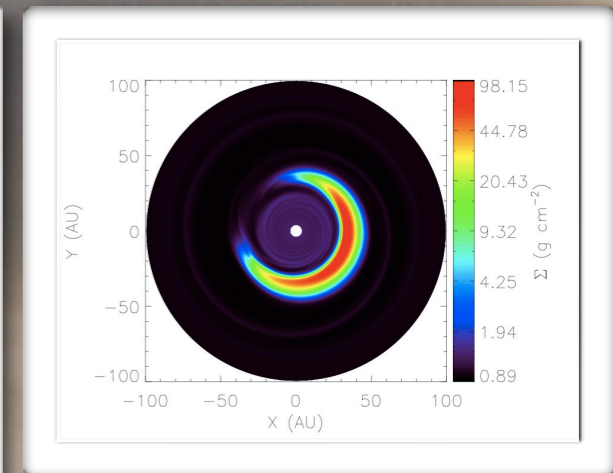
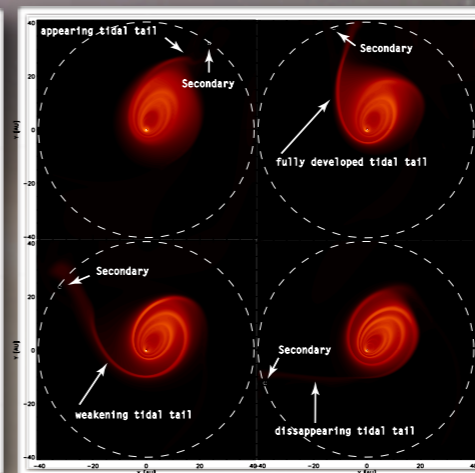
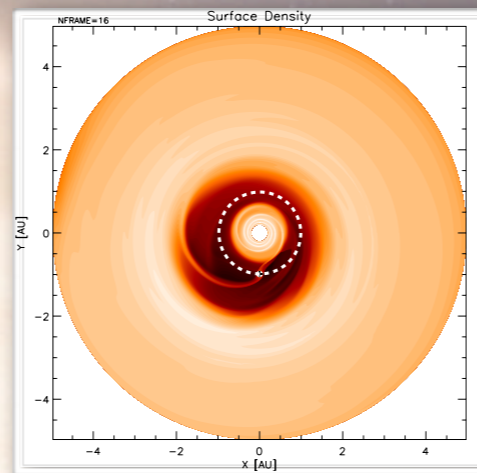
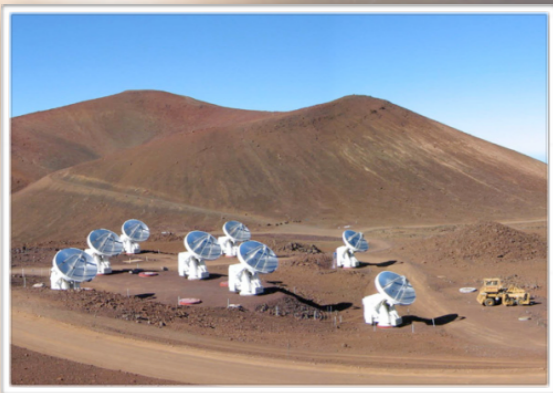


# GPU A CSILLAGÁSZATI KUTATÁSOKBAN

## PROTOPLANETÁRIS KORONGOK HIDRODINAMIKAI MODELLEZÉSE:

- KORONGBA ÁGYAZOTT, SZÜLETŐ BOLYGÓK
- KETTŐS CSILLAGOK KÖRÜLI KORONGOK
- NAGYSKÁLÁJÚ ÖRVÉNYEK KELETKEZÉSE KORONGOKBAN



# PROTOPLANETÁRIS KORONGOK

---

- Csillagközi felhők → csillagbölcsők
- Összehúzódó ködök → gázkorongok
- protoplanetáris korong:
  - ▶  $0.1M_{\odot}$ , 100CSE
  - ▶ gáz:  $H_2$ , CO, ... (99%), por (1%)
- Gyors akkréciós folyamat (1-5 millió év)
- Bolygókeletkezés (hogyan?)
  - ▶ gravitációs instabilitás (0.5 millió év)
  - ▶ bolygómagakkrecó (1-2 millió év)
- Láttunk-e születő bolygókat? → **NEM** (kicsik és halványak)
- Korongokra gyakorolt hatásuk viszont észlelhető!
  - ▶ korongban aszimmetrikus rést nyit egy Jupiter-tömegű bolygó
  - ▶ örvényképződés → indukált bolygókeletkezés



# PROTOPLANETÁRIS KORONGOK

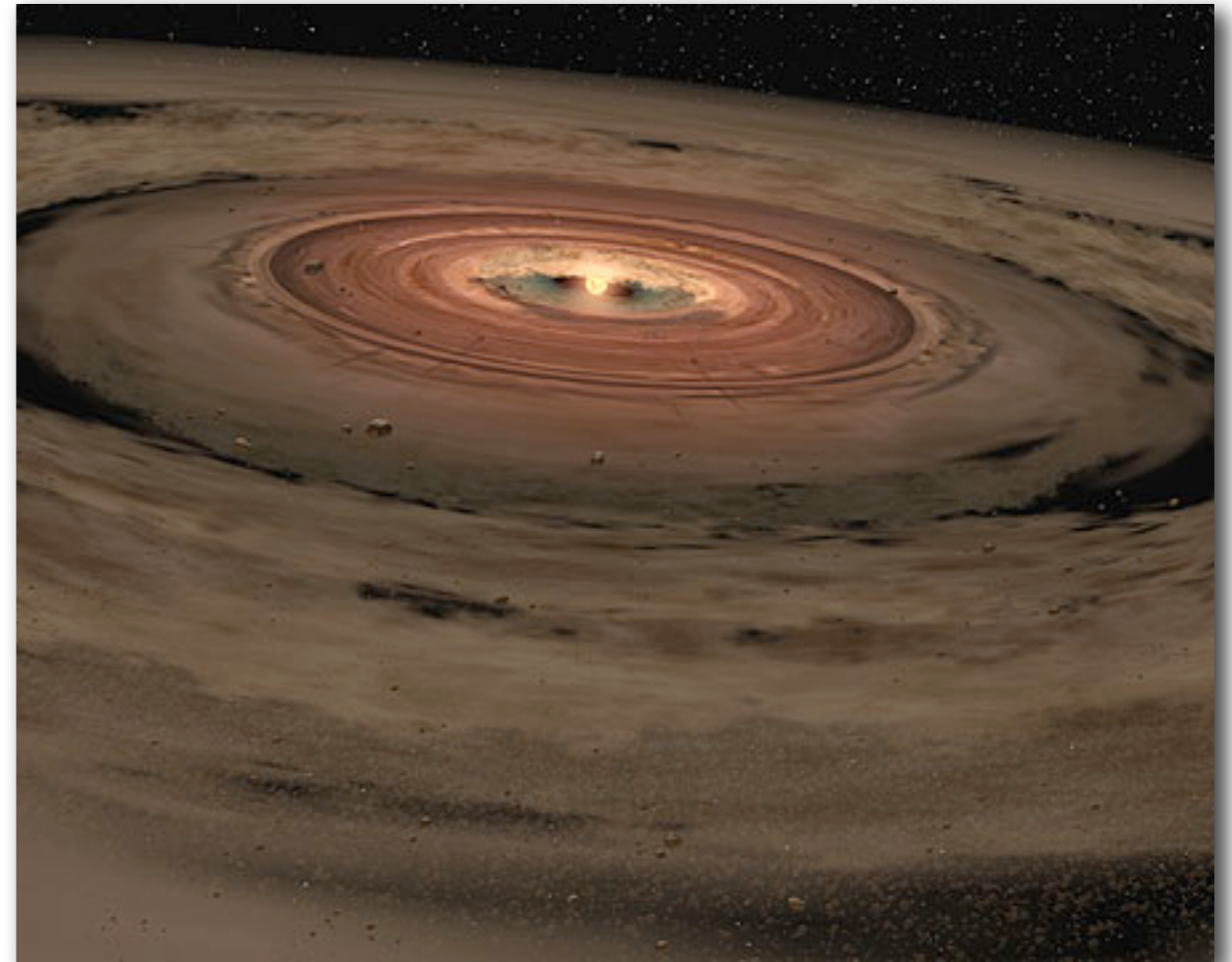
---

- Csillagközi felhők → csillagbölcsők
- Összehúzódó ködök → gázkorongok
- protoplanetáris korong:
  - ▶  $0.1M_{\odot}$ , 100CSE
  - ▶ gáz:  $H_2$ , CO, ... (99%), por (1%)
- Gyors akkréciós folyamat (1-5 millió év)
- Bolygókeletkezés (hogyan?)
  - ▶ gravitációs instabilitás (0.5 millió év)
  - ▶ bolygómagakkrécó (1-2 millió év)
- Láttunk-e születő bolygókat? → **NEM** (kicsik és halványak)
- Korongokra gyakorolt hatásuk viszont észlelhető!
  - ▶ korongban aszimmetrikus rést nyit egy Jupiter-tömegű bolygó
  - ▶ örvényképződés → indukált bolygókeletkezés



# PROTOPLANETÁRIS KORONGOK

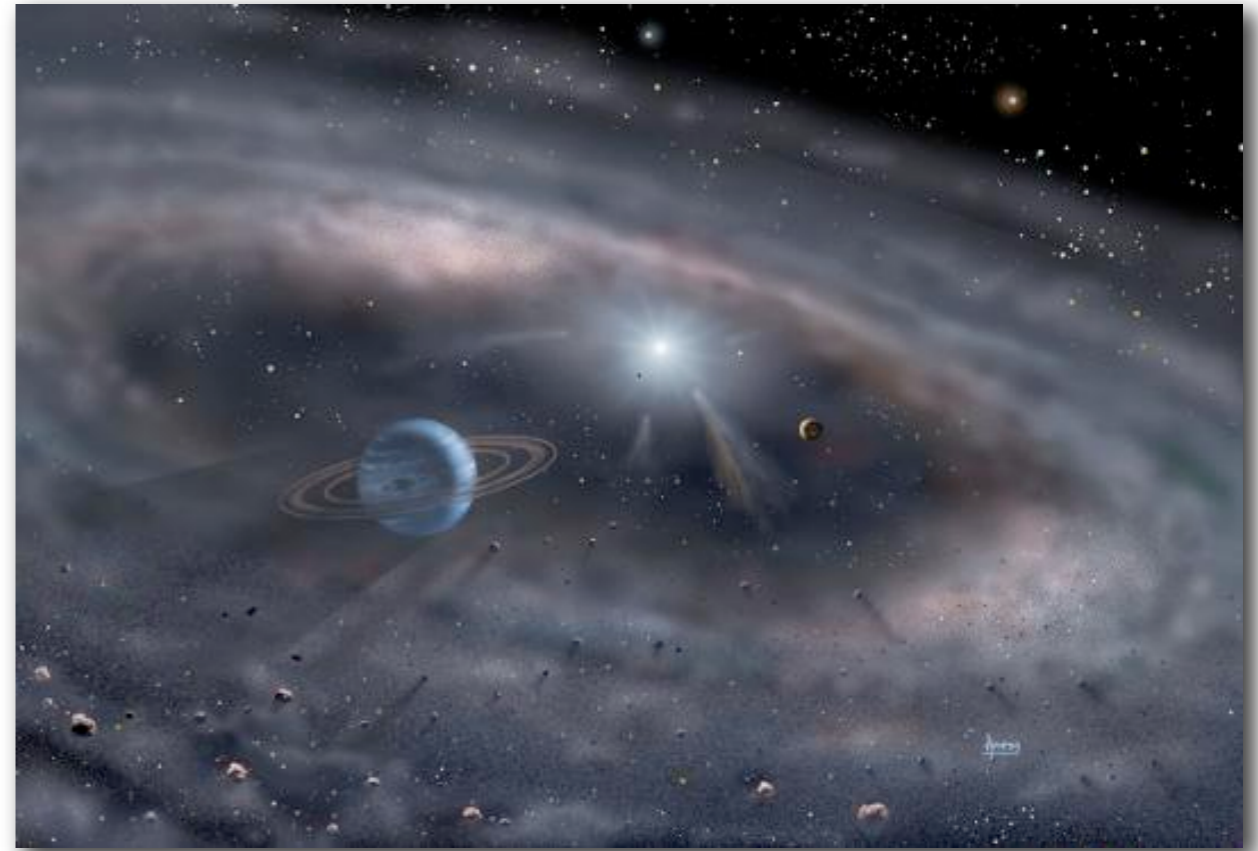
- Csillagközi felhők → csillagbölcsők
- Összehúzódó ködök → gázkorongok
- protoplanetáris korong:
  - ▶  $0.1M_{\odot}$ , 100CSE
  - ▶ gáz:  $H_2$ , CO, ... (99%), por (1%)
- Gyors akkréciós folyamat (1-5 millió év)
- Bolygókeletkezés (hogyan?)
  - ▶ gravitációs instabilitás (0.5 millió év)
  - ▶ bolygómagakkrécó (1-2 millió év)
- Láttunk-e születő bolygókat? → **NEM** (kicsik és halványak)
- Korongokra gyakorolt hatásuk viszont észlelhető!
  - ▶ korongban aszimmetrikus rést nyit egy Jupiter-tömegű bolygó
  - ▶ örvényképződés → indukált bolygókeletkezés



# PROTOPLANETÁRIS KORONGOK

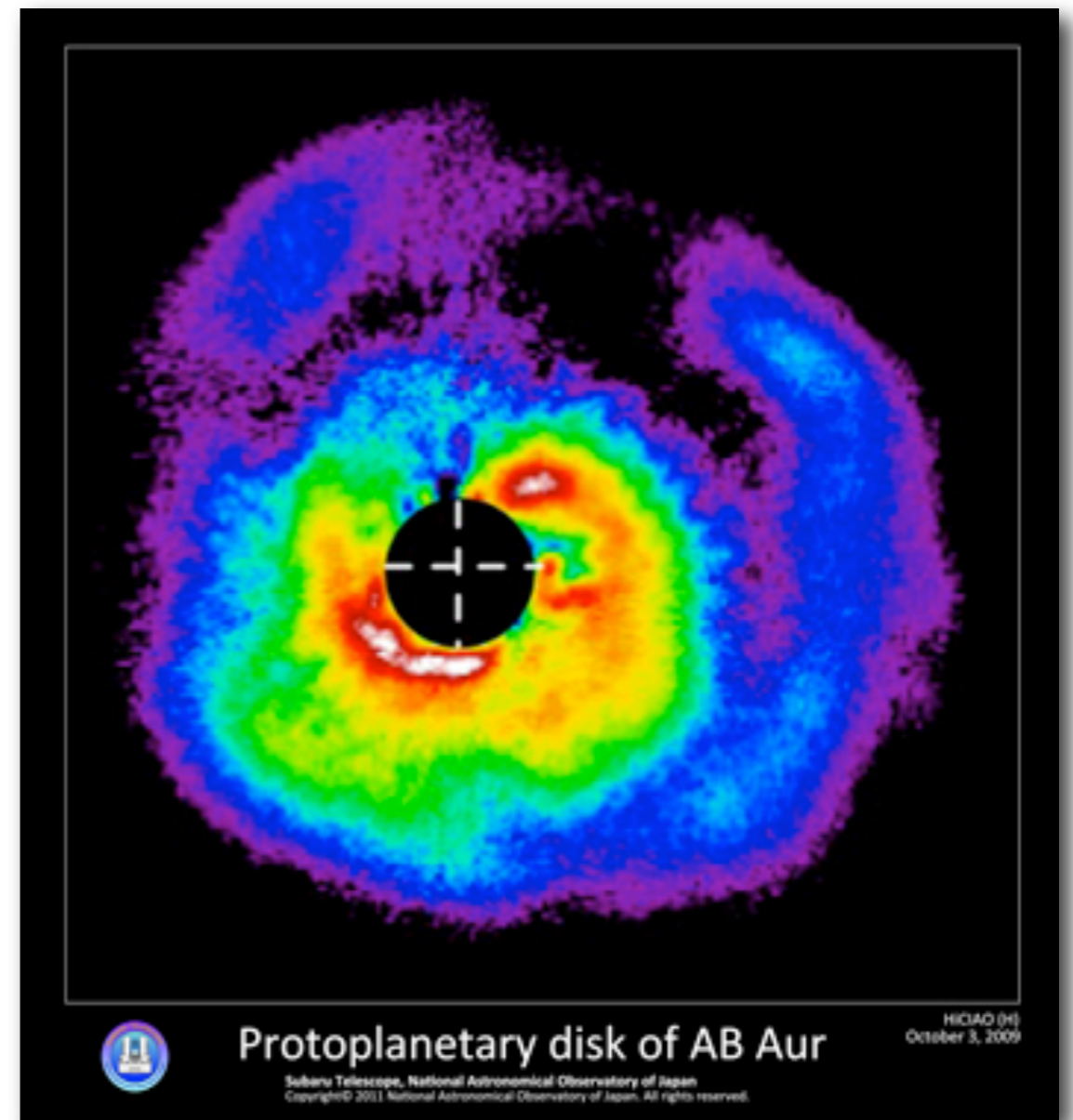
---

- Csillagközi felhők → csillagbölcsők
- Összehúzódó ködök → gázkorongok
- protoplanetáris korong:
  - ▶  $0.1M_{\odot}$ , 100CSE
  - ▶ gáz:  $H_2$ , CO, ... (99%), por (1%)
- Gyors akkréciós folyamat (1-5 millió év)
- Bolygókeletkezés (hogyan?)
  - ▶ gravitációs instabilitás (0.5 millió év)
  - ▶ bolygómagakkrecó (1-2 millió év)
- Láttunk-e születő bolygókat? → **NEM** (kicsik és halványak)
- Korongokra gyakorolt hatásuk viszont észlelhető!
  - ▶ korongban aszimmetrikus rést nyit egy Jupiter-tömegű bolygó
  - ▶ örvényképződés → indukált bolygókeletkezés



# PROTOPLANETÁRIS KORONGOK

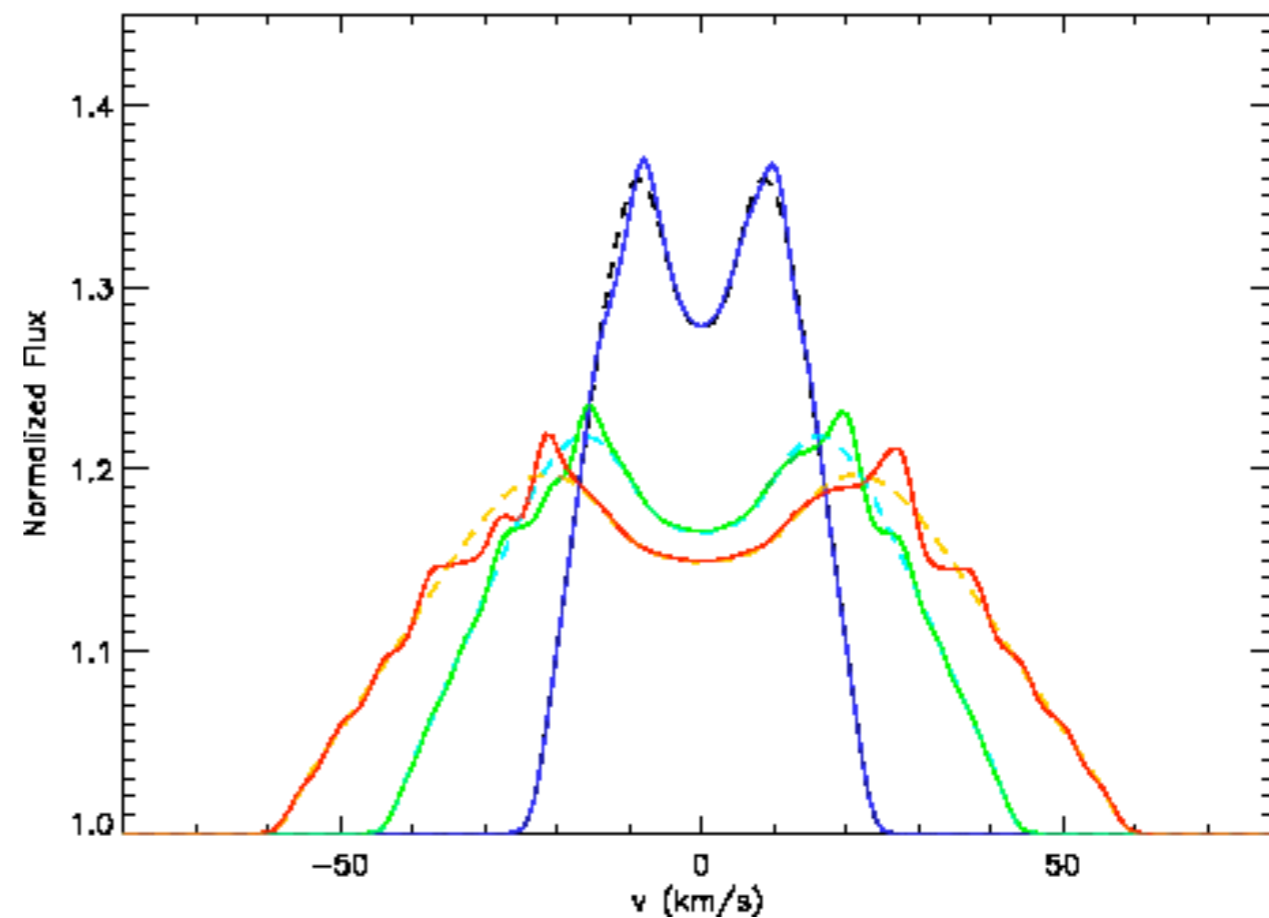
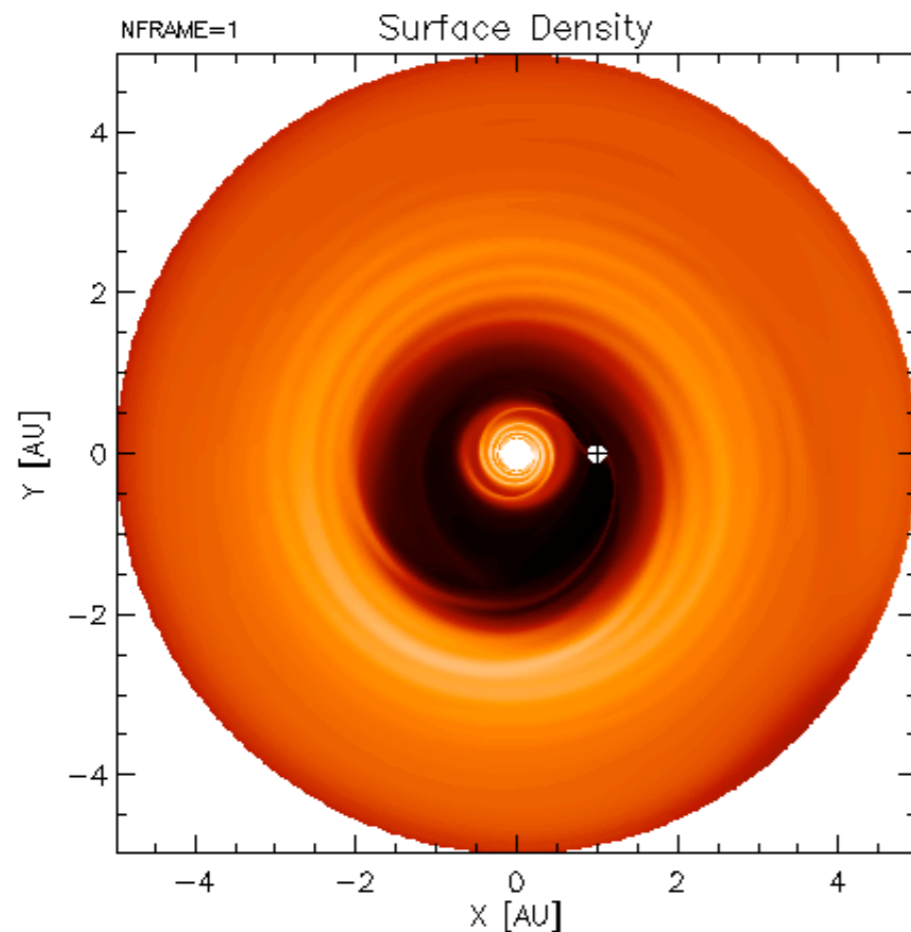
- Csillagközi felhők → csillagbölcsők
- Összehúzódó ködök → gázkorongok
- protoplanetáris korong:
  - ▶  $0.1M_{\odot}$ , 100CSE
  - ▶ gáz:  $H_2$ , CO, ... (99%), por (1%)
- Gyors akkréciós folyamat (1-5 millió év)
- Bolygókeletkezés (hogyan?)
  - ▶ gravitációs instabilitás (0.5 millió év)
  - ▶ bolygómagakkrécó (1-2 millió év)
- Láttunk-e születő bolygókat? → **NEM** (kicsik és halványak)
- Korongokra gyakorolt hatásuk viszont észlelhető!
  - ▶ korongban aszimmetrikus rést nyit egy Jupiter-tömegű bolygó
  - ▶ örvényképződés → indukált bolygókeletkezés



# KORONGBA ÁGYAZÓDOTT BOLYGÓK GRAVITÁCIÓS HATÁSA

Regály, Zs.; Sándor, Zs.; Dullemond, C. P.; van Boekel, R.; Detectability of giant planets in protoplanetary disks by CO emission lines, 2010 A&A 523, A69

- CO V=1-0 P(10) vonalprofil,  $i=20^\circ$ ,  $40^\circ$ , és  $60^\circ$ ;  $M_{pt}=8M_j$ ;  $M_{star}=1M_{Sun}$ ;  $a_{pt}=1$  CSE
- Aszimmetrikus, időben változó vonalprofil  $\rightarrow$  **Jupiter-szerű bolygó detektálható**

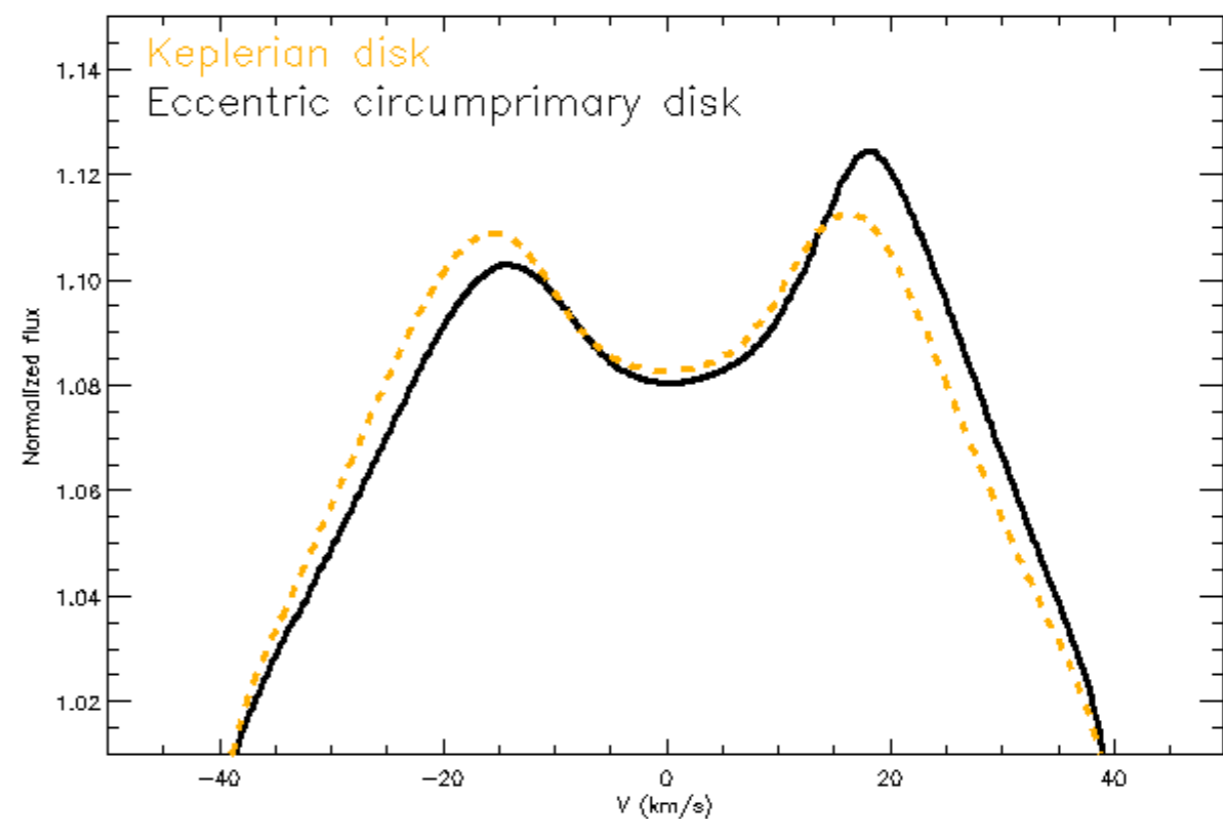
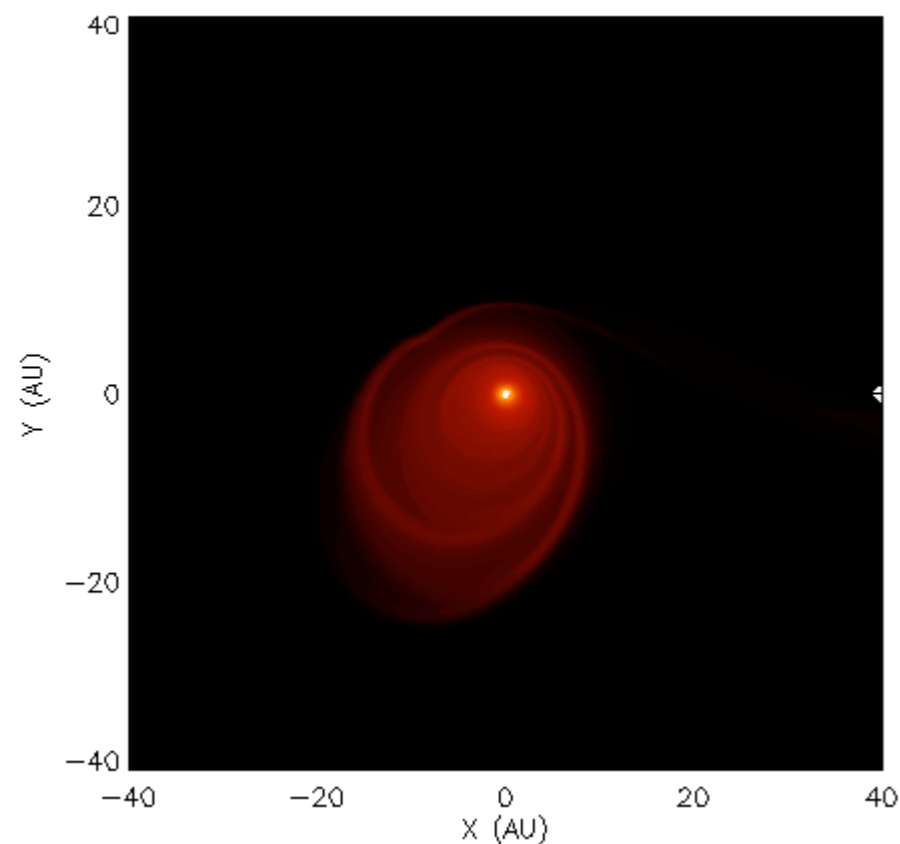


- $\sim 1000$  éves szimuláció, 1 hét FARGO-val (MPI 8 processzoron)

# KETTŐS CSILLAGOK KORONGJAINAK TORZULÁSA

Regály, Zs.; Sándor, Zs.; Dullemond, C. P.; Kiss, L.L.; *Spectral signatures of disk eccentricity in young binary systems: I. circumprimary case; 2011 A&A, 528, A93*

- Retrográd korongprecesszió ( $t_{prec} \approx 10P_{bin}$ )  $\rightarrow$  aszimmetria időben változik
- Kísérő megközelíti a korong pericentrumát  $\rightarrow$  árapálynyalábok megjelenése
- Excentricitás periódusonként változik  $\rightarrow$  vonalszárnyak változása



- $\sim 10\,000$  éves szimuláció, 2 hét FARGO-val (MPI, 16 processzoron)



# ÖRVÉNYEK PROTOPLANETÁRIS KORONGOKBAN

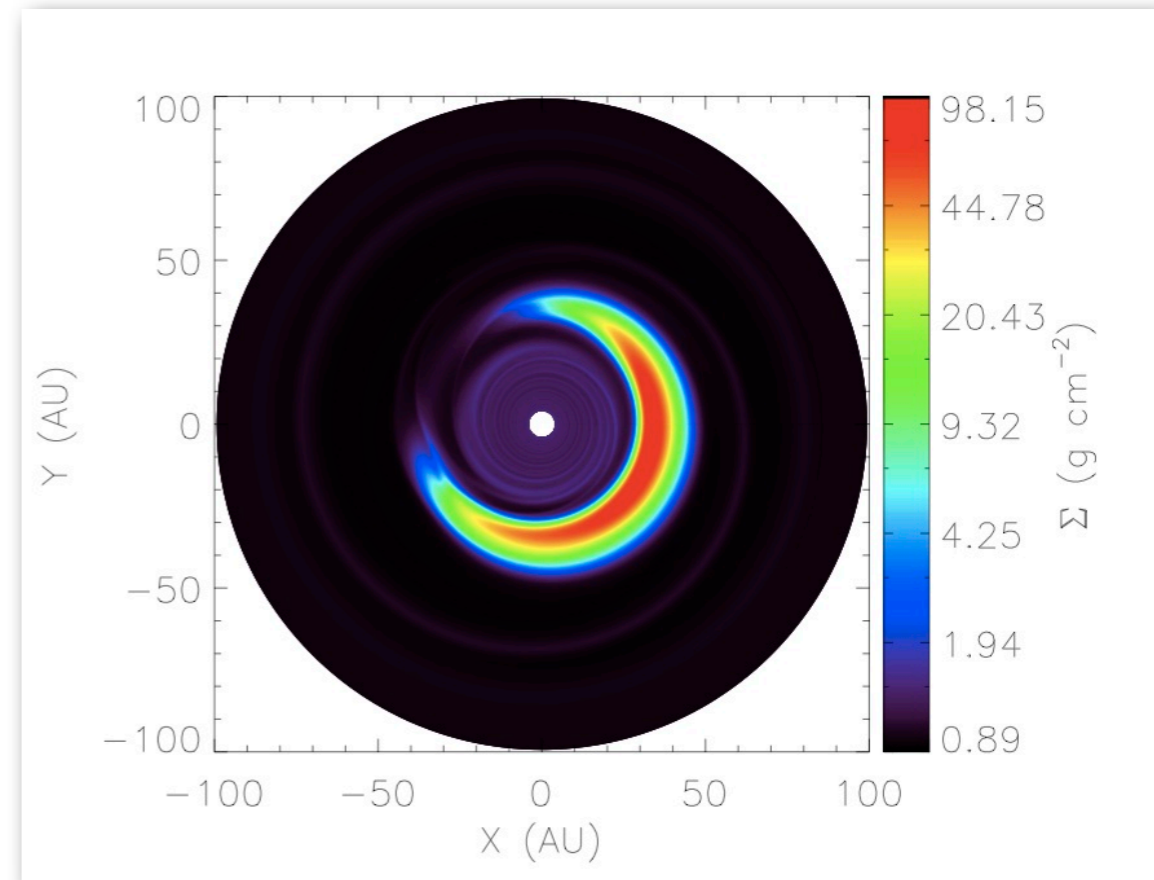
---

- Rossby-instabilitás (pl. Jupiter vörös foltja)
- Mi keltheti az örvényeket?
  - ▶ Baroklinikus instabilitás:  $\nabla P \times \nabla \rho \neq 0$
  - ▶ Viskozitás hirtelen megváltozása
- Viskozitás: ionizált gáz + mágneses tér
- Akkréciósan inaktív zóna:
  - ▶ határán örvény keletkezik
- Látunk-e ilyet az SMA-val?
  - ▶ Ha igen → bolygókeletkezés örvényben
  - ▶ Rádiótávcsövekkel mm-es hullámsávon a port látjuk (por-gáz csatolás erős)
- 1-2 millió éves szimuláció, 2 nap GFARGO-val (NVIDIA GTX-280)



# ÖRVÉNYEK PROTOPLANETÁRIS KORONGOKBAN

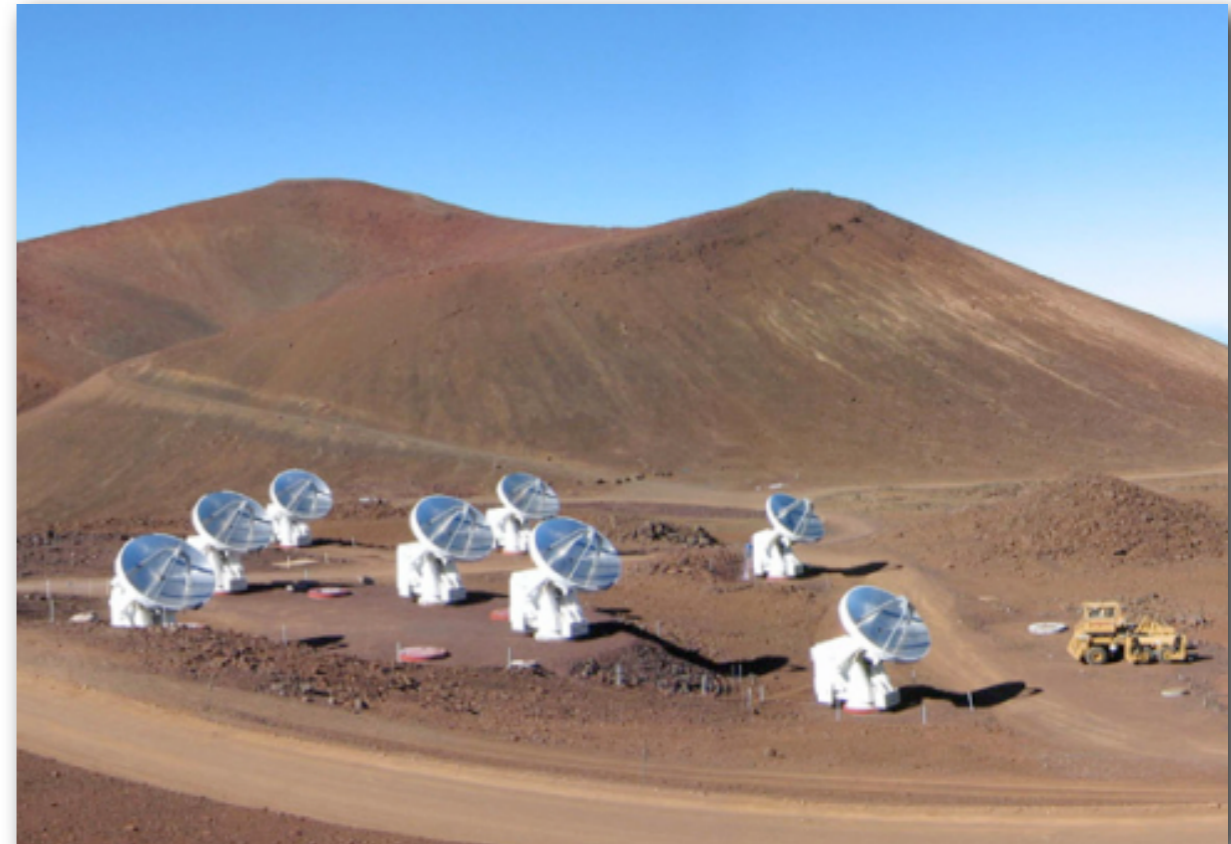
- Rossby-instabilitás (pl. Jupiter vörös foltja)
- Mi keltheti az örvényeket?
  - ▶ Baroklinikus instabilitás:  $\nabla P \times \nabla \rho \neq 0$
  - ▶ Viskozitás hirtelen megváltozása
- Viskozitás: ionizált gáz + mágneses tér
- Akkréciósan inaktív zóna:
  - ▶ határán örvény keletkezik
- Látunk-e ilyet az SMA-val?
  - ▶ Ha igen → bolygókeletkezés örvényben
  - ▶ Rádiótávcsövekkel mm-es hullámsávon a port látjuk (por-gáz csatolás erős)
- 1-2 millió éves szimuláció, 2 nap GFARGO-val (NVIDIA GTX-280)



# ÖRVÉNYEK PROTOPLANETÁRIS KORONGOKBAN

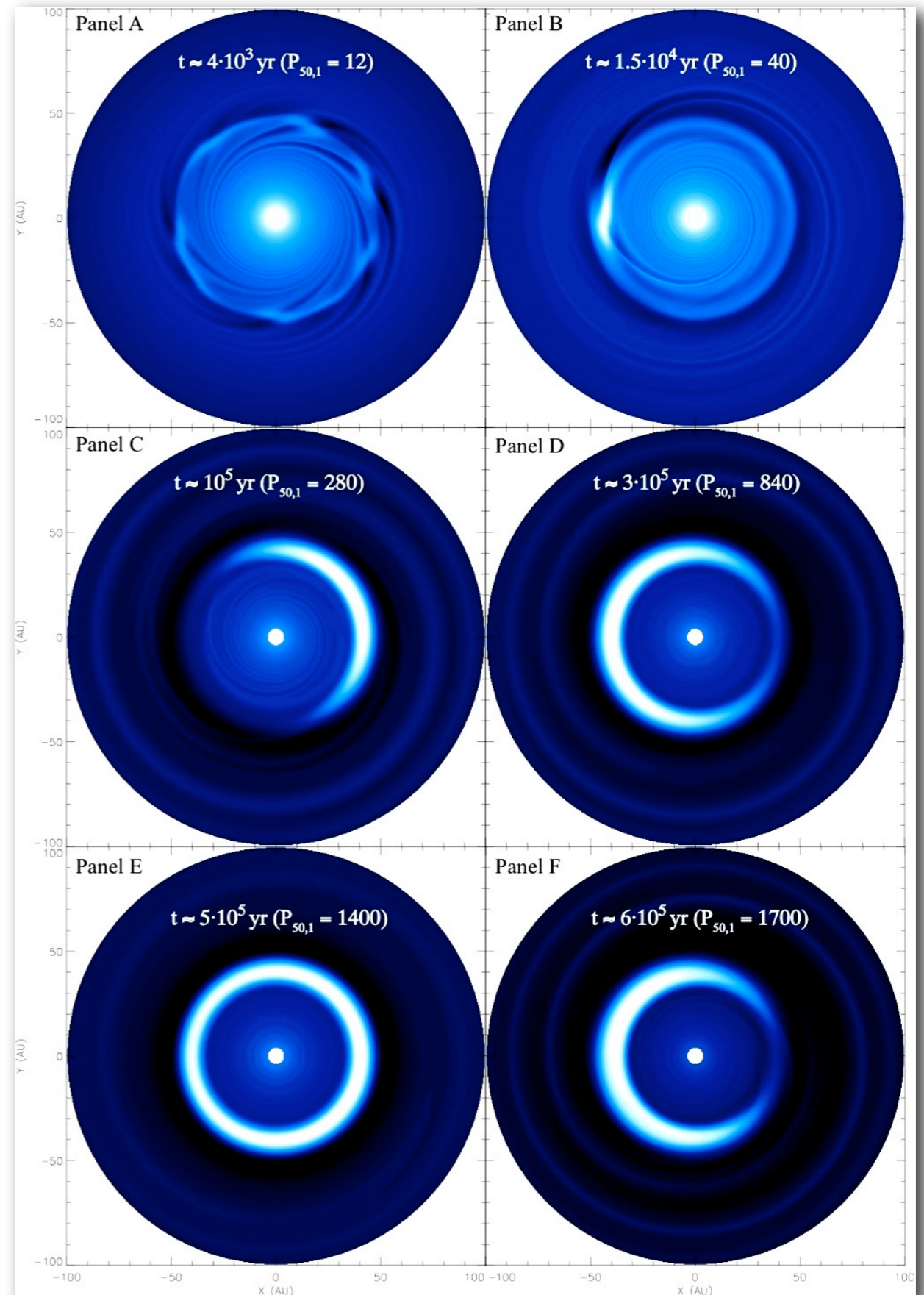
---

- Rossby-instabilitás (pl. Jupiter vörös foltja)
- Mi keltheti az örvényeket?
  - ▶ Baroklinikus instabilitás:  $\nabla P \times \nabla \rho \neq 0$
  - ▶ Viskozitás hirtelen megváltozása
- Viskozitás: ionizált gáz + mágneses tér
- Akkréciósan inaktív zóna:
  - ▶ határán örvény keletkezik
- Látunk-e ilyet az SMA-val?
  - ▶ Ha igen → bolygókeletkezés örvényben
  - ▶ Rádiótávcsövekkel mm-es hullámsávon a port látjuk (por-gáz csatolás erős)
- 1-2 millió éves szimuláció, 2 nap GFARGO-val (NVIDIA GTX-280)



# ÖRVÉNYEK KIALAKULÁSA ÉS FEJLŐDÉSE KORONGOKBAN

- 4000 év: megjelennek az örvények
- 15 000 év: összeolvadnak
- 100 000 év: egy nagy örvény
- 1 000 000 évig fennmarad



# MÉRT mm-es RÁDIÓKÉPEK ÉS SZIMULÁLT KÉPEK

*Brown et al. (2009), ApJ*

*Regály, Zs.; Juhász, A.; Sándor, Zs.; Dullemond, C.P. (2011), MNRAS*

