



Simulacije u rezistivnoj MHD

Miljenko Čemeljić,

席門傑

Μιλιενκο Τσεμεγλιτς

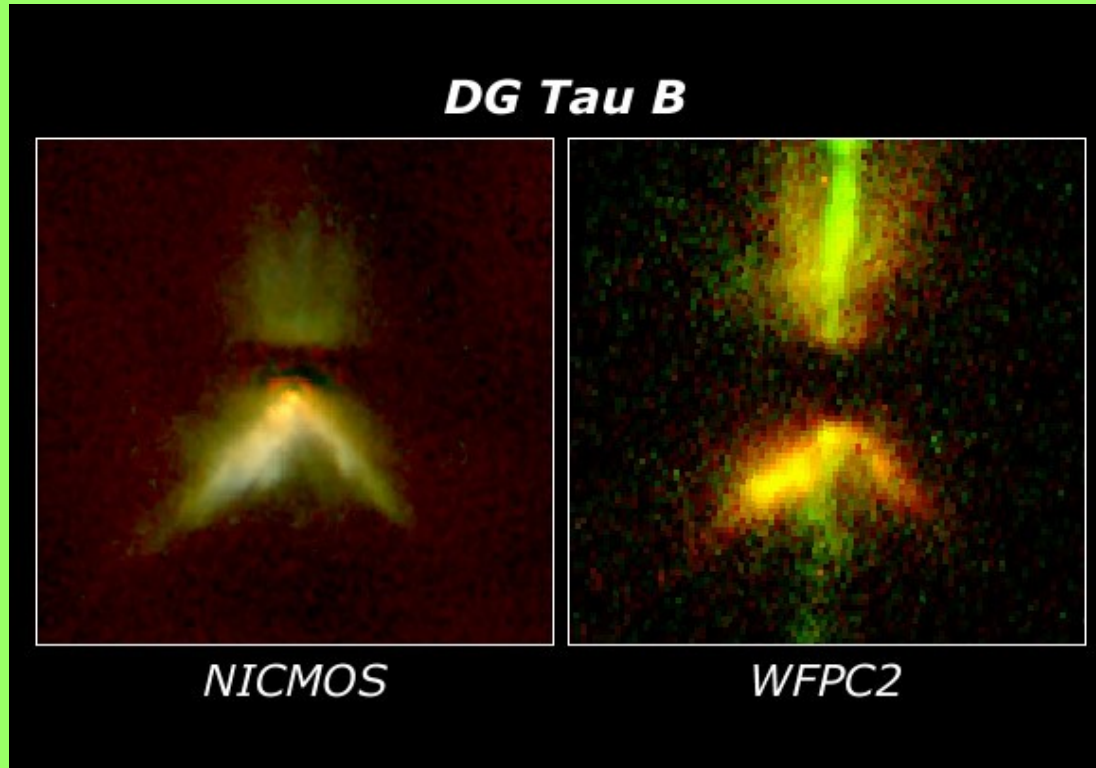
¹ASIAA (TIARA), Hsinchu, Taiwan

²IASA and University of Athens, Greece

Sadržaj

- Promatranja, Uvod
- Početni i granični uvjeti
- Simulacije
- Sažetak

Mladi zvjezdani objekti



Usporedba infracrvene NICMOS slike DG Tau B i istog u vidljivoj svjetlosti, dobivenog sa Wide Field and Planetary Camera 2 (WFPC2). WFPC2 istice mlaz koji izlazi iz sustava, dok NICMOS ulazi duboko u prasinu oko zvijezde i istice jasnije 100 milijardi-km dugu prugu prasine (horizontalna tamna pruga koja označava prisutnost velikog diska koji se tvori oko mlade zvijezde). Mlada zvijezda naznacena je sjajem koji vidimo kao svijetlu crvenu točku u kutu maglice, oblika slova V.

Uvod

- Analitička rješenja postoje samo za radijalno sebi-slične (self-similar) MHD mlazove
- U idealnim MHD simulacijama postoji numerička rezistivnost
- Rezistivne-MHD simulacije imaju dva režima
- Super-kritična rješenja

Jednadžbe rezistivne MHD

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{u}) = 0$$

$$\rho \left[\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + (\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} \right] + \nabla p - \rho \nabla \left(\frac{GM}{\sqrt{r^2 + z^2}} \right) - \frac{\mathbf{j} \times \mathbf{B}}{c} = 0$$

$$\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} - \nabla \times \left(\mathbf{u} \times \mathbf{B} - \frac{c\mathbf{j}}{\sigma} \right) = 0$$

$$\rho \left[\frac{\partial e}{\partial t} + (\mathbf{u} \cdot \nabla) e \right] + p(\nabla \cdot \mathbf{u}) - \frac{\mathbf{j}^2}{\sigma} = 0$$

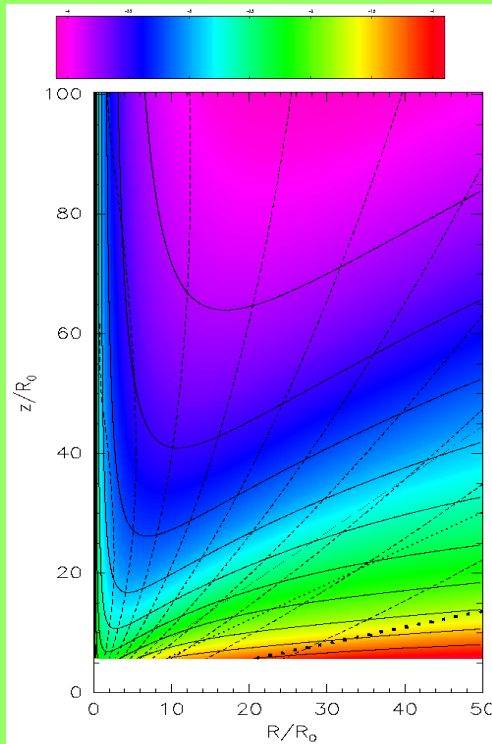
$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$$

$$\frac{4\pi}{c} \mathbf{j} = \nabla \times \mathbf{B}$$

$$p = K \rho^\gamma, \quad e = \frac{p}{\gamma - 1}, \quad \gamma = \frac{5}{3}$$

$$\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} = \nabla \times (\mathbf{u} \times \mathbf{B}) + \eta \nabla^2 \mathbf{B}, \quad \eta = \frac{c^2}{4\pi\sigma}$$

Granični i početni uvjeti

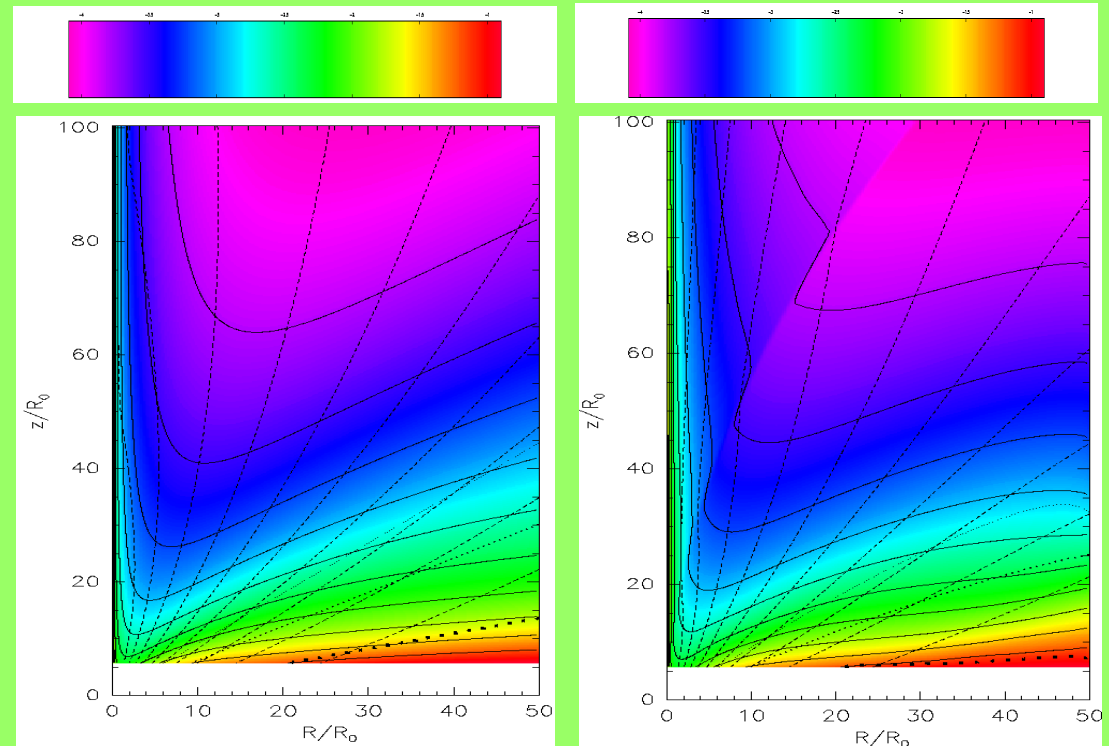


Početno stanje simulacije. Gustoća se razlikuje od analitičkog rješenja uglavnom oko osi simetrije (Z), a magnetsko polje i brzine su malo modificirane u cijeloj domeni. Bojama i punim linijama je prikazana gustoća, poloidalno magnetsko polje je prikazano isprekidanim linijama. Kritične magnetosoničke plohe su prikazane točkastim linijama.

- Modificirano analitičko rješenje kao početne vrijednosti
- Površina diska zadana je kao donja granica (apscisa)
- Kritične magnetosoničke plohe su pokazane da bi mogli pratiti vremenski razvoj rješenja

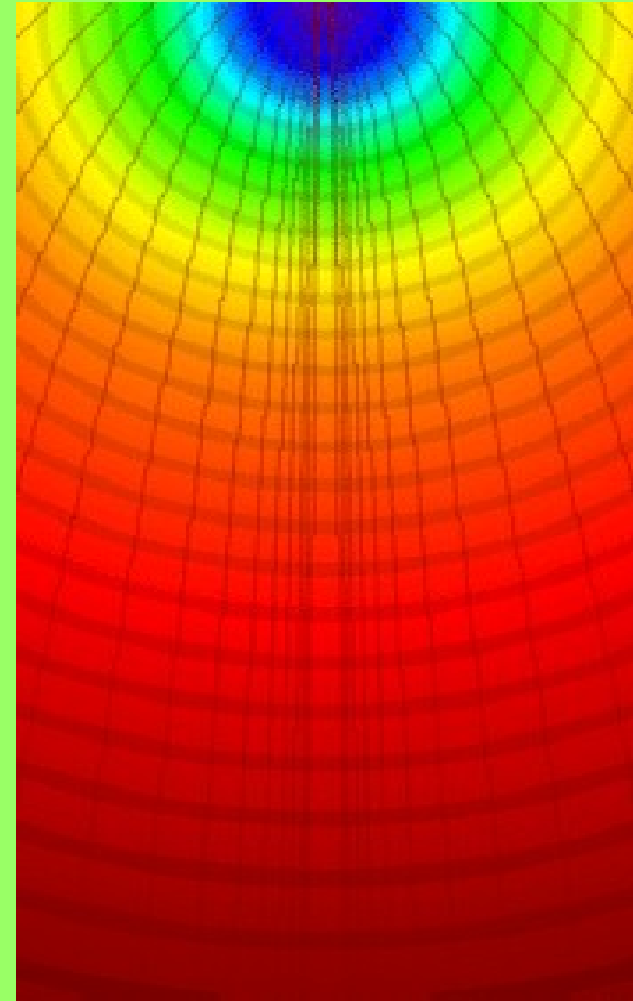
Idealne-MHD i simulacije s malom rezistivnosti

- Male promjene u usporedbi s početnim stanjem
- **Vrlo** dobro definirano stacionarno stanje za konačno rjesenje
- Integrali gibanja **glatko** odstupaju od početnih uvjeta za rastuće η



Lijevo je početno stanje, desno je konačno stacionarno stanje za simulacije s malom rezistivnosti. Jedina veća razlika je šok do kojeg dolazi zbog promjene u početnom stanju oko osi simetrije.

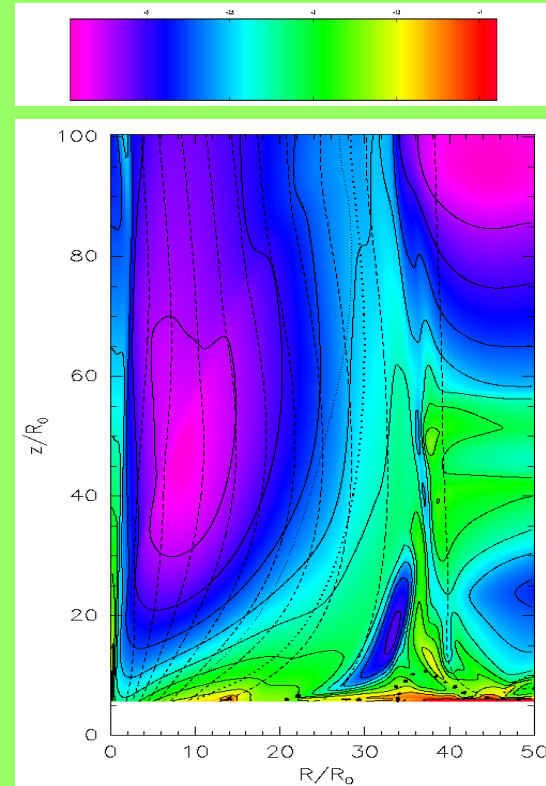
Animacije: rezultati za početne i granične uvjete po Blandford & Payne-u (1982)



Simulacije za veliku rezistivnost kodom NIRVANA i ZEUS-3D .

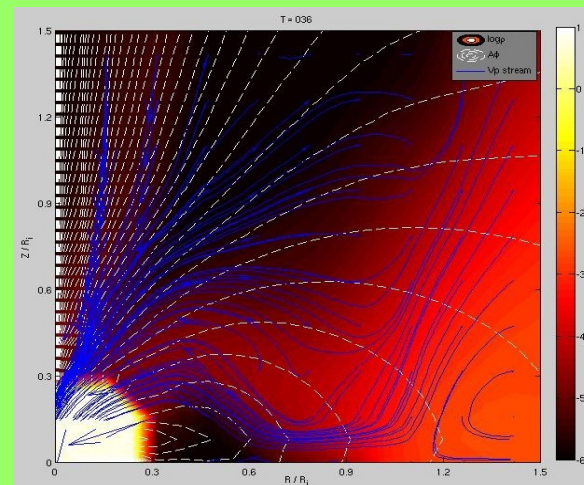
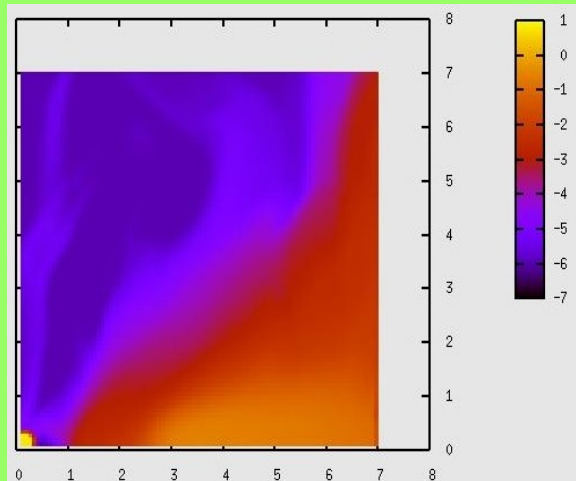
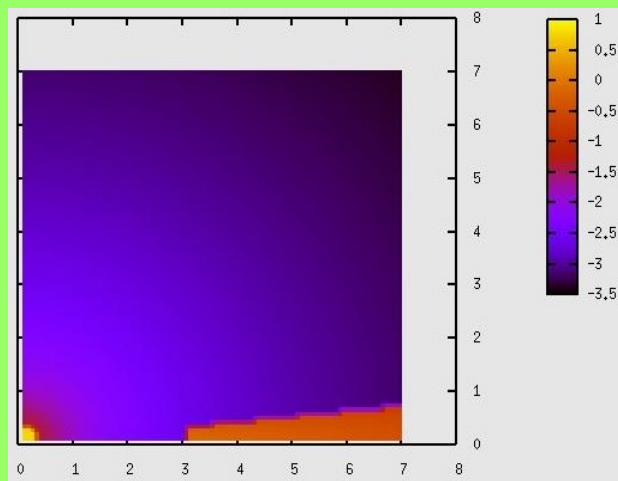
Simulacije s velikom rezistivnosti

- Postoji kritična rezistivnost
- Rješenja ne postižu stacionarno stanje
- “Krilu” kvazi-periodički prolazi kroz domenu
- Novi karakteristični broj R_b koji, zajedno sa R_m , opisuje utjecaj rezistivnosti.



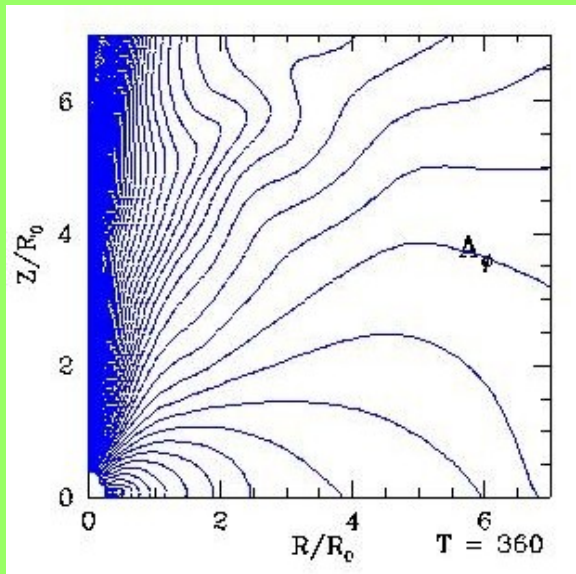
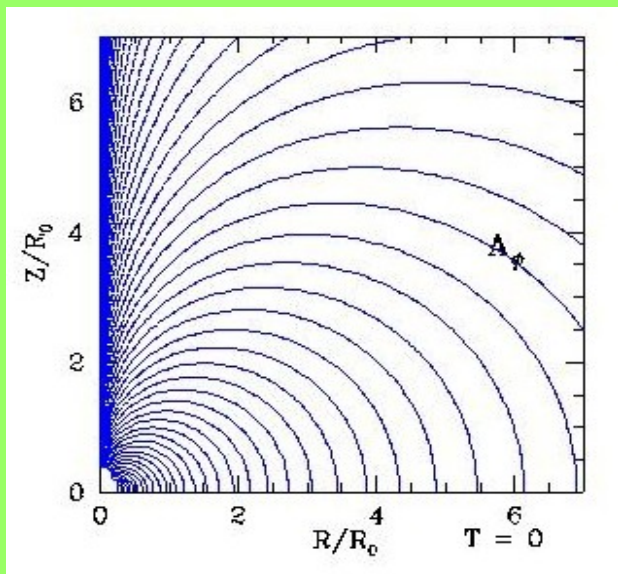
Rješenje za veliku rezistivnost je kvaziperiodičko.

Implikacije za mehanizam magnetosferičke akrecije u simulacijama zvijezde i diska



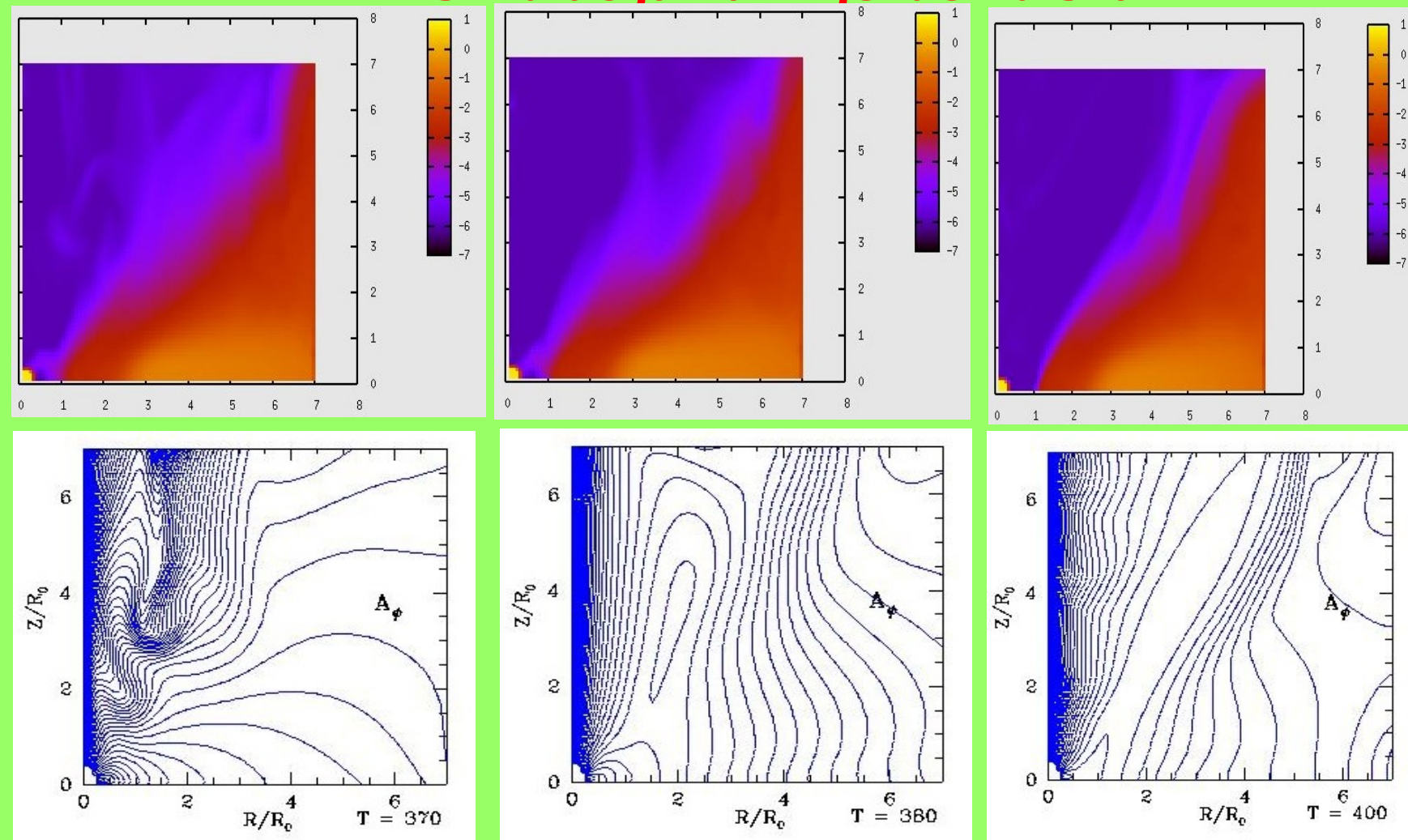
Zoom u T=360 simulaciju

- zvijezda+disk, disk uključen u simulaciju
- polje je zvjezdani magnetski dipol
- S manjom rezistivnosti ne dolazi do rekonekcije-nema akrecijskog toka na zvijezdu za polje zvijezde manje od 0.1 kGaussa



Gustoća (vrh) i linije magnetskog polja (dno) za početno i kasnije stanje kad $R_{\text{corr}}=R_{\text{in}}$.

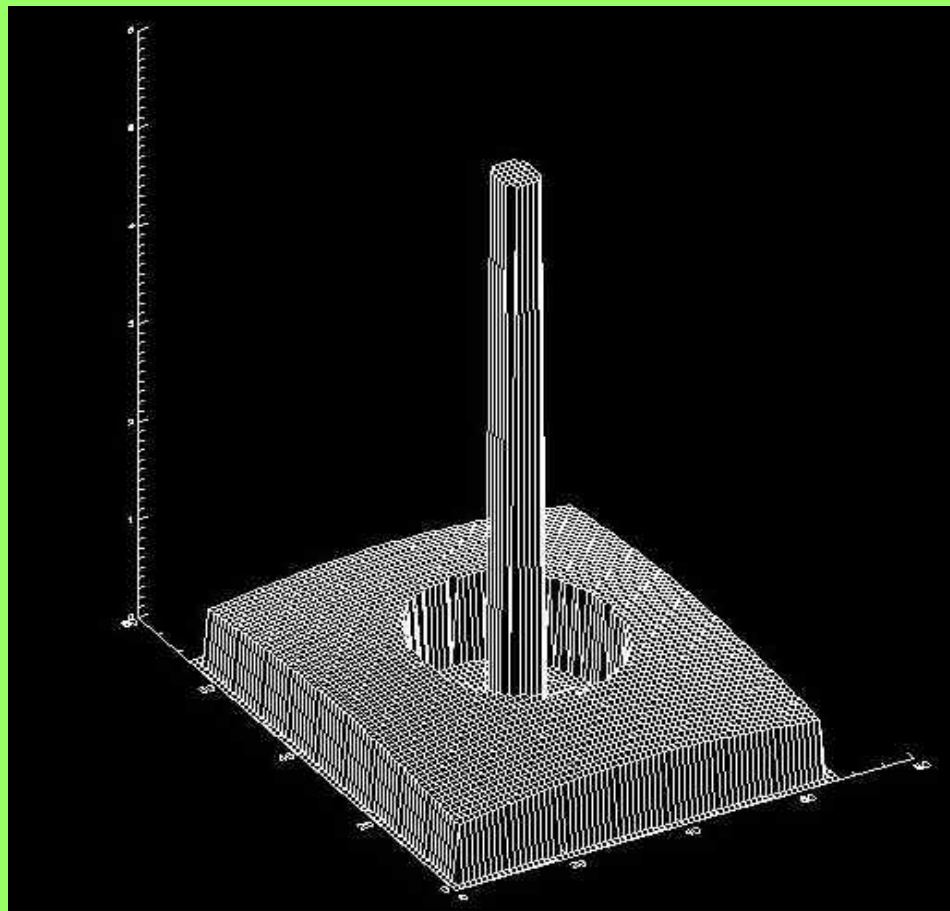
Implikacije za mehanizam magnetosferičke akrecije u simulacijama zvijezde i diska



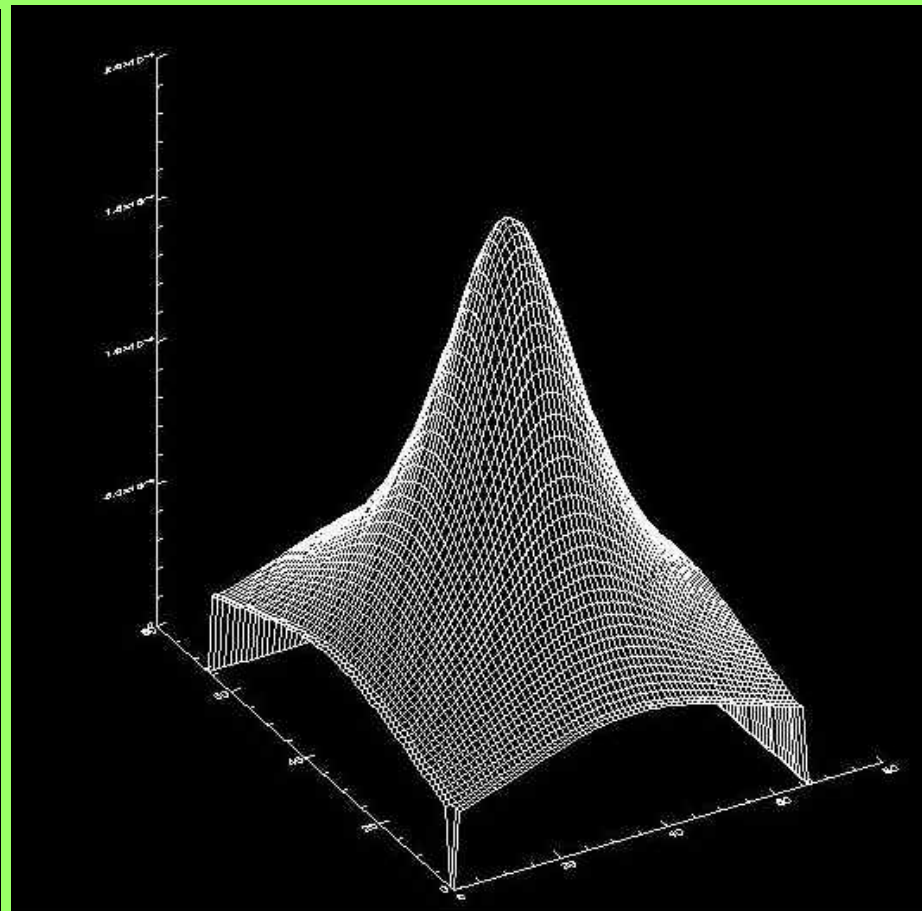
Dalji tok simulacija pokazuje rekonekciju i preoblikovanje polja. Bez difuzije magnetskog polja do toga ne dolazi, i simulacija se zaustavlja.

- Čemeljić, Shang & Chiang, 2008, u pripremi.

Simulacije u 3D – početni uvjeti



• Zvijezda+disk



Korona

Stabilnost akrecijskog diska je problem za sebe. Također, treba proučiti utjecaje graničnih uvjeta u različitim koordinatnim sistemima, ako disk nije cijeli unutar domene.

Sažetak

- Sebi-slična analitička rješenja su modificirana i uzeta kao početni uvjet
- Prepoznata su dva režima rješenja: slučaj male i velike rezistivnosti
- Mala rezistivnost: stacionarno rješenje
- Super-kritična rezistivnost: periodičko rješenje?
- Perspektiva: 3D simulacije; astrofizičke implikacije?