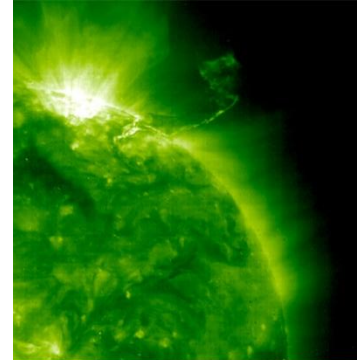
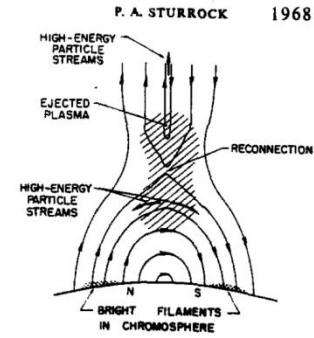
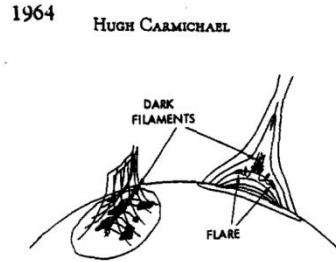
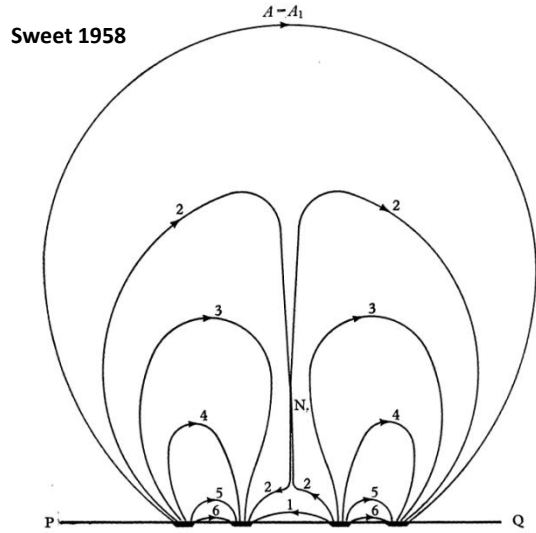


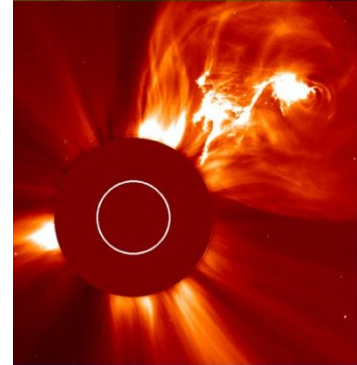
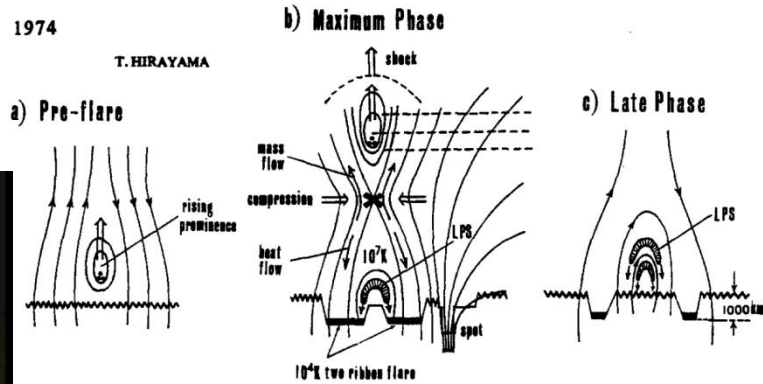
# **Zatrzymana erupcja rury magnetycznej – modele i obserwacje**

# Rozbłyски i erupcje



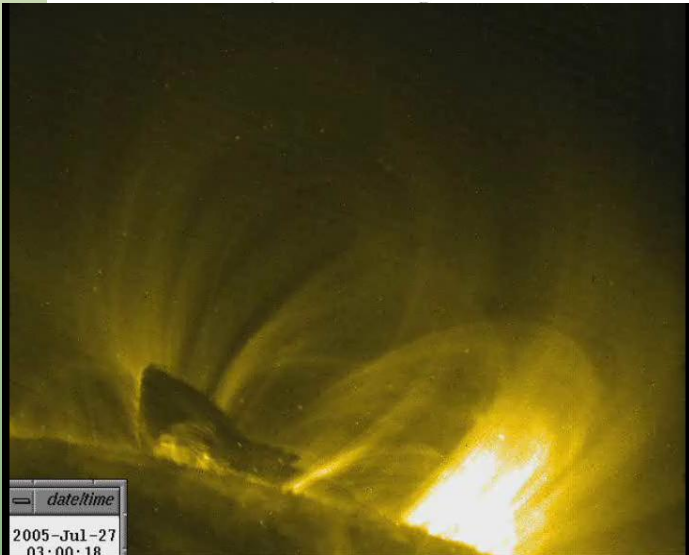
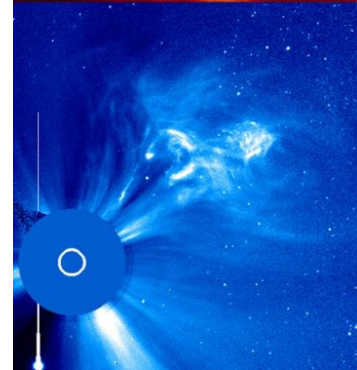
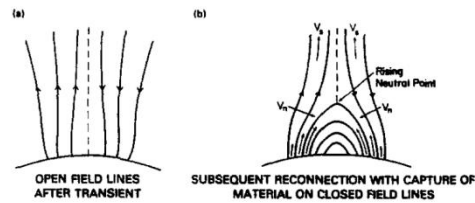
1974

T. HIRAYAMA



R. A. KOPP AND G. W. PNEUMAN

1976



# Rozbłyски i erupcje

Gilbert, H.R. i in. 2007, Sol. Phys., 245,287

## Typy erupcji

Całkowita	Większość masy włókna (>90%) i struktury magnetycznej ucieka w przestrzeń międzyplanetarną
Częściowa	a) Cała struktura magnetyczna ulega erupcji unosząc niewielką część masy (efekt spływania materii) b) Część struktury magnetycznej ulega erupcji wraz z niewielką ilością masy
Zatrzymana	Żadna część struktury magnetycznej i masy, które uległy erupcji, nie ucieka w przestrzeń międzyplanetarną

# Rozbłyski i CME

% rozbłysków stowarzyszonych z CME:

Kahler, S.W. i in. 1989, ApJ, 344, 1026

długotrwałe są częściej stowarzyszone z CME

Harrison, R.A. 1995, A&A, 304, 585

klasa: B – X 7% – 100%

długość: 1 – 6 godzin 6% – 50%

Andrews, M.D. 2003, Sol. Phys., 218,261  
(229 zjawisk)

klasa: M – X 55% – 100%

Yashiro, S. i in. 2005, J. Geoph. Res., 110  
(1301 zjawisk)

klasa: C 16% – 25%

M 42% – 55%

X 90% – 92%

Nawet silne rozbłyski mogą pojawiać się bez CME

# Rozbłyski i CME

Wang, Y. i Zhang J. 2008, ApJ, 665, 1428

lata 1996-2004: 104 rozbłyski klasy X

rozbłysk bez CME – jeżeli do 30 minut przed i po początku rozbłysku nie zaobserwowano CME

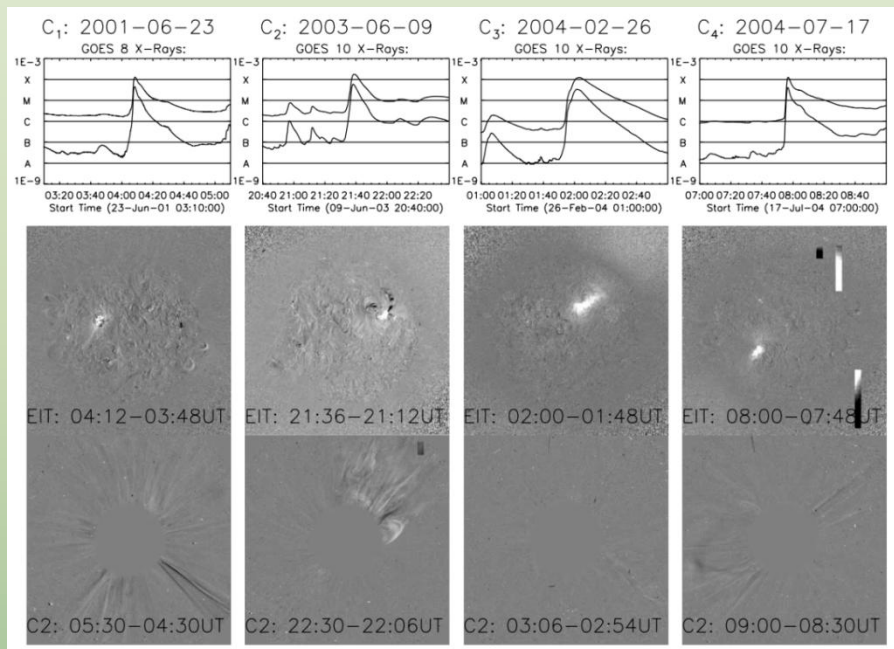
znaleziono 11 rozbłysków klasy X bez CME (11%)

No.	Label	Date	Beginning (UT)	$T_R^a$ (minutes)	$T_D^b$ (minutes)	Class	Location	NOAA AR	CME $V$ /Width <sup>c</sup>	Comment
Confined Flares										
1.....	...	2000 Jun 6	13:30	9.0	7.0	X1.1	N20, E18	9026	...	Contained by a preceding and a following M-class flare (Y)
2.....	...	2000 Sep 30	23:13	8.0	7.0	X1.2	N07, W91	9169	...	Limb event (G, Y)
3.....	...	2001 Apr 2	10:04	10.0	6.0	X1.4	N17, W60	9393	...	Contained by a preceding eruptive flare (Y)
4.....	C <sub>1</sub>	2001 Jun 23	04:02	6.0	3.0	X1.2	N10, E23	9511	...	(Y)
5.....	C <sub>2</sub>	2003 Jun 9	21:31	8.0	4.0	X1.7	N12, W33	10374	...	
6.....	C <sub>3</sub>	2004 Feb 26	01:50	13.0	7.0	X1.1	N14, W14	10564	...	
7.....	...	2004 Jul 15	18:15	9.0	4.0	X1.6	S11, E45	10649	...	
8.....	...	2004 Jul 16	01:43	23.0	6.0	X1.3	S11, E41	10649	...	
9.....	...	2004 Jul 16	10:32	9.0	5.0	X1.1	S10, E36	10649	...	
10.....	...	2004 Jul 16	13:49	6.0	6.0	X3.6	S10, E35	10649	...	
11.....	C <sub>4</sub>	2004 Jul 17	07:51	6.0	2.0	X1.0	S11, E24	10649	...	Events 7–11 all from the same AR
Eruptive Flares										
1.....	E <sub>1</sub>	1998 May 2	13:31	11.0	9.0	X1.1	S15, W15	8210	936/halo	
2.....	E <sub>2</sub>	2000 Mar 2	08:20	8.0	3.0	X1.1	S18, W54	8882	776/62°	
3.....	E <sub>3</sub>	2000 Nov 24	04:55	7.0	6.0	X2.0	N19, W05	9236	1289/halo	
4.....	E <sub>4</sub>	2004 Oct 30	11:38	8.0	4.0	X1.2	N13, W25	10691	427/halo	

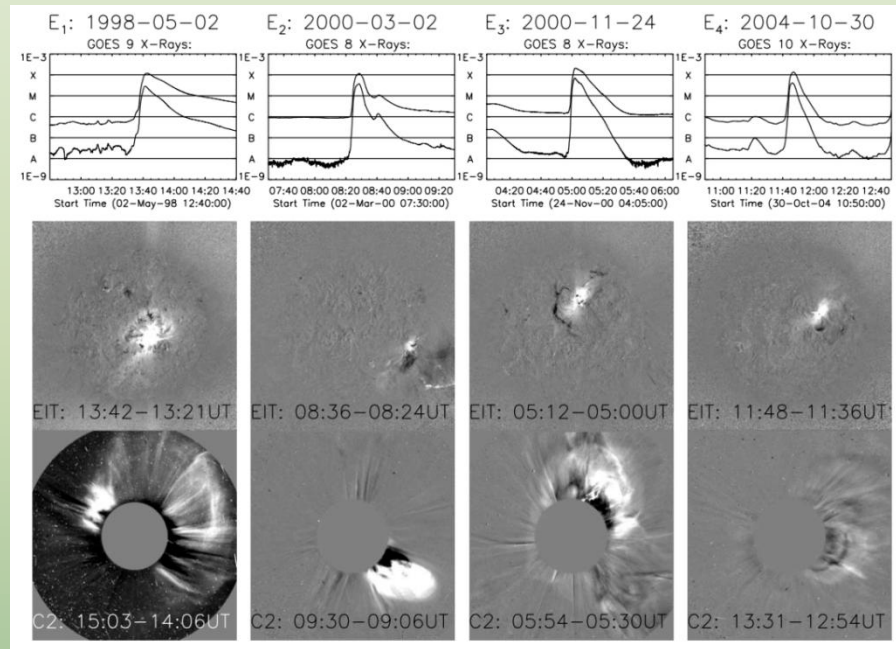
Do porównania wybrano rozbłyski stowarzyszone z CME :

- podobne czasy narastania i zaniku
- klasa od X1.0 do X2.0
- położenie od E60 do W60 (ze względu na MDI)

bez CME



z CME





26 II 2004 r.

biały: >50G, czarny: <-50G, szarości: wartości pośrednie

Określono położenie rozbłysku i obszaru aktywnego za pomocą centroidów liczonych na obrazach EIT i MDI

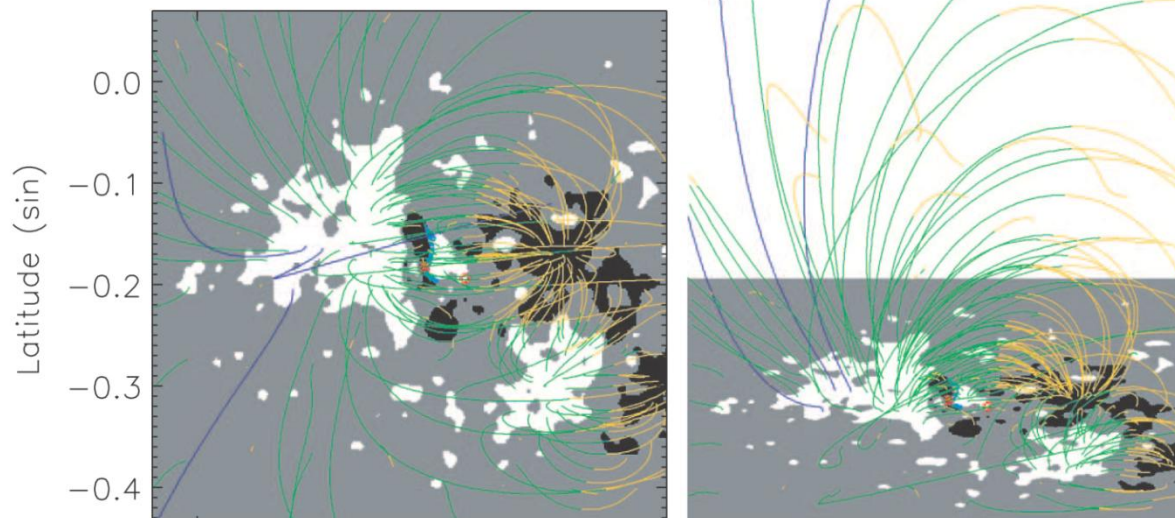
Rozbłyski bez CME są położone bliżej centrum obszaru aktywnego

Brak wyraźnych różnic w przypadku strumienia

Event	Date	Flux <sup>a</sup> (10 <sup>13</sup> Wb)	Distance <sup>b</sup> (Mm)
Confined Flares			
C <sub>1</sub> .....	2001 Jun 23	5	6
C <sub>2</sub> .....	2003 Jun 9	36	17
C <sub>3</sub> .....	2004 Feb 26	23	8
C <sub>4</sub> .....	2004 Jul 17	34	10
Eruptive Flares			
E <sub>1</sub> .....	1998 May 2	17	22
E <sub>2</sub> .....	2000 Mar 2	24	33
E <sub>3</sub> .....	2000 Nov 24	18	37
E <sub>4</sub> .....	2004 Oct 30	11	29

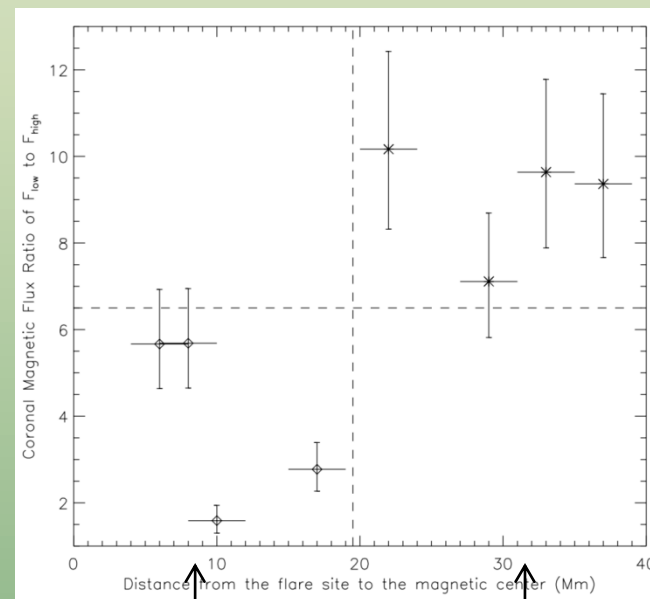


2004-07-17 Event



Uzyskane wyniki wskazują, że duży udział w powstrzymaniu erupcji może mieć silniejsze pole obecne w koronie (małe wartości  $F_l/F_h$ ) oraz położenie rozbłysku w obszarze aktywnym

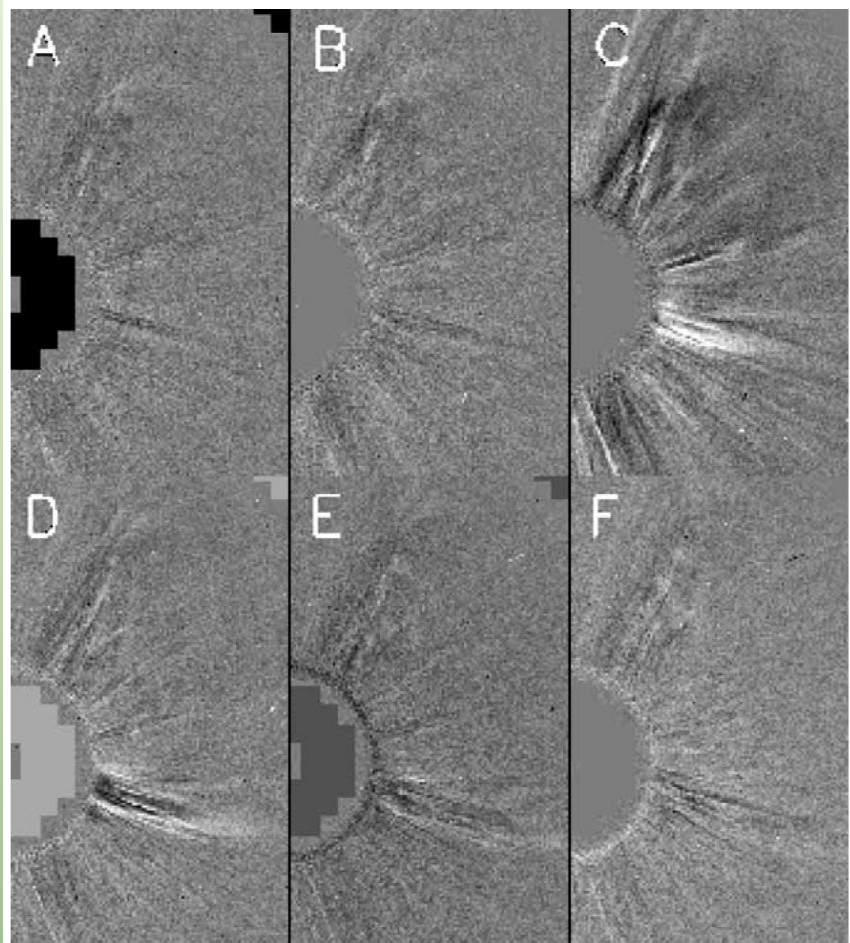
Event	Date	$F_{total}$ ( $10^{10}$ Wb Mm $^{-1}$ )	$F_{low}$ ( $10^{10}$ Wb Mm $^{-1}$ )	$F_{high}$ ( $10^{10}$ Wb Mm $^{-1}$ )	$F_{low}/F_{high}$
Confined Flares					
C <sub>1</sub> .....	2001 Jun 23	0.40	0.34	0.06	5.67
C <sub>2</sub> .....	2003 Jun 9	0.83	0.61	0.22	2.77
C <sub>3</sub> .....	2004 Feb 26	1.27	1.08	0.19	5.68
C <sub>4</sub> .....	2004 Jul 17	1.19	0.73	0.46	1.59
Eruptive Flares					
E <sub>1</sub> .....	1998 May 2	1.34	1.22	0.12	10.17
E <sub>2</sub> .....	2000 Mar 2	1.17	1.06	0.11	9.64
E <sub>3</sub> .....	2000 Nov 24	1.14	1.03	0.11	9.36
E <sub>4</sub> .....	2004 Oct 30	0.73	0.64	0.09	7.11



zatrzymane

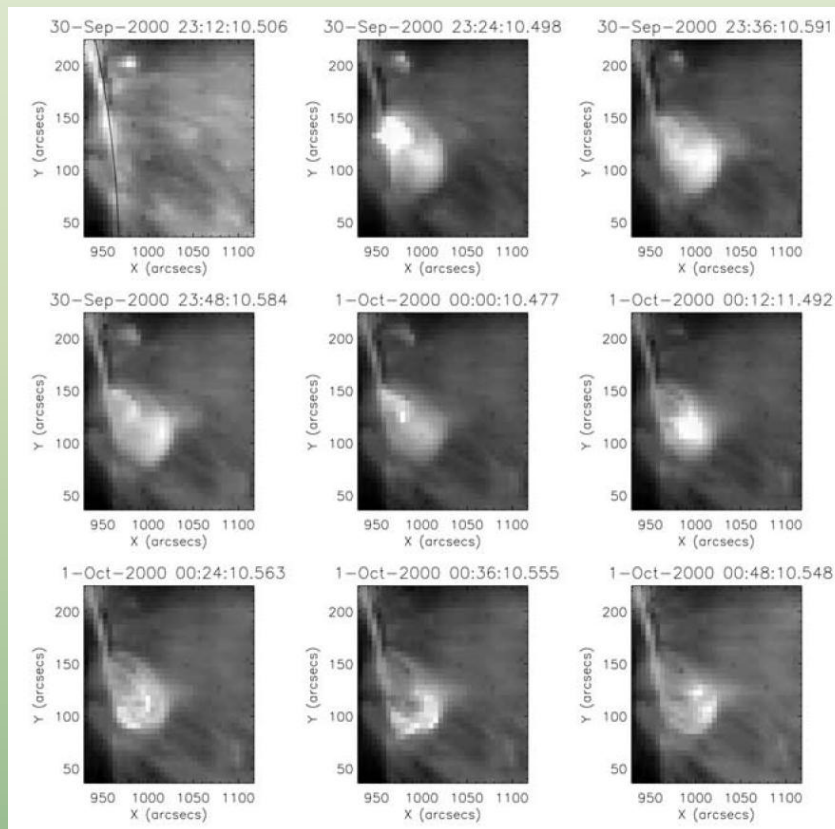
rozwinęte





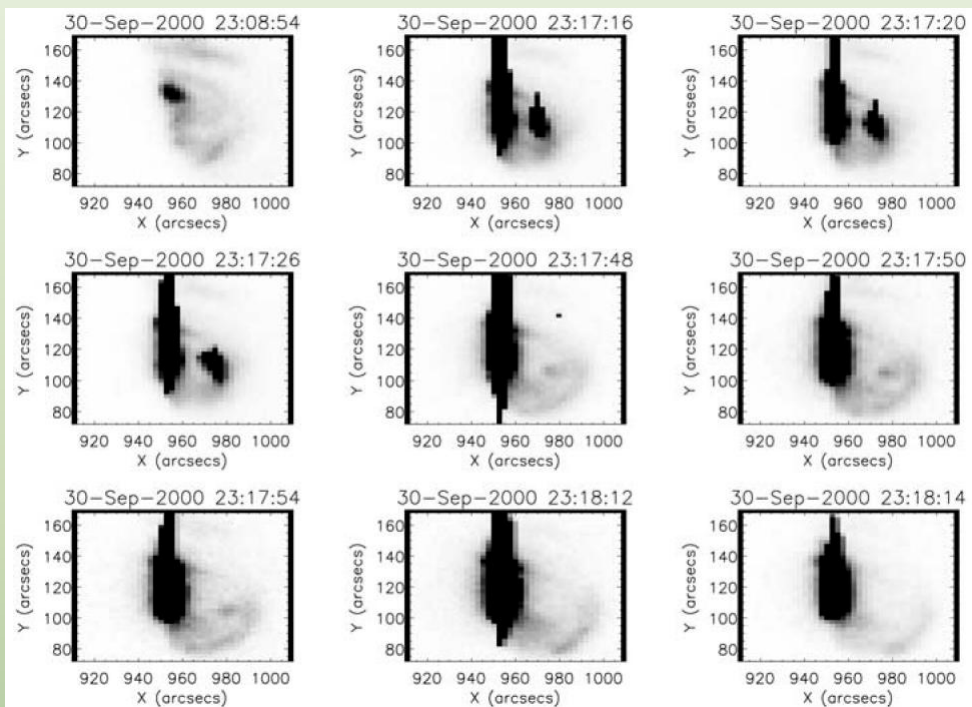
30 IX 2000 r., A 22:06, B 22:26, C 23:26, D 23:50  
1 X 2000 r. E 00:06, F 00:26  
Brak CME w obserwacjach LASCO C2 i C3

klasa: X 1.2  
początek: 30 IX 2000 r., 23:13 UT  
położenie: NOAA 9169, zachodni brzeg



EIT 195 - widoczne zamknięte struktury

# Green i in. 2002, Sol. Phys., 205, 325

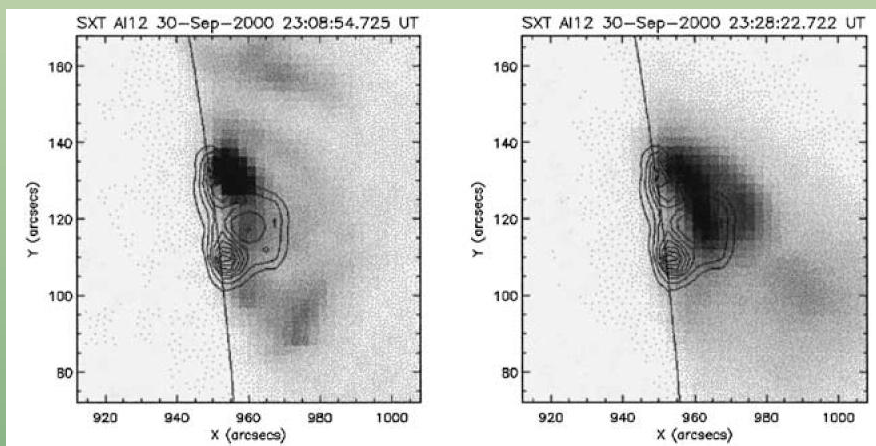


Widoczny plazmoid, którego ekspansja zostaje zatrzymana

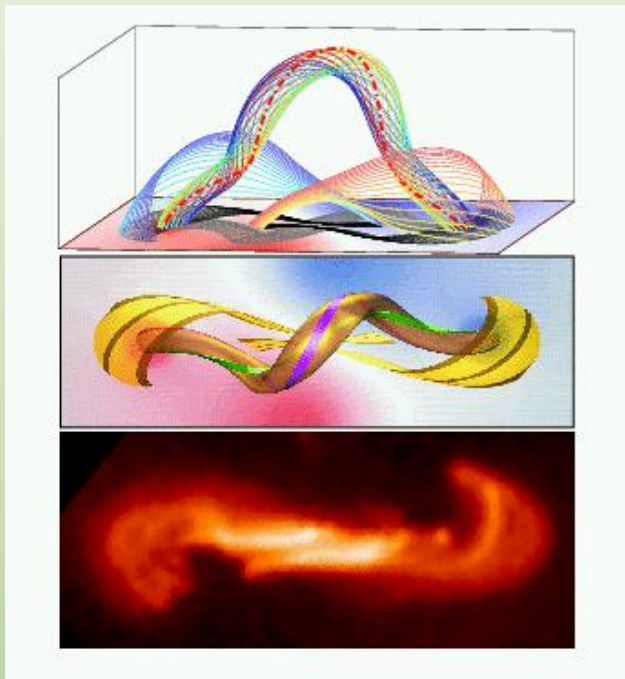
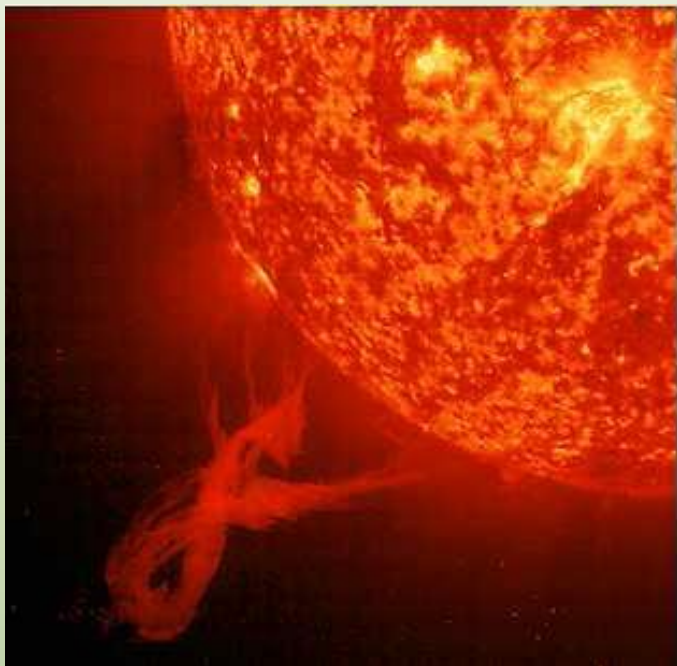
W zatrzymaniu nie brało udziału okalające pole

Zatrzymanie erupcji zostało spowodowane przez uzyskanie stanu równowagowego (jakiego?).

SXT/AI 12  
HXT/M1



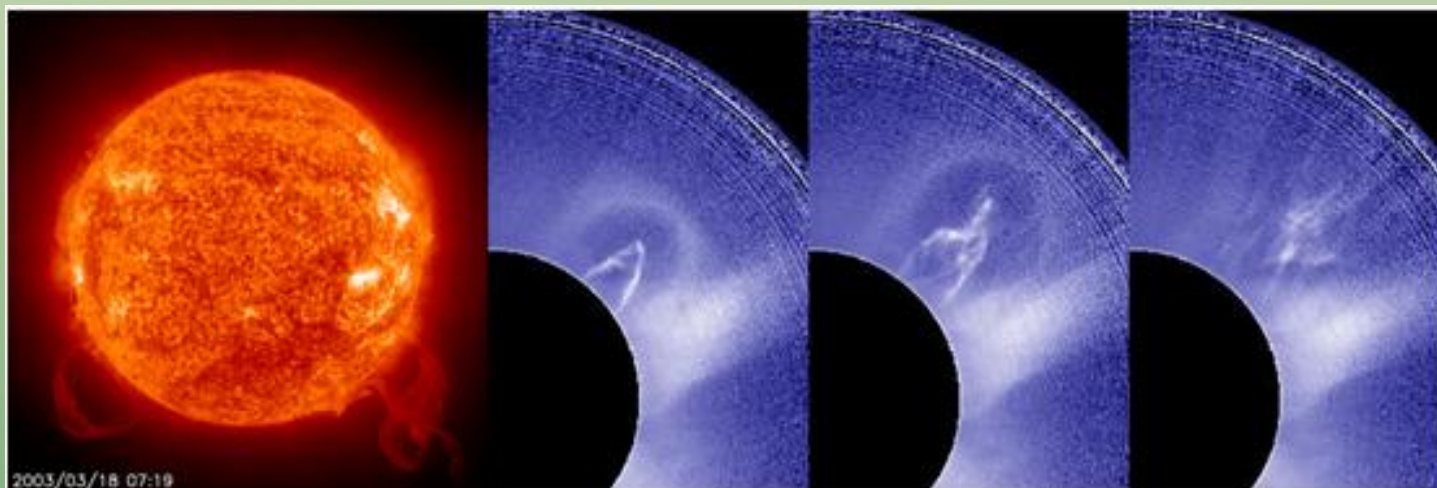
# Niestabilność wyboczeniowa



coraz silniejsze skręcenie ->

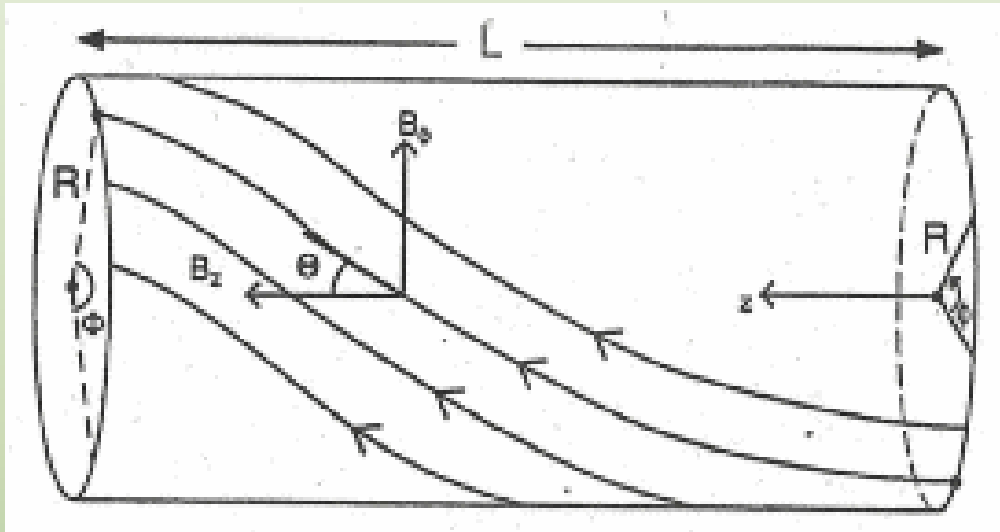
małe zaburzenie powoduje  
wyboczenie rury ->

nowy stan równowagi





# Niestabilność wyboczeniowa



Stabilność jest kontrolowana głównie przez skręcenie:

$$\Phi = \frac{LB_{\theta}}{rB_z}$$

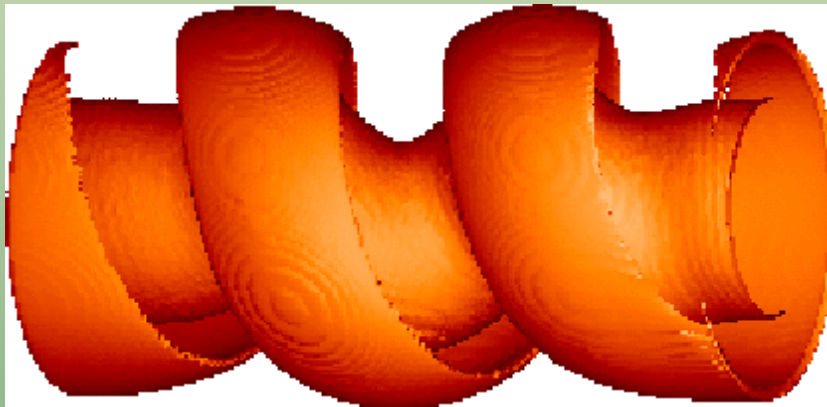
Dla pętli w koronie:  $L \gg r$

Niestabilność pojawia się gdy:

$$\Phi \geq \Phi_c$$

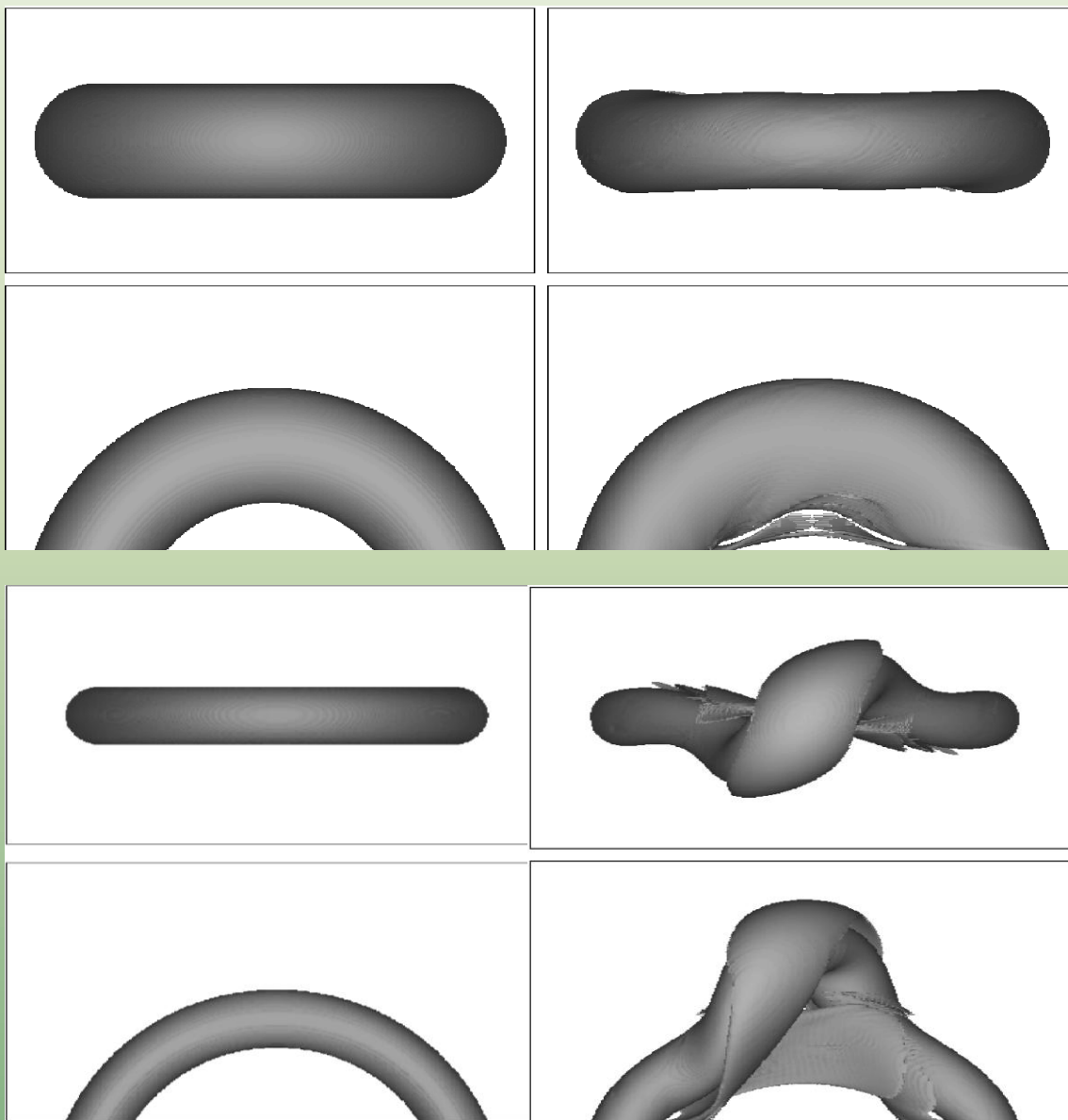
Dla prostej rury:

$$\Phi_c \approx 2.5 \pi$$



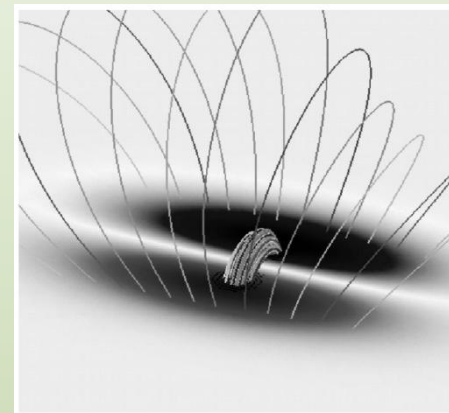
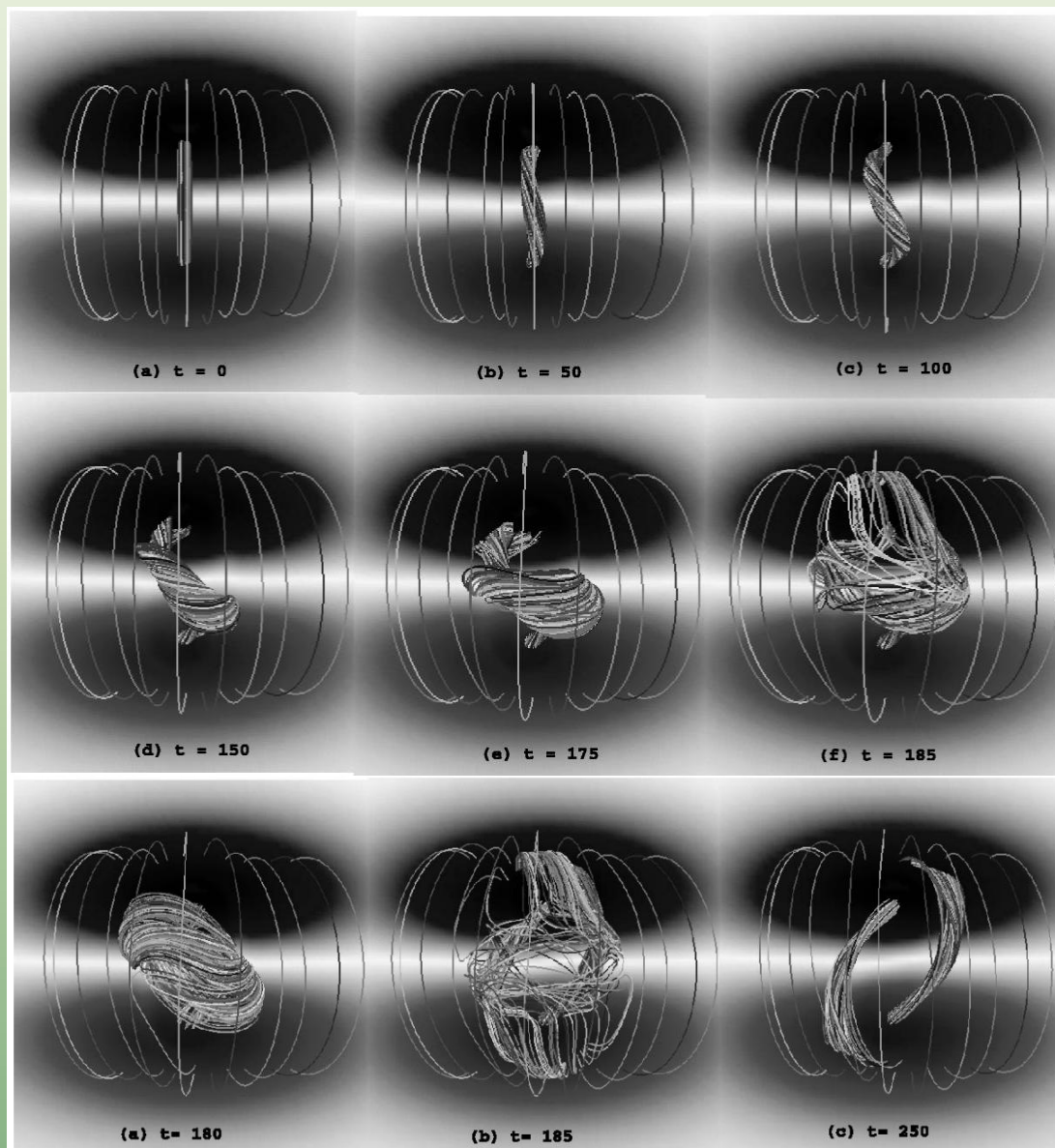
Zakrzywione rury nie były jeszcze modelowane

# Niestabilność wyboczeniowa



$$\Phi_{loop} = 2.1 \pi$$

$$\Phi_{loop} = 4.9 \pi$$

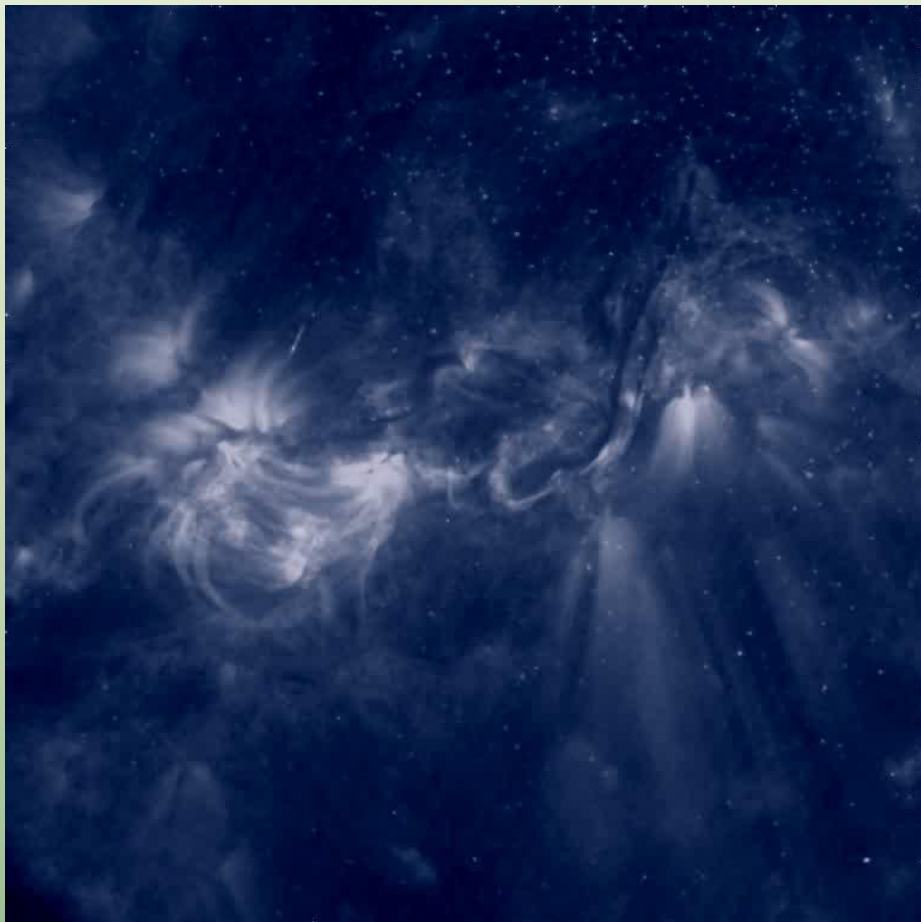


Pierwsza faza (górny rząd)  
systematyczne skręcanie rury przez  
ruchy plazmy do wartości  $(2.3-2.7)\pi$

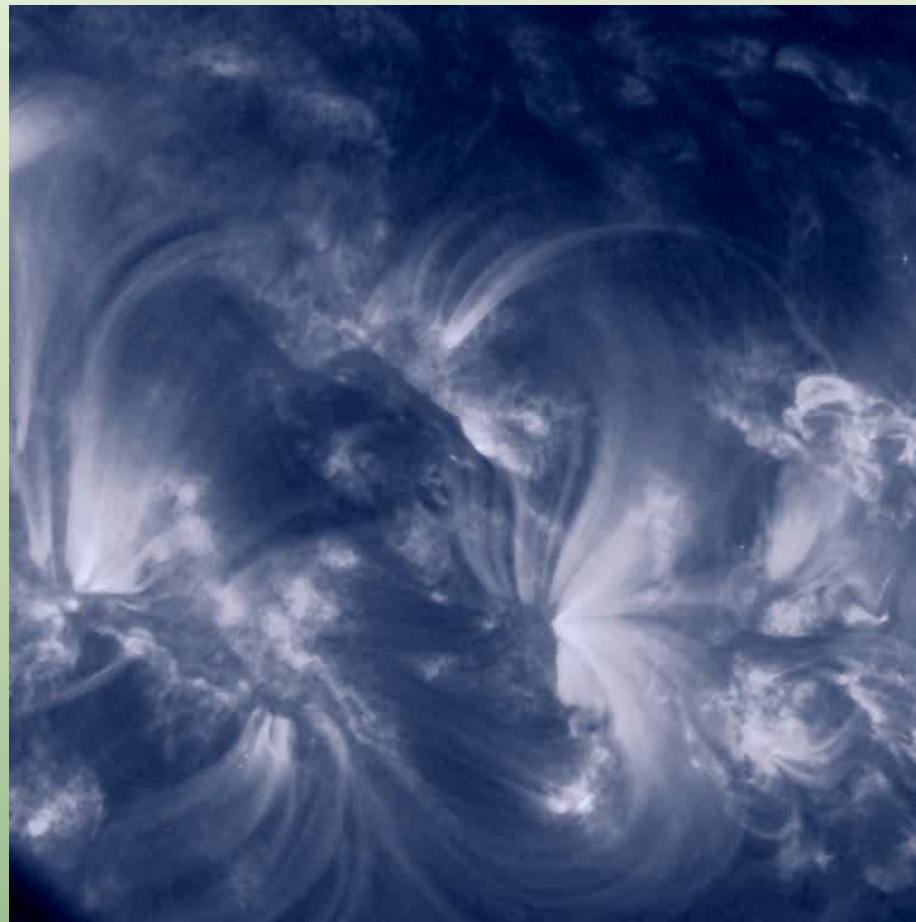
Druga faza (środkowy)  
struktura nie mogąc osiągnąć stanu  
równowagowego rozwija się bardzo  
dynamicznie

Trzecia faza (dolny)  
rozwijająca się struktura napotyka  
zewnętrzne pole, dochodzi do  
przełączenia i równowagi

# Obserwacje



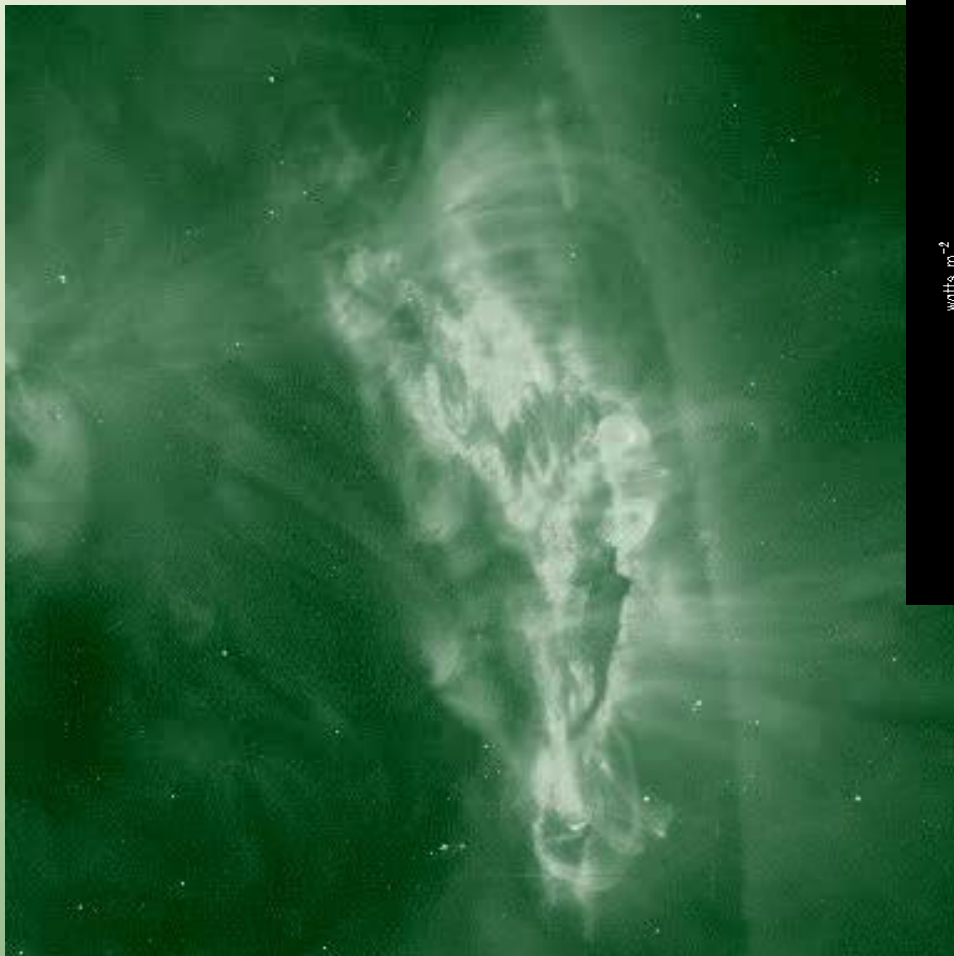
**1 VIII 2001 r.**



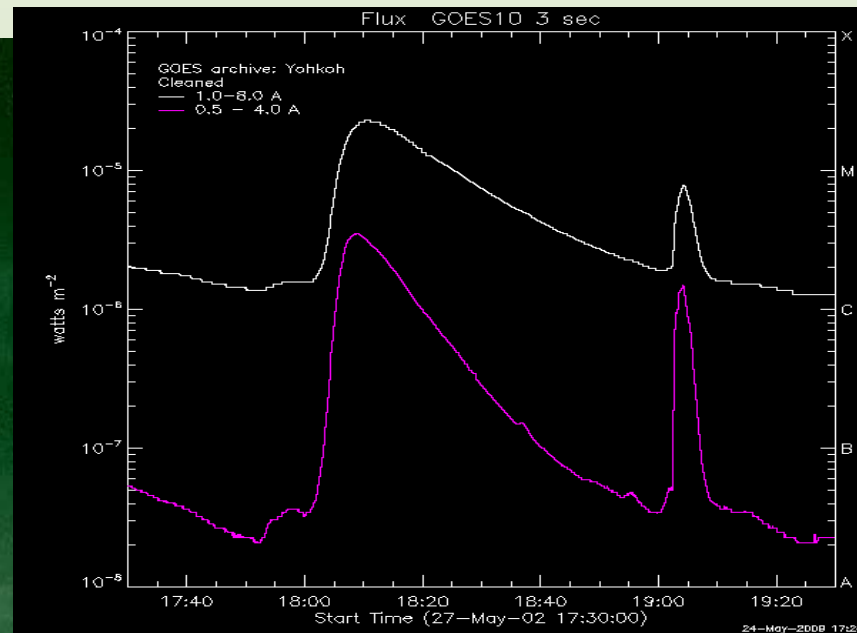
**31 V 1999 r.**



# Obserwacje



27 V 2002 r.



Ji i in. 2003, ApJL, 595, 135

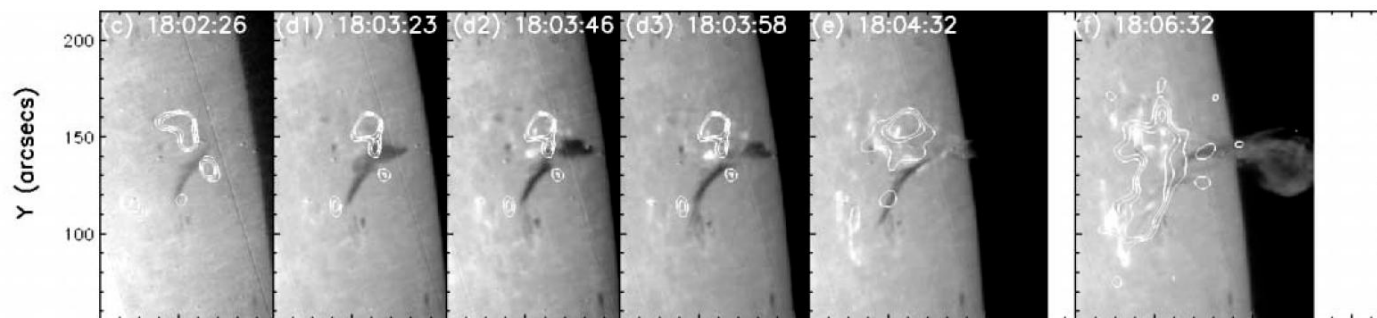
M2.0, N10W87

RHESSI

TRACE 195 Å

BBSO H $\alpha$

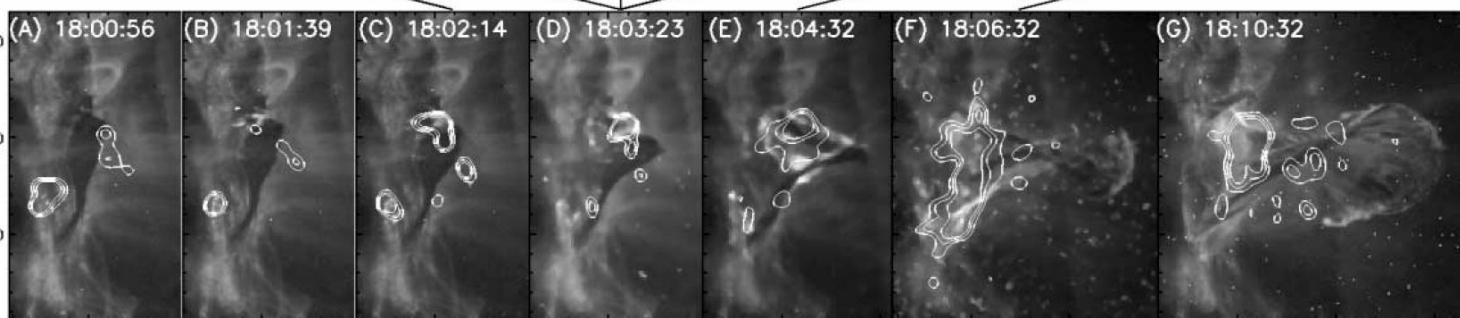
27 V 2002 r.



H $\alpha$   
(niebieskie skrzydło)

Kontury:  
RHESSI 12-25 keV  
(30,40,50 %)

TRACE 195 Å



18:00:56 – pierwsze pojaśnienia w TRACE

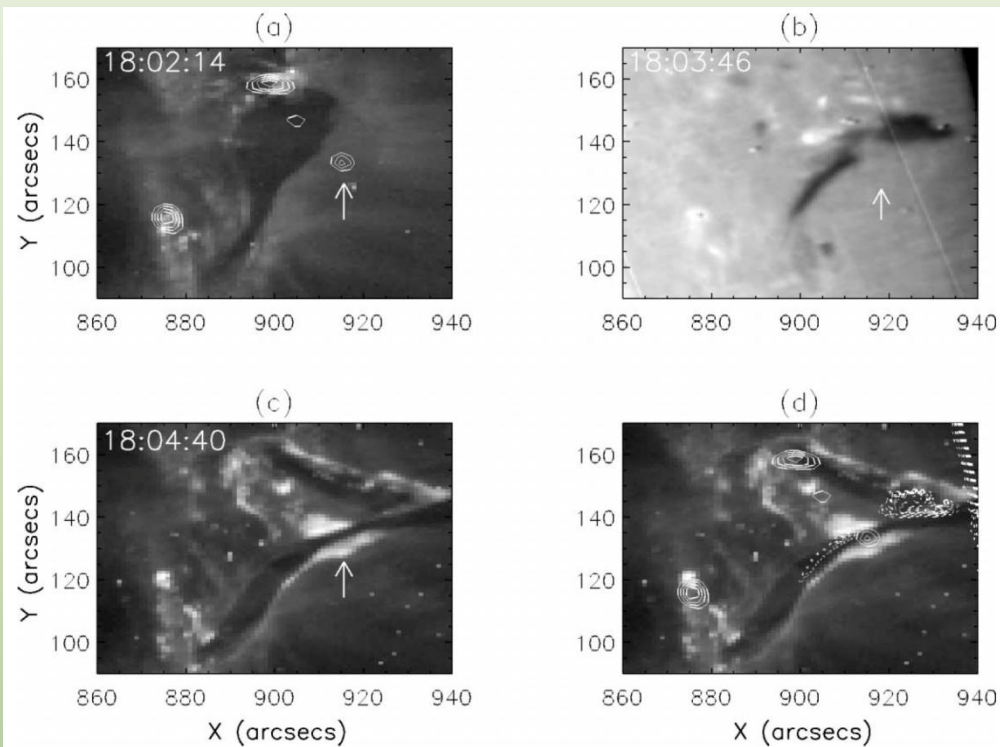
18:03:20 – pierwsze pojaśnienia w H $\alpha$

różnica wskazuje na grzanie przez przewodnictwo

Trzy źródła HXR. Szczytowe wskazuje miejsce gdzie przełączanie prowadzi do otwierania pola ponad włóknem

Szczytowe źródło położone tuż ponad włóknem nie zmienia położenia podczas gdy ulegające erupcji włókno przemieszcza się

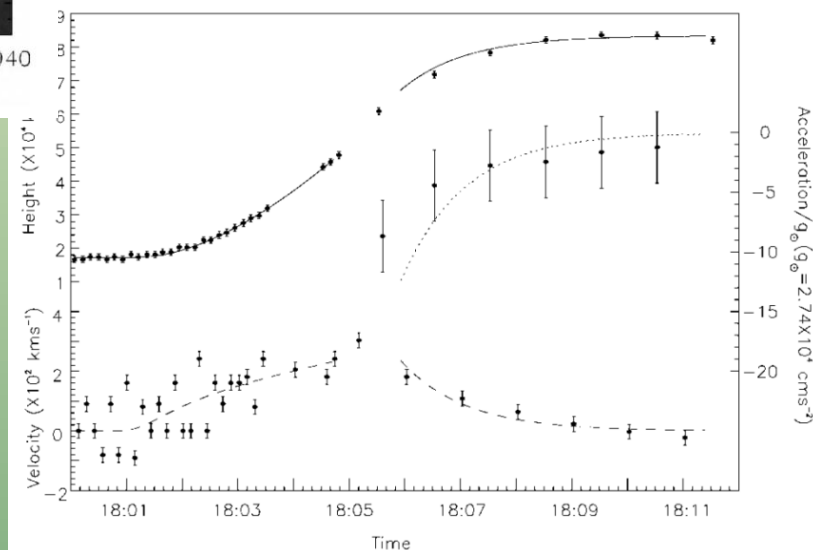
27 V 2002 r.



Zgodność przestrzenna między pojaśnieniami widocznymi w EUV i źródłem szczytowym widocznym w HXR (miejscem wydzielania energii?)

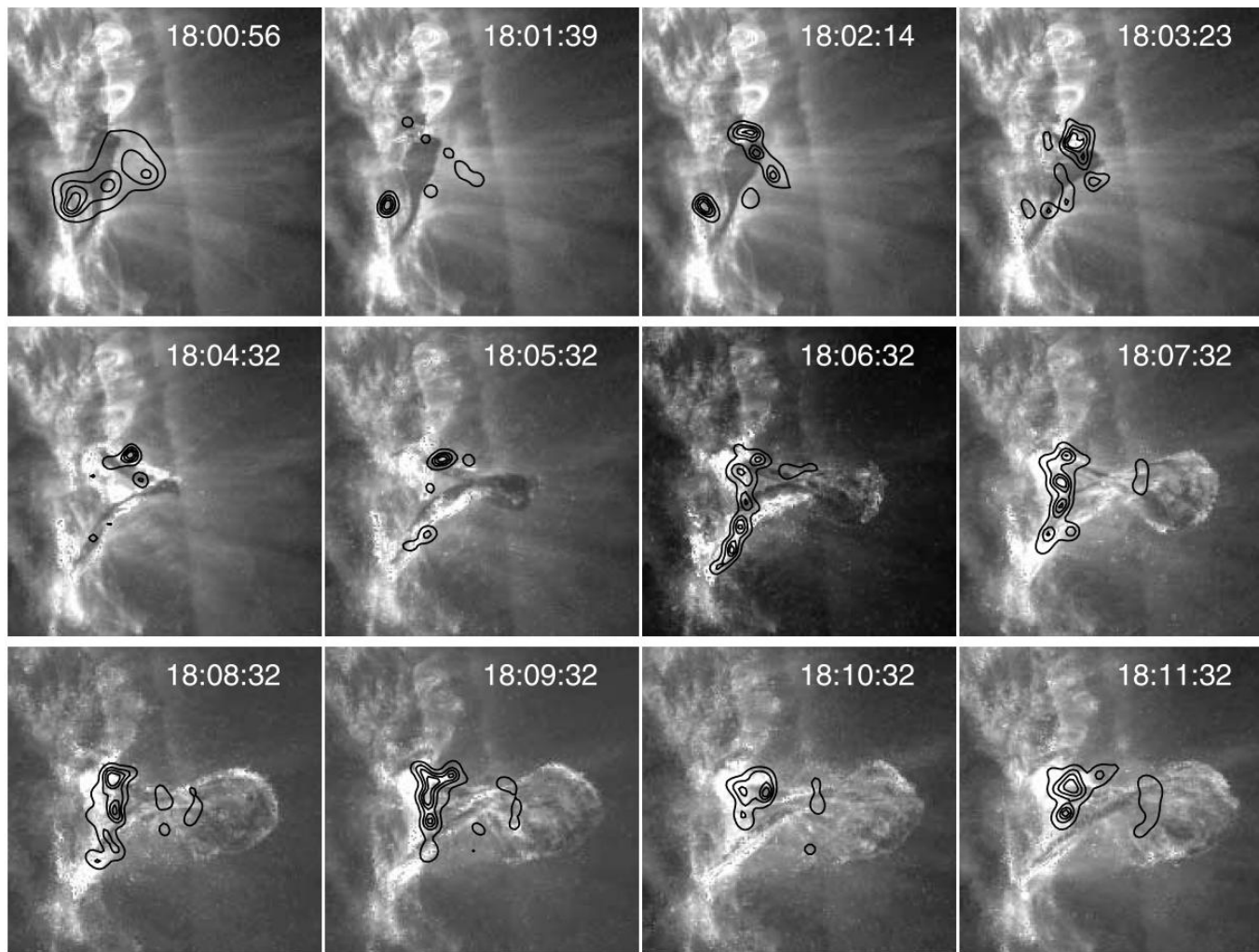
Brak zmian separacji stóp widocznych w zakresie EUV – niezgodność z modelem Kopp-Pneuman (1976)

Zmiany wysokości włókna wskazują, że hamowanie (linia kropkowana) przekracza 10 razy przyspieszenie grawitacyjne na powierzchni Słońca ( $2.74 \times 10^4 \text{ cm s}^{-2}$ )



27 V 2002 r.

Alexander, D. i in. 2006, ApJL, 653, 719



PIXON zamiast CLEAN

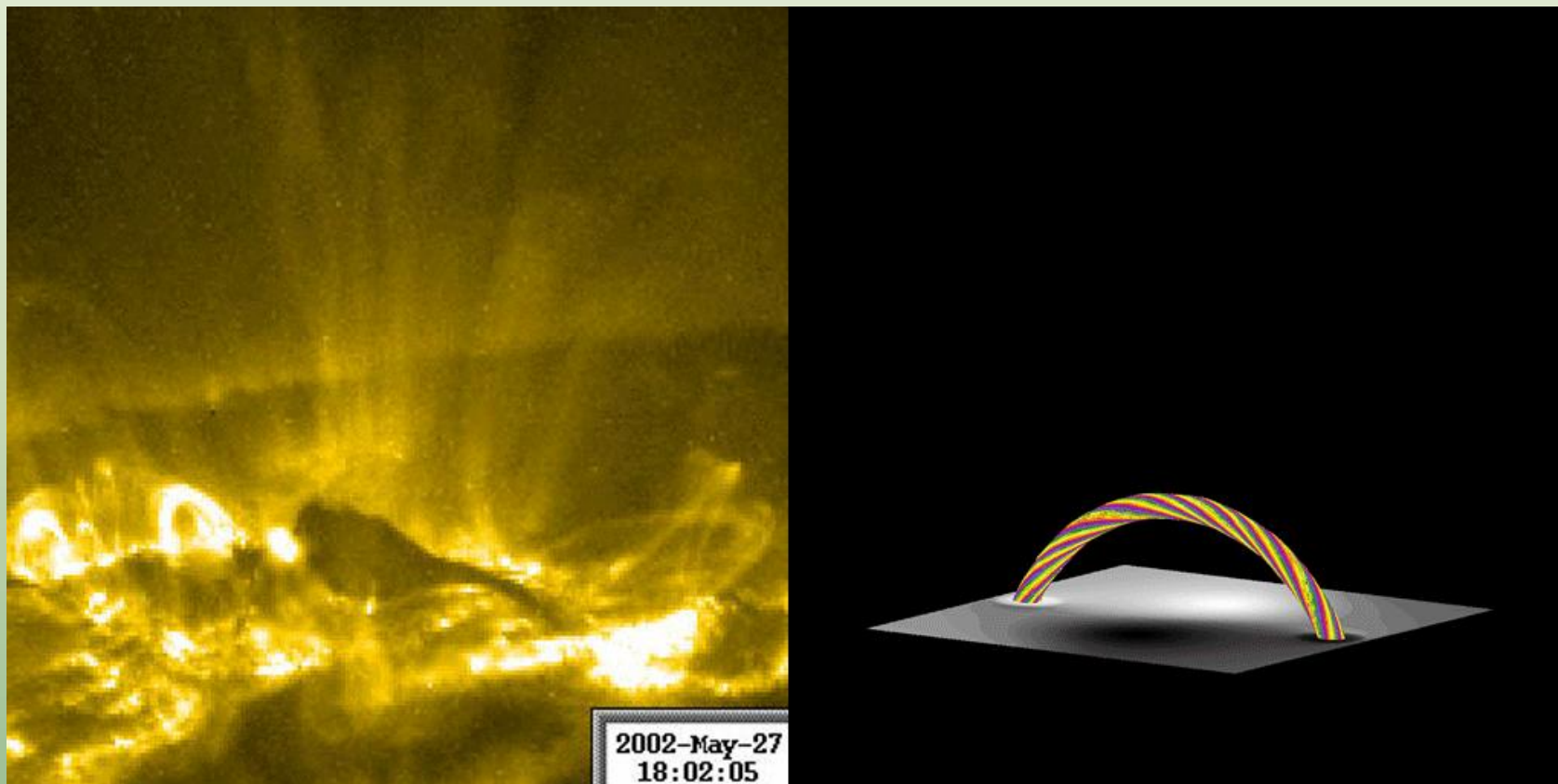
Potwierdzona obecność źródła obserwowanego przez Ji i in.

Drugie źródło położone w miejscu podejrzanym o istnienie przełączania (X point)



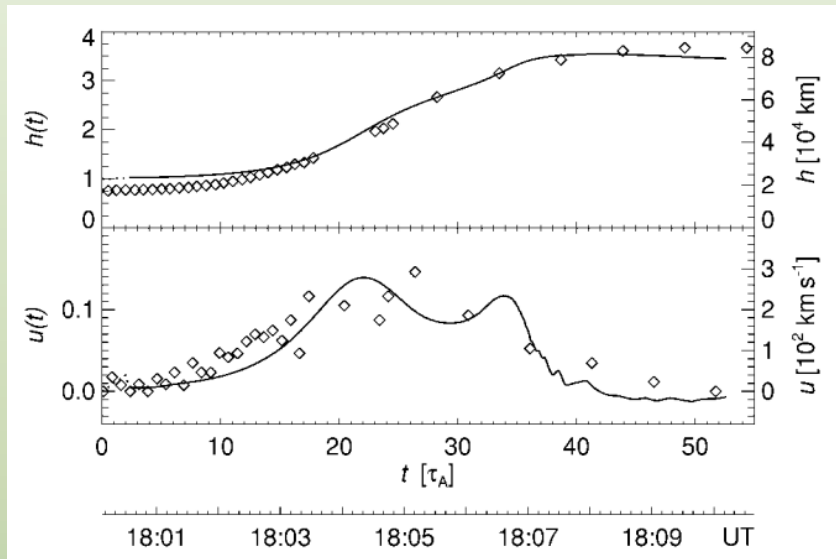
27 V 2002 r.

Török, T. i Kliem, B. 2005, ApJL, 630, 97

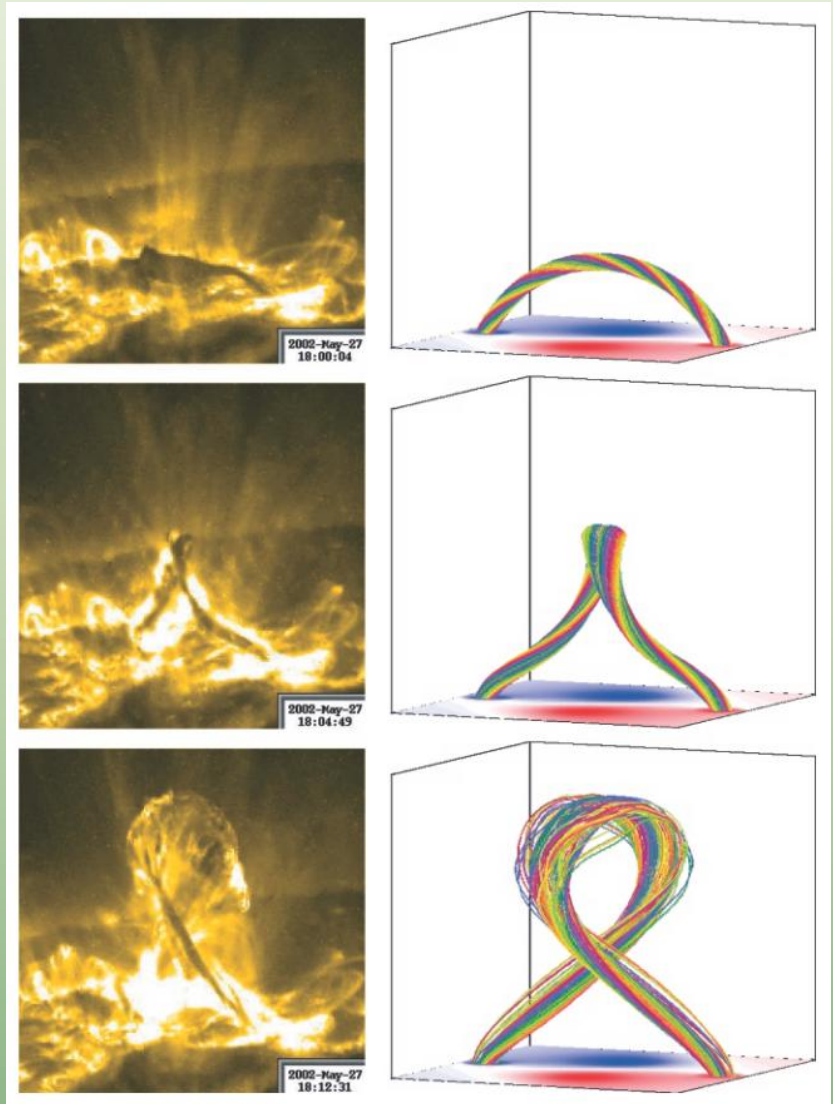


$$\Phi_{\text{sr}} = 5.0\pi$$

27 V 2002 r.

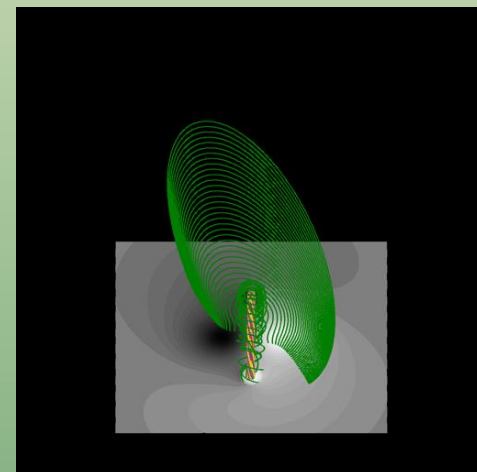
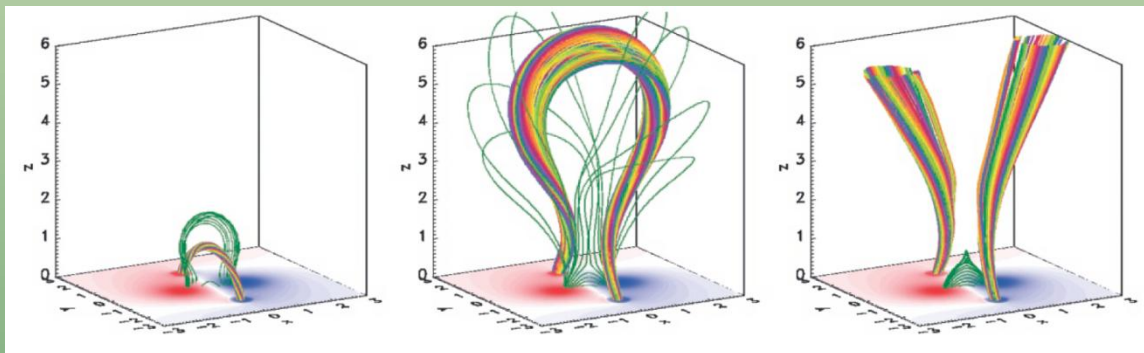
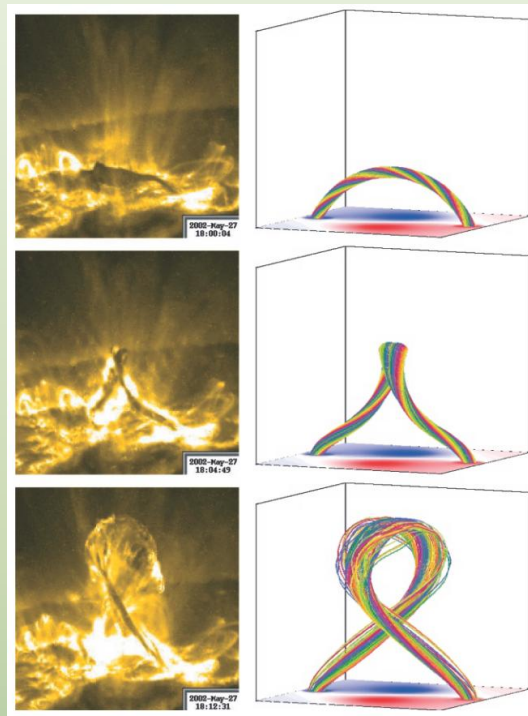


Porównanie modelu z obserwacjami (Ji i in.) zmian wysokości i prędkości erupcji.



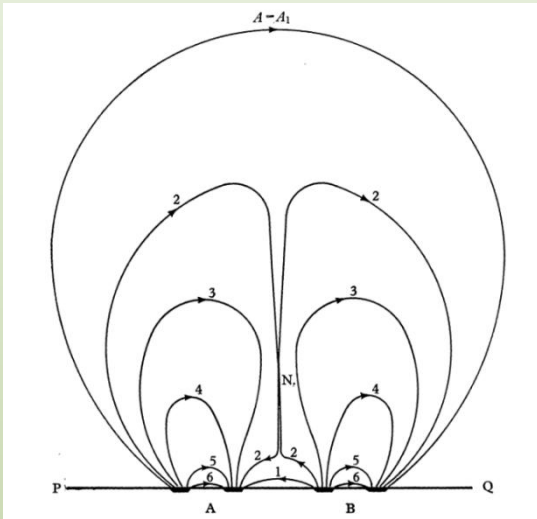
Erupcję zatrzymaną i rozwijającą się można otrzymać z tego samego modelu zmieniając jedynie pole otaczającą ekspandującą strukturę

SECTION	SIMULATION PARAMETERS				SCALING PARAMETERS			
	$\Phi/\pi$	$b$	$\eta(2)$	$L$	$h_0$ (Mm)	$\tau_A$ (s)	$ B_0(h_0) $ (G)	$W$ (ergs)
3 .....	5.0	0.29	0.83	10	23	11.5	200	$10^{31}$
4 .....	-5.0	0.33	1.54	32	115	111	10-40	$10^{31}-10^{32}$





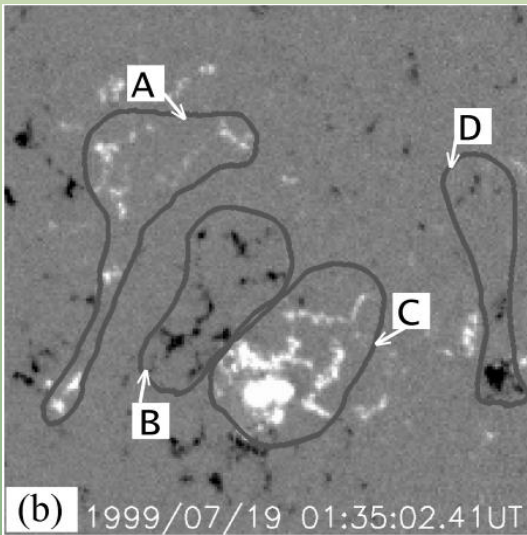
# Model kwadрупolowy



Sweet, P.A. 1958,

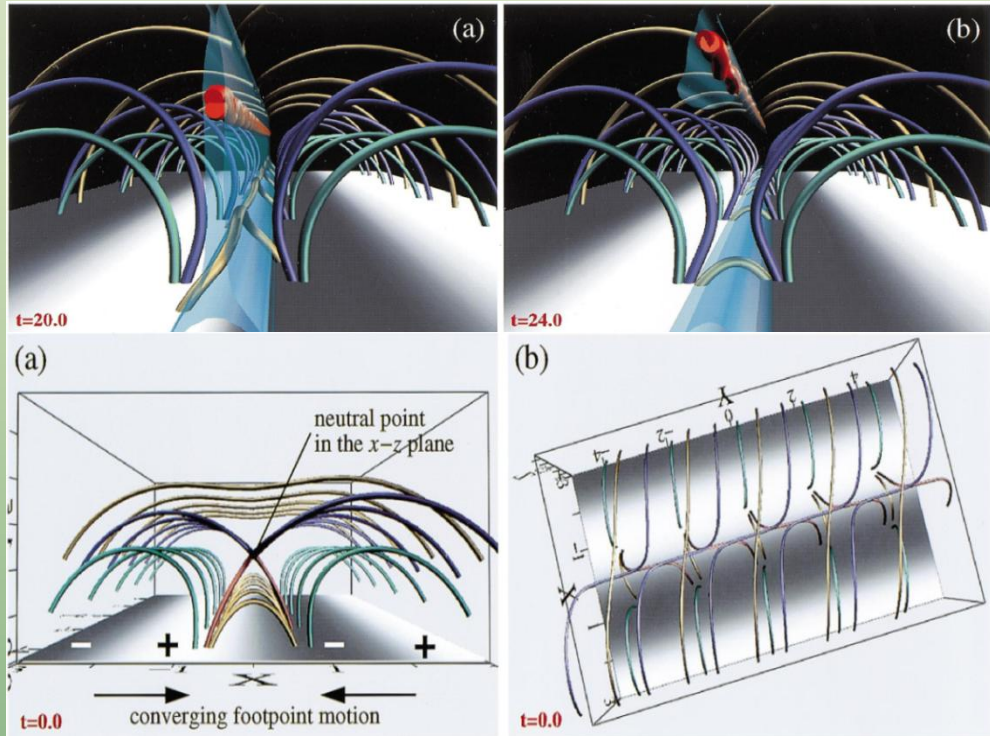
W przeciwieństwie do CSHKP w tym modelu pole ponad rozblyskiem nie musi zostać otwarte

W odpowiednich warunkach pole otaczające może powstrzymać erupcję



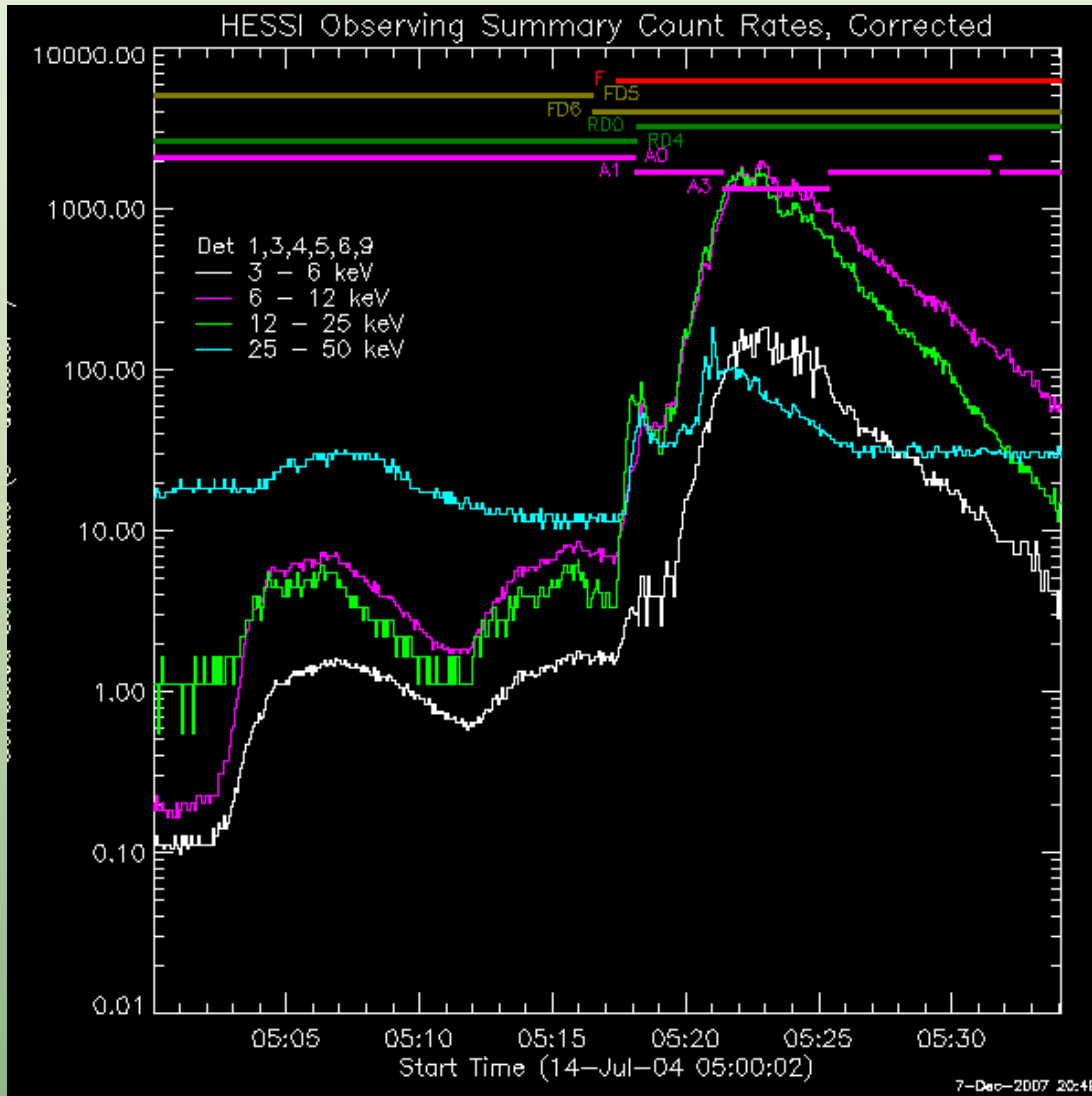
(b) 1999/07/19 01:35:02.41UT

Uchida, Y. i in. 2003, PASJ, 55, 305



Hirose, S. i in. 2001, ApJ, 551, 586

14 VII 2004 r.



**Klasa GOES: M6.2**

**Położenie: N14 W61**

RHESSI: całe zjawisko

TRACE:

171 Å (rozdzielczość  
czasowa 8-40 s)

1600 Å (tylko w fazie zaniku)

GOES SXI:

silna saturacja w czasie fazy  
impulsowej

SOHO LASCO:

brak obserwacji CME

14 VII 2004 r.

**Klasa GOES: M6.2**

**Położenie: N14 W61**

RHESSI: całe zjawisko

TRACE:

171 Å (rozdzielczość  
czasowa 8-40 s)

1600 Å (tylko w fazie zaniku)

GOES SXI:

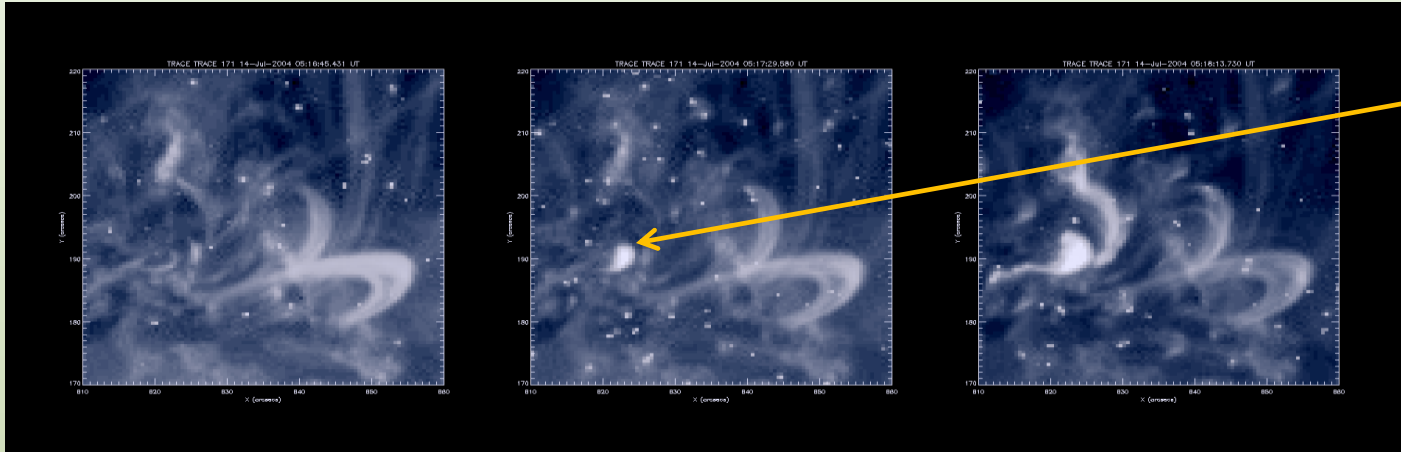
silna saturacja w czasie fazy  
impulsowej

SOHO LASCO:

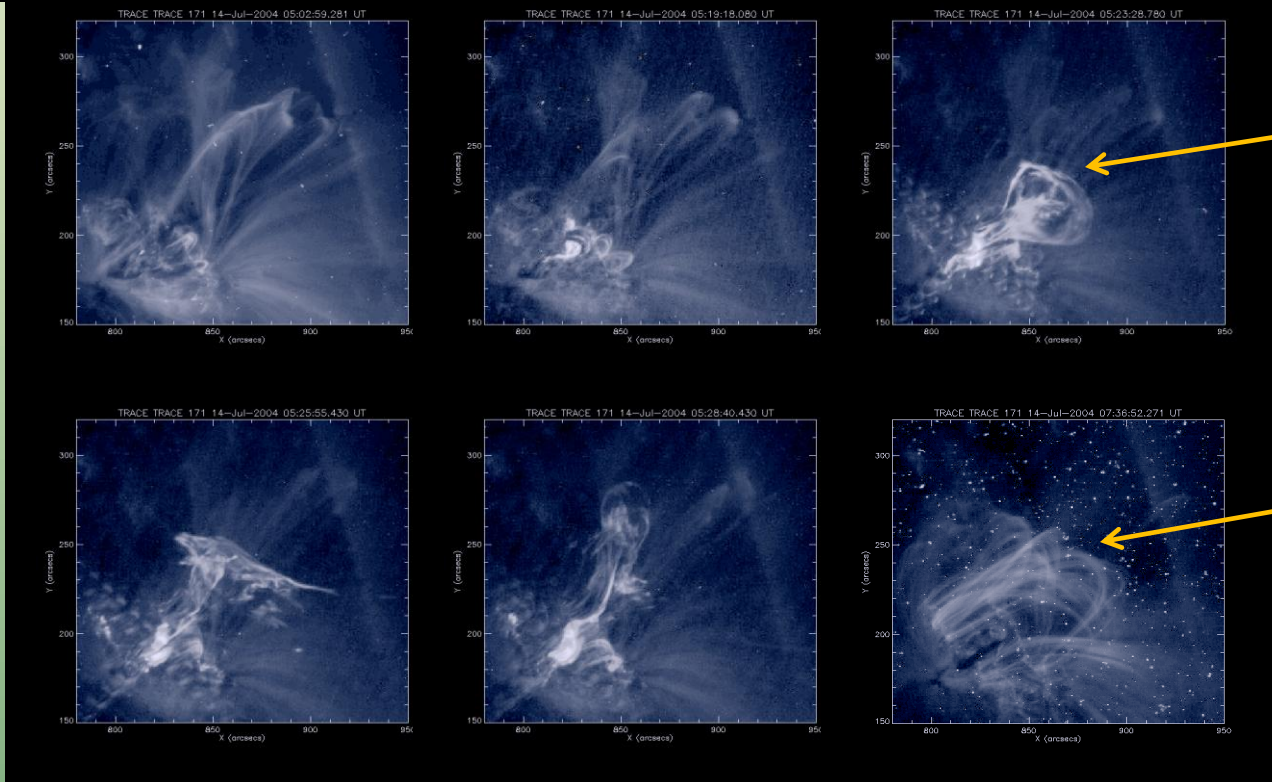
brak obserwacji CME



14 VII 2004 r.



5:17:30 – pierwsza  
oznaka rozwijającej  
się erupcji (bardzo  
mały obszar – około  
3000 km)

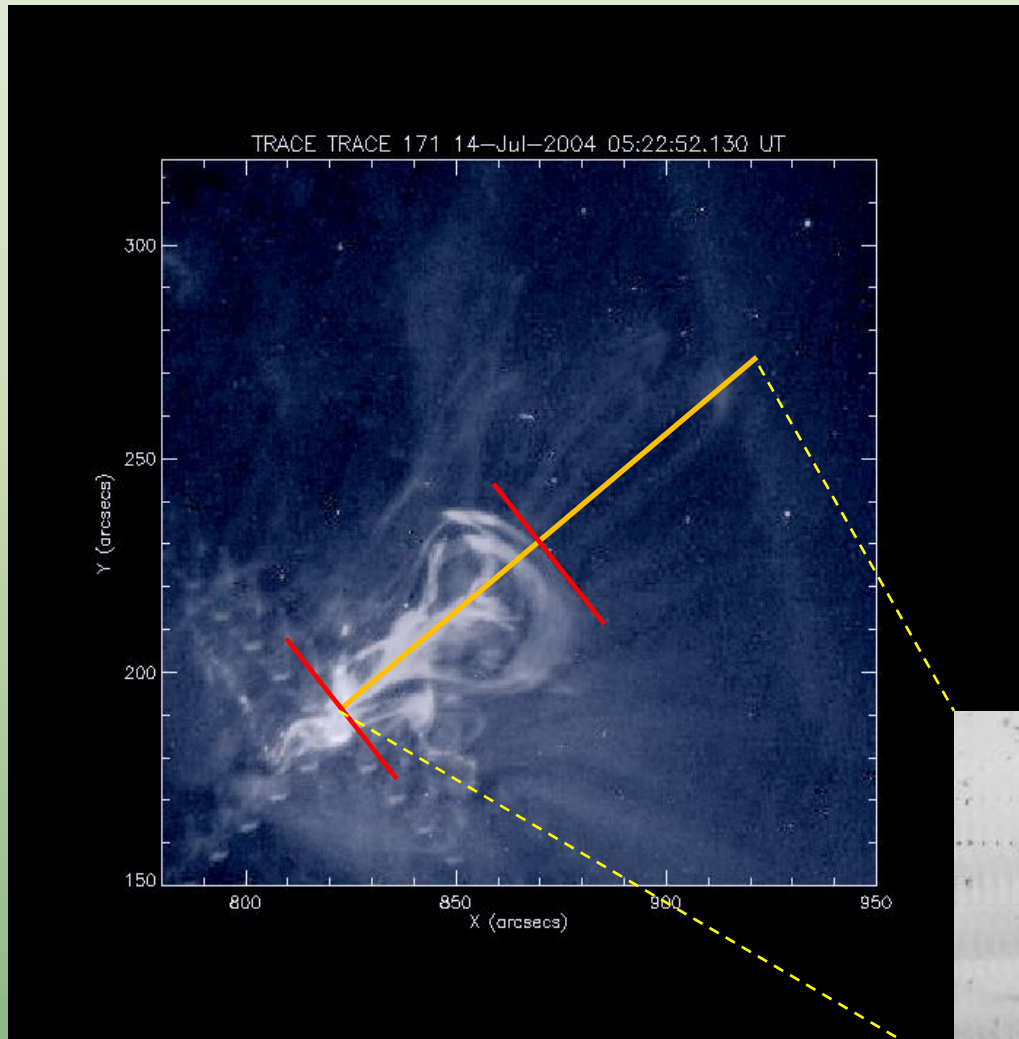


Wyraźnie skrzyżna  
struktura

System pętli  
widocznych dwie  
godziny po maksimum  
rozbłysku



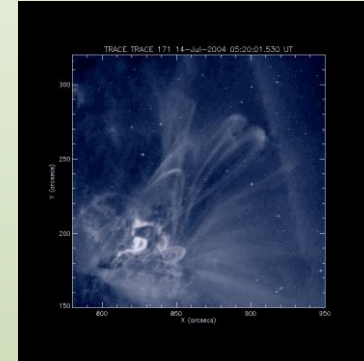
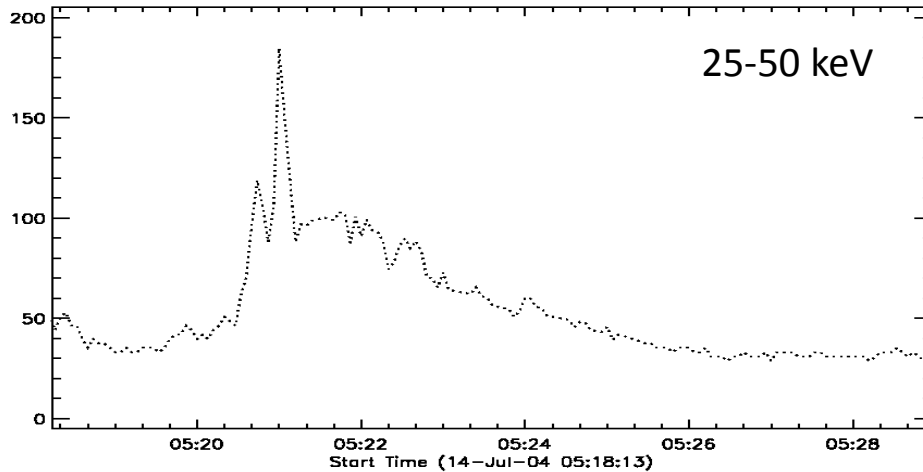
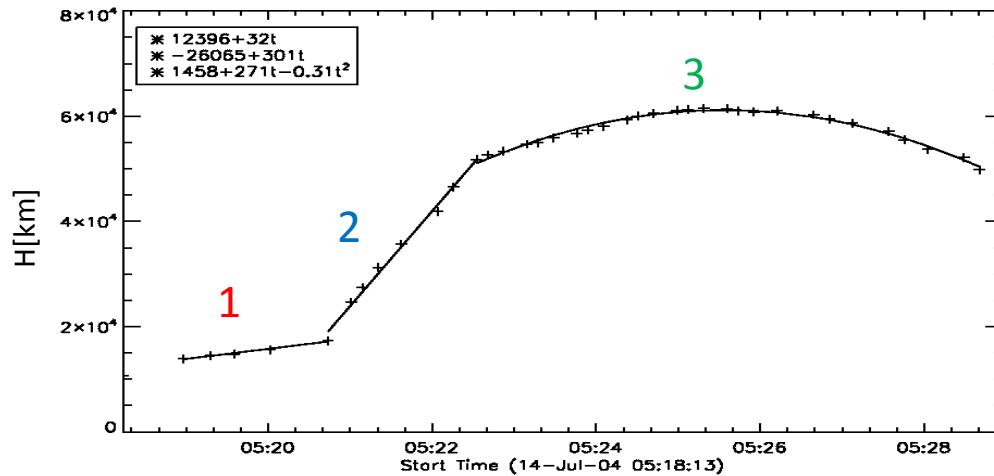
14 VII 2004 r.



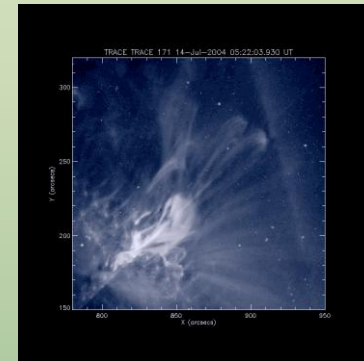
Wysokość struktury była wyznaczana  
wzdłuż cięcia zaznaczonego żółtą linią.



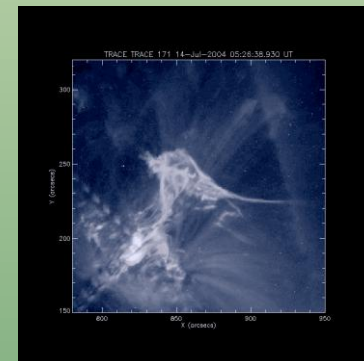
14 VII 2004 r.



Faza początkowa  
związana ze  
zwartym,  
jaśniejącym  
obszarem

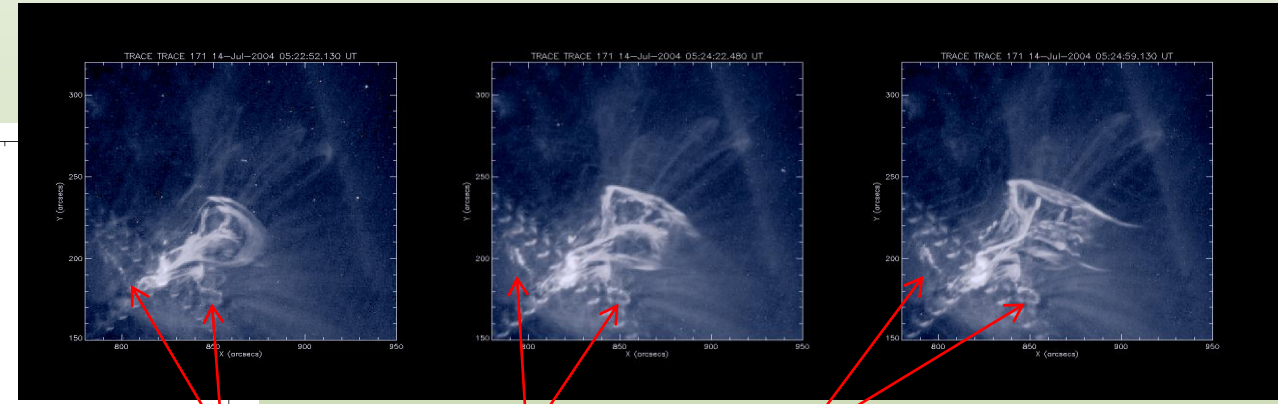
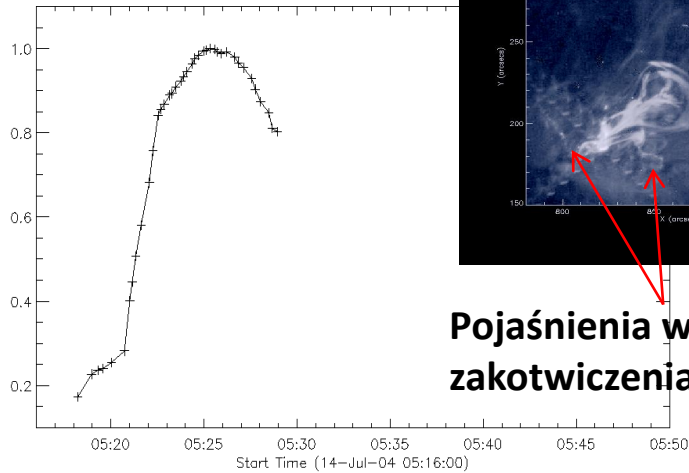


Szybka ekspansja  
obserwowana tuż  
po silnych impulsach  
widocznych w  
zakresie 25-50 keV

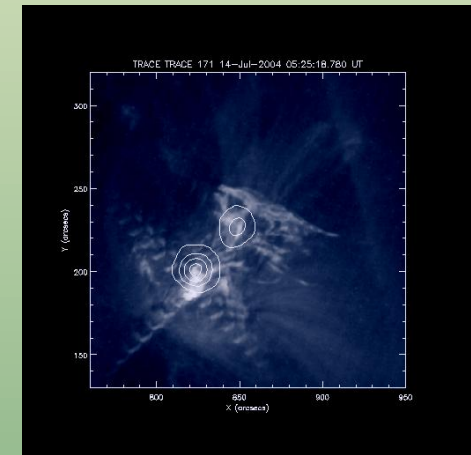
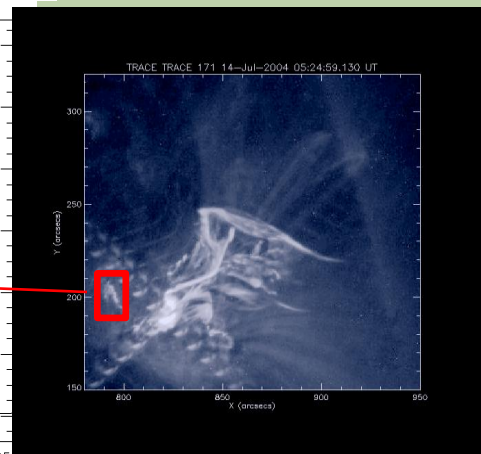
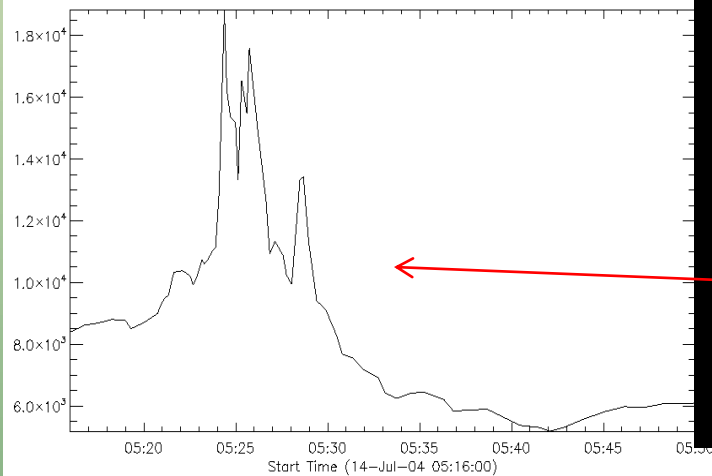


Wyhamowanie  
erupcji ( $600 \text{ m s}^{-2}$ ).  
Pierwotny  
front załamuje się,  
widoczne są  
boczne erupcje

14 VII 2004 r.



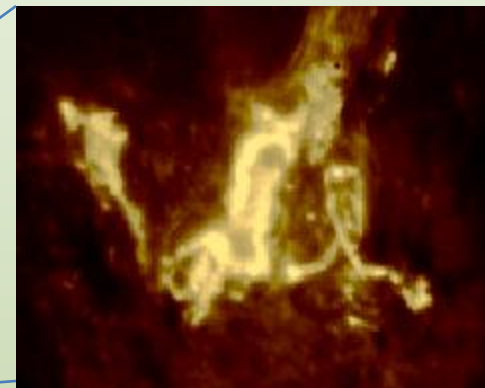
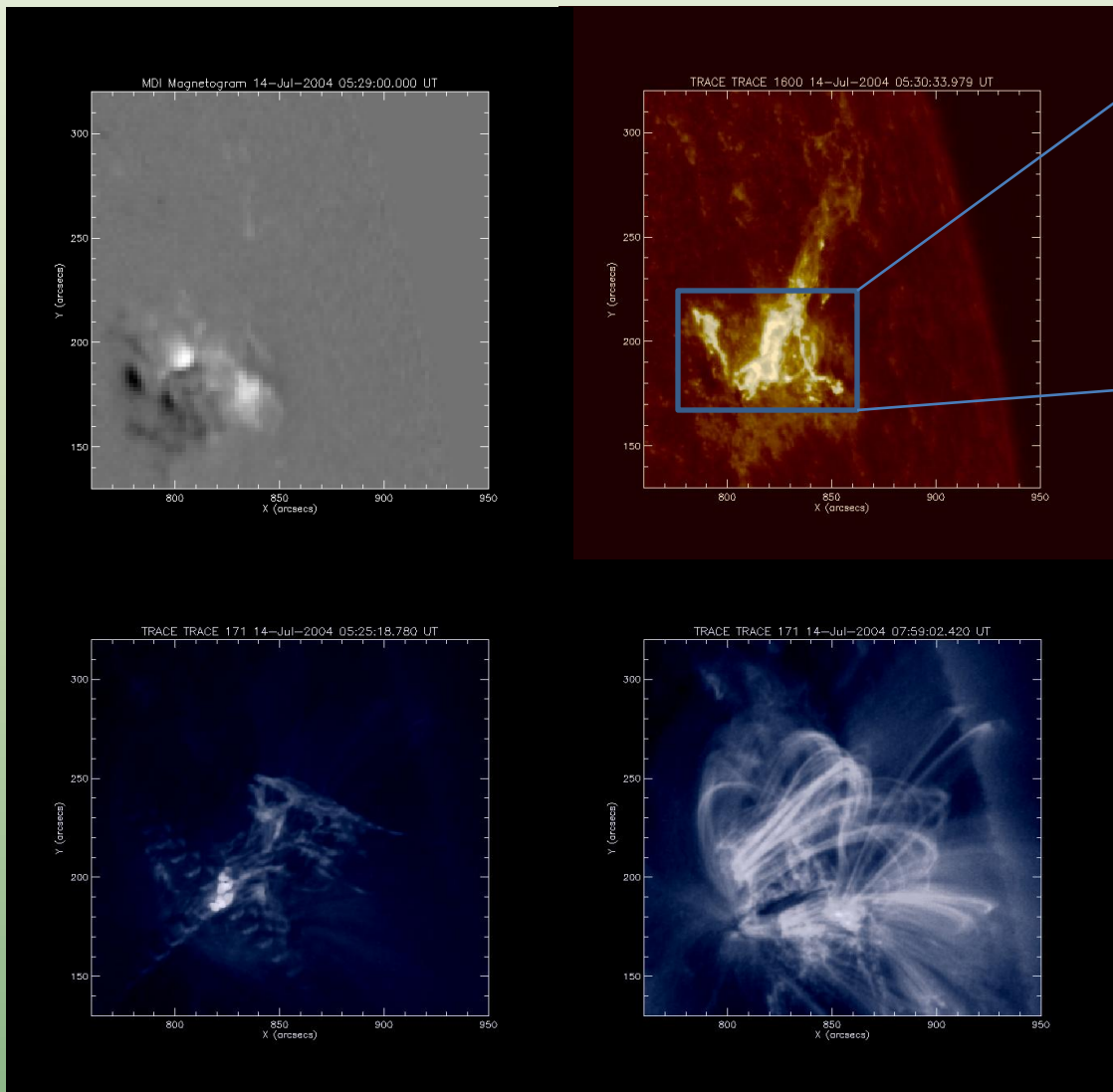
**Pojąsnienia widoczne podczas hamowania erupcji dokładnie w miejscach zakotwiczenia systemu pętli widocznych 2 godziny po maksimum.**



**Brak źródeł HXR w obszarze oddziaływania dwóch systemów pętli**



14 VII 2004 r.

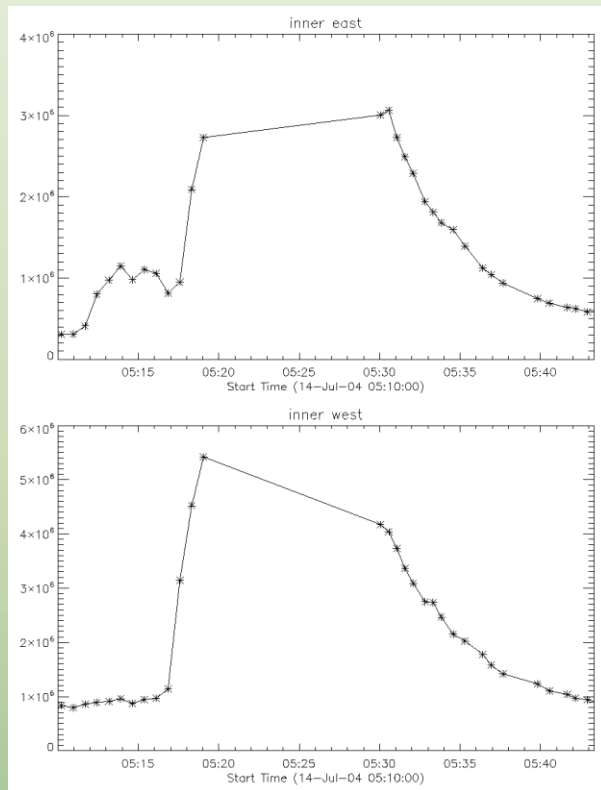


**Można wyróżnić dwa systemy  
wstęg widocznych na obrazach  
TRACE 1600 Å:**

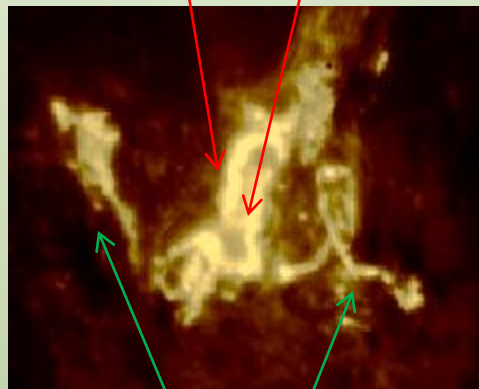
**wewnętrzny – zgodny przestrzennie  
z arkadą związaną z  
rozbłyskiem**

**zewnątrzny – zgodny przestrzennie  
z systemem pętli  
„porobłyaskowych”**

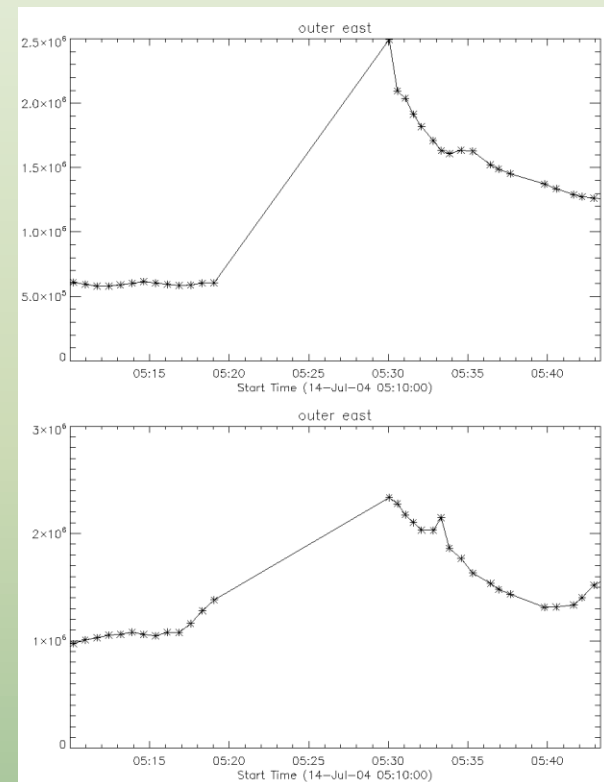
14 VII 2004 r.



wstęgi wewnętrzne



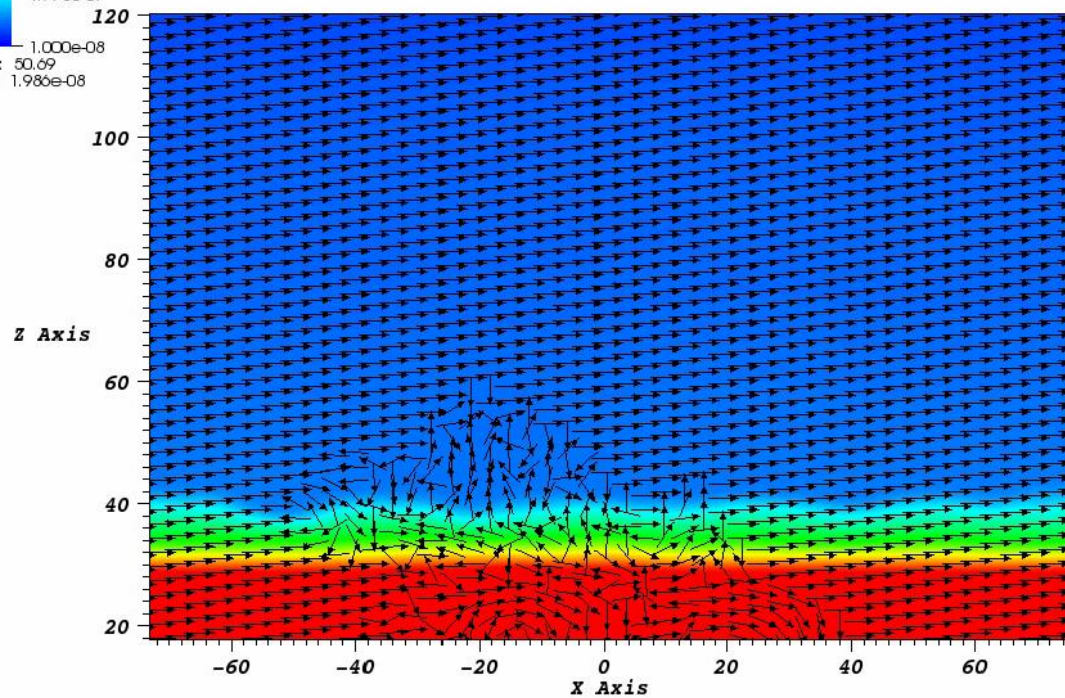
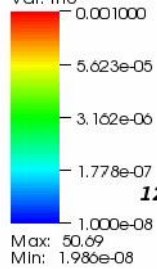
wstęgi zewnętrzne



Brak obserwacji wykonanych w filtrze  $1600 \text{ \AA}$  dla okresu hamowania erupcji

DB: test\_0030.silo  
Cycle: 30 Time:60.0031

Pseudocolor  
Var: rho



Wyływające dwa systemy pętli

Pierwszy będzie stanowił pole otaczające

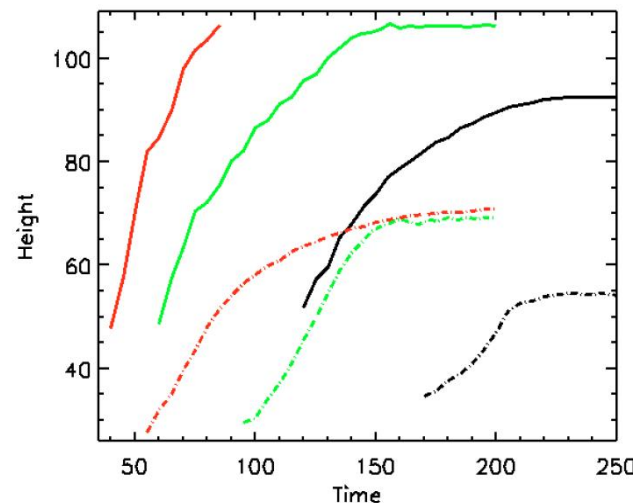
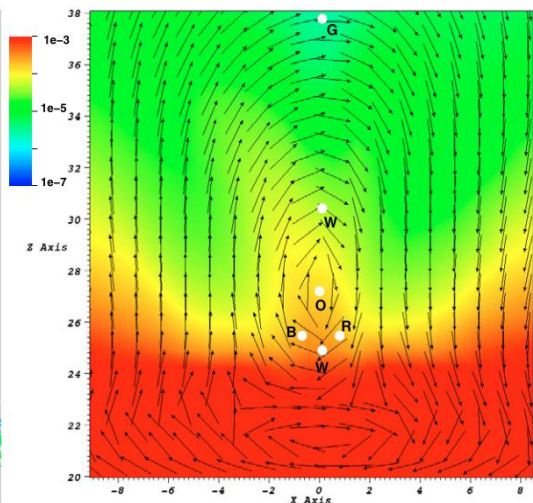
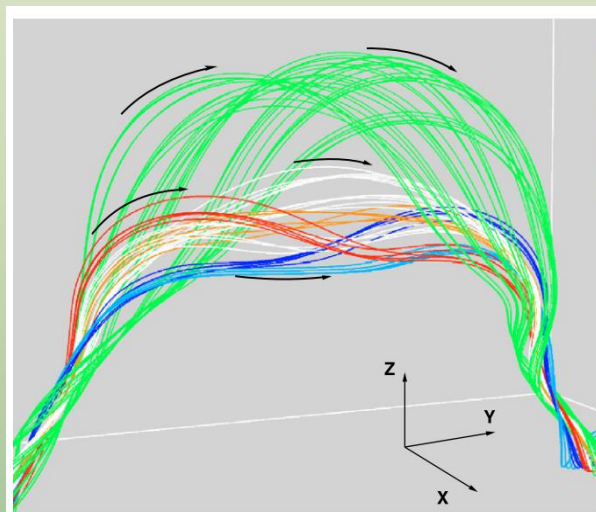
Drugi ulega erupcji nieco później

Rozpatrywano trzy różne modele ( $\alpha$  – skręcenie na jednostkę długości):

E1:  $B_0=5$ ,  $\alpha=0.4$  (czerwony)

E2:  $B_0=3$ ,  $\alpha=0.4$  (zielony)

E3:  $B_0=3$ ,  $\alpha=0.1$  (czarny)



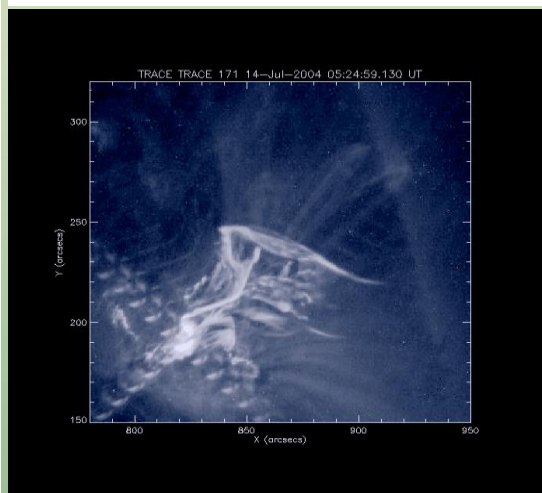
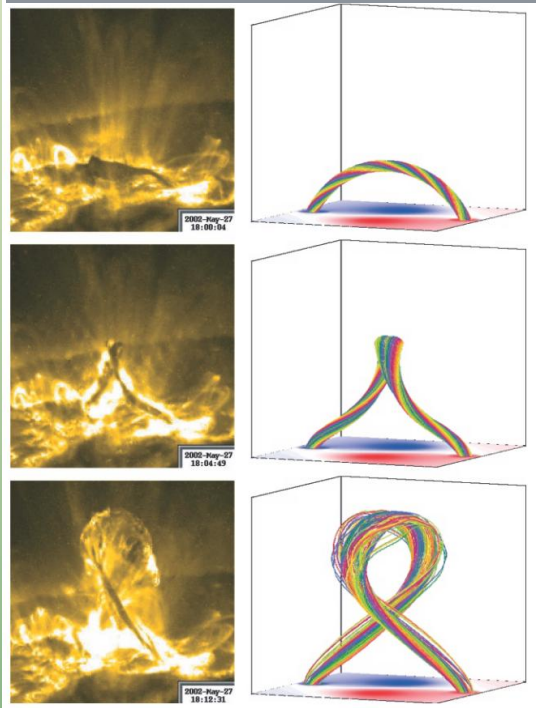
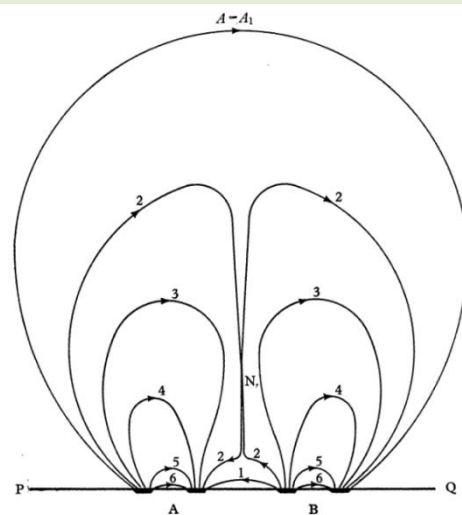
Przykład dla modelu E1

Rzut na płaszczyznę xz  
Oznaczenia literowe  
odnoszą się do kolorów  
linii na lewym rysunku

przerywane – centrum rury  
ciągłe – czoło ekspandującego  
pola otaczającego



# Podsumowanie



1. Okalające pole magnetyczne
2. Położenie rozbłysku w obszarze aktywnym
3. Skręcenie ekspandującej rury
4. 14 VII 2004 r. – skręcenie nie powstrzymało erupcji ale pole ponad było wystarczająco silne