

*Twarde rentgenowskie  
Słońce z bliska:  
przyrząd STIX  
na pokładzie sondy  
Solar Orbiter*



**Tomasz Mrozek**  
Instytut Astronomiczny, UW  
Zakład Fizyki Słońca, CBK PAN

# ESA Cosmic Vision (2015-2025)

- **Jakie są warunki formowania planet i powstawania życia?**
- **Jak działa Układ Słoneczny?**
- **Jakie są fundamentalne prawa fizyki we Wszechświecie?**
- **Jak powstał Wszechświat i z czego jest zbudowany?**

**Duża misja (L), koszt poniżej 900M€,  
wystartowanie w 2020** przez ESA

**kandydaci: (M1, M2):**

**Euclid** – ciemna materia i energia

**Europa Jupiter System Mission/Laplace** – gwiazd  
badanie układu księżyców Jowisza (wspólnie z  
NASA)ków fizycznych in-situ w koronie

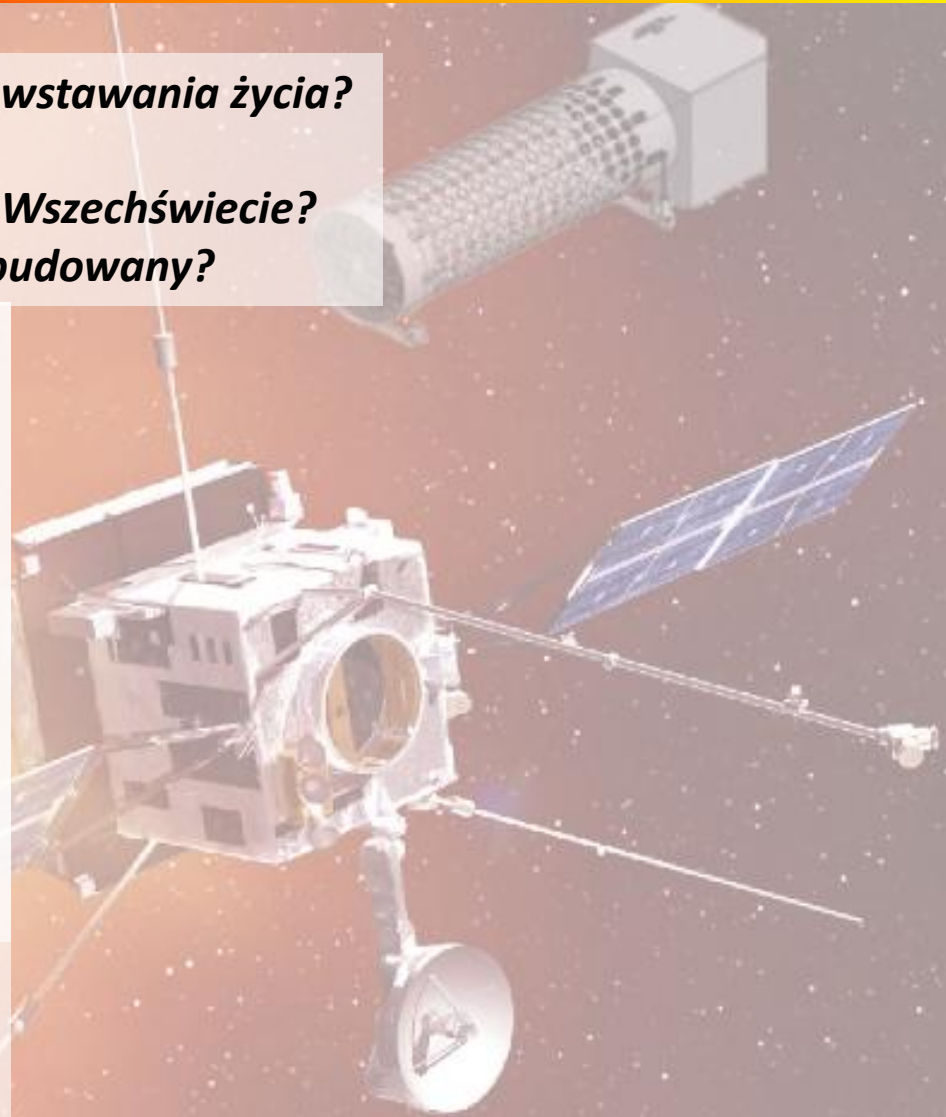
**LISA** – obserwatorium fal grawitacyjnych  
(wspólnie z NASA)

**IXO (wcześniej XEUS)** – międzynarodowe  
obserwatorium X (wspólnie z NASA i JAXA)

**LOFT** – obserwacje w zakresie X, z ogromną  
rodzielczością czasową, czarnych dziur i gwiazd  
neutronowych

**Marco Polo-R** – dostarczenie na Ziemię  
fragmentu bliskiej planetoidy

**STE-QUEST** – dokładne pomiary efektów  
wynikających z ogólnej teorii względności



# ESA Cosmic Vision (2015-2025)

- **Jakie są warunki formowania planet i powstawania życia?**
- **Jak działa Układ Słoneczny?**
- **Jakie są fundamentalne prawa fizyki we Wszechświecie?**
- **Jak powstał Wszechświat i z czego jest zbudowany?**

3 średnie misje (M) – koszt 470 M €,  
w całości finansowane przez ESA

kandydaci (M1,M2):

*Euclid* – ciemna materia i energia

*Plato* – planety pozasłoneczne, oscylacje gwiazd

*Solar Orbiter* – badanie Słońca z bliska oraz warunków fizycznych in-situ w koronie niedaleko od powierzchni ( $60 R_{\odot}$ )

kandydaci (M3):

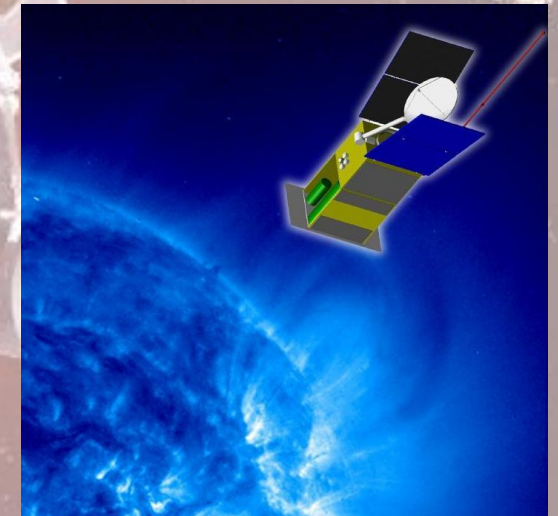
*EChO* – atmosfery planet pozasłonecznych

*LOFT* – obserwacje w zakresie X, z ogromną rozdzielczością czasową, czarnych dziur i gwiazd neutronowych

*MarcoPolo-R* – dostarczenie na Ziemię fragmentu bliskiej planetoidy

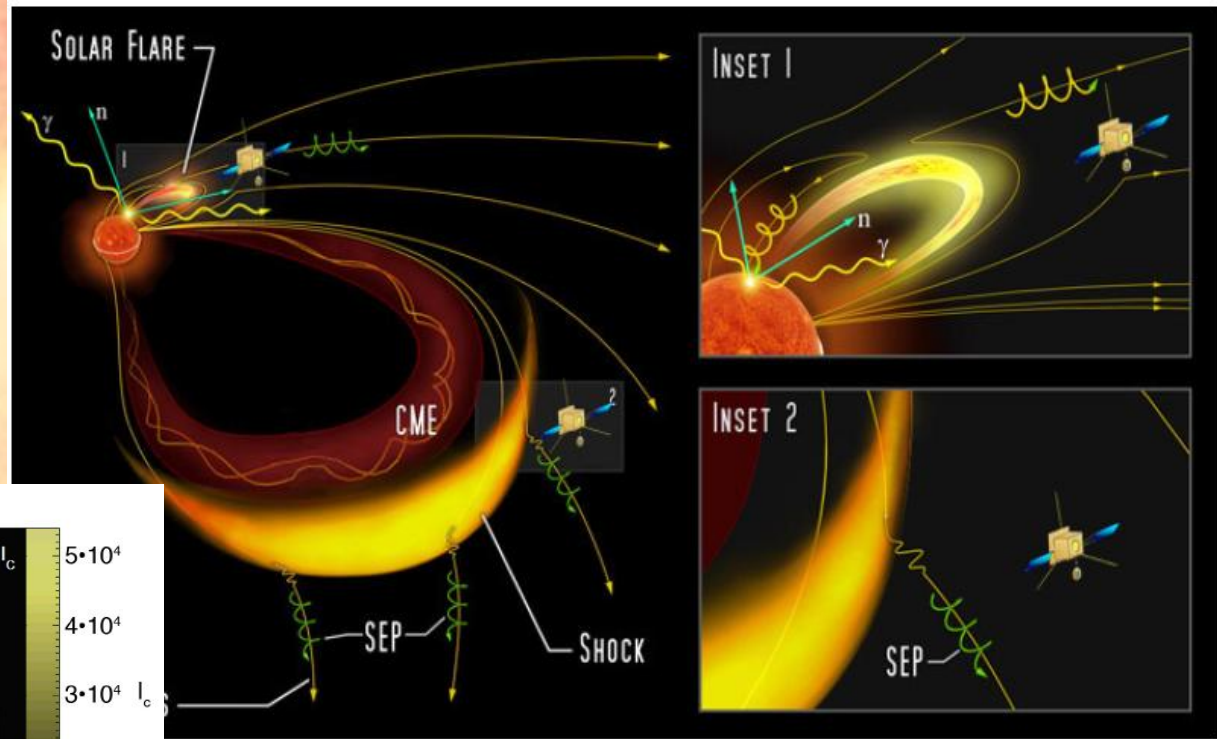
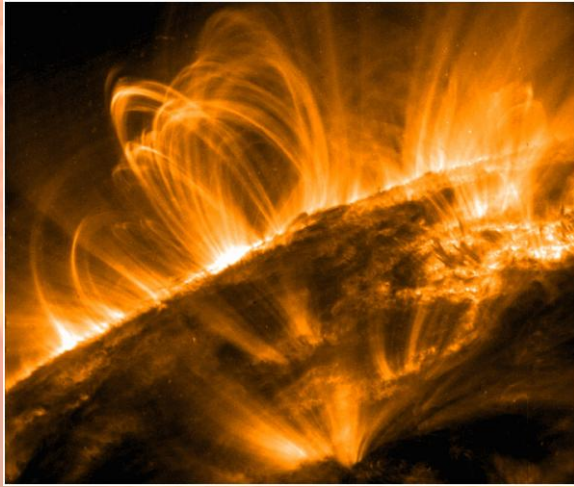
*STE-QUEST* – dokładne pomiary efektów wynikających z ogólnej teorii względności

**Jak Słońce tworzy i kontroluje heliosferę?**

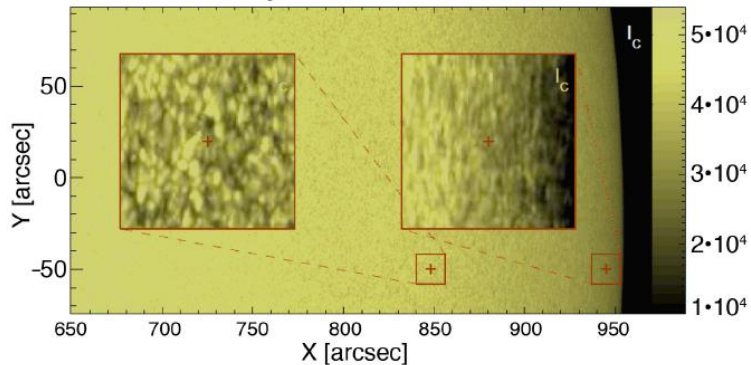


# Solar Orbiter – cele naukowe

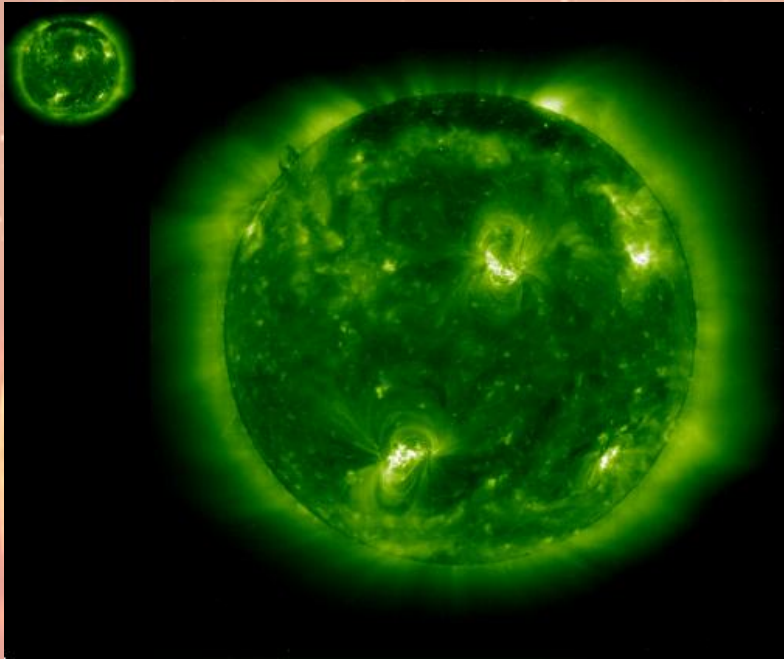
- ✿ Gdzie i jak w koronie słonecznej powstaje wiatr słoneczny?
- ✿ Jak zjawiska dynamiczne wpływają na zmienność heliosfery?
- ✿ Jak rozbłyski słoneczne i zjawiska stowarzyszone produkują energetyczne cząstki wypełniające heliosferę?
- ✿ Jak działa dynamo słoneczne i jaki wywiera wpływ na heliosferę?



Angle from Limb: 27° vs. 7°



# Solar Orbiter



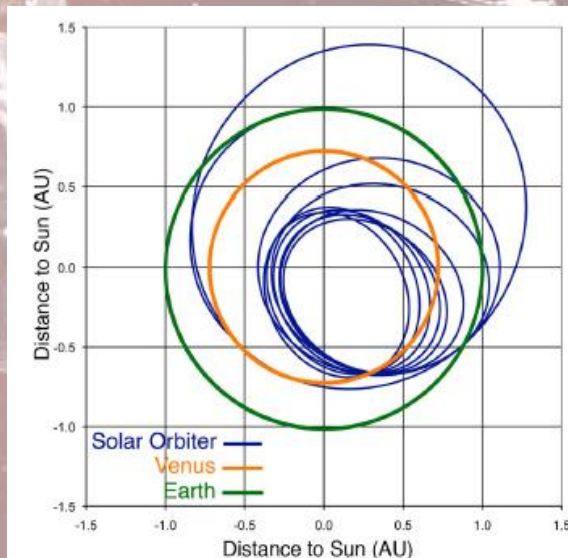
## Wymagania dla orbity:

- *Zbliżenie do Słońca na poziomie 0.25 j.a.*
- *Okres orbitalny umożliwiający „zawiśnięcie” nad jednym obszarem aktywnym podczas zbliżenia do Słońca*
- *Odchylenie od płaszczyzny ekliptyki do 25°*
- *Wszechstronne zbadanie warunków fizycznych w wewnętrznej heliosferze w funkcji odległości od Słońca, szerokości ekliptycznej i poziomu aktywności*

Start: 4 stycznia 2017 r.

dzień 101 - przejście w pobliżu Wenus (4000 km),  
dzień 597 i 1328 - dwa przejścia w pobliżu Ziemi (700 km)  
dzień 1497 - bliskie (300 km) przejście koło Wenus

9.02.2021 – początek właściwej fazy naukowej, kolejne przejścia koło Wenus będą wynosiły satelitę coraz wyżej ponad płaszczyznę ekliptyki



# Środowisko pracy



*średnio dla całej misji*

W/m<sup>2</sup>

4041

*maksymalny (w najmniejszym peryhelium 0.22 j.a.)*

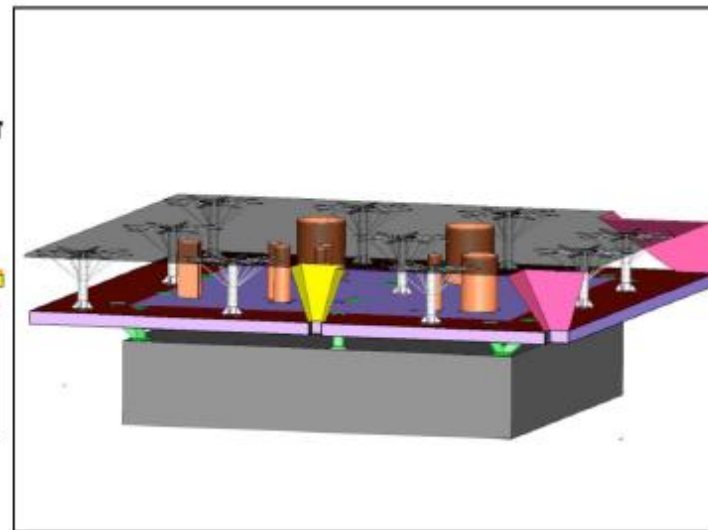
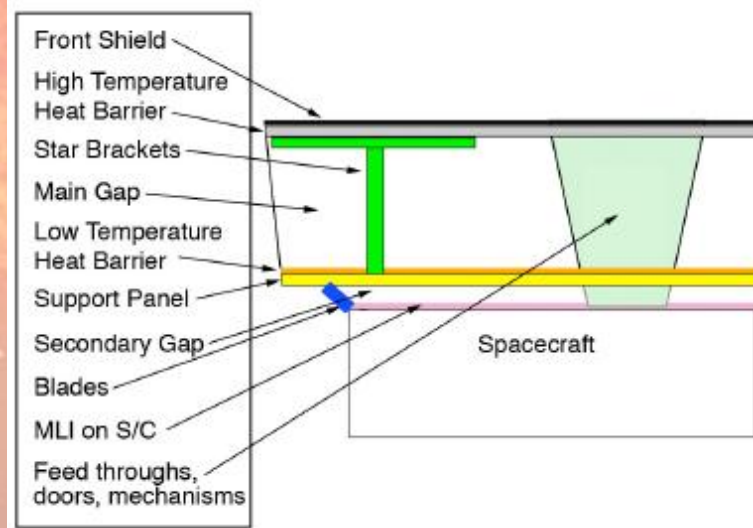
27007

*minimalny (w największym aphelium 1.38 j.a.)*

713

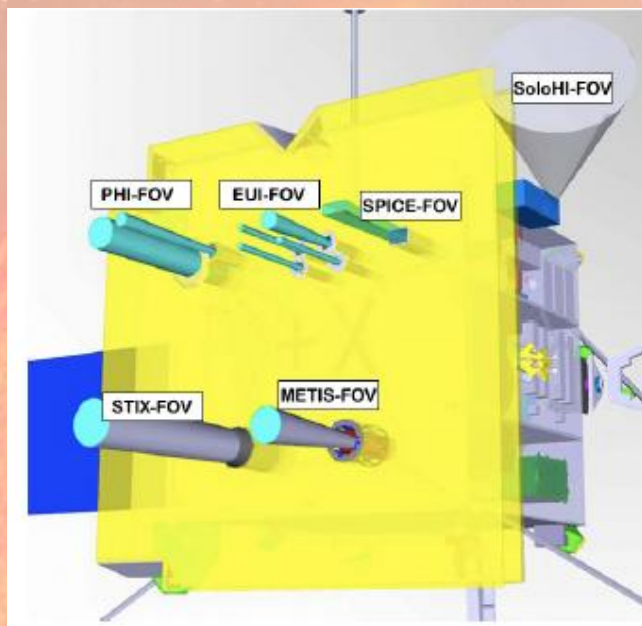
*średnio dla Ziemi (stała słoneczna)*

1366



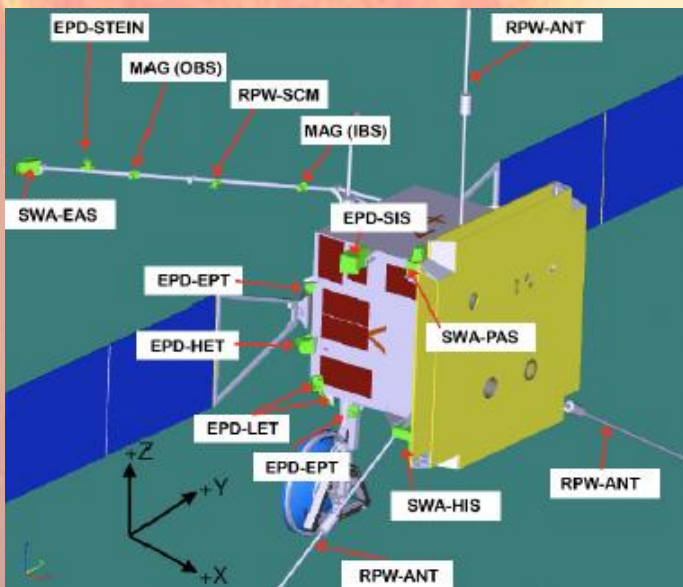
**Zbliżenie do Słońca wymaga użycia efektywnej osłony termicznej, za którą „schowają” się instrumenty badawcze**

# Solar Orbiter



## Teleskopy:

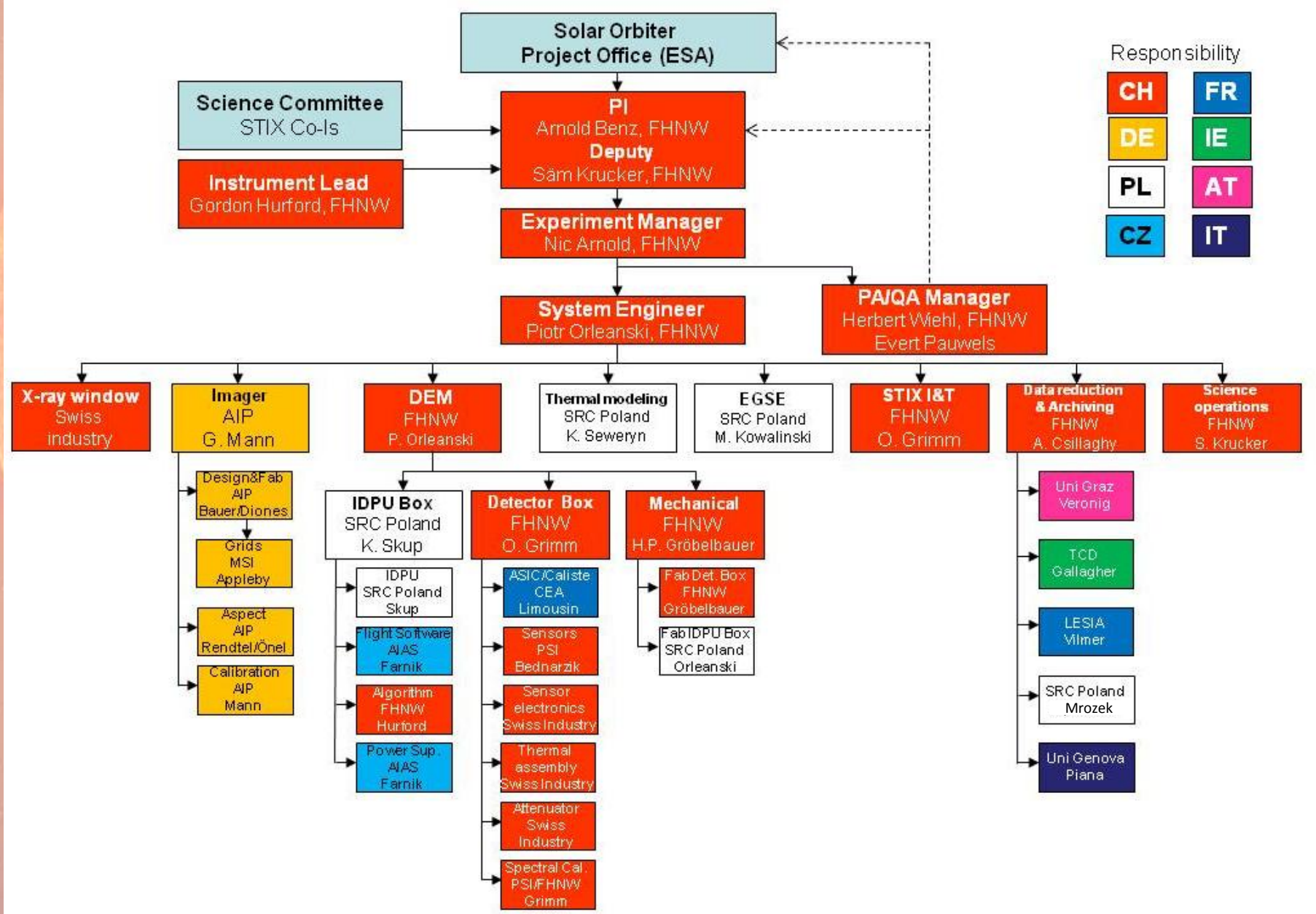
- *Polarimetric and Helioseismic Imager (PHI)*
- *EUV full-Sun and high-resolution Imager (EUI)*
- *EUV spectral Imager (SPICE)*
- *Spectrometer Telescope for Imaging X-rays (STIX)*
- *Coronagraph (METIS/COR)*
- *Heliospheric Imager (SoloHI)*



## Pomiary in-situ:

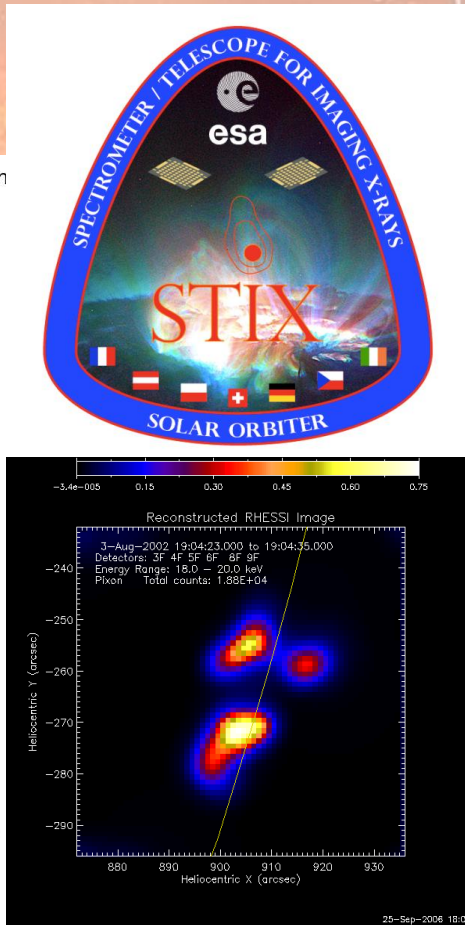
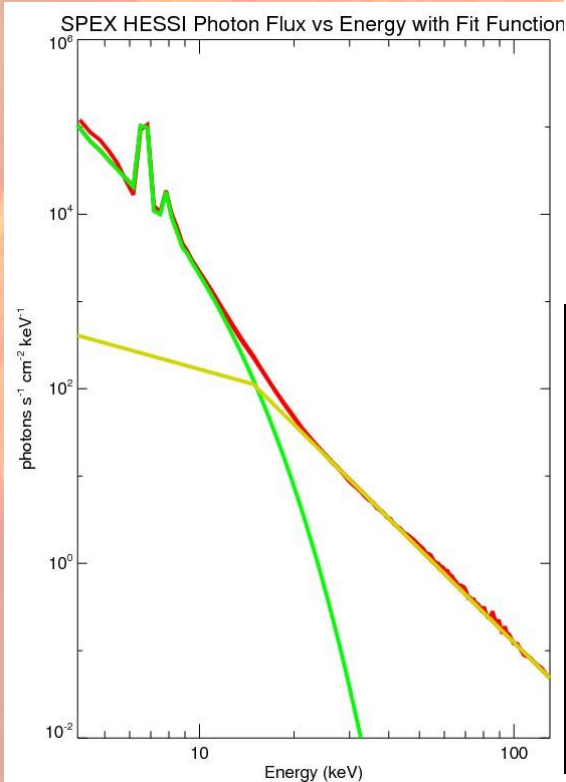
- *Solar Wind Analyser (SWA)*
- *Energetic Particle Detector (EPD)*
- *Magnetometer (MAG)*
- *Radio and Plasma Wave analyser (RPW)*

# Polski udział



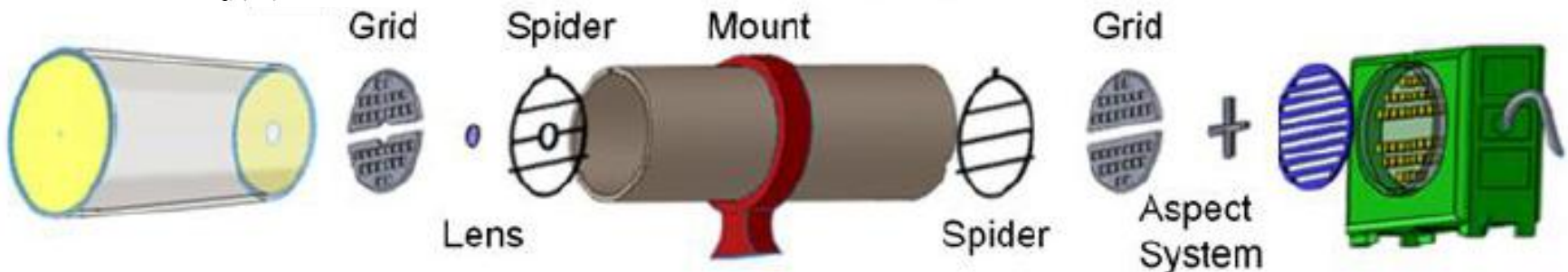


# Spectrometer Telescope for Imaging X-rays (STIX)



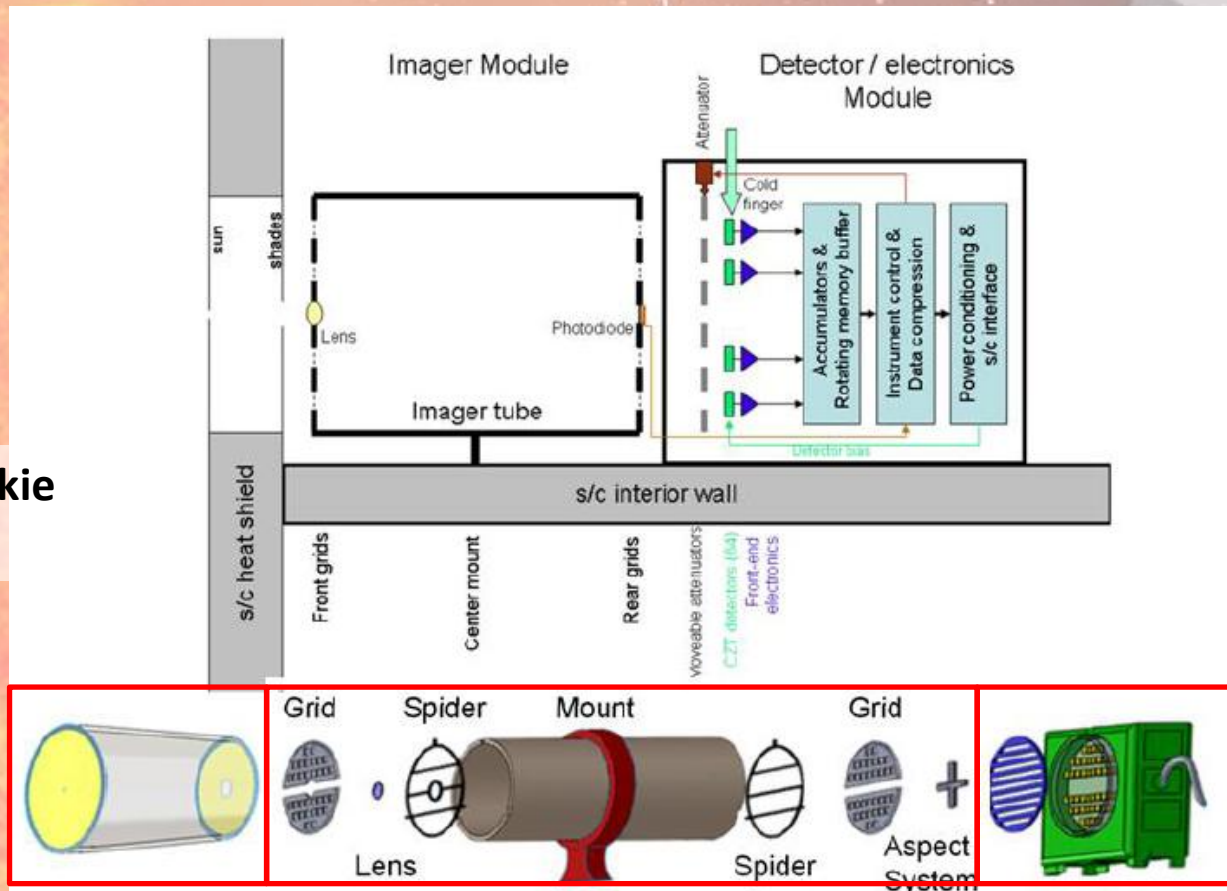
## STIX:

- spektrometr obrazujący (pomiar czasu przybycia i energii każdego fotonu)
- zakres energii: 4-150 keV
- rozdzielczość en.: 1-15 keV
- powierzchnia efektywna:  $6cm^2$
- rozdzielczość kątowna: 7 arcsec (obrazy rekonstruowane)
- pole widzenia  $2^\circ$
- rozdzielczość czasowa: 0.1 s



# STIX – elementy składowe

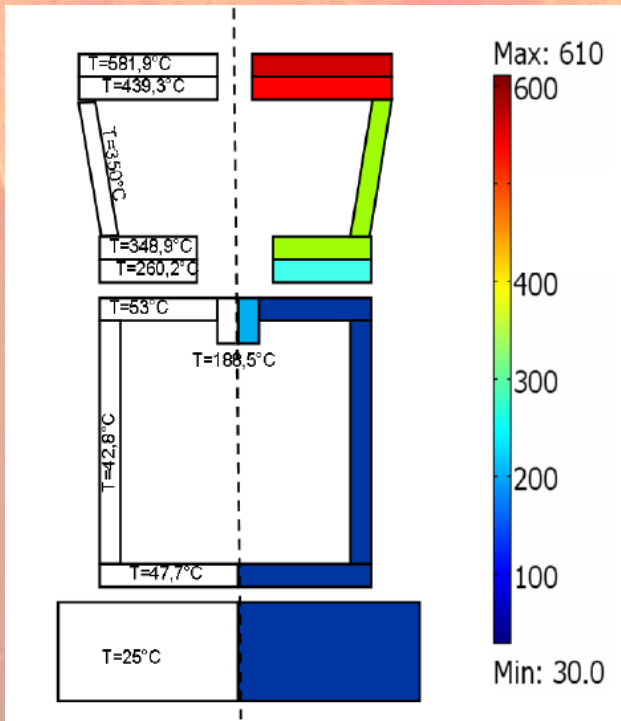
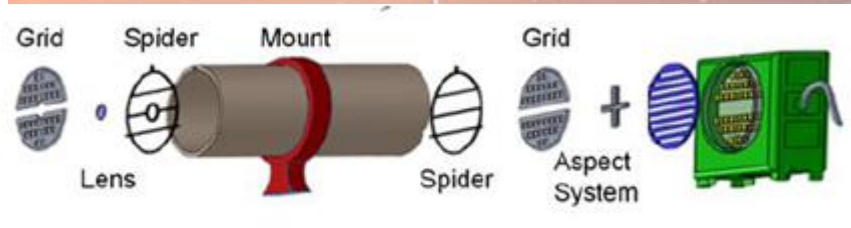
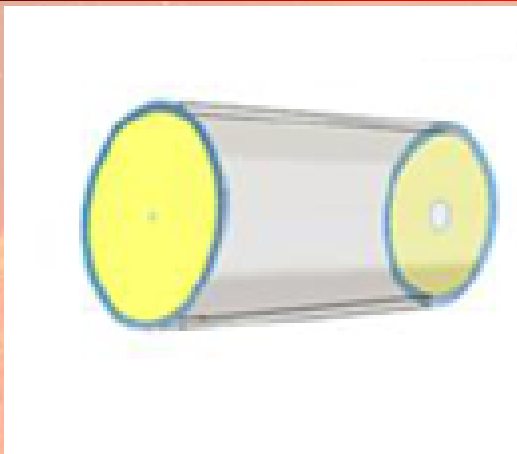
okno rentgenowskie  
(X-Ray Window)



element obrazujący: tuba teleskopu, modulatory,  
układ orientacji na Słońce

moduł detektorów i  
elektroniki

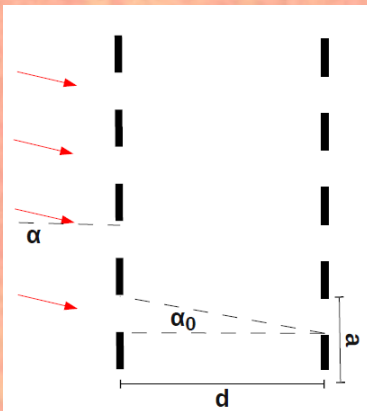
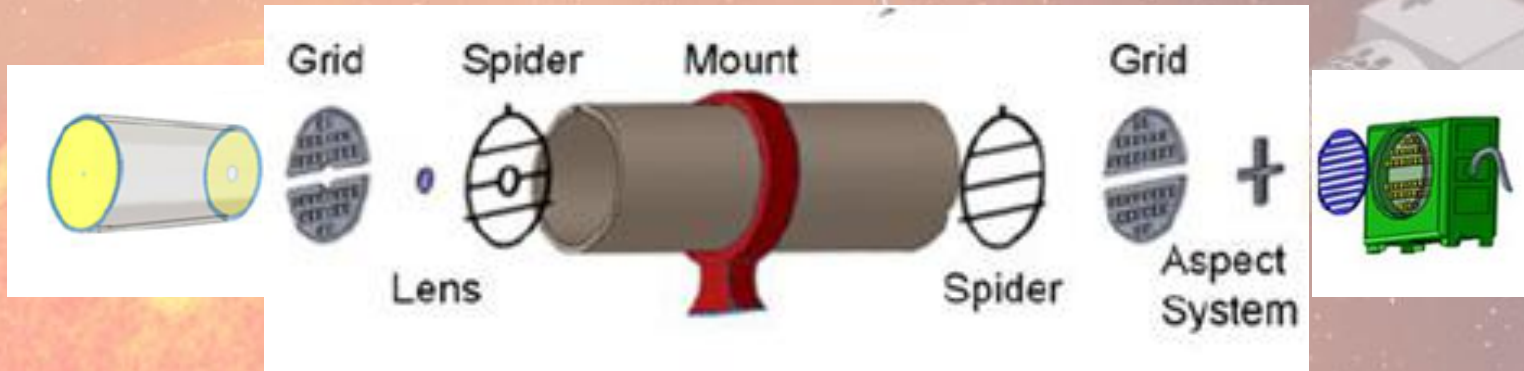
# STIX – okno rentgenowskie



## Dwa zadania:

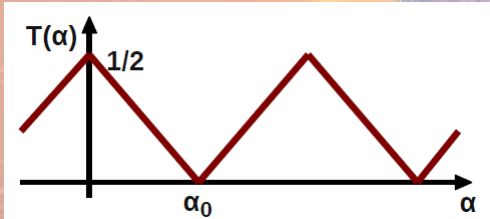
- ograniczenie promieniowania widzialnego i podczerwonego wpadajacego do srodka instrumentu
- blokowanie promieniowania rentgenowskiego o energii ponizej 4 keV

# STIX – element obrazujący



Amplituda i faza mogą być mierzone dzięki rotacji instrumentu wokół osi skierowanej do Słońca – metoda użyta w instrumencie RHESSI

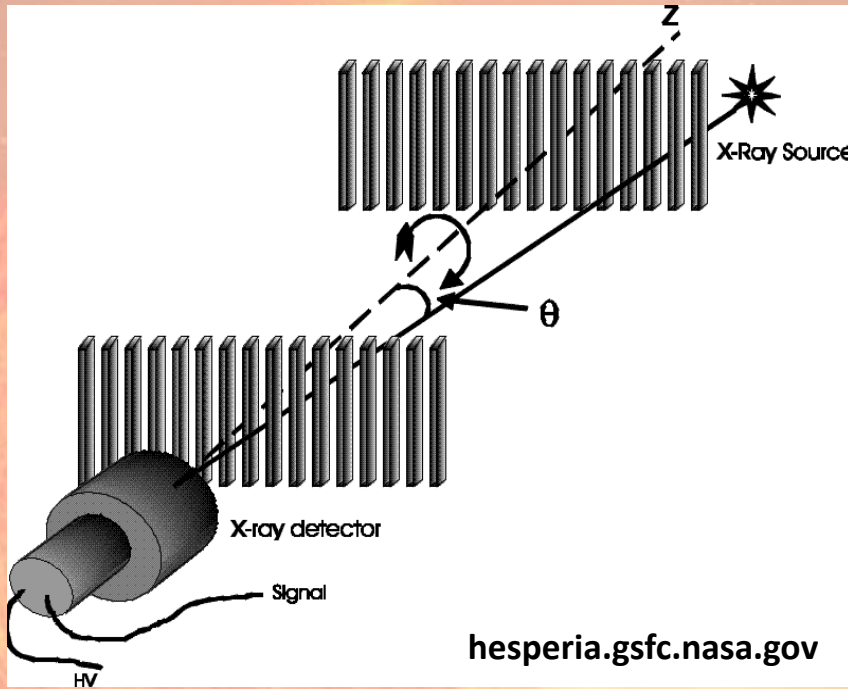
dwie jednakowe siatki rozsunięte na odległość  $d$



funkcja transmisji dla źródła punktowego

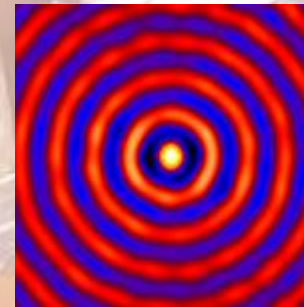


# Obrazowanie twardego promieniowania rentgenowskiego

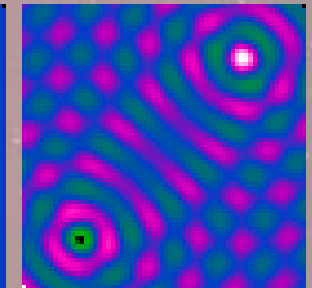
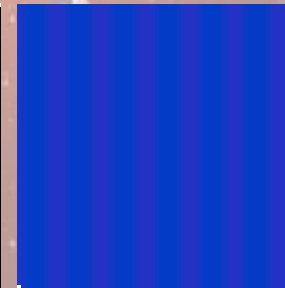
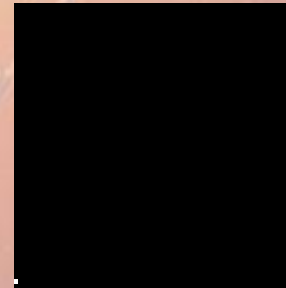
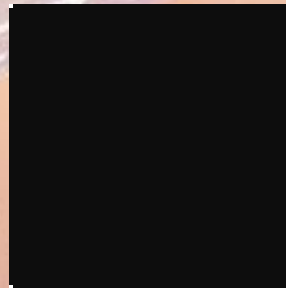
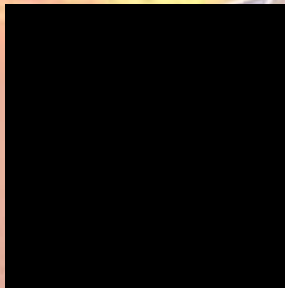
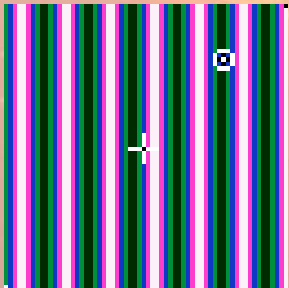


Obraz rekonstruowany przy użyciu kilku metod: Back Projection, CLEAN, PIXON, MEM NJIT, UV Smooth, Forward Fit VIS

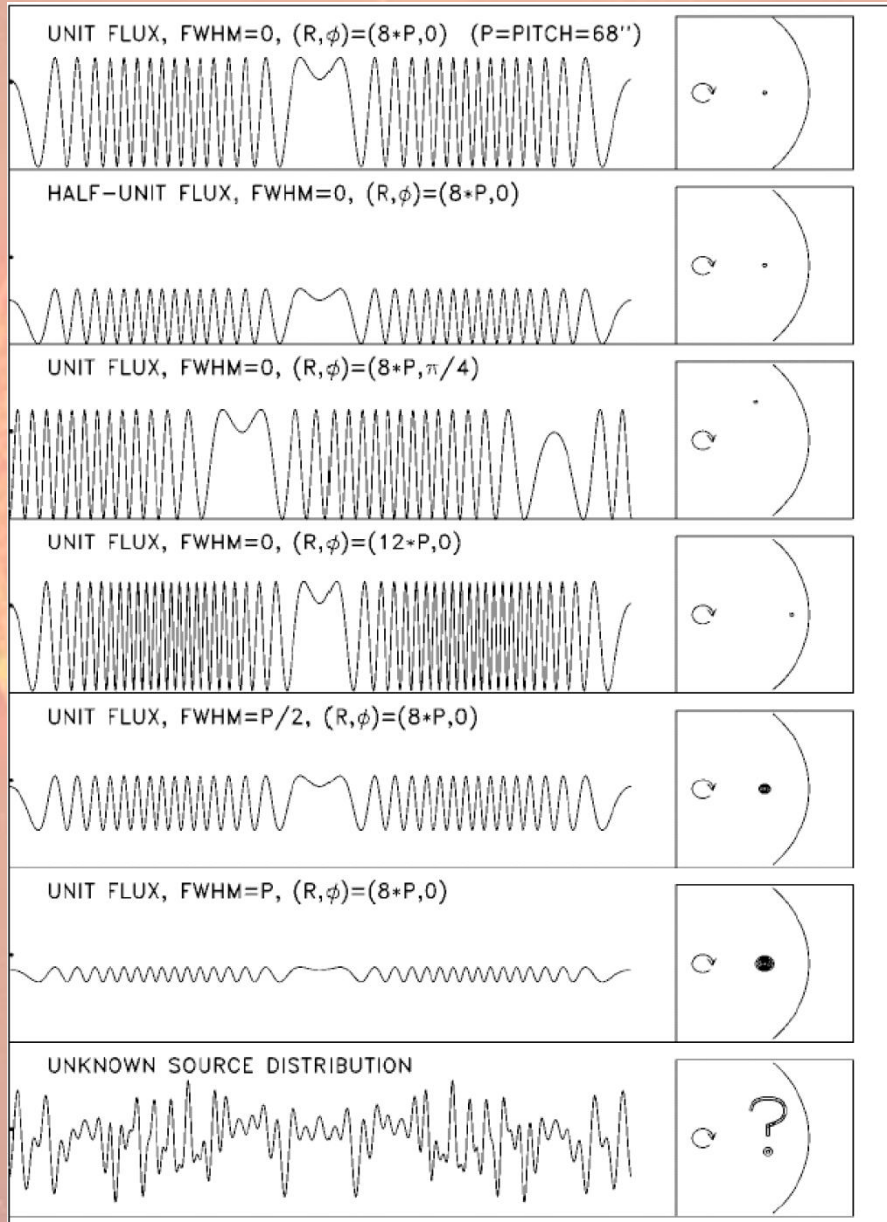
rozdzielczość przestrzenna:  $> 2.5$  arc sec



obraz pojedynczego źródła



# Obrazowanie twardego promieniowania rentgenowskiego



źródło punktowe, jasność = 1

źródło punktowe, jasność = 0.5

źródło punktowe, zmiana  
położenia z zachowaniem  
odległości od środka tarczy

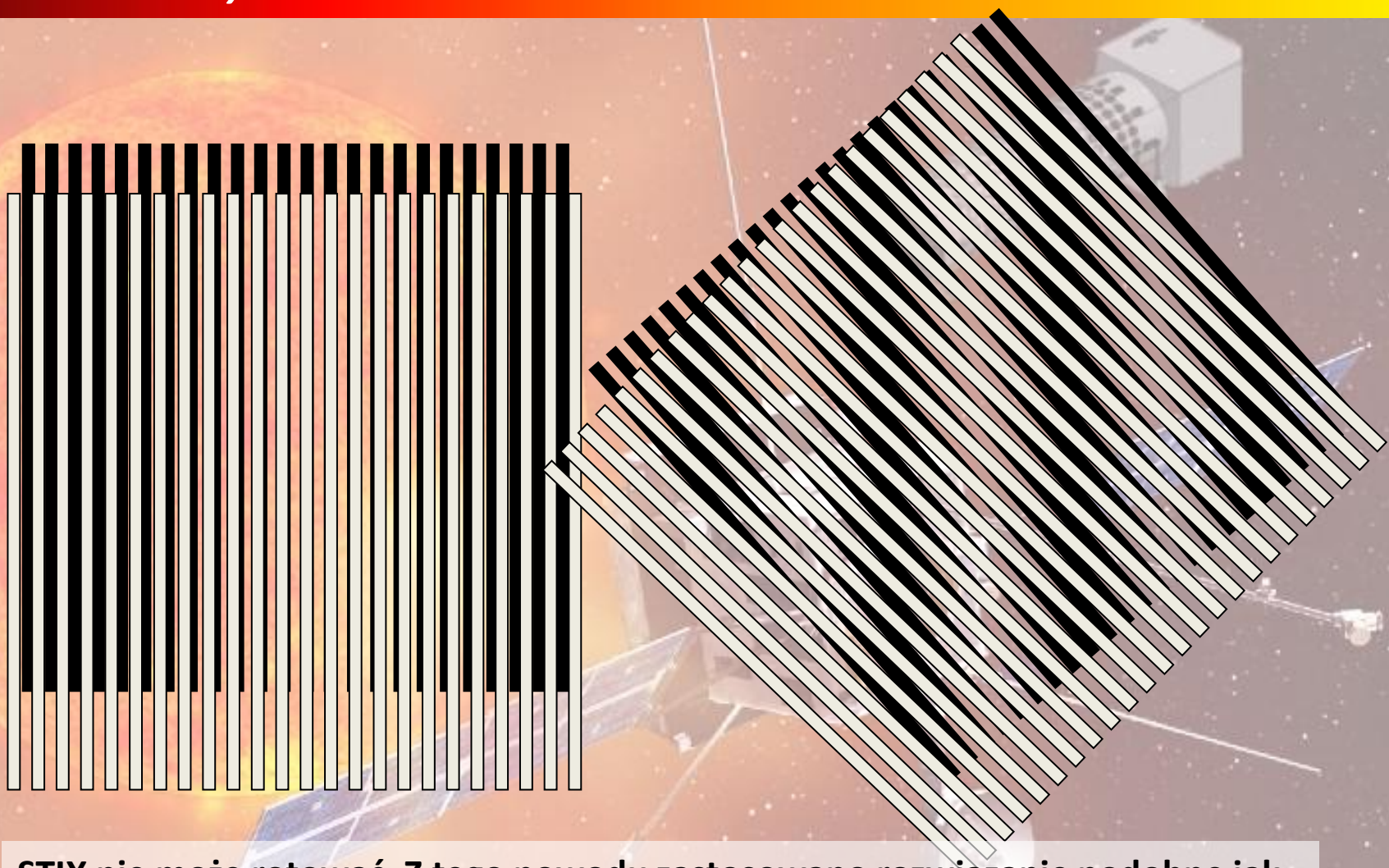
źródło punktowe, zmiana  
odległości od środka tarczy

rozmiar =  $P/2$

rozmiar =  $P$

rzeczywistość...

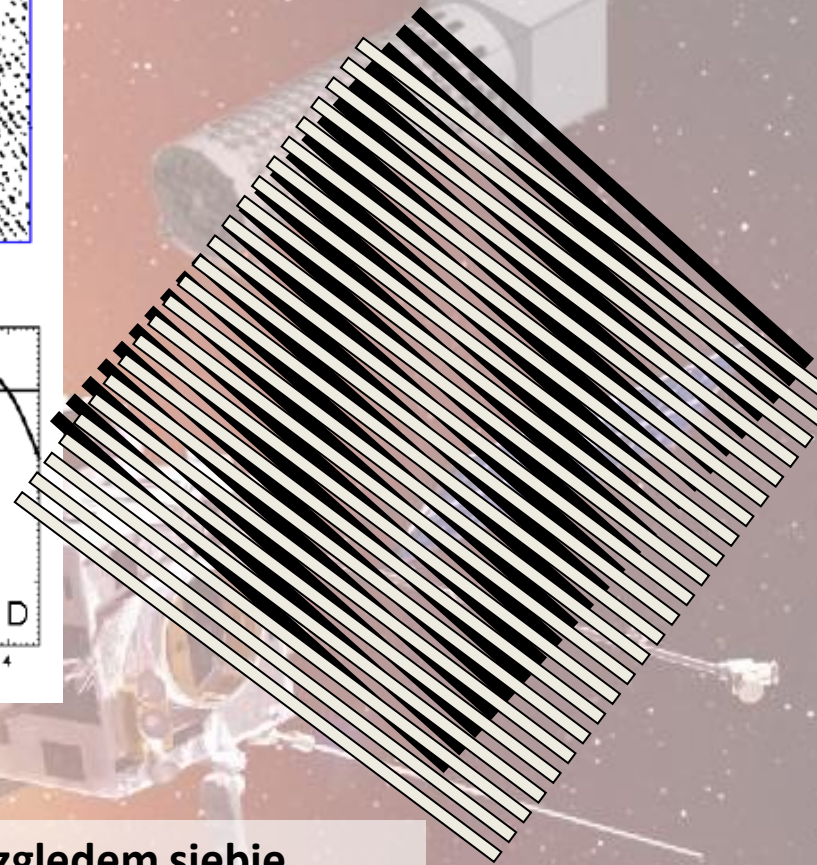
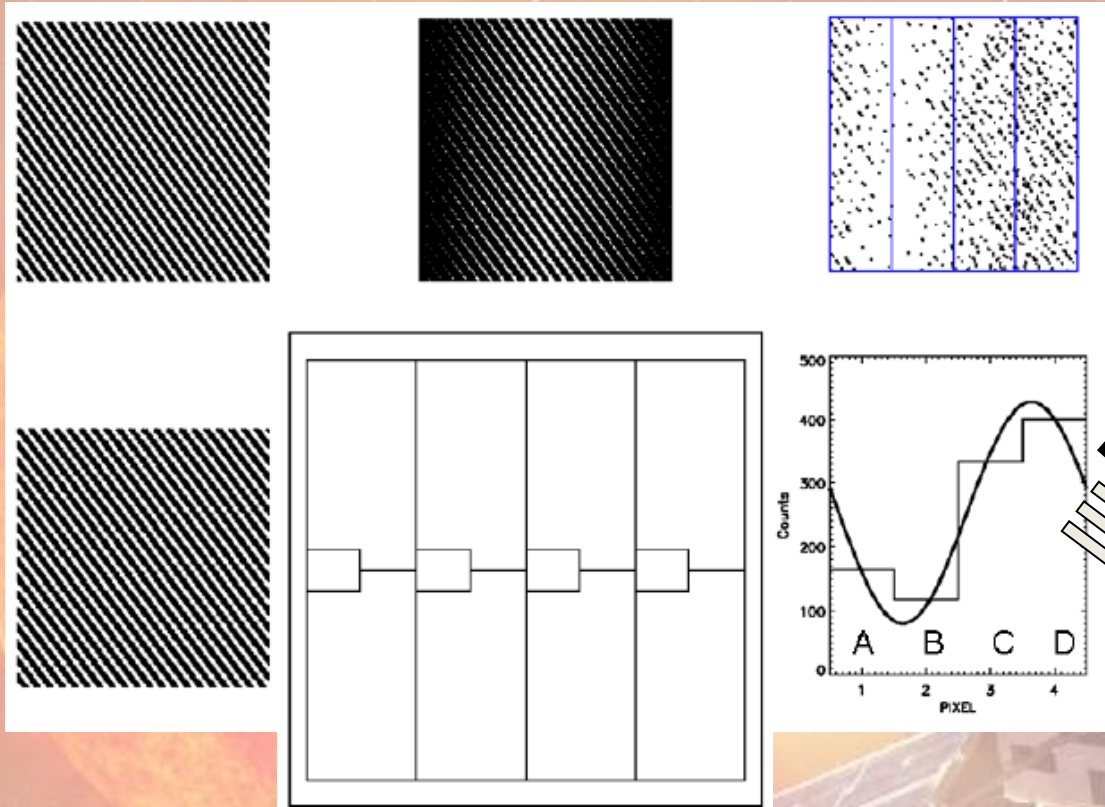
# STIX – elementy składowe



**STIX nie może rotować. Z tego powodu zastosowano rozwiązanie podobne jak w przypadku instrumentu HXT na satelicie YOHKOH – układ siatek o różnych orientacjach i różnych rozmiarach.**

**Poza tym będą one skręcone względem siebie a nie tylko przesunięte**

# STIX – elementy składowe



**Korzyści wynikające z użycia skręconych względem siebie siatek:**

- lepsza zbieżność metod rekonstrukcji obrazów
- obrazowanie bardziej „odporne” na obecność tła
- zmniejszenie masy ~ 0.3 kg
- eliminacja jednej przestony



# STIX – elementy składowe



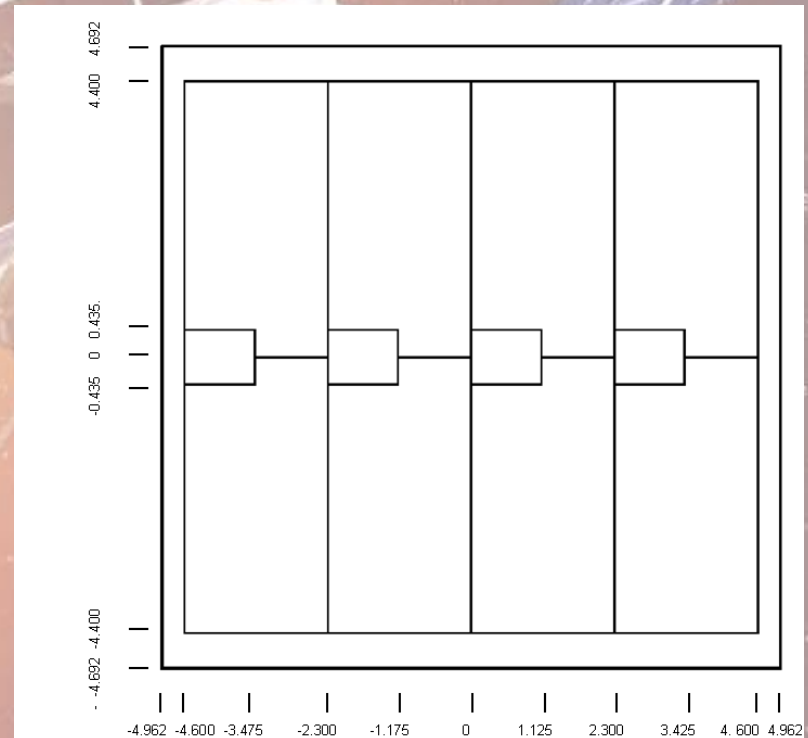
Wykorzystane będą 32 detektory (CdTe)  
każdy podzielony na 12 pikseli

rozmiar detektora: 10 x 10 x 1 mm

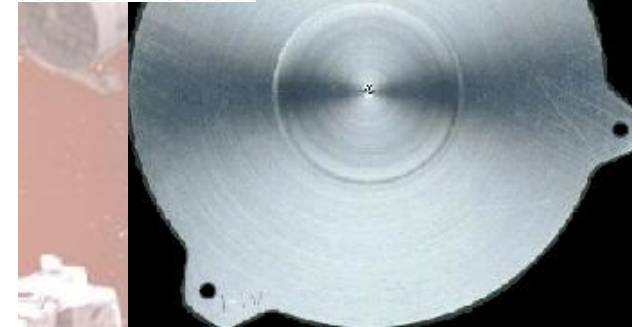
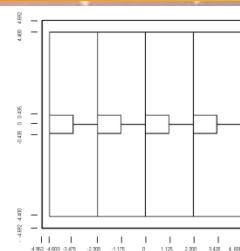
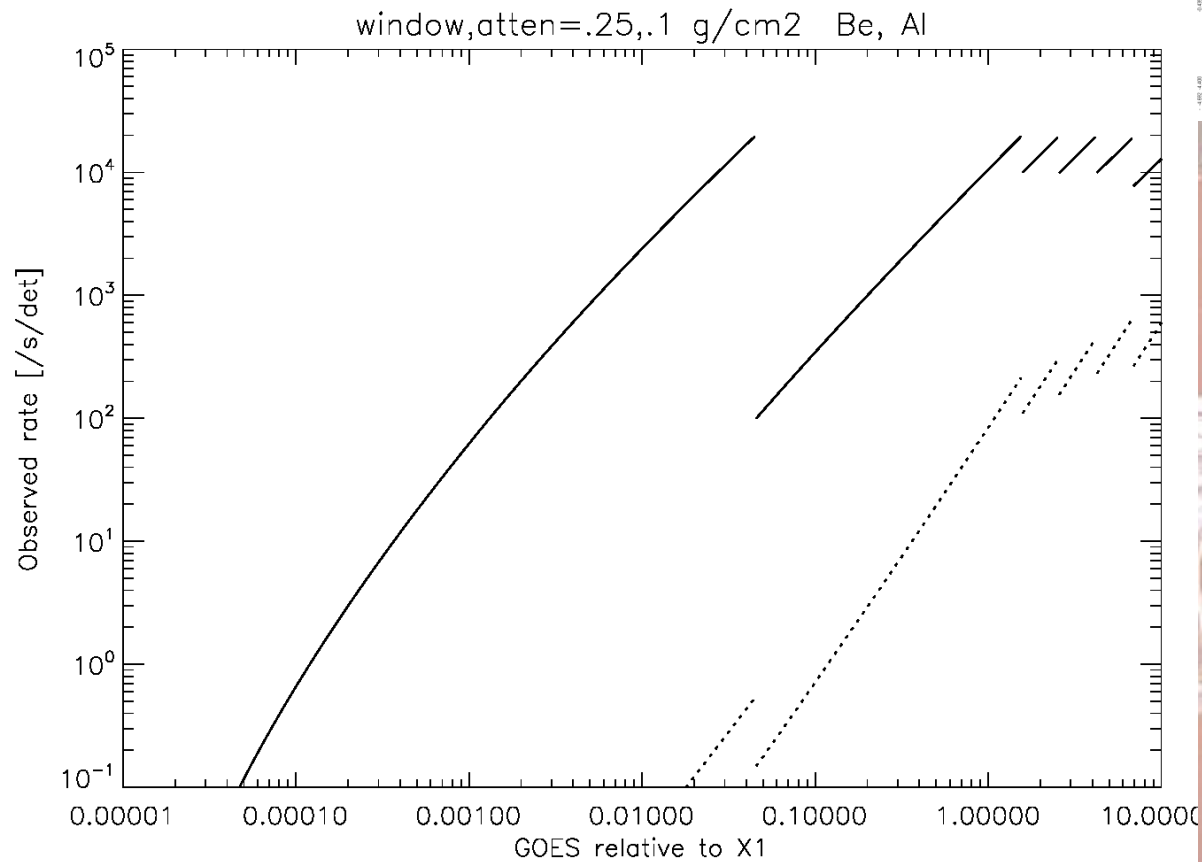
powierzchnia efektywna: 8.8 x 9.2 mm

małe piksele: 0.87 x 1.15 mm

duże piksele: 2.3 x 4.4 mm



# Zabezpieczenia przed wysokim sygnałem

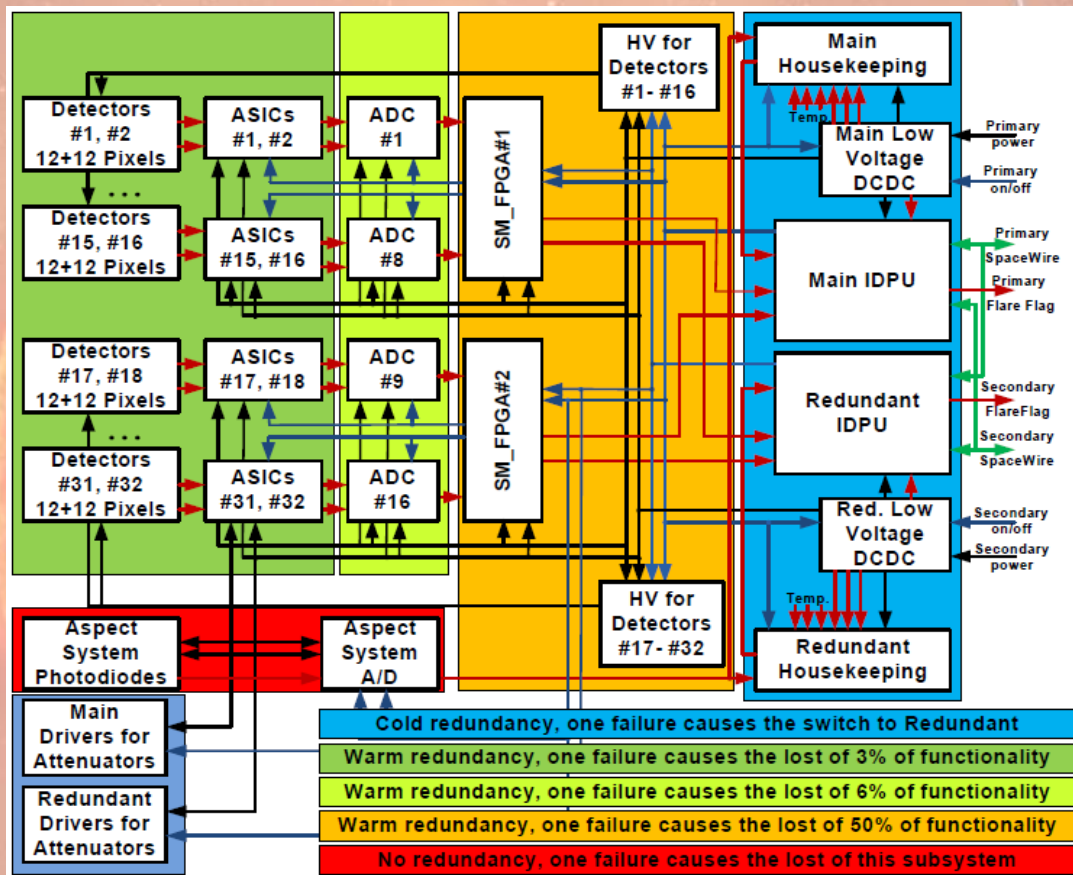


przesłona	piksele
-	12
+	12
+	4 duże
+	2 duże
+	1 duży
+	4 małe
+	2 małe
+	1 mały

**maksymalny sygnał: 20000 c/s/det**

**przesłony + wyłączane piksele = zjawiska od A1 do X30**

# Co za detektorami?



Oczekiwane maksymalne tempa zliczeń:

od 20k-50k /s do 0.6-2 M /s w przypadku największych rozbłysków

transfer: 200 Bits/s

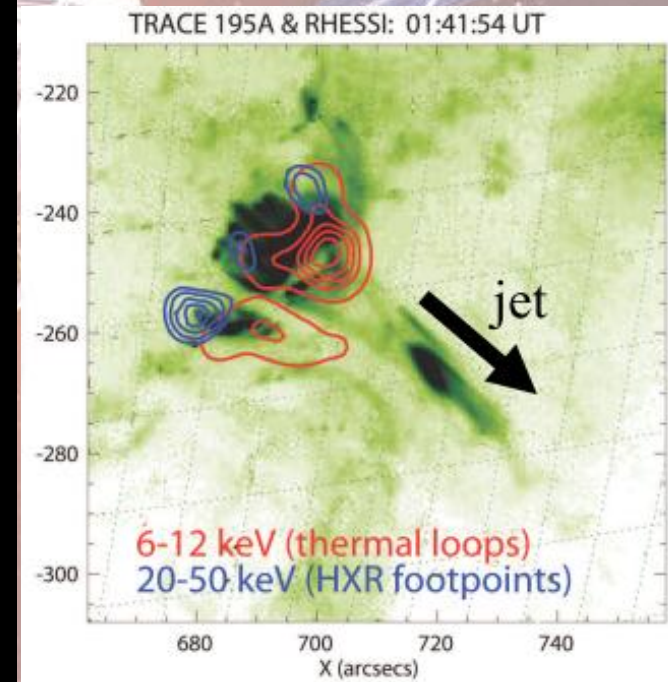
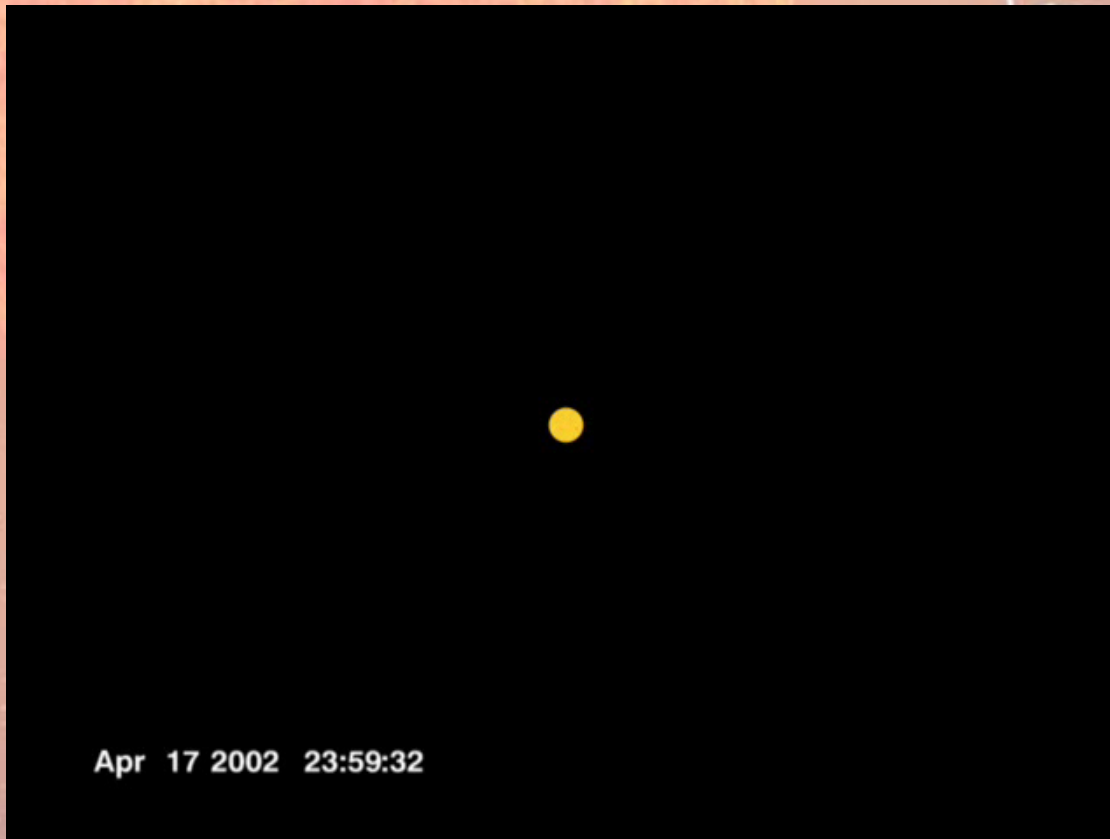
potrzeba bardzo wydajnych algorytmów kompresji

Instrument Data Processing Unit (IDPU)

- sterowanie przyrządem
- komunikacja z pokładem SO
- odbieranie i wykonywanie komend
- zbieranie danych z detektorów i przechowywanie
- wstępna redukcja i analiza danych
- kontrola punktów węzłowych STIX

# STIX – zadania i oczekiwania

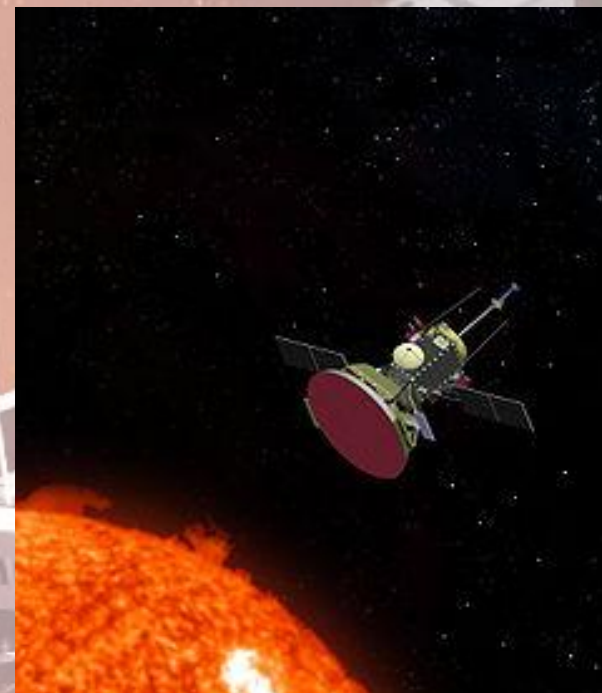
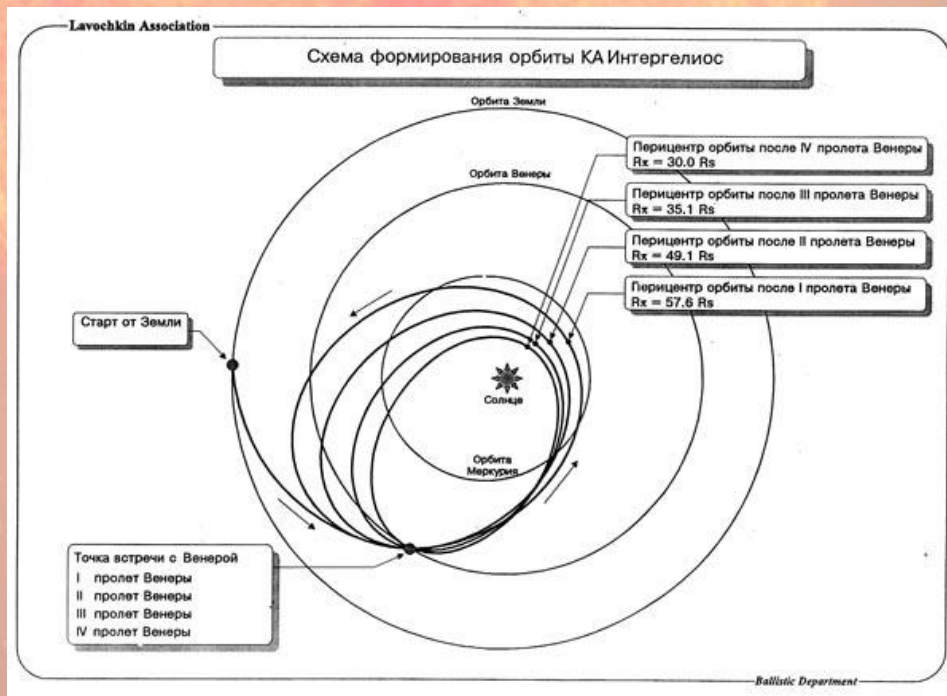
- ➔ śledzenie wysokoenergetycznych elektronów od miejsca przyspieszania do miejsca położenia STIX (wspólnie z innymi instrumentami SO)
- ➔ obserwacje spektroskopowe z rozdzielczością przestrzenną
- ➔ obserwacje nowych typów źródeł HXR (CME, zatrzymane erupcje)
- ➔ obserwacje mikro i nanorozbłysków, emisja HXR od spokojnego Słońca
- ➔ inicjowanie sekwencji obserwacyjnych („flare trigger”) innych instrumentów SO



# Wspólne obserwacje z...

## InterHelioZond

wystrzelenie około 2018  
maksymalne zbliżenie  $40 R_{\odot}$   
instrumenty: CHEMIX



## Solar Probe Plus

nie później niż w 2018  
pomiar in-situ  
maksymalne zbliżenie  $0.08 \text{ j.a.}$   
( $< 20 R_{\odot}$ )

Dziękuję za uwagę

