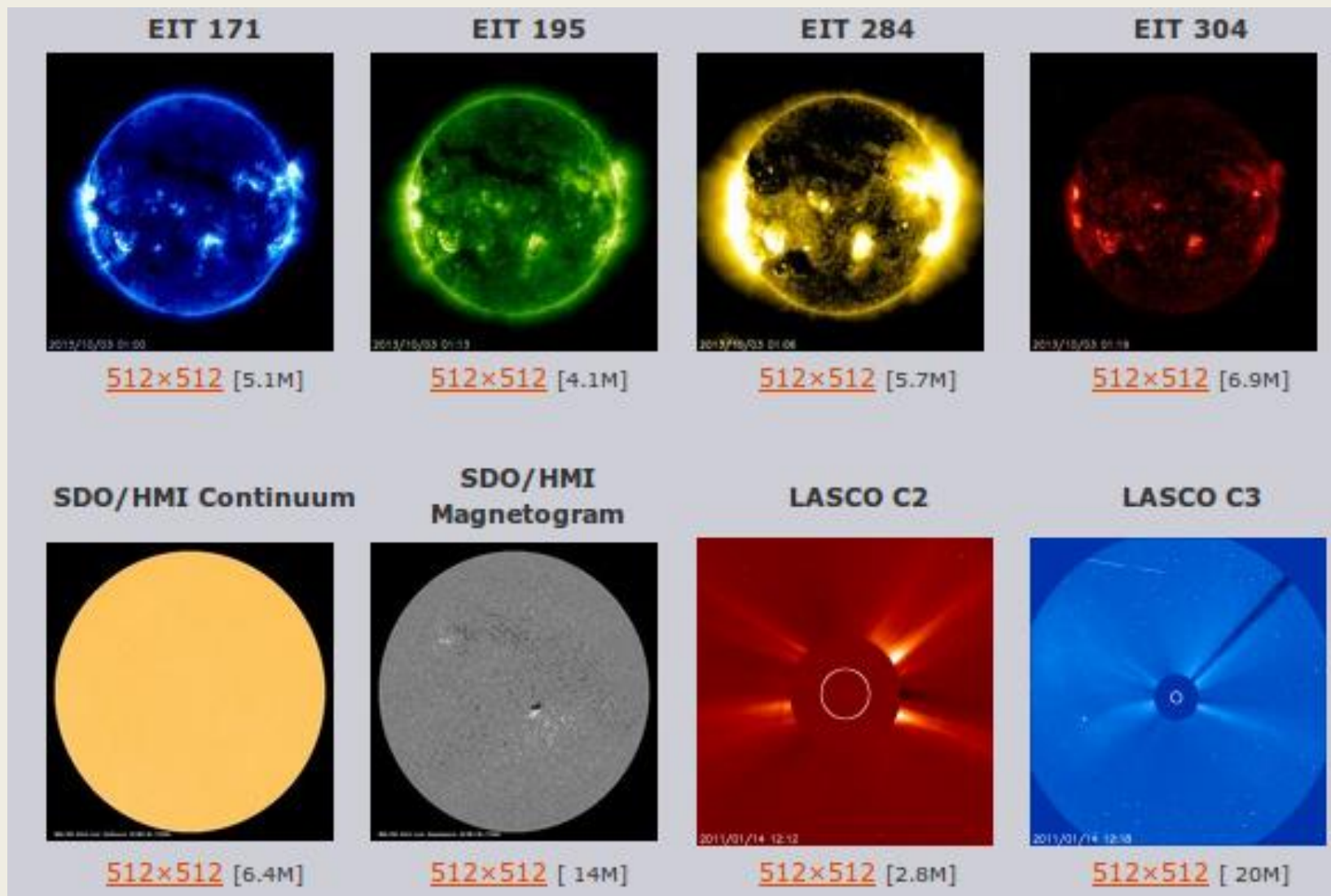
Solar and Heliospheric Observatory

<http://sci.esa.int/soho/>

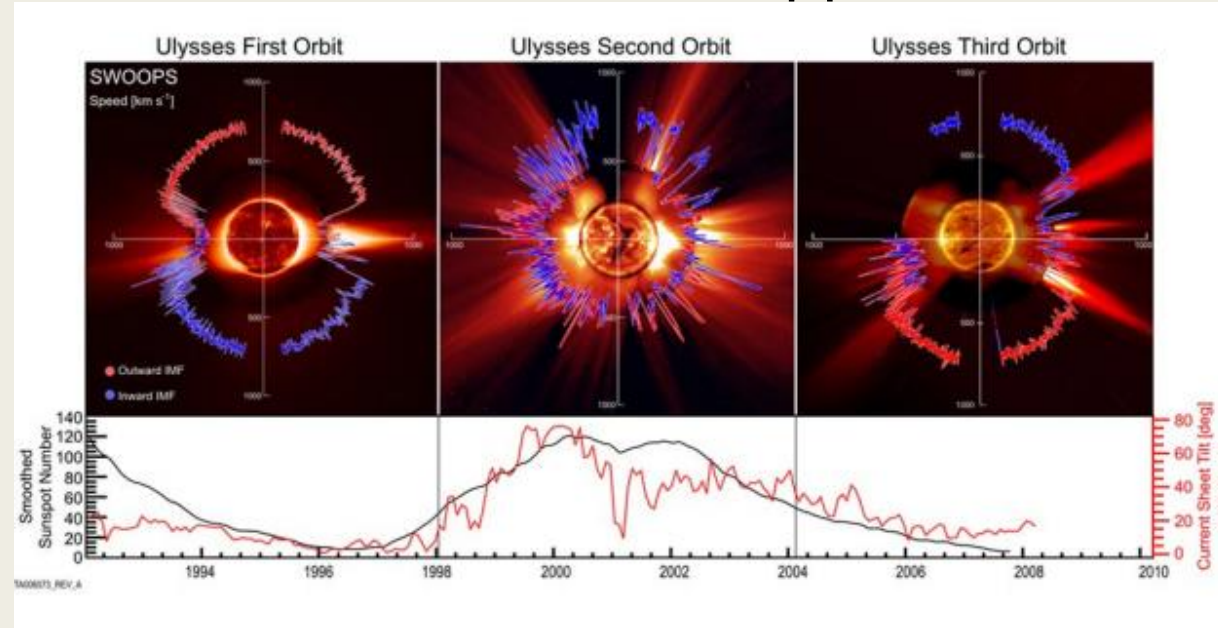
<https://sohowww.nascom.nasa.gov/>

ESA & NASA

1995/Dec/2 – 2018/Dec/31

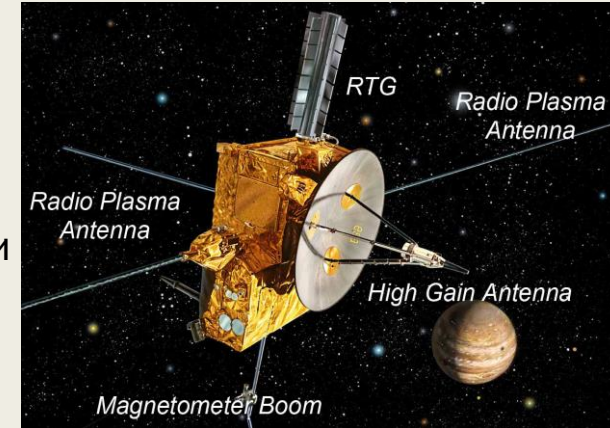


Спътникови наблюдения на Слънцето: Ulysses



Ulysses (lat. Odysseus)
1990/Oct/6–2009/Jun/30
Space Shuttle Discovery

3 орбити на високи ширини
С прелитане около Юпитер

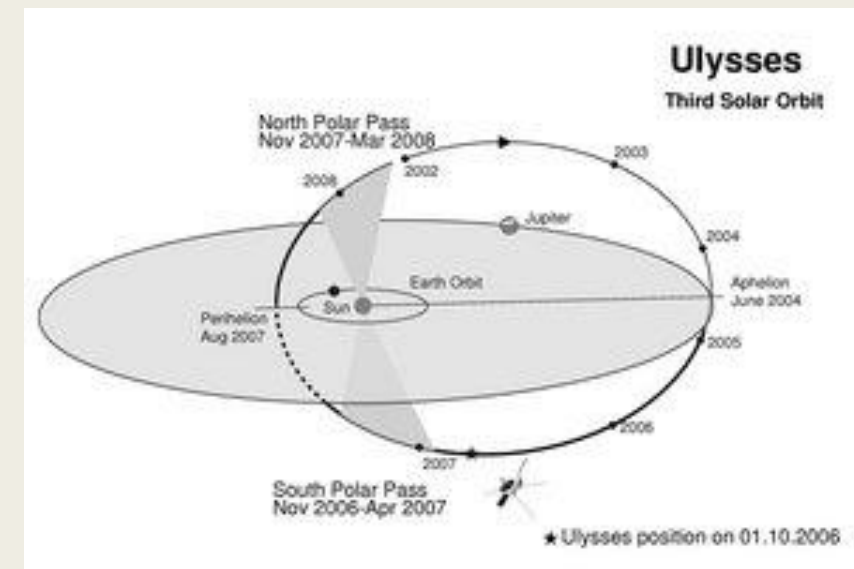


wikipedia

<http://sci.esa.int/ulysses/43461-polar-plots-of-the-solar-wind-speed/>

Instruments

- Magnetometer (VHM/FGM)
- Solar Wind Plasma Experiment (SWOOPS)
- Solar Wind Ion Composition Instrument (SWICS)
- Unified Radio and Plasma Wave Instrument (URAP)
- Energetic Particle Instrument (EPAC)
- Interstellar Neutral-Gas Experiment (GAS)
- Low-Energy Ion and Electron Experiment (HISCALE)
- Cosmic Ray and Solar Particle Instrument (COSPIN)
- Solar X-ray and Cosmic Gamma-Ray Burst Instrument (GRB)
- Dust Experiment (DUST)
- Coronal-Sounding Experiment (SCE)
- Gravitational Wave Experiment (GWE)



http://www.scholarpedia.org/article/Solar_Satellites

Спътникови наблюдения на Слънцето: TRACE

Transition Region and Coronal Explorer (TRACE)

<http://www.lmsal.com/TRACE/>

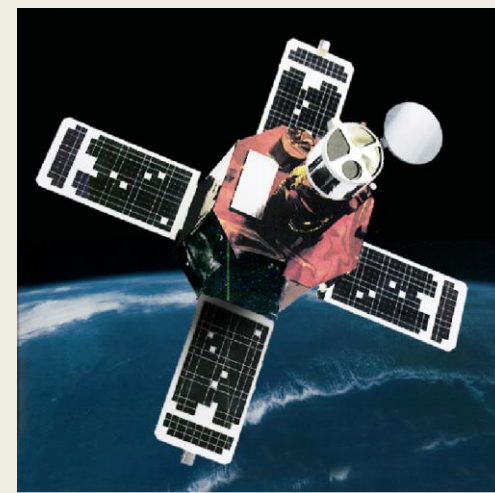
1998/04/02 – 2010/06/21

Regasus rocket

8.5 x 8.5'

EUV and UV

0.1"



Summary of TRACE filter passbands (Handy et al. 1999a)

Central Wavelength (Å)	Emission	Bandwidth (Å)	Temperature $\log_{10}$ (K)
171	Fe IX/X	6.4	5.2-6.3
195	Fe XII/XXIV	6.5	5.7-6.4, 7.0-7.4
284	Fe XV	10.7	6.1-6.6
1216	Ly	84	4.0-4.5
1550	C IV	30	4.8-5.4
1600	UV cont.	275	3.6-4.0
1700	UV cont.	200	3.6-4.0
5000	White light	broad	3.6-3.8

<http://astronomy.nmsu.edu/mcateer/thesis/online/node40.html>

Спътникови наблюдения на Слънцето: ACE, Wind

Advanced Composition Explorer (ACE)

<http://www.srl.caltech.edu/ACE/>

http://www.srl.caltech.edu/ACE/ace_mission.html

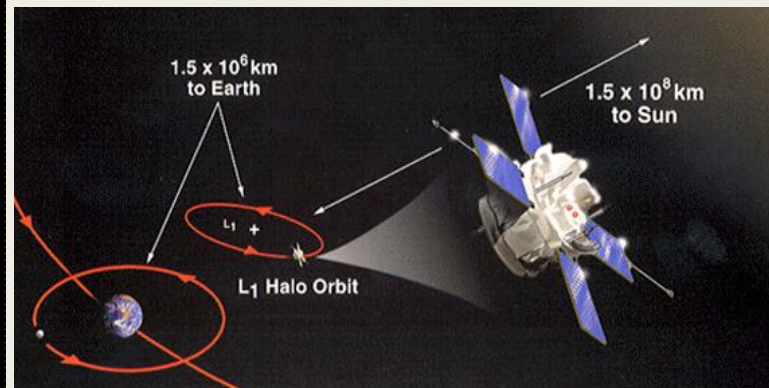
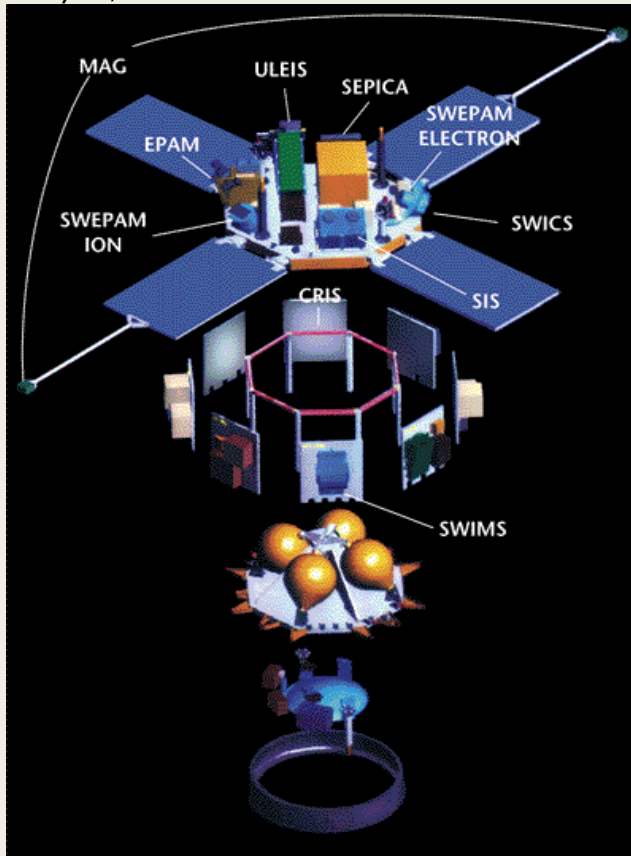
<http://www.srl.caltech.edu/ACE/ASC/>

1997/Aug/25 (някои от инструментите не работят)

Lissajous orbit around L1

Delta II, Cape Canaveral (Kennedy Space Center)

24/7, in situ



Wind

<https://wind.nasa.gov/>

1994/Nov/01

>2004 хало орбита около L1

Delta II, Cape Canaveral

spin stabilized

in situ &

remote-sensing observations



Magnetic Field (MFI)

Solar Wind Experiment (SWE) – Ions

Solar Wind Experiment (SWE) – Electrons

3-D Plasma and Particle Investigation (3DP)

SMS Composition Spectrometer

Energetic Particle Investigation (EPACT)

Radio and Plasma Wave Science (WAVES)

Gamma-Ray Burst Investigation (KONUS)

Transient Gamma-Ray Spectrometer (TGRS)

Спътникови наблюдения на Слънцето: RHESSI

Reuven Ramaty High Energy Solar Spectroscopic Imager (RHESSI)

<https://hesperia.gsfc.nasa.gov/rhessi3/>

<http://sprg.ssl.berkeley.edu/~tohban/browser/>

2002/Feb/5 – 2018/Aug/16

Small explorer mission

Pegasus XL, Cape Canaveral

Low Earth orbit, кръгова, 600 km, наклон 38°

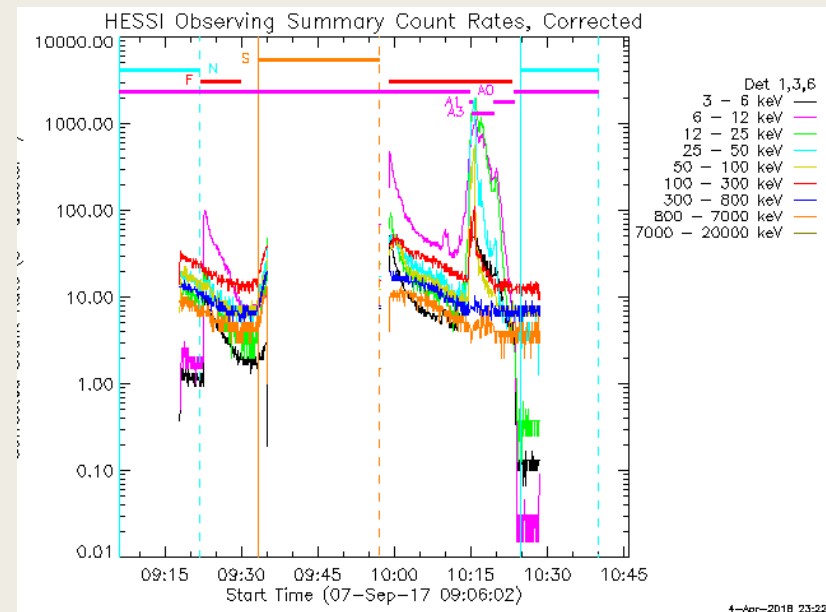
Full Sun (1 degree), 3 keV - 17 MeV

Разделителна способност

спектрална: 1 keV up to 100 keV, 3 keV up to 1 MeV, 5 keV up to 17 MeV

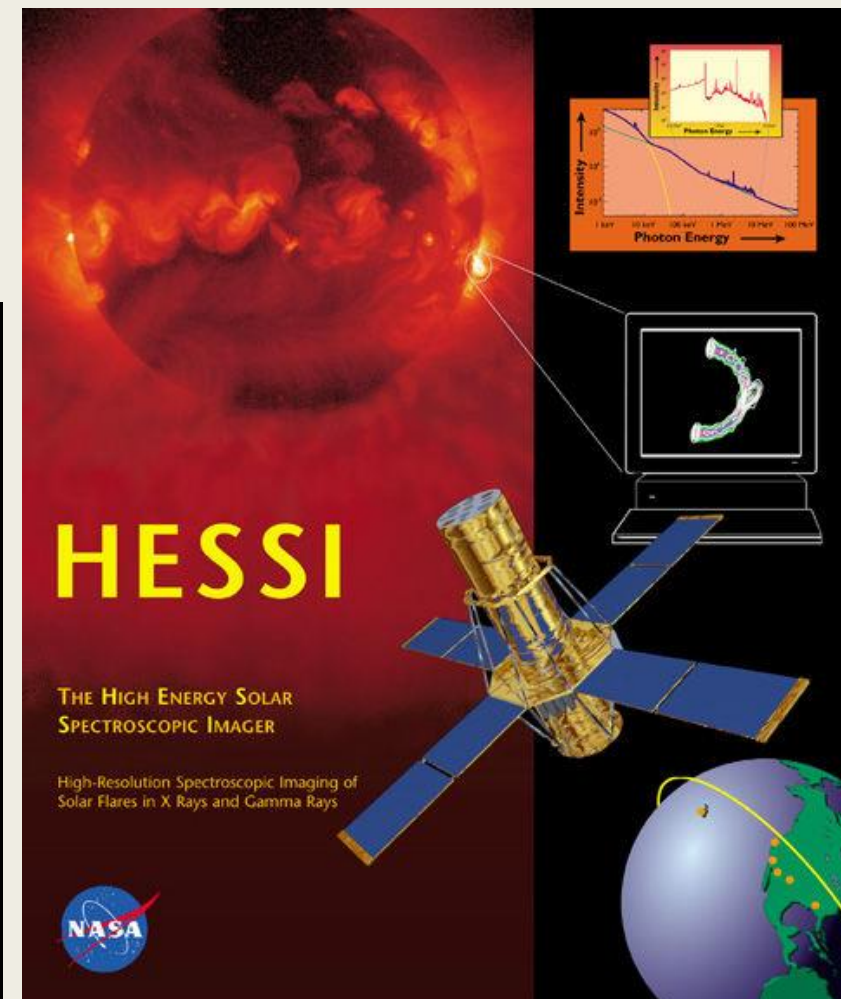
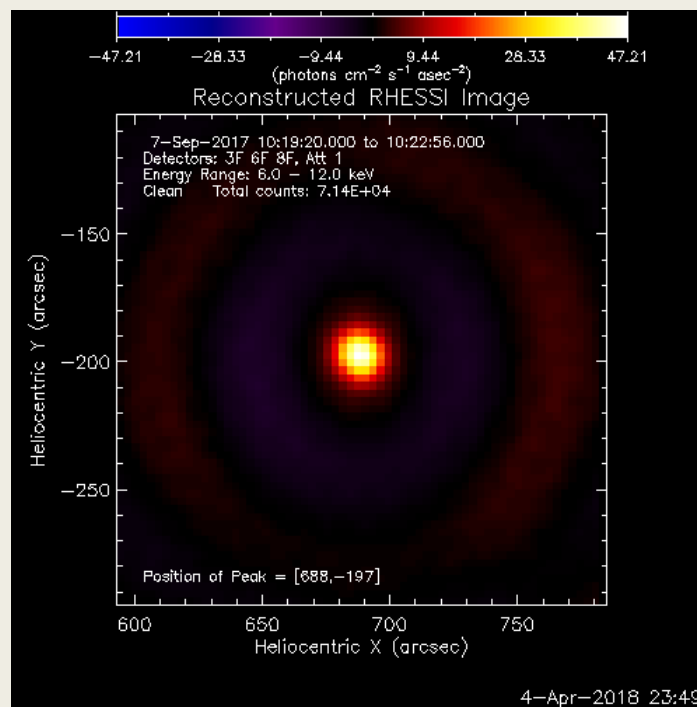
ъглова: 2" до 100 keV, 7" до 400 keV, 36" над 1 MeV

времева: 4 sec



next: Fermi

https://hesperia.gsfc.nasa.gov/fermi_solar/



Спътникови наблюдения на Слънцето: Hinode

<http://www.isas.jaxa.jp/home/solar/>

<https://hinode.nao.ac.jp/en/>

23-Sep-2006

JAXA M-V7 Rocket, Uchinoura Space Center

полярна, слънчево-синхронна орбита,

~680 km, 98°, 98 min

<http://solarb.mssl.ucl.ac.uk/SolarB/Instruments.jsp>

Instruments

Solar Optical Telescope (SOT)

0.25" (175 km)

480-650nm

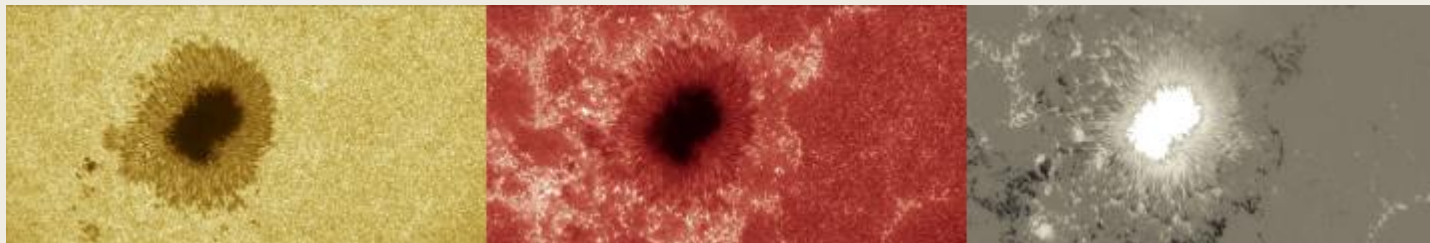
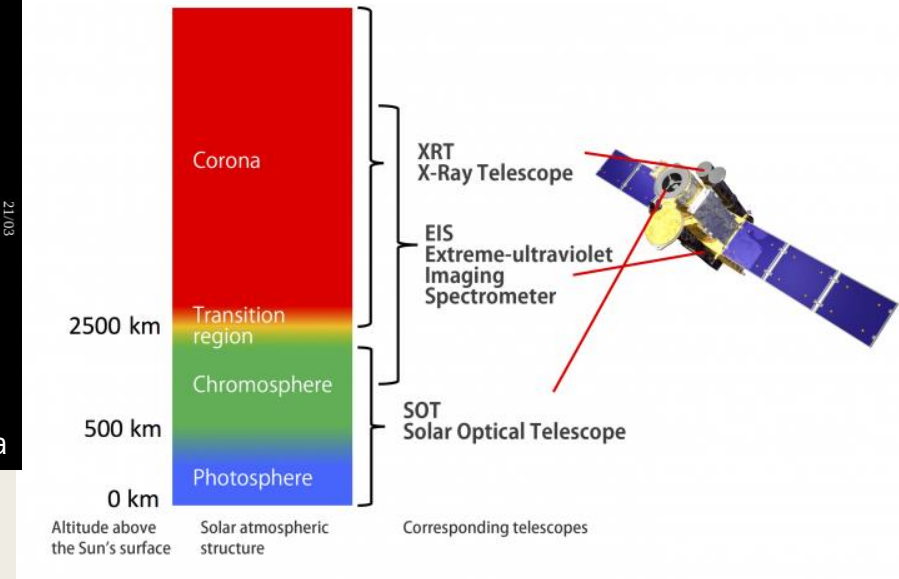
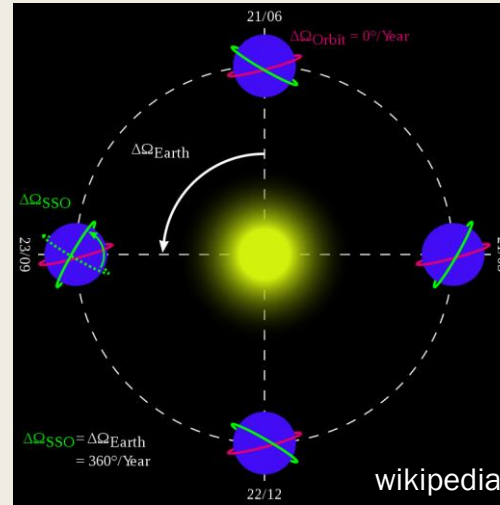
Отделни линии:

Fe I 525.0nm, Fe I 630.2nm, Continuum: 524.6nm, Velocity: Fe I 532.4nm

FOV: 164x164"

чувствителност: B(longitudinal): 1-5G, B(transverse): 30-50G

времева разделителна способност: 5 mins



Спътникови наблюдения на Слънцето: Hinode

<http://www.isas.jaxa.jp/home/solar/>

<https://hinode.nao.ac.jp/en/>

23-Sep-2006

JAXA M-V7 Rocket, Uchinoura Space Center

полярна, слънчево-синхронна орбита,

~680 km, 98°, 98 min

Instruments

X-Ray Telescope (XRT)

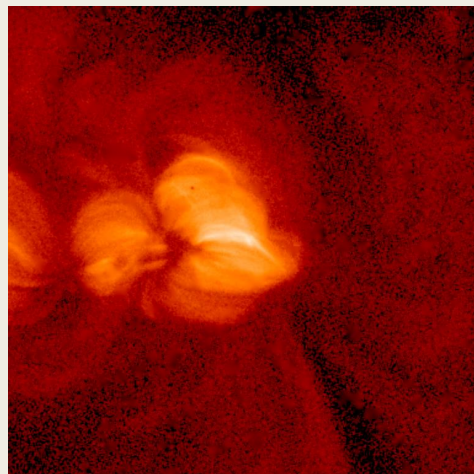
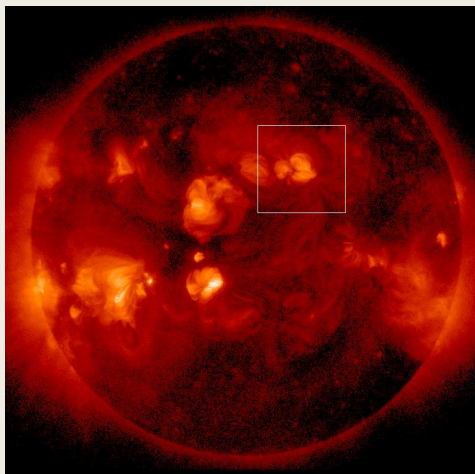
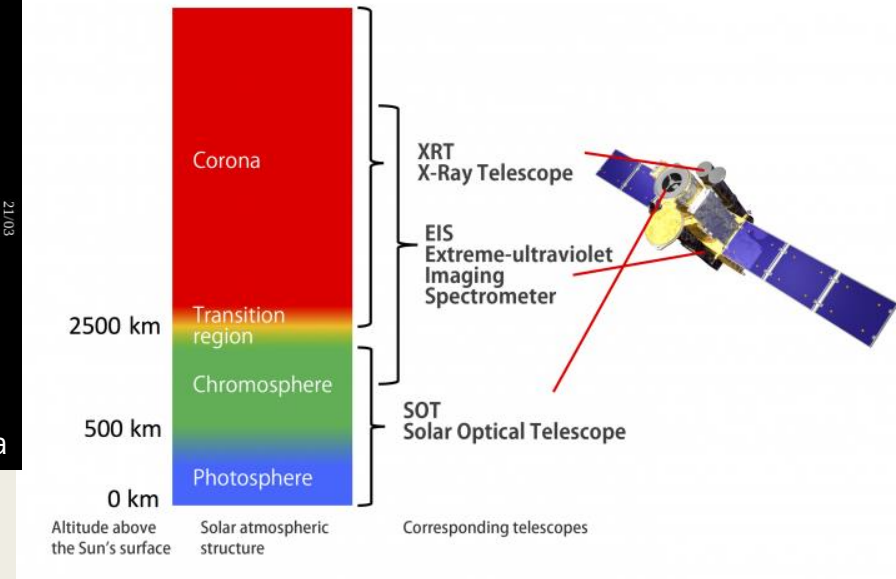
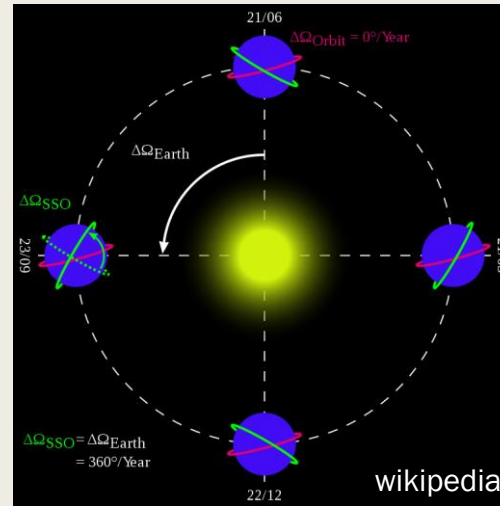
област: $6.1 < \log T < 7.5$

разделителна способност: $\log T=0.2$

ъглова разделителна способност: 2"

времева разделителна способност: 2 sec (reduced FOV), експозиция: min=4ms, max=10s

на целия диск (>30')



Спътникови наблюдения на Слънцето: Hinode

<http://www.isas.jaxa.jp/home/solar/>

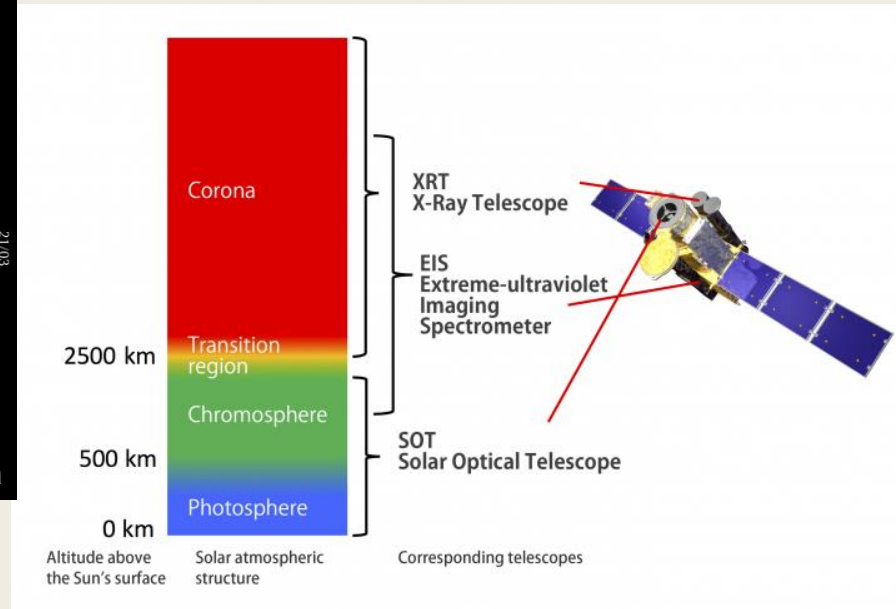
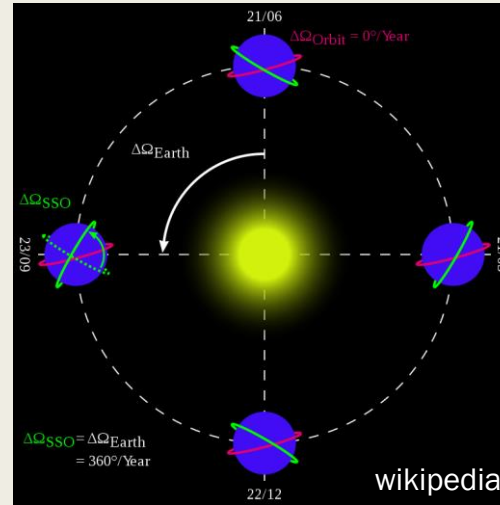
<https://hinode.nao.ac.jp/en/>

23-Sep-2006

JAXA M-V7 Rocket, Uchinoura Space Center

полярна, слънчево-синхронна орбита,

~680 km, 98°, 98 min



Instruments

Extreme-ultraviolet Imaging Spectrometer (EIS)

наблюдения: 170-210 Å and 250-290 Å

ъглова разд. способност: 2"

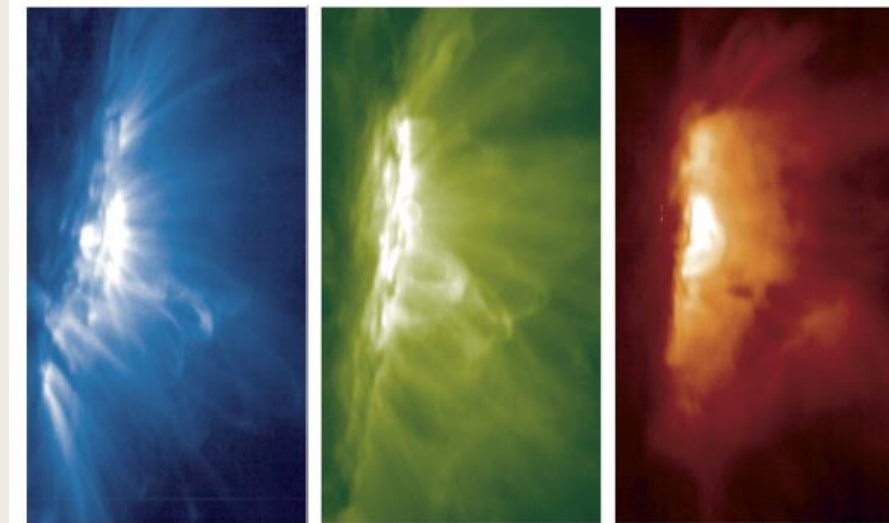
Spectral/Velocity resolution: 3 km/s за доплерови скорости,
20 km/s за линии

Времева разделителна способност:

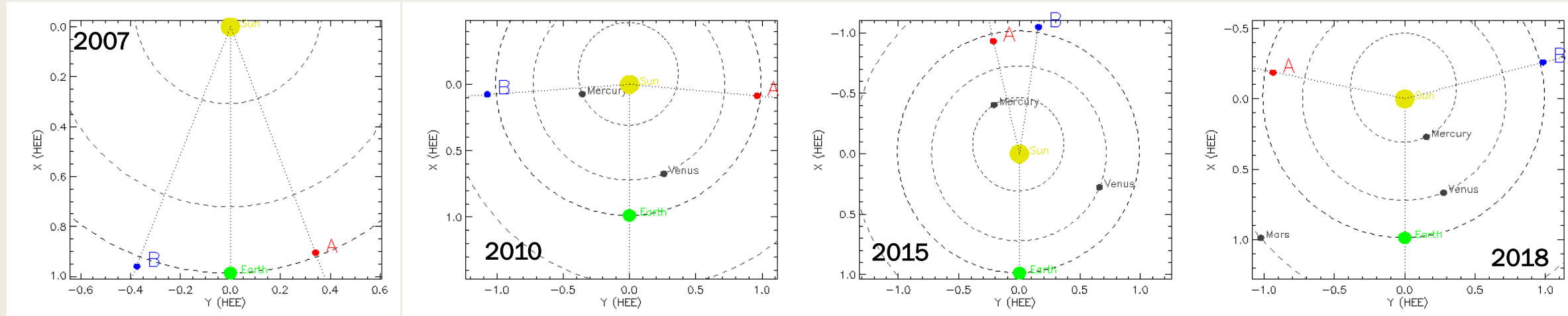
за спекторскопия: < 1 s при динамични събития ~ 10 s за активни области

за изображения: монохроматично изображение (~4x4') на всеки 3 s за
динамични събития или 10 s в останалите случаи

FOV: 360" x 512"



Спътникови наблюдения на Слънцето: STEREO



https://stereo-ssc.nascom.nasa.gov/cgi-bin/make_where_gif

Solar TERrestrial RELations Observatory

първи стереоскопични измервания за изследване на Слънцето и естеството на короналната маса

2 почти идентични спътника в равнината на еклиптиката , на разстояние ~ 1 AU

3-осово стабилизирани

25-Oct-2006, Delta II rocket, Cape Canaveral Air Force Station/Kennedy Space Center, Florida

отместване/година: 22.5° , в посока по и обратна на движението на Земята по орбитата

Планувано като 2-годишна мисия (> 12 yrs)

Общо 16 уреда/спътник

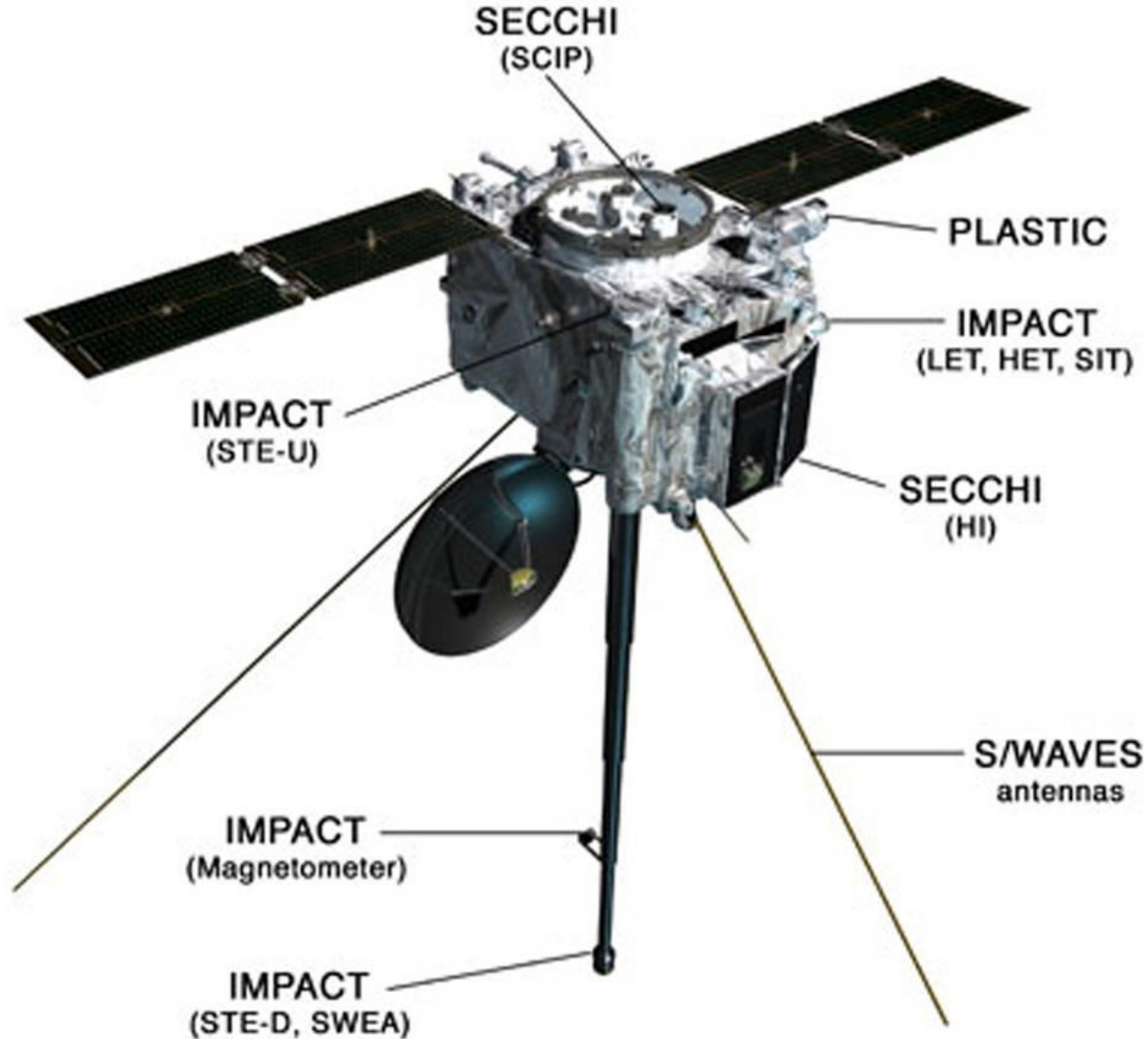
(SECCHI, SWAVES, IMPACT, PLASTIC)

загуба на сигнал от STEREO-B на 2014-Oct-01 (нов контакт на 2016-Aug-21, но след 2016-Sep-23 до днес няма връзка)

<https://stereo-ssc.nascom.nasa.gov/>

<https://stereo.gsfc.nasa.gov/>

Спътникови наблюдения на Слънцето: STEREO



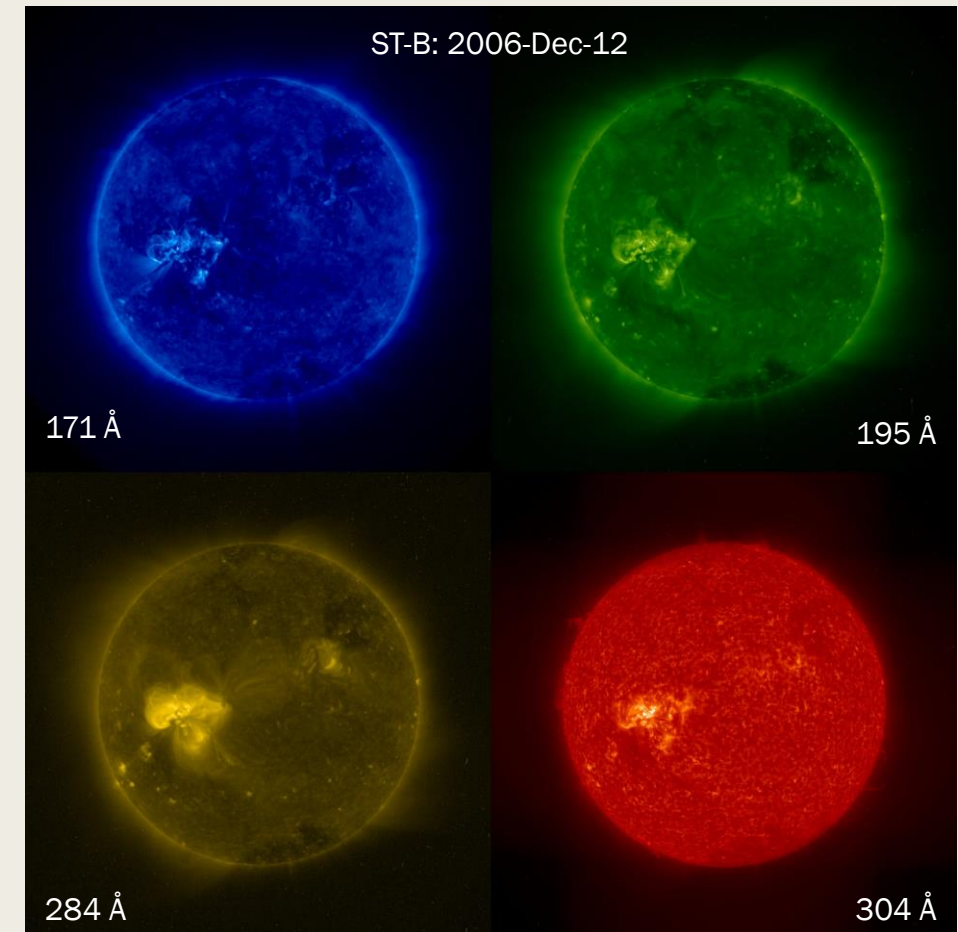
https://www.nasa.gov/mission_pages/stereo/spacecraft/index.html

SECCHI - Sun Earth Connection Coronal and Heliospheric Investigation: <https://secchi.nrl.navy.mil>

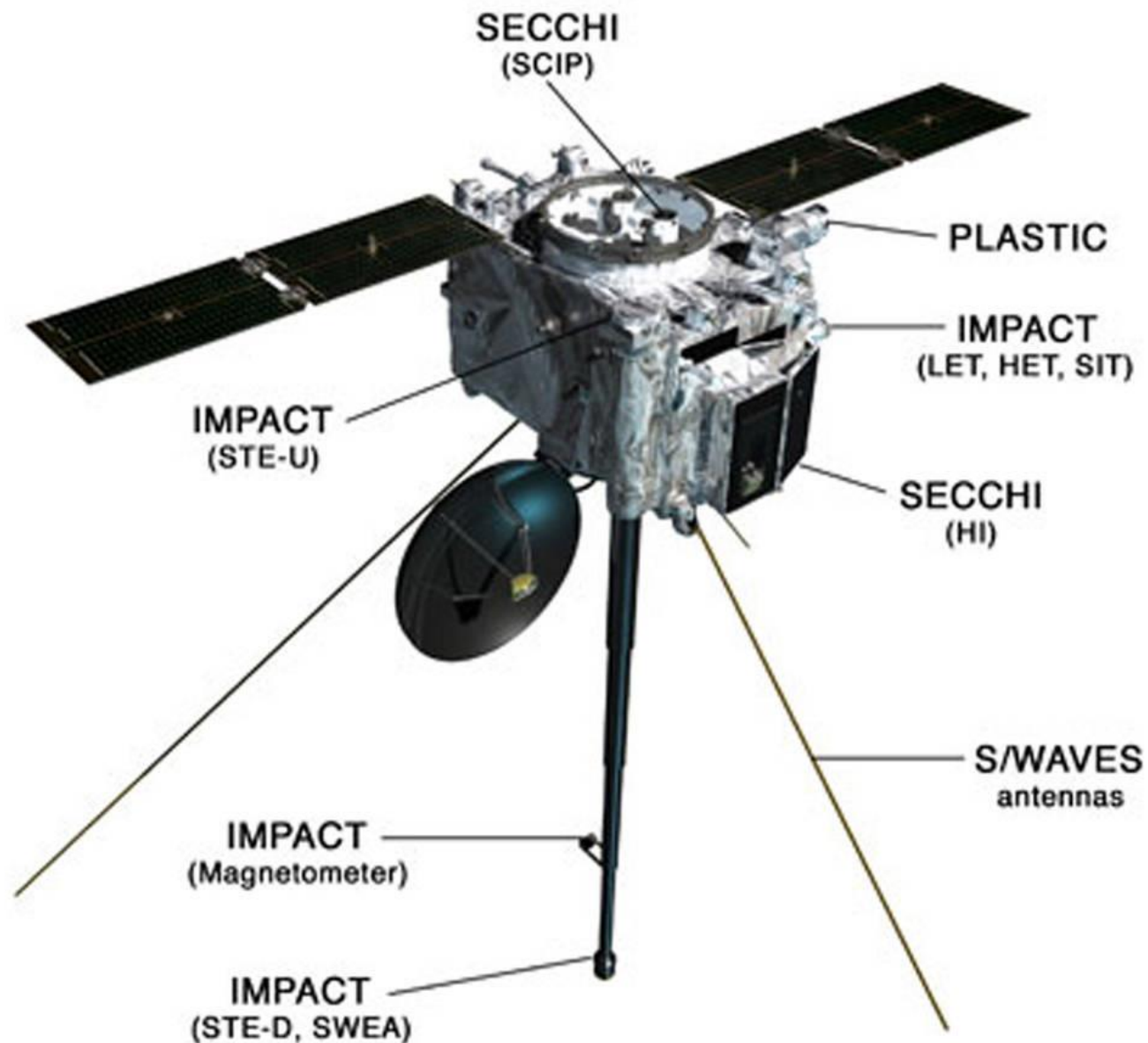
EUVI (extreme ultraviolet imager)

<http://secchi.lmsal.com/EUVI/>

He II 30.4 nm, Fe IX 17.1 nm, Fe XII 19.5 nm, Fe XV 28.4 nm
1–1.7 Rs, 2", 3 min



Спътникови наблюдения на Слънцето: STEREO



SECCHI - Sun Earth Connection Coronal and Heliospheric Investigation:

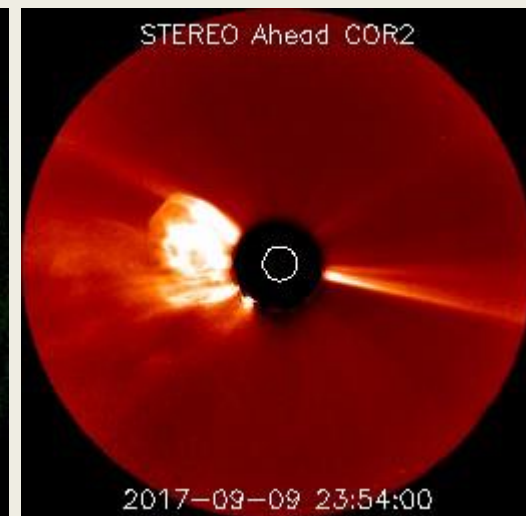
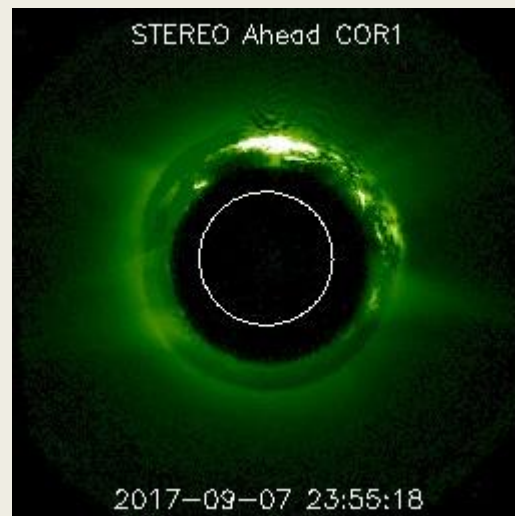
Coronagraphs (адаптиран Bernard Lyot дизайн)

COR1 (<https://cor1.gsfc.nasa.gov/>)

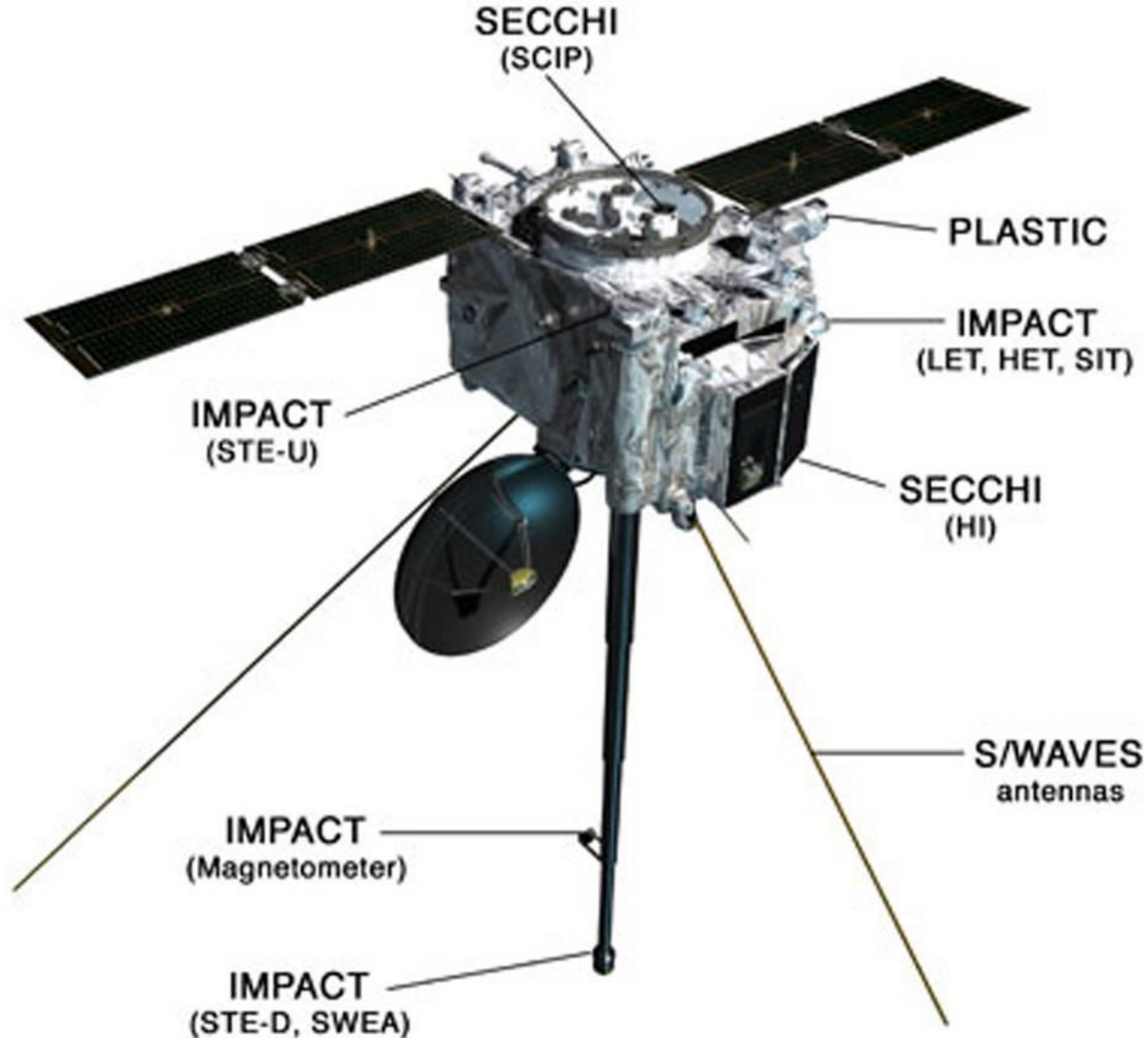
1.3–4 Rs, 7.5", 8 min

COR2

2–15 Rs, 15", 15 min



Спътникови наблюдения на Слънцето: STEREO



SECCHI - Sun Earth Connection Coronal and Heliospheric Investigation:

HI (heliospheric imager) <http://www.stereo.rl.ac.uk/>

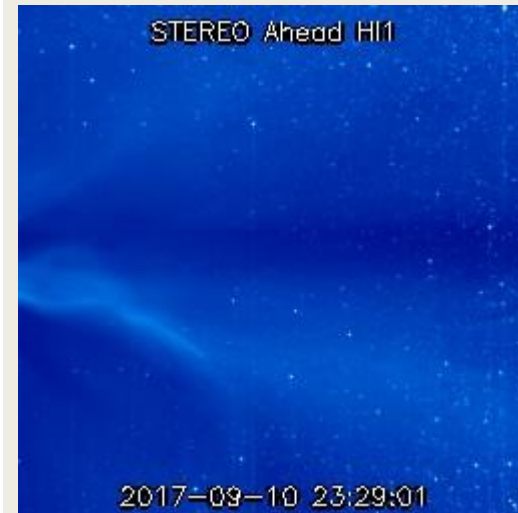
Широкоъгълен телескоп във видима светлина за наблюдения в равнината на еклиптиката към Земята (елонгация 4–88.7 deg)

HI1

15–90 Rs, 70", 40–60 min

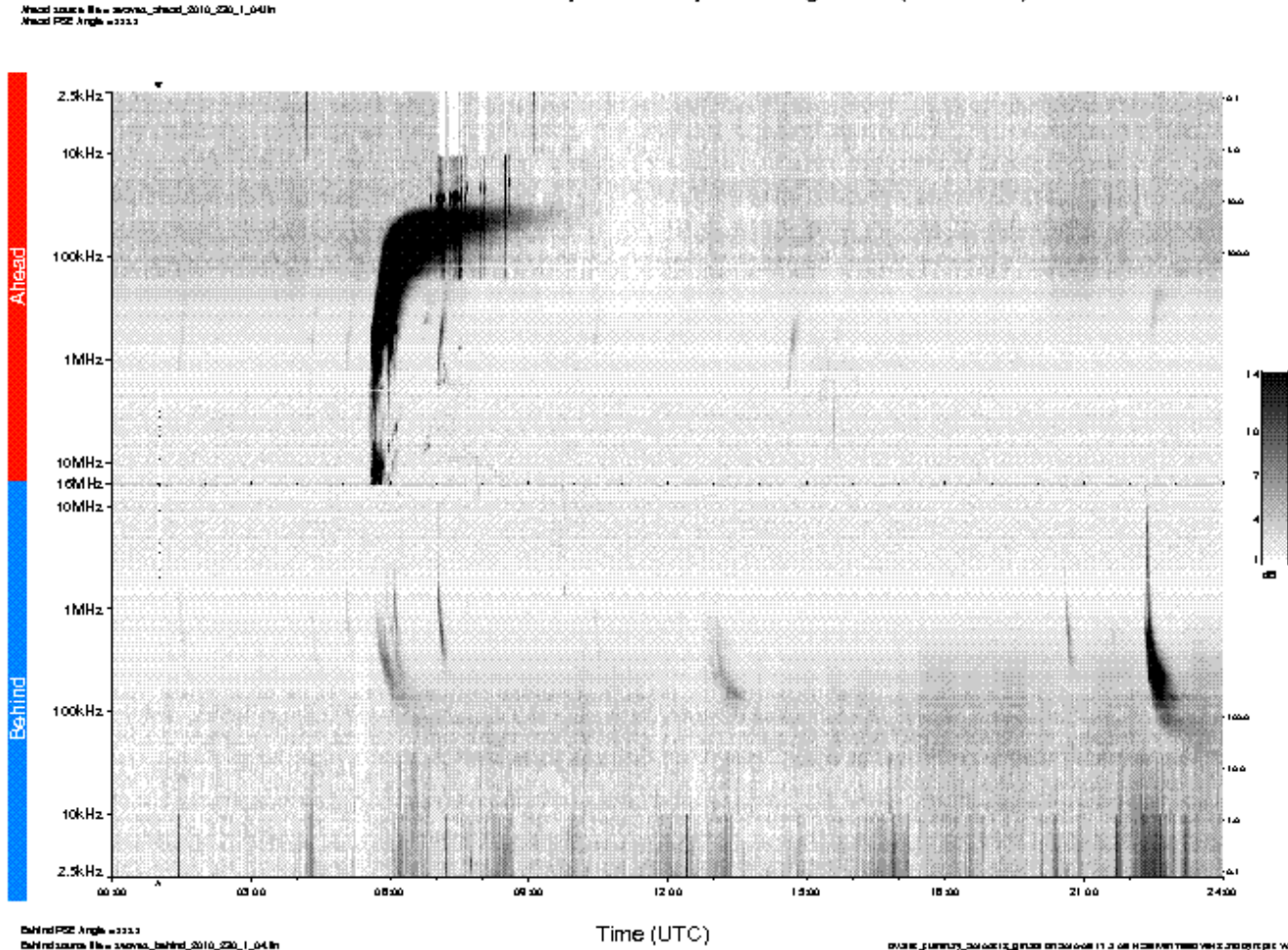
HI2

70–330 Rs, 4', 2 hrs



Спътникови наблюдения на Слънцето: STEREO

STEREO/WAVES Daily Summary - 18-Aug-2010 (DOY 230)



SECCHI - Sun Earth Connection Coronal and Heliospheric Investigation

да изследва 3D еволюцията на коронални изхвърляния на маса от слънчевата повърхност, през короната, междупланетното пространство до тяхното евентуално въздействие на Земята

SWAVES - STEREO/WAVES is an interplanetary radio burst tracker that traces the generation and evolution of traveling radio disturbances from the Sun to the orbit of Earth.

<https://swaves.gsfc.nasa.gov>

IMPACT - In-situ Measurements of Particles and CME Transients

дава проби за 3D разпределението и плазмените параметри на слънчевите енергетични частици и локалното магнитно поле

PLASTIC - PLAsma and SupraThermal Ion Composition

дава плазмените параметри на протони, алфа-частици и тежки йони като диагностика на масата и композицията на тежки йони и характеристика на плазма в КИМ и обкръжаващата корона

https://swaves.gsfc.nasa.gov/data_access.html

Спътникови наблюдения на Слънцето: SDO

Solar Dynamics Observatory

<https://sdo.gsfc.nasa.gov/>

- ✓ Първи мисия по програмата Living With a Star (LWS) на NASA
- ✓ Да изследва причините на слънчевата вариация и въздействието ѝ върху Земята
- ✓ Едновременно наблюдадени в много дължина на вълната, с висока пространствена и времева разделителна способност

11-Feb-2010, Atlas V, Cape Canaveral

Геосинхронна орбита под наклон – за постоянно наблюдение на Слънцето и висока степен на пренос на голямо количество събирана информацията да единствената наземната станция

Instruments

Atmospheric Imaging

Assembly (AIA) –

1.3 Rs, 10 λ, 1", 10 sec

EUV Variability Experiment

(EVE) – 0.1-105 nm,

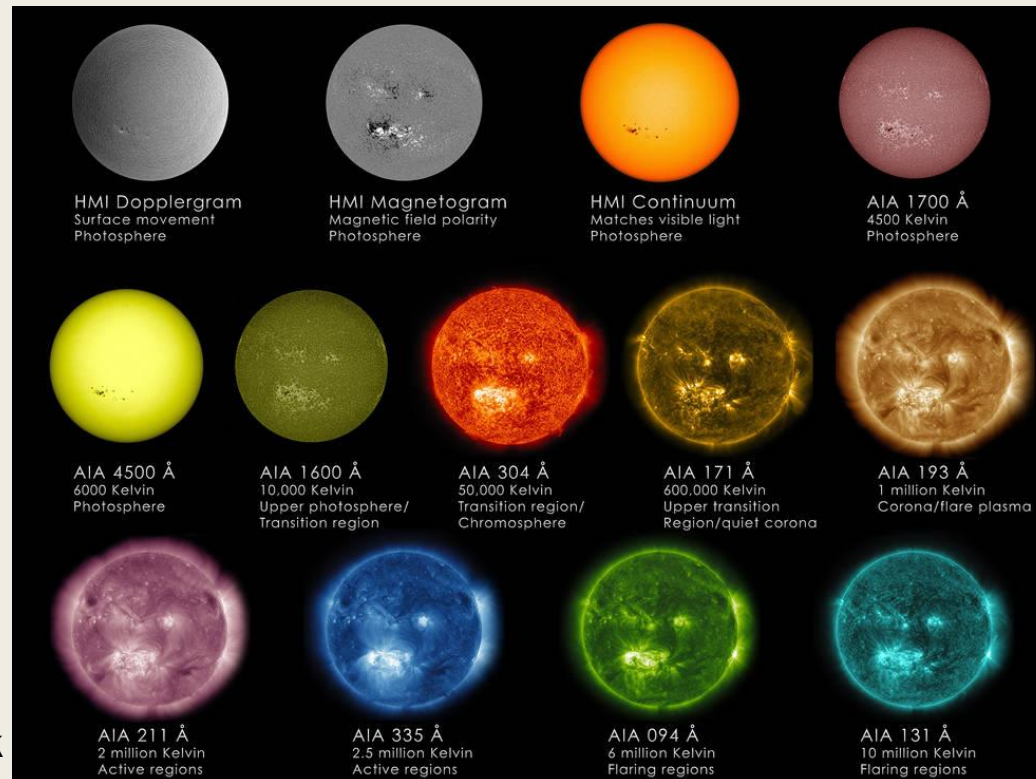
спектрална разд.

способност 0.1 nm, 20 sec

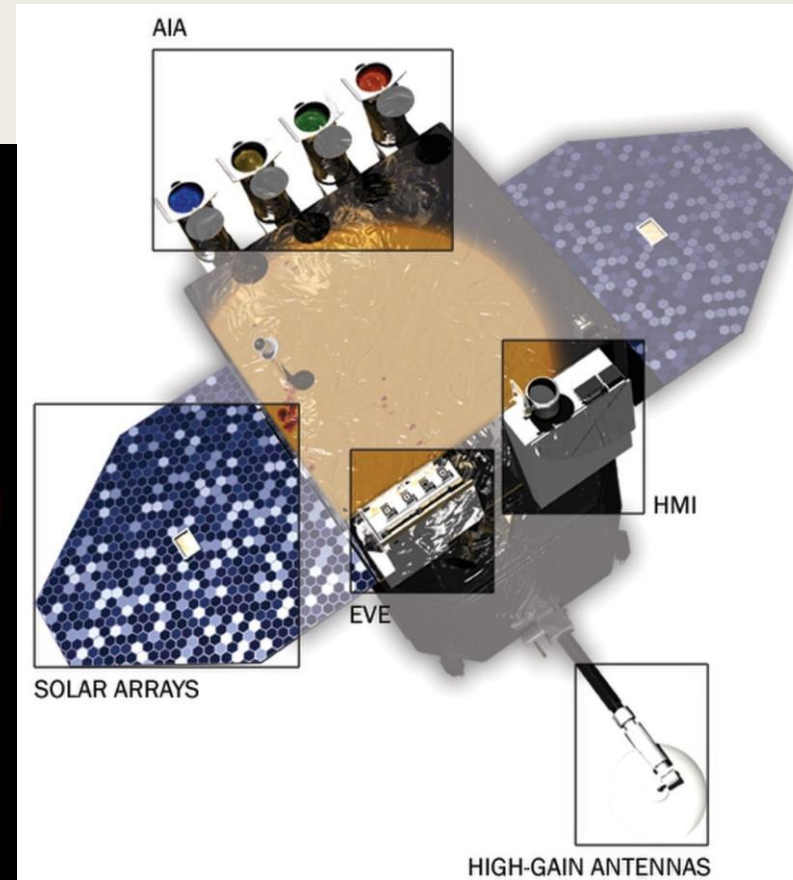
Helioseismic and Magnetic

Imager (HMI) – full solar disk

at 6173 Å, 1"



<https://www.nasa.gov/content/goddard/how-sdo-sees-the-sun>



https://www.nasa.gov/mission_pages/sdo/spacecraft/index.html

Спътникови наблюдения на Слънцето: DSCOVR

Deep Space Climate Observatory (DSCOVR)

<https://www.nesdis.noaa.gov/>

Наблюдение на слънчевия вятър и космическо време

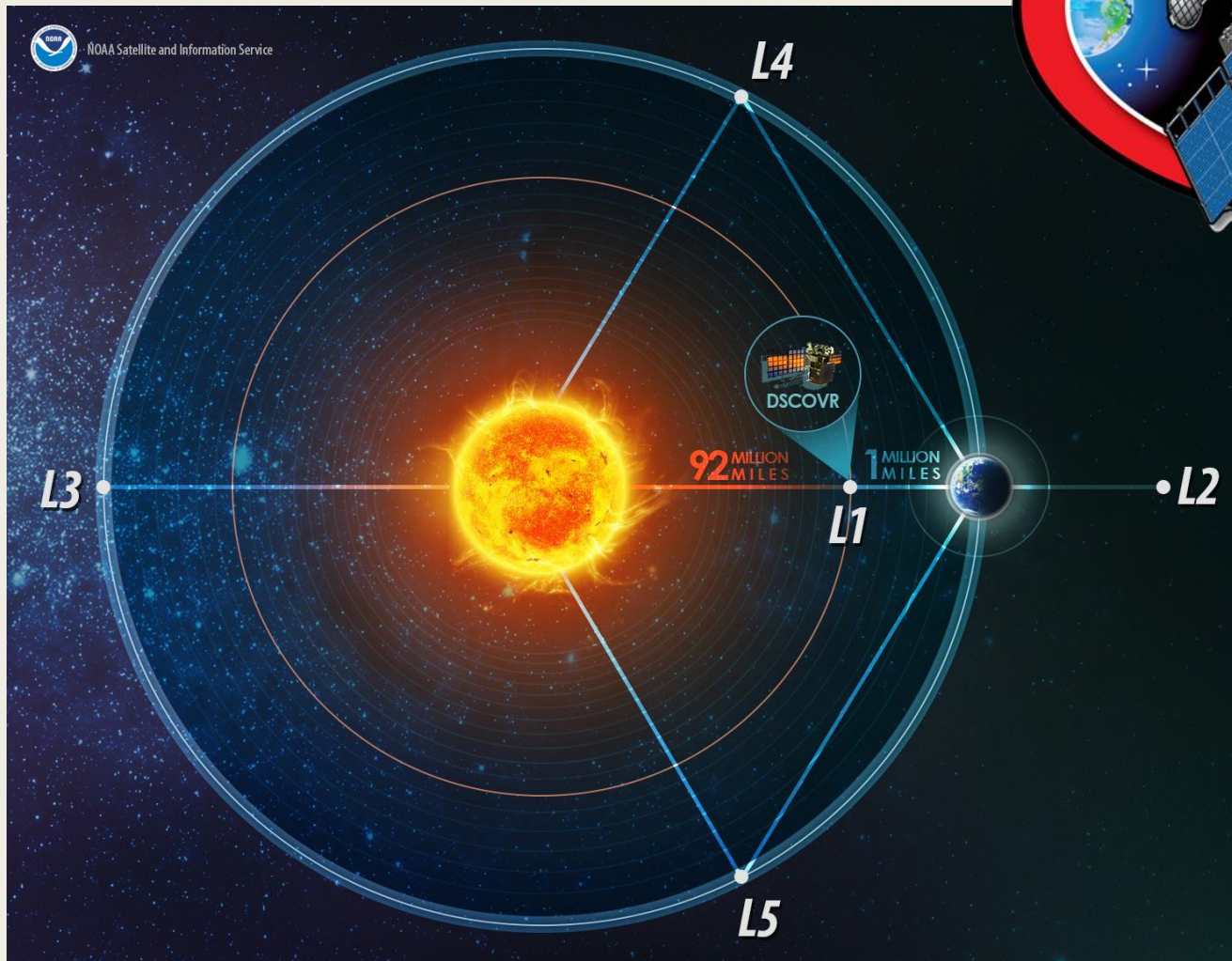
L1

Launch: 11-Feb-2015

SpaceX Falcon

план за: 5-yr

наследник на ACE



Parker Solar Probe

12-Aug-2018, Delta IV-Heavy, Cape Canaveral

<http://parkersolarprobe.jhuapl.edu>

<https://www.nasa.gov/content/goddard/parker-solar-probe>

→ до $\sim 9 R_{\odot}$

Fields Experiment (FIELDS)

директно измерване на електрични и магнитни полете, вълни, поток на Poynting flux, плазмена плътност, електронна температура, радио емисии и др.

Integrated Science Investigation of the sun (IS $\odot$ IS)

наблюдение на енергетични електрони, протони и тежки йони (10s keV до 100 MeV)

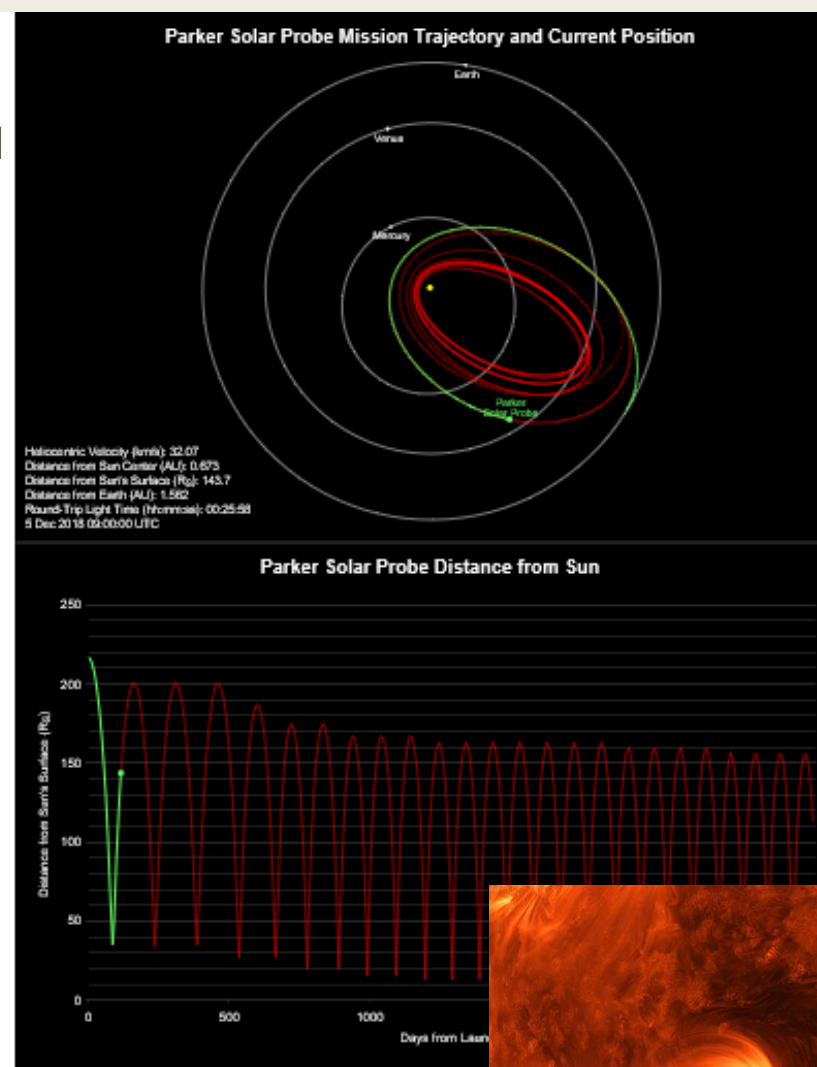
Wide-field Imager for Solar PRobe (WISPR)

изображения на слънчевата корона и хелиосферата

Solar Wind Electrons Alphas and Protons (SWEAP) Investigation

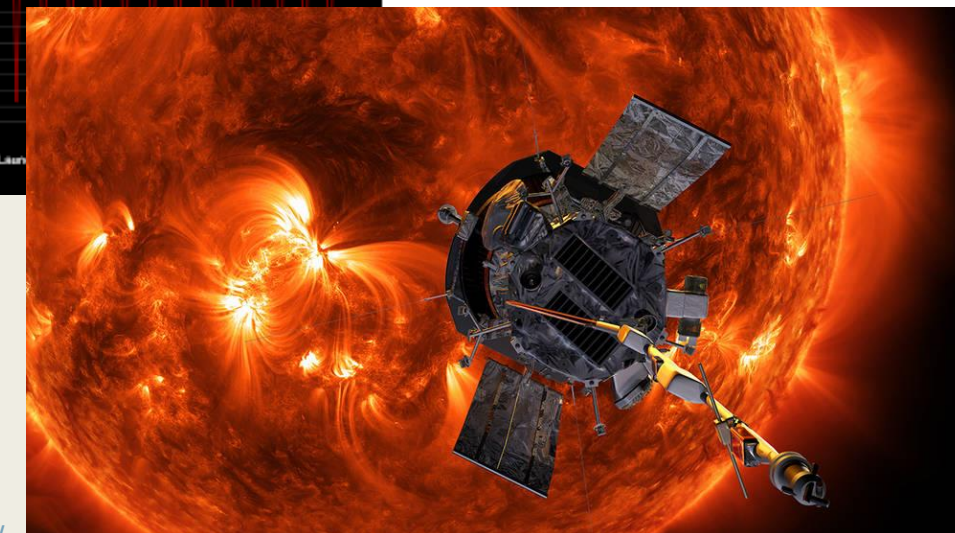
измерване на най-често срещаните частици в слънчевия вятър – електрони, протони и йони на хелия – и измерване на техните параметри като скорост, плътност и температура

<https://www.youtube.com/watch?v=UQ-E1icMpVw>



<http://parkersolarprobe.jhuapl.edu/The-Mission/index.php#Where-Is-PSP>

Credits: NASA/Johns Hopkins APL/Steve Gribben



Solar orbiter (планувано за 2020)

<http://sci.esa.int/solar-orbiter/>

- ✓ 0.28 AU
- ✓ над екваториалната равнина (33° /sol. eq.)

in-situ instruments:

EPD: Energetic Particle Detector

MAG: Magnetometer

RPW: Radio and Plasma Waves

SWA: Solar Wind Plasma Analyser

remote-sensing instruments

EUI: Extreme Ultraviolet Imager

METIS: Coronagraph

PHI: Polarimetric and Helioseismic Imager

SoloHI: Heliospheric Imager

SPICE: Spectral Imaging of the Coronal Environment

STIX: X-ray Spectrometer/Telescope

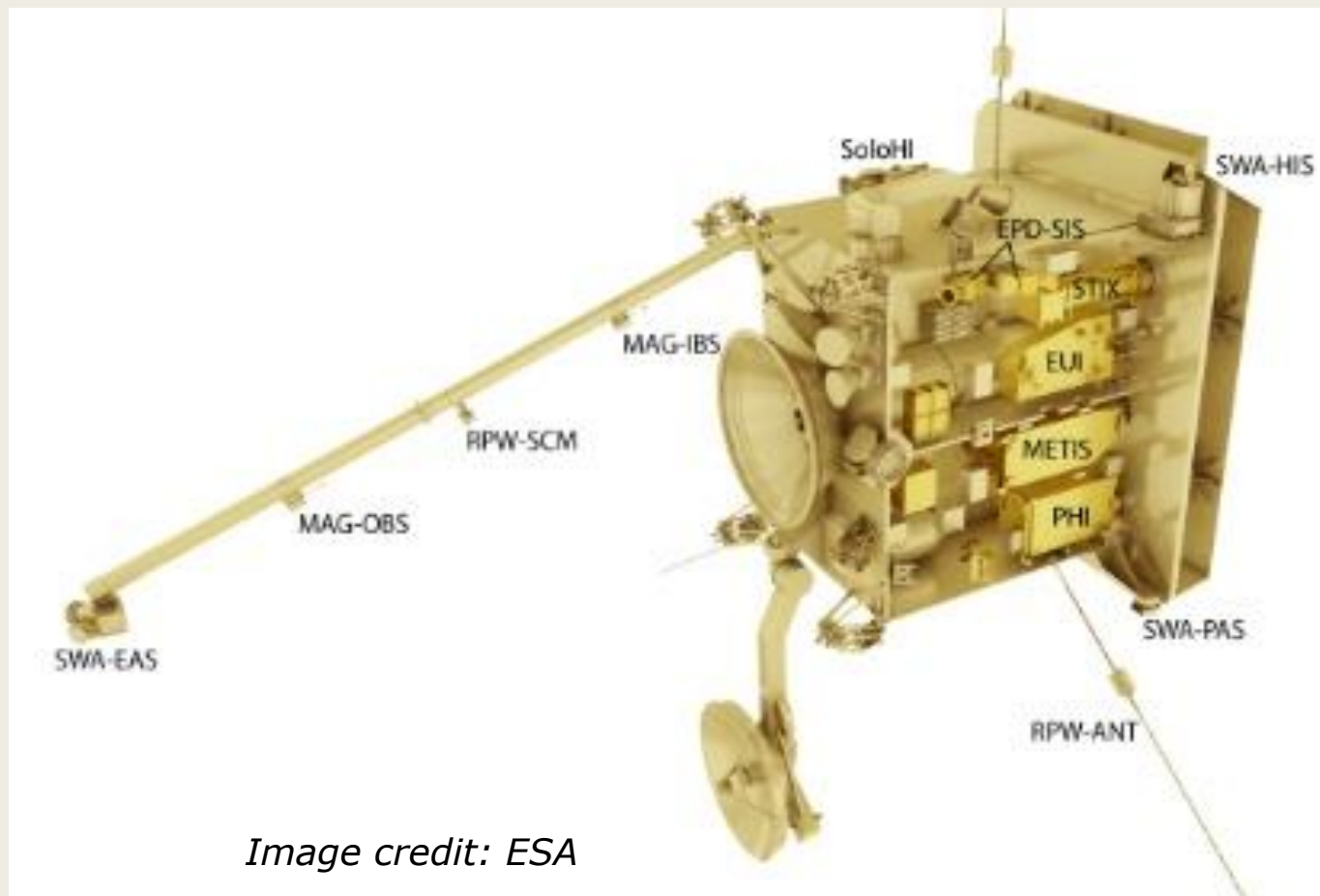


Image credit: ESA

Solar-C

<https://www.mps.mpg.de/solar-physics/solar-c-mission>

Instruments

Solar Ultraviolet, Visible, and Infrared Telescope (SUVIT)

за спектрополяриметрия на фотосферата и хромосферата на Слънцето, с диаметър от 1.5 m ще бъде най-големия спътников телескоп

X-ray or extreme-ultraviolet imaging telescope (XIT)

за наблюдение на короната с висока пространствена разледителна способност (0.1"–0.3")

LEMUR Extreme UltraViolet Spectroscopic Telescope (EUVST)

по-голяма разледителна способност, в сравнение на досега съществуващите мисии

http://www.issibern.ch/teams/coronalrainobserve/wp-content/uploads/2015/10/SC_ISSI_kwatana.pdf

