



Ivane Javakhishvili Tbilisi State University

The First Scientific Conference in Exact and Natural Sciences ENS-2013

ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი
პირველი საფაკულტეტო სამეცნიერო კონფერენცია
ზუსტ და საბუნებისმეტყველო მეცნიერებებში

გრიგალების და პლანეტების ჩანასახების ფორმირება სტრატეგიკირებულ პროტოპლანეტურ დისკებში

ა. გ. თევზაძე, ე. ს. უჩავა

ფიზიკის დეპარტამენტი, თსუ

გ. დ. ჩაგელიძევილი

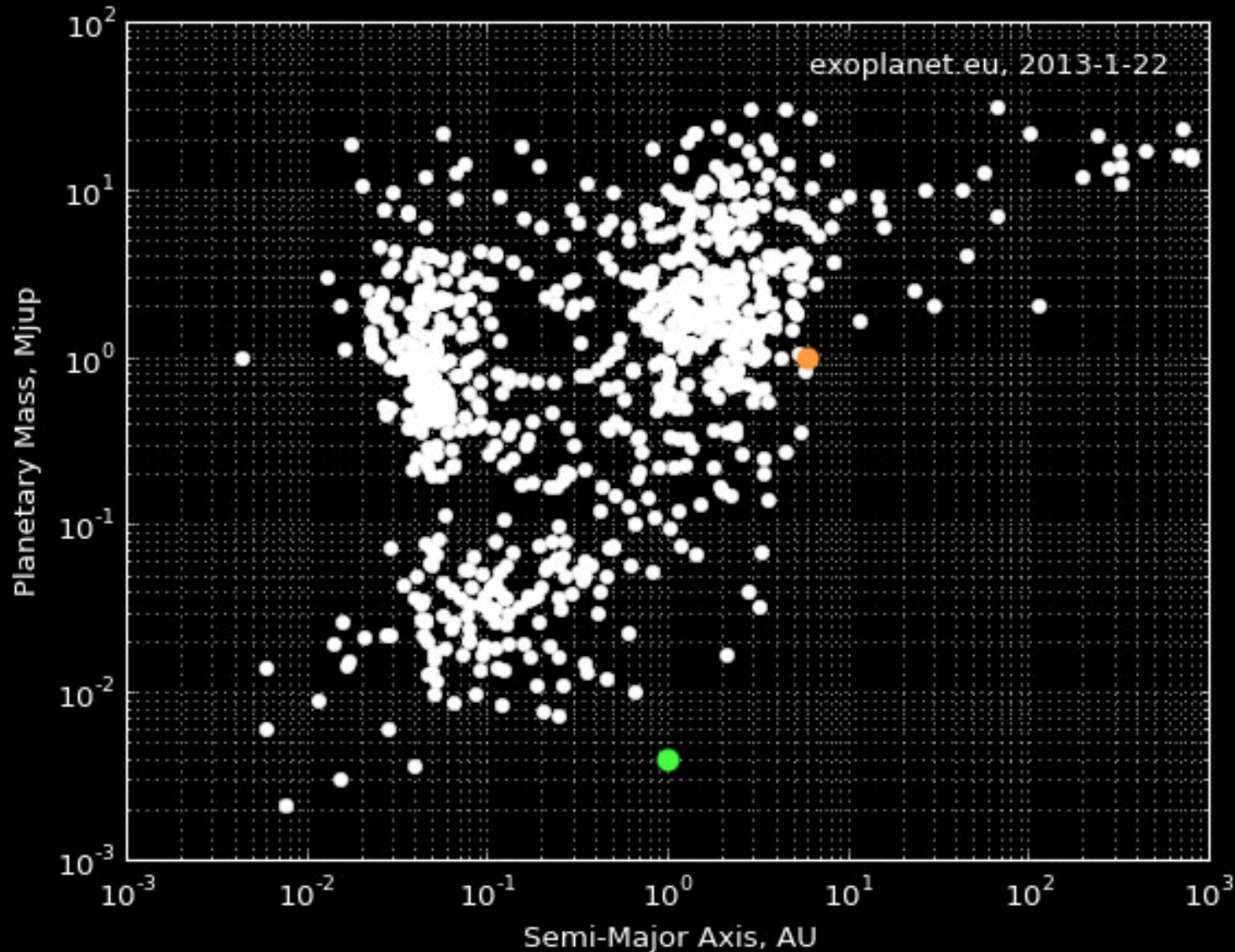
ნოდინას სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტი, თსუ

აბასთუმნის ასტროფიზიკური ობსერვატორია. ისუ

არამზიური პლანეტების დაკვირვებები

არამზიური პლანეტები: **859** (676 ვარსკვლ.)

კეპლერის კანდიდატები: ~2400



პროტოპლანეტური დისკი



დაკვირვებები: პროტოპლანეტური დისკები

პროტოპლანეტური დისკები



**Protoplanetary Disks
Orion Nebula**

HST · WFPC2

PRC95-45b · ST Scl OPO · November 20, 1995
M. J. McCaughrean (MPIA), C. R. O'Dell (Rice University), NASA



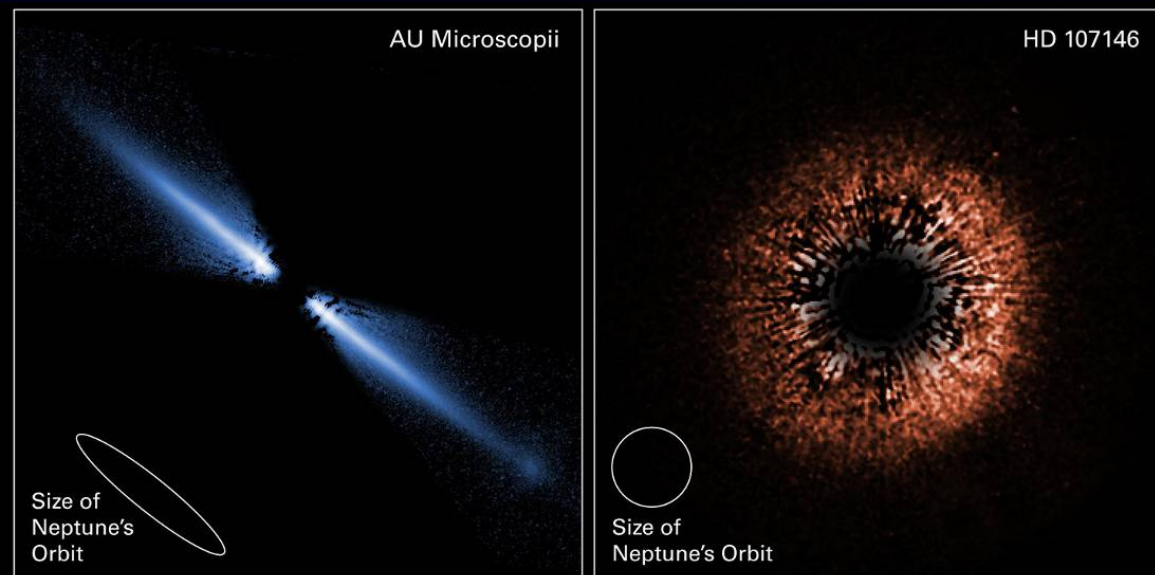
**Edge-On Protoplanetary Disk
Orion Nebula**

HST · WFPC2

PRC95-45c · ST Scl OPO · November 20, 1995
M. J. McCaughrean (MPIA), C. R. O'Dell (Rice University), NASA



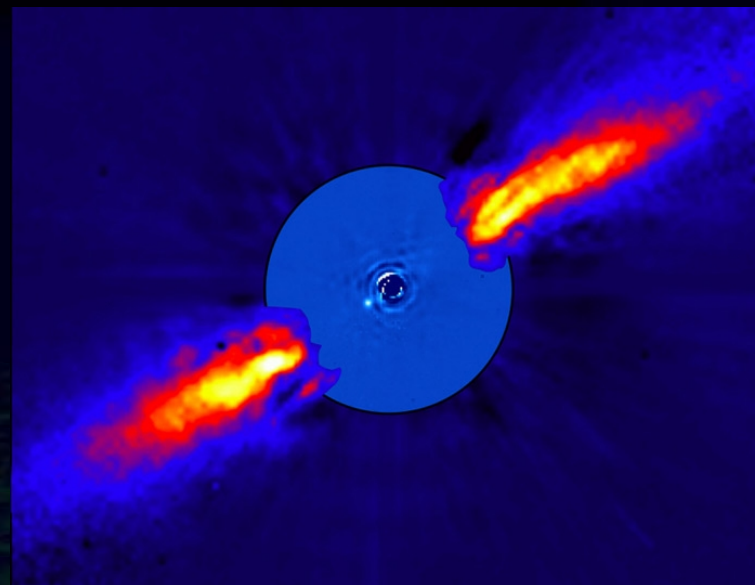
დაკვირვებები: დისკებიდან პლანეტებამდე



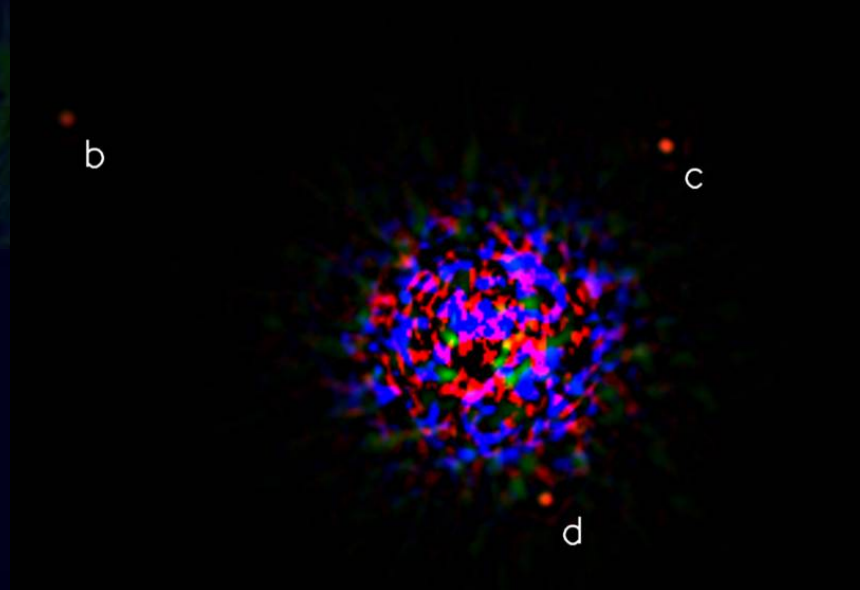
Circumstellar Debris Disks
Hubble Space Telescope • ACS HRC

NASA, ESA, J. Krist (STScI/JPL), D.R. Ardila (JHU), D.A. Golimowski (JHU), M. Clampin (NASA/Goddard), H. Ford (JHU), G. Hartig (STScI), G. Illingworth (UCO-Lick) and the ACS Science Team

STScI-PRC04-33a

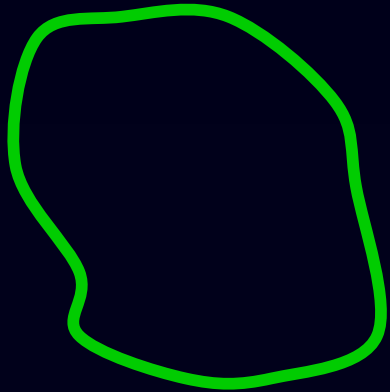


HR 8799 Planetary System
(Sept. 2008)



პლანეტების ფორმირების თეორიები

TOP



DOWN

1. Top Down (*Laplace*)

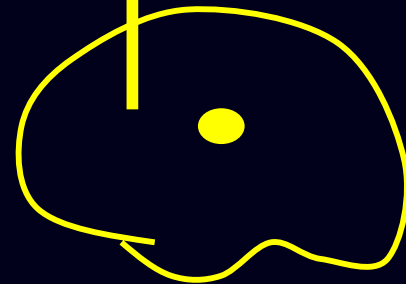
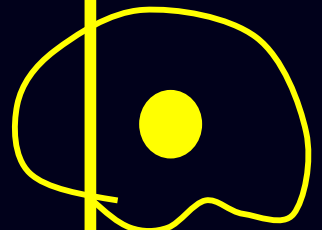
გრავიტაციული
ფრაგმენტაცია

2. Bottom Up (*Safronov*)

ბირთვზე აკრეცია

[მტვერი -> პლანეტა]

UP



BOTTOM

ბირთვზე აკრეციის მოდელი

1. პლანეტების ჩანასახების ფორმირება

planetesimal (ჩანასახი)

2. გაზის ბირთვზე აკრეცია

პლანეტის “ემბრიონი”

3. ოლიგარქული ზრდა

პლანეტის საბოლოო ფორმა

კეპლერული დინებები

ბრუნვითი ბალანსი:

- თერმოდინ. წნევა
- გრავიტაცია

$$r\Omega^2(r) = \frac{1}{\rho} \frac{P_0(r)}{\partial r} + \frac{\partial \Phi(r)}{\partial r}$$

კეპლერული ბრუნვა:
(მტვერი, სხუელები)

$$\Omega_{\text{Kep}}(r) \sim r^{-3/2}$$

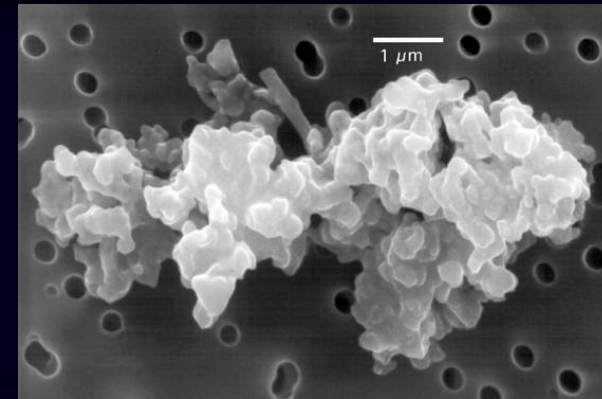
ქვეკეპლერული ბრუნვა: $\Omega(r) < \Omega_{\text{K}}(r)$
(აირი)

ნაწილაკების და აირის ხახუნი (ქარი)
მყარი ნაწილაკების “რადიალური მიგრაცია”

ჩანასახების ფორმირება

“მტვერი” sub-micro meter particles

სხეულების ზრდა კოაგულაციით



დაჯახებები: შეწეპება/ფრაგმენტაცია

სწრაფი კოაგულაცია:

micro meter - cm

მეტრიდან კოლიმეტრამდე?

ნელი (>100მლნ წ.)

1 მეტრიანი ბარიერი

პლანეტის ჩანასახი: planetesimal (>1km)

გრიგალური მოდელი

დიფერენციალური ბრუნვა: სტრუქტურის ფორმირება?

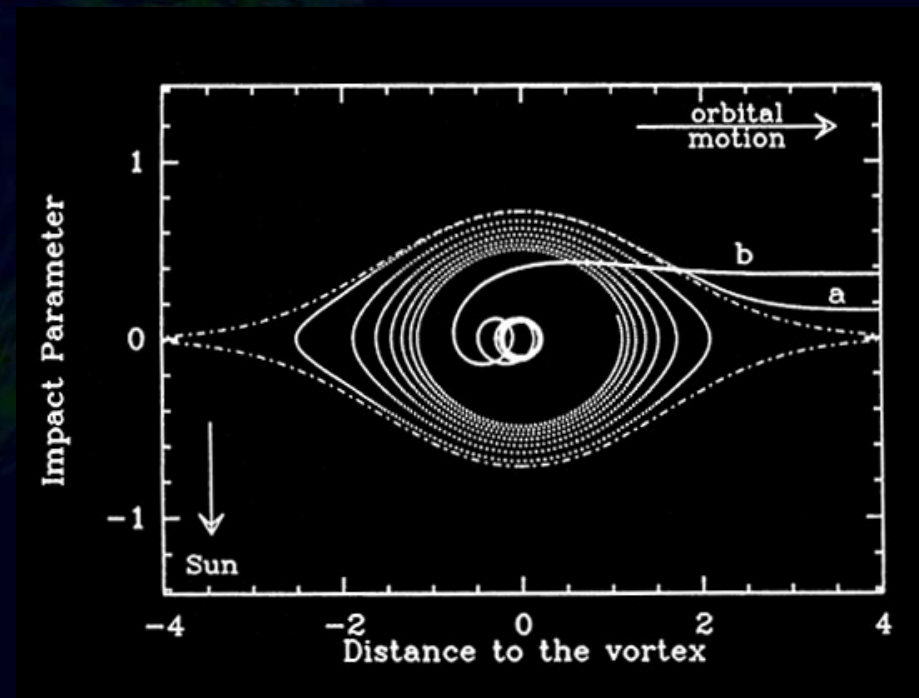
ძლიერი გრიგალი:

პლანეტების ჩანასახების ფორმირების ცენტრები
(Barge Sommeria 1995)

ანტიციკლონური გრიგალი:

- მდგრადობა;
- მტვრის ჩაჭერა;

+ რიცხვითი მოდელირებები

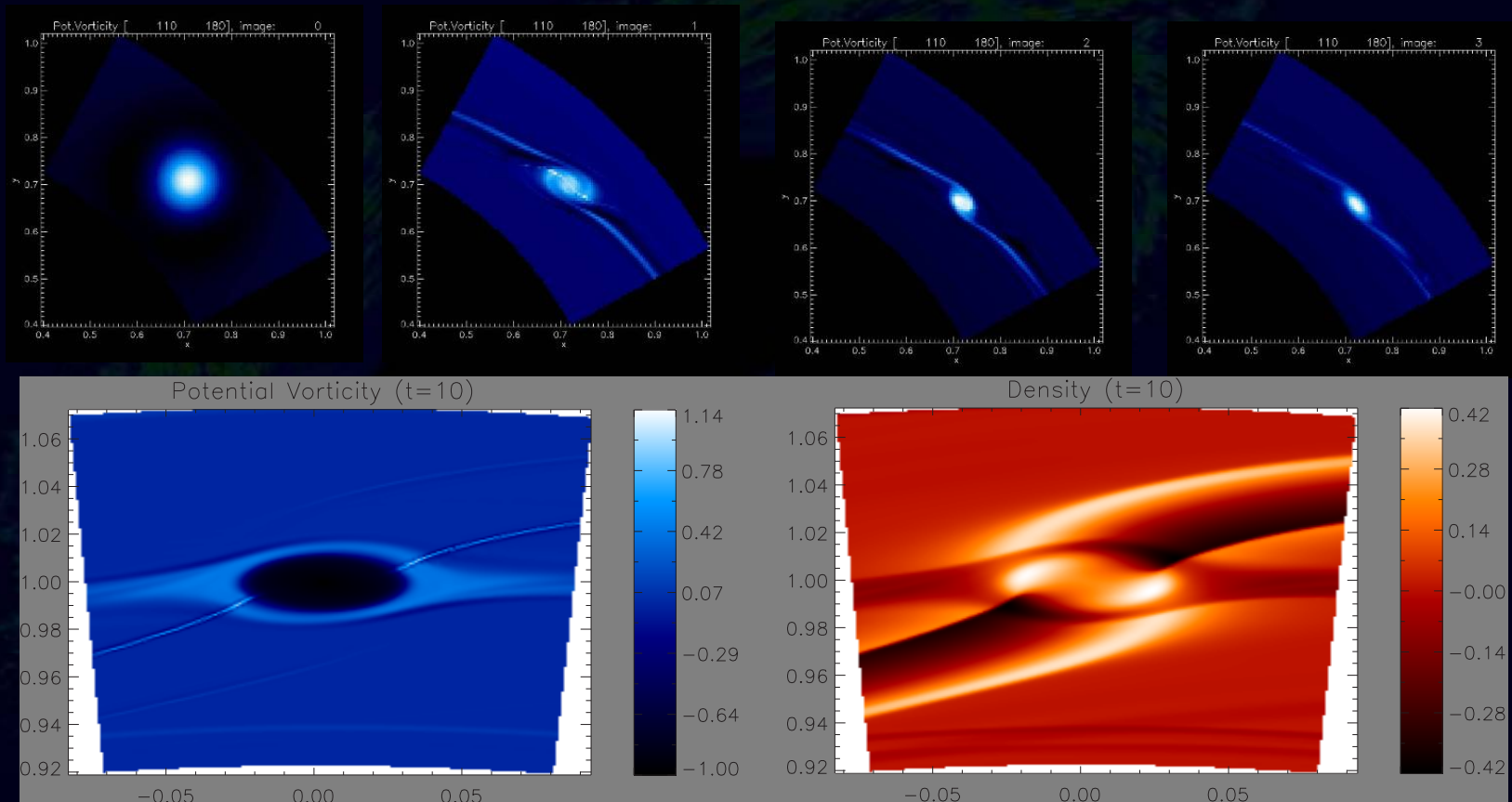


გრიგალების დინამიკის მოდელირება

Bodo, G.; Tevzadze, A.; Chagelishvili, G.; Mignone, A.; Rossi, P.; Ferrari, A, A&A 475, 57 (2007)

მდგრადი ანტიციკლონური გრიგალი (2D)

- ელიფსურობის პარამეტრი: $q=5$;
- სპირალური ტალღები (დარტყმითი ტალღები)

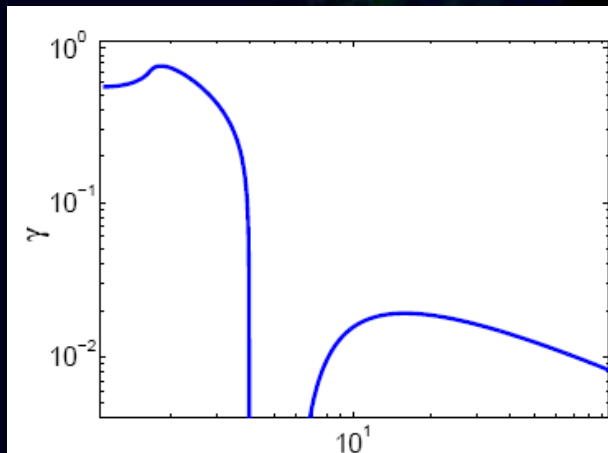
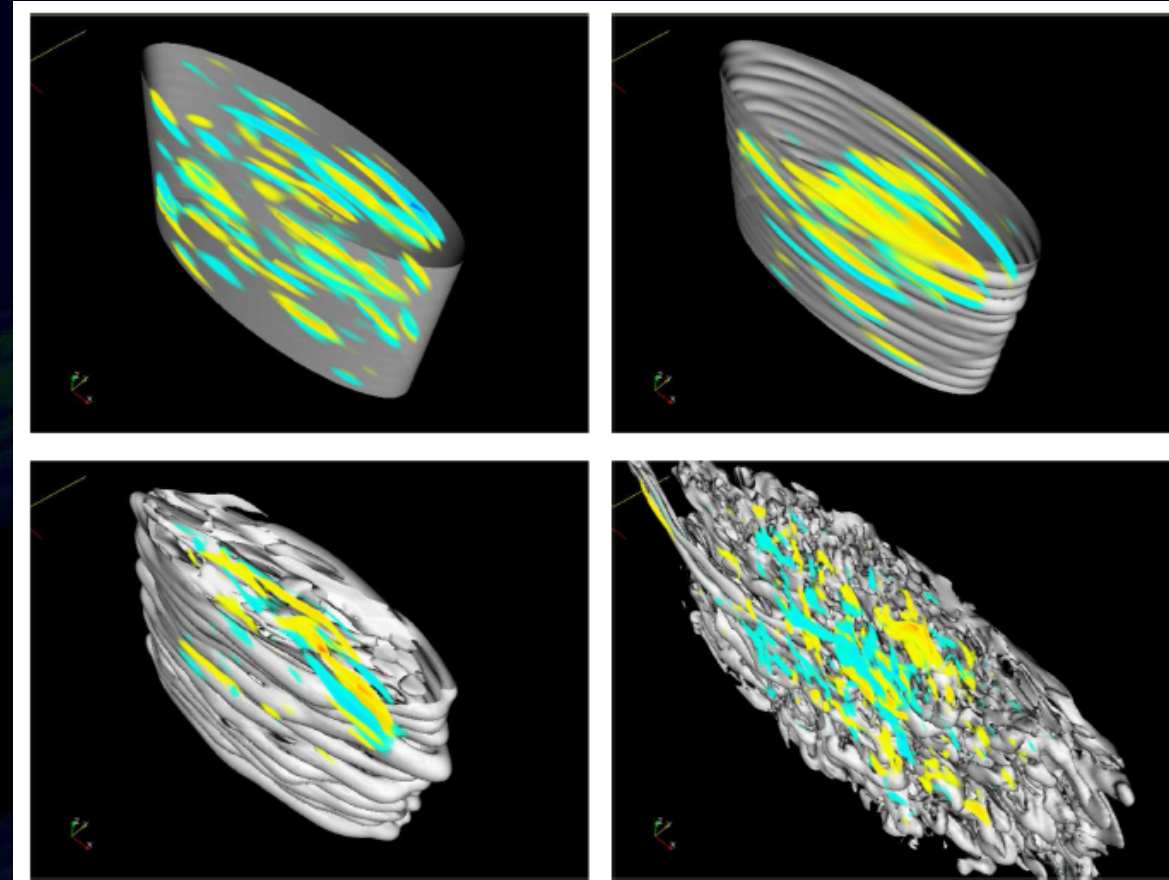


გრიგალების მდგრადობა

3D დინამიკა

ელიფსური
არამგრადობა
(Lesur & Papaloizou, 2009)

არამდრგადობის
ინკრიმენტი



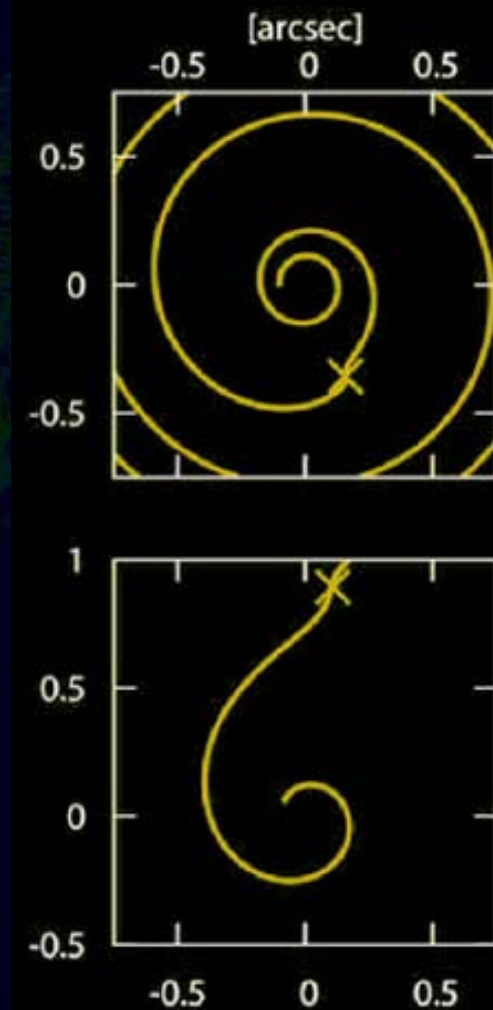
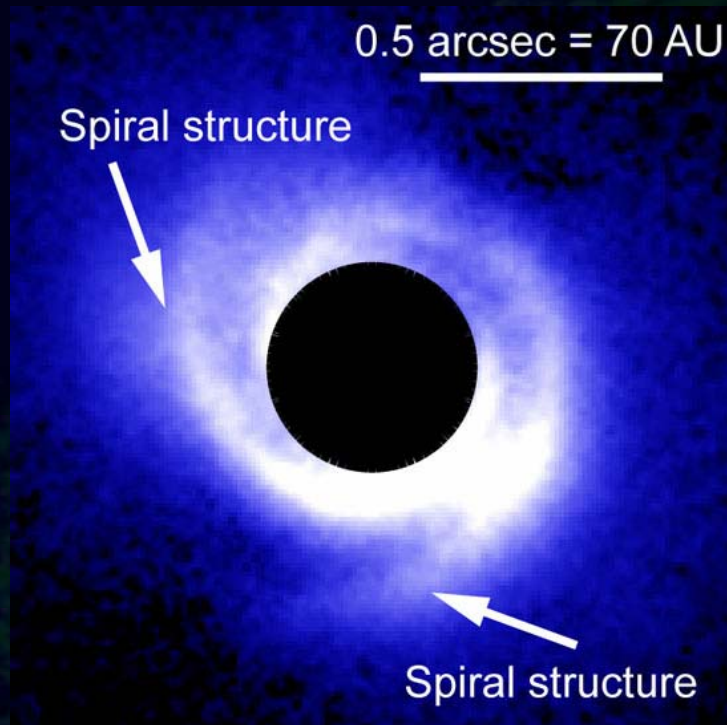
ზღრის მინიმუმი: $q=5$

სპირალების დაკვირვება

გრიგალების არაპირდაპირი დაკვირვება?

DISCOVERY OF SMALL-SCALE SPIRAL STRUCTURES IN THE DISK OF SAO 206462 (HD

135344B): T. Muto et al. 2012 ApJ 748 L22



სტრატეფიცირებული დისკის დინამიკა

რადიალურად და ვერტიკალურად
სტრატეფიცირებული მზრუნავი დისკის მატერია

$$\bar{P}(z, r) = P_0 \left(\frac{r}{r_0} \right)^{-\beta_P} \exp \left(-\frac{z}{H} \right),$$

$$\bar{\rho}(z, r) = \rho_0 \left(\frac{r}{r_0} \right)^{-\beta_\rho} \exp \left(-\frac{z}{H} \right),$$

$$\bar{S}(r, z) = S_0 \left(\frac{r}{r_0} \right)^{-\beta_S} \exp \left((\Gamma - 1) \frac{z}{H} \right),$$

$$\frac{\partial}{\partial t} V_r + (\mathbf{V} \nabla) V_r - \frac{V_\phi^2}{r} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial r} P + g_r,$$

$$\frac{\partial}{\partial t} V_\phi + (\mathbf{V} \nabla) V_\phi + \frac{V_r V_\phi}{r} = -\frac{1}{r \rho} \frac{\partial}{\partial \phi} P,$$

$$\frac{\partial}{\partial t} V_z + (\mathbf{V} \nabla) V_z = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial z} P + g_z,$$

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} + (\mathbf{V} \nabla) \right) S = 0,$$

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r \rho V_r) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \phi} (\rho V_\phi) + \frac{\partial}{\partial z} (\rho V_z) = 0,$$

წრფივი ანალიზი

წრფივ შემფოთებათა არამოდულური ანალიზი

- წანაცვლების სიბრტყე;
- ლოკალური მიახლოება;

$$V''(r, \phi, z) = \bar{\rho}(r, z)V'(r, \phi, z),$$

$$S''(r, \phi, z) = \frac{\rho_0}{S_0} \left(\frac{r}{r_0} \right)^{\beta_S - \beta_P} \exp\left(-\Gamma \frac{z}{H}\right) S'(r, \phi, z).$$

$$x \equiv r - r_0, \quad y \equiv r_0(\phi - \Omega(r_0)t),$$

პოტენციური ცირკულაცია

$$W = k_x u_y - k_y u_x + \frac{k_s}{(\Gamma - 1)k_H} (k_z u_y - k_y u_z), - \frac{2Bk_z}{(\Gamma - 1)k_H} s.$$

წრფივი ანალიზი

წრფივი სპექტრი:

$$\omega(\omega^2 - \omega_{g\Omega}^2) = i\alpha,$$

$$\omega_1 = \frac{\varepsilon b}{3} \left(3^{\frac{1}{2}} + i \left(1 - \frac{\delta_B}{\varepsilon b} \right) \right),$$

$$\omega_2 = -\frac{3^{\frac{1}{2}}}{2} \left(1 + \frac{\varepsilon}{3} \right) - i \left(-1\frac{1}{2} + \frac{\varepsilon}{6} + \frac{\delta_B}{3} \right),$$

$$\omega_3 = \frac{3^{\frac{1}{2}}}{2} \left(1 - \frac{\varepsilon}{3} \right) - i \left(1\frac{1}{2} + \frac{\varepsilon}{6} + \frac{\delta_B}{3} \right),$$

პოტენციური გრიგალის გაჩენის დინამიკა

$$\frac{dW}{dt} = -\frac{C_0^2 k_y}{\gamma} \left(k_p + \frac{k_s}{\Gamma - 1} \right) s,$$

არაწრფივი კონვექციური ტურბულენტობა: K_p , K_s -?

რიცხვითი მოდელირება

კოდი: **PLUTO** (`plutocode.to.astro.it`)

ამომხსნელი: **Riemann/Godunov, HD, FARGO,**
(ppm)

ბადე: **Polar, [2048x326], [4096x652]**

წონასწორული დინება:

რადიალურად სტრატეფიცირებული დისკი

შეშფოთებები: წნევა, სიმკვრივე;

პოტენციური ცირკულაცია, ენთროპია = 0.

საწყისი პირობები

საწყისი სტოქასტური წნევის შეშფოთებები

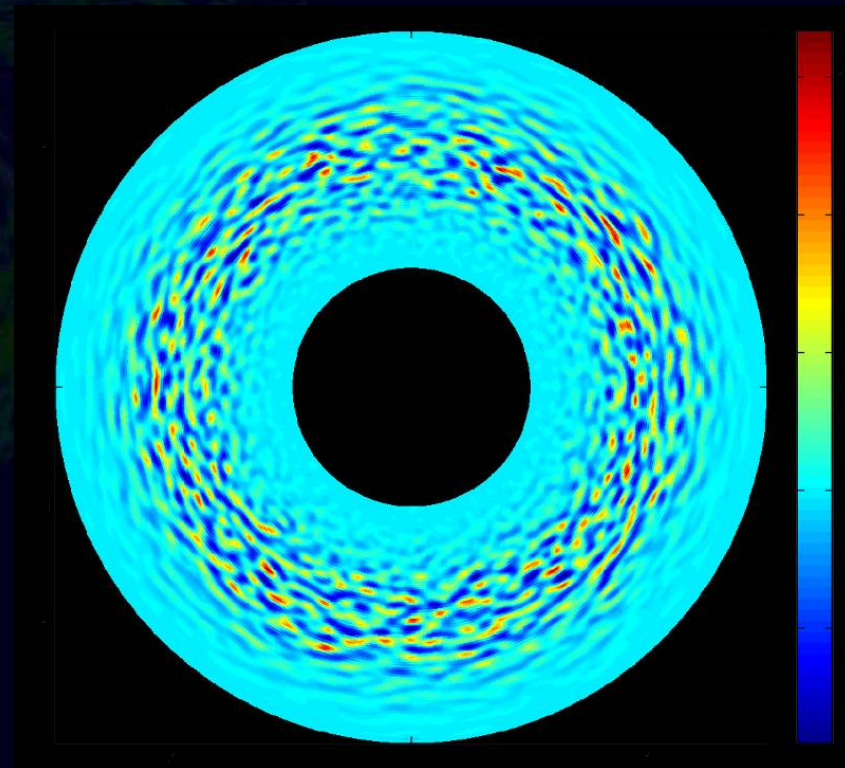
$$p(r, \varphi) = \exp\left\{-\left(\frac{(r - R_0)^2}{\Delta R_0^2}\right)^n\right\} \Theta(r, \varphi)$$

- No entropy
- No potential vorticity

Radial profile

Spectrum

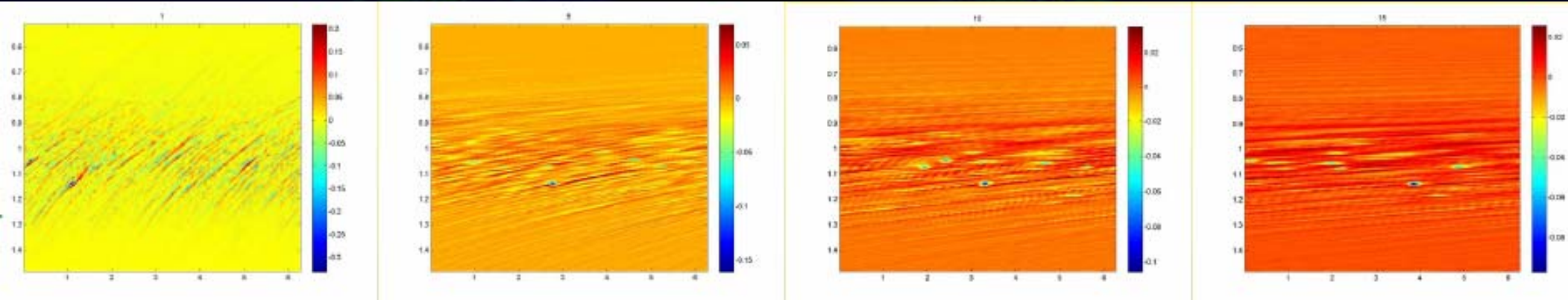
Gaussian noise



რიცხვითი მოდელირება

დარტყმითი ტალღები რადიალურად
სტრატოფიციურებულ დისკებში:

გრიგალების გაჩენის ეფექტურობის ზრდა



გენერაციის დრო ~ ბრუნვის პერიოდი

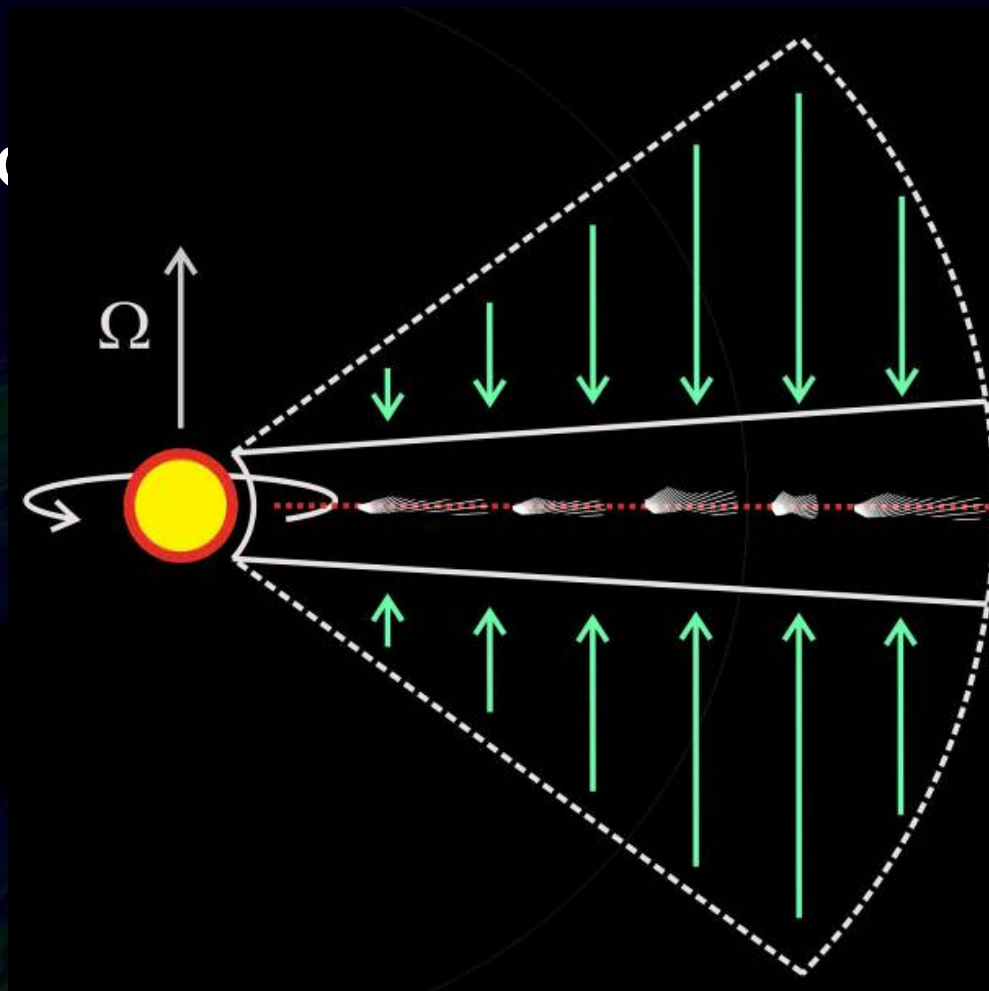
დისკის ფორმირება

გრავიტაციული “გაბრტყევა”

middle layer:

+ compressible
perturbations

+ Shock waves



კალენდარული წლის შედეგები

პლანეტების ფორმირება დამოკიდებულია დისკის სტრატოფიკაციის კანონზე

დინების მიკროსკოპული თვისება განსაზღვრავს პლანეტების ჩამოყალიბების ბედს.

გამოსხივება/შთანთქმის ბალანსი; ქიმია;
სიბლანტე; მტვრის პროპორცია, ...

Uchava, Tevzadze, Chagelishvili, MNRAS (in preparation)

“Local non-axisymmetric stability and vortex production in fully stratified astrophysical discs”

კალენდარული წლის შედეგები

დაბალი მასის (თხელ) პროტოპლანეტურ დისკებში გრიგალების და პლანეტების ჩანასახების გენერაცია შესაძლებელია თავად დისკის ფორმირებისას სტოქასტური დარტყმითი ტალღებით

დაგეგმილია: 3D მოდელირება

გმადლობთ ყურადღებისათვის

