

# Fizyka rozbłysków słonecznych

- wykład nr IX

*skrót wybranych slajdów*

*Krzysztof Radziszewski*

*Instytut Astronomiczny, Uniwersytet Wrocławski*

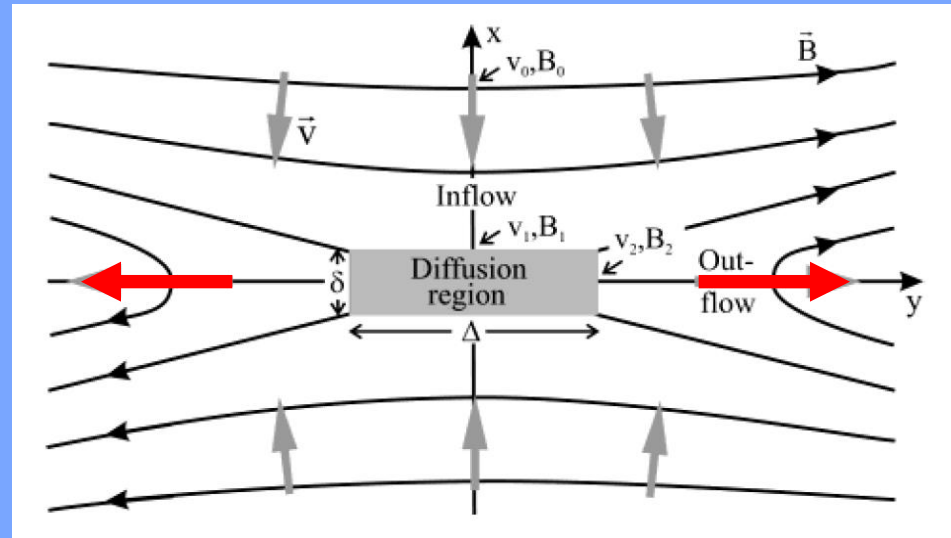
## Przyczyny powstawania rozbłysków słonecznych

„Stała/statyczna” 2D rekonsksja magnetyczna (*Steady 2D Magnetic Reconnection*)

Siła Lorenza generuje pole elektryczne  $\vec{E}_0$  w kierunku prostopadłym do 2D-powierzchni napływów i odpływów plazmy (powierzchni schematu).

Prąd ( $j_{nl}$ ) w warstwie neutralnej jest związany z polem elektrycznym  $\vec{E}_0$  zatem zgodnie z prawem Ohma możemy zapisać:

$$\vec{E}_0 = \frac{1}{c} v_1 \vec{B}_1 = \frac{1}{c} v_2 \vec{B}_2 = \frac{j_{nl}}{\sigma}$$



co stanowi podstawę określającą **warstwę prądowej** (*current sheet*) dla obszaru dyfuzyjnego.

UWAGA => Skończona wartość oporności  $\sigma$  wymaga zastosowania rozwiązania „opornościowego” MHD (*resistive MHD*) dla obszaru dyfuzyjnego.

## Fale Alfvéna i prędkość Alfvéna

**Fale Alfvéna** – jest to jeden z rodzajów fal magneto hydrodynamicznych (MHD). Są to fale poprzeczne rozchodzące się w plazmie, znajdującej się w polu magnetycznym. Fale te rozchodzą się wzdłuż pola magnetycznego.

Fale Alfvéna (w przeciwieństwie do fal akustycznych) nie powodują zmian ciśnienia ośrodka. Gęstość plazmy pozostaje stała w czasie, a prędkość propagacji zaburzenia jest określona wzorem na prędkość Alfvéna.

Przykładem tego typu fal odkrytych w atmosferze Słońca są **fale Moretona** (teoretyczny postulat istnienia takich fal Hannes Alfvén wysunął w 1940 roku).

**Prędkość Alfvéna** (prędkość fali Alfvéna) – jest to prędkość rozchodzenia się w plazmie fal Alfvéna. Określa ją wzór:

$$\vec{v}_A = \frac{\vec{B}}{\sqrt{\mu\rho}} = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \vec{H}$$

**B** – indukcja magnetyczna

**H** – natężenie pola magnetycznego

$\mu$  – przenikalność magnetyczna plazmy

$\rho$  – gęstość plazmy



## Przyczyny powstawania rozbłysków słonecznych

Rekoneksja magnetyczna => model Sweet-Parker'a

Dla stałych, ściśliwych przepływów ( $\nabla \cdot \vec{v} \neq 0$ ), wyplywy osiagaja tu w przyblizeniu predkosci Alfvenowskie:

$$\vec{v}_2 = \vec{v}_A = \frac{\vec{B}_2}{\sqrt{4\pi\rho_2}}$$

i pozostaja w zaleznosci z predkosciami wyplywów ( $\vec{v}_2$ ) oraz rozmiarem obszaru dyfuzyjnego:

$$\rho_1 \vec{v}_1 \Delta = \rho_2 \vec{v}_2 \delta$$

Możemy określić również współczynnik rekoneksji  $M_0$ , który jest zdefiniowany jako liczba Macha stosunku zewnętrznej prędkości napływu ( $\mathbf{v}_0$ ) do Alfvenowskiej prędkości odpływu plazmy ( $\mathbf{v}_A$ ) - przy założeniu następujących przybliżeń:

$$\mathbf{B}_1 \approx \mathbf{B}_0, \quad \mathbf{v}_1 \approx \mathbf{v}_0, \quad S_1 \approx S_0$$

# Przyczyny powstawania rozbłysków słonecznych

Rekoneksja magnetyczna => model Sweet-Parker'a

$$M_0 = \frac{v_0}{v_A} = \frac{1}{\sqrt{S_0}}$$

$M_0$  - współczynnik rekoneksji

$v_0$  - zewnętrzne prędkości napływu plazmy

$v_A$ , - prędkość Alfvéna

$S_0$  - liczba Lundquista

Liczba Lundquista  $S = \frac{v_A L}{\eta}$  jest analogiczna do liczby Reynoldsa  $R = \frac{vL}{\eta}$

(zdefiniowanej dla ogólnej prędkości plazmy  $\mathbf{v}$ ).

Liczba Lundquista

## Liczba Lundquista

**Liczba Lundquista** – bezwymiarowy stosunek skali czasowej przejścia fali Alfvéna do skali czasowej „opornościowej” dyfuzji. (Zastosowanie - fizyka plazmy).

$$S = \frac{v_A L}{\eta}$$

$v_A$  – prędkość Alfvena

$L$  – długość charakterystyczna

$\eta$  – oporność plazmy

Wysoka liczba Lundquista => wysoce przewodząca plazma

Niska liczba Lundquista => plazma o większej oporności



## Przyczyny powstawania rozbłysków słonecznych

Rekoneksja magnetyczna => model Sweet-Parker'a

Można zatem zapisać zależność:

$$v_0 = \frac{\eta}{\delta}$$

która opisuje prędkość zewnętrznego napływu plazmy ( $v_0$ ) za pomocą stosunku oporności plazmy ( $\eta$ ) do grubości obszaru dyfuzyjnego ( $\delta$ ).

Dla typowych warunków koronalnych (o dużej liczbie Lundquista  $10^8 - 10^{12}$ ), współczynnik rekoneksji  $M_0 \approx 10^{-4} - 10^{-6}$ , co daje prędkość napływu plazmy  $v_0 \approx 0.01$  km/s, co daje bardzo małą wartość grubości obszaru dyfuzyjnego  $\delta$  :

$$\delta = \Delta \left( \frac{v_A}{v_1} \right) \quad \Rightarrow \quad \delta \approx \Delta \cdot 10^{-5}$$

Zatem dla typowej długości warstwy prądowej  $\Delta \approx 1000$  km, jej grubość powinna być jedynie rzędu:  $\delta \approx 10$  m.