

Koronalne wyrzuty masy (CME)

Paweł Biernacki

Koło Naukowe Studentów Astronomii UWr

29 kwietnia 2011 r.



Koło Naukowe
Studentów Astronomii
Uniwersytetu Wrocławskiego

Plan prezentacji

- 1 Wprowadzenie
- 2 Skale wielkości
- 3 Modele
 - Mechaniczne odpowiedniki
 - Komputerowe symulacje
- 4 Skutki dla Ziemi
- 5 Galeria
- 6 Bibliografia

Utrata masy

Gwiazdy zmniejszają swoją masę w skutek fuzji termojądrowej.
Natomiast znaczna utrata masy odbywa się poprzez:

Utrata masy

Gwiazdy zmniejszają swoją masę w skutek fuzji termojądrowej.
Natomiast znaczna utrata masy odbywa się poprzez:

- wiatr słoneczny (solar wind)

Utrata masy

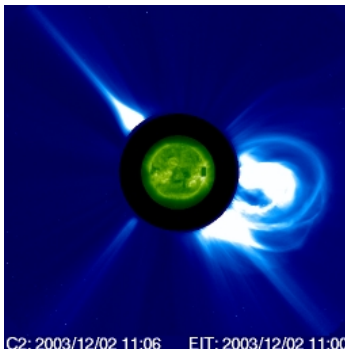
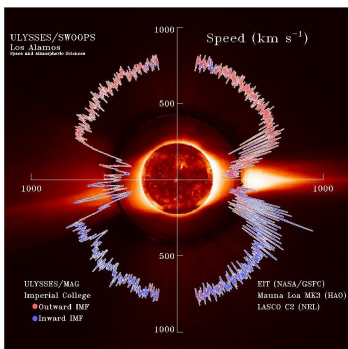
Gwiazdy zmniejszają swoją masę w skutek fuzji termojądrowej.
Natomiast znaczna utrata masy odbywa się poprzez:

- wiatr słoneczny (solar wind)
- koronalne wyrzuty masy (coronal mass ejections)

Utrata masy

Gwiazdy zmniejszają swoją masę w skutek fuzji termojądrowej.
Natomiast znaczna utrata masy odbywa się poprzez:

- wiatr słoneczny (solar wind)
- koronalne wyrzuty masy (coronal mass ejections)



Czym jest CME?

Koronalne wyrzuty masy to wielkie bańki gazu 'nawinięte' w linie pola magnetycznego, które w przeciągu kilku godzin wyrzucane są ze Słońca.

Pomimo tego, że korona słoneczna była obserwowana podczas całkowitych zaćmień Słońca przez setki lat, koronalne wyrzuty masy zostały po raz pierwszy zaobserwowane dopiero przez obserwatoria kosmiczne.

Podział

Podział

- 1 stopniowe (gradual CMEs) - formują się wraz z podnoszeniem się protuberancji; niskie prędkości ($400 - 600 \text{ km s}^{-1}$) z zauważalnym stopniowym przyspieszeniem ($3 - 40 \text{ km s}^{-2}$) na odległościach $R < 30R_{\odot}$.

Podział

- 1 stopniowe (gradual CMEs) - formują się wraz z podnoszeniem się protuberancji; niskie prędkości ($400 - 600 \text{ km s}^{-1}$) z zauważalnym stopniowym przyspieszeniem ($3 - 40 \text{ km s}^{-2}$) na odległościach $R < 30R_{\odot}$.
- 2 impulsywne (impulsive CMEs) - często związane z flarami; o prędkościach większych niż ($750 - 1000 \text{ km s}^{-1}$), stałych lub zmniejszających się na odległościach $R \gtrsim 2R_{\odot}$

Przyspieszenia, prędkości i wysokości CME

Na podstawie obserwacji można stwierdzić, że profil przyspieszenia przybliża funkcja:

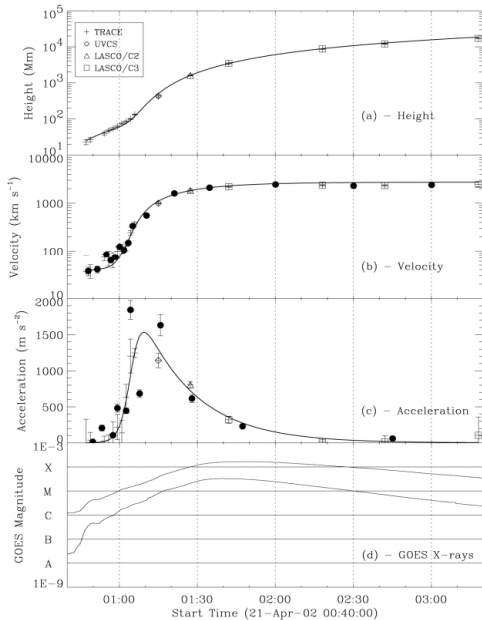
$$a(t) = a_0 \exp[-(t - t_0)/t_a] \quad (1)$$

Profil prędkości uzyskamy zaś przez scałkowanie (1):

$$v(t) = v_0 \int_{t_0}^t a(t) dt \quad (2)$$

A profil wysokości poprzez dwukrotne scałkowanie profilu przyspieszenia:

$$h(t) = h_0 + v(t - t_0) + \int_{t_0}^t \int_{t_0}^t a(t) dt dt \quad (3)$$



Temperatura CME

W zależności od metody obserwacyjnej, tj. np. pasma, w którym wykonywane są obserwacje, otrzymano różne przedziały temperatur. Połączenie tych informacji daje zakres temperatur $3 \times 10^4 - 2 \times 10^6$ K.

Konieczne są dalsze obserwacje pod kątem mierzenia temperatury.

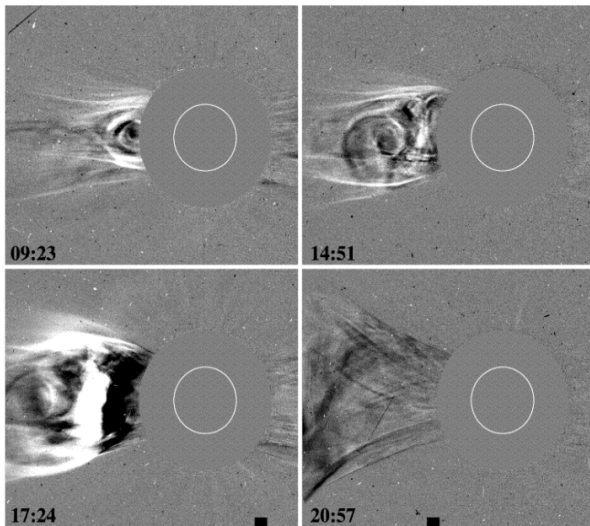
Masa CME

Masa pojedynczego wyrzutu to ok. $m_{CME} \approx 10^{14} - 10^{16} \text{ g}$

Można ją oszacować z następującej relacji:

$$m_{CME} = \frac{I_{obs}}{I_e(\theta)} \mu m_p \approx \frac{I_{obs}}{I_e(\theta)} 2 \times 10^{24} [g] \quad (4)$$

gdzie: I_{obs} - różnica w jasności obserwowanej (uzyskana z odjęcia obrazów), $I_e(\theta)$ - jasność pojedynczego elektronu widzianego pod kątem θ , μ - średni ciężar cząsteczkowy.



Gęstość elektronowa CME

Jeśli temperatura jasnościowa Słońca jest znacznie niższa niż temperatura jasnościowa wyrzutu, to przy pomocy obserwacji radiowych jesteśmy w stanie przybliżyć gęstość wyrzutu wzorem:

$$T_B = 0,2T^{-1/2}f^{-2} \int_0^\infty (n_e + n_{CME})^2 ds \approx 0,2T^{-1/2}f^{-2}n_{CME}^2L \quad (5)$$

gdzie: L - rozmiar CME w linii widzenia, T - temperatura, T_B - temp. jasnościowa, f - częstotliwość obserwacji.

Dla wartości:

- temperatura $T = 10^6$ K
- temperatura jasnościowa $T_B = 9,7 \times 10^4$ K na częstotliwości $f = 73,8$ MHz

Otrzymujemy gęstość elektronową $0,5 \times 10^6 \text{ cm}^{-3}$

Energie CME

Podstawowe założenie przy szacowaniu energii, to

$$E_{tot} \approx E_{grav} + E_{kin} + E_{mag}. \quad (6)$$

Kolejne wyrazy sumy możemy zapisać następująco:

$$E_{grav}(R) = \sum_{fluxrope} \int_{R_{\odot}}^R \frac{GM_{\odot}m_i}{r_i^2} dr_i$$

$$E_{kin}(R) = \frac{1}{2} \sum_{fluxrope} m_i v_{CME}^2 \quad (7)$$

$$E_{mag}(R) = \frac{1}{8\pi} \int_{fluxrope} B^2(R) dV \approx \frac{1}{8\pi} \frac{l}{A} (B \times A)^2$$

Wnioski

- $E_{kin} < E_{grav}$ dla relatywnie małych CME i większa dla tych o $v_{CME} \geq 600 \text{ km s}^{-1}$
- wolne CME są kontrolowane przez E_{mag} , w przeciwieństwie do szybkich
- $E_{tot} \approx 10^{30} - 10^{32} \text{ [erg]}$

Mechaniczne odpowiedniki

Modele:

Mechaniczne odpowiedniki

Modele:

- 1 termicznego podmuchu (thermal blast)

Mechaniczne odpowiedniki

Modele:

- 1 termicznego podmuchu (thermal blast)
- 2 dynamy

Mechaniczne odpowiedniki

Modele:

- 1 termicznego podmuchu (thermal blast)
- 2 dynamy
- 3 dociążania materią (mass loading)

Mechaniczne odpowiedniki

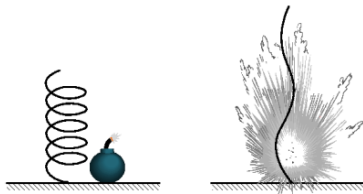
Modele:

- 1 termicznego podmuchu (thermal blast)
- 2 dynamy
- 3 dociążania materią (mass loading)
- 4 zwalniania pęt (theter cutting)

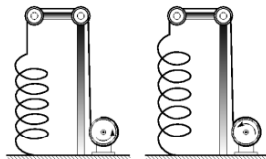
Mechaniczne odpowiedniki

Modele:

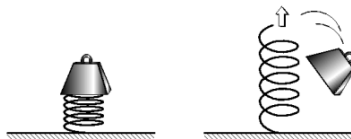
- 1 termicznego podmuchu (thermal blast)
- 2 dynamy
- 3 dociążania materią (mass loading)
- 4 zwalniania pęt (theter cutting)
- 5 forsowania pęt (tether straining)



Thermal Blast



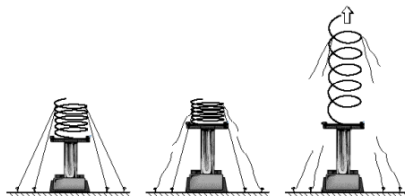
Dynamo



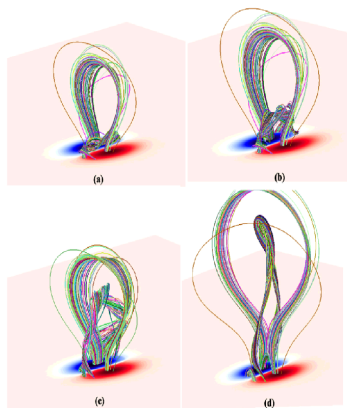
Mass Loading



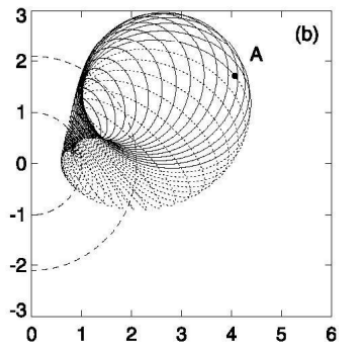
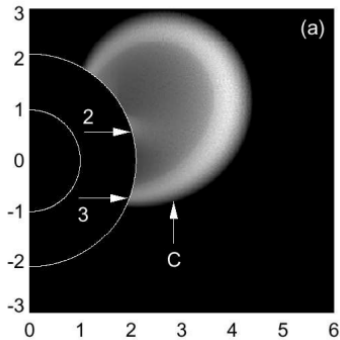
Tether Release



Tether Straining



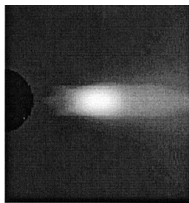
Rysunek: Numeryczna symulacja MHD ewolucji koronalnego wyrzutu masy, powodowana turbulentną dyfuzją. Czasy odpowiednio to: (a) $t=850$, (b) $t=950$, (c) $t=1050$ oraz (d) $t=1150$.



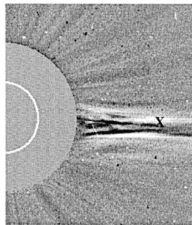
Rysunek: Sztuczny obrazek z koronografu (a) bazujący na trójwymiarowej geometrii modelu helisoidalnej linii pola (b).



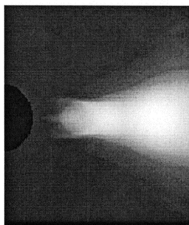
C2-1996/04/30 04:51:19



9.57 hours

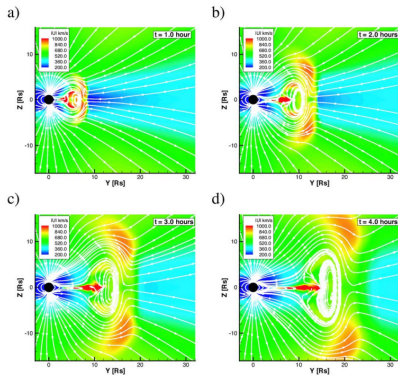
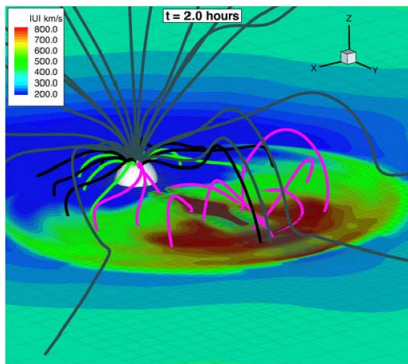


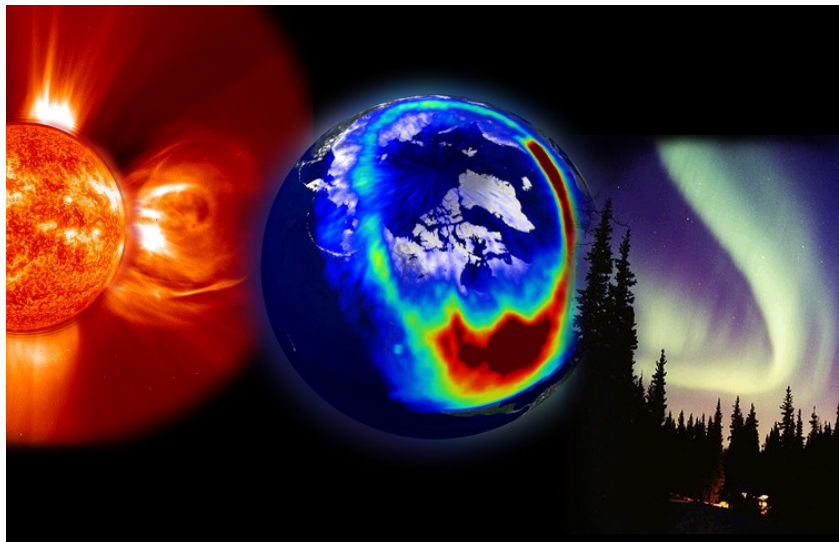
C2-1996/04/30 09:37:59

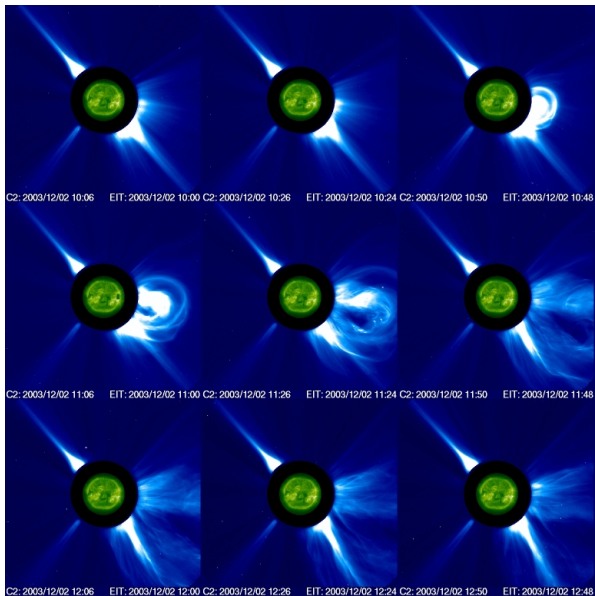


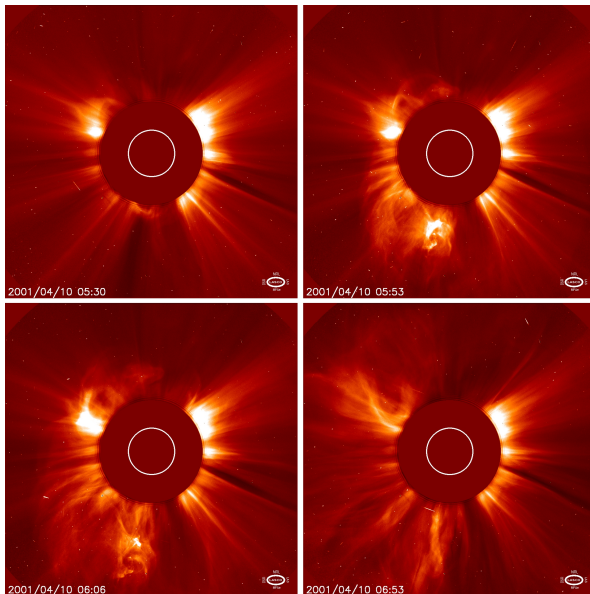
14.17 hours

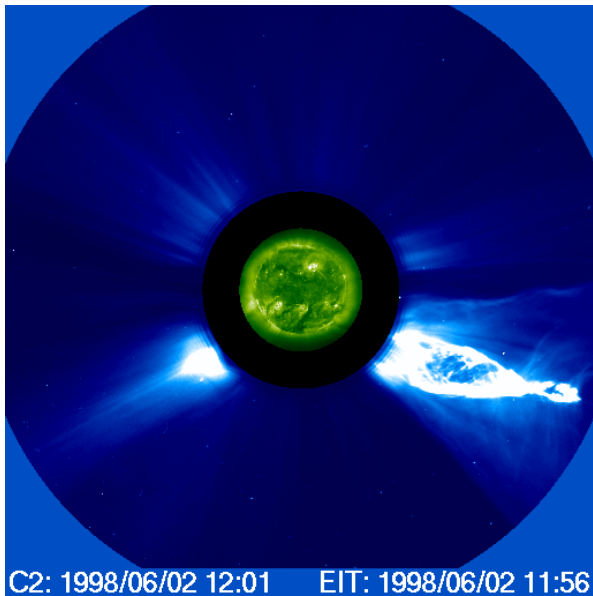
Rysunek: Po lewej SoHO/LASCO 30 kwi 1996, 04:51 UT i 09:37 UT, porównany z symulacją numeryczną CME (po prawej)

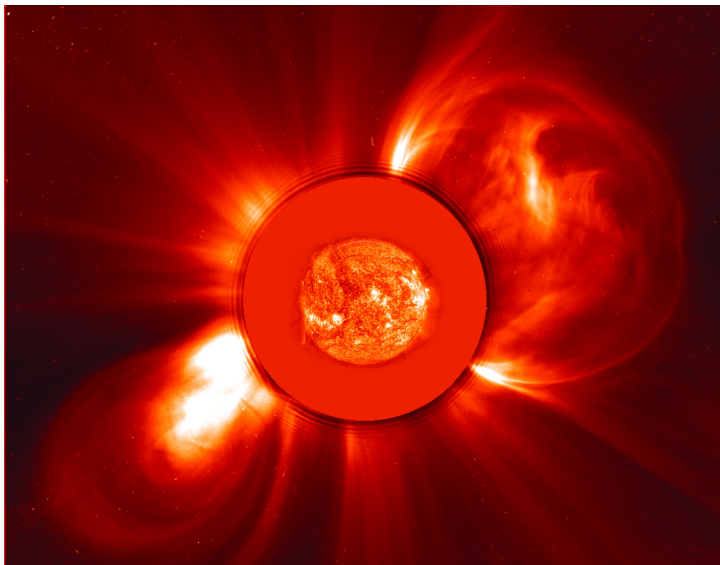














Markus J. Aschwanden, *Physics of the Solar Corona*. Praxis Publishing Ltd., 2005.



Manchester et al., *Three-dimensional MHD simulation of a flux rope driven CME*. Journal of Geophysical Research, vol. 109, 2004.