

Solar Orbiter: první výsledky z přístrojů Metis a STIX

Jana Kašparová

Astronomický ústav AV ČR, Ondřejov

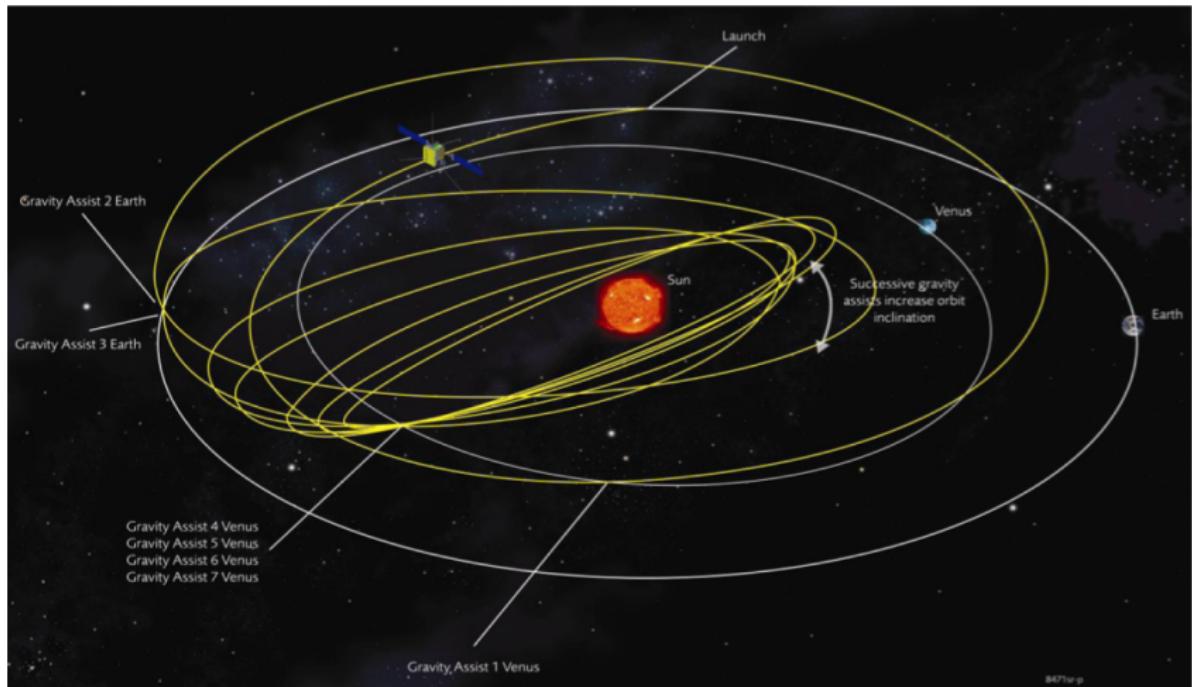


Astronomický
ústav
AV ČR

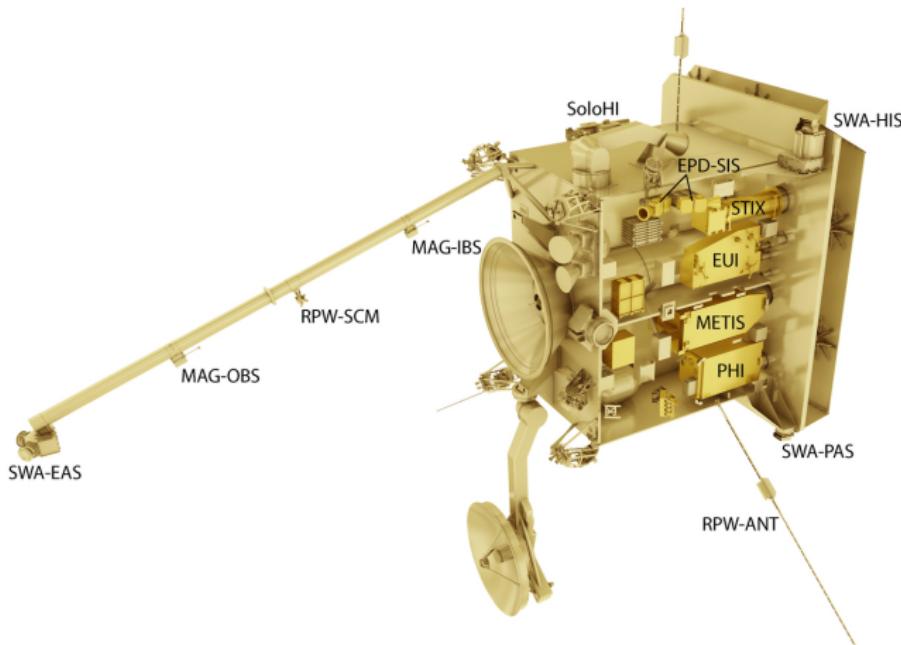
Kosmické projekty na AV ČR, 12. listopadu 2021

Dráha sondy Solar Orbiter

- vypuštění 10.2.2020, přibližovací fáze do listopadu 2021
 - využití gravitace Venuše a Země
- 2020: první blízký průlet u Slunce ve vzdálenosti $\sim 1/3$ AU
- silně eliptická dráha (0.28 - 1.2 AU) se zvyšujícím se sklonem až 24°



- 10 přístrojů dodaných státy ESA a agenturami NASA a ESA:
 - 4 přístroje *in situ* (EPD, MAG, RPW, SWA)
 - 6 přístrojů remote-sensing (EUI, Metis, PHI, SoloHi, SPICE, STIX)



- hmotnost přístrojů: 209 kg, rozměry: $2.5 \times 3.0 \times 2.5 \text{ m}^3$, délka mise: 7 let

Vědecké cíle

- studium sluneční aktivity a jejího vlivu na vnitřní heliosféru
 - Co způsobuje sluneční vítr, odkud pochází koronální magnetické pole? Jak sluneční erupce produkují energetické částice? ..

SOLAR ORBITER FIRST IMAGES AND MEASUREMENTS

esa

The diagram illustrates the Solar Orbiter spacecraft with various instruments labeled:

- SPICE**: Remote-sensing instrument.
- RPW**: Radio and Plasma Waves instrument.
- EPD**: Energetic Particle Detector.
- MAG**: Magnetometer.
- SWA**: Solar Wind Analyser.
- RPW**: Radio and Plasma Waves instrument.
- EPD**: Energetic Particle Detector.
- MAG**: Magnetometer.
- SWA**: Solar Wind Analyser.
- SoloHI**: Heliospheric Imager.

Below the spacecraft, a legend indicates:

- The *in situ* instruments (red line): EPD, MAG, SWA, RPW.
- The remote-sensing instruments (yellow line): SPICE, SoloHI, STIX, EUI, Metis, PHI.

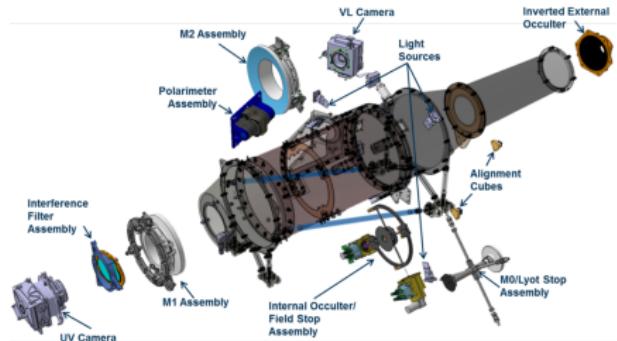
The right side of the slide displays the first scientific results from the instruments:

- Extreme Ultraviolet Imager (EUI)**: Shows solar surface activity.
- Coronagraph (Metis)**: Shows the solar corona.
- Solar Wind Analyser (SWA)**: Spectrogram of the solar wind.
- Spectral Imaging of the Coronal Environment (SPICE)**: Coronal emission line images.
- Energetic Particle Detector (EPD)**: Energy spectrum of energetic particles.
- Magnetometer (MAG)**: Magnetic field vector plot.
- Polarimetric and Helioseismic Imager (PHI)**: Polarization and seismic wave images.
- X-ray Spectrometer/Telescope (STIX)**: X-ray spectrum and particle energy loss spectra.
- Heliospheric Imager (SoloHI)**: Multi-wavelength solar disk images.
- Radio and Plasma Waves (RPW)**: Spectrum of radio waves.

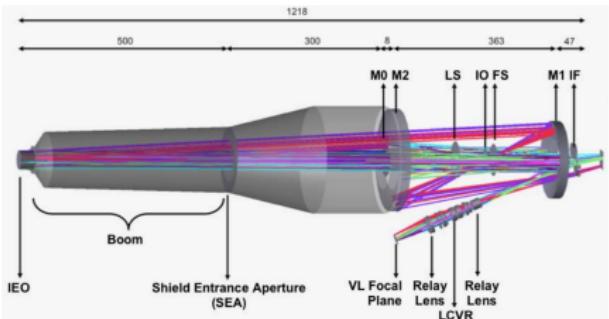
#TheSunUpClose

Koronograf Metis

- konsorcium Itálie, Německa a ČR

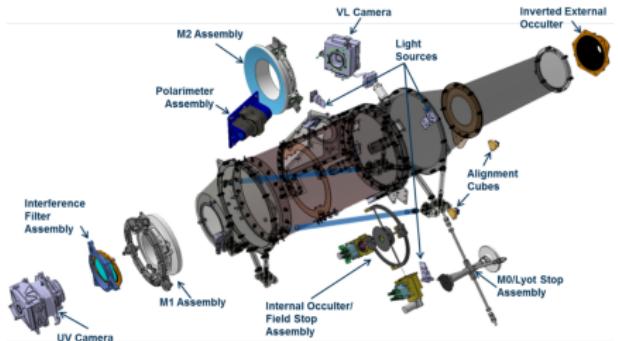
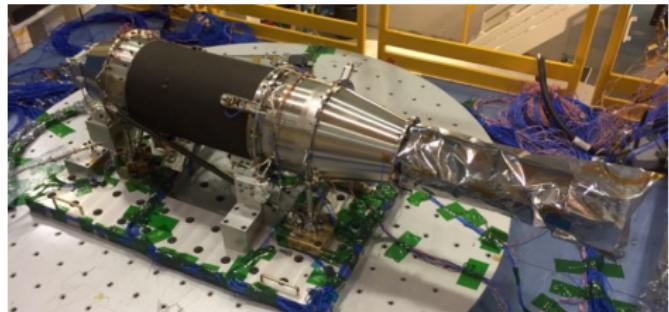


- zrcadla M0, M1 a M2 vyrobena v ČR
 - M0 odráží záření ze slunečního disku
 - M1 a M2 optimalizována na zvýšenou odrazivost v UV a viditelném záření

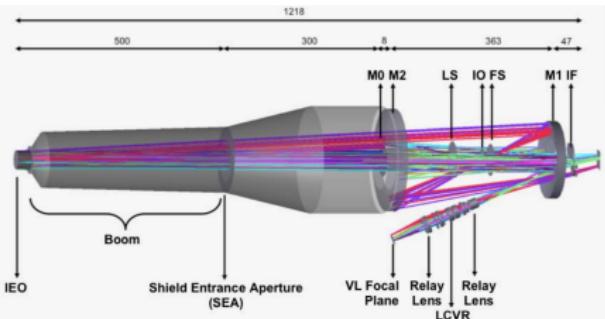


Koronograf Metis

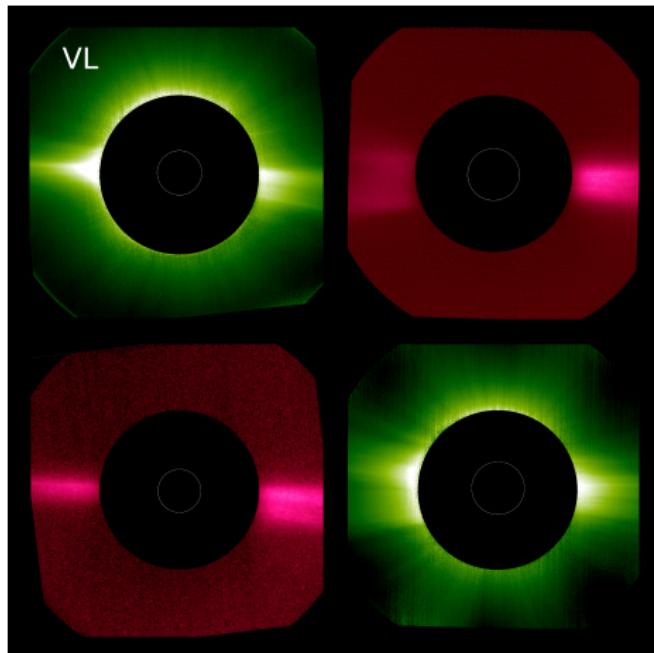
- konsorcium Itálie, Německa a ČR



- zrcadla M0, M1 a M2 vyrobena v ČR
 - M0 odráží záření ze slunečního disku
 - M1 a M2 optimalizována na zvýšenou odrazivost v UV a viditelném záření



- simultánní snímky ve viditelném světle (VL) a UV filtru
 - 580 - 640 nm, rozptyl záření na volných elektronech
 - spektrální čára vodíku Ly α 121.6 ± 10 nm
- zorné pole:
 - čtverec $\pm 2.9^\circ$ s vnitřní kruhovou clonou o poloměru 1.6°
 - $1.7 - 3.0 R_\odot$ při minimálním přiblížení, 0.28 AU
 - $2.8 - 5.5 R_\odot$ v 0.5 AU
- úhlové rozlišení $10''$ a $20''$ na pixel (VL, Ly α)
- vědecké cíle:
 - původ a urychlování slunečního větru
 - původ a šíření výronů koron. hmoty
 - detekce chladného plazmatu (eruptivní protuberance)



„první světlo“ 15. května 2020

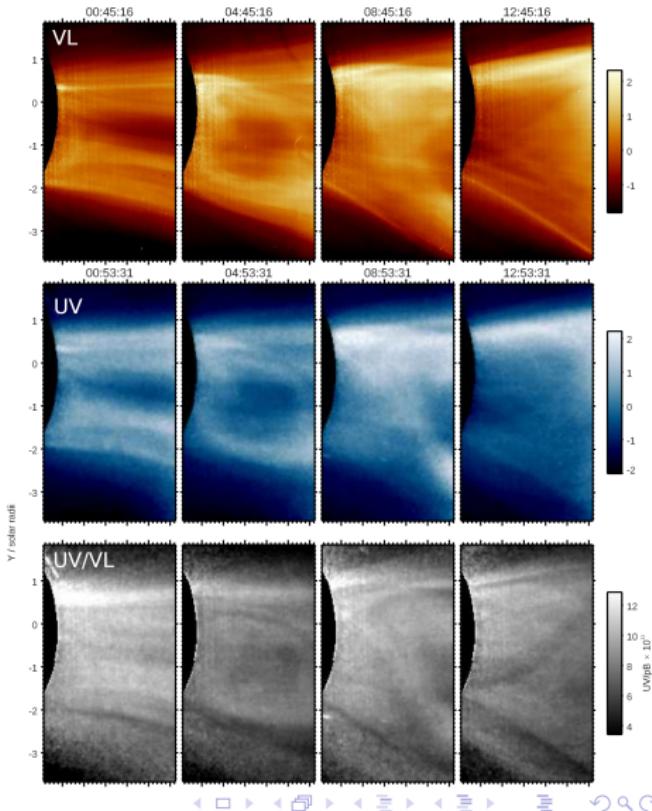
0.60 AU

po periheliu 21. června 2020

0.52 AU

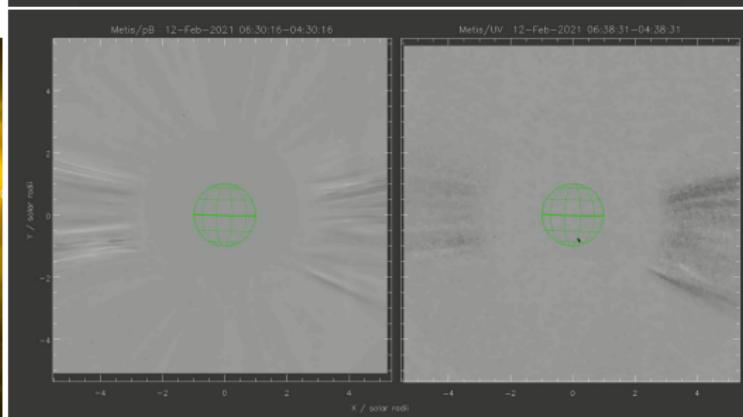
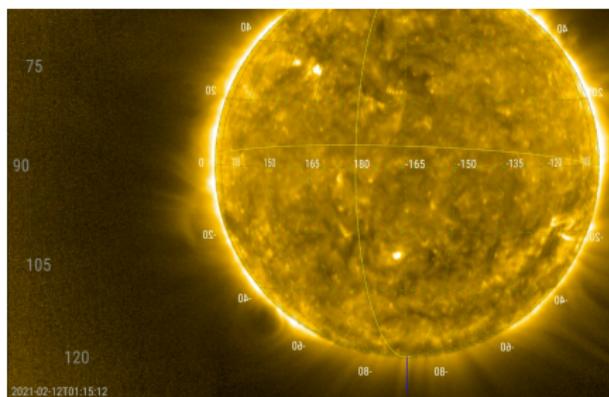
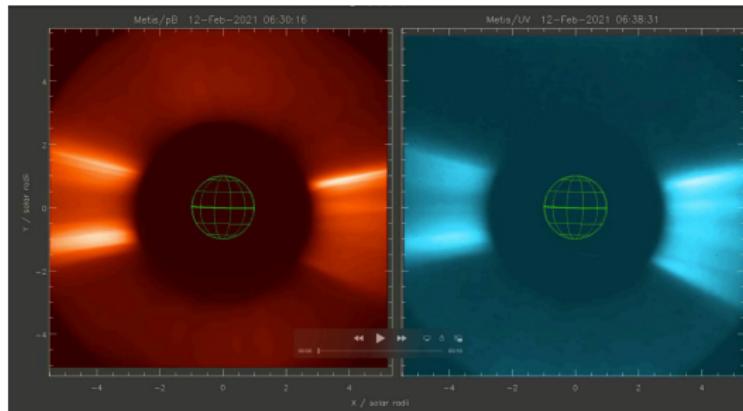
First CME observed in VL and UV Ly α channels - Andretta et al. (2021)

- synoptický program 14.-17.1.2021
 - simultánní snímky každé 4 hod
 - integrační doba 7.5 min (VL), 15 min (UV)
 - prostor. rozlišení 8.7 Mm/pix (VL), 18 Mm/pix (UV)
 - zorné pole: $3.4 - 7.4 R_{\odot}$ (0.6 AU)
- výron koronální hmoty (CME)
 - pomalý a poměrně slabý
 - asociovaný s filamentem v aktivní oblasti, ne s erupcí (SOHO, STEREO)
 - viditelný 00:30 - 12:30 UT
 - více struktur v UV obrázcích (04:45 UT)
 - rychlosť expanze $\sim 140 \text{ km/s}$



Metis - detekce CME v únoru 2021

- perihel, ~ 0.5 AU, 10.2.2021
- SolO za "Sluncem"
- dedikovaná kampaň
- 12.-13.2.2021
 - data z EUI, Metis, SoloHi
 - také ze SOHO, Proba-2, STEREO-A



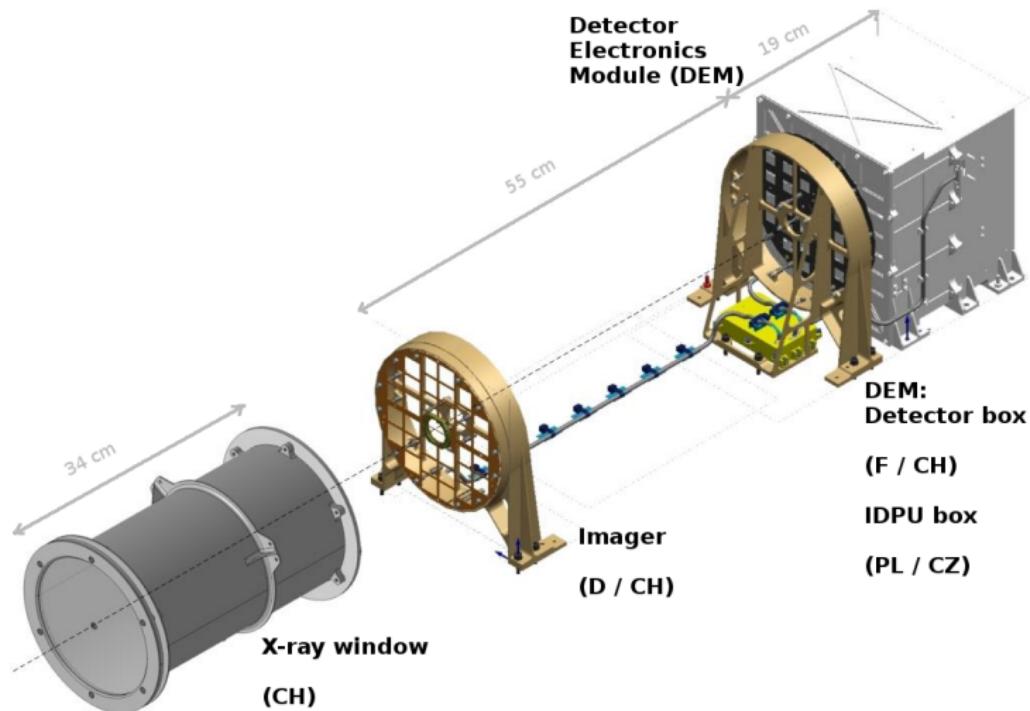
- evropské konsorciu: CH, F, D, PL, CZ
 - A, IT, IRL - archivace dat a software na jejich zpracování
 - ČR dodala části hardwaru a letový software

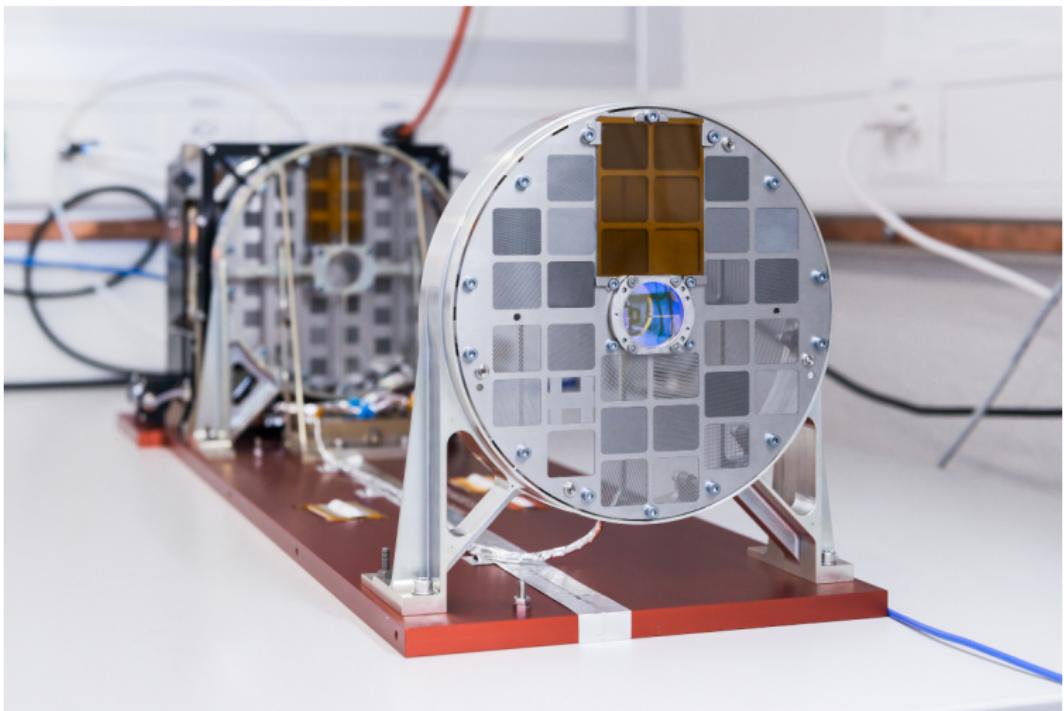
Parametry STIXu

- energetický rozsah: 4 - 150 keV
- energetické rozlišení: 1 - 15 keV
- efektivní plocha: 6 cm²
- úhlové rozlišení: 7 arcsec
- zorné pole: 2° (celý sluneční disk v perihelu)
- přesnost souřadnic: ~ 4 arcsec
- časové rozlišení: ≥ 0.1 s



- termální ochrana a potlačení X-záření: okna z Be

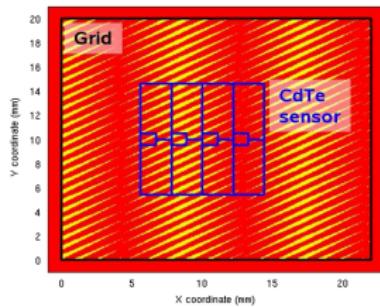




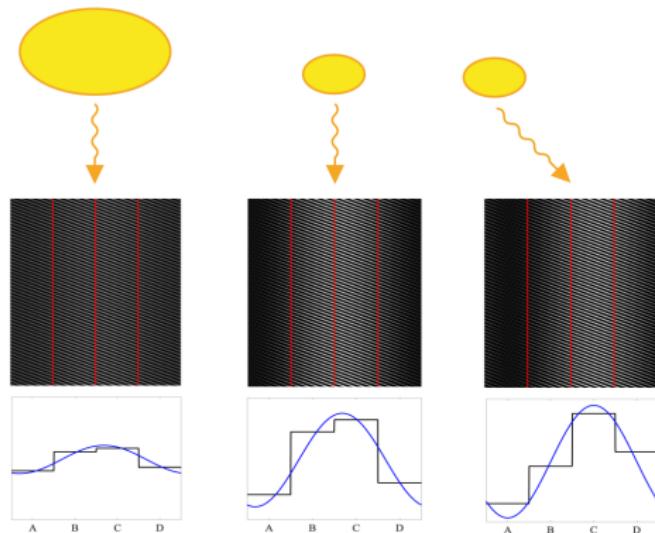
Letový model

Fourierova transformace obrazu

- energetický rozsah a úhlové rozlišení vylučuje fokusační optiku
- systém prostorově vzdálených mřížek měří prostorové frekvence obrazu
 - dvojice mřížek s odlišným natočením a šírkou štěrbin generuje tzv. moiré
 - detektor za mřízkou měří amplitudu a fázi vzoru



Krucker et al. (2013)

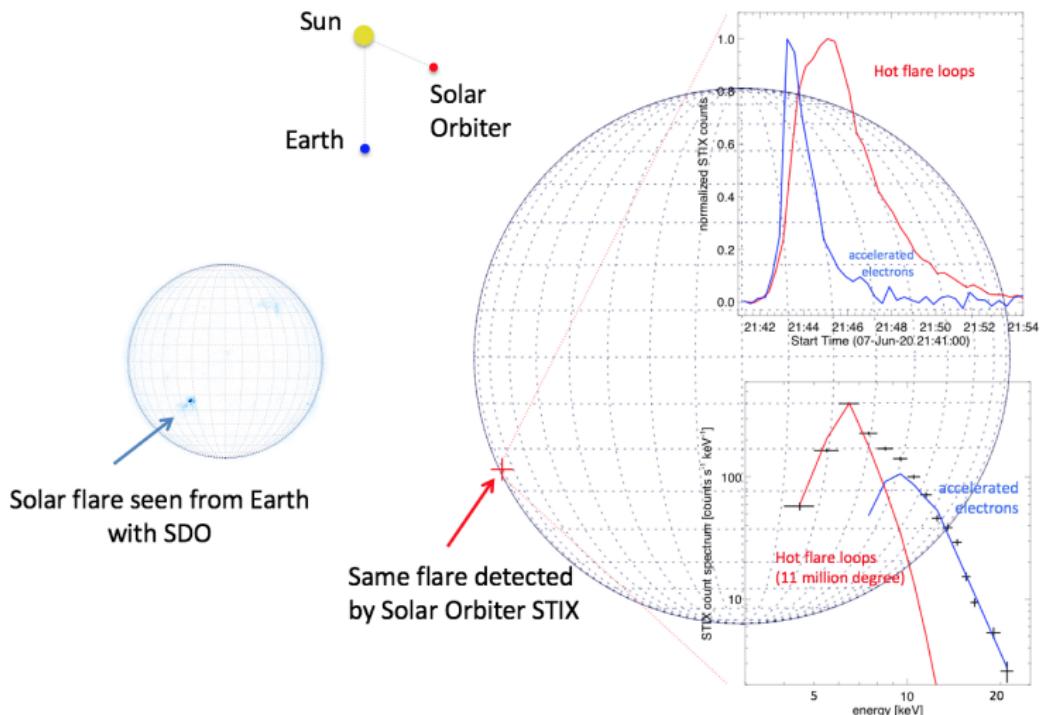


Massa et al. (2021), RHESSI workshop, 2021

- šířky štěrbin: $38 \mu\text{m} - 1 \text{ mm} \Rightarrow$ úhlové rozlišení: $7 - 180 \text{ arcsec}$

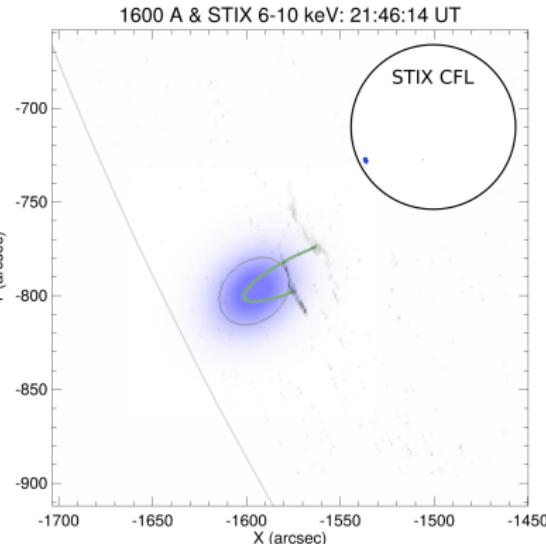
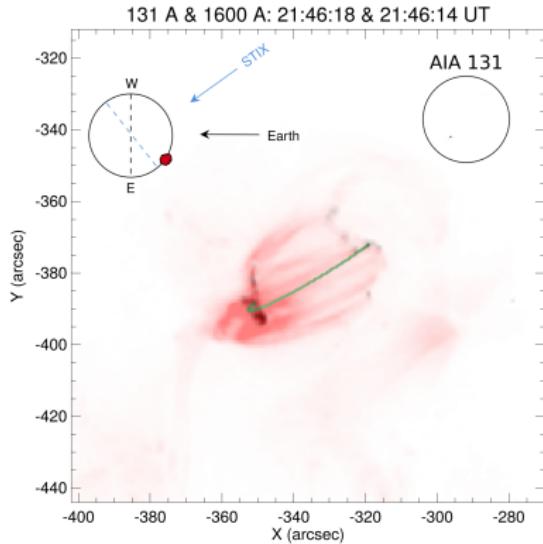
STIX - vědecké cíle a první výsledky

- měřit intenzitu, spektrum, časovou variaci a umístění tvrdé rentgenové emise způsobené termálními a urychlenými elektronami v koróně a chromosféře během slunečních erupcí



Mikro-erupce detekované v testovací fázi - Battaglia et al. (2021)

- 5. - 21. června 2020, ~ 0.52 AU od Slunce, detekce slabých mikro-erupcí třídy GOES A
- největší detekovaná erupce: třídy GOES B6, X-ray emise do 25 keV
- rozměr zdroje termální X-ray emise: $\sim 13 \times 10$ Mm

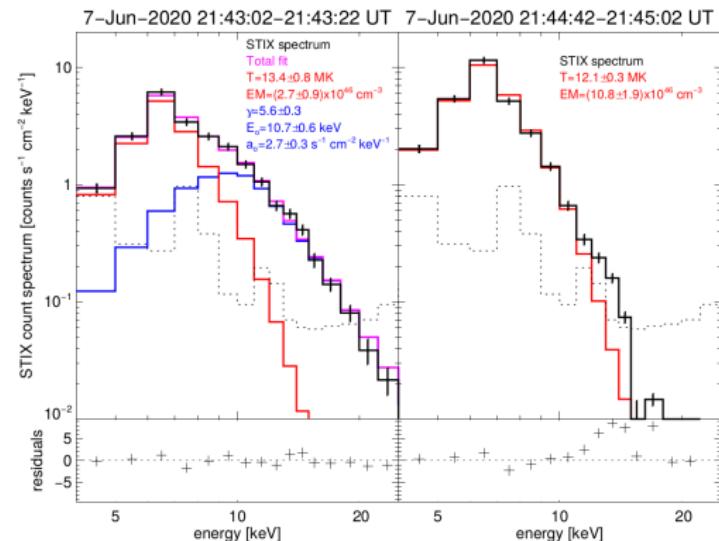


STIX - první výsledky

Mikro-erupce detekované v testovací fázi - Battaglia et al. (2021)

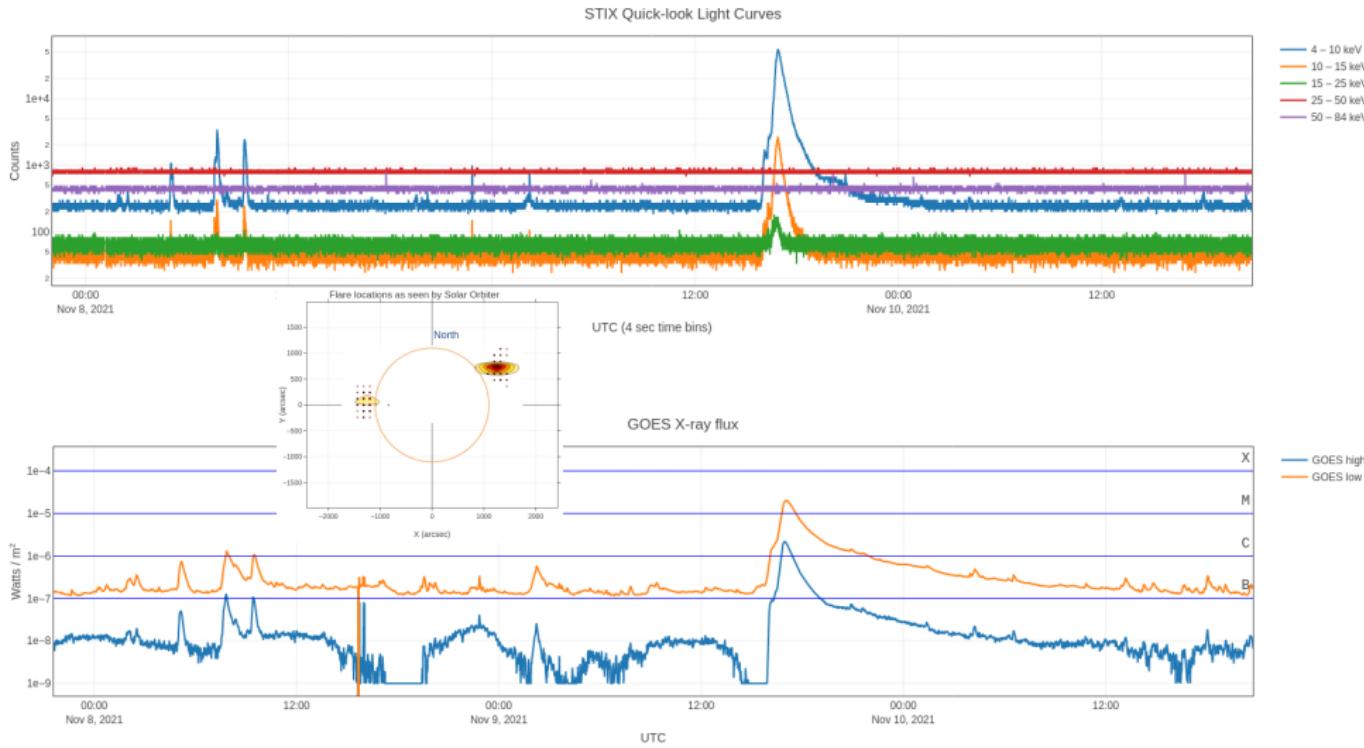
- 5. - 21. června 2020, ~ 0.52 AU od Slunce, detekce slabých mikro-erupcí třídy GOES A
- největší detekovaná erupce: třídy GOES B6, X-ray emise do 25 keV
- rozměr zdroje termální X-ray emise: $\sim 13 \times 10$ Mm

- fitování spekter termální a netermální složkou
- získané hodnoty T , míry emise, netermální energie, atd. jsou typické pro mikro-erupce



STIX - datové produkty

- nominální mód od ledna 2021
- volně přístupná náhledová data (světelné křivky, spektrogramy, pozice)



- Metis i STIX fungují v pořádku a již poskytly vědecky zajímavá data
- nominální fáze Solar Orbiteru začne tento měsíc

