



Space Research Centre Polish Academy of Sciences

Centrum Badań Kosmicznych Polskiej Akademii Nauk

ul. Bartycka 18A
00-716 Warszawa

tel.: +48 22 8403766
fax: +48 22 8403131

WWW: <http://www.cbk.waw.pl/>
email: cbk@cbk.waw.pl

Nowa spektroskopia rentgenowska
Słońca: przyrząd **Chemix**
oraz
perspektywy dalszych polskich
kosmicznych badań naszej Gwiazdy

Janusz Sylwester

w imieniu Zespołu Zakładu Fizyki Słońca we Wrocławiu



Treść

Zakład Fizyki Słońca CBK PAN Wrocław:

Janusz Sylwester

- Wykorzystanie dotychczasowych doświadczeń: **RESIK**
 - Identyfikacja nowych linii
 - Wyznaczenia koronalnych obfitości pierwiastków
 - Koncepcja przyrzędu ChemiX i dlaczego warto...
- Wykorzystanie doświadczeń: **SphinX**
 - Strategia obserwacji
 - USA: GSFC+ Worcester – SphinX-NG
- Możliwości realizacji:
 - Wzmocnienie ośrodka wrocławskiego
- Możliwości finansowania w Polsce:
 - NCN: STIX, ChemiX
 - FNP?: SphinX-NG



Nasze „zdobycze” naukowe: RESIK

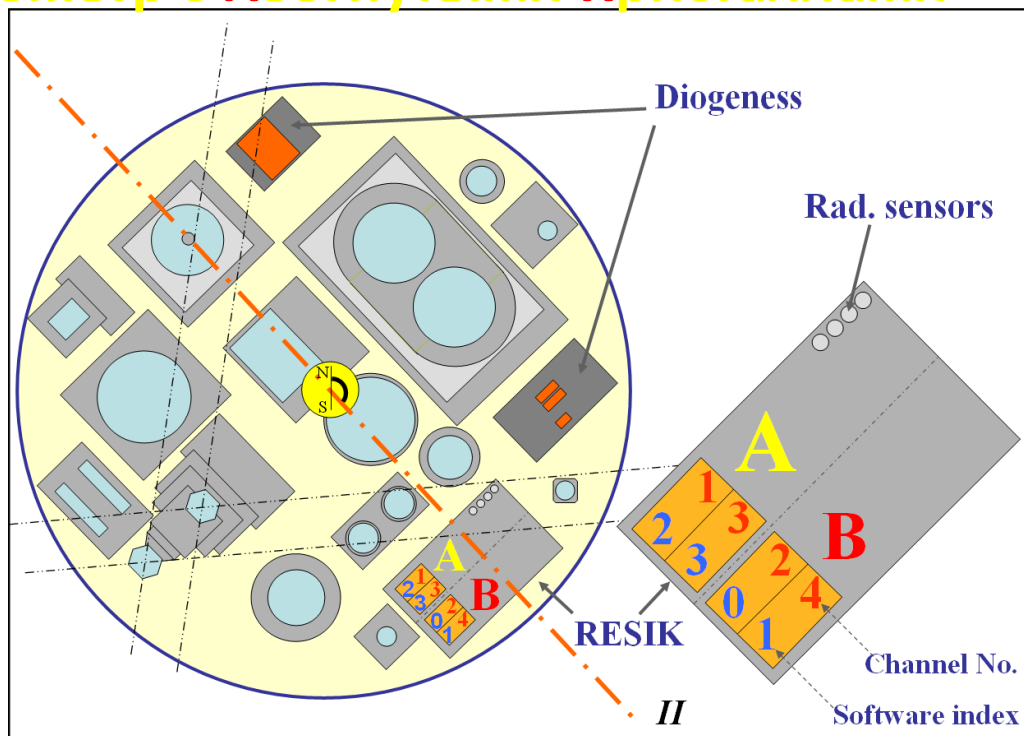
Zakład Fizyki Słońca CBK PAN Wrocław:

Janusz Sylwester

Рентгеновский Спектрометр с Изогнутыми Кристаллами



Wystartował
31 stycznia 2001, ~20 kg



RESIK: Spektrometr *Bragga* z wygiętymi kryształami- wersja rozwojowa spektrometru BCS na *SMM* and *Yohkoh*

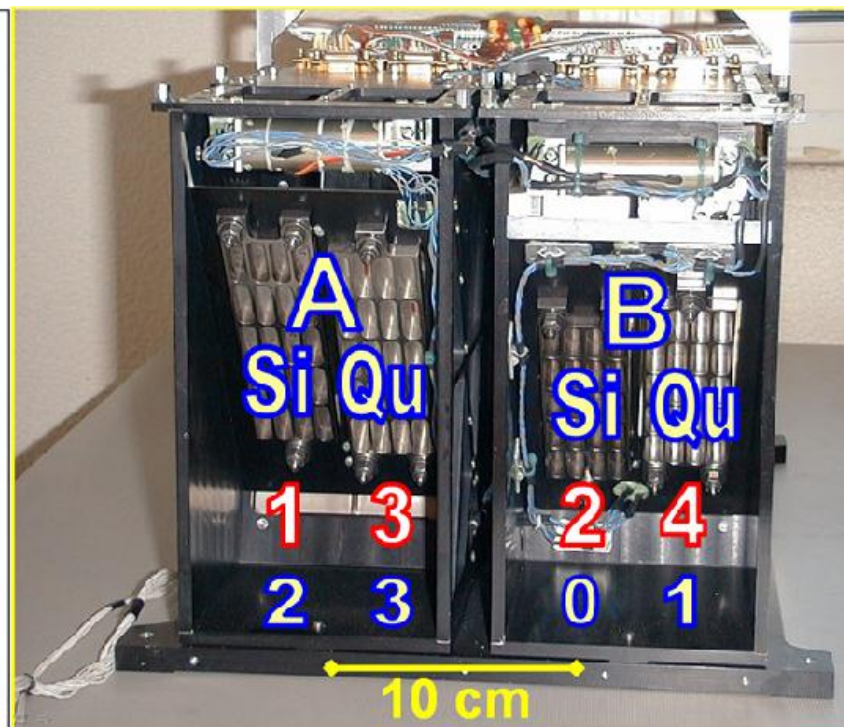
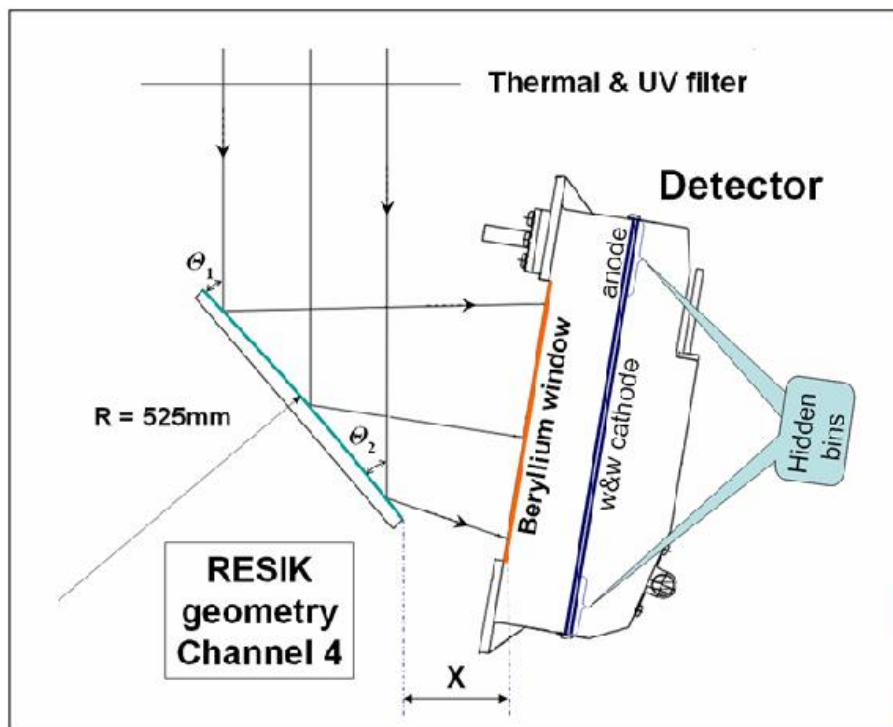


Zasada działania RESIK'a prawo *Bragga*

Zakład Fizyki Słońca CBK PAN Wrocław: Janusz Sylwester

$$\text{prawo Bragga} \rightarrow k\lambda = 2d \sin\theta$$

Pomiary w zakresie: 0.335 nm – 0.610 nm, jednocześnie we wszystkich λ



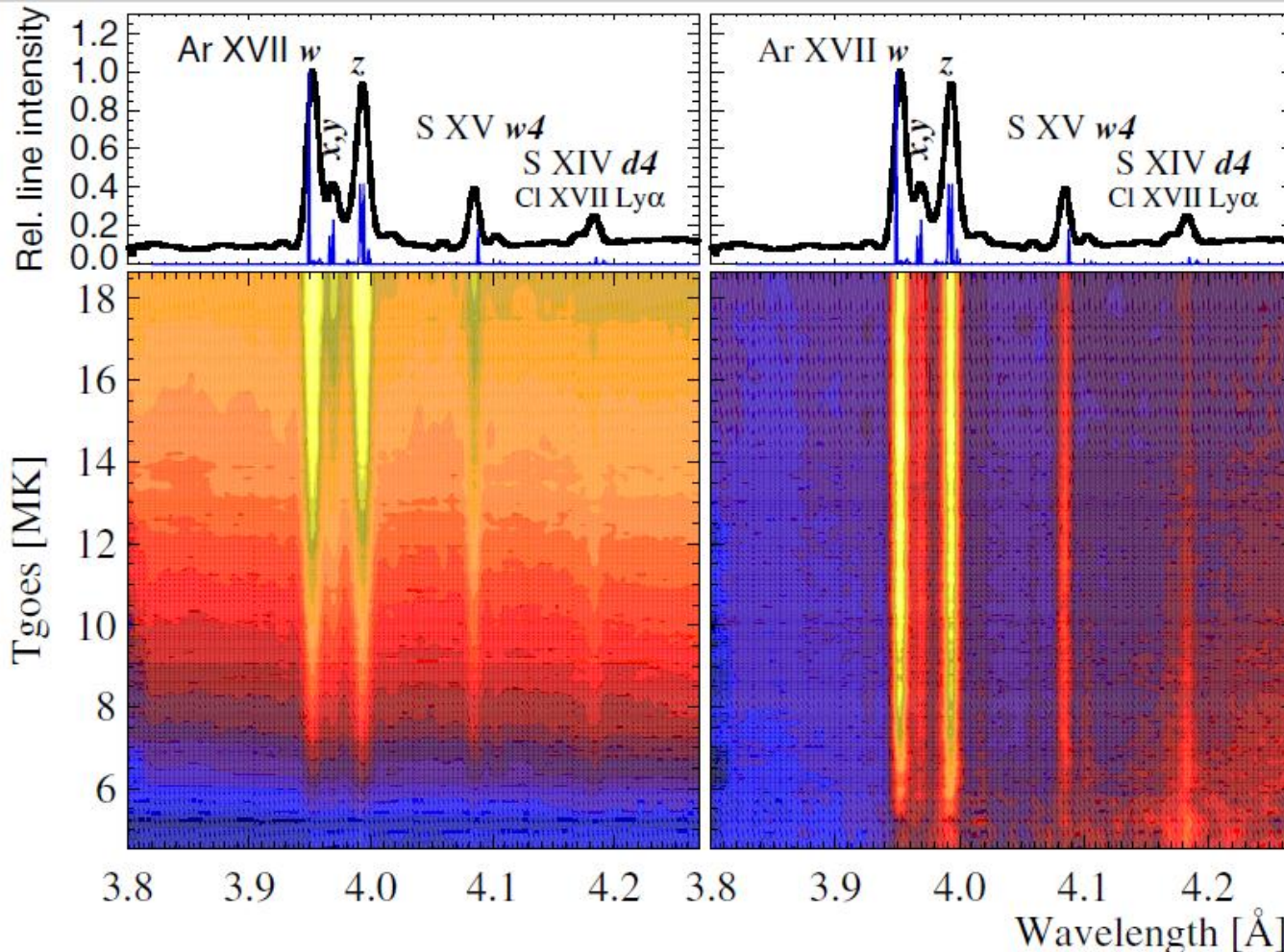
КОРОНАС-Ф: три года наблюдений активности Солнца 2001-2004 гг.



Wyniki naukowe: RESIK

Zakład Fizyki Słońca CBK PAN Wrocław:

Janusz Sylwester



Identyfikacja
ok. 20 nowych
linii

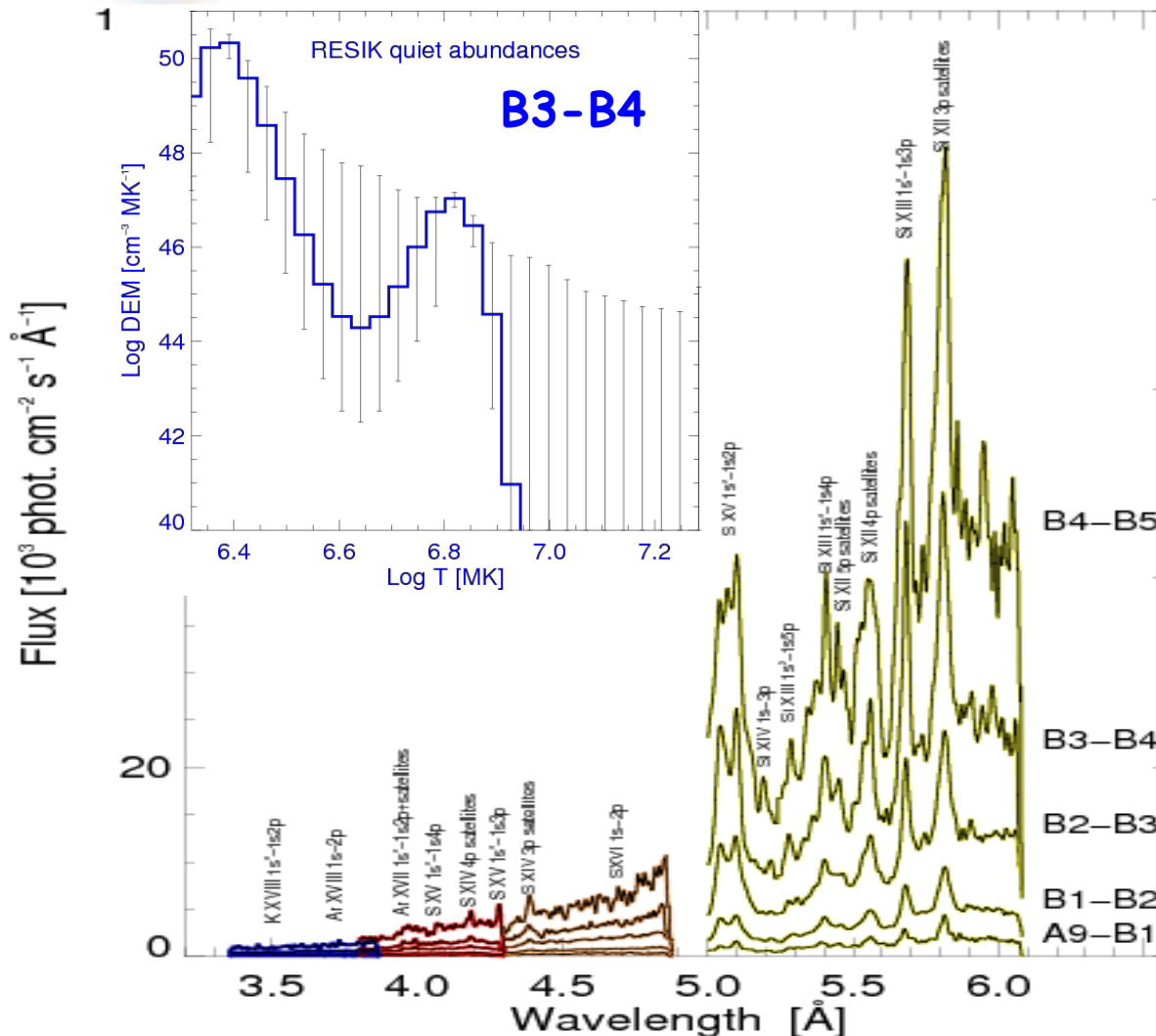
1s – np, n do 10

Pomiar
poziomu
kontinuum

Wysoka czułość

Doskonała
kalibracja
absolutna

Ilości plazmy świecącej, **obrotosci pierwiastków**



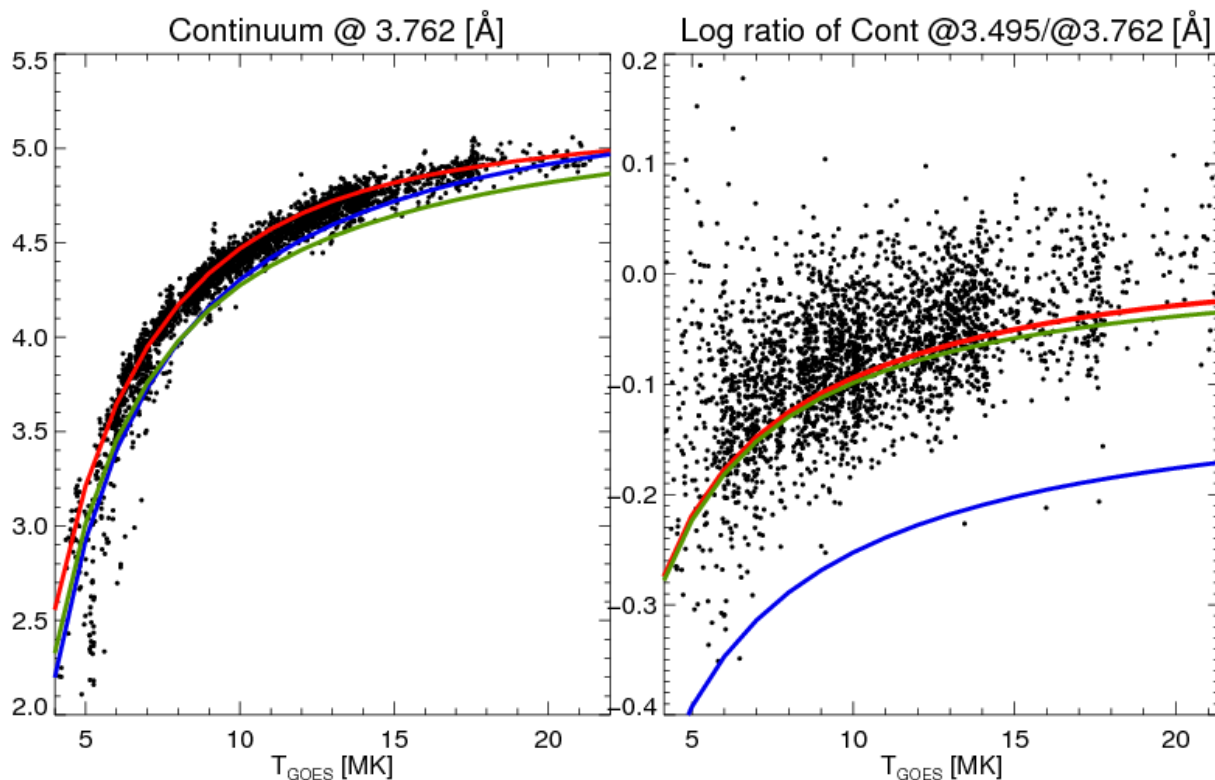
- **Wysoka czułość**
- Po raz pierwszy widma bezrozbłyskowych obszarów aktywnych
- Niski poziom aktywności
A9 – B4
- Obecność składnika goracego
T ~8 MK



Wyniki naukowe: RESIK

Zakład Fizyki Słońca CBK PAN Wrocław:

Janusz Sylwester



Pomiary kontinuum wykonano po raz pierwszy, ze względu na to, że zminimalizowano efekty fluorescencji w przyrządzie

- Pomiar poziomu kontinuum
- Pełna zgodność z nowoczesną teorią: kod atomowy CHIANTI
- Koronalny skład chemiczny plazmy

Obfitość FIP < 10 eV

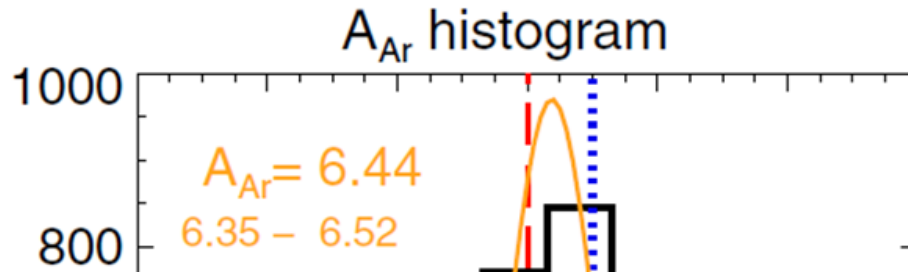
Większa niż w fotosferze



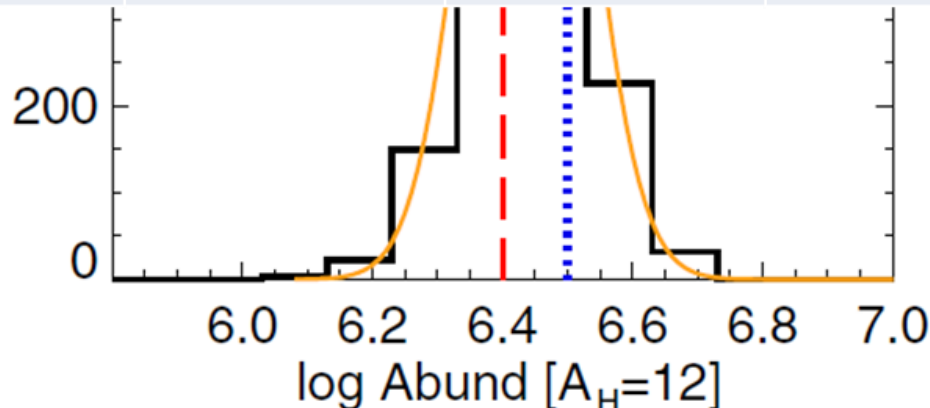
Wyniki naukowe: RESIK

Zakład Fizyki Słońca CBK PAN Wrocław:

Janusz Sylwester



Pierwiastek	Obfitość	Zakres	FIP (eV)
Ar (Ly α)	6.49	6.30-6.68	15.75
Ar (w)	6.44	6.35-6.52	15.75
Cl	5.75	5.44-6.06	12.96
K	5.86	5.63-6.09	4.34



- Wyznaczenia absolutnych obfitości
- Ar \rightarrow po raz pierwszy bezpośrednio dla Słońca
- K, Cl po raz pierwszy absolutne wartości dla korony



Wyniki naukowe: RESIK

Zakład Fizyki Słońca CBK PAN Wrocław:

Janusz Sylwester

#	Bibcode Authors	Score Title	Date	List of Links Access Control Help		
1	2011ApJ...738..49S Sylwester, B.; Phillips, K. J. H.; Sylwester, J.; Kuznetsov, V. D.	1.000 The Solar Flare Chlorine Abundance from RESIK X-Ray Spectra	09/2011	A E F X	R	U
2	2011A&A...533A..81K Kulinová, A.; Kašparová, J.; Džifčáková, E.; Sylwester, J.; Sylwester, B.; Karlický, M.	1.000 Diagnostics of non-thermal distributions in solar flare spectra observed by RESIK and RHESSI	09/2011	A E F X	R	U
3	2010ApJ...720.1721S Sylwester, J.; Sylwester, B.; Phillips, K. J. H.; Kuznetsov, V. D.	1.000 A Solar Spectroscopic Absolute Abundance of Argon from RESIK	09/2010	A E F X	R C	U
4	2010A&A...514A..82S Sylwester, B.; Sylwester, J.; Phillips, K. J. H.	1.000 Soft X-ray coronal spectra at low activity levels observed by RESIK	05/2010	A E F X	R C	U
5	2010ApJ...711..179P Phillips, K. J. H.; Sylwester, J.; Sylwester, B.; Kuznetsov, V. D.	1.000 The Solar X-ray Continuum Measured by RESIK	03/2010	A E F X	R C	U
6	2009CEAB...33..243K Kulinová, A.; Džifčáková, E.; Sylwester, B.; Sylwester, J.	1.000 Non-thermal Diagnostics of a Flare Observed by RESIK	00/2009	A F G		U
7	2008AdSpR..42..838S Sylwester, J.; Sylwester, B.; Landi, E.; Phillips, K. J. H.; Kuznetsov, V. D.	1.000 Determination of K, Ar, Cl, S, Si and Al flare abundances from RESIK soft X-ray spectra	09/2008	A E	R C	U
8	2008AdSpR..42..833S Sylwester, B.; Sylwester, J.; Phillips, K. J. H.; Landi, E.	1.000 He-like Ar XVII triplet observed by RESIK	09/2008	A E	R	U
9	2008AdSpR..42..822G Gburek, S.; Mrozek, T.; Siarkowski, M.; Sylwester, J.	1.000 Spectroscopic analysis of the solar flare event on 2002 August 3 with the use of RHESSI and RESIK data	09/2008	A E	R	

Lacznie, ok. 30 prac od zakończenia obserwacji 20% danych



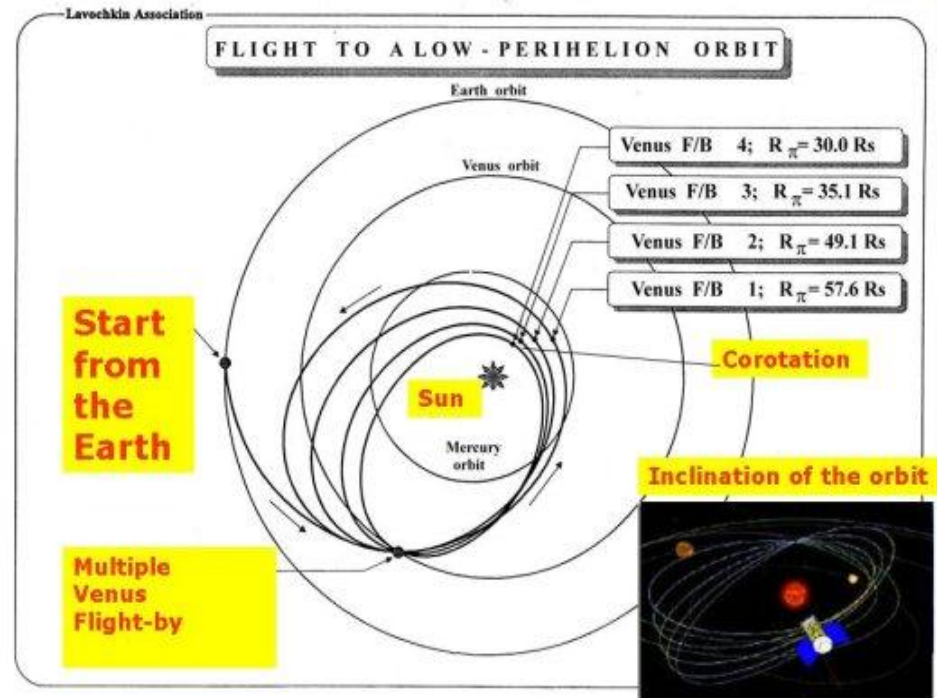
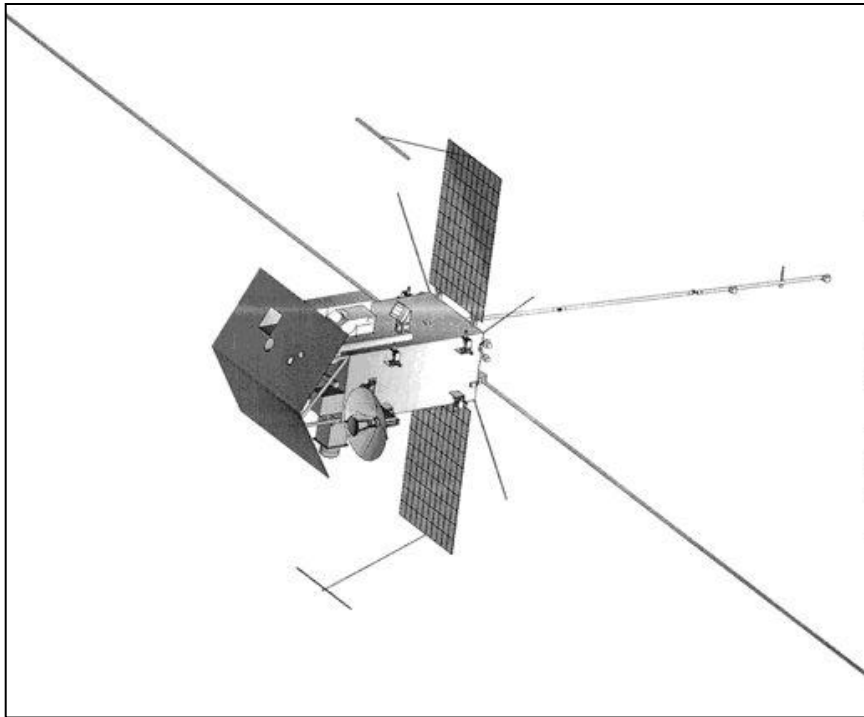
Czy można zrobić doskonalszy spektrometr?

- TAK ! **jesteśmy na pokładzie**
 - Zwiększając rozdzielczość widmowa
 - RESIK $dE/E \sim 0.001$, dobry monokryształ oferuje 0.0001 czyli 10 x lepiej: wyraźne linie, wielokrotnie lepszy S/N
przeciw: detektor nowego typu → X-ray CCD
 - Zwiększając czułość: większe kryształy → więcej fotonów
 - RESIK (19kg) 2 x więcej fotonów ~40 kg
 - Ale można przybliżyć się do Słońca 4 x bliżej → 16 x
 - Solar Orbiter (ESA -skład aparatury dawno zatwierdzony)- bez szans
 - Interhelioprobe (Roskosmos)- skład ustalano w 2010r- po usilnych staraniach UDAŁO SIĘ! →



Interhelioprobe

<http://www.izmiran.ru/projects/space/INTERHELIOPROBE>



Masa aparatury naukowej: 130 kg
10 przyrządów, w tym **Chemix**



Interhelioprobe

<http://www.izmiran.ru/projects/space/INTERHELIOPROBE>

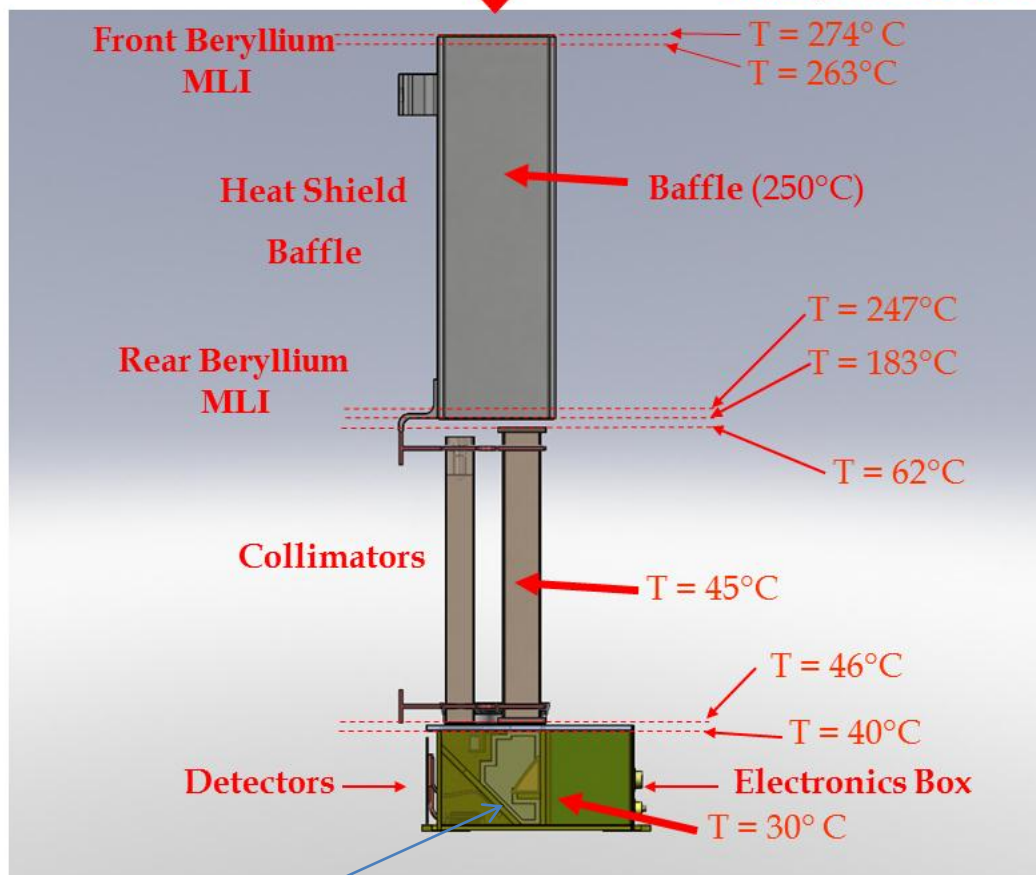
- Zadania naukowe i trajektoria lotu zbliżone do Solar Orbiter
 - Perihelium (0.22 a.u.) do 0.7 a.u., obiekt stabilizowany w trzech osiach, 130 kg aparatury naukowej,
 - Start (Soyuz-2) 2017-2018 (okna astronomiczne)
- W skład aparatury wchodzi „nasz” ChemiX (Chemical composition of the corona from X-rays)
 - To jedyny planowany spektrometr Bragga na kolejny cykl aktywności.
 - Zostaliśmy „zaproszeni na pokład” pismem V-ce prezydenta AN Rosji Akad. Andreeva



ChemiX

CHEMIX Thermal

Preliminary thermal analysis results



CCD detector temperature < -20°C

Weight

5 - 6 kg

Size

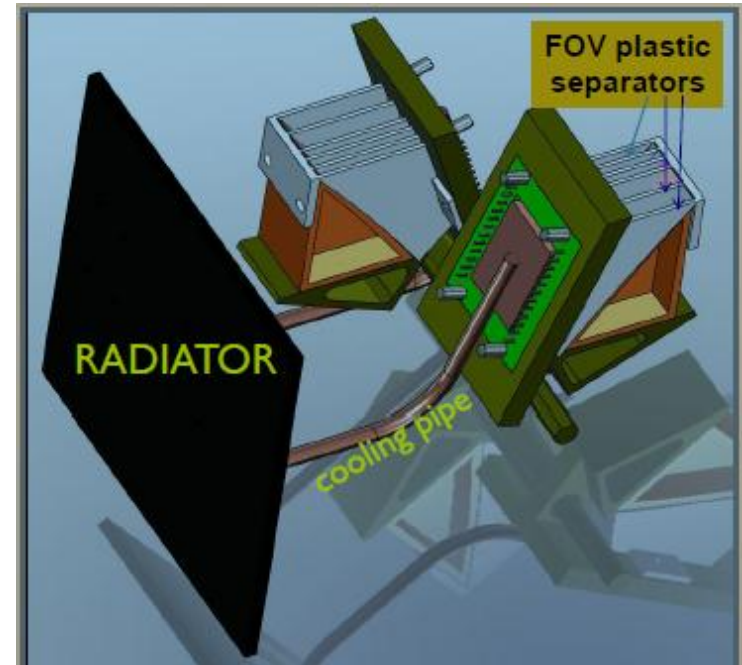
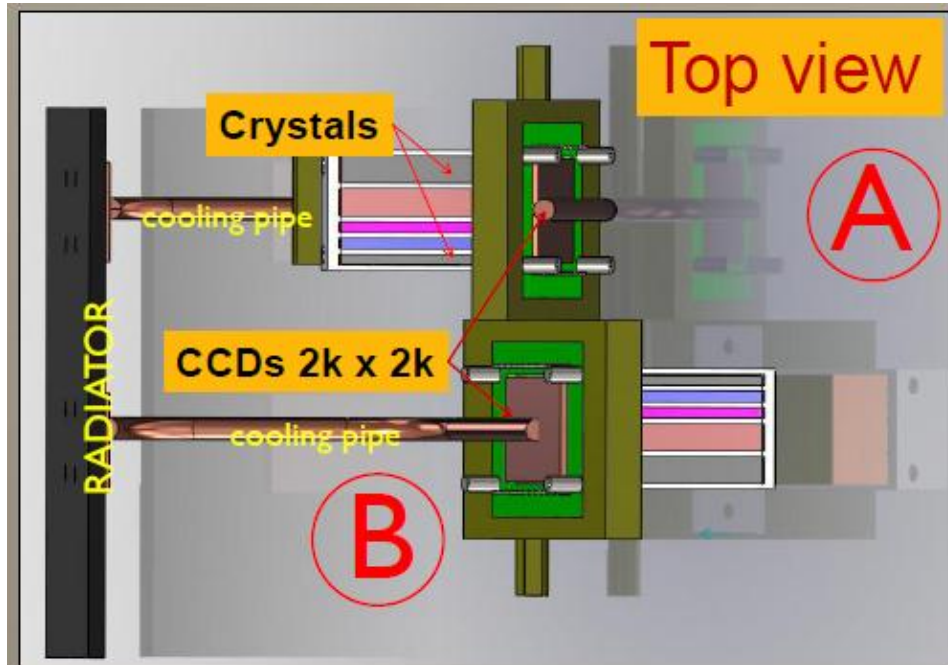
30 x 30 x 140 cm
(with baffles)

Power

10 W

Telemetry

60 MB/day



CCD: e2v 2048 x 2048 analogiczna do obrazowania w TESIS MgXII

Aktywne kondensacyjne przewody chłodzące

5 przedziałów widmowych na każdym CCD, 3 z nich w konfiguracji
 Dopplerometru → pomiar składowej radialnej ruchu plazmy rozbłyskowej
 → weryfikacja hipotezy napełniania pętli rozbłyskowych poprzez
 mechanizm odparowania

Description of instrument

10 beryllium foils separated by low thermal conductivity carbon foil

Beryllium MLI

Thermal coating on baffle interior is oxidized titanium

10 beryllium foils separated by low thermal conductivity carbon foil

Beryllium MLI

Collimators with grids

STEP Detectors four sections
Research of high energy electrons and protons energy spectra

Calibrated aperture pinhole $\varnothing 0.6$

Electronics Box

Connectors

Beryllium filter $12\mu\text{m}$

Bolt Ground

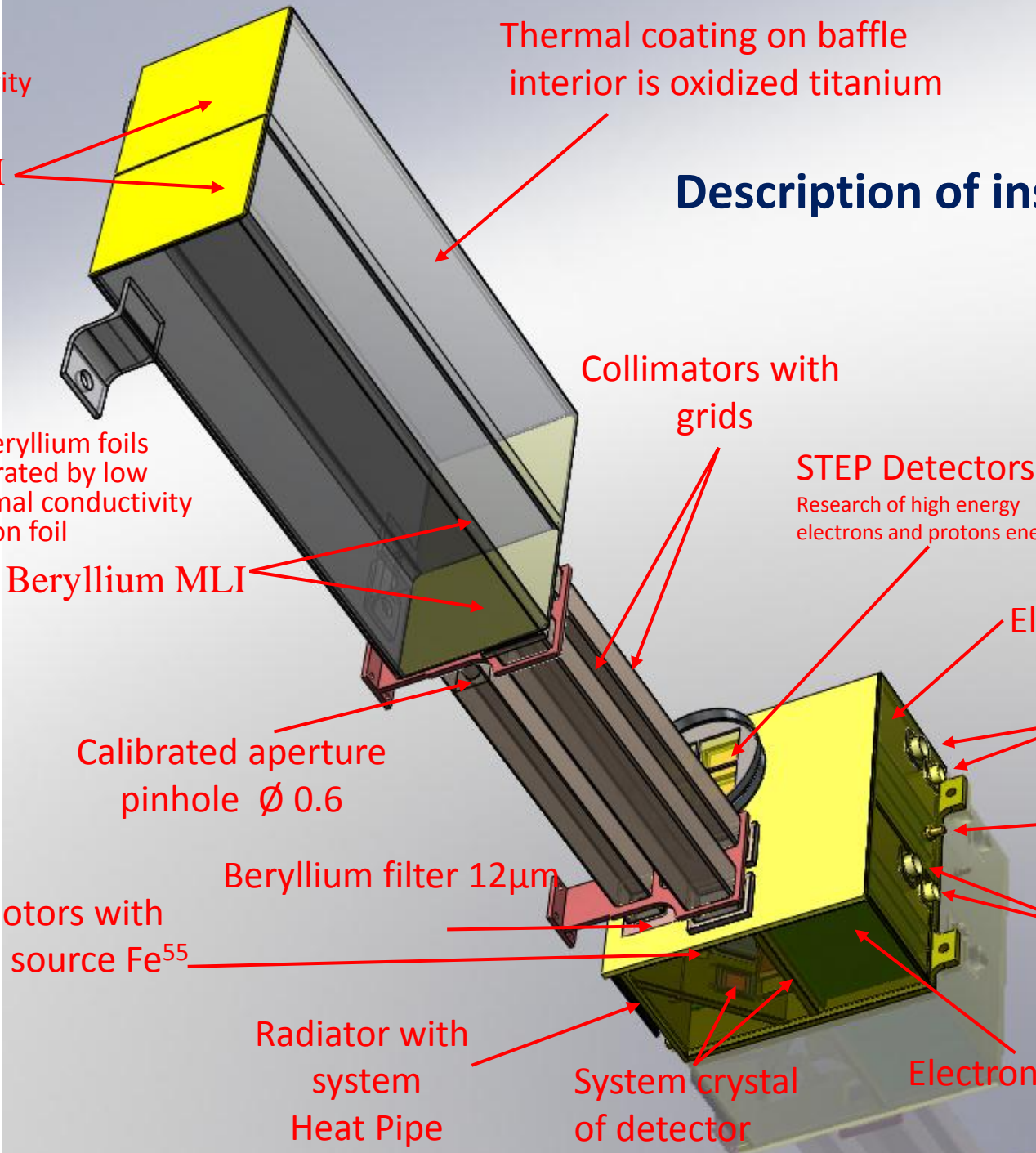
Steper motors with calibration source Fe^{55}

Connectors

Radiator with system Heat Pipe

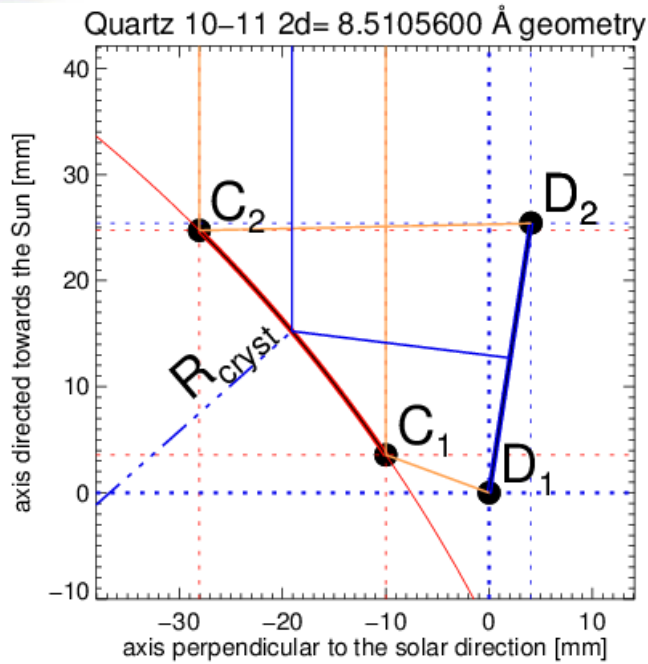
System crystal of detector

Electronics Box



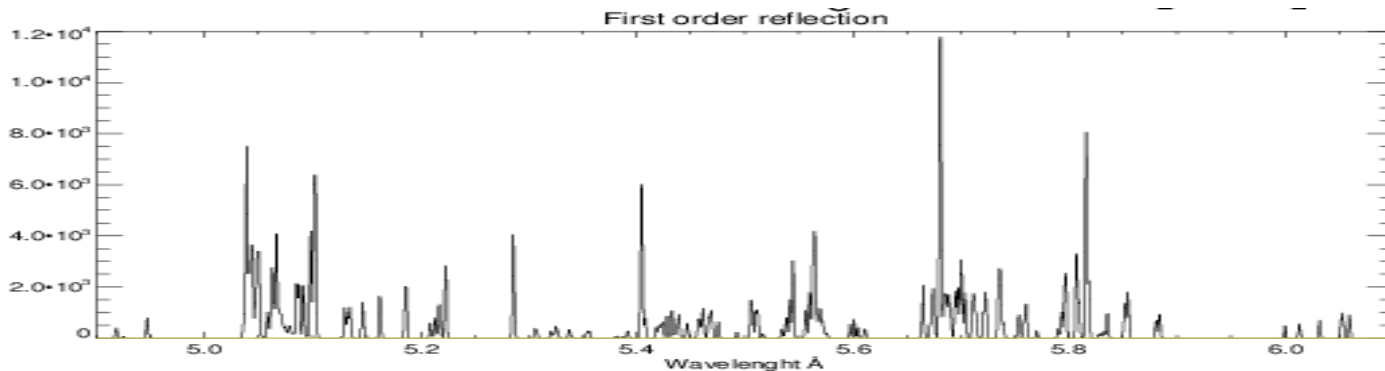


Przykład jednego z kanałów 5 - 6 Å



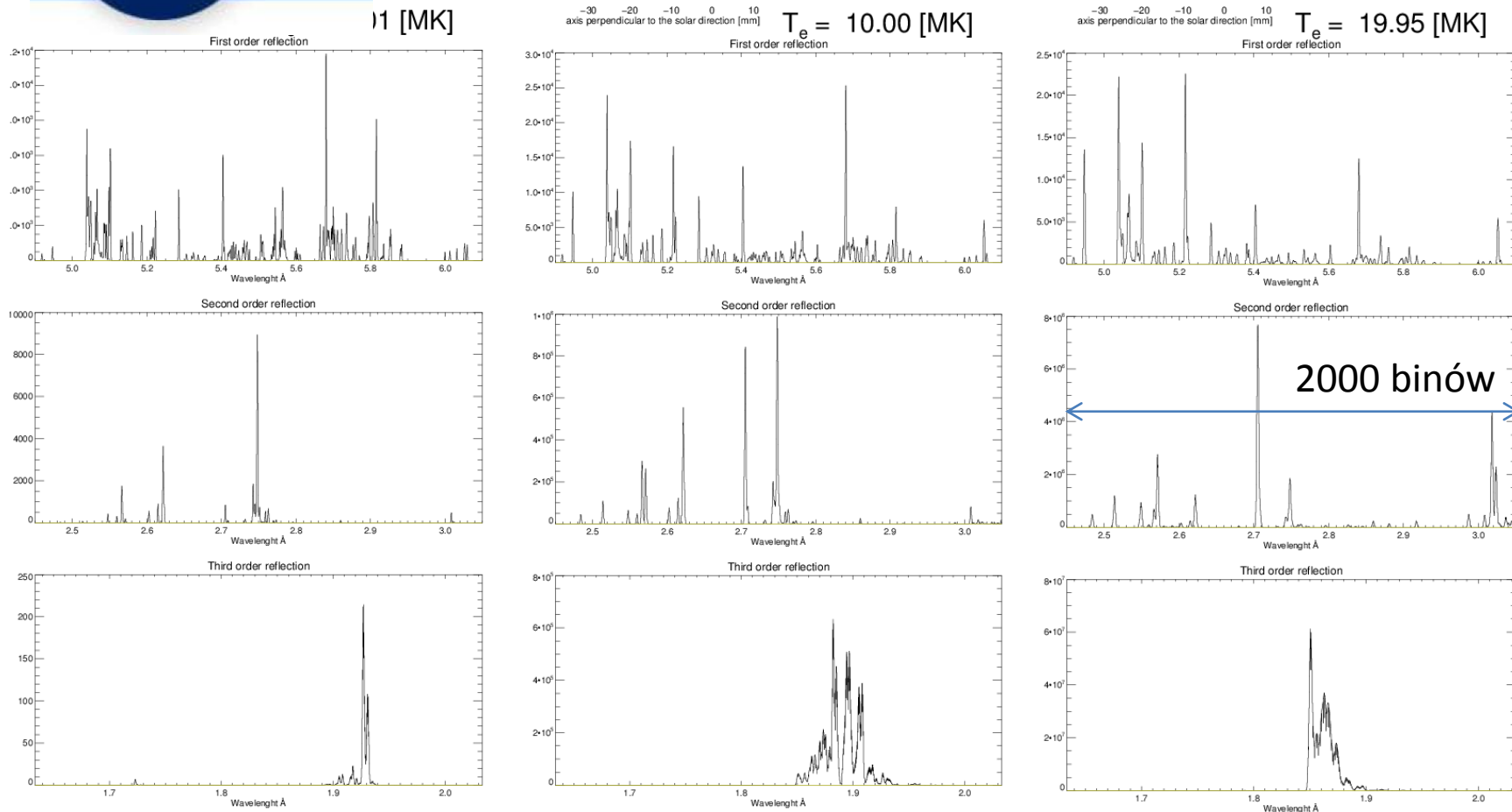
[4.900, 6.102] Å

theta _{1(min)}	:	35.153 [deg]
theta _{2(max)}	:	45.787 [deg]
det. angle	:	99.060 [deg]
R _{cryst}	:	150.000 [mm]
C _{length}	:	27.842 [mm]
C _{1[x,y]}	:	[-10.000, 3.580] [mm]
C _{2[x,y]}	:	[-28.045, 24.730] [mm]
D _{1[x,y]}	:	[0.000, 3.580] [mm]
D _{2[x,y]}	:	[4.055, 24.730] [mm]
D _{length}	:	25.753 [mm]
D _{angle}	:	99.060 [deg]
D _{pixel No.}	:	2048
D _{pixel size}	:	12.575 [microns]
D _{av_resolution}	:	0.00059 [Å/pixel]
D _{av_dlambda/dthet}	:	0.11246 [Å/degree]





Higher orders of reflection possible



5 MK

10 MK

20 MK

Szerokość linii widmowych: fizyczna, określona przez warunki fizyczne w plazmie T_e , T_i , v



ChemiX - podsumowanie

- 10 krotnie większa ilość linii emisyjnych (w porównaniu do RESIK) → setki nowych identyfikacji → postęp w fizyce atomowej → nowe możliwości diagnostyki plazmy
- Obserwacje ok. 100 linii tzw. satelitów dielektronowych → możliwość bezpośredniego testowania funkcji rozkładu: Maxwellowska- Niemaxwellowska ?
- Możliwość określania *absolutnego* składu chemicznego plazmy korony z dokładnością ($\sim 2\%$), 3 x lepsza niż najlepsze obecne wyznaczenia dla fotosfery
- Możliwość badania rozkładów plazmy z temperatura → testowanie np., mechanizmu grzania korony poprzez tzw. nano-rozbityski



ChemiX - science outcome again

- Line and continuum intensities → Absolute elemental abundances to within 0.01-0.02 in log scale, i.e. many times better than from optical range, meteorites etc, event to event variability. The best ever-estimates superior to photospheric determinations
- Non-thermal component of line excitation
 - Behaviour of tail electrons below 10 keV
 - Diagnostics of interaction regions plasma velocities & Doppler shifts & ion temps & el Temps & PDF's possibly
 - Detection of bumps on PDF for particles
- Turbulent properties (wave signatures?) of flaring plasmas
- Absolute line positions & detailed studies of Doppler line shifts during flares (obs vs, evaporation theory) comparison with results of hydrodynamic modelling (we have running codes of NRL & Palermo-Harvard)

We hope to get funded our NCN grant application

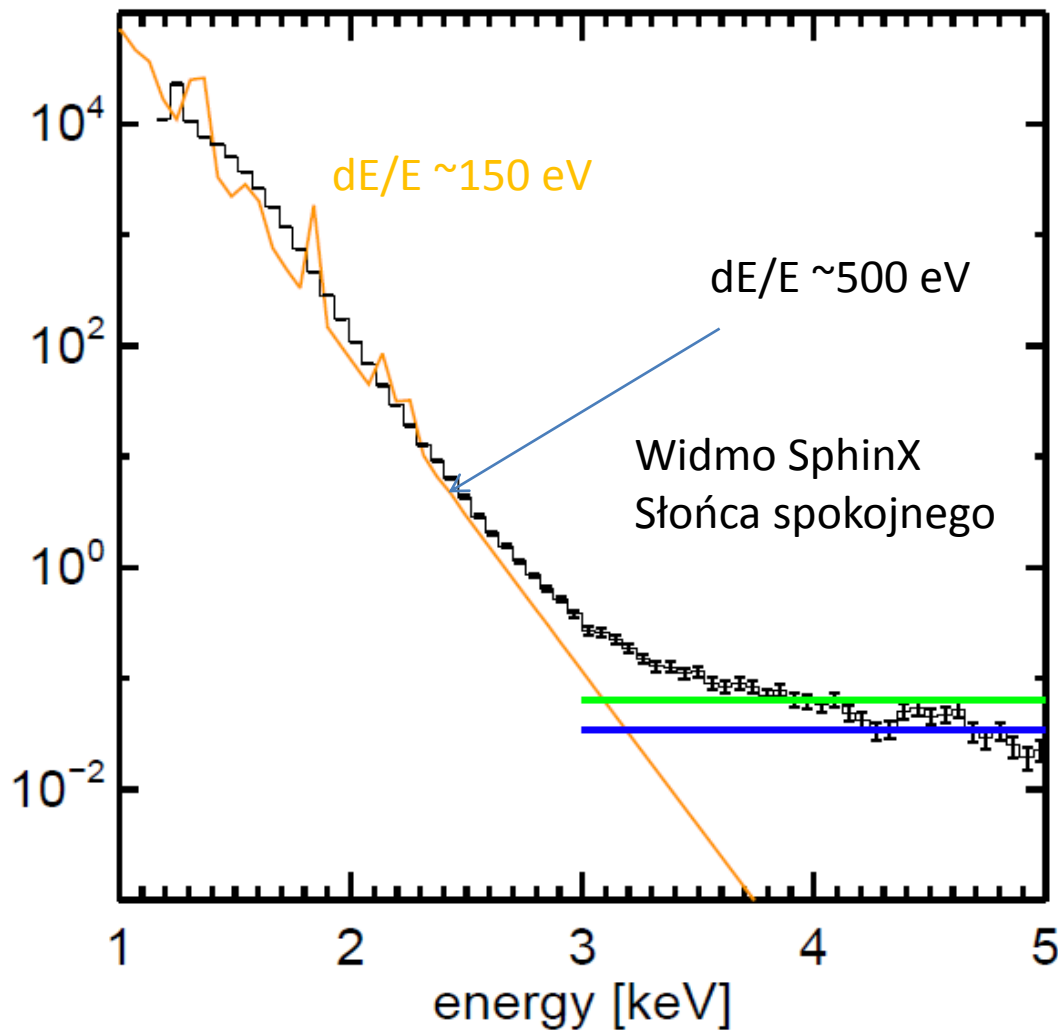
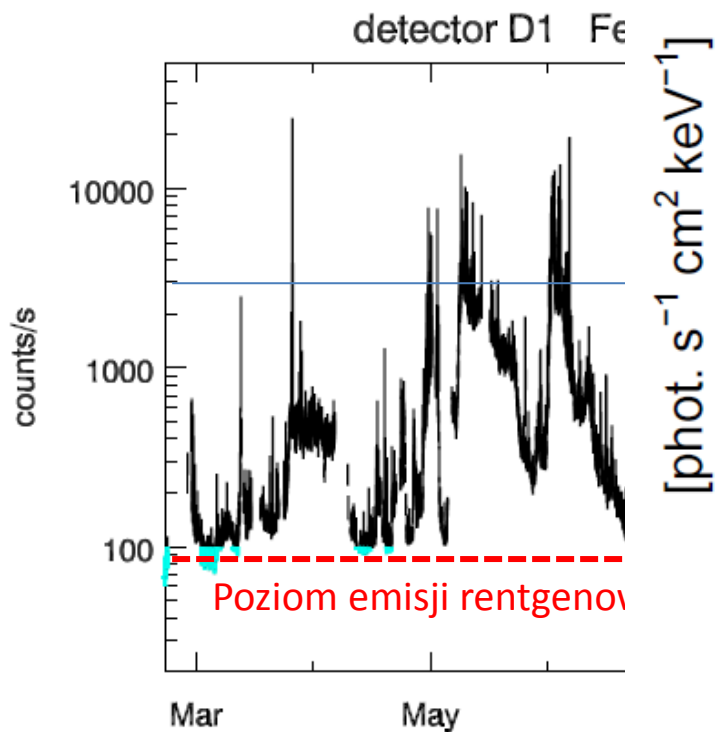


Czy można ulepszyć przyrząd SphinX?

Zakład Fizyki Słońca CBK PAN Wrocław:

Janusz Sylwester

Niewątpliwie TA



The X-ray emission as recorded by

TAK!, albowiem lepiej wydzielają się linie widmowe.

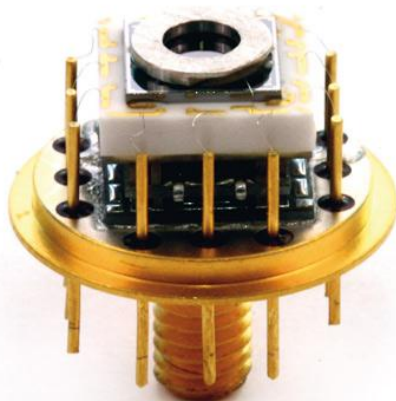


Czy można ulepszyć przyrząd SphinX?

Zakład Fizyki Słońca CBK PAN Wrocław:

Janusz Sylwester

C



10 mm ² collimated to 7 mm ²		
X-Ray Silicon Drift Detectors for		
EDX - XRF - TXRF - Applications		
KEY PARAMETERS VITUS H7		
Class	Premium	Standard
Energy Resolution	< 129 eV	< 139 eV
Peak to Background	> 10000	
Peak to Tail	> 2000	
Absorption Depth	450 μm Si	
Peak Shift Stability		
up to 100 kcps	< 1eV	
Max. input countrate	500.000 cps	
Windows E > 1 keV	8 μm Be	
E > 250 eV	AP3.3	
Cooling Performance	ΔT > 75 K	ΔT > 55 K
Collimator Materials	Zr - Pd - Mo	

s)

0⁵

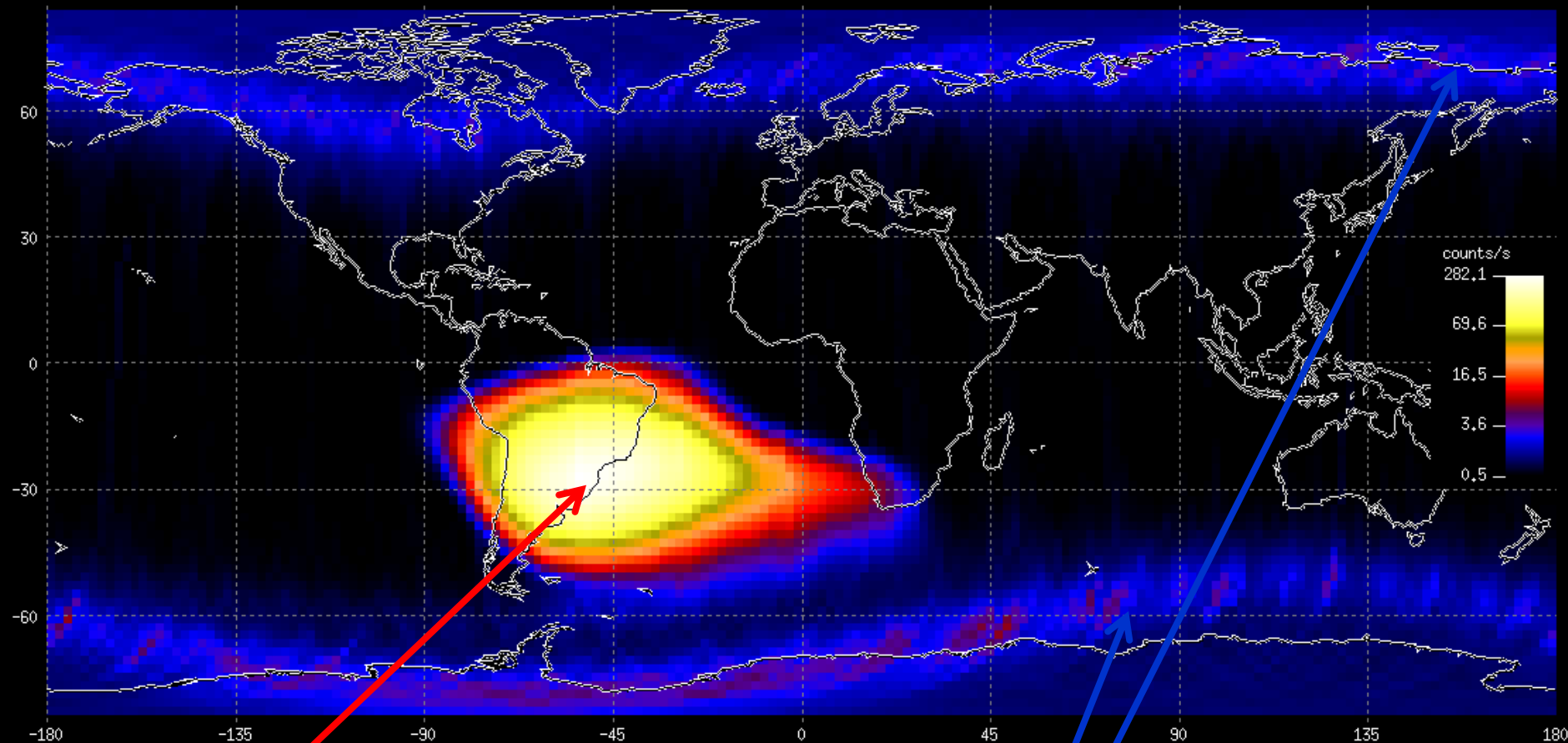
ekad

ez



SphinX „czuł” cząstki pasów radiacji

Particle signal from SphinX D2 - Mission average



SAA (Brazylijska anomalia magnetyczna)

Owale biegunowe



Eksperymenty na zamówienie

- **Kontrakt z Instytutem Fizyki P.N. Lebedeva w Moskwie**
- **Dwa przyrzady** o nazwie kodowej **RESPEKT** (Rentgenowski spektrometr)
 - Detektor CCD do rejestracji promieniowania (fotometrii promieniowania X) 25 x 25 mm
 - Nowatorska metoda pomiarowa (embargo!)
 - ZFS wykonuje część mechaniczną, oprogramowanie i kalibracje (właśnie dzisiaj ruszyły prace wykonawcze nad prototypem)
 - Ogromne wymagania jeśli chodzi o dokładność ustalania położenia części ruchomych (**1 mikron**)
- **Lokalizacja:**
 - Rosyjski satelita monitoringu środowiska kosmicznego Ziemi (Typu amerykańskich satelitów GOES) 2014-2015 (stalla widoczność Słońca)
 - **Międzynarodowa Stacja Kosmiczna** ~2014 (niestety 10 min./ orbite)



SphinX-NG (nowa generacja)

- **Obiekt:**

Nanosatelita- wersja 3U

3U → 3 x 10x10x10 cm, waga ~3kg, moc kilka W

- **Orbita:**

biegunowa, synchroniczna ze Słońcem

jedna oś skierowana stale na Słońce

± 1-2°, druga oś na Nadir

perigeum ponad 300 km

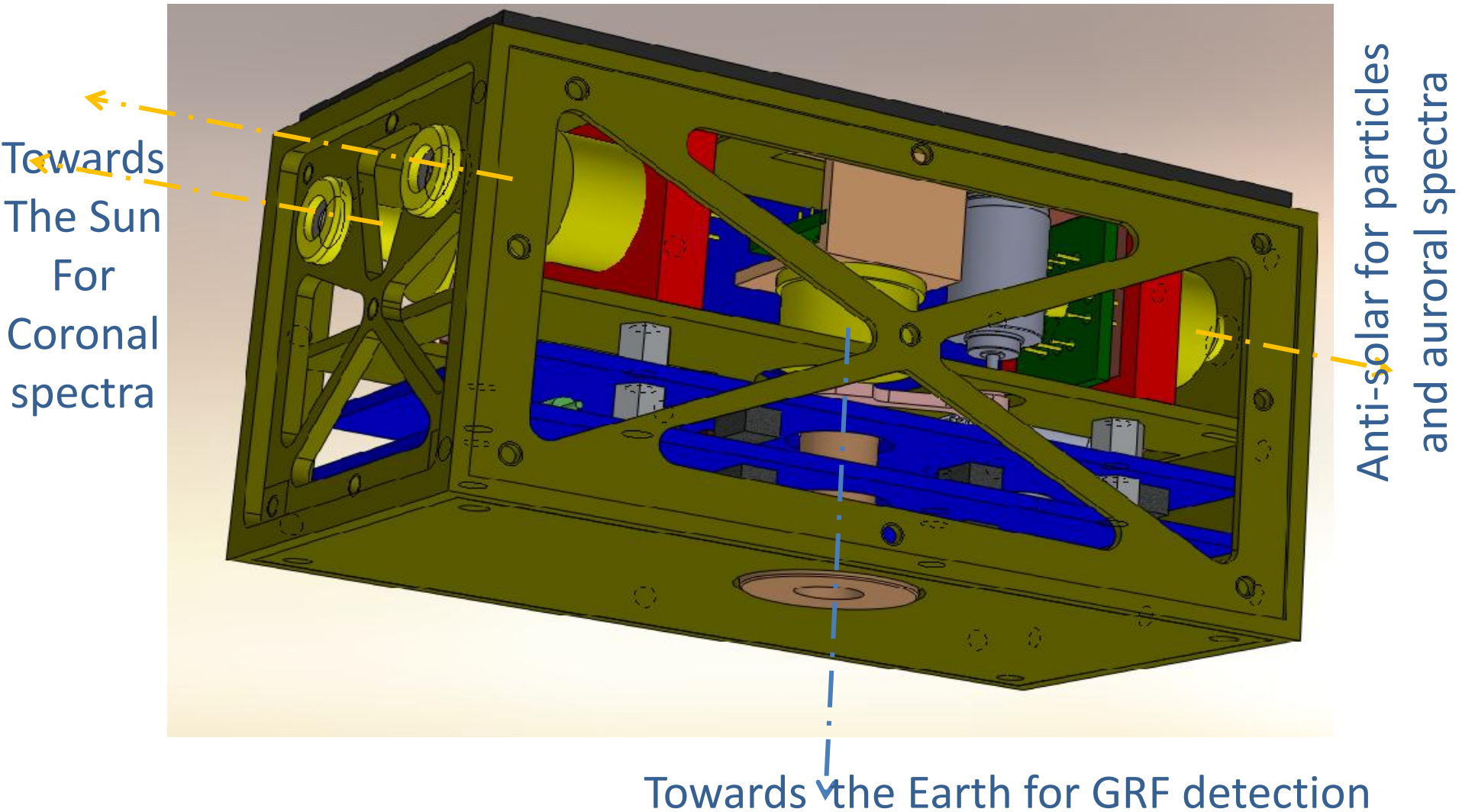


SphinX-NG status

- Jesteśmy „po słowie” z
 - NASA GSFC – NS będzie „doczepiony” do jednego z cięższych satelitów wprowadzanych na orbite biegunową
 - Worcester Polytechnical Institute (WPI) wykonuje satelite (systemy orientacji, zasilania, telemetrii aktywny napęd elektryczny)
 - ZFS CBK wykonuje przyrząd 10 x 10 x 10 cm, 1 kg, pobór mocy 3-4 W, telemetria 20 kB/s



SphinX-NG – konfiguracja 4 detektory, Peltier cooled





Wielkości mierzone

- Event amplitudes 12 bits → conversion to energy (solar & auroral X-rays, particles, & their secondary effects)
- Arrival time $1 \mu\text{s}$ → allow to build spectra at any longer time resolution as far as statistics allows
- Housekeeping info
 - Temperatures, voltages, currents
 - FPGA technology for electronics
- Compressed data are send to telemetry buffer

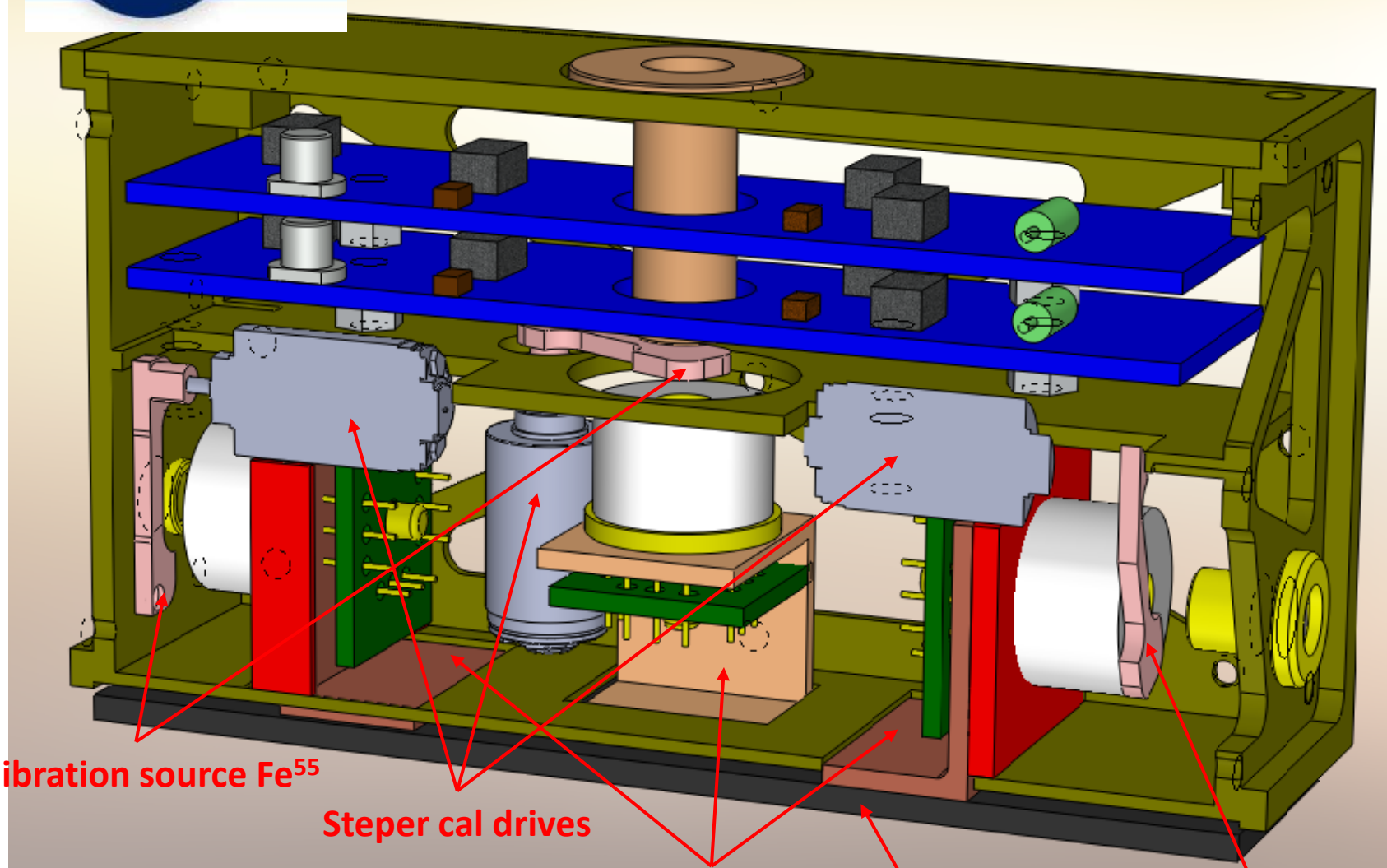


Spodziewane tempa zliczeń (from SphinX heritage)

- Non-active corona (AR absent, often in 2009)
 - 1000 cts/s in large aperture detector, particle background < 0.001 cts/s/bin outside polar ovals and SAA, znakomity stosunek sygnału/szumu dla energii $E < 5$ keV:
wiarygodne testowanie hipotezy nanorozbłysków
- X-flare: **10^4 cts/s**, through a tiny aperture (1 mm^2)
- Polar ovals: between **100 and 10^4 cts/s/detector** for low and high geomagnetic activity
- SAA: ~ 1000 cts/s
- TGF: ? określenie nieznanego widma w zakresie $E < 100$ keV



Functional configuration half-cut through the instrument



Calibration source Fe^{55}

Steper cal drives

Cold fingers

Radiator

Calibration source Fe^{55}



SphinX-NG

- **Poszukujemy źródła finansowania**
- Będą używane elementy dostępne „z półki” (standard przemysłowy/wojskowy), względnie tanie
- Zastosowanie radiatora umożliwi ochładzanie pasywne detektorów do T ok. $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ (oszczędność energii)
- Koszt opracowania i wykonania 1.5 mln zł.
- Może być wykonany całkowicie w Polsce, detektory z Niemiec lub USA (~10tys E/szt.)
- Będzie kalibrowany absolutnie na synchrotronie (np. BESSY II w Berlinie) → duży koszt 1 dzień ~10 tys Euro
- Idealny instrument do monitorowania zmienności rentgenowskiej Słońca, precyzyjnej fotometrii rentgenowskiej, badanie mechanizmów grzania korony



Podsumowanie: planowana aktywność eksperymentalna w ZFS CBK

Zakład Fizyki Słońca CBK PAN Wrocław:

Janusz Sylwester

RESIK 2001-2003
Koronas-F

ChemiX 2011
Koncepcja

Grant NCN

ChemiX 2012-13
Faza B

ChemiX 2014-16
Fazy C-E

ChemiX 2018
Start

ChemiX 2019-25
Aktywne pomiary

SphinX 2009 Koronas-Photon

Respect 1

Respect

MKS

Solar Orbiter
STIX

Grant
NCN

SphinX-NG

2012 Interface definition
NASA WPI

SphinX-NG

Od 2014 oczekiwanie
na start
Na obiekcie USA

**Zespół ZFS –
Tylko 12 osób!**

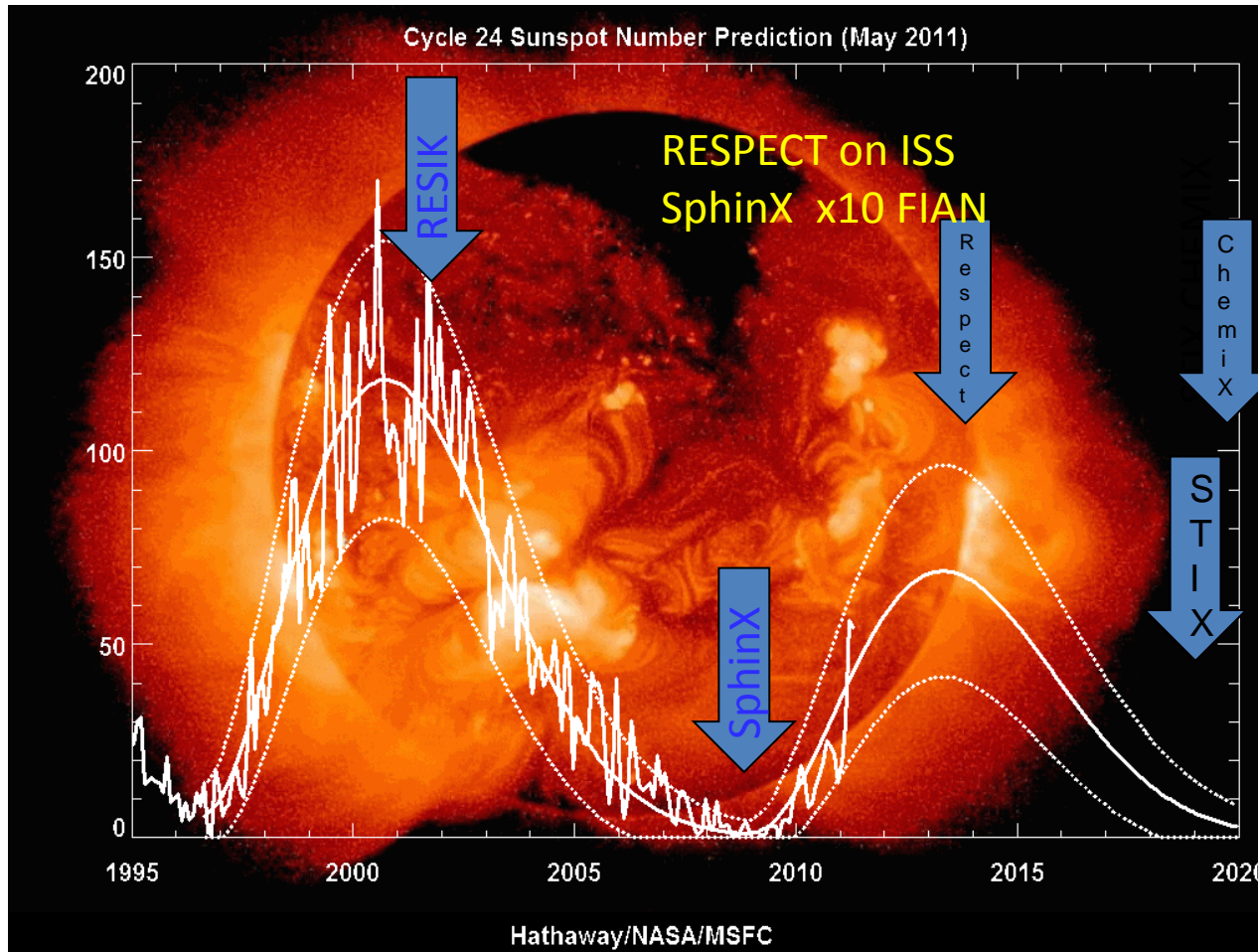
?



Jak to się splata z aktywnością?

Zakład Fizyki Słońca CBK PAN Wrocław:

Janusz Sylwester



http://solarscience.msfc.nasa.gov/images/ssn_predict_l.gif

- RESPECT (CCD based SphinX)
- STIX (10%) of the work at ZFS
- Science coordinated by Tomek Mrozek
- ChemiX on Interhelioprobe (Roskosmos)



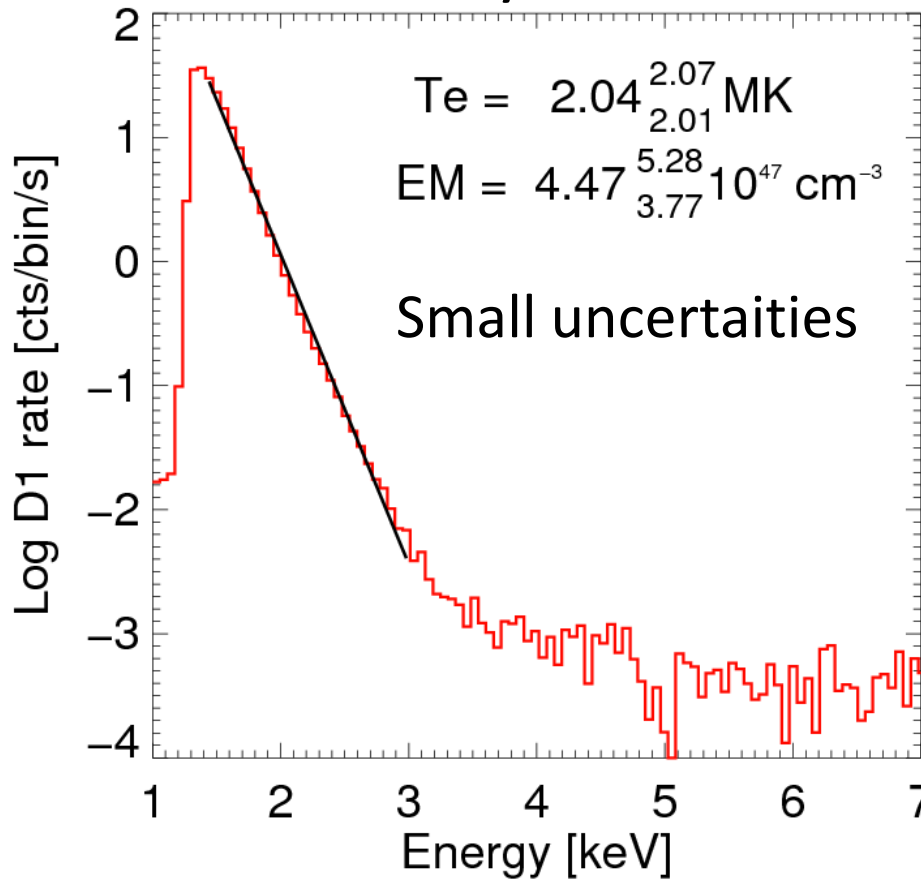
Dziękuję za uwagę

Janusz Sylwester

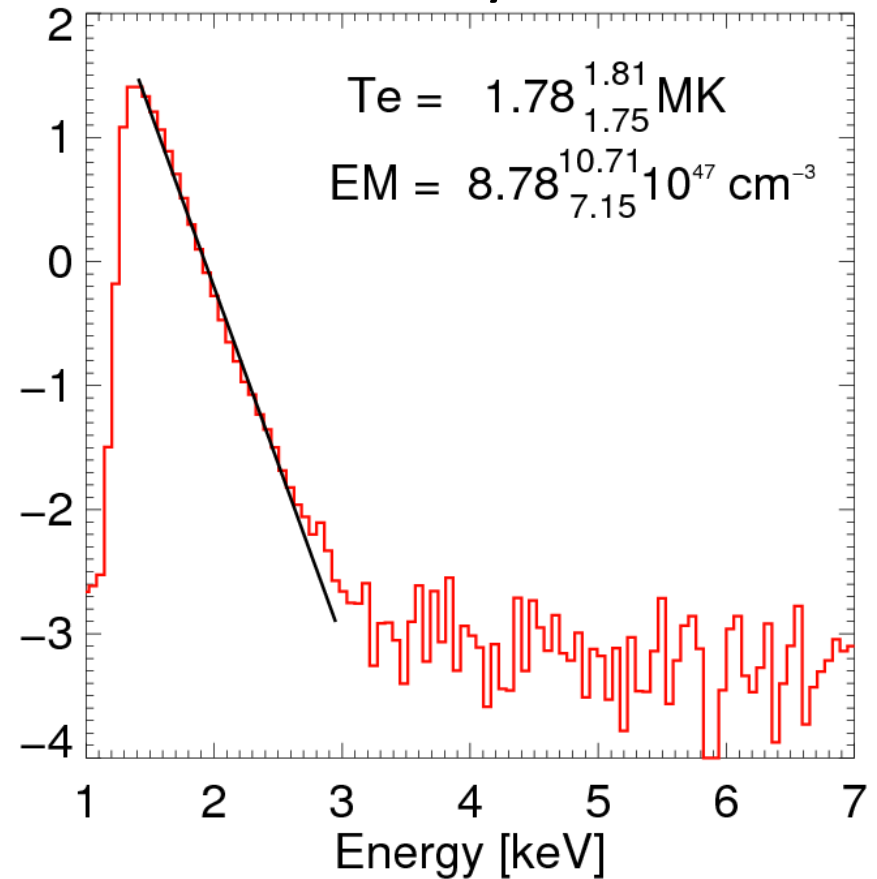


SphinX non-active coronal spectra (as seen for the first time)

03 July 2009



13 July 2009



NG will be ~ 4 x more sensitive



Weights & sizes

