

Energia obciążenia w widmie
elektronów nietermicznych.



Po co zajmować się energią obciążenia?

- Rozdzielenie składnika termicznego i nietermicznego w widmie rentgenowskim**
- Szacowanie całkowitej energii zgromadzonej w wiązce nietermicznych elektronów**
- Modelowanie procesów przyspieszania cząstek**



Wyznaczanie E_{cut} i bilans energetyczny

Różne podejścia:

-bilans jest liczony przy
ustalonej energii obciążenia

-równoważenie energii
pozwala oszacować E obciążenia

-dopasowanie funkcji
potęgowej do widma HXR

-rozwiązywanie równania
fokkera-plancka

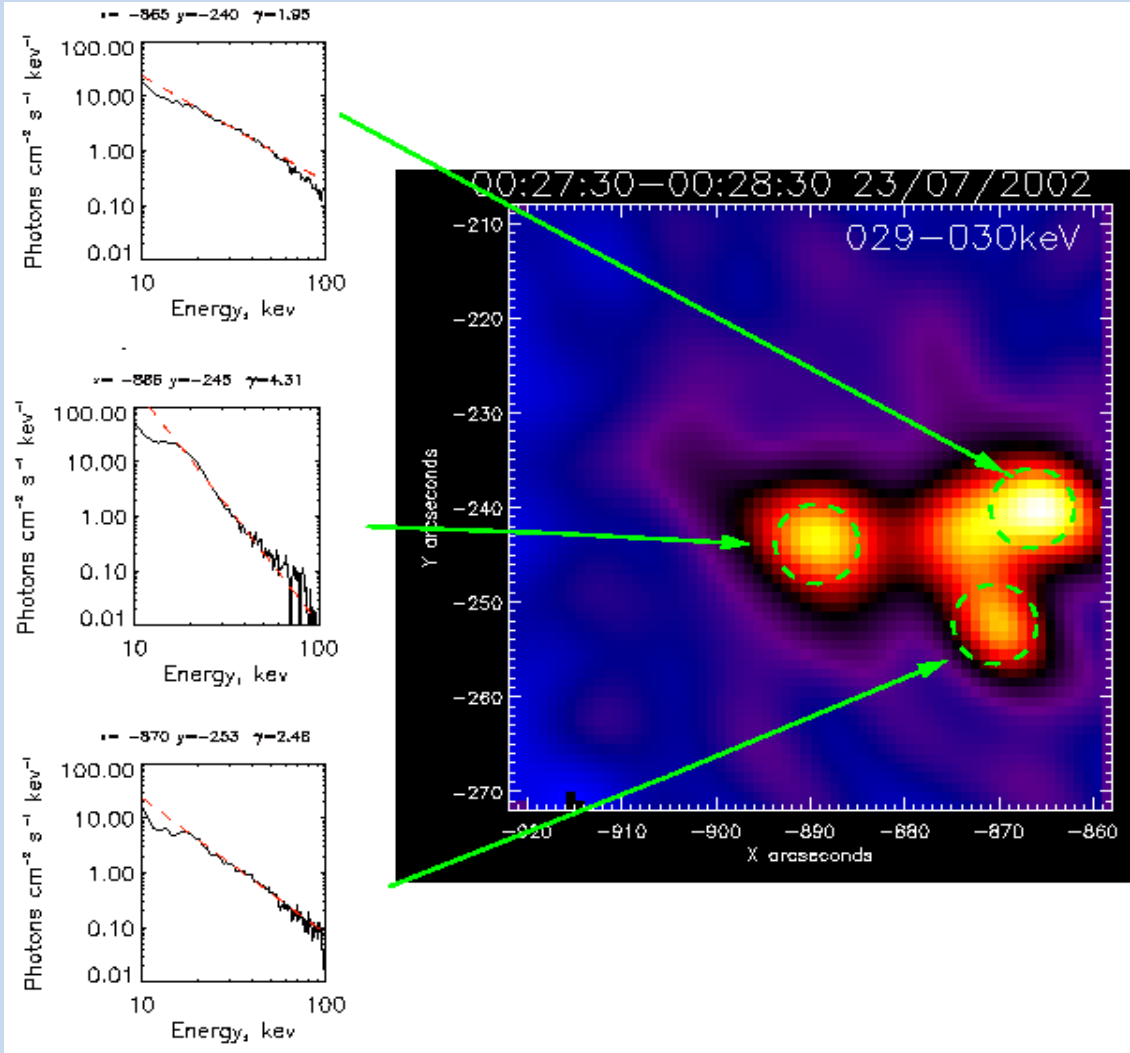
Różne wyniki:

Kane i in.	1990	2-5 keV
Nitta i in.	1990	>50 keV
Mariska	1995	10-25 keV
Alexander i Metcalf	1997	19 keV
Lin i in.	2001	< 8 keV
Gan i in.	2002	45-97 keV
Gallagher i in.	2002	~10 keV
Krucker i in.	2002	~7keV
Gan i in.	2003	<40 keV
Holman i in.	2003	20-40 keV
Zhang i Huang	2004	~20 keV
Mrozek i Tomczak	2004	3-44 keV
Veronig i in.	2005	10-30 keV
Li i in.	2005	~25 keV
Kontar i in.	2006	10-44 keV
Sui i in.	2006	20-45 keV
Fletcher i in.	2007	<25 keV

... i 166 innych prac



Na dobry początek



Klasyczny obraz:

-Emisja termiczna w szczycie pętli

- promieniowanie nietermiczne w stopach



Na dobry początek

Klasyczny obraz:

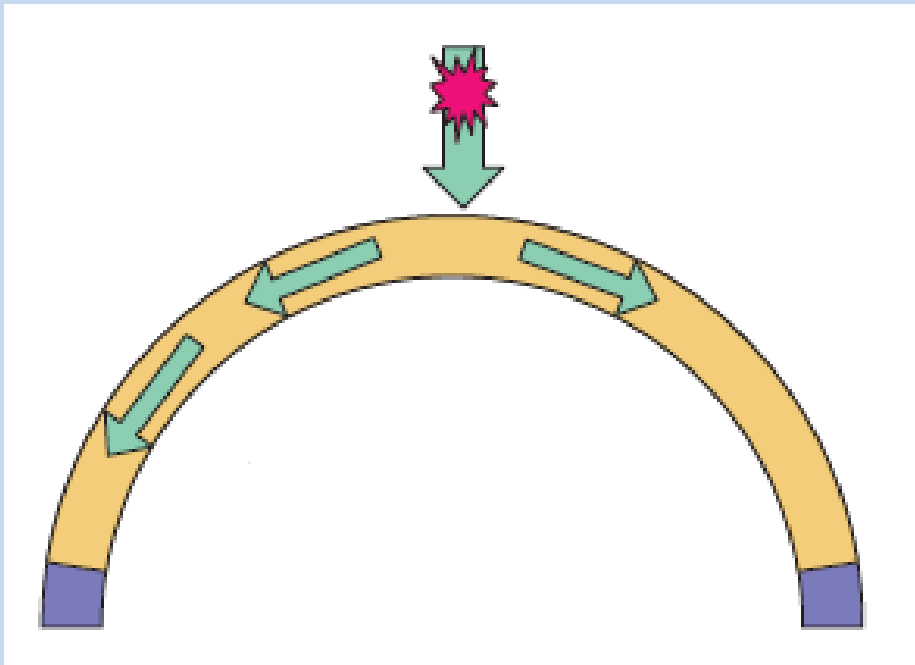
-Wydzielenie energii, przyspieszenie cząstek

-Propagacja cząstek uwolnionych z obszaru przyspieszania

-Uderzenie w chromosferę. Konwersja energii cząstek na podgrzanie plazmy, odparowanie, generację fal uderzeniowych itd.

-stąd oczekujemy $E_{th} = E_{nth}$

- potrzeba jak najdokładniejszej postaci widma nietermicznych elektronów



Falewicz i Siarkowski 2007, A&A 461, 285



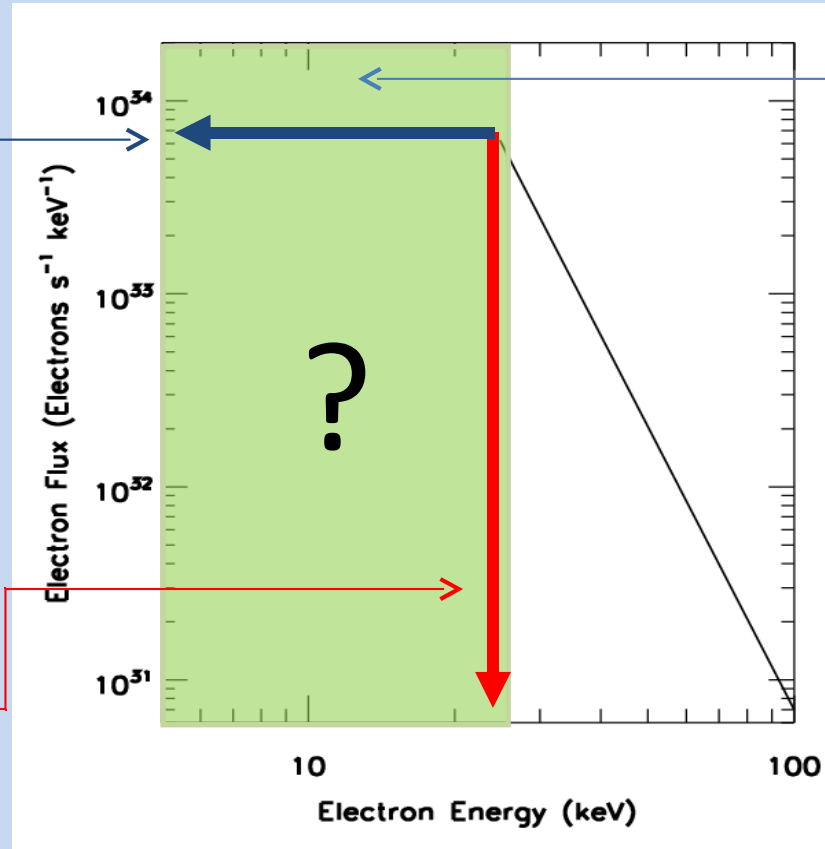
Widmo nietermicznych elektronów

**Flat cutoff
(turnover energy E_{to})**

$$F_0(E_0) = \begin{cases} AE^{-\delta} & E > E_{to} \\ AE_{to}^{-\delta} & E < E_{to} \end{cases}$$

**Sharp cutoff
(cutoff energy E_{cut})**

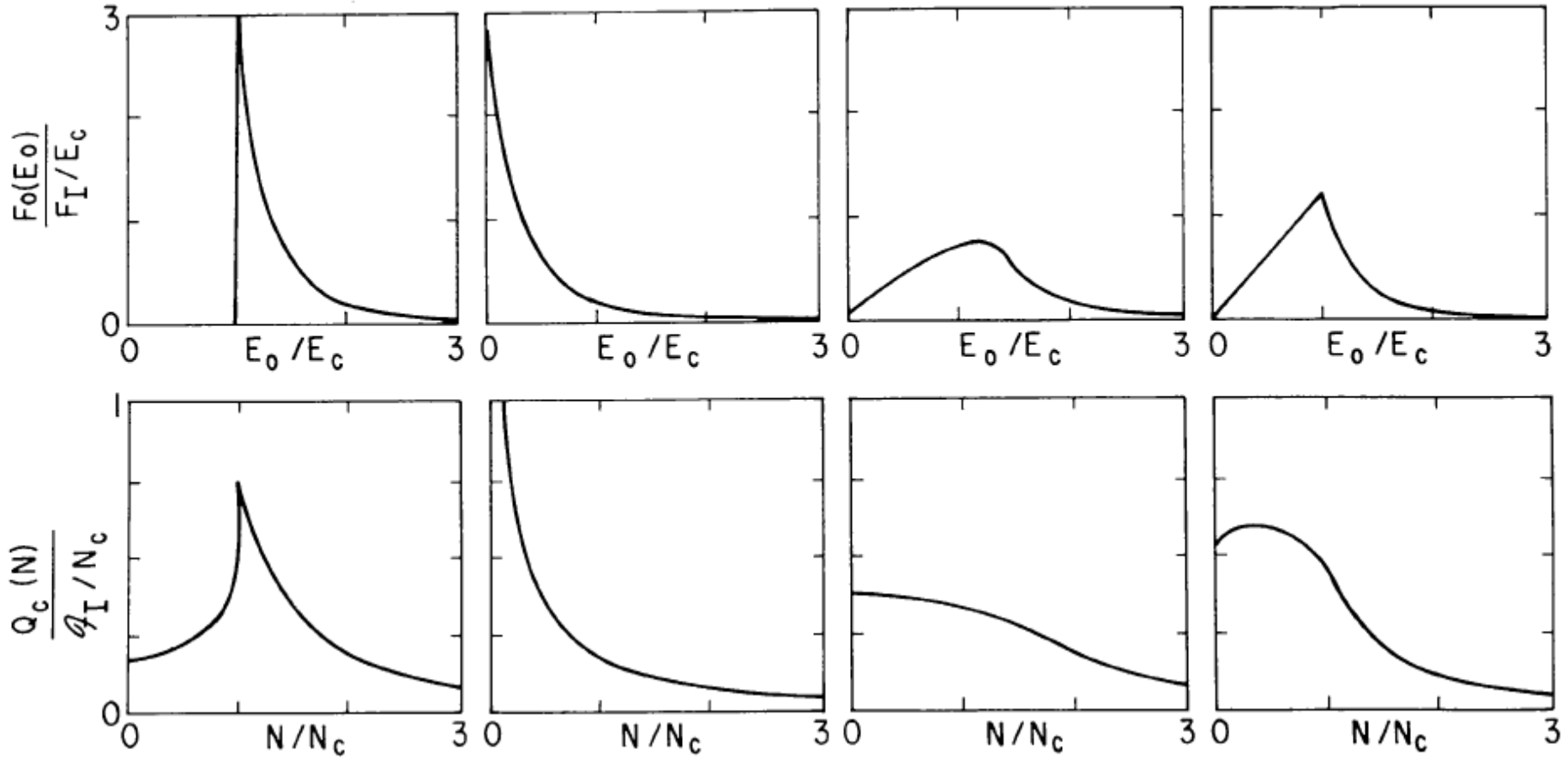
$$F_0(E_0) = \begin{cases} AE^{-\delta} & E > E_{cut} \\ 0 & E < E_{cut} \end{cases}$$



Petrosian i Liu 2004
ApJ 610, 550



Inne postaci widma elektronów i funkcje grzania



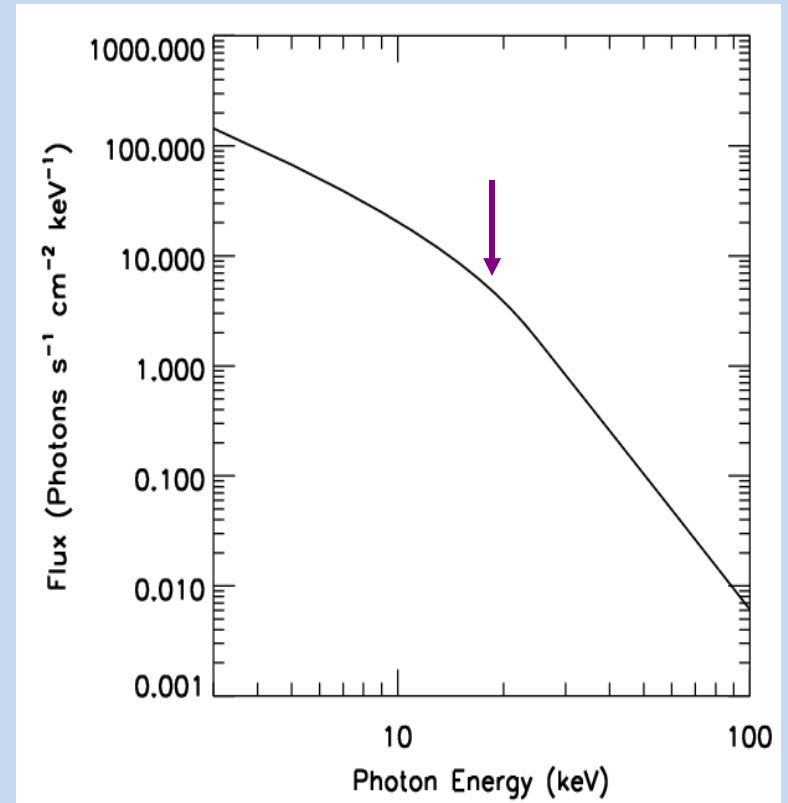
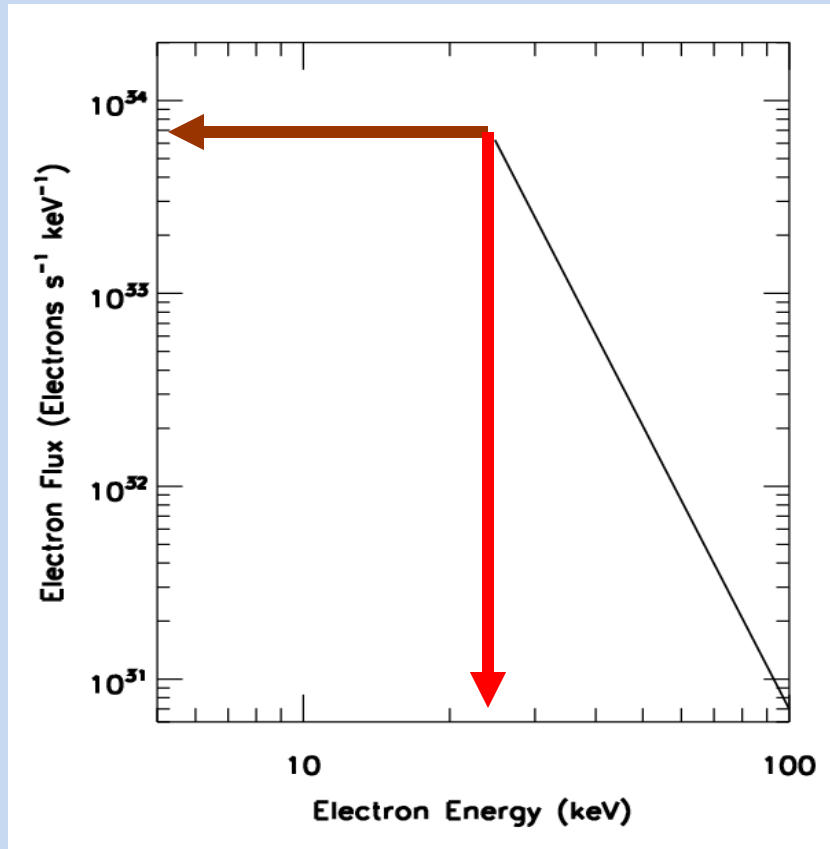
Knight i Sturrock
1977, ApJ 218, 306

Fisher, Canfield,
McClymont, 1985
ApJ 289, 414 – 434

Brown i McClymont
1987, ApSS 133, 297

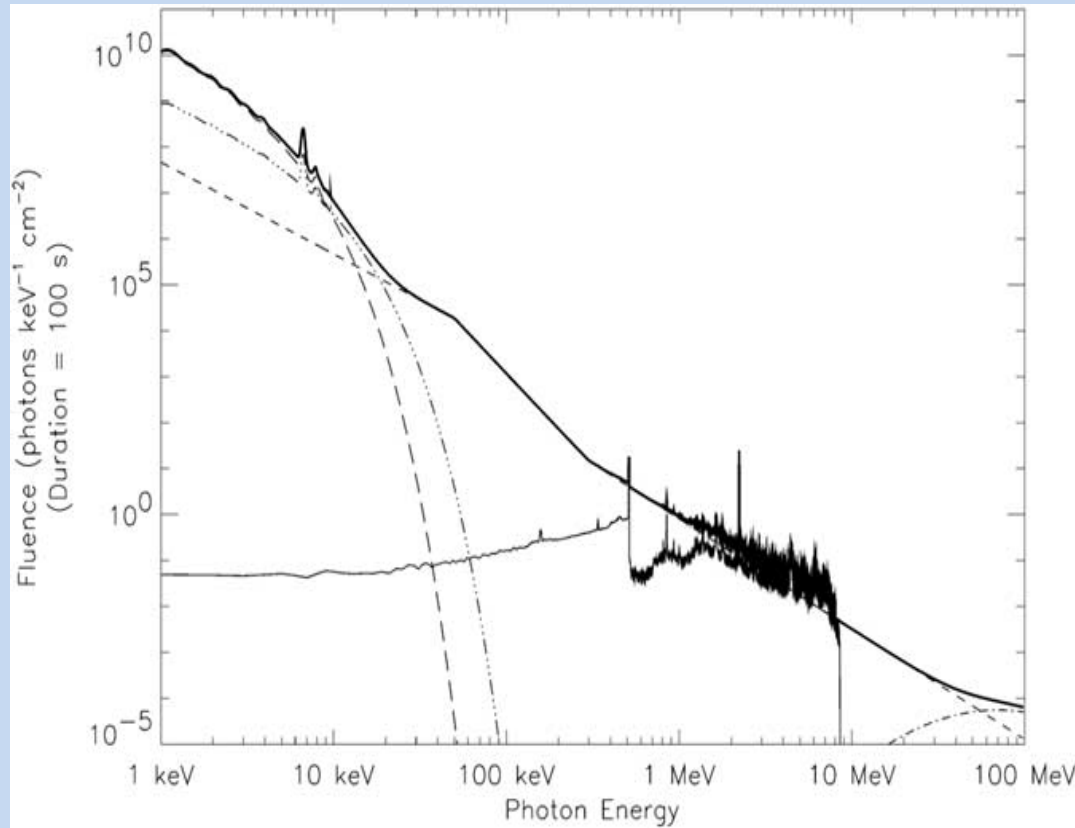


Co na to fotony?





W czym tkwi problem?



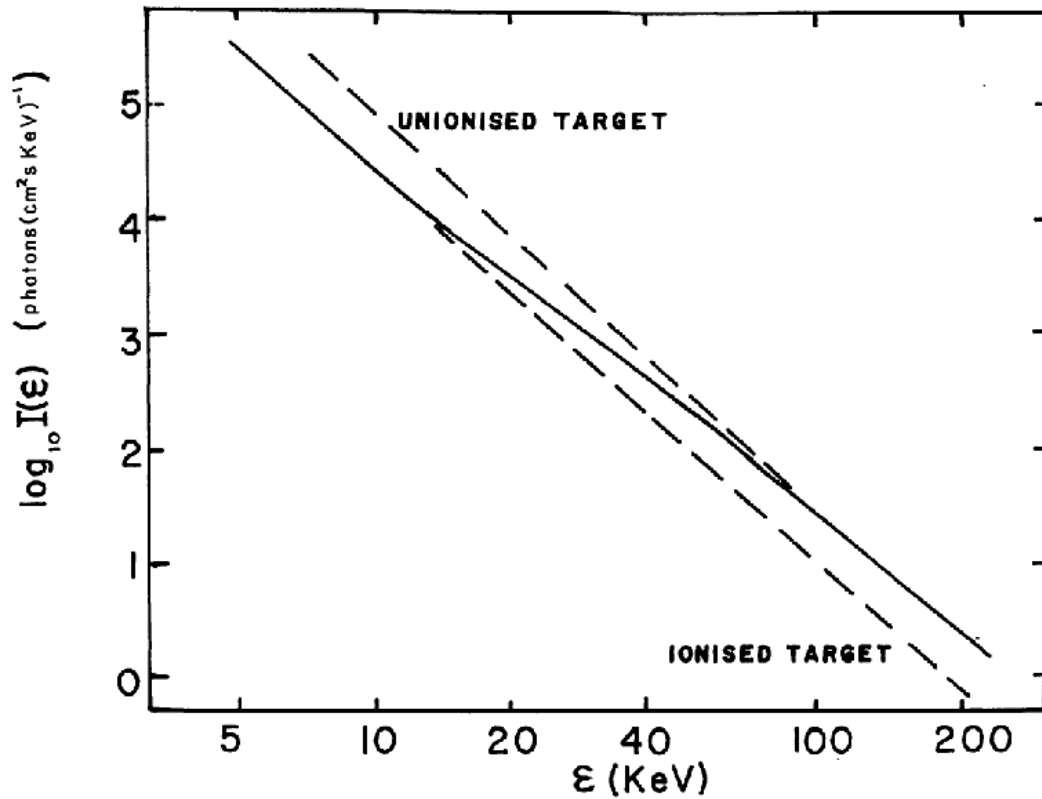
Nietermiczny składnik jest w niskich energiach maskowany przez składową termiczną.

W zakresie 10-100 keV mogą się pojawić załamania w widmie, które nie mają związku z E_{cut} :

- zmienny stopień jonizacji tarczy
- albedo fotosferyczne
- wysokoenergetyczna E_{cut}



Zmienny stopień jonizacji



Brown, J. 1973, Sol. Phys. 18, 489

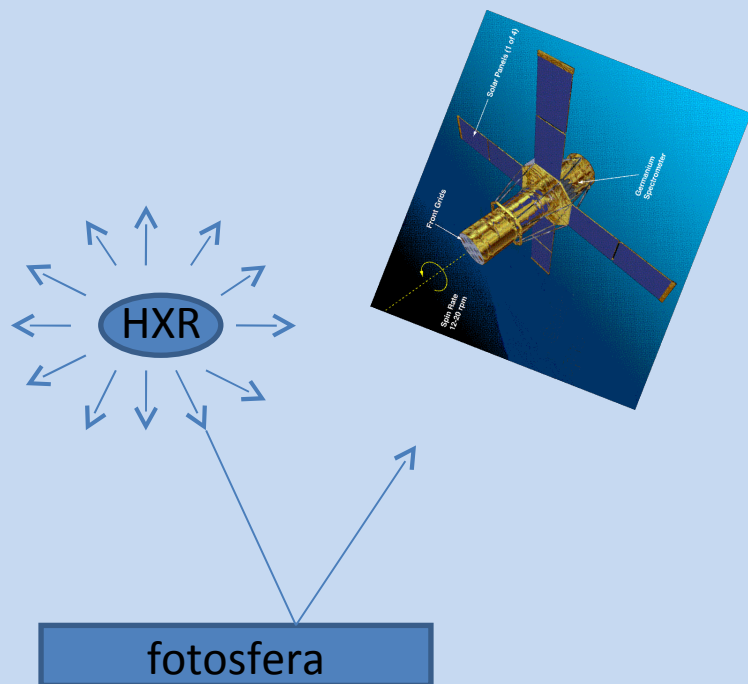
W widmie pojawia się „szykana”

Zakres: kilkanaście -100 keV

Poza tym przedziałem nachylenie jest jednakowe



Albedo fotosferyczne



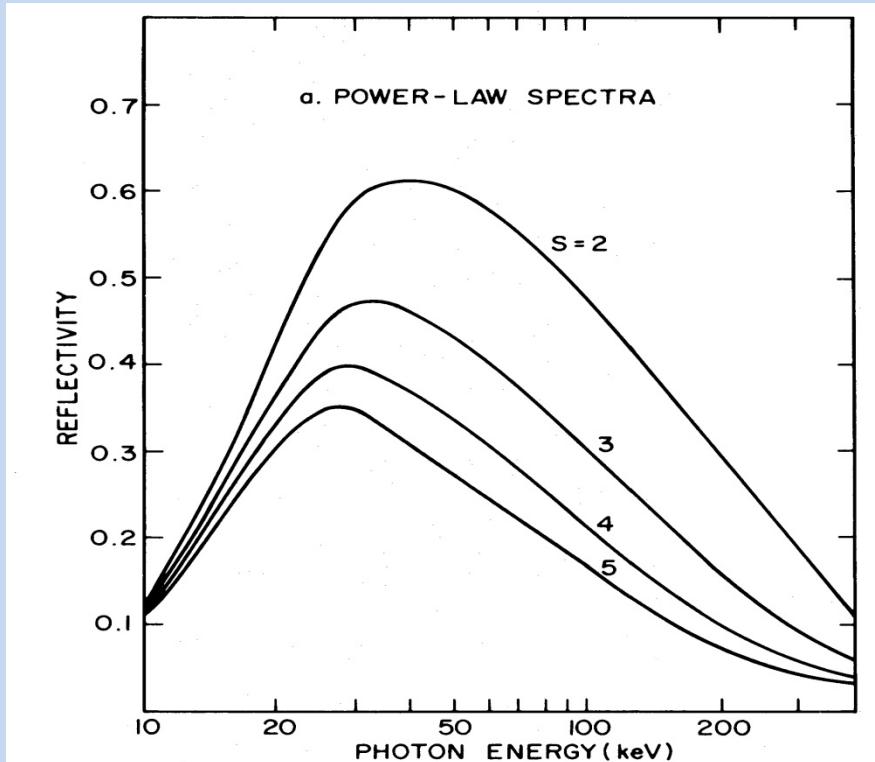
Bai, T. i Ramaty, R. 1978, ApJ 219, 705

Albedo zależy od energii fotonu ,
nachylenia widma, wysokości
źródła nad fotosferą.

Rejestrowane widmo różni się od
oryginalnego co prowadzi do
niepoprawnej postaci widma
elektronowego.



Albedo fotosferyczne



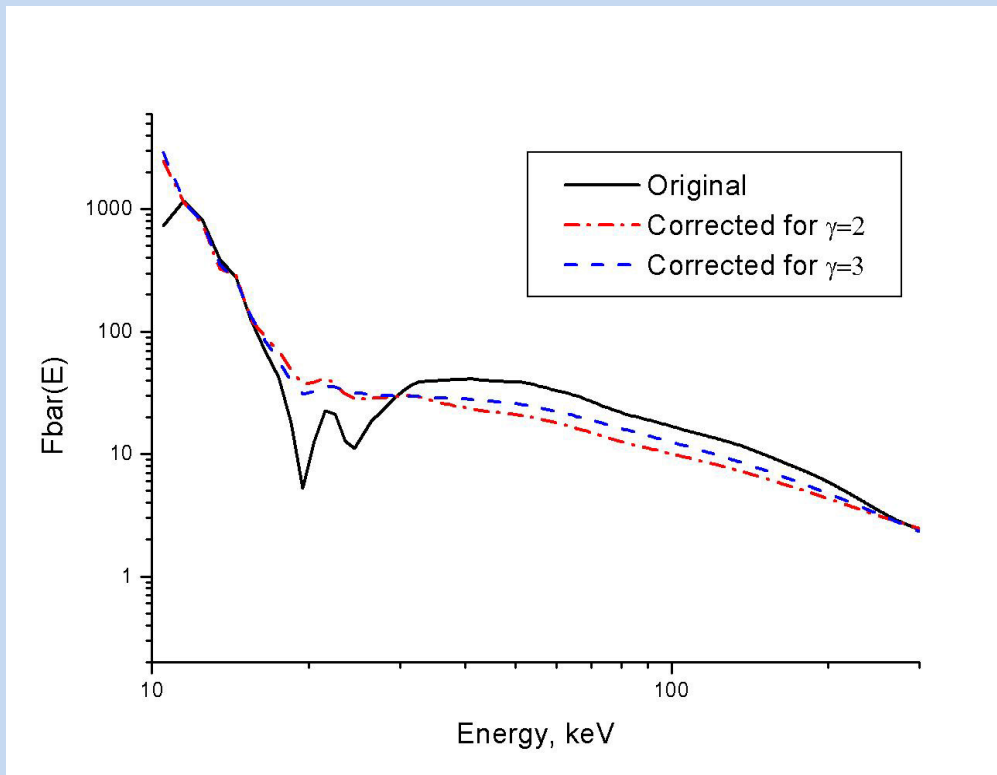
Bai, T. i Ramaty, R. 1978, ApJ 219, 705

Albedo zależy od energii fotonu ,
nachylenia widma, wysokości
źródła nad fotosferą.

Rejestrowane widmo różni się od
oryginalnego co prowadzi do
niepoprawnej postaci widma
elektronowego.



Albedo fotosferyczne



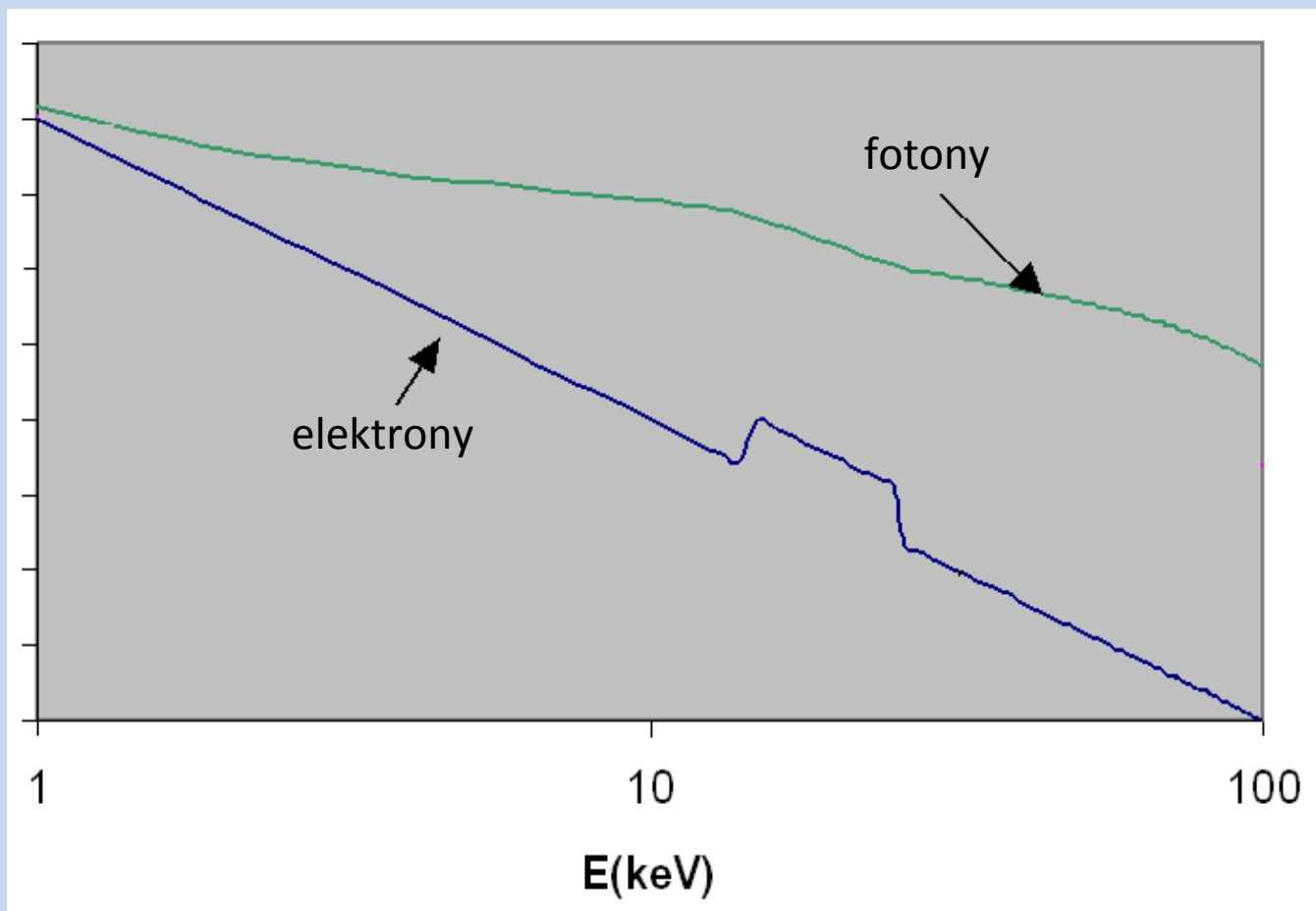
Bai, T. i Ramaty, R. 1978, ApJ 219, 705

Albedo zależy od energii fotonu ,
nachylenia widma, wysokości
źródła nad fotosferą.

Rejestrowane widmo różni się od
oryginalnego co prowadzi do
niepoprawnej postaci widma
elektronowego.

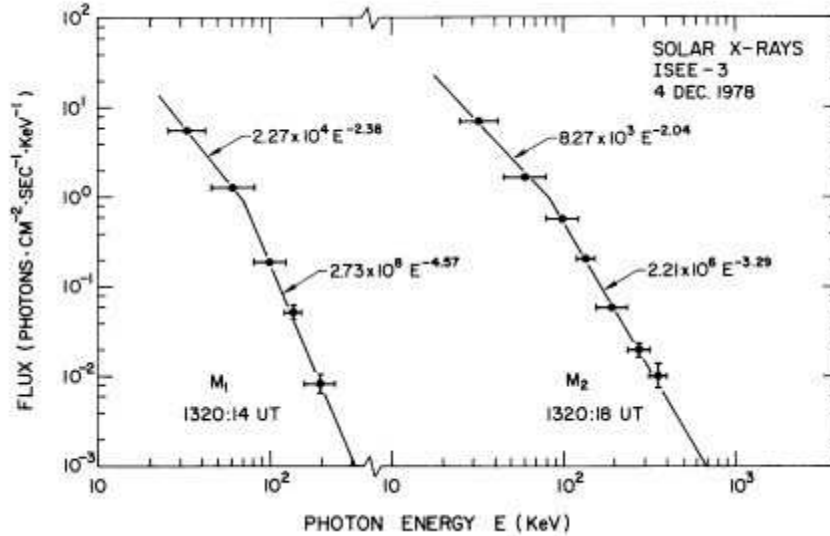


Wysokoenergetyczna E_{cut}





Po co uwzględniać te efekty?



Do niedawna rozdzielczość widm HXR była rzędu:

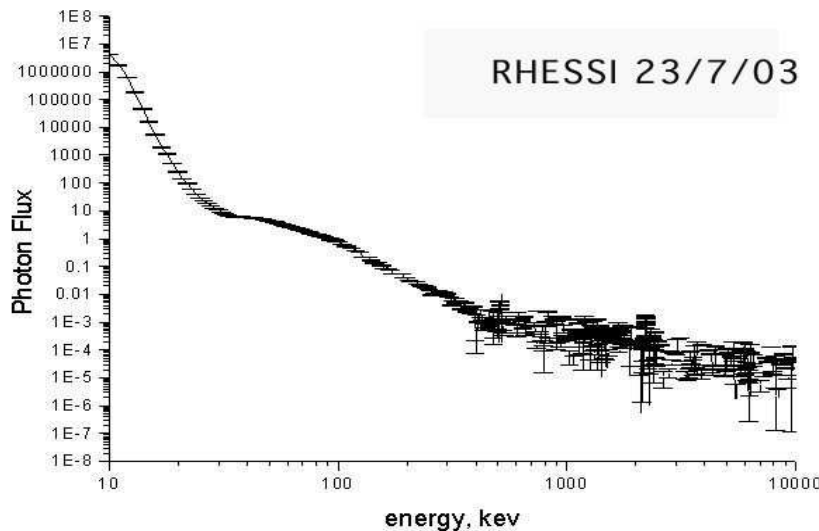
$$\frac{\Delta \varepsilon}{\varepsilon} \approx 0.3$$

W przypadku RHESSI:

$$\frac{\Delta \varepsilon}{\varepsilon} \approx 0.1 - 0.001$$

dla zakresu energii 10-1000 keV.

Dzięki takiej jakości widm możliwe stało się analizowanie subtelnych efektów.

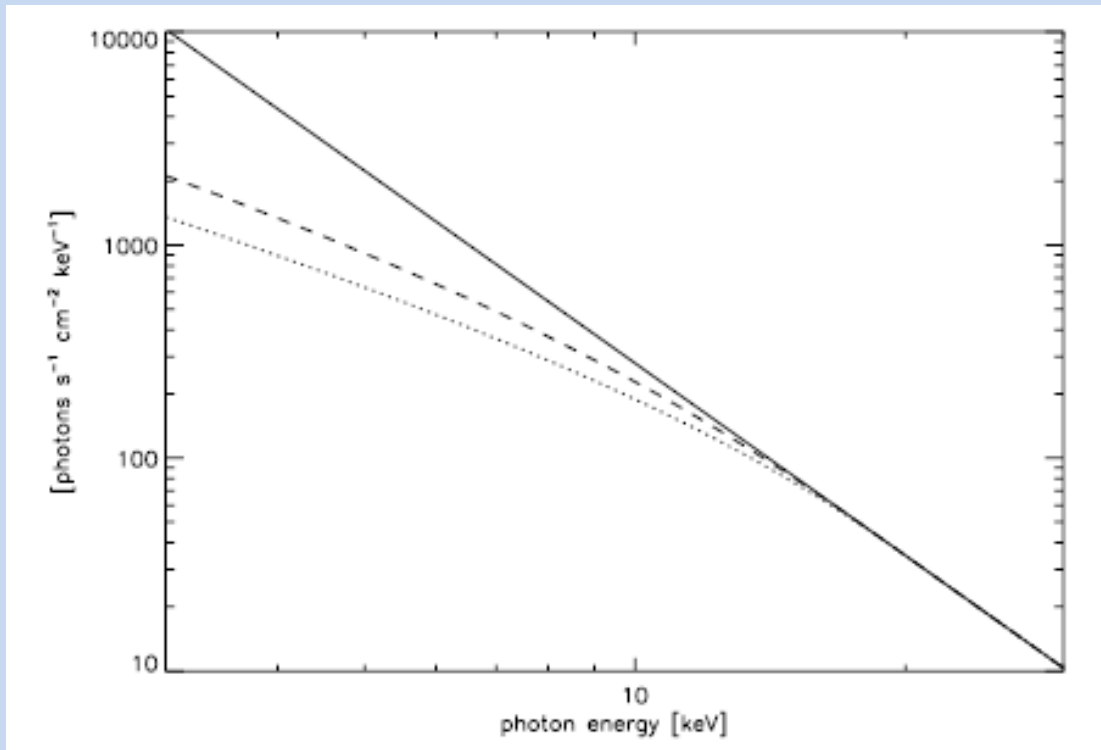




Jaki jest wpływ tych efektów?

Thermal and non-thermal energies of solar flares

P. Saint-Hilaire i A.O. Benz 2005,
A&A 435, 743



Modelowanie widm dla
różnych postaci widma:

$$F_0(E_0) = \begin{cases} AE^{-\delta} & E > E_{cut} \\ 0 & E < E_{cut} \end{cases}$$

$$F_0(E_0) = \begin{cases} AE^{-\delta} & E > E_{to} \\ AE_{to}^{-\delta} & E < E_{to} \end{cases}$$

założona stała wartość dla
 E_{cut} i E_{to} równa 10 keV



Saint-Hilaire i Benz 2005

Type of correction	Quantity	$\delta = 3$	$\delta = 5$	$\delta = 7$
Haug, Bethe-Bloch	$\Delta\gamma$	+0.1	+0.1	+0.1
	f_{50}	0.89	0.91	0.94
	f_{CO}	1.07	1.16	1.23
	f_{TO}	1.02	1.14	1.22
Haug, Bethe-Bloch, Albedo	$\Delta\gamma$	-0.2	0.0	+0.1
	f_{50}	1.54	1.36	1.25
	f_{CO}	0.96	1.285	1.40
	f_{TO}	1.09	1.29	1.40
Haug, Bethe-Bloch, High-E cutoff 50 keV	$\Delta\gamma$	+2.1	+1.2	+0.7
	f_{50}	0.02	0.2	0.47
	f_{CO}	2.64	2.20	1.71
	f_{TO}	1.45	1.95	1.65
Haug, Bethe-Bloch, High-E cutoff 300 keV	$\Delta\gamma$	+0.35	+0.1	+0.1
	f_{50}	0.50	0.90	0.94
	f_{CO}	1.23	1.17	1.23
	f_{TO}	1.02	1.15	1.22

f_{50} - strumień dla
 $E = 50 \text{ keV}$

$$f_{cut} = \frac{P_{cut}^{real}}{P_{cut}^{approx}}$$

$$f_{to} = \frac{P_{to}^{real}}{P_{to}^{approx}}$$



Saint-Hilaire i Benz 2005

Type of correction	Quantity	$\delta = 3$	$\delta = 5$	$\delta = 7$
Haug, Bethe-Bloch, $E_* = 5 \text{ keV}$	$\Delta\gamma$	0.0	0.90	0.0
	f_{50}	2.54	2.67	2.84
	f_{CO}	2.81	2.74	2.63
	f_{TO}	2.74	2.74	2.64
Haug, Bethe-Bloch, $E_* = 25 \text{ keV}$	$\Delta\gamma$	-0.2	-0.4	-0.3
	f_{50}	2.56	2.30	1.86
	f_{CO}	1.51	1.02	1.01
	f_{TO}	1.74	1.09	1.03
Haug, Bethe-Bloch, $E_* = 100 \text{ keV}$	$\Delta\gamma$	-0.2	0.0	+0.1
	f_{50}	1.74	1.02	0.96
	f_{CO}	0.95	1.10	1.23
	f_{TO}	1.12	1.10	1.22
Haug, Bethe-Bloch, $E_* = 25 \text{ keV}$, Albedo	$\Delta\gamma$	-0.4	-0.5	-0.4
	f_{50}	4.42	3.45	2.46
	f_{CO}	1.24	1.12	1.15
	f_{TO}	1.84	1.22	1.18

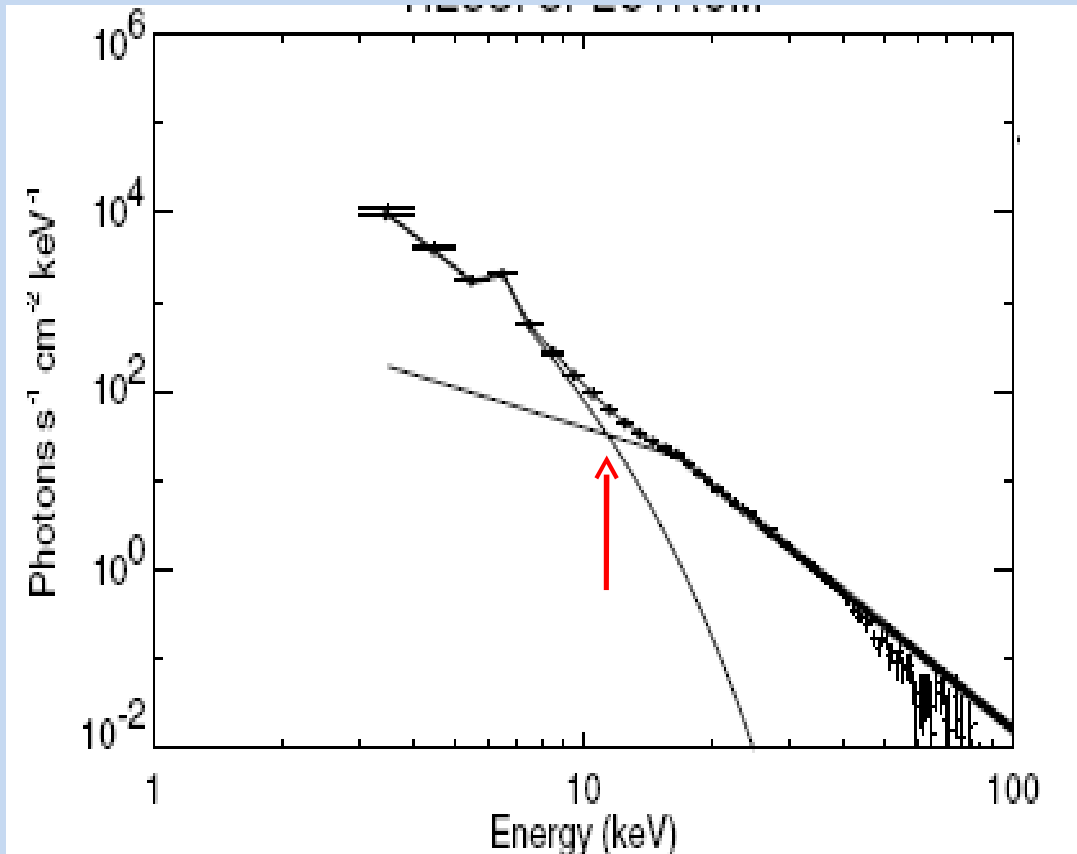
f_{50} - strumień dla
 $E = 50 \text{ keV}$

$$f_{cut} = \frac{P_{cut}^{real}}{P_{cut}^{approx}}$$

$$f_{to} = \frac{P_{to}^{real}}{P_{to}^{approx}}$$



Saint-Hilaire i Benz 2005



Opisane efekty rzadko powodują powstanie różnic większych niż 50%

Największy wkład na oszacowanie energii ma i tak E_{cut} lub E_{to}

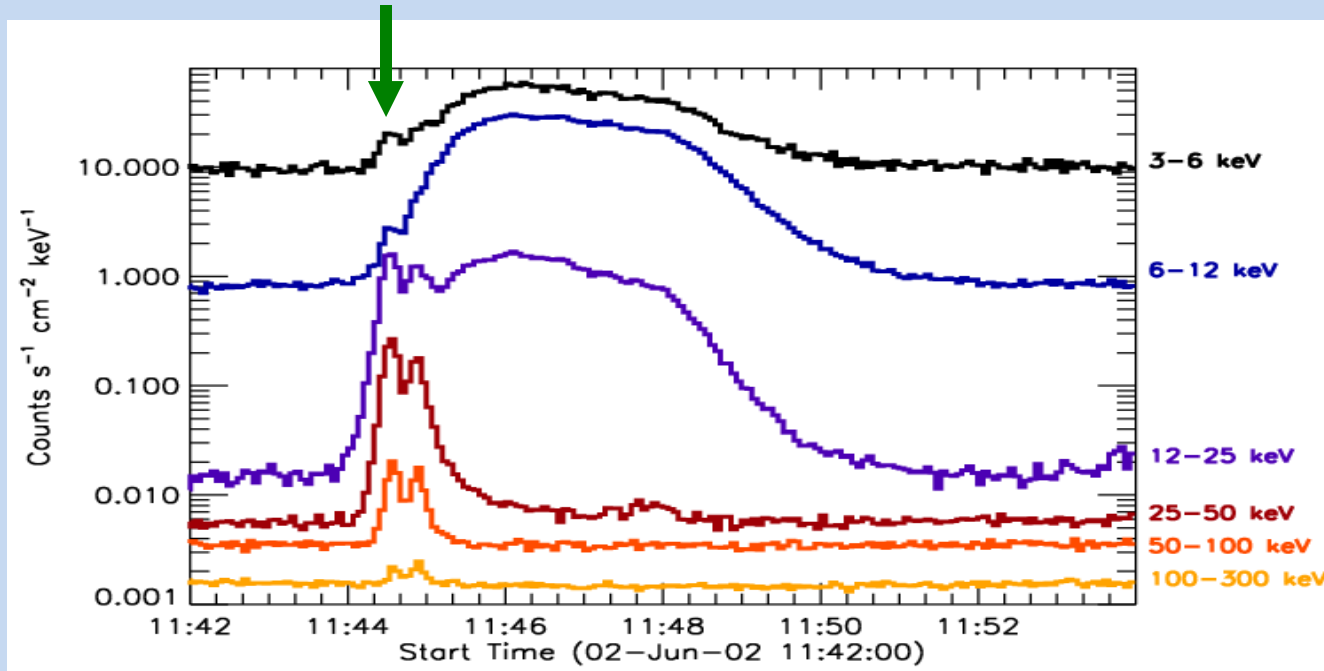
Wyznaczenie E_{to} z obserwowanego ϵ_{to} jest możliwe tylko jeśli:

$$\epsilon_{to} > \epsilon_{nth} \cap \epsilon_{th}$$

Potrzebne są odpowiednie zjawiska



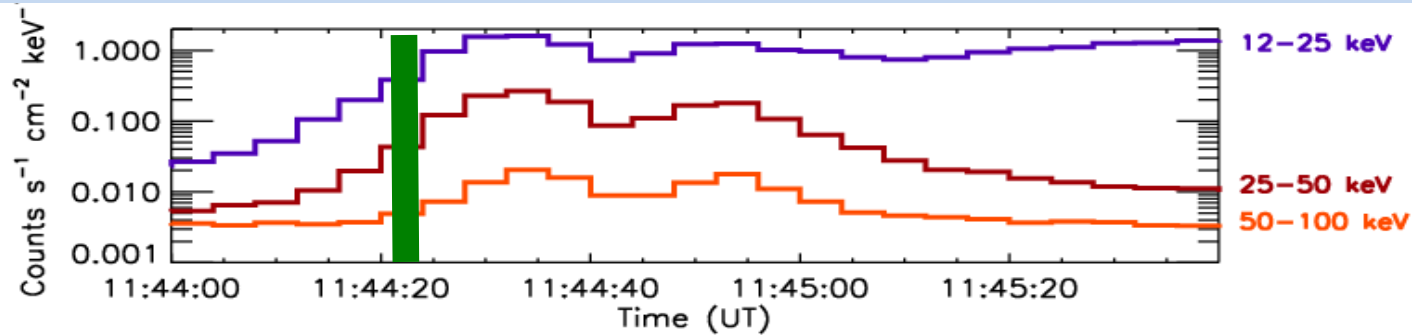
L. Sui 2006



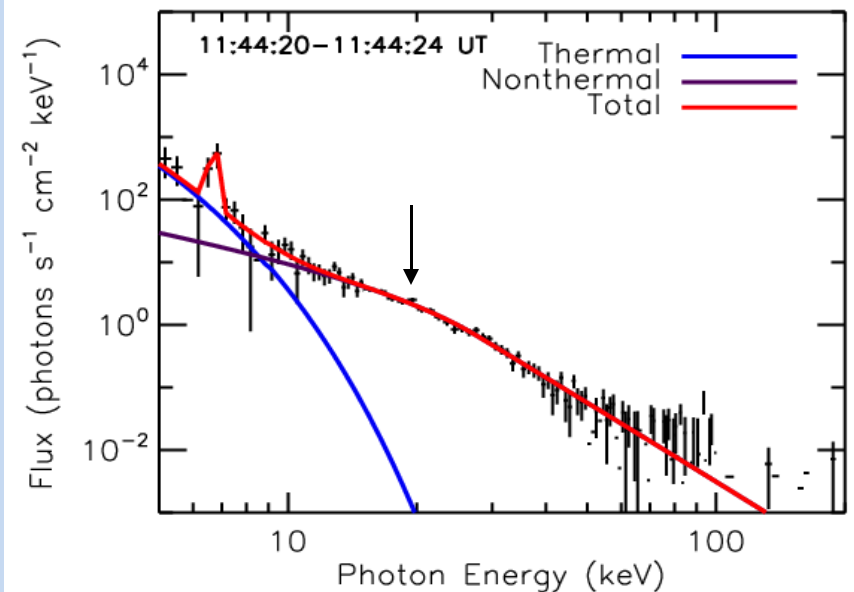
Dobry przypadek – impuls HXR pojawia się przed wzrostem SXR – mało gorącej plazmy, która maskuje obcięcie w widmie nietmicznym



Obcięcie w widmie



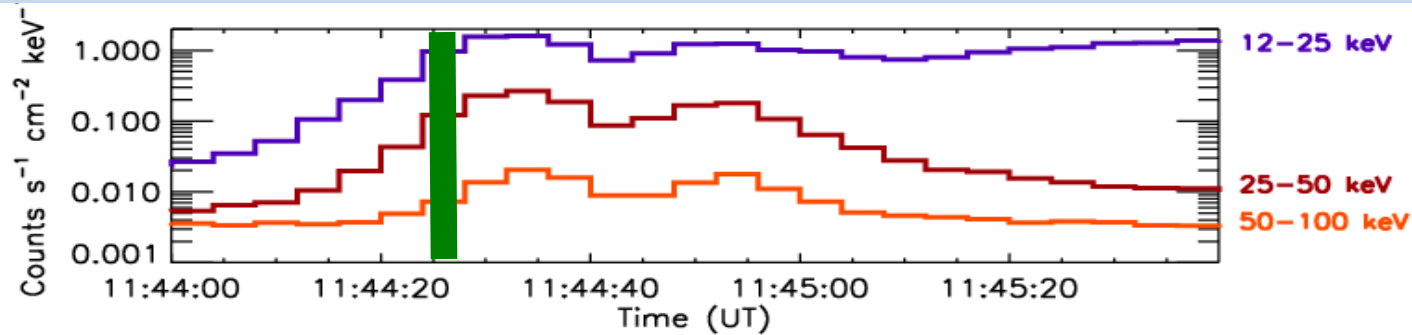
- składnik termiczny
- składnik nietermiczny
- linie Fe i Fe/Ni
- E_{cut} **28 keV**



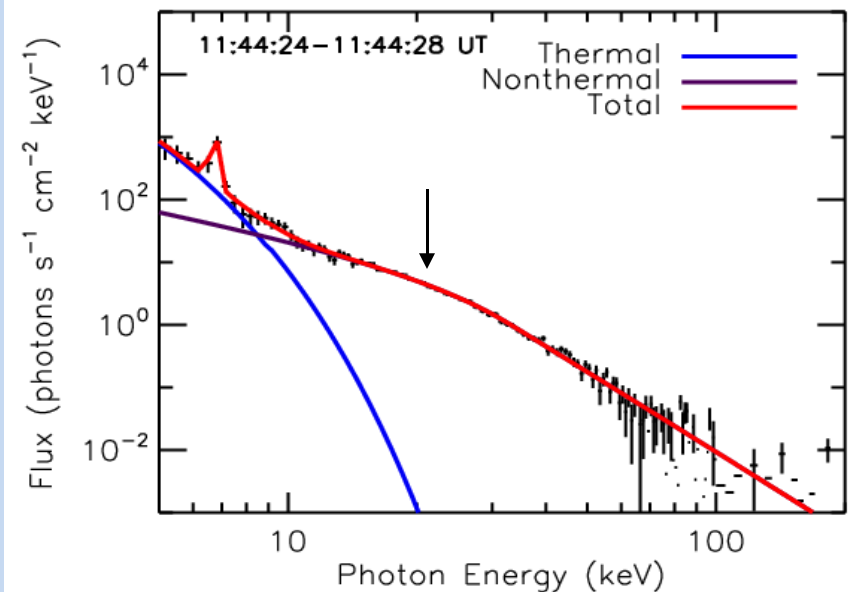
EM: $6e46 cm^{-3}$ T: 15 MK Indeks: 5.0



Obcięcie w widmie



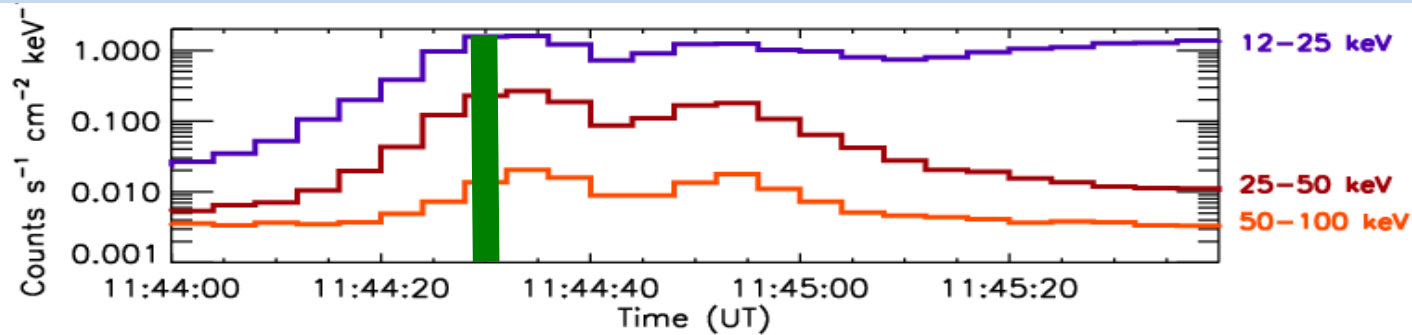
- składnik termiczny
- składnik nietermiczny
- linie Fe i Fe/Ni
- E_{cut} **33 keV**



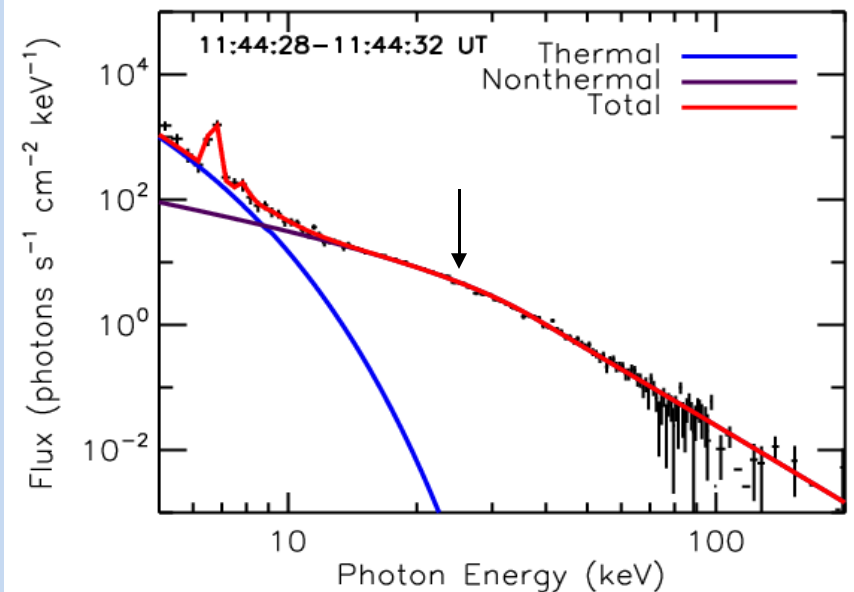
EM: $1.6e47 \text{ cm}^{-3}$ T: 15 MK Indeks: 5.0



Obcięcie w widmie



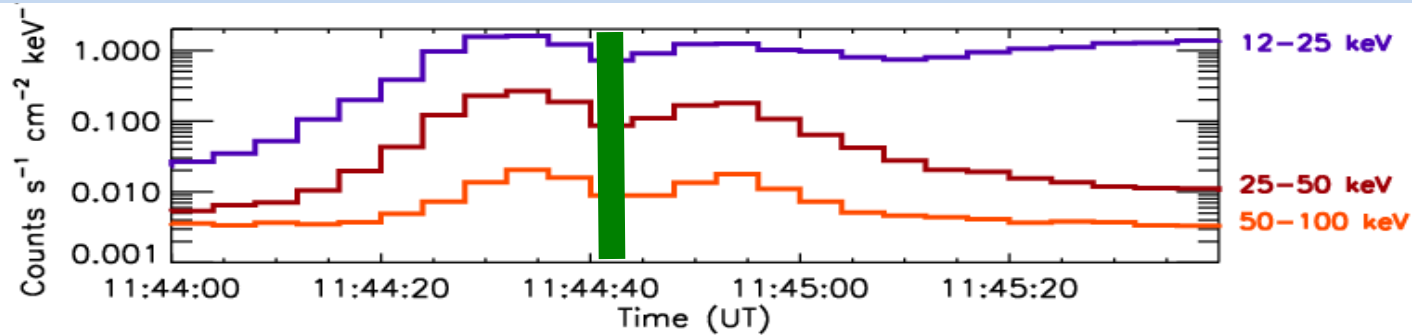
- składnik termiczny
- składnik nietermiczny
- linie Fe i Fe/Ni
- E_{cut} **38 keV**



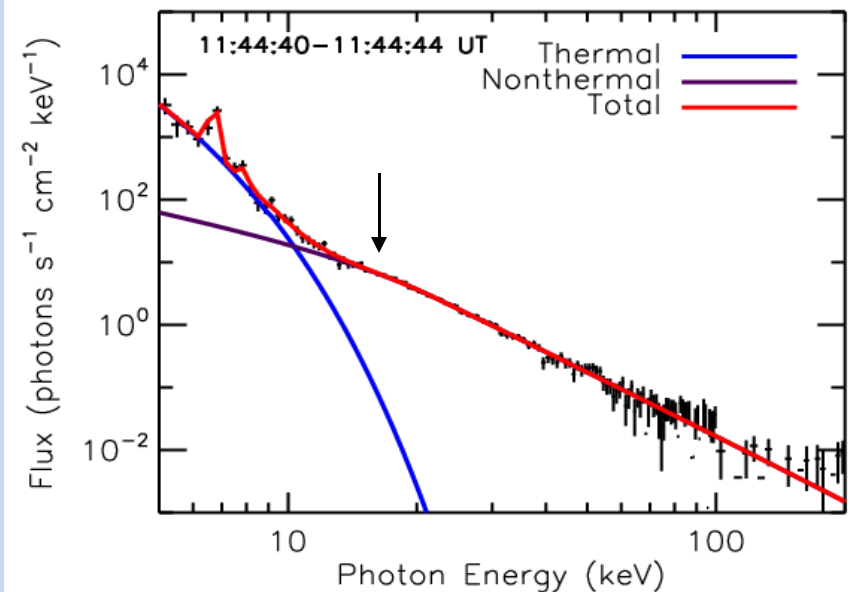
EM: $1.5e47 \text{ cm}^{-3}$ T: 17 MK Indeks: 4.8



Obcięcie w widmie



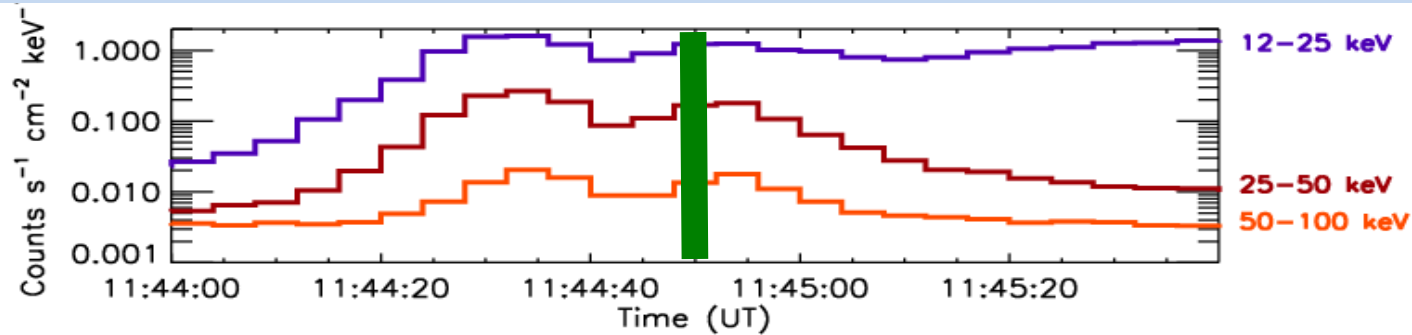
- składnik termiczny
- składnik nietermiczny
- linie Fe i Fe/Ni
- E_{cut} **23 keV**



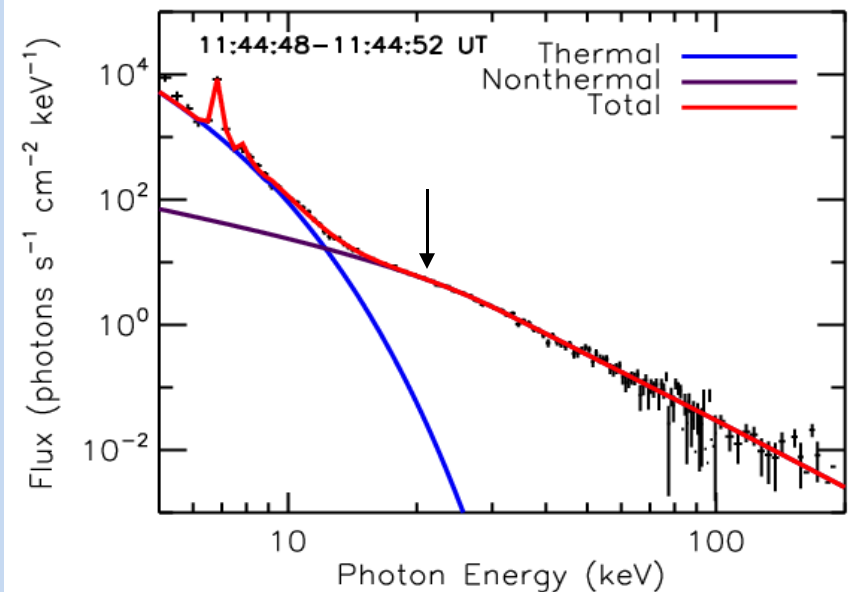
EM: $8e47 \text{ cm}^{-3}$ T: 14 MK Indeks: 4.2



Obcięcie w widmie



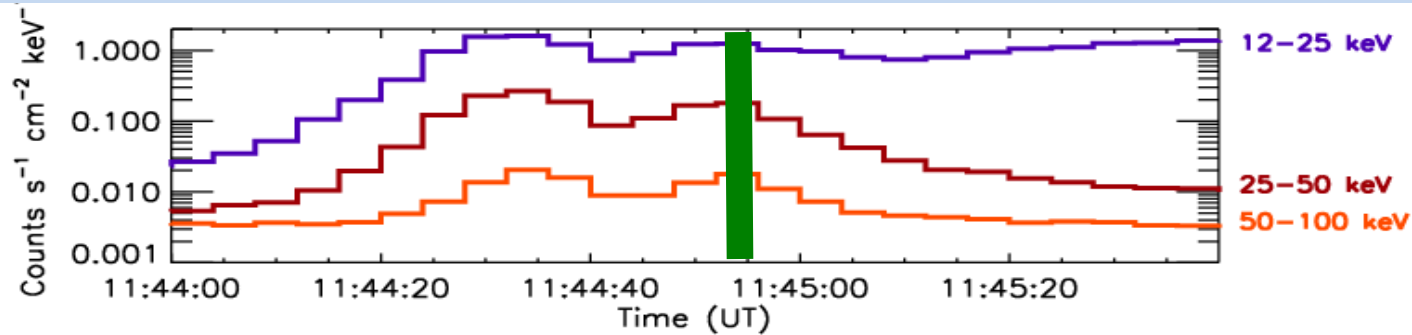
- składnik termiczny
- składnik nietermiczny
- linie Fe i Fe/Ni
- E_{cut} **32 keV**



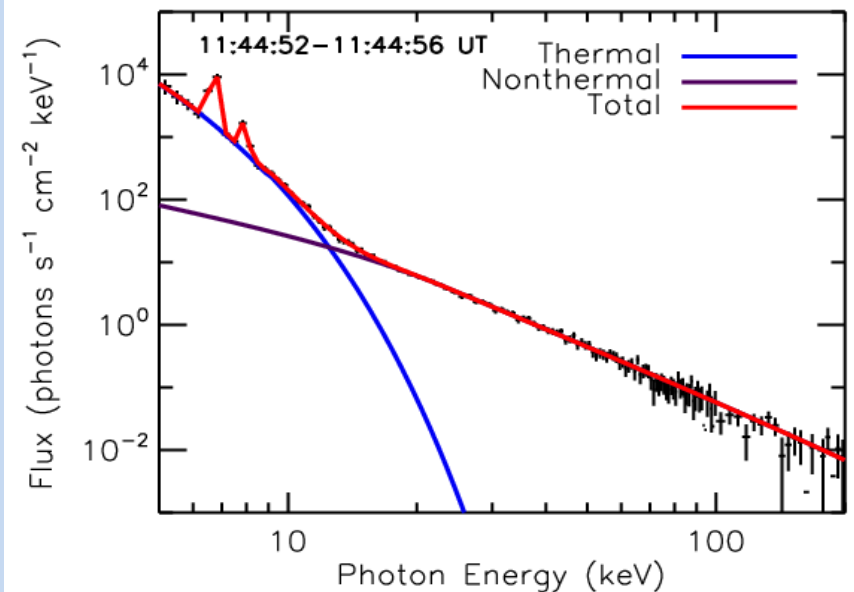
EM: $6e47 \text{ cm}^{-3}$ T: 17 MK Indeks: 4.3



Obcięcie w widmie



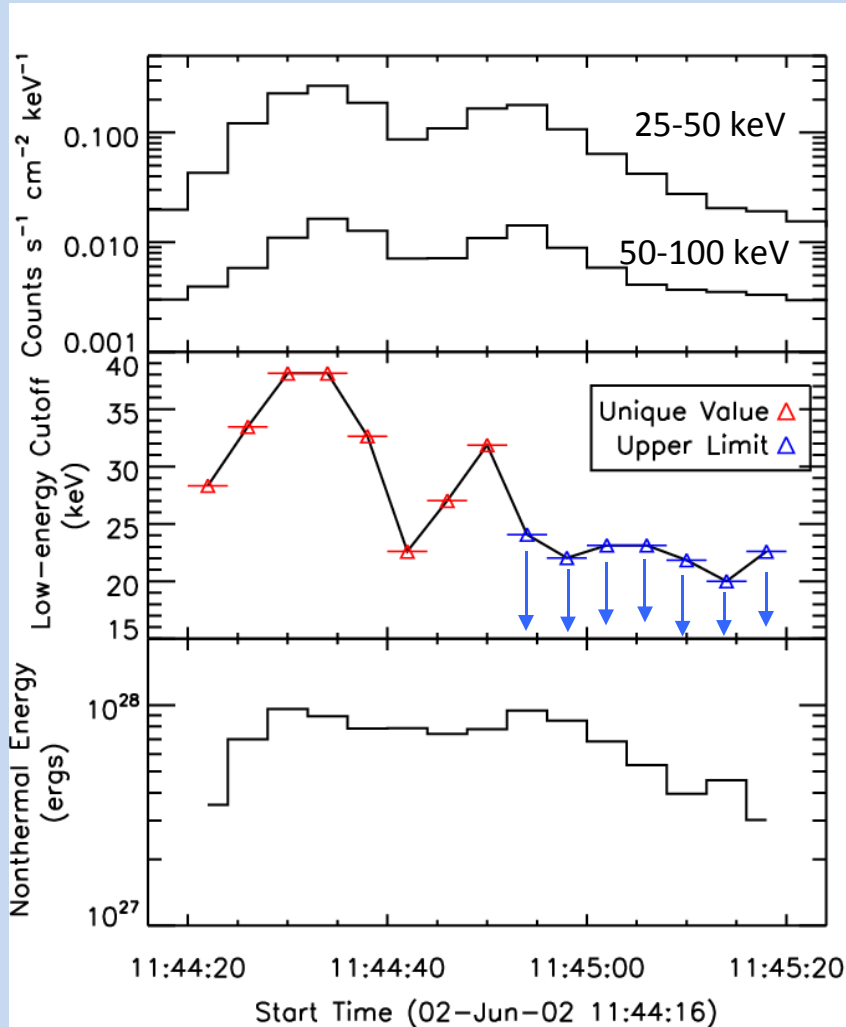
- składnik termiczny
- składnik nietermiczny
- linie Fe i Fe/Ni
- E_{cut} **24 keV** (dolne ograniczenie)



EM: $9e46 \text{ cm}^{-3}$ T: 17 MK Indeks: 3.7



Obcięcie w widmie

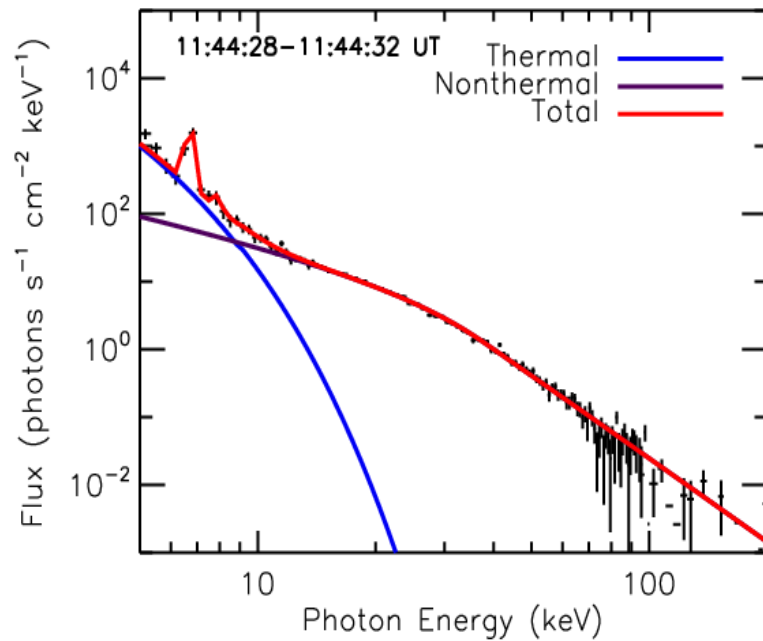


- Korelacja między strumieniem HXR i E_{cut}
- $E_{\text{Nth}} < E_{\text{Th}}$
 10^{29} erg 4×10^{30} erg



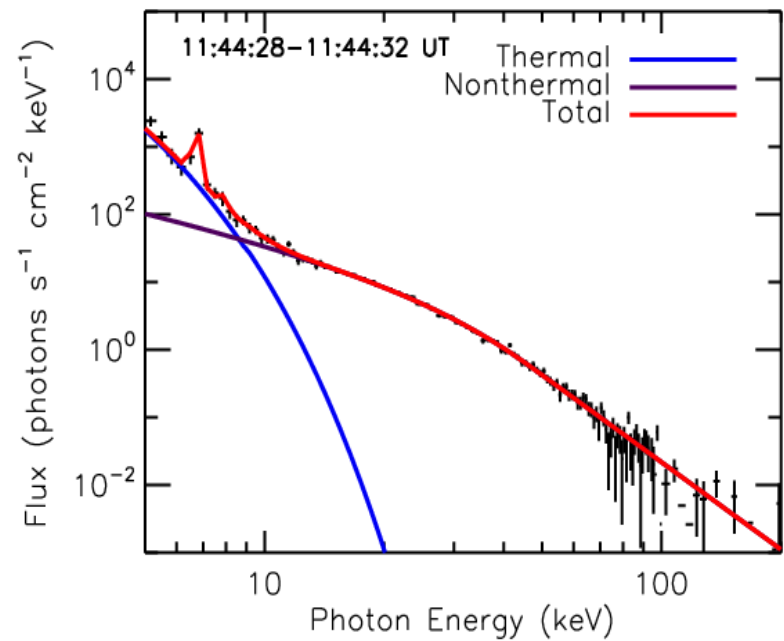
Rodzaj obcięcia w widmie

Sharp Cutoff



$$E_{\text{cut}} = 38 \text{ keV}$$

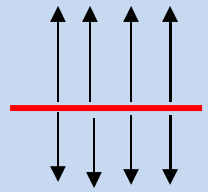
Flat cutoff



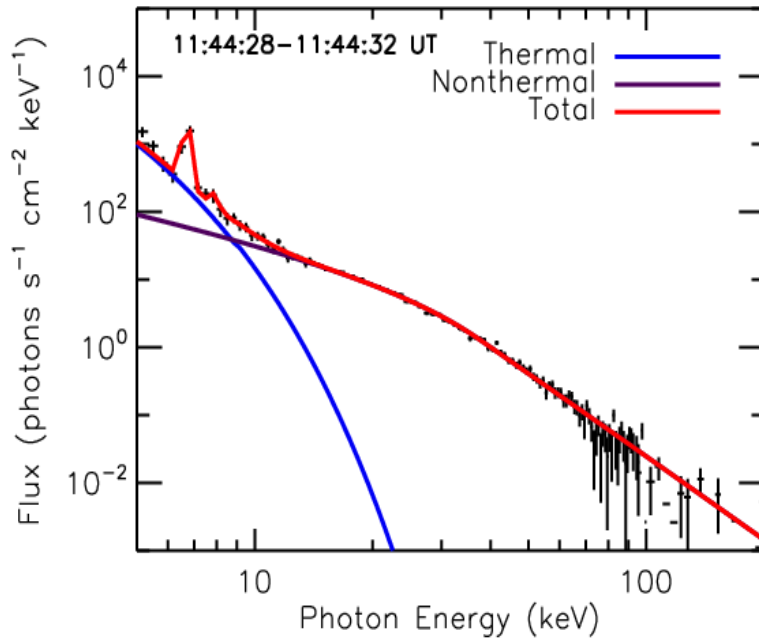
$$E_{\text{cut}} = 51 \text{ keV}$$



Albedo fotosferyczne

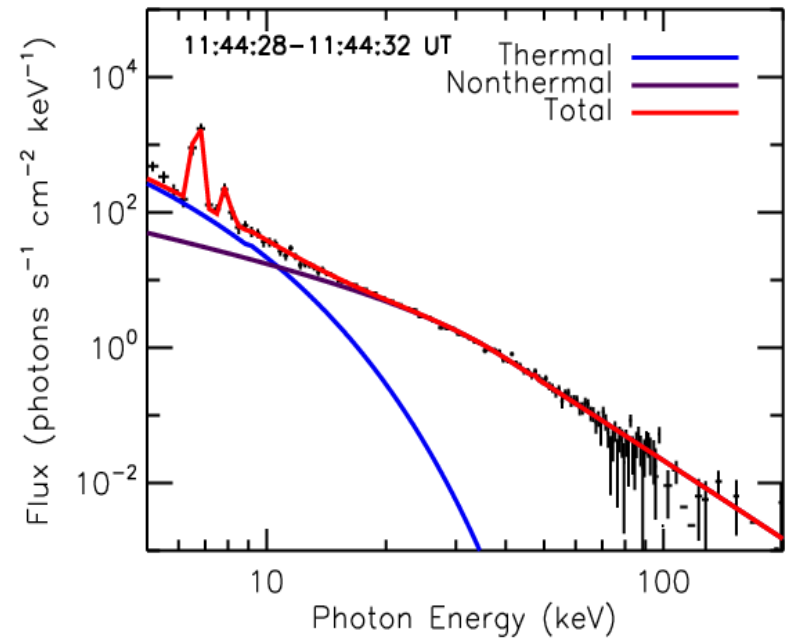


bez poprawki



$E_{\text{cut}} = 38 \text{ keV}$

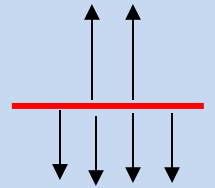
poprawione



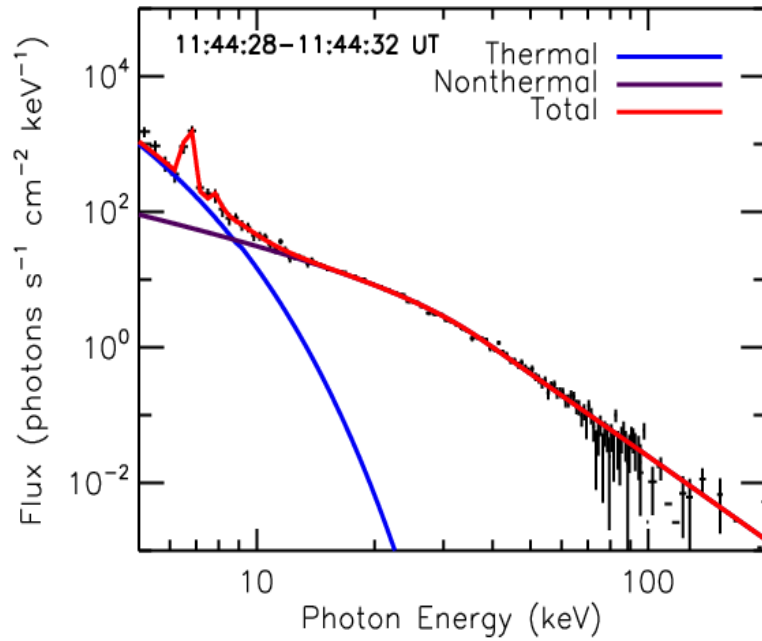
$E_{\text{cut}} = 40 \text{ keV}$



Albedo fotosferyczne

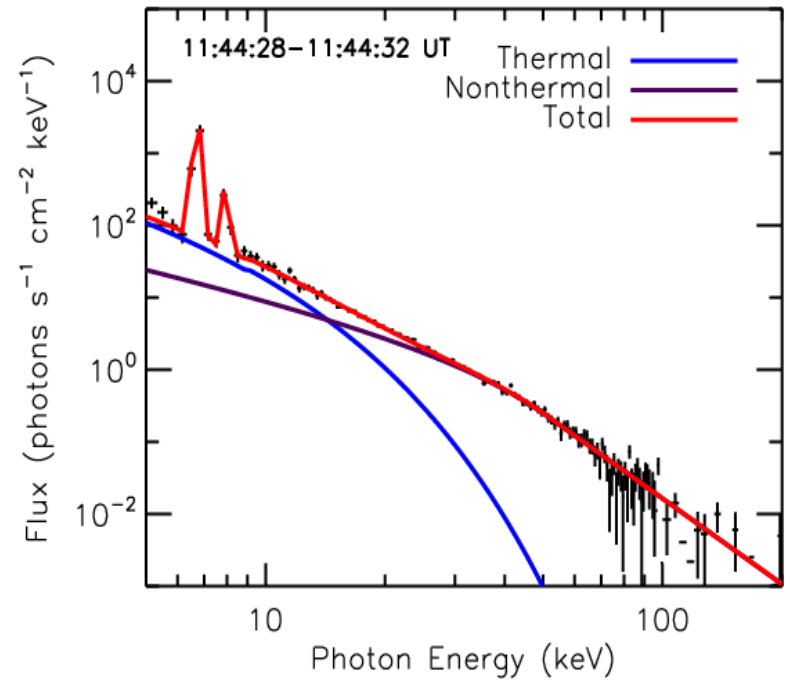


bez poprawki



$E_{\text{cut}} = 38 \text{ keV}$

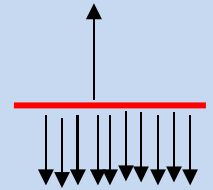
poprawione



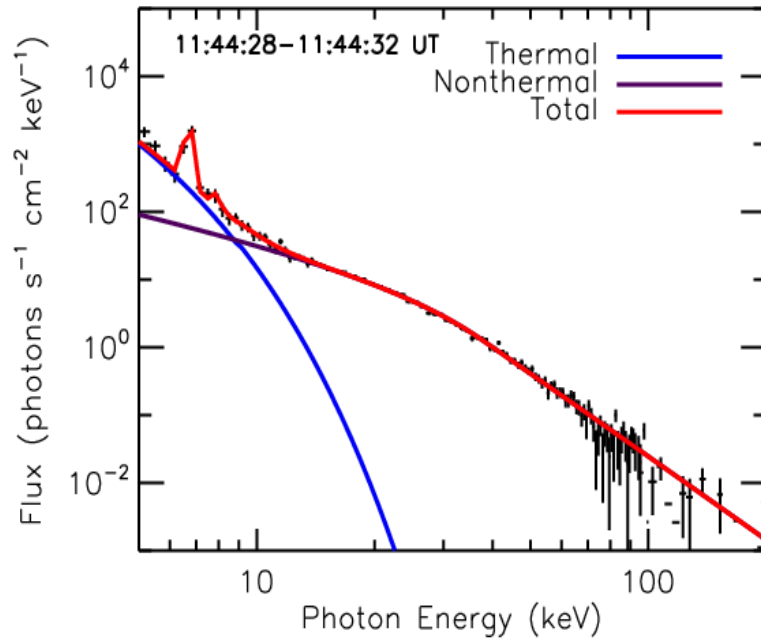
$E_{\text{cut}} = 52 \text{ keV}$



Albedo fotosferyczne

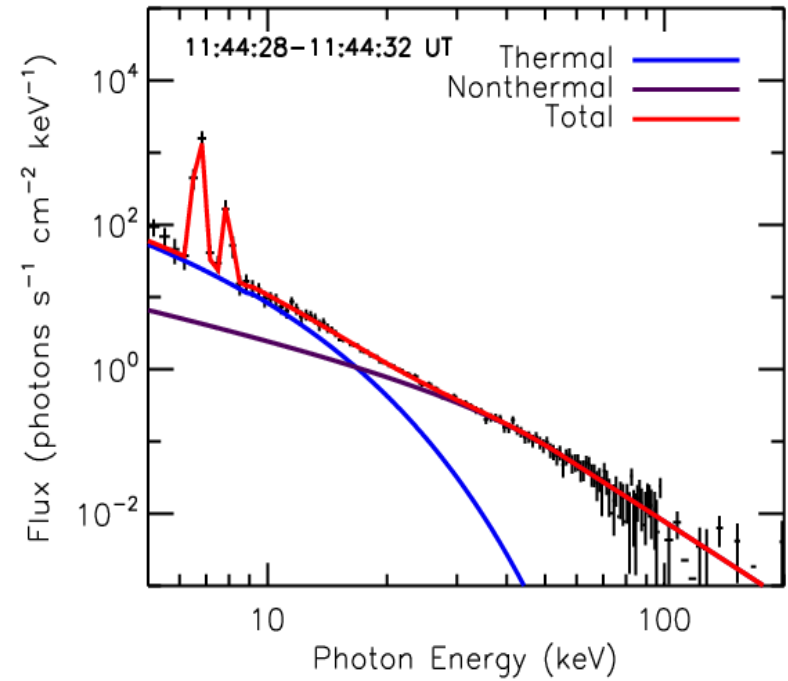


bez poprawki



$E_{\text{cut}} = 38 \text{ keV}$

poprawione



$E_{\text{cut}} = 56 \text{ keV}$



A jeśli jest już dużo gorącej plazmy?

The determination of the total injected power
in solar flare electrons

G.A. Emslie 2003

ApJ 595, L119

Z modelu grubej tarczy:

$$F_0(E_0) = -\frac{\bar{n}V}{A} K \frac{d}{dE} \left[\frac{\bar{F}(E)}{E} g(E) \right]_{E=E_0} .$$

$\bar{F}(E)$ – średnie widmo elektronowe

$F_0(E_0)$ – widmo wstrzelonej wiązki

$g(E) = G(E)/G_c(E)$



Emslie 2003

zakładając widmo potęgowe $F(E)=CE^{-\delta}$
otrzymujemy:

$$F_1 = \frac{\bar{n}V}{A} KC \left[E_1^{-\delta} g(E_1) + \int_{E_1}^{\infty} E^{-\delta-1} g(E) dE \right]$$

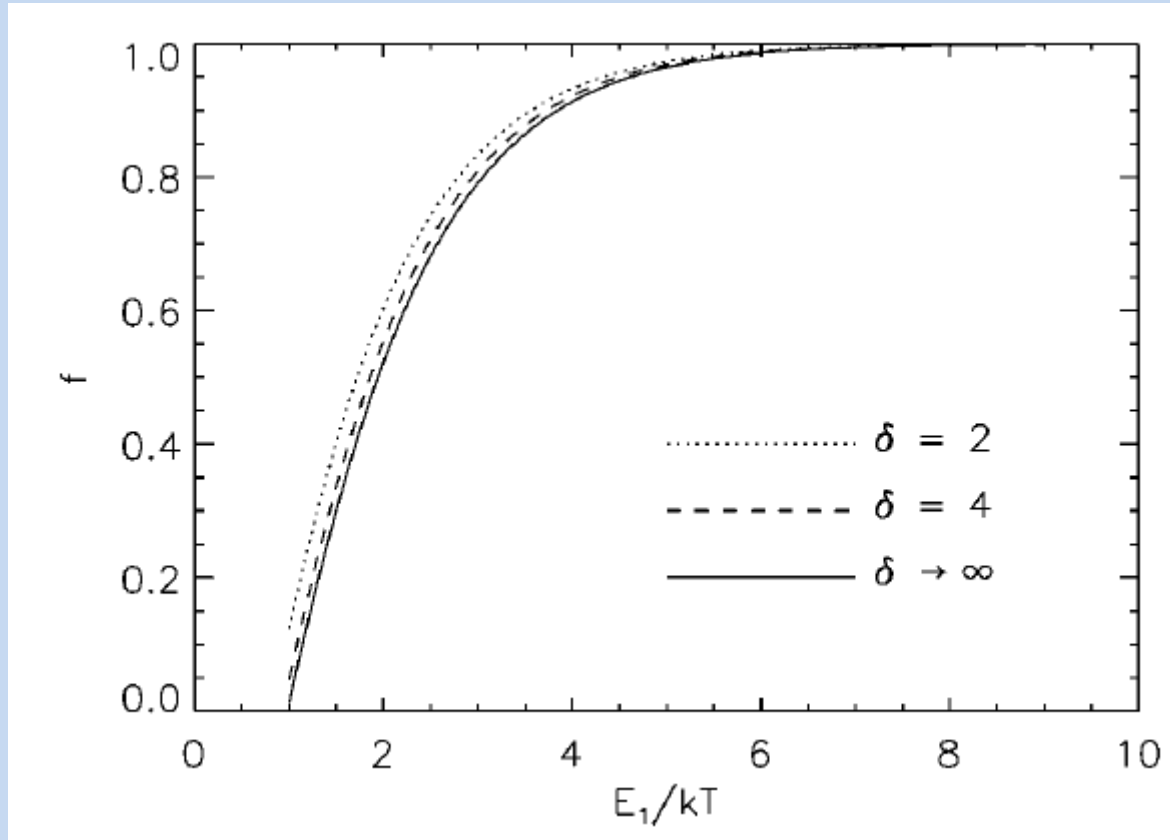
podstawiając $x=E_1/E$:

$$f(E_1; \delta) = \frac{\delta}{\delta + 1} \left[g(E_1) + \int_0^1 x^{\delta-1} g(E_1/x) dx \right]$$

stosunek rzeczywistego strumienia energii do strumienia uzyskanego dla „zimnej tarczy”



Emslie 2003



- ❑ „zimna tarcza” dla $E_1/kT > 5$
- ❑ dla $E_1/kT < 5$ jest wyraźna redukcja strumienia energii elektronów w porównaniu do zimnej tarczy
- ❑ dla $E_1/kT < 1$ stosunek jest ujemny – cząstka pobiera energię z tarczy



Emslie 2003

Całkowita moc wstrzelonej wiązki:

$$P_{\text{tot}} = \bar{n}VKC \int_{0.98kT}^{\infty} E_0^{-\delta-1} g_{\text{th}}(E_0) dE_0$$

- $g_{\text{th}}(E)$ – zależność strat energetycznych w funkcji T w stosunku do strat w całkowicie zjonizowanej zimnej tarczy
- $0.98kT$ odpowiada $g(E_1)=0$. Ta wartość nie jest arbitralnie przyjęta – wynika wprost z analizy fizyki strat energii elektronów w tarczy.
- nVC może być uzyskane wprost z obserwacji (Brown i in. 2003, ApJ 595, L115)

a więc P_{tot} może być uzyskane wprost z widma fotonowego



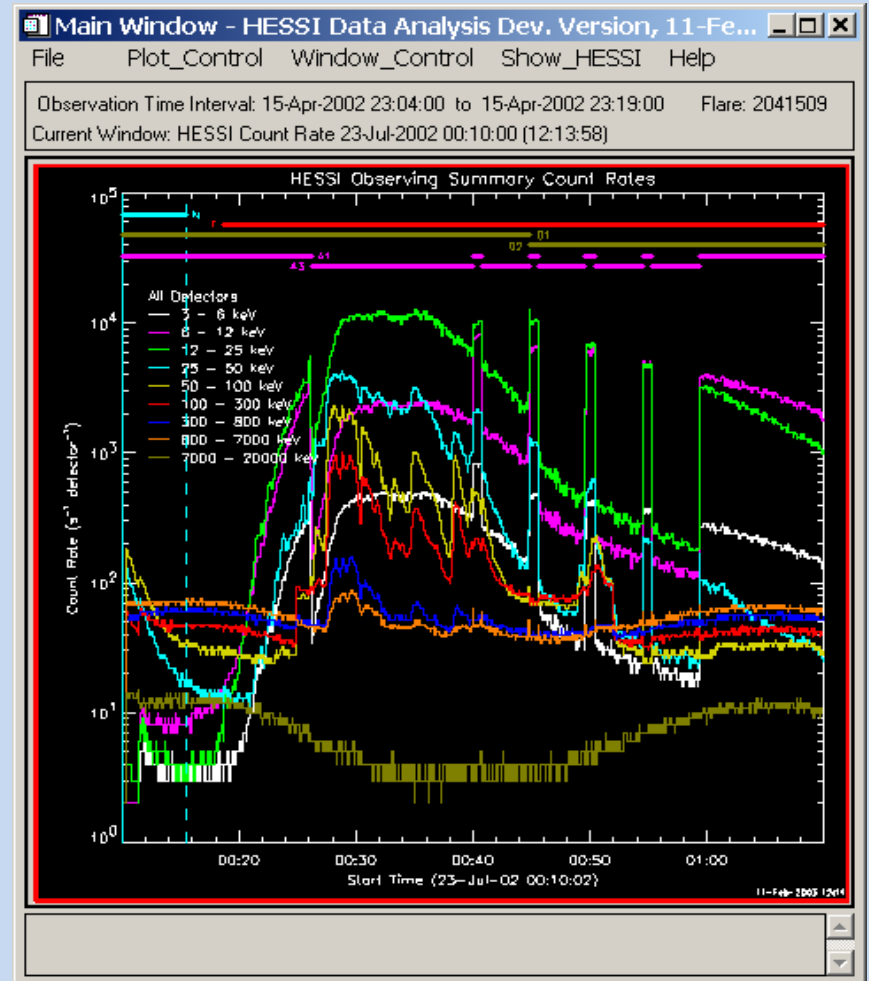
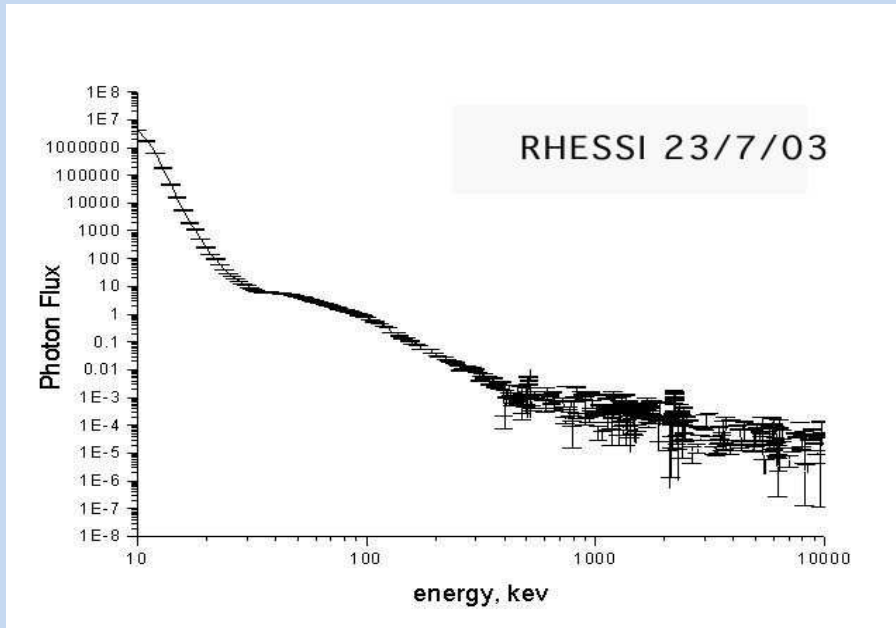
Lin i in. 2003

RHESSI OBSERVATIONS OF PARTICLE ACCELERATION AND ENERGY RELEASE IN AN INTENSE SOLAR

GAMMA-RAY LINE FLARE

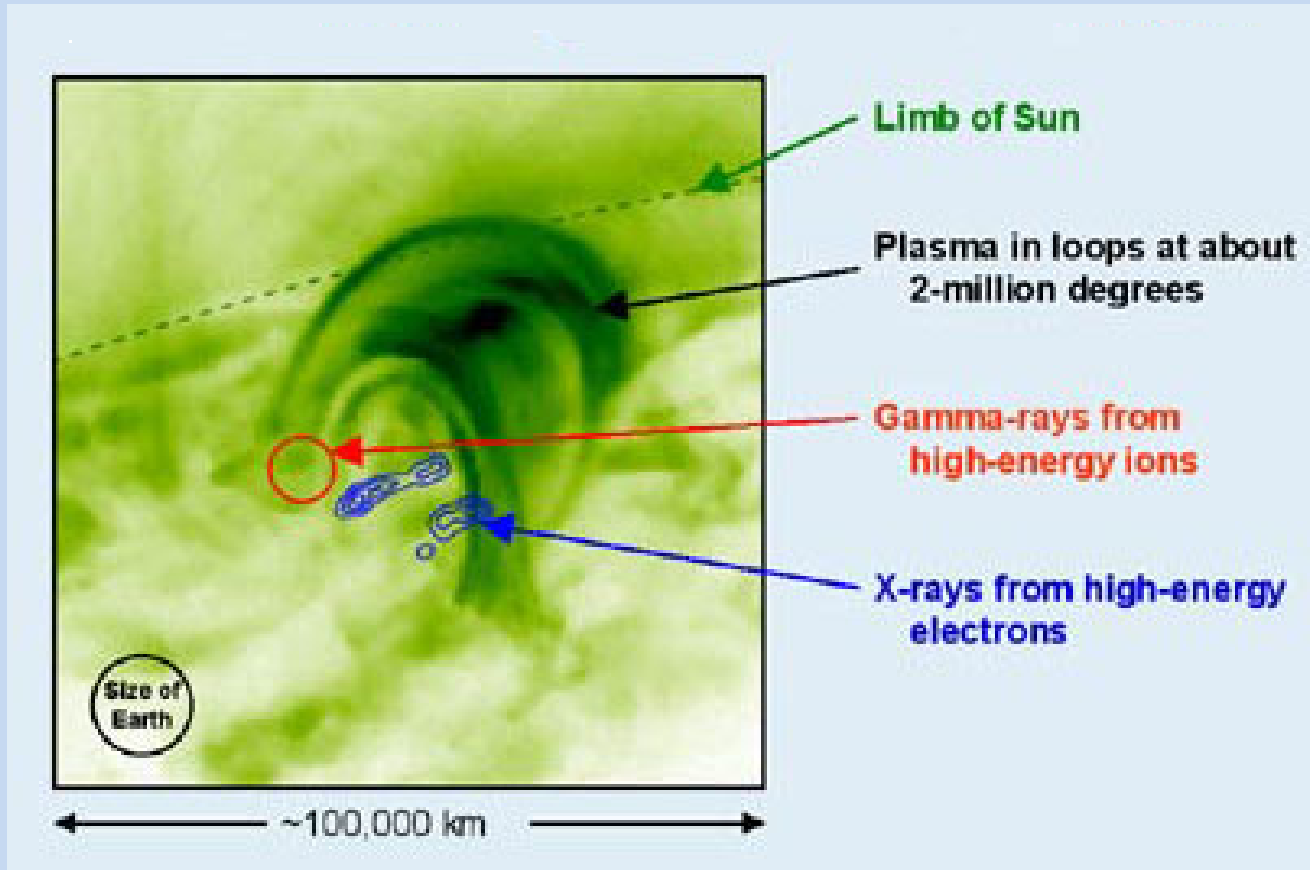
R.P. Lin i in. 2003

ApJ 595, L69





Lin i in. 2003



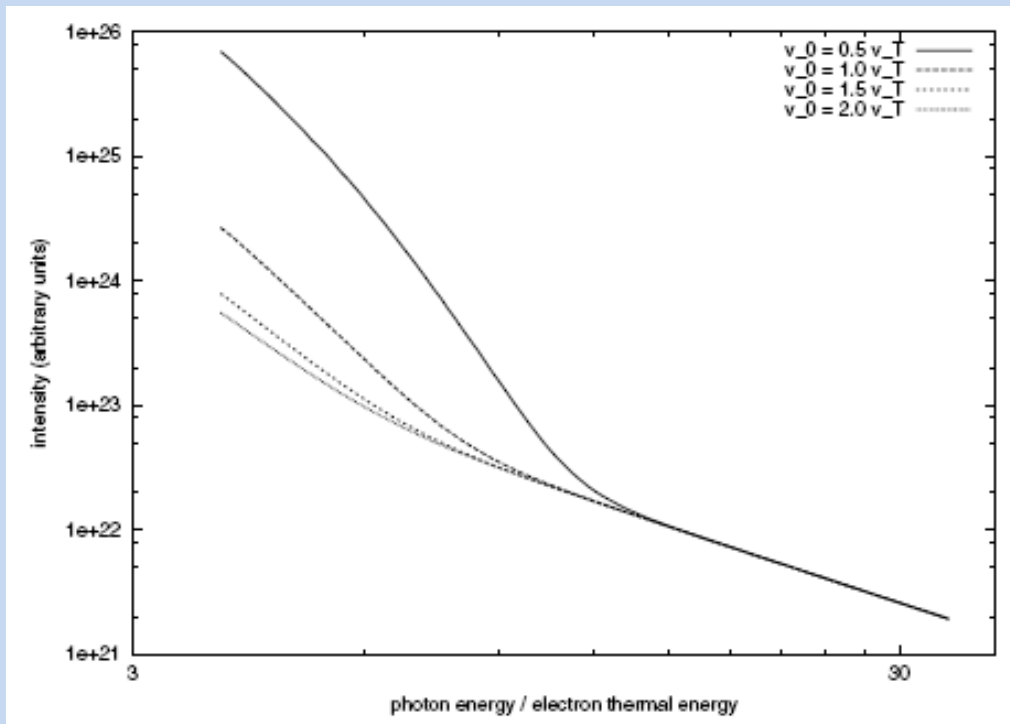
Stosując metodę zaproponowaną przez Emslie'go autorzy otrzymali $E_{\text{nth}} \sim 4 \times 10^{34}$ erg !!



Galloway i in. 2005

Fast electron slowing-down and diffusion in
a high temperature coronal X-ray source

R.K. Galloway, A.L. MacKinnon,
E.P. Kontar i P.Helander 2005,
A&A 438, 1107



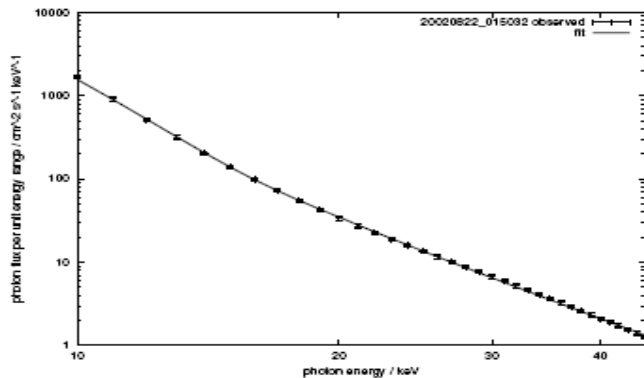
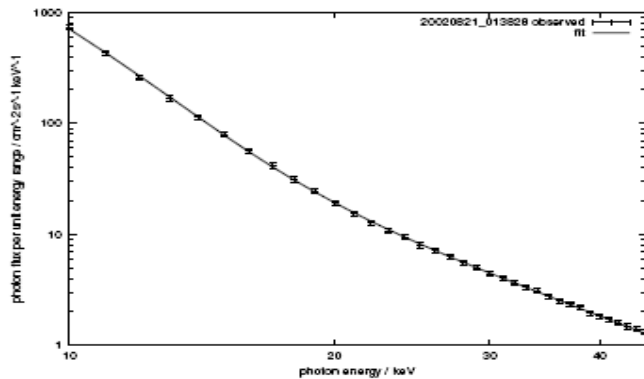
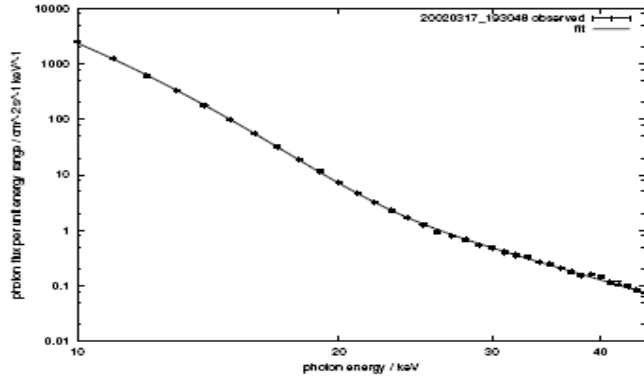
Równanie Fokkera-Plancka

Wstrzeliwanie wiązki w
„gorącą tarczę”

Dokładniejsza (od Emslie’go)
analiza dla niskich energii



Galloway i in. 2005



Flare	ν_0	T_e (MK)	δ	E_{tot} (J)
2002/03/17	1.18	21.2	6.30	3.94×10^{25}
2002/08/21	2.66	29.7	4.86	2.84×10^{23}
2002/08/22	2.90	25.0	5.69	9.07×10^{23}

Flare	ν_0	T_e (MK)	δ	E_{tot} (J)
2002/03/17	3.10	22.0	6.41	1.45×10^{24}
2002/08/21	1.93	29.8	4.98	1.61×10^{23}
2002/08/22	3.16	25.2	5.91	6.05×10^{23}

Galloway

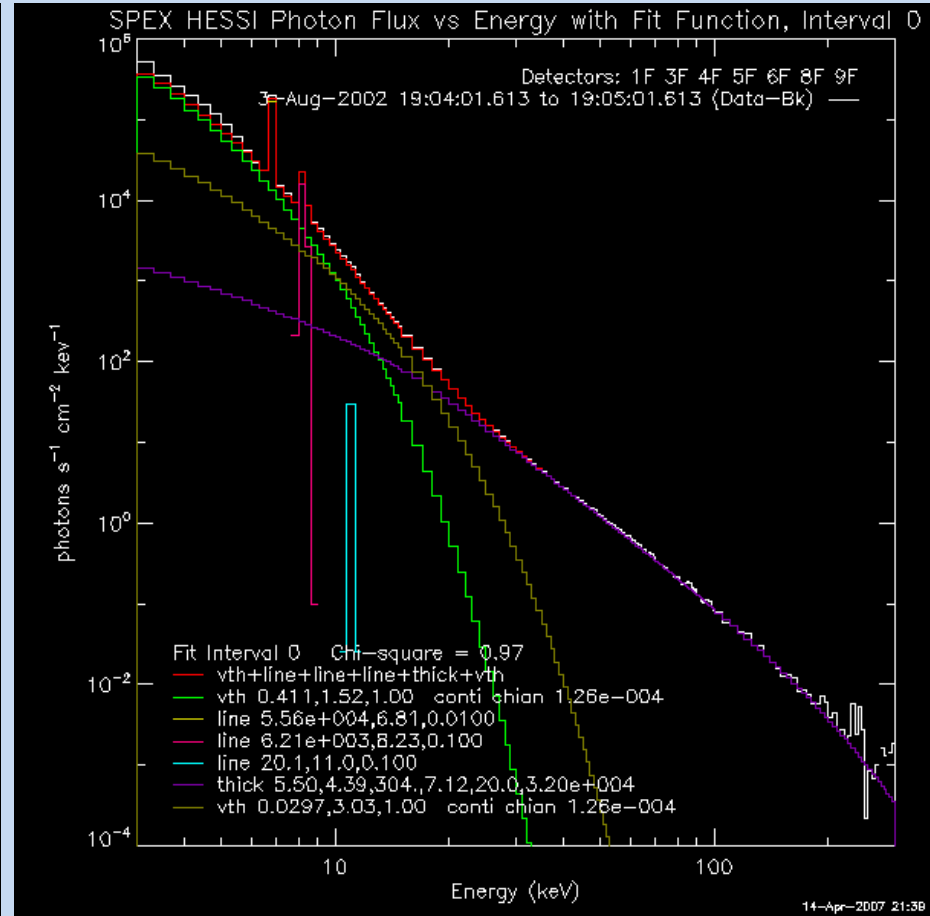
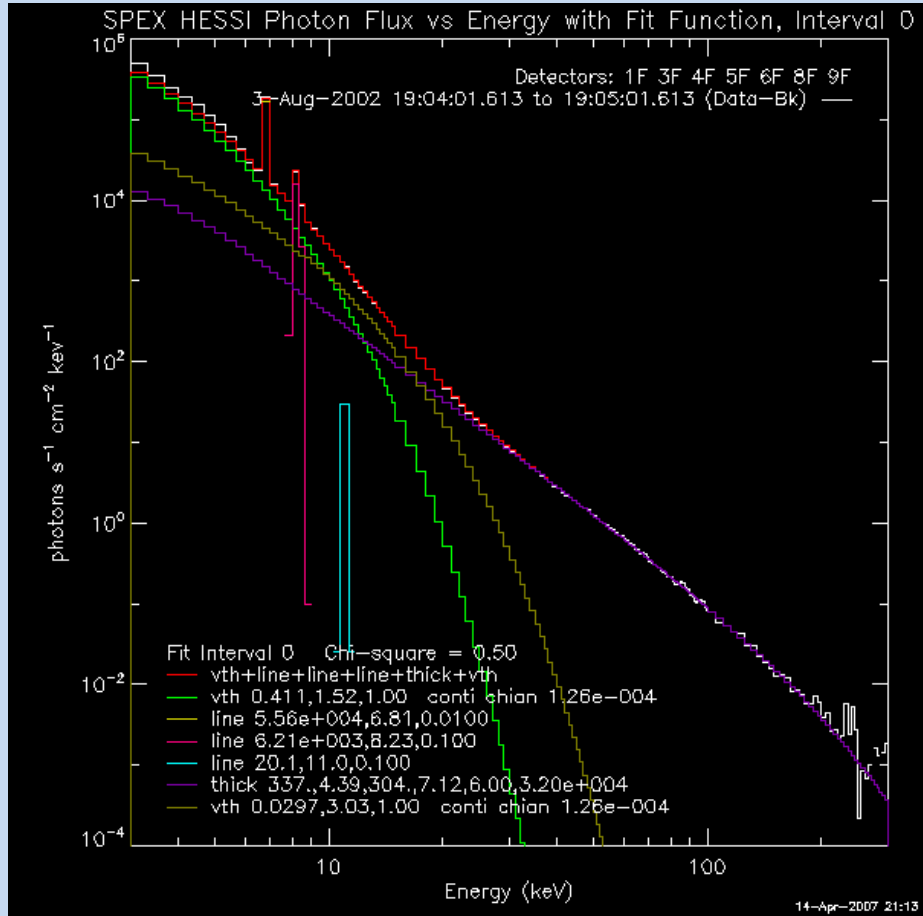
OSPEX
TH+NTH

Zaskakująco niska temperatura dla rozbłysku z 17 marca

Niskie wartości energii obcięcia, ale w porównaniu z Emslie energia nietermiczna rośnie o nieco ponad rząd wartości.



Rozbłysk Kolumba





Podsumowanie

Wyznaczanie E_{cut} jest bardzo niejednoznaczne a jednocześnie ma decydujący wpływ na bilans energetyczny rozbłysku.

Dobre wyznaczenie E_{cut} jest możliwe tylko jeśli pojawia się ona w obszarze widma zdominowanym przez emisję nietermiczną (ponad kilkanaście keV). Jednak wtedy pojawia się kilka dodatkowych efektów modyfikujących kształt widma.

W przypadkach kiedy obserwujemy dużo gorącej plazmy można zrezygnować z E_{cut} i stosować przybliżenie uzyskane przez Emslie'go dla gorącej tarczy.

Potrzebne są dobre widma dla poszczególnych źródeł.

KONIEC