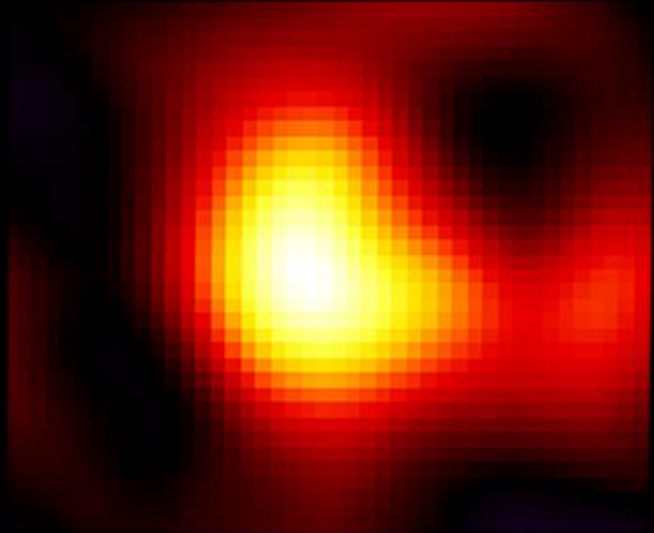
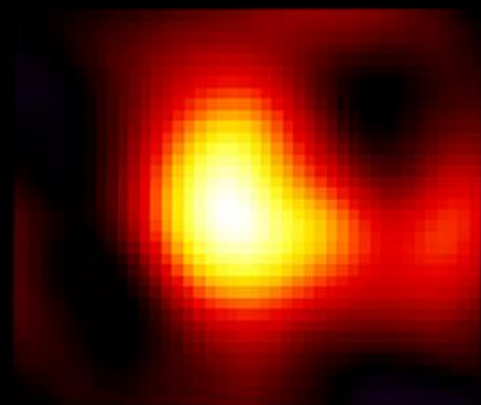
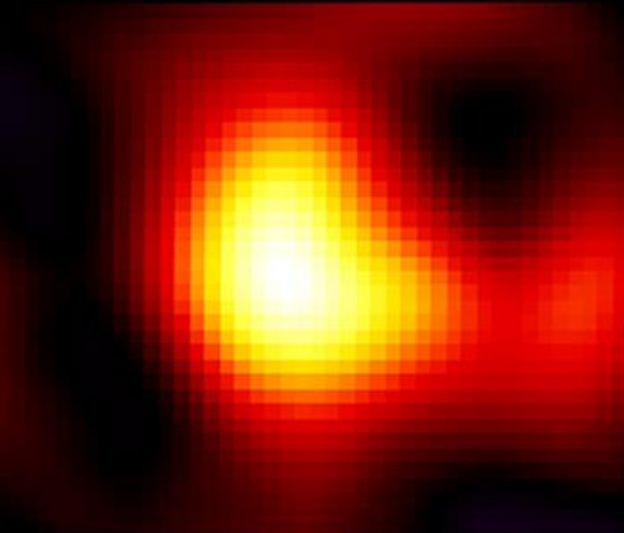
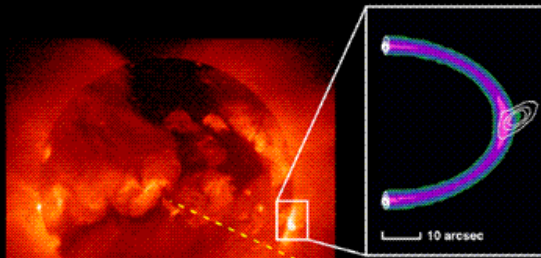


**Zmiany rozmiarów źródeł
szczytowych obserwowane
przez RHESSI**

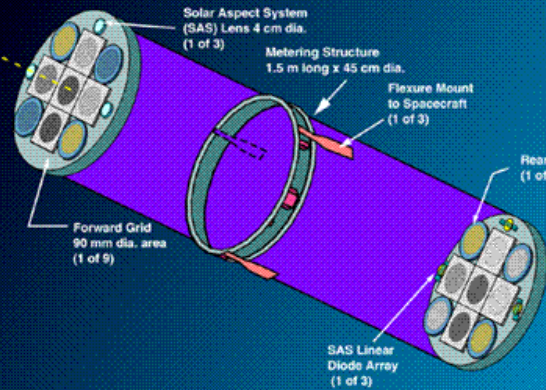


HESSI Imaging Technique



Spin Axis
(to Sun Center
within 0.2 degree)

Spin Rate
12-20 RPM



Roll Angle
System (RAS)

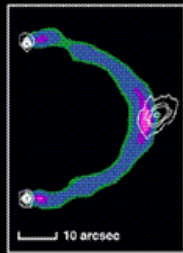
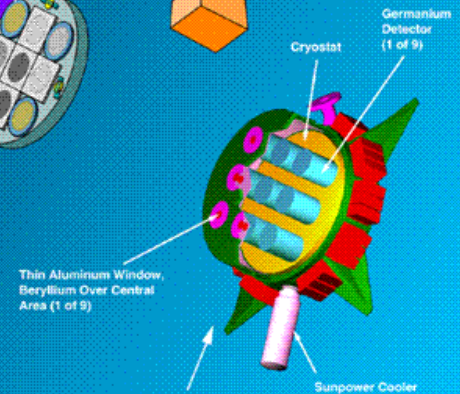
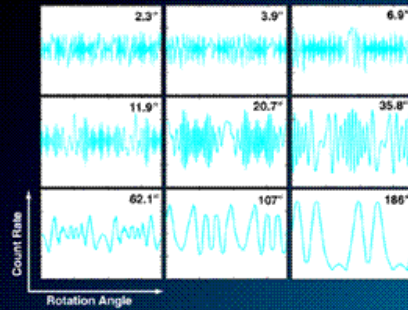


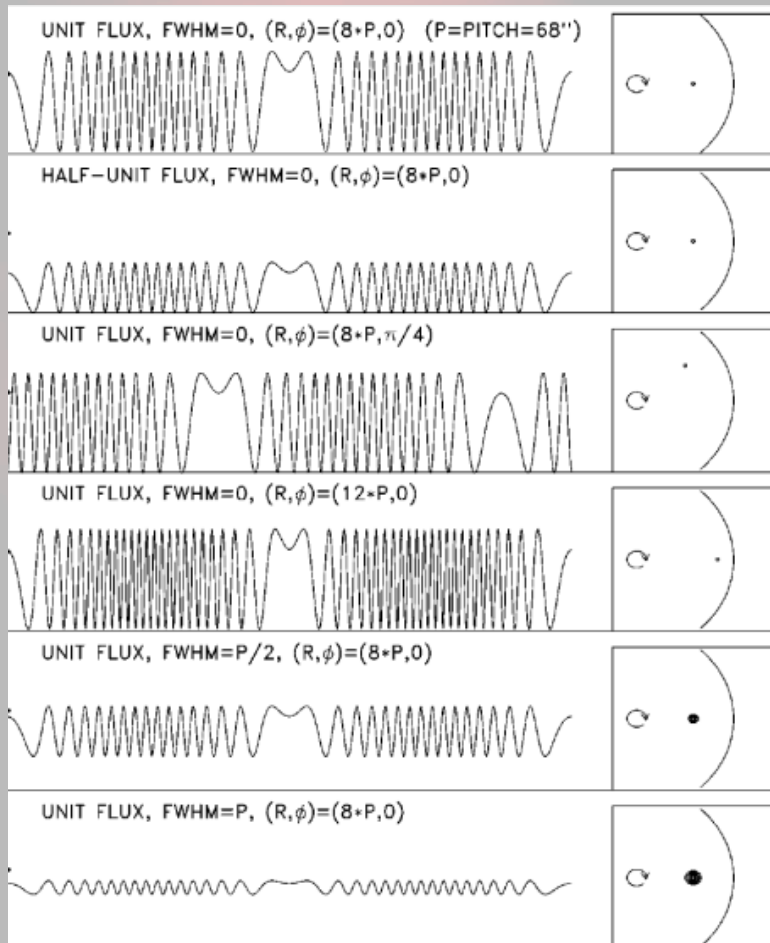
Image
Reconstruction

Count Rates in Each Detector for One Rotation



Time-Tagged
Detector Counts

RHESSI – zasada działania

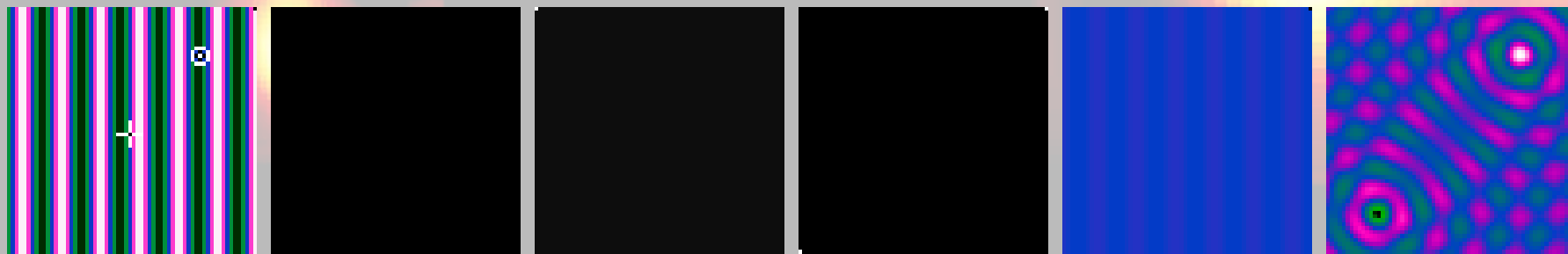


Zasada działania RHESSI jest identyczna jak w przypadku radiowej interferometrii wielkobazowej

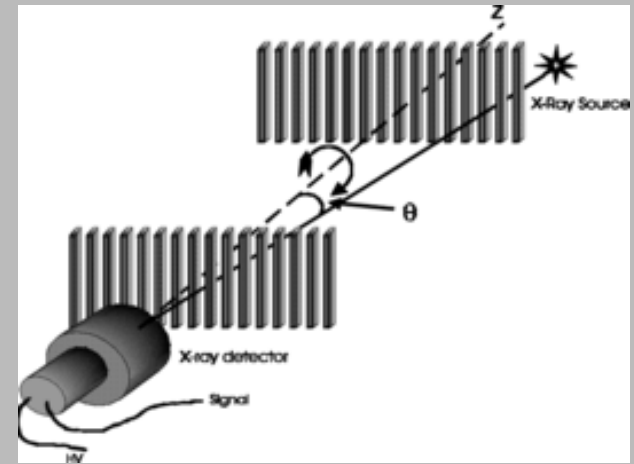
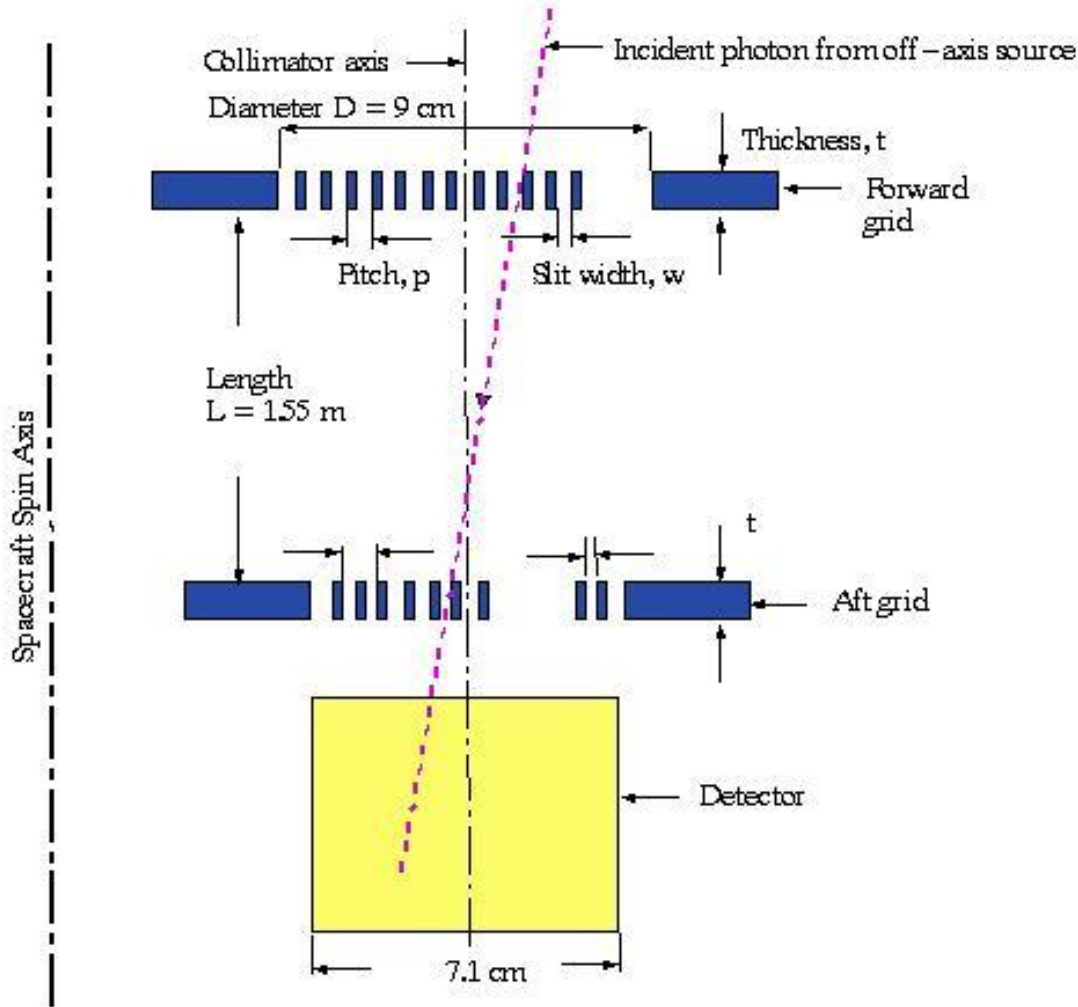
Większość metod obrazowania odtwarza kształt modulacji przy założeniu pewnego rozkładu źródeł na tarczy Słońca – MEM, ForwardFit, PIXON

Metody bliższe interferometrii wielkobazowej to BackProjection i CLEAN

Istnieje także grupa metod opartych na widzialnościach – odpowiedź interferometru na rzeczywisty rozkład źródeł



RHESSI – zasada działania



$$q = \frac{W}{p}$$

parametr zależny od energii kwantu

kąt padania fotonu wyrażany jest w jednostkach $p/2L$:

$$\operatorname{tg} \theta_0 = \frac{1}{2} \frac{p}{L} = \frac{p}{2L} \approx \theta_0$$

RHESSI – zasada działania

Funkcja transmisji (powierzchnia efektywna) fotonu nadbiegającego z kierunku θ (wyrażonego w jednostkach $p/2L$) przez układ dwóch siatek rozsuniętych na odległość L :

$$S(\Phi) = A \left(\frac{c_0}{2} + c_1 \cos(\Phi) + c_2 \cos(2\Phi) + c_3 \cos(3\Phi) + \dots \right)$$

gdzie:

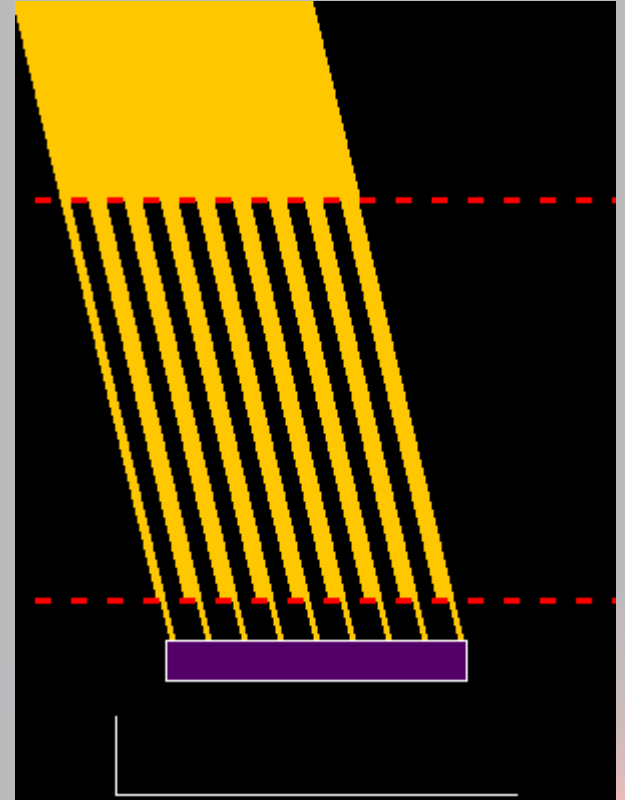
$$\Phi = \frac{2\pi L\theta}{p}$$

$$\frac{Ac_0}{2}$$

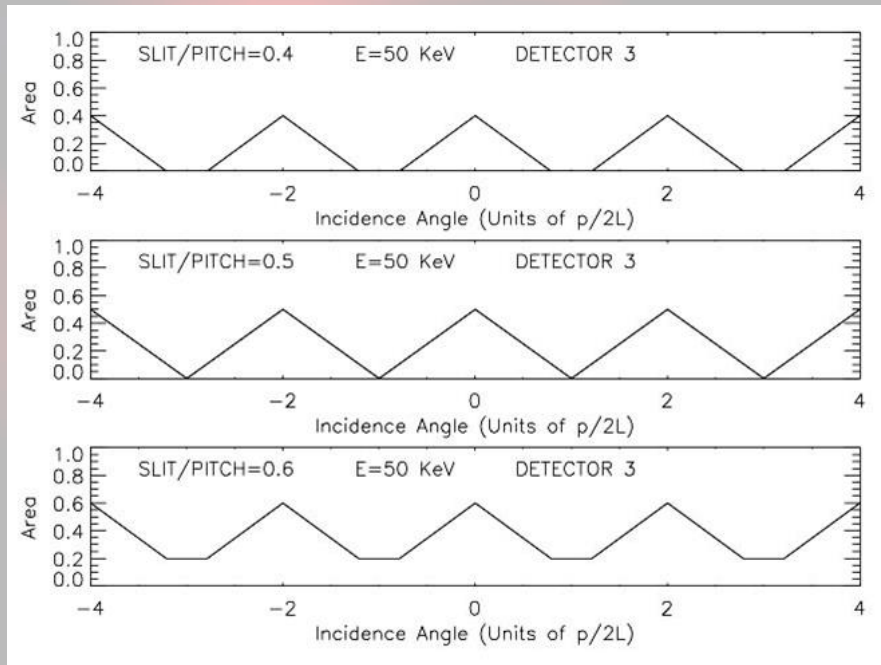
powierzchnia efektywna uśredniona po Φ , w idealnym przypadku jest równa $A/4$ (25% całkowitej powierzchni)

$$c_0, c_1, c_2, c_3, \dots$$

współczynniki szeregu Fouriera, które możemy policzyć wprost z definicji (mamy analityczną postać $P(\theta)$)



RHESSI – zasada działania



$P(\theta)$ – funkcja opisująca prawdopodobieństwo przejścia fotonu przez układ dwóch siatek

$P(\theta)$ ma okres p/L w przedziale $[-p/2L, p/2L]$, ale θ jest dane w jednostkach $p/2L$, więc $P(\theta)$ jest określone na przedziale $[-1,1]$ i ma okres=2

$$q \in \left[0, \frac{1}{2}\right]: P(\theta) = \begin{cases} 0 & -1 \leq \theta \leq -2q \\ \frac{1}{2}\theta + q & -2q \leq \theta \leq 0 \\ -\frac{1}{2}\theta + q & 0 \leq \theta \leq 2q \\ 0 & 2q \leq \theta \leq 1 \end{cases}$$

$$q \in \left[\frac{1}{2}, 1\right]: P(\theta) = \begin{cases} 2q-1 & -1 \leq \theta \leq -2(1-q) \\ \frac{1}{2}\theta + q & -2(1-q) \leq \theta \leq 0 \\ -\frac{1}{2}\theta + q & 0 \leq \theta \leq 2(1-q) \\ 2q-1 & 2(1-q) \leq \theta \leq 1 \end{cases}$$

RHESSI – zasada działania

Mając funkcję transmisji dla pary siatek, możemy napisać wyrażenie opisujące modulację strumienia fotonów (F_0) pochodzących od źródła punktowego

$$C(\Phi) = F_0 T \tau (1 + a_1 \cos(\Phi) + a_2 \cos(2\Phi) + a_3 \cos(3\Phi) + \dots)$$

T – średnia transmisja dla danego detektora ($c_0/2$ dla identycznych siatek o danym q)

τ – czas żywy detektora

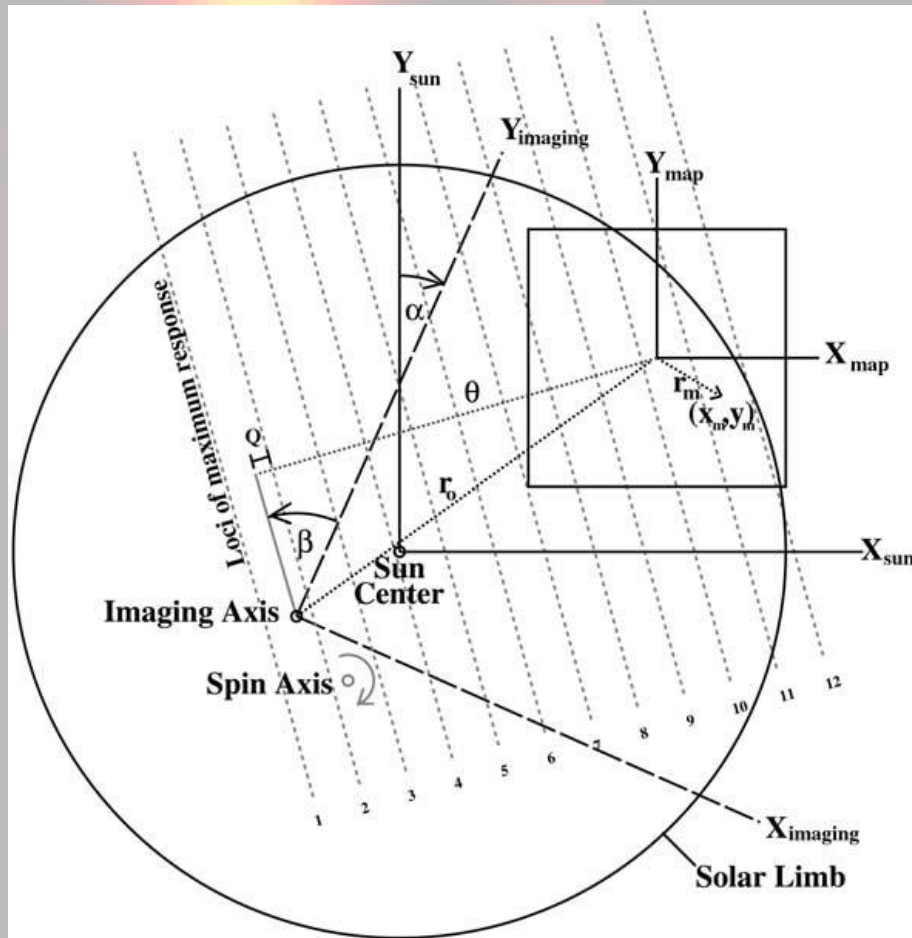
$a_k = \lambda_k c_k / T$, gdzie λ_k – stała zawierająca fizyczne i techniczne właściwości subkolimatora

Używanie powyższego, uogólnionego równania wynika stąd, że:

- wraz ze wzrostem energii fotonu siatki stają się coraz bardziej przezroczyste
- w ogólnym przypadku szczelinki siatki (*slats*) i szczeliny (*slits*) nie są równe
- maksymalna transmisja jest zmniejszona w wyniku wzajemnego przesłaniania przez szczelinki, które mają dużą wysokość
- siatki mają niedokładności wynikające z procesu produkcyjnego
- dla Det1, poniżej 4 keV istotna staje się dyfrakcja

Powyższe problemy nie były tak istotne w HXT, gdzie wystarczyło zmodyfikować funkcje trójkątne i wprowadzić więcej elementów rozwinięcia (Sato i in. 1999)

Geometria obrazowania



Centrum mapy jest zdefiniowane w układzie związanym ze Słońcem.

Współrzędne poszczególnych pikseli mapy są wyrażane względem jej środka.

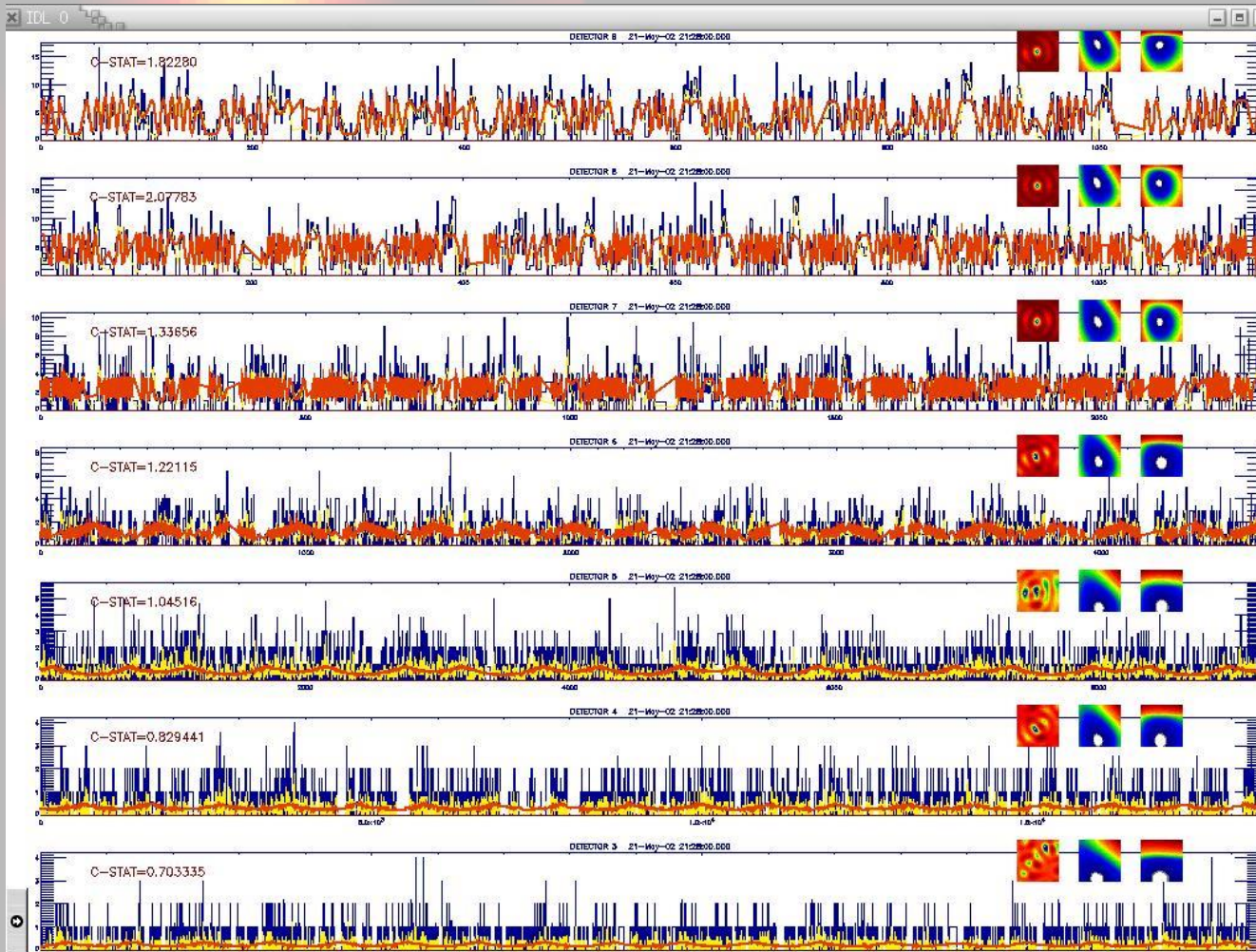
Układ współrzędnych „obrazujących” jest związany z satelitą. Oś Z jest definiowana przez dwa punkty na przednim i tylnym zestawie siatek.

W ogólności oś obrazowania nie jest zgodna z osią rotacji, ale w każdej chwili jest znane jej położenie względem środka tarczy słonecznej.

Dla środka mapy (i każdego piksela) możemy określić fazę względem osi obrazowania (Φ w równaniach transmisji) – wzorzec modulacji

Następnie wystarczy dobrać taki rozkład pikseli o różnych jasnościach aby odtworzyć obserwowaną modulację...

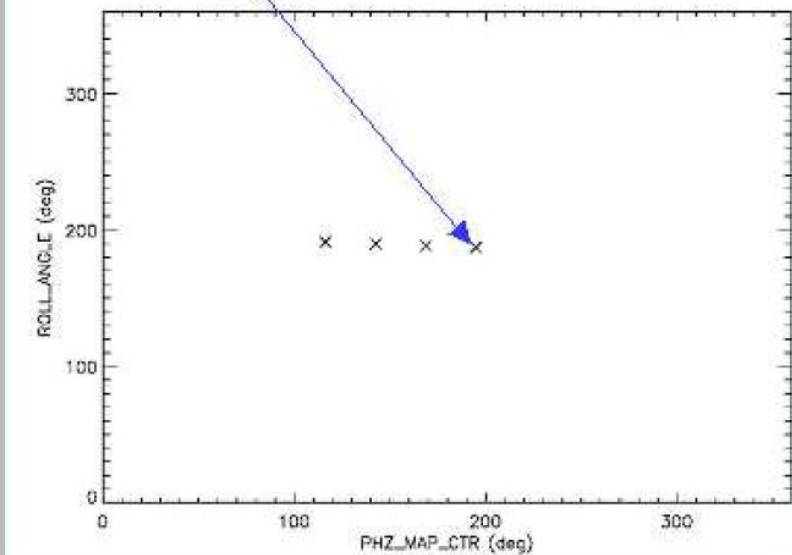
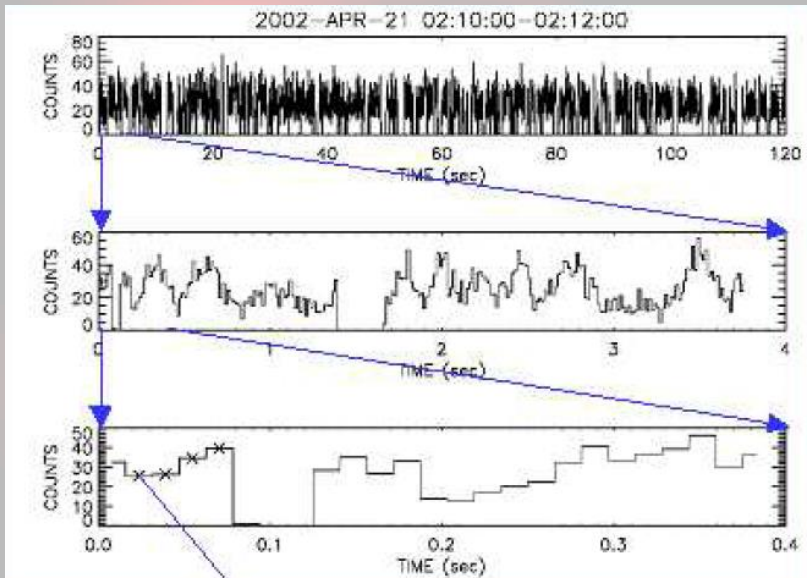
Modulacje w praktyce



W rzeczywistości dopasowanie do do obserwowanych modulacji jest niezwykle trudne.

Sytuację pogarszają dodatkowo przerwy w rejestracji (data gaps) oraz zmienność prawdziwych źródeł (rozmiary, jasność, położenie)

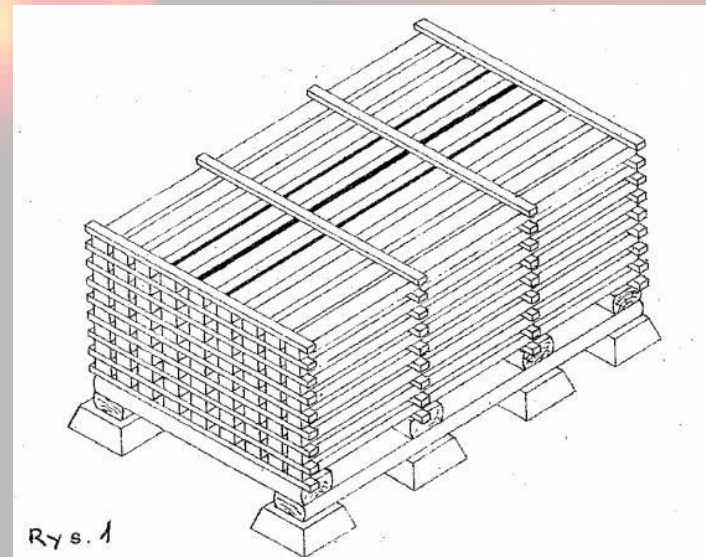
Stacking (sztaplowanie) – zbieganie do HXT



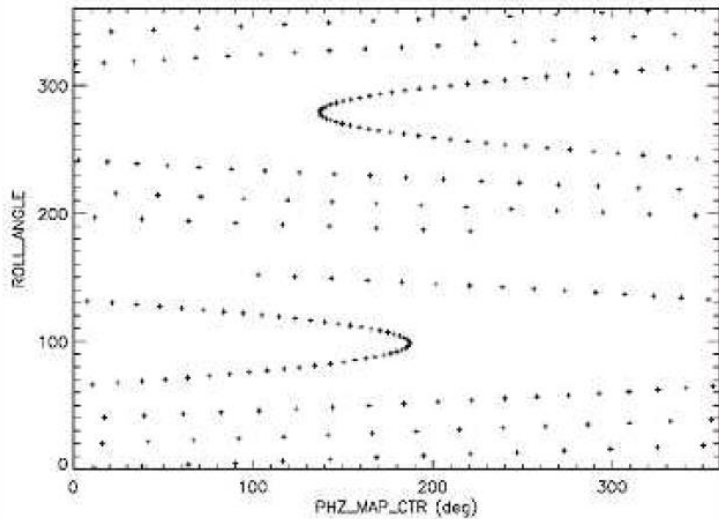
zliczenia są grupowane w komórki (biny) obejmujące bardzo krótki okres czasu (typowo 16 ms)

każda komórka jest związana z określonym kątem rotacji i fazą

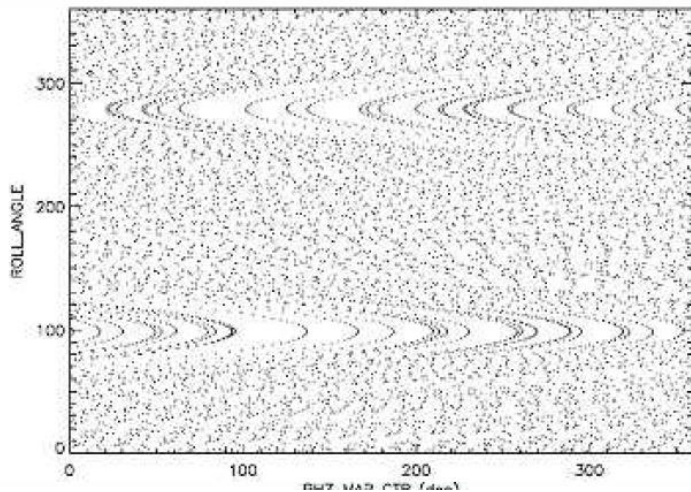
zliczenia z każdej komórki można przedstawić na wykresie faza – kąt rotacji



Stacking – zbieganie do HXT

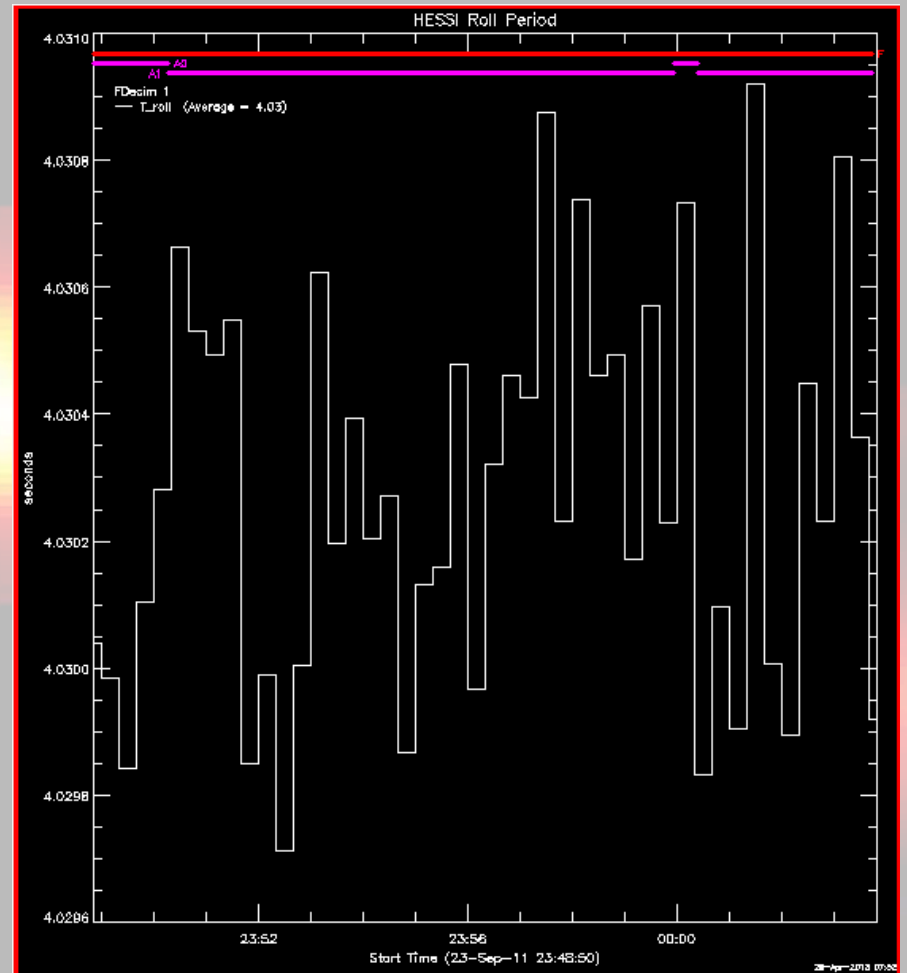


sekwencja kątów obrotu i faz dla jednej pełnej rotacji



kilka rotacji pozwala lepiej zapełnić diagram zależności między kątem obrotu a fazą

Obrót satelity nie jest jednostajny. Dlatego złożenie jednakowych faz nie jest trywialne.



Stacking – zbieganie do HXT

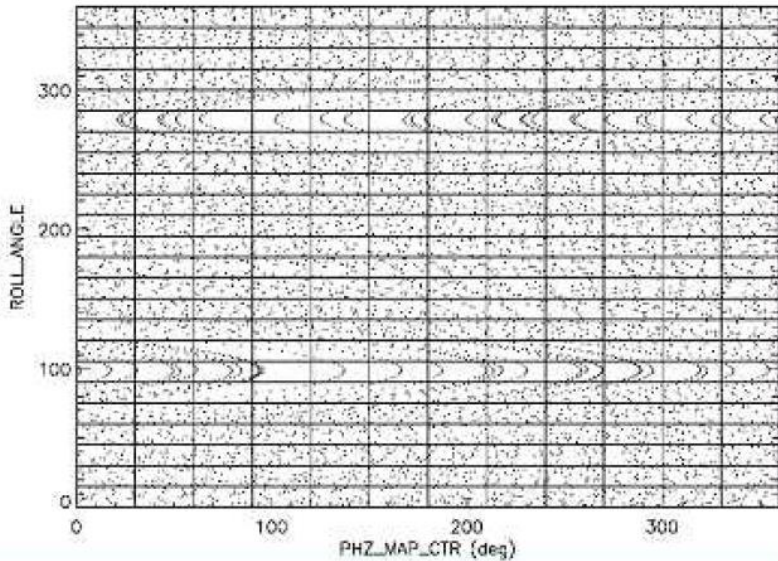
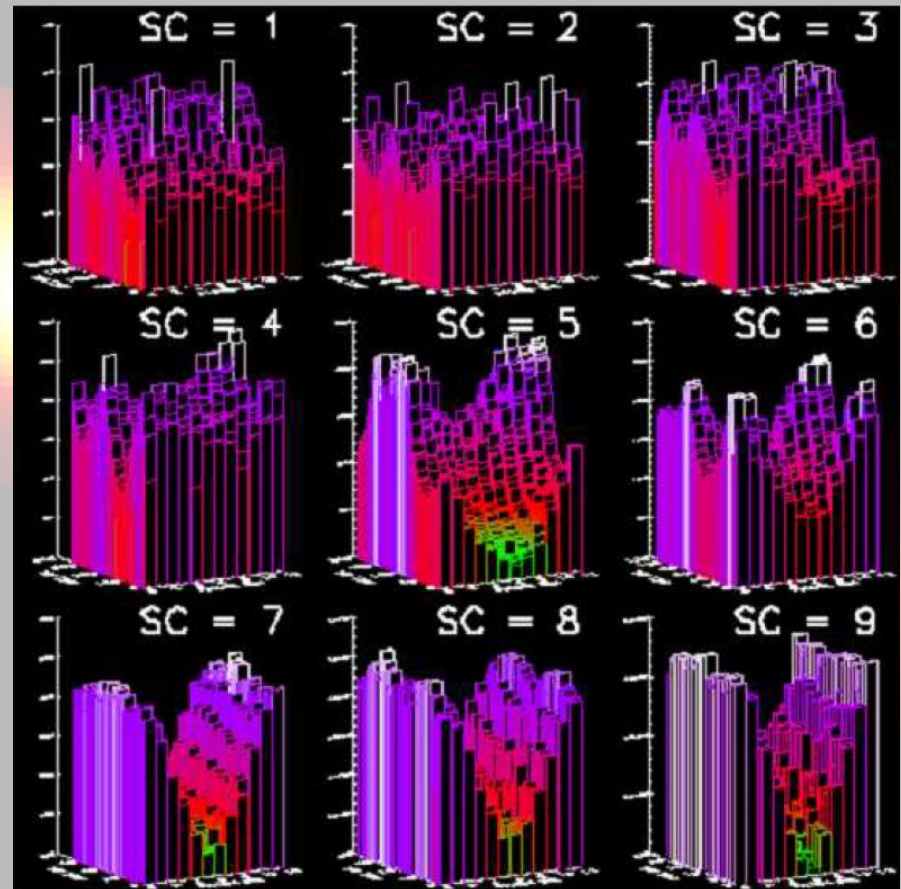


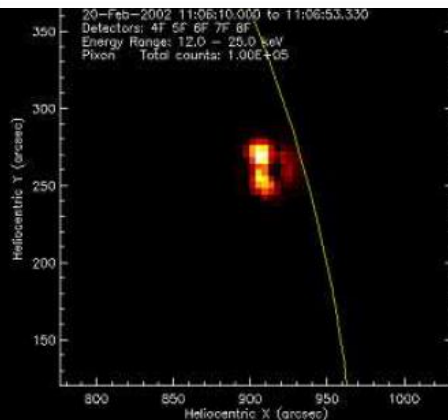
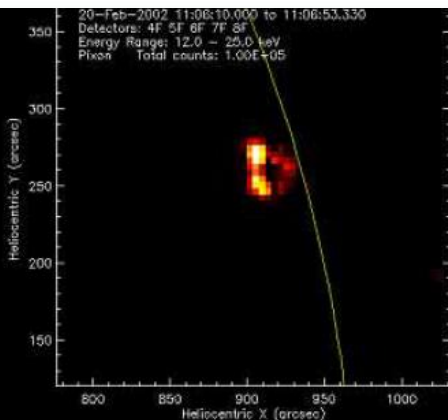
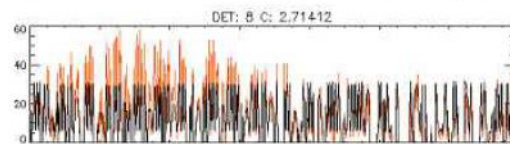
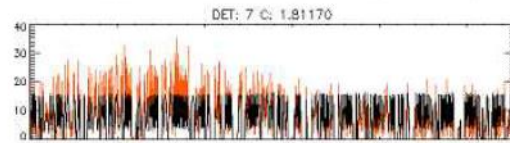
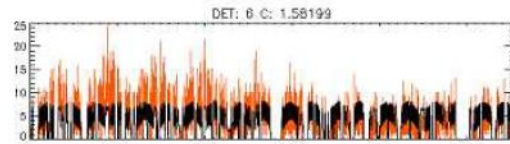
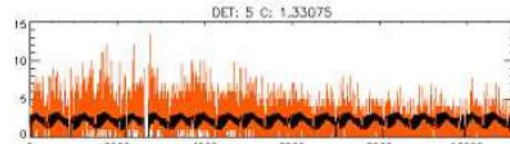
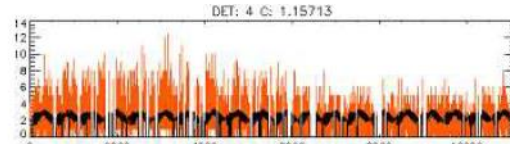
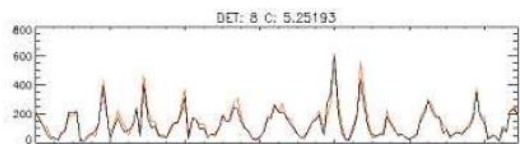
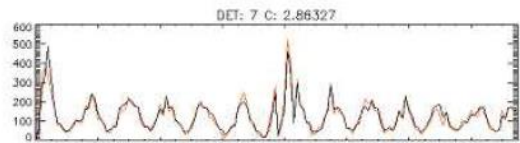
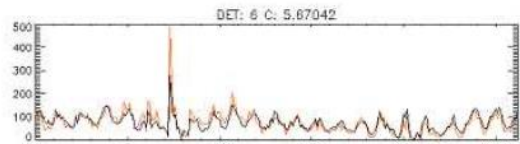
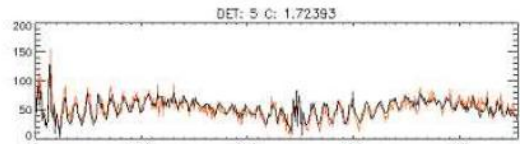
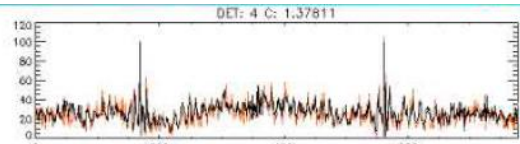
Diagram kąt obrotu – faza zostaje podzielony na komórki (tutaj: 12x32)

czas żywy i zliczenia są dodawane w każdej komórce

otrzymujemy w efekcie zliczenia w funkcji kąta obrotu i fazy dla wszystkich dziewięciu subkolimatorów

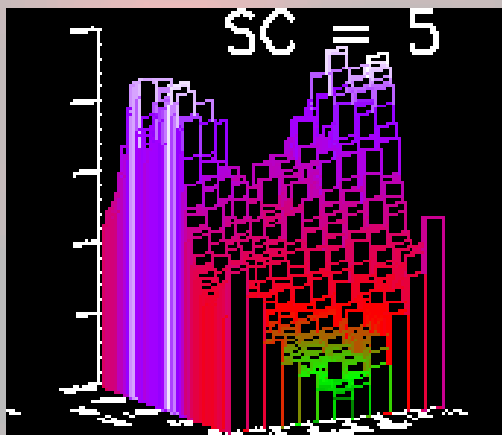


Obrazowanie sztaplowanych danych



- poprawienie jakości obrazów poprzez eliminację dużej liczby ($\gg 10^5$) słabo wypełnionych komórek
- zmniejszenie efektów związanych z obecnością tła i zmiennością rozbłysku
- poprawienie szybkości działania procedur obrazujących
- możliwe długie ekspozycje (od dziesięciu minut do dni)
- otwiera drzwi do widzialności (visibilities)

Widzialności



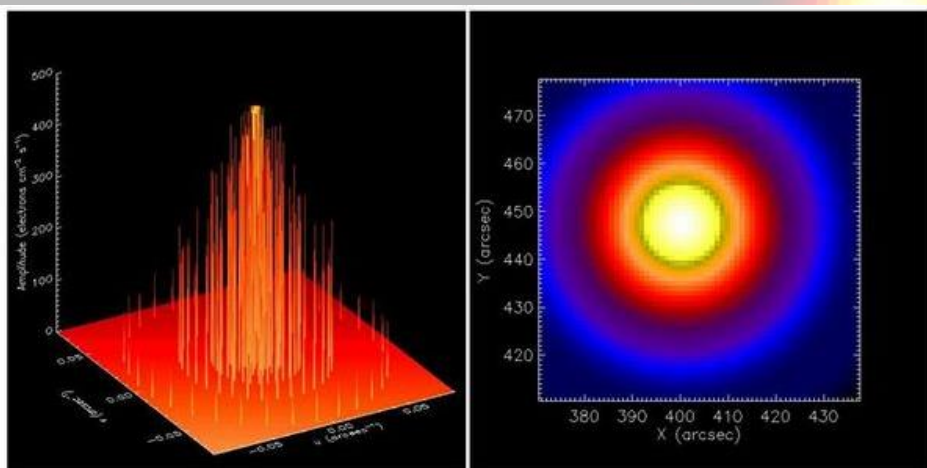
zliczenia dla każdego kąta obrotu są dopasowywane sinusoidą

skalibrowana widzialność to amplituda i faza dopasowania po unormowaniu na efektywność transmisji siatki, modulacji i detektora

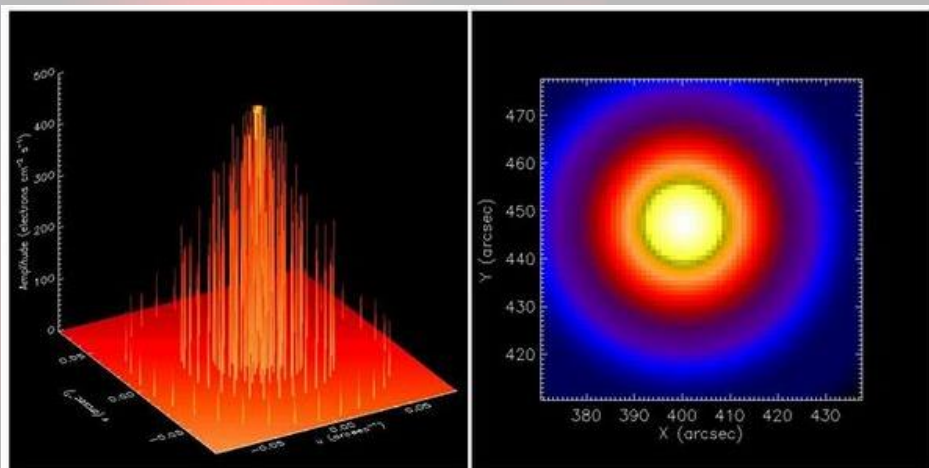
$$V_j = A_j e^{i\phi_j}$$

Widzialność jest 2D transformatą Fouriera rozkładu jasności źródła $I(x,y)$:

$$V(u, v) = \int I(x, y) e^{2\pi i(ux+vy)} dx dy$$



Widzialności



Dla RHESSI próbkowanie płaszczyzny (u, v) odbywa się na 9 okręgach o promieniach (j numeruje subkolimatory):

$$k_j = \frac{1}{4.5 * 3^{(j-1)/2}} \text{ arc sec}^{-1}$$

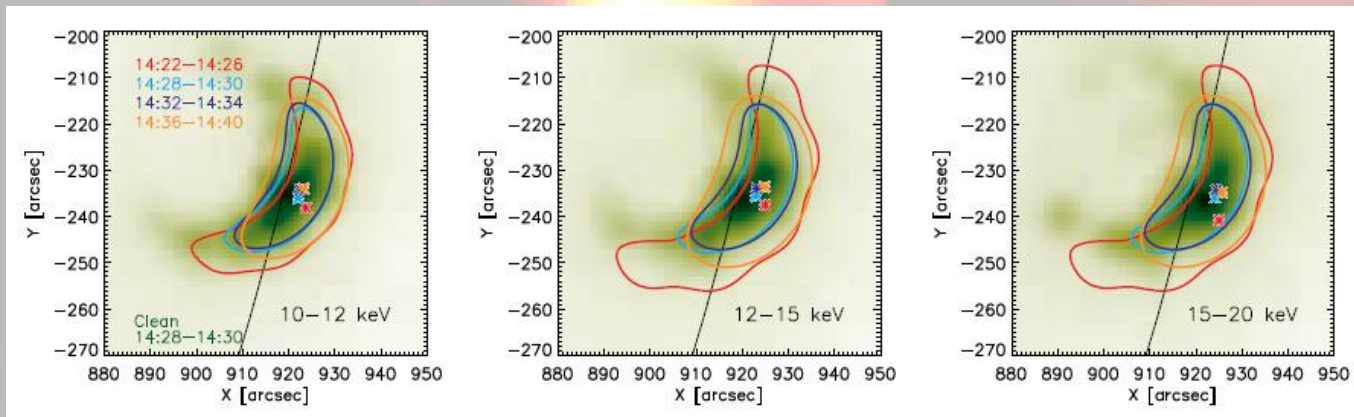
Widzialności używa się w metodach Forward-Fit oraz MEM

Zastosowanie:

- obrazowanie w okolicy 7 keV (kompleks Fe)
- lepsze poprawianie na pile-up
- zwięzła informacja dla iteracyjnych metod rekonstrukcji
- łatwe przejście do zaawansowanych pakietów rozwiniętych dla interferometrii radiowej
- dokładne określenie parametrów źródła bez rekonstrukcji obrazów
- możliwość wzajemnego kalibrowania siatek

	GOES Class	Date	Obs. time	Peak time (10 keV)	Footpoints (30-40 keV)
Flare 1	M3.0	23-August-2005	14:22:00-14:40:00	14:30:00	14:36:00 onwards
Flare 2	M4.1	14/15-April-2002	23:58:00-00:20:00	00:12:00	00:05:00 onwards
Flare 3	M2.6	21-May-2004	23:42:00-23:58:00	23:50:00	23:42:00 onwards

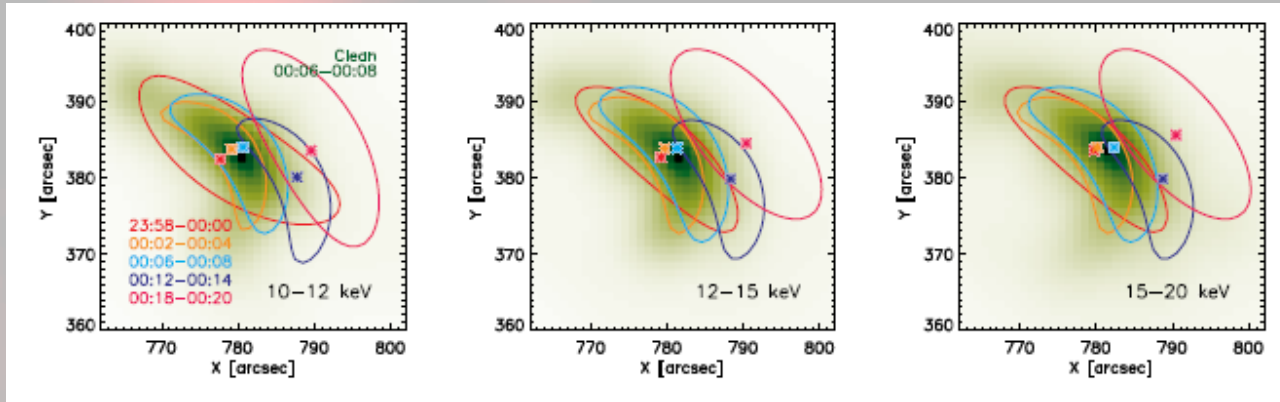
- obrazy CLEAN i PIXON dla zweryfikowania morfologii
- w każdym przypadku stwierdzono kształt przypominający pętlę
- w następnym kroku dokonywano rekonstrukcji obrazów przy użyciu metody Forward-Fit VIS zakładając, że źródło jest zakrzywioną gausoidą



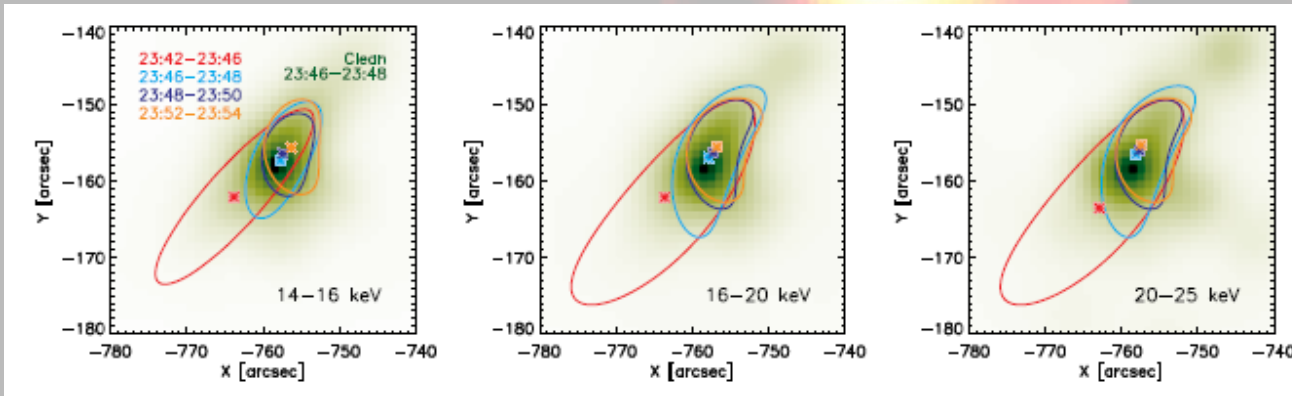
23.08.2005

obraz w tle – CLEAN, kontury – 50% izofoty z VIS FWDFIT

Jeffrey i Kontar, ApJ 766, 75J



14.04.2002



21.05.2004

obrazy rekonstruowano w przedziałach 2 i 4 minutowych

przedziały energetyczne były inne dla każdego z rozbłysków

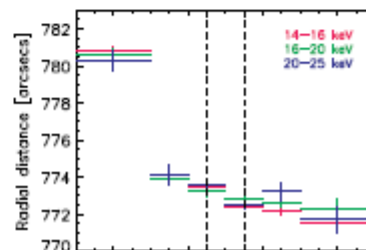
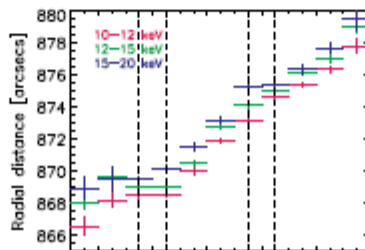
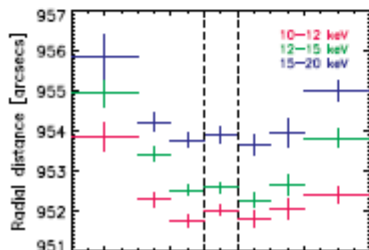
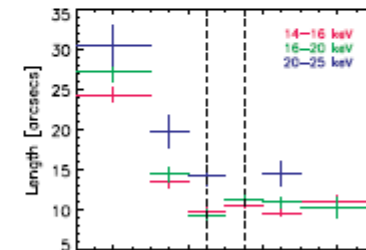
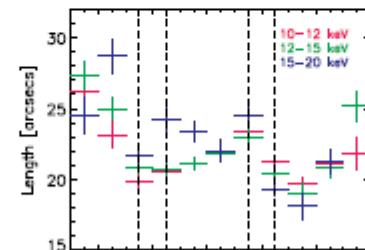
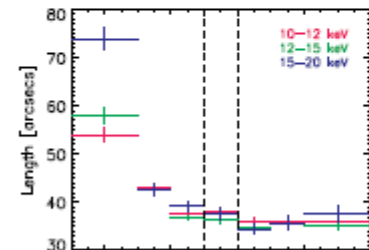
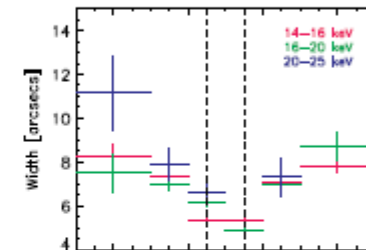
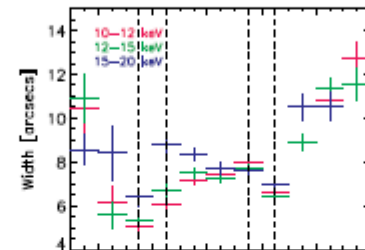
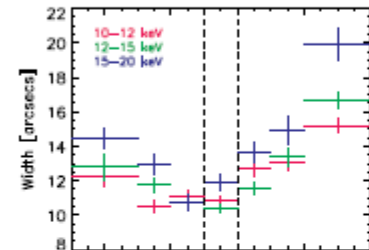
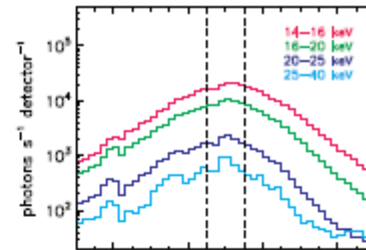
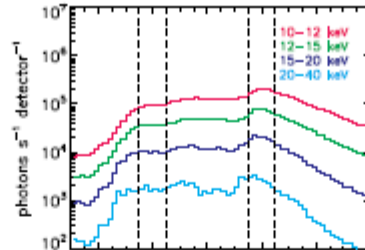
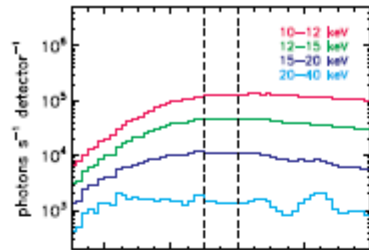
porównywano wyniki z CLEAN i PIXON – zgodność dobra dla wszystkich przedziałów czasu

T i EM z dopasowania widm bez rozdzielczości przestrzennej

23.08.2005

14.04.2002

21.05.2004



Szerokość, długość i położenie pętli:

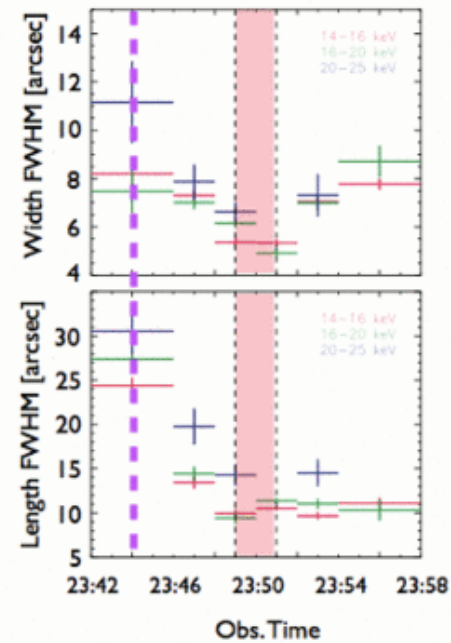
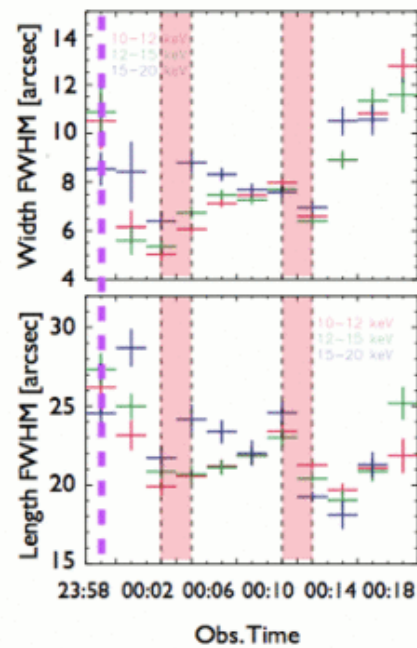
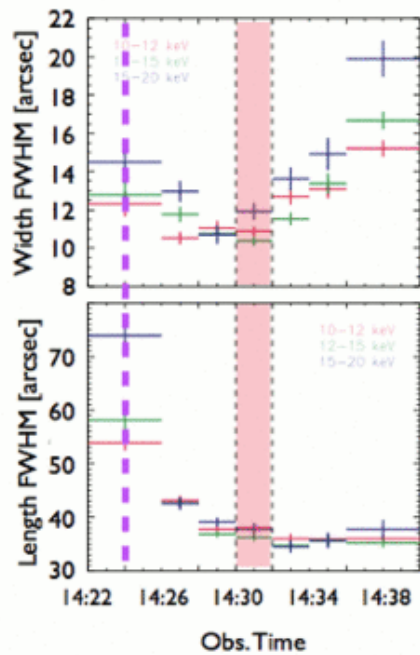
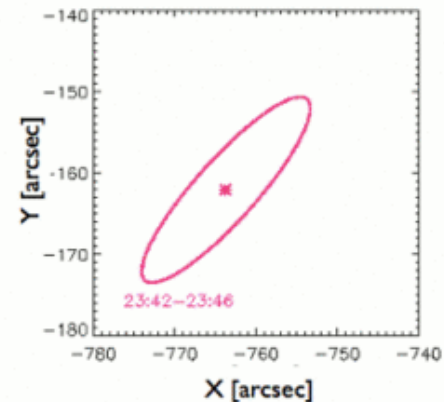
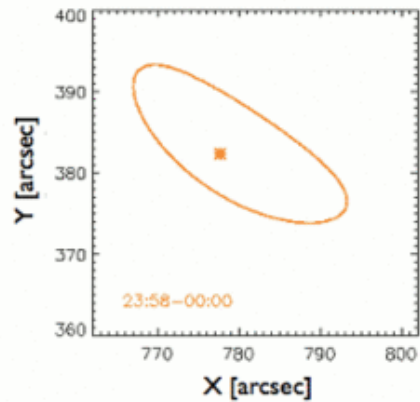
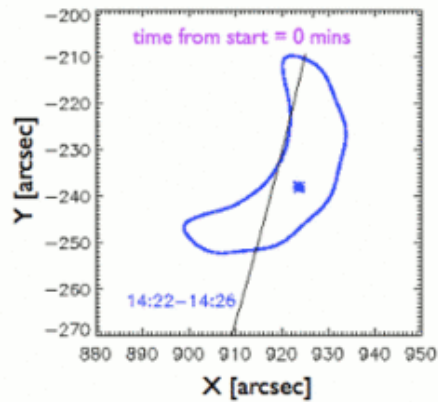
Podobne zachowanie we wszystkich trzech przypadkach:

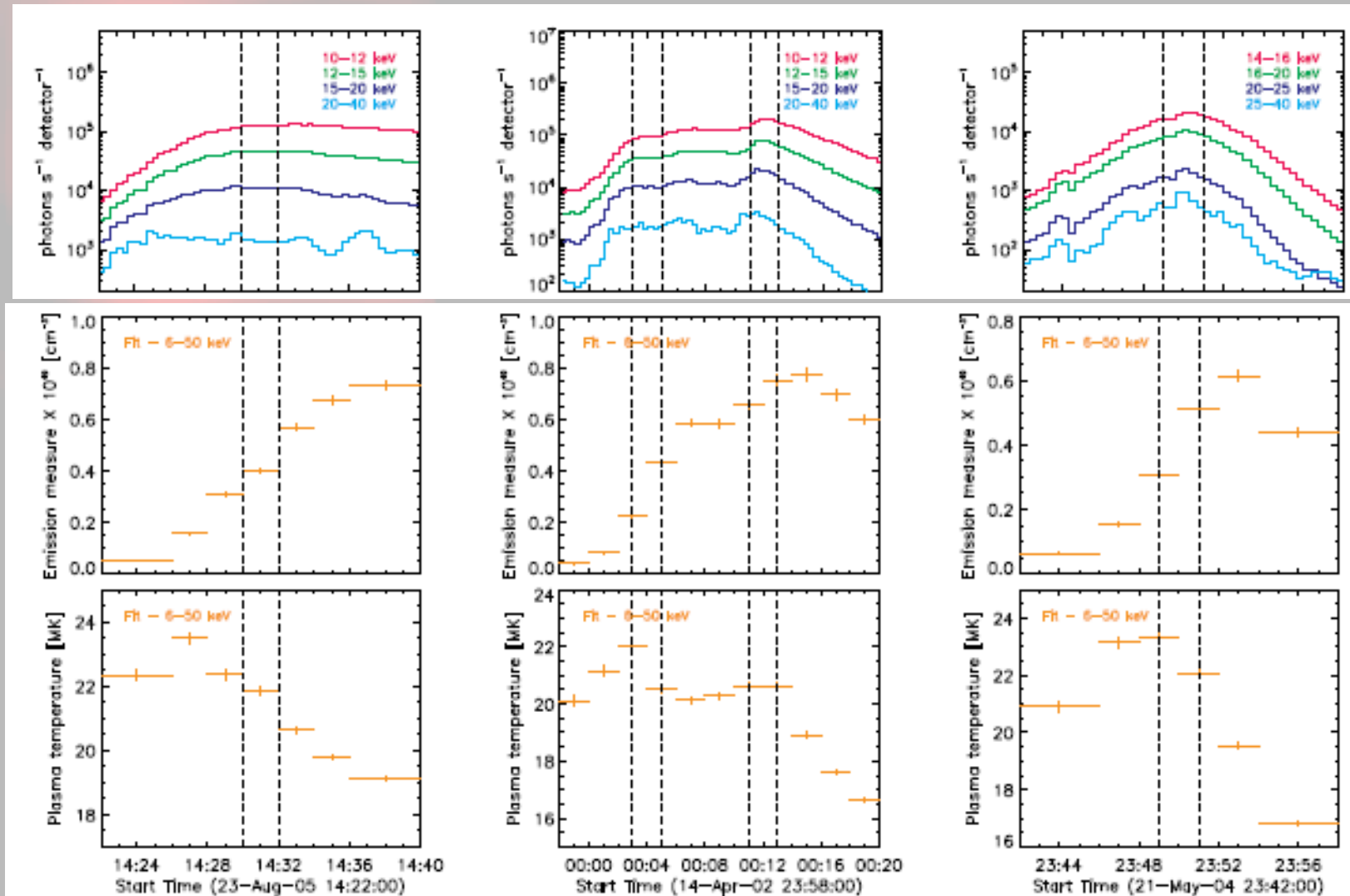
przed maksimum – spadek grubości pętli, spadek długości

po maksimum – wzrost grubości, długość pozostawała prawie stała

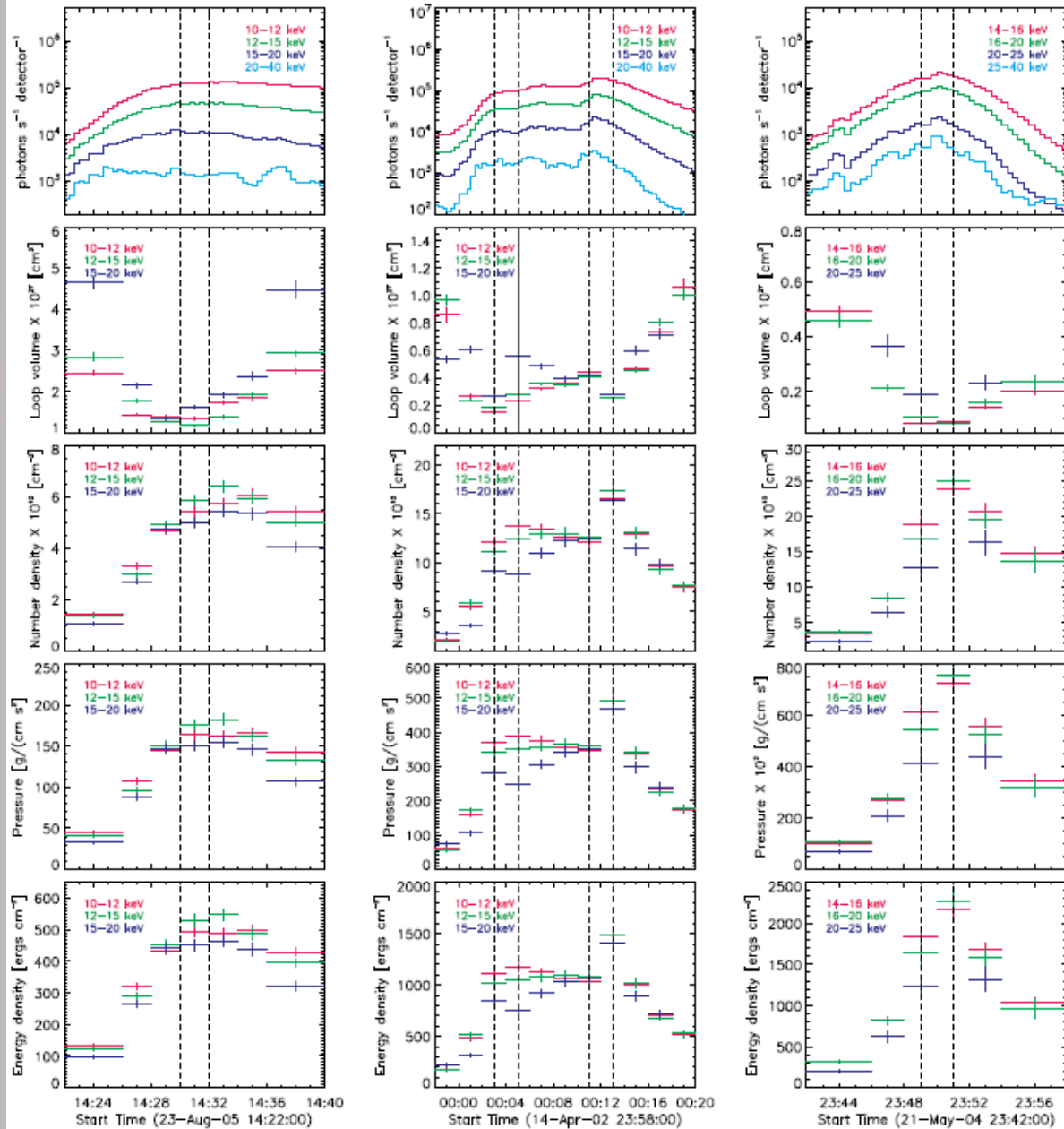
położenia pętli zmieniały się w każdym przypadku inaczej

Jeffrey i Kontar, ApJ 766, 75J



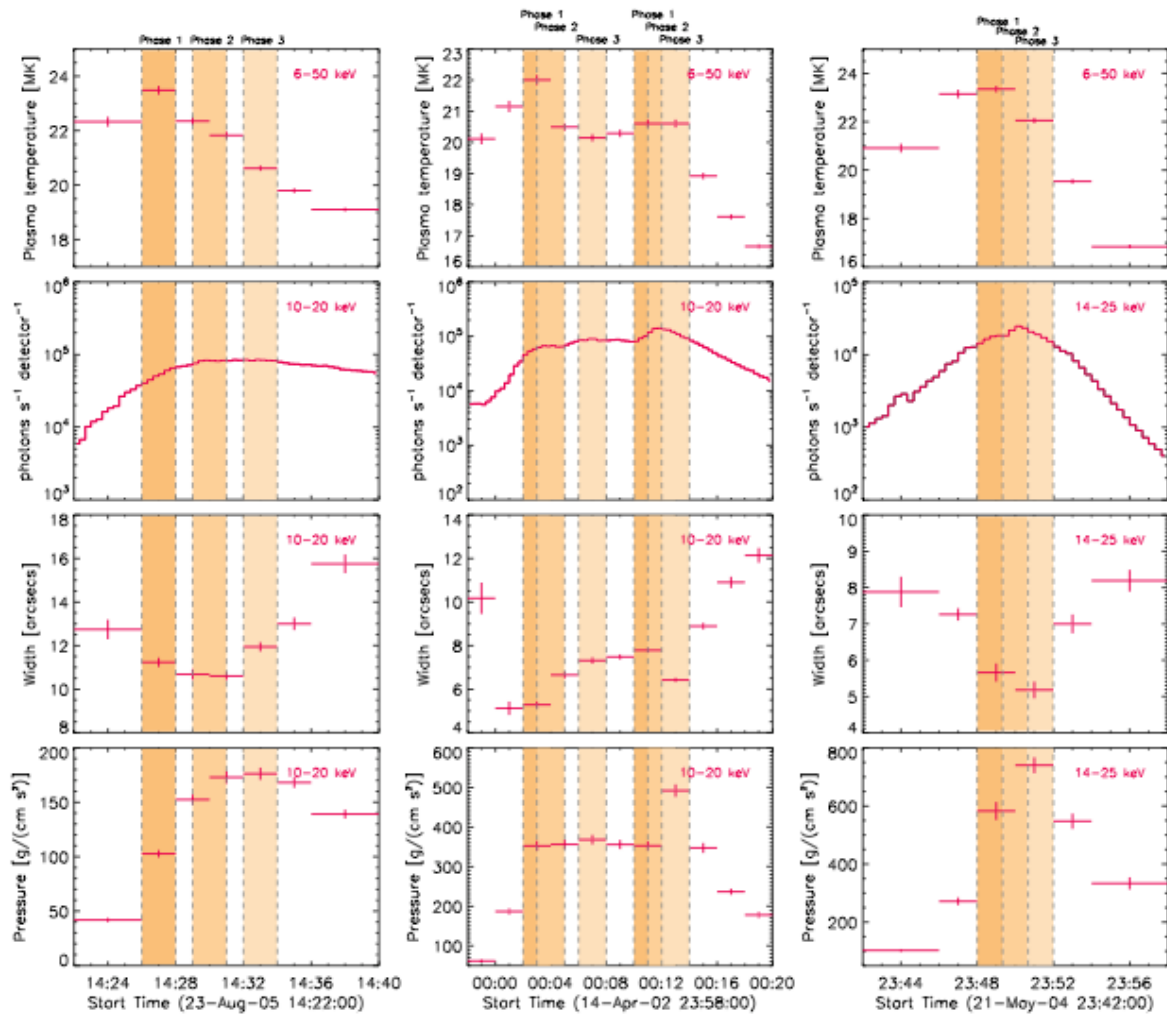


Ewolucja EM i T. Powolny spadek temperatury wskazuje na możliwe grzanie na fazie zaniku



Podobne zachowanie parametrów we wszystkich trzech przypadkach

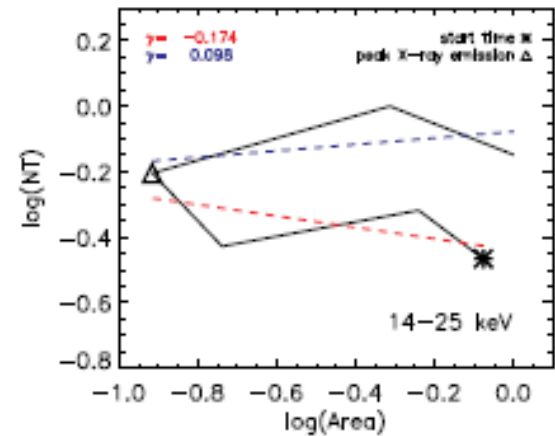
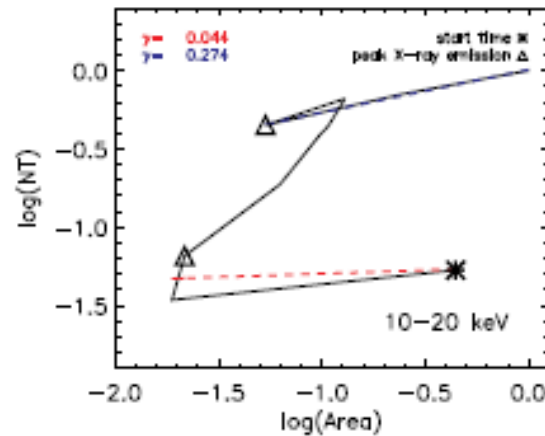
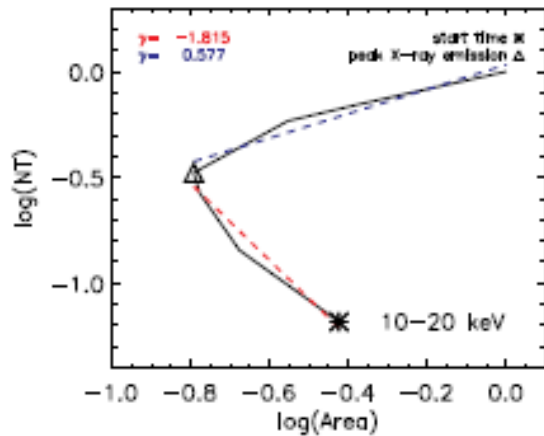




Trzy fazy:

- 1 – maksimum temperatury
- 2 – maksimum jasności
- 3 – maksimum ciśnienia

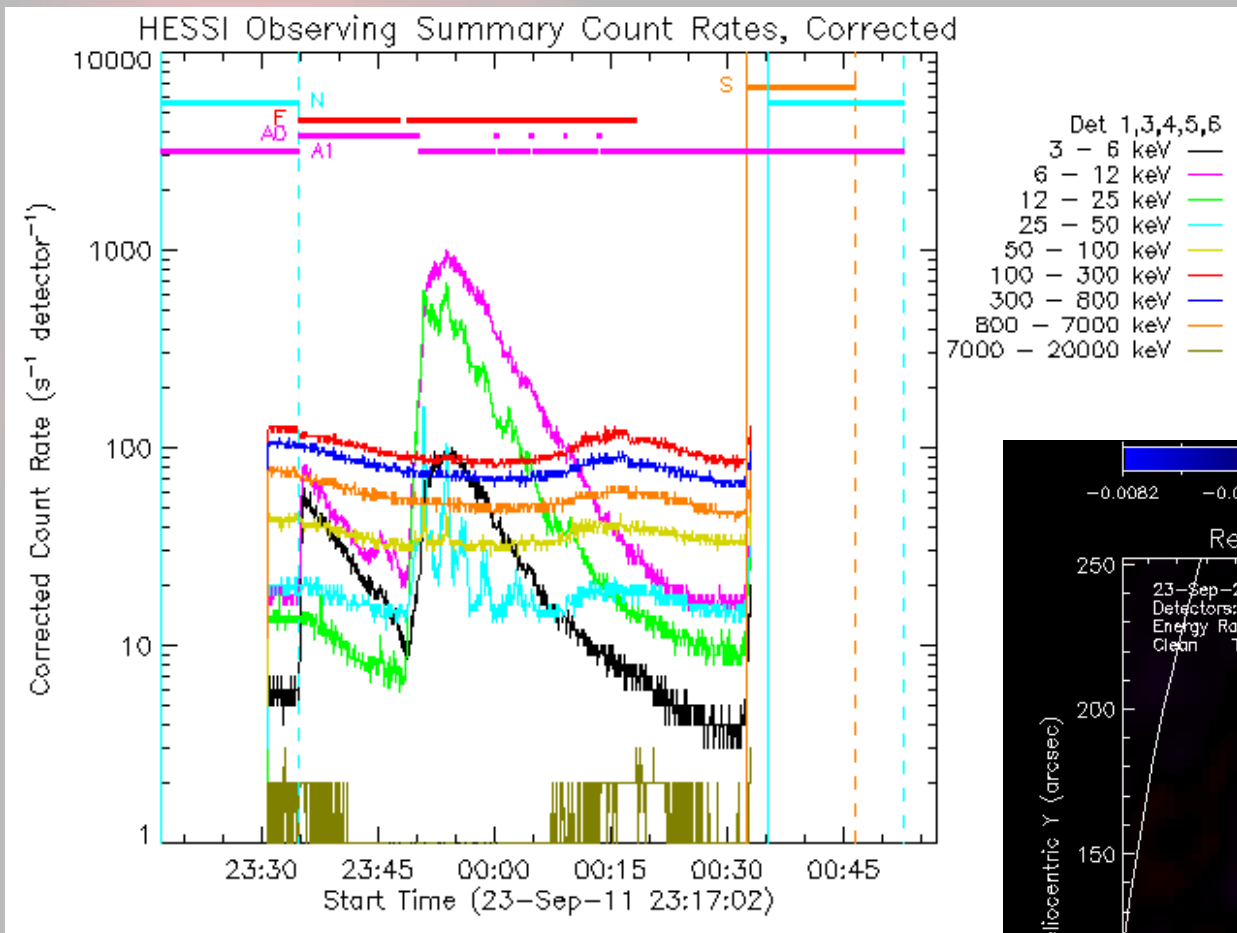
fazy 2 i 3 są wynikiem przewodnictwa, które powoduje parowanie chromosfery i związany z tym wzrost gęstości oraz ciśnienia w pętli.



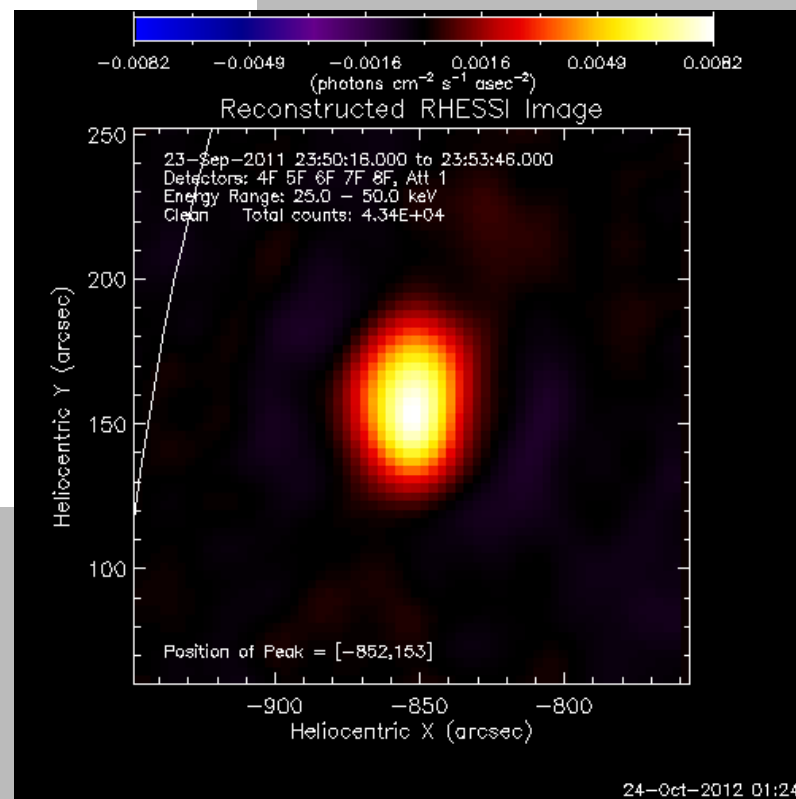
brak potwierdzenia dla kolapsujących pętpek:

- duża zmiana objętości przy małej zmianie położenia
- małe prędkości w dół – około 4 km/s co jest porównywalne z tempem „chudnięcia” pętli; w innych pracach (Veronig i in. 2006) były dużo większe prędkości
- w fazie kompresji: $NT \sim 1/A$ (-1 na wykresie log-log) – obserwacje nie pokazują takiej zależności

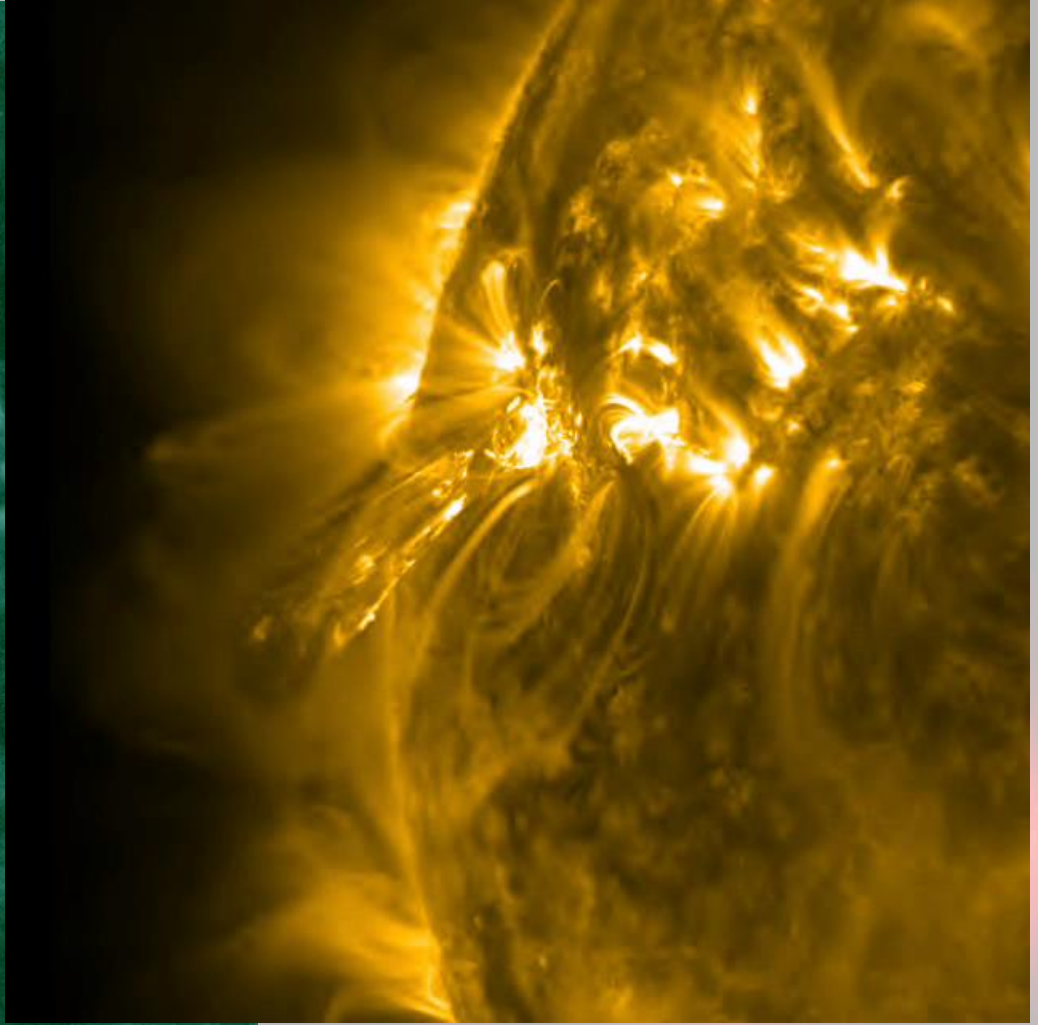
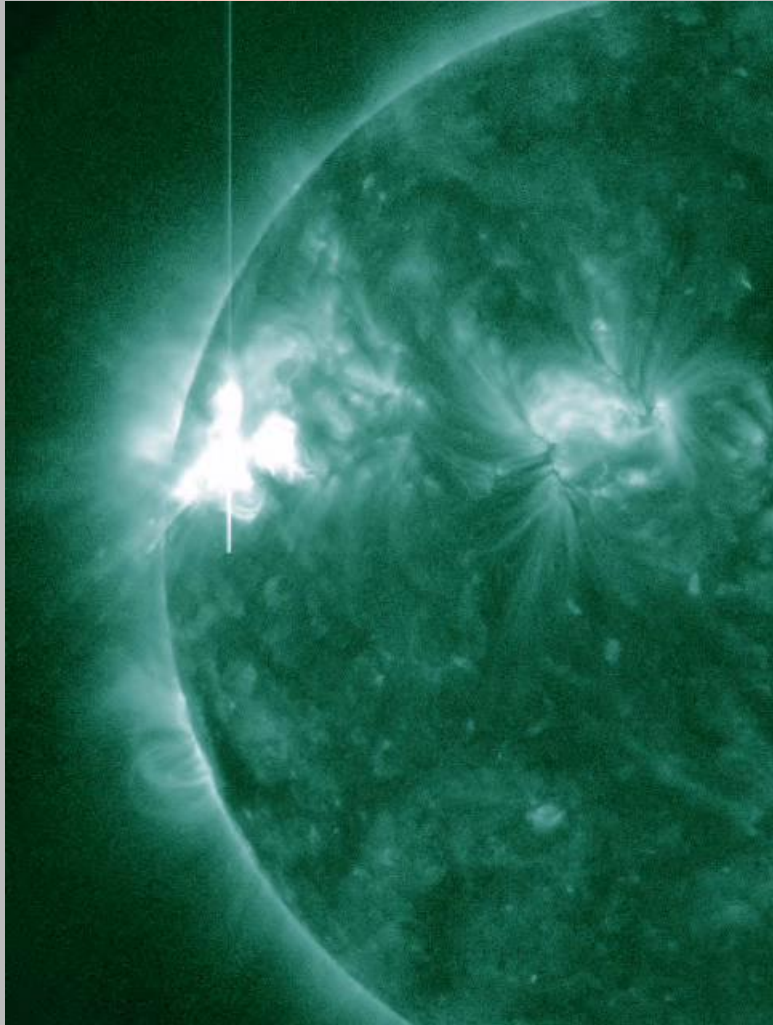
VIS FWDFIT i oscylacje



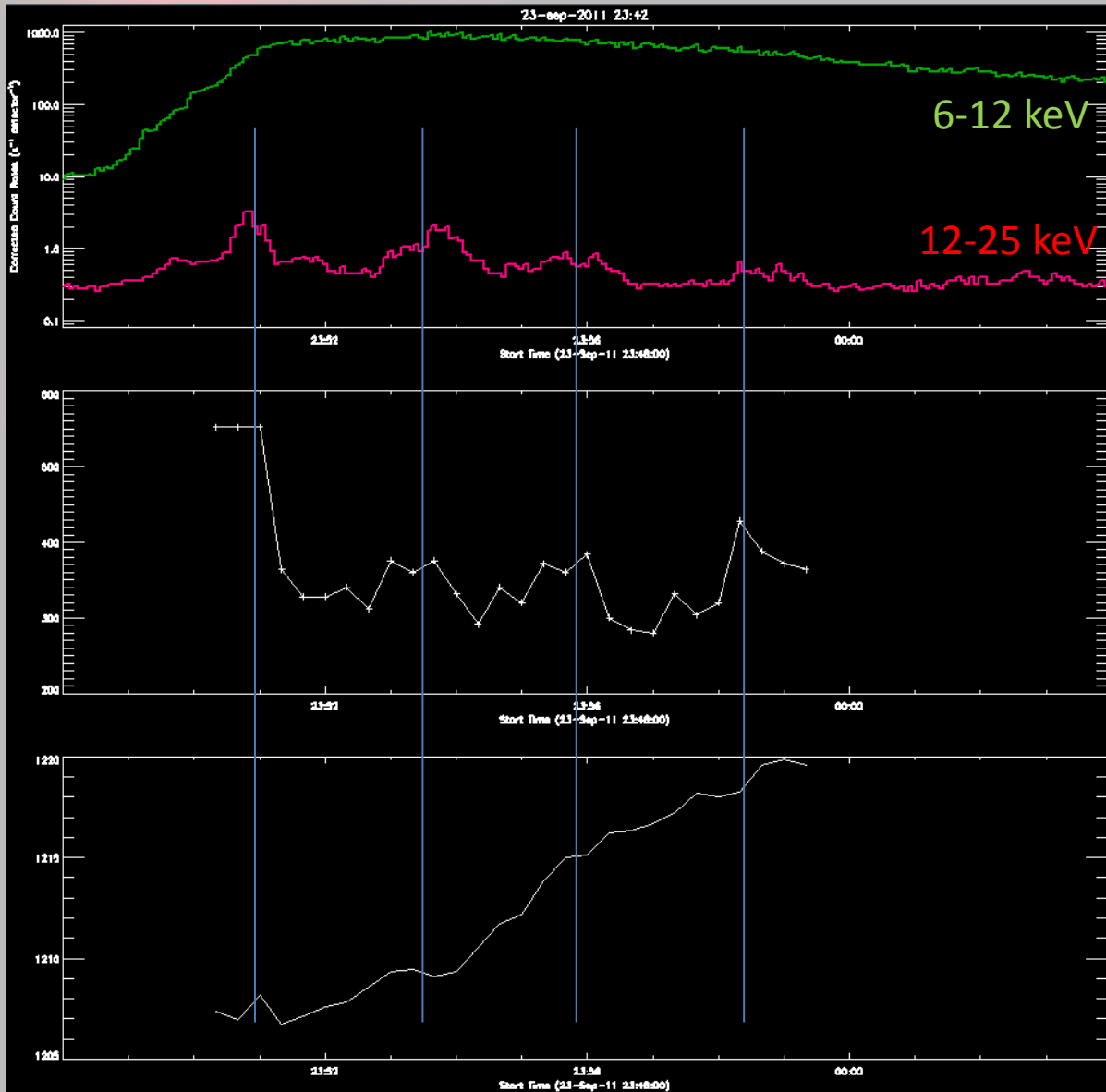
23.09.2011 r.



23.09.2011 r.



23.09.2011 r.



Widoczne są zmiany rozmiaru skorelowane z kolejnymi impulsami HXR

rozmiar źródła 6-8 keV

położenie źródła 6-8 keV



Podsumowanie

Dane RHESSI są analizowane na coraz inne sposoby – to dobrze.

Składanie (stacking) modulacji pozwala na obrazowanie bardzo słabych sygnałów obejmujących długie czasy integracji (dni).

W pewnym sensie składanie jest zbliżaniem się do instrumentu o nieruchomych siatkach.

Widzialności są pierwotną informacją uzyskiwaną przez RHESSI, co sprawia, że pozwalają uzyskać więcej informacji na temat rozkładu źródeł niż było to możliwe dotąd ze zwykłego obrazowania.

Metody oparte na widzialnościach dają nadzieję na dokładniejszą analizę parametrów źródeł HXR.