

GNSF/ST08/4-420

**რადიალოურად და ვერტიკალოურად
სტრატეფიცირებული დიფერენციალოურად
მზრუნავი ჰიდროდინამიკური
ასტროფიზიკური დისკების დინამიკა**

ეგზოპლანეტები

ეგზოპლანეტების სტატისტიკა (11.03.2011):

სულ (დადასტურებული): **536**

რადიალური სიჩქარე

და ასტრომეტრია: **493**

ტრანზიტები: **124**

მიკროლინზირება: **12**

პირდაპირი გამონასახი: **21**

პლანეტარული სისტემები: **63**

ეგზოპლანეტის სპექტრი

1RSX J1609.1-210524

მანძილი

დედამიწიდან:

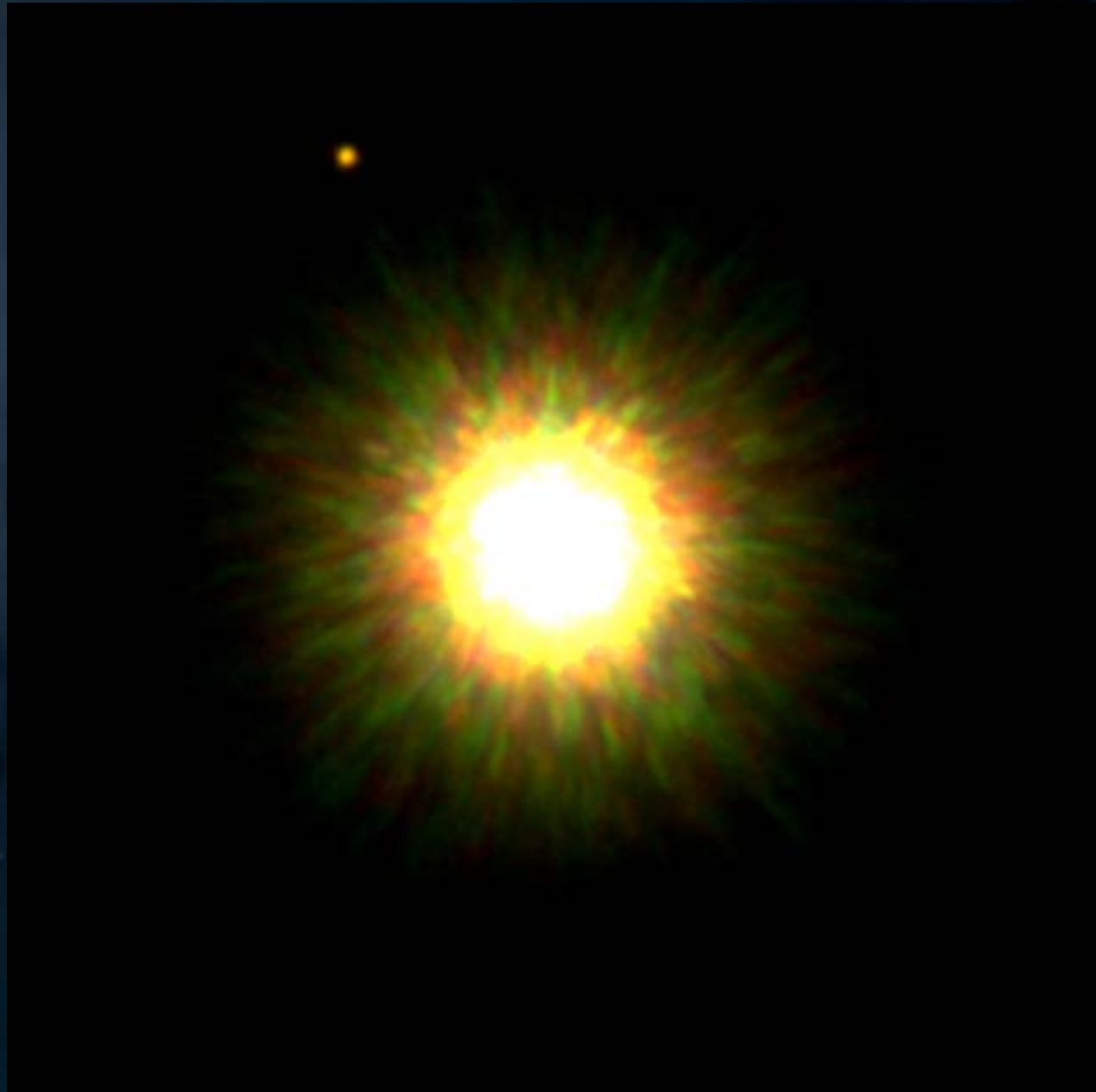
154 პს

მასა:

$8M_{\text{იუპიტერი}}$

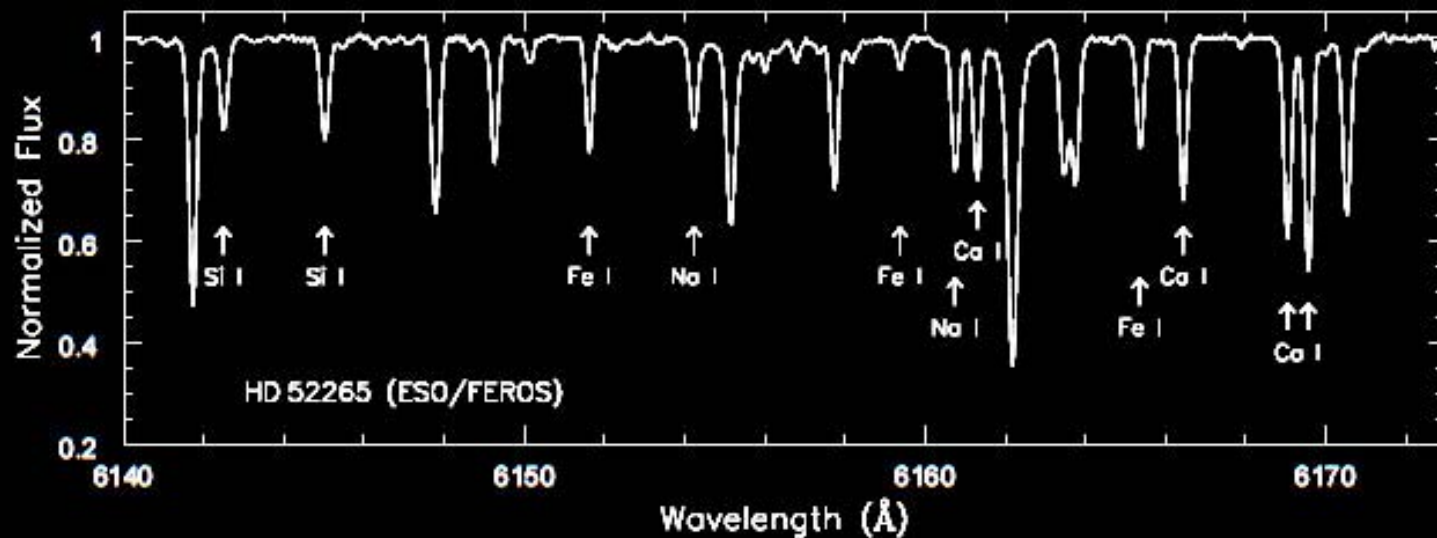
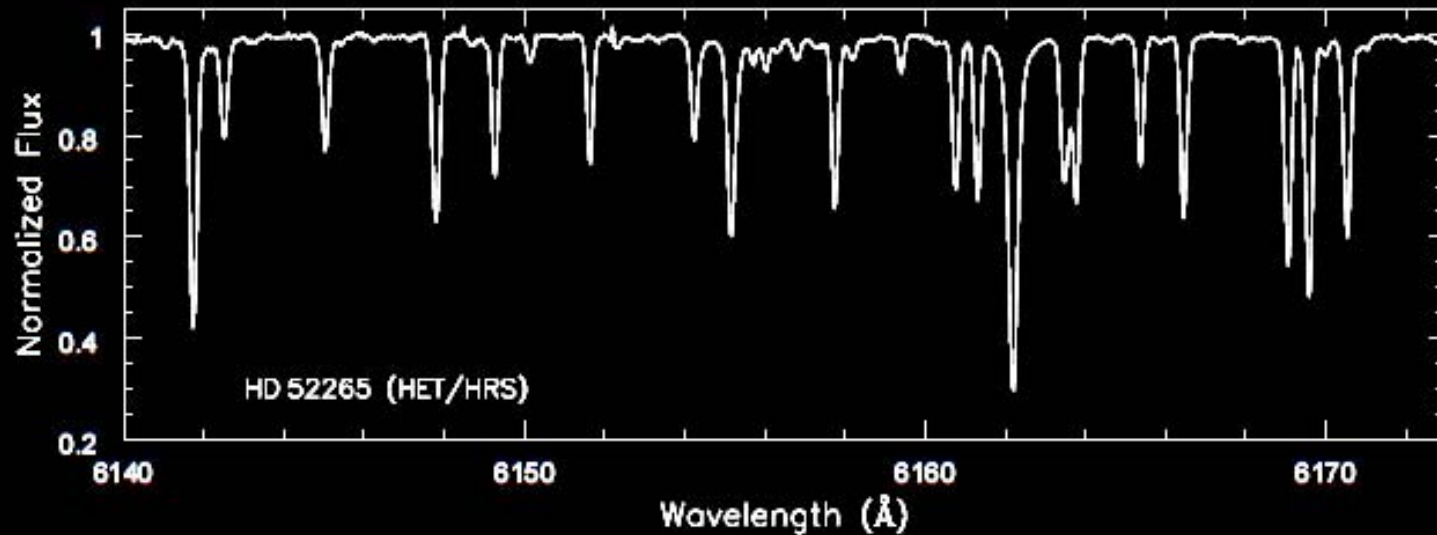
ორბიტა:

330AU

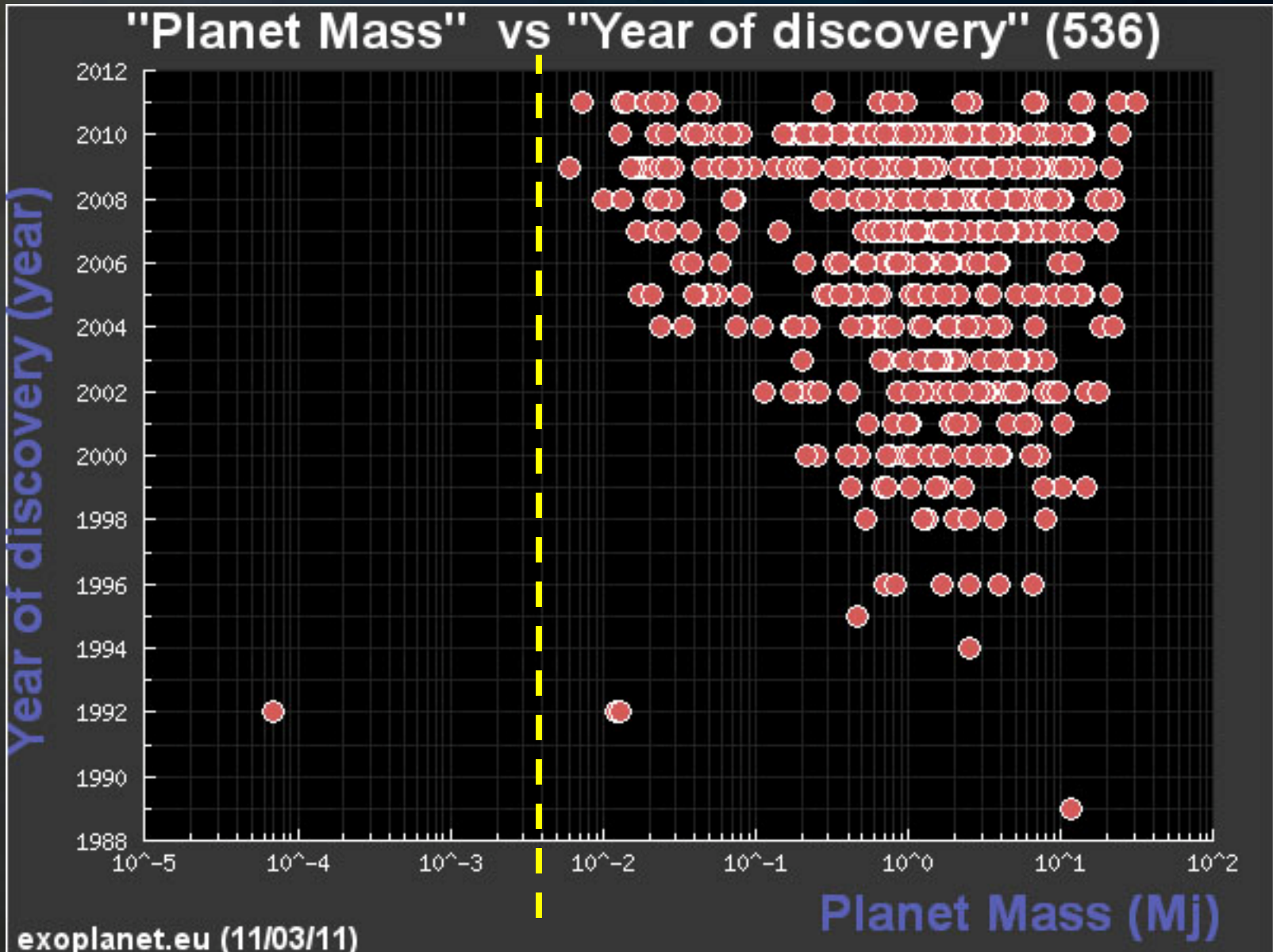


ეგზოპლანეტის სპექტრი

Schuler et al. (2011)

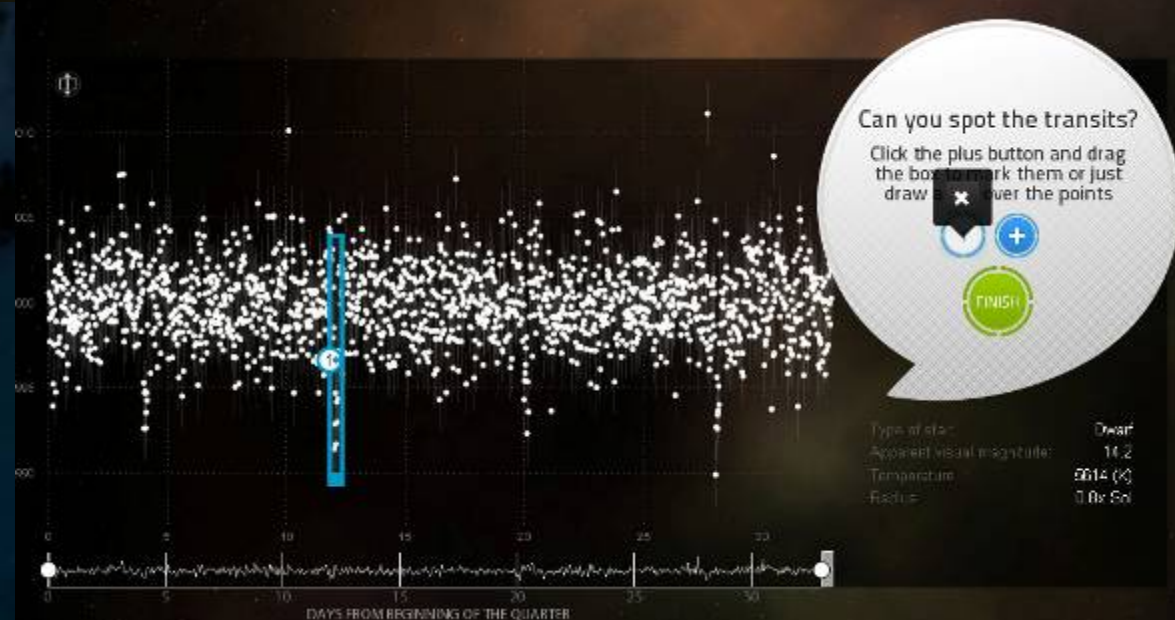


აღმოჩენები

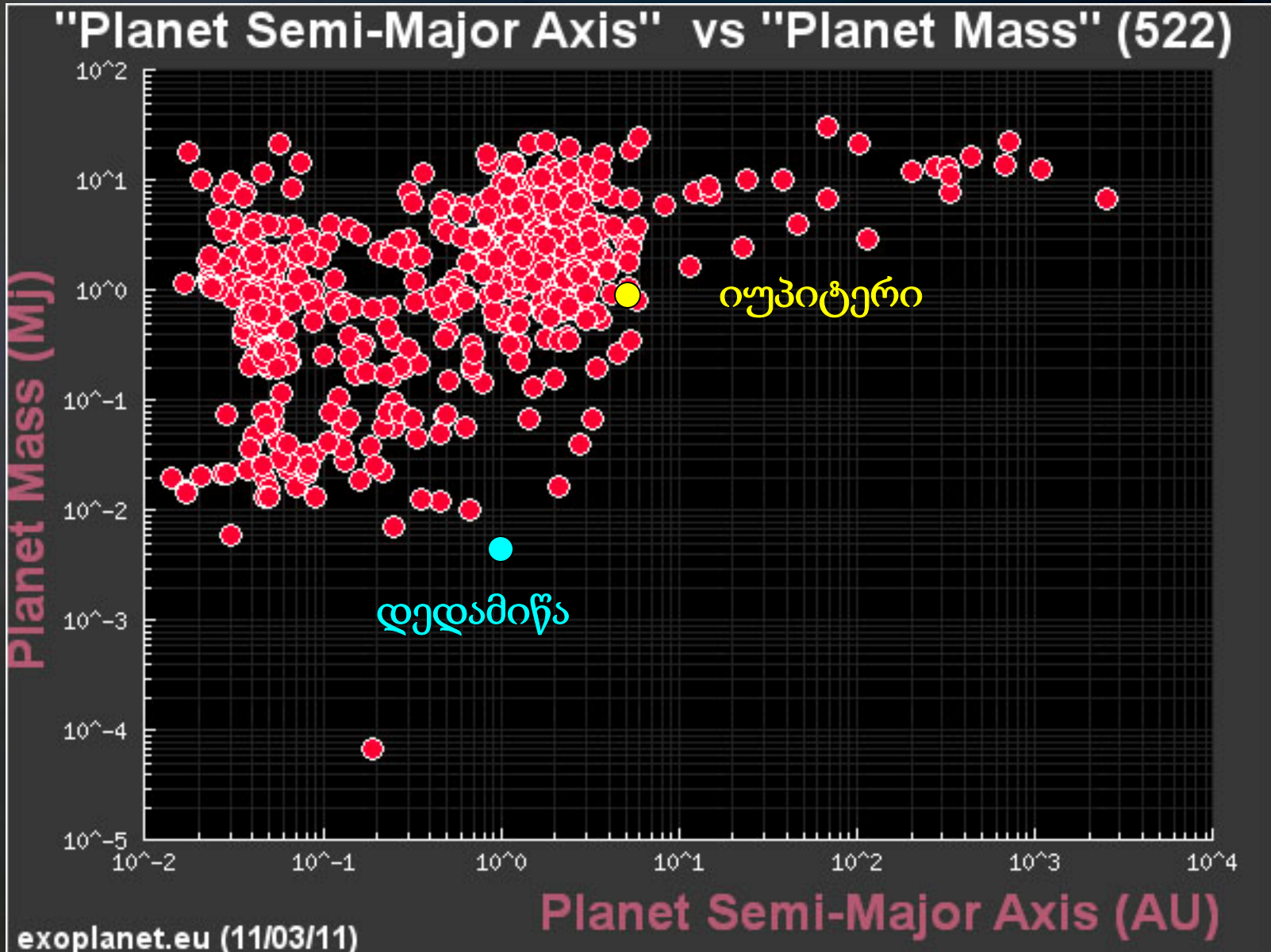


დედამიწის მასა

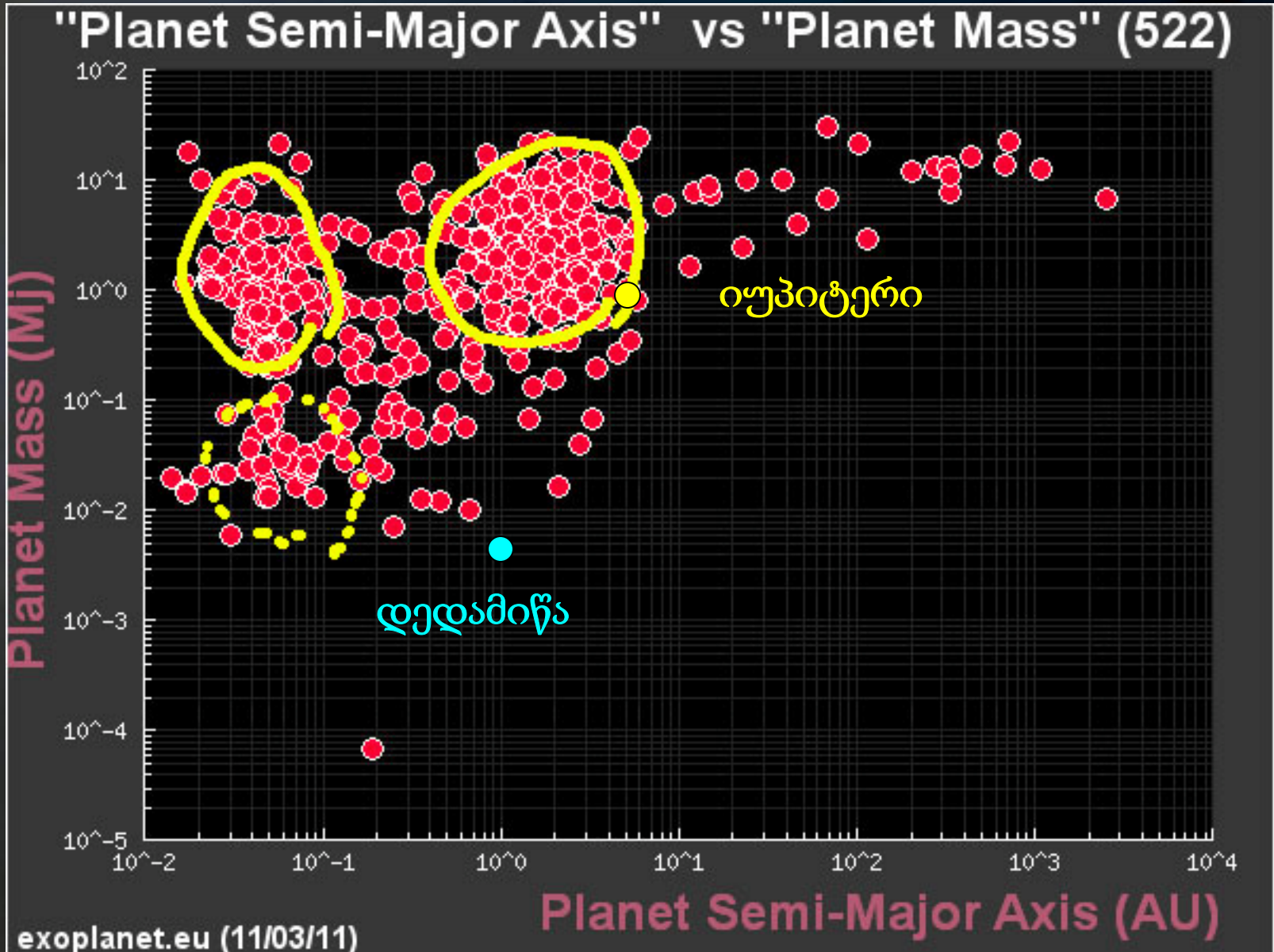
planethunters.org



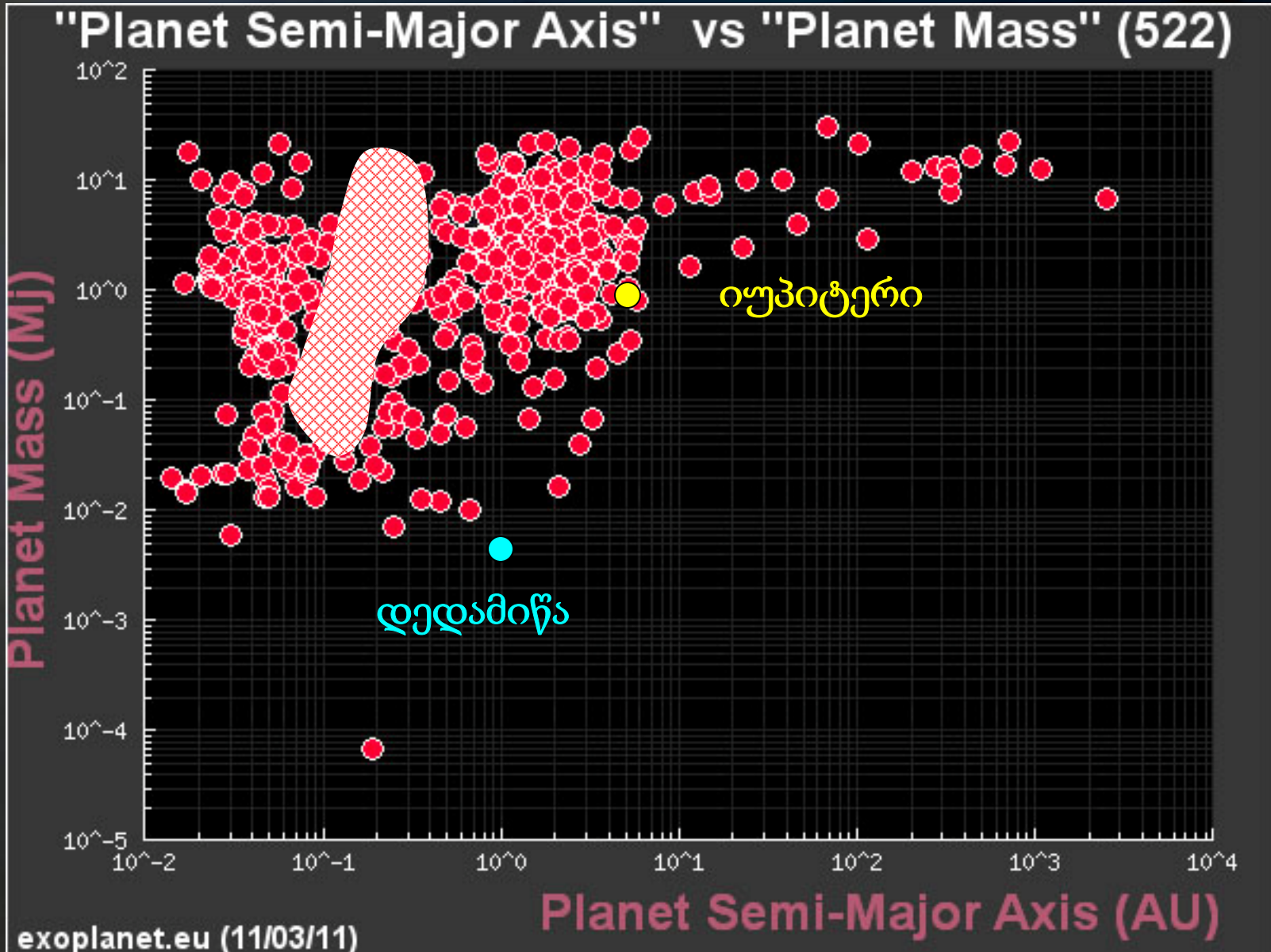
პოპულაცია



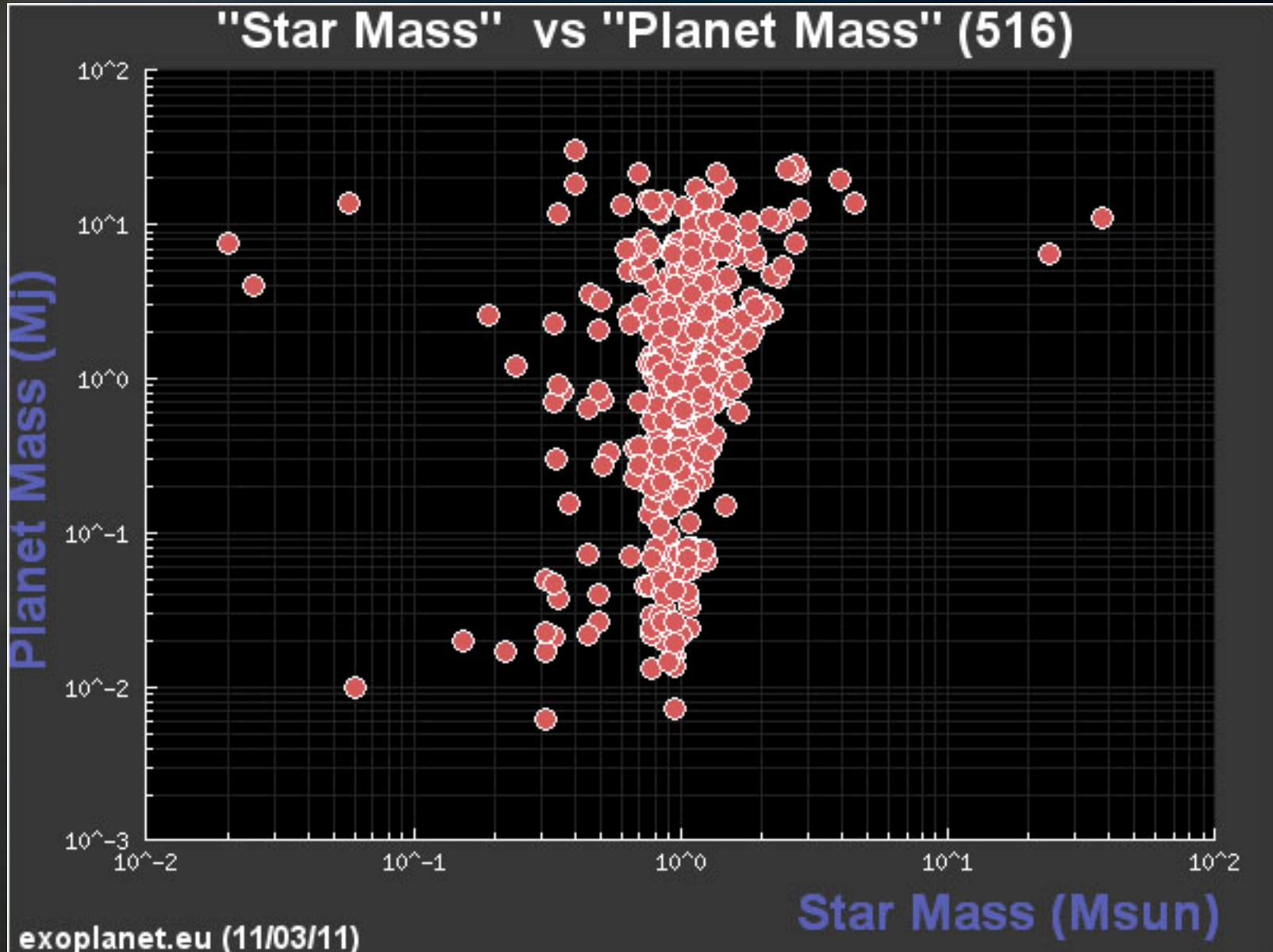
პოპულაცია



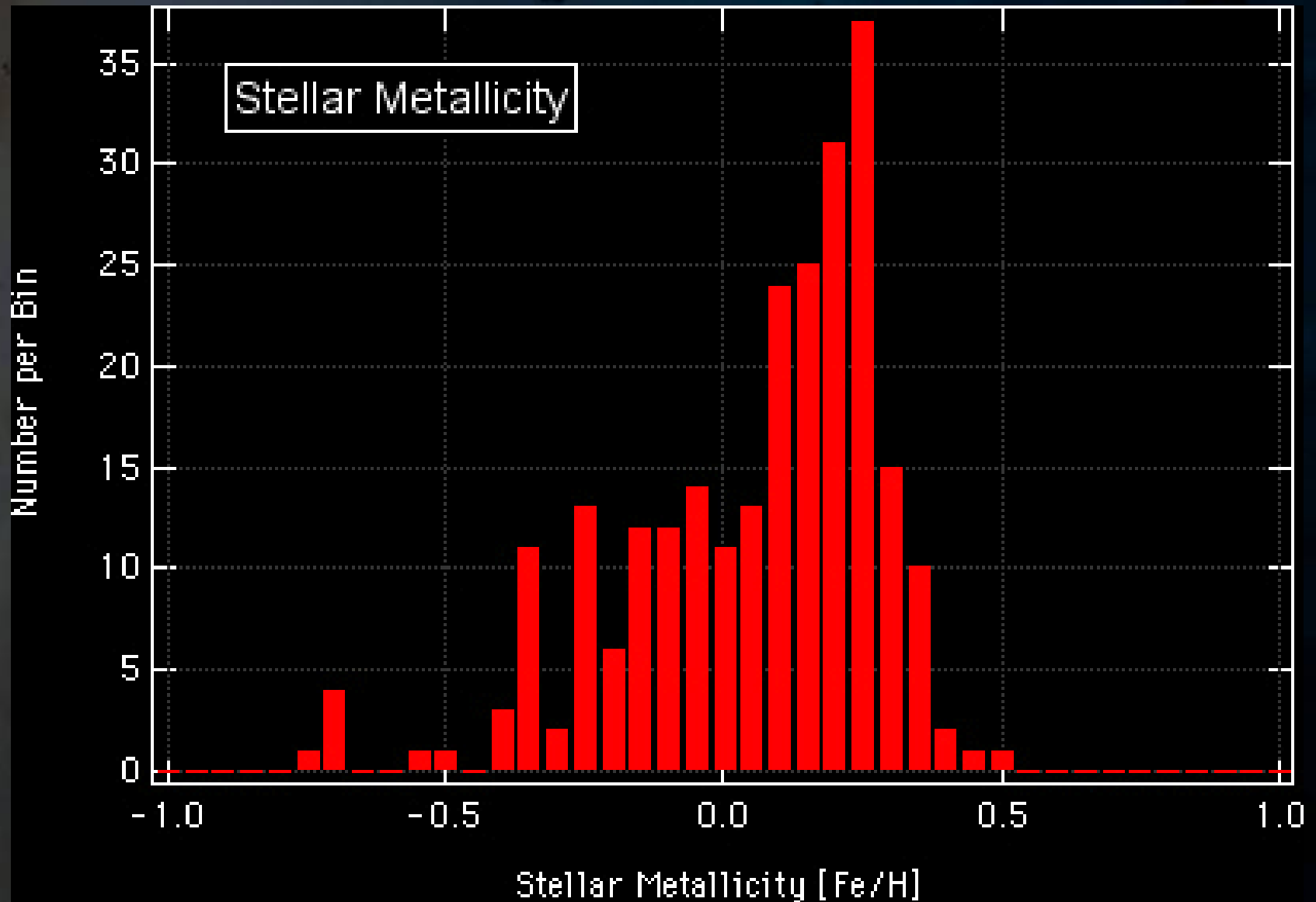
პოპულაცია



ვარსკვლავის და პლანეტის მასა



ვარსკვლავების ტიპები



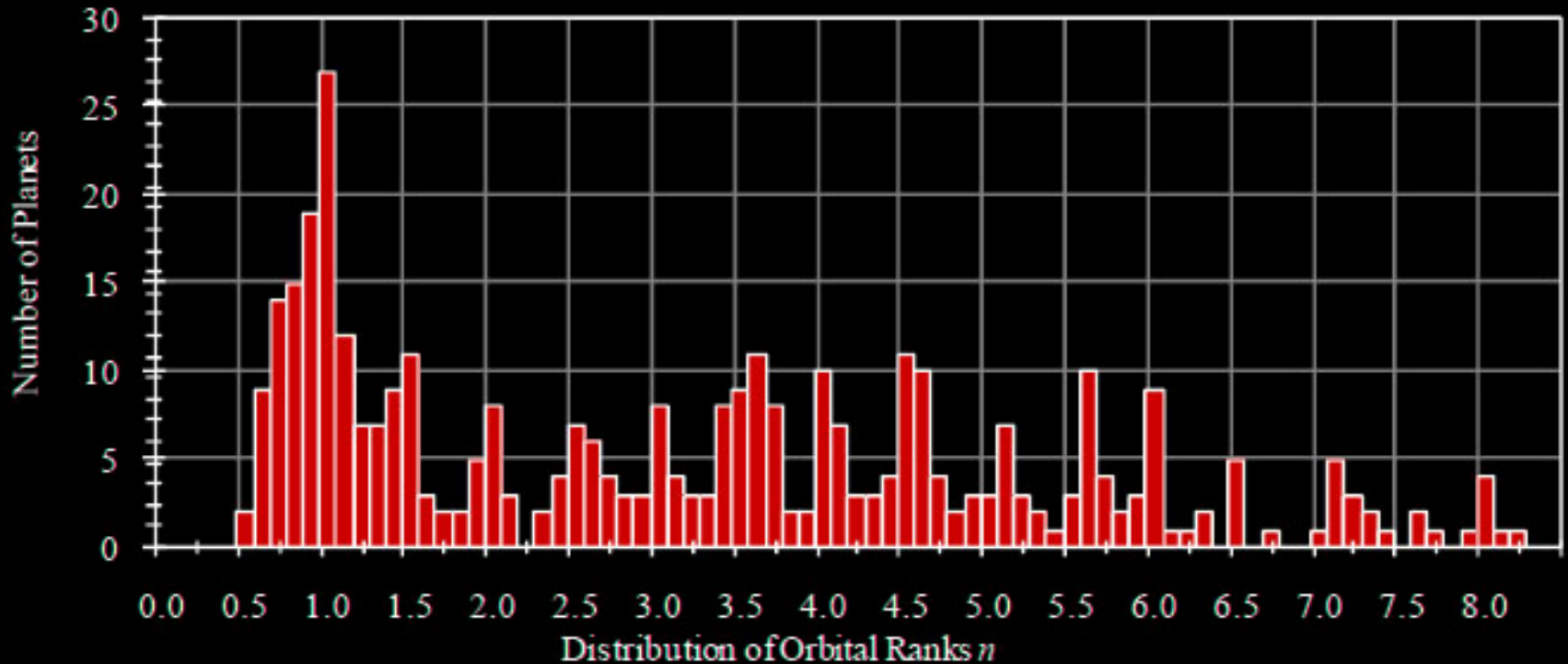
ორბიტების დისკრეტიზაცია

J_n – პლანეტის ბრუნვის მომენტი

J_0 = “კოროტაციის მომენტი” $(G^2M^2/\Omega_s)^{1/3}$

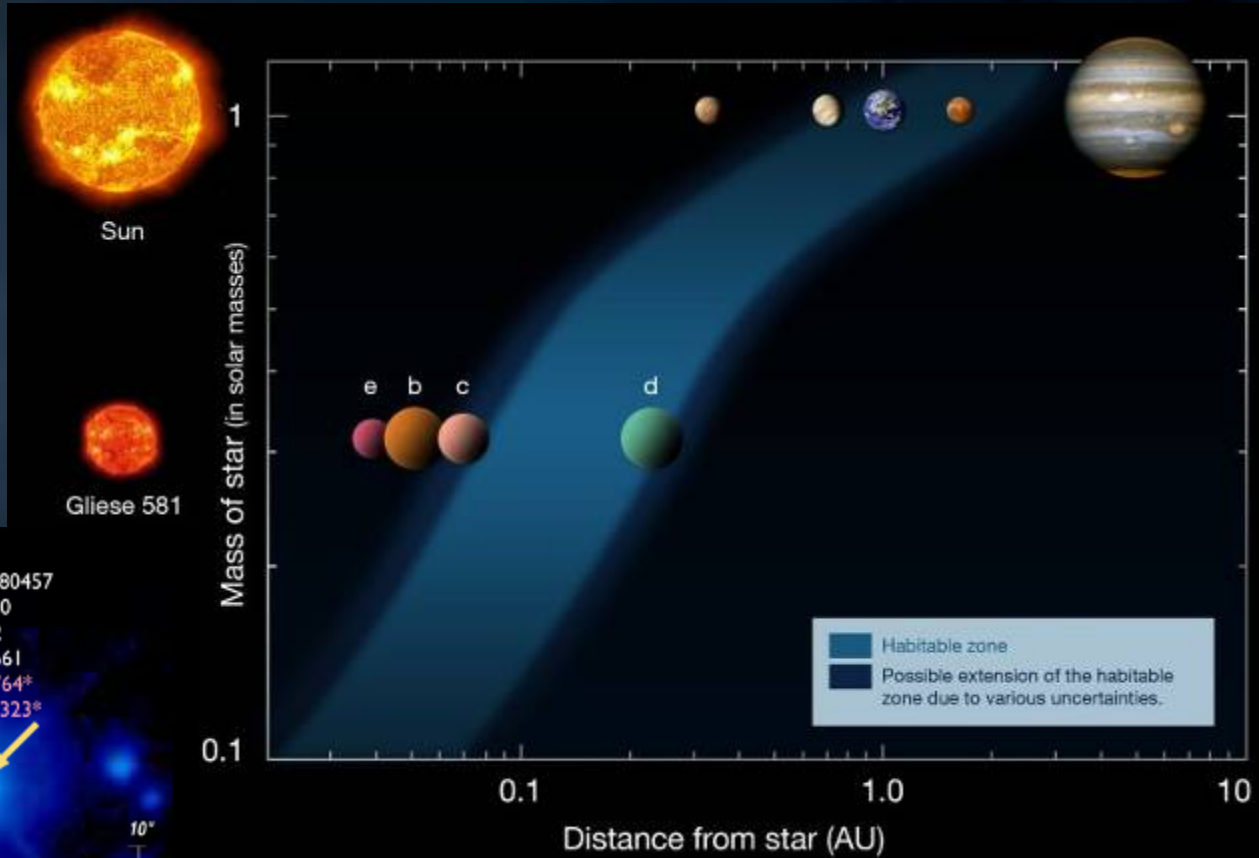
(Zoghbi 2011)

$$n = J_n / J_0$$

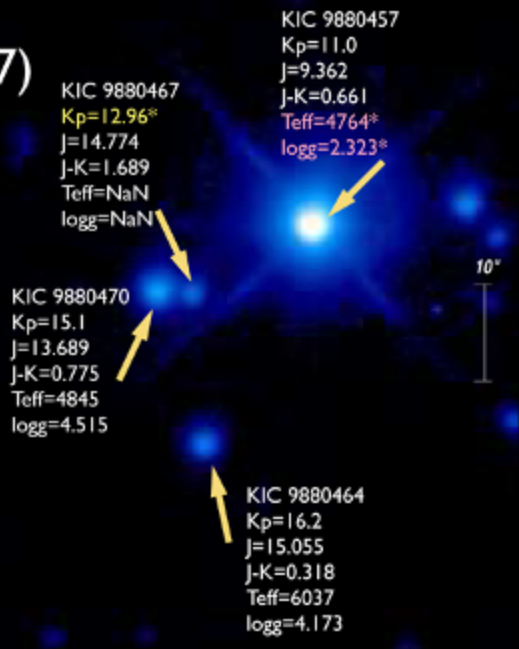


სიცოცხლის ზონა

თხევადი
წყალი



KOI-326.01
(KIC 9880467)



პროტოპლანეტური დისკები



დაკვირვებები

Hubble

Orion

Nebula



დაკვირვებები

კუთხური გარჩევა
Guilloteau et al. (2011)

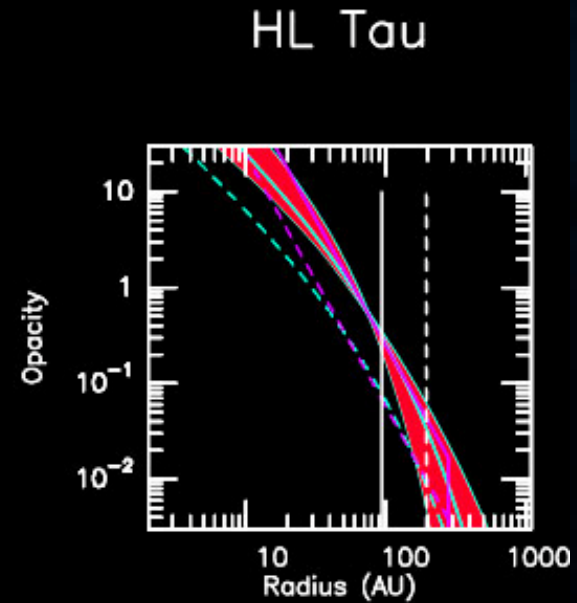
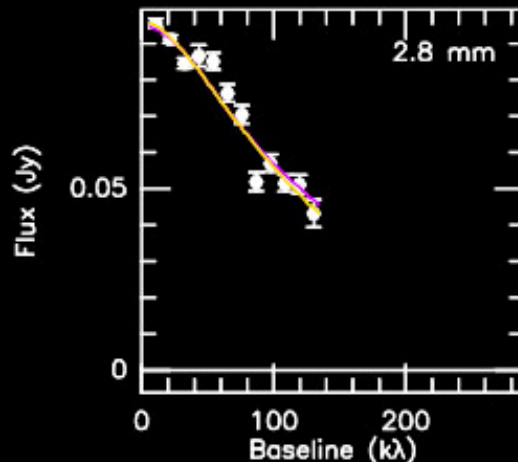
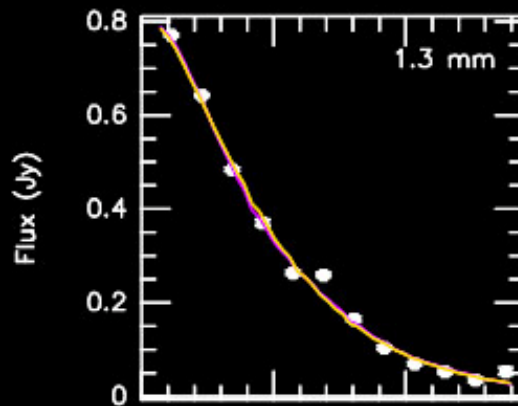
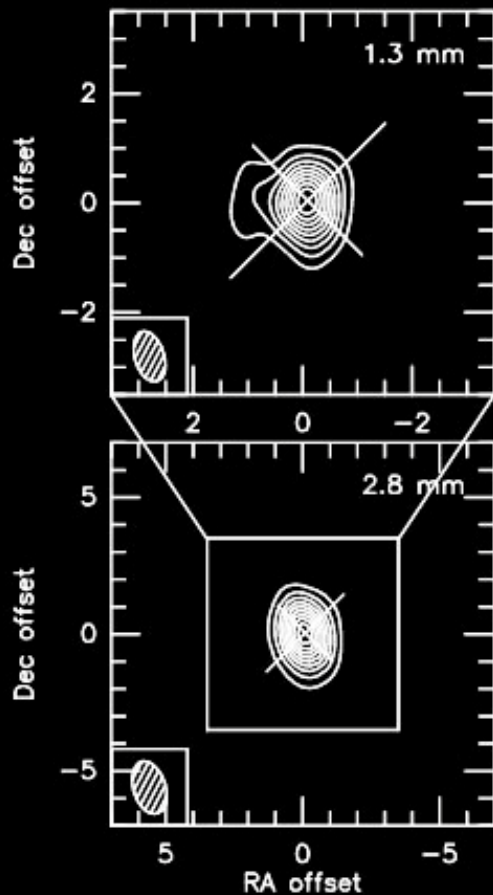
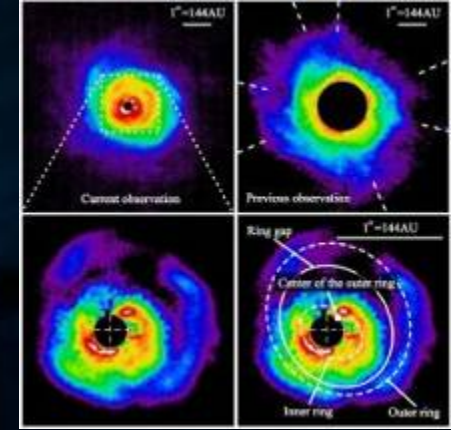
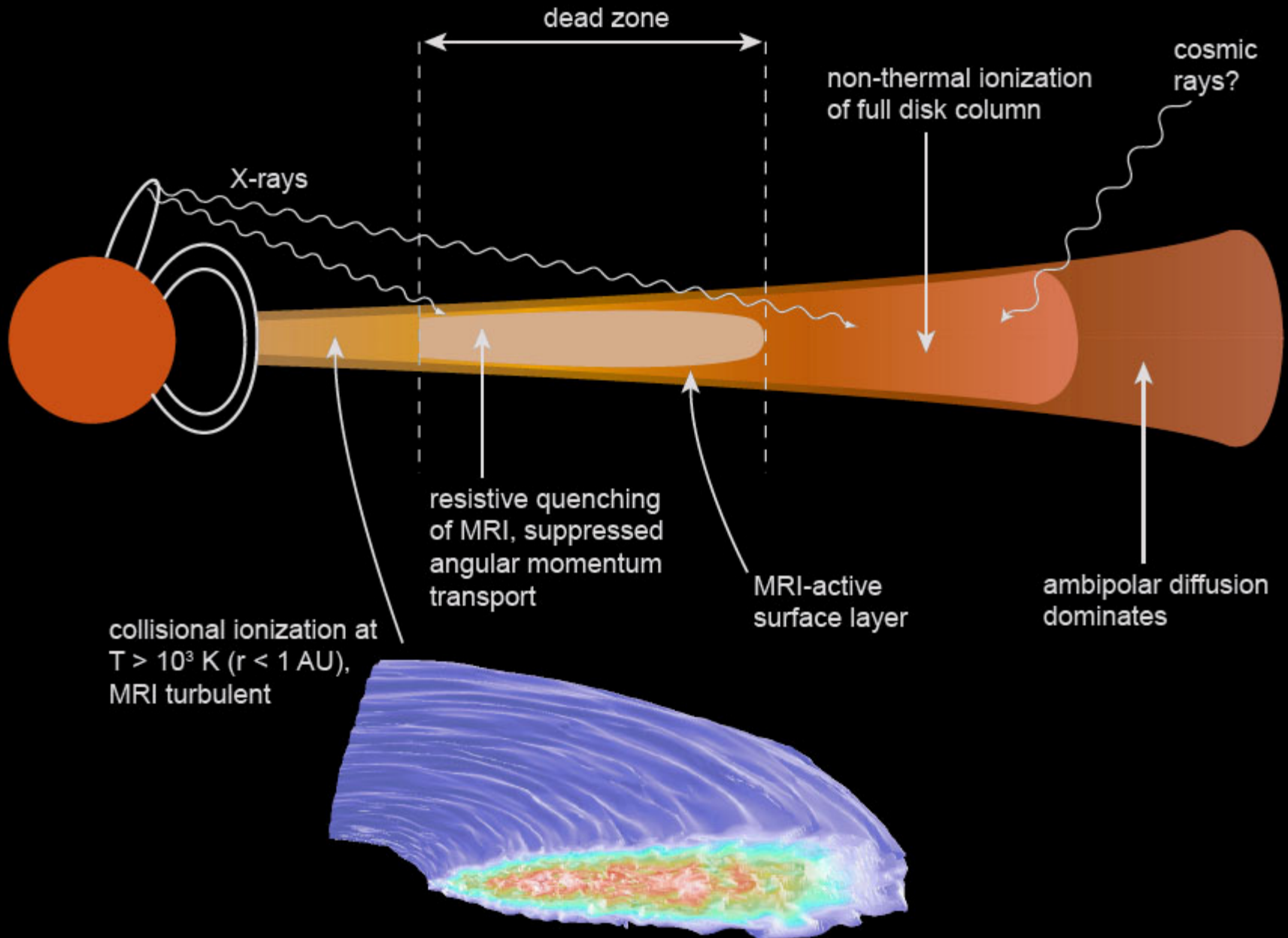
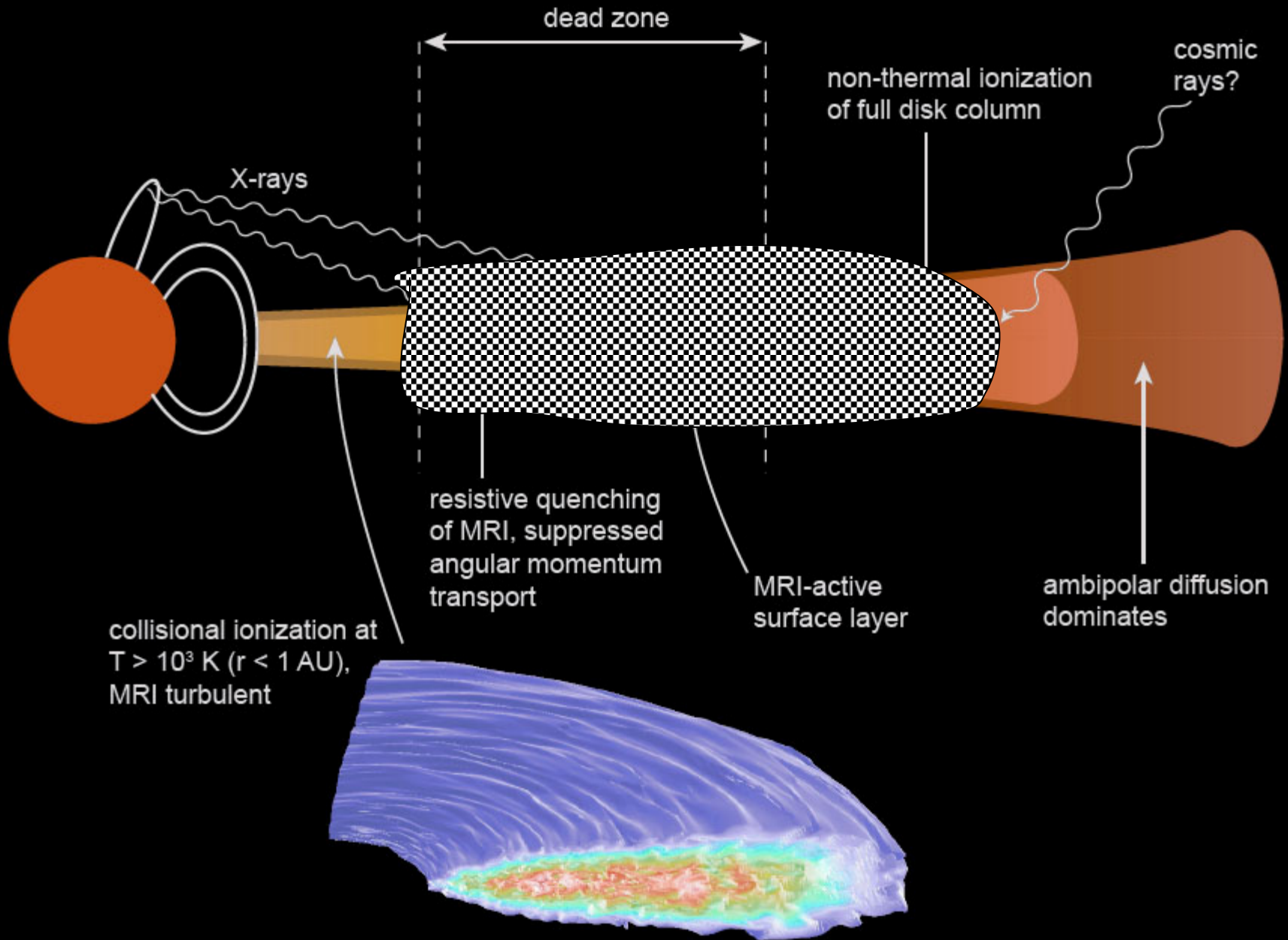


Fig. G.16. As Fig.5 but for HL Tau. Contour level is 32 mJy/beam (4.5σ) at 1.3 mm, and 7.3 mJy/beam (9σ) at 2.8 mm.

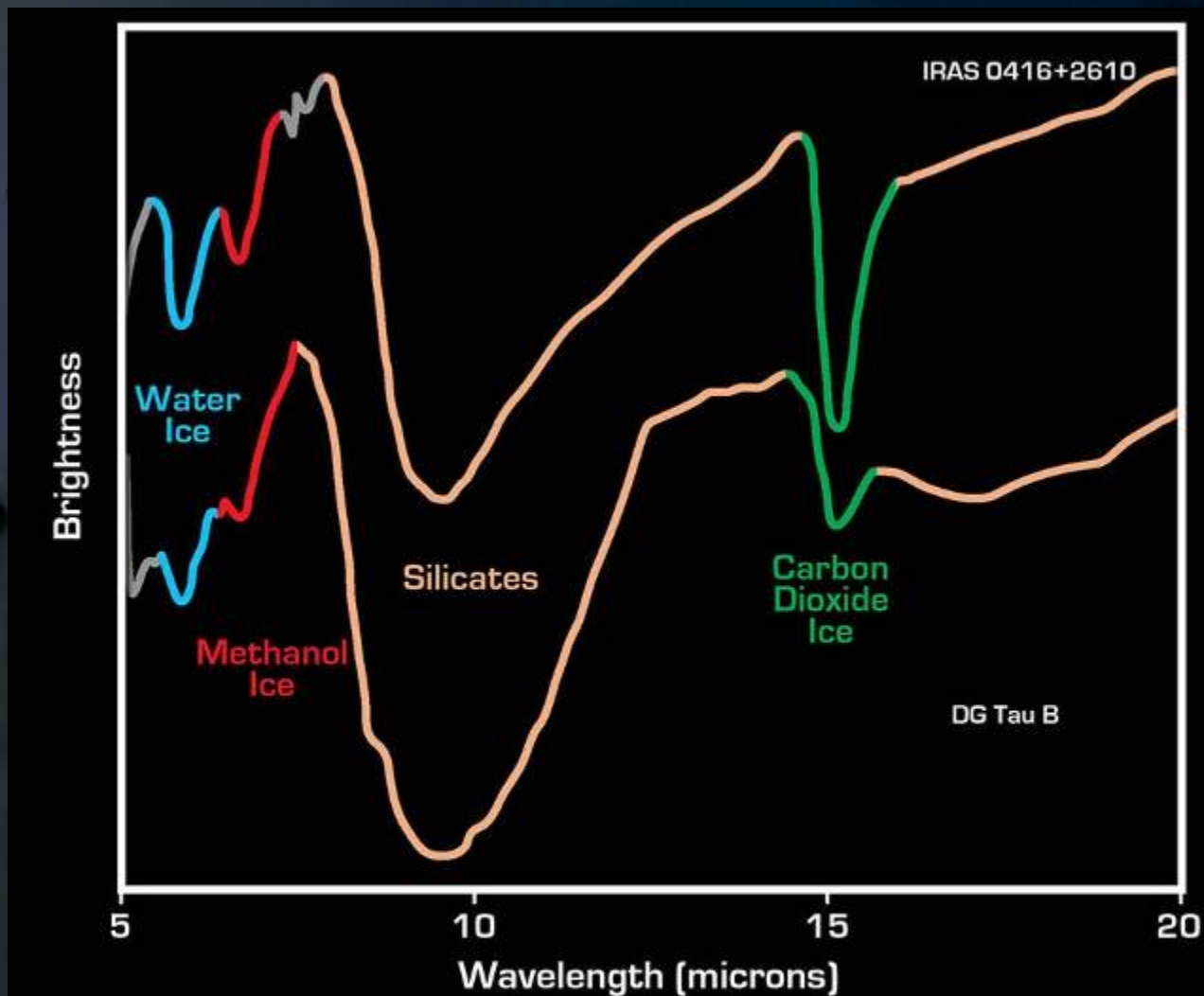
პროტოპლანეტარული დისკის მოდელი



პროტოპლანეტარული დისკის მოდელი



პროტოპლანეტური დისკის სპექტრი



Ices in Protoplanetary Disks

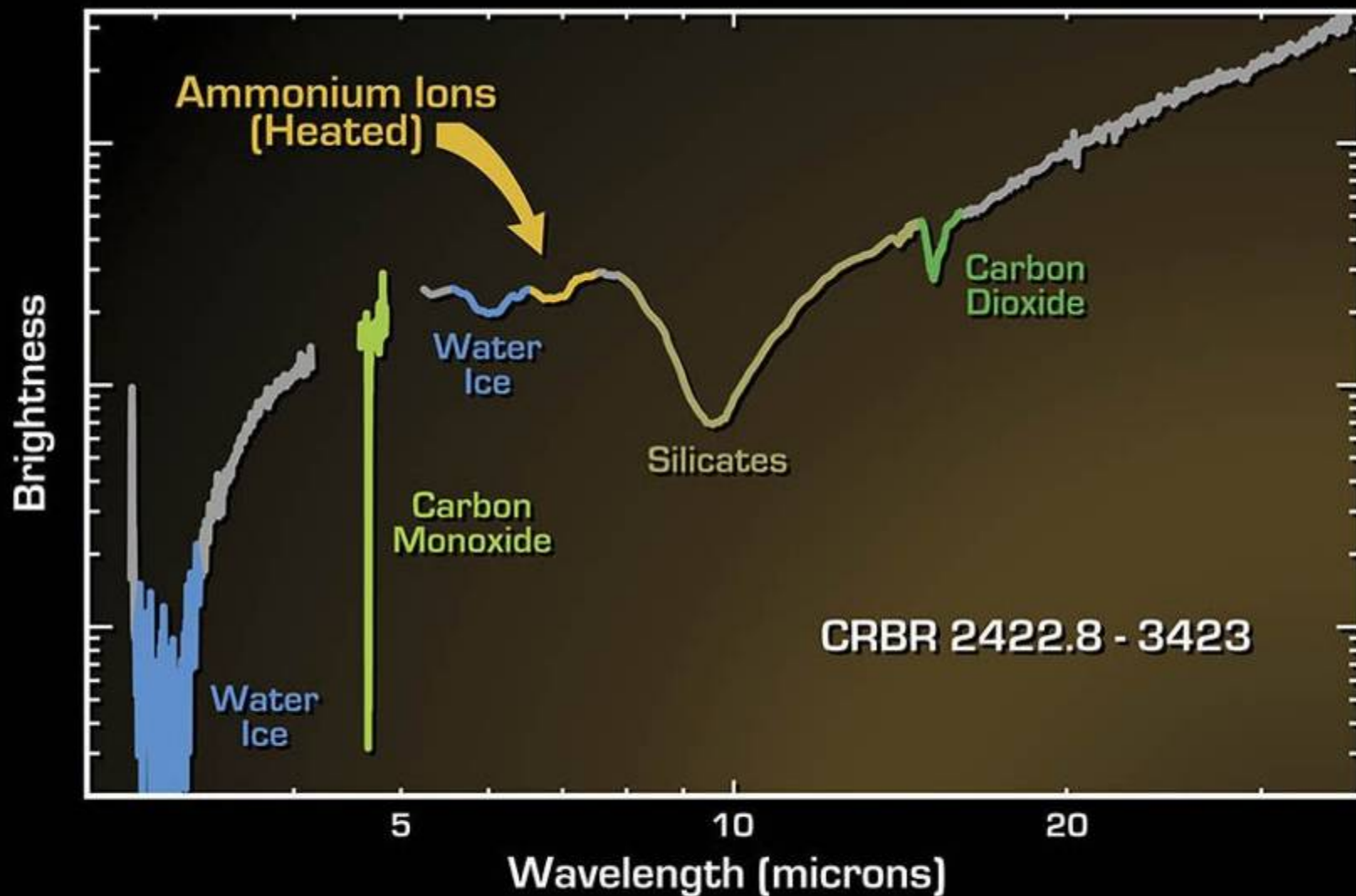
Spitzer Space Telescope • IRS

left insets: Hubble Space Telescope; backdrop: artist's depiction

NASA / JPL-Caltech / D. Watson (University of Rochester)

ssc2004-08b

პროტოპლანეტური დისკის სპექტრი



Ices in a Protoplanetary Disc

Spitzer Space Telescope • IRS

NASA / JPL-Caltech / K. Pontoppidan (Leiden Observatory)

ESO • VLT-ISAAC

ssc2004-20c

რადიალური სტრუქტურა

სიმკვრივის
რადიალური
გრადიენტი

Guilloteau
et al. (2011)

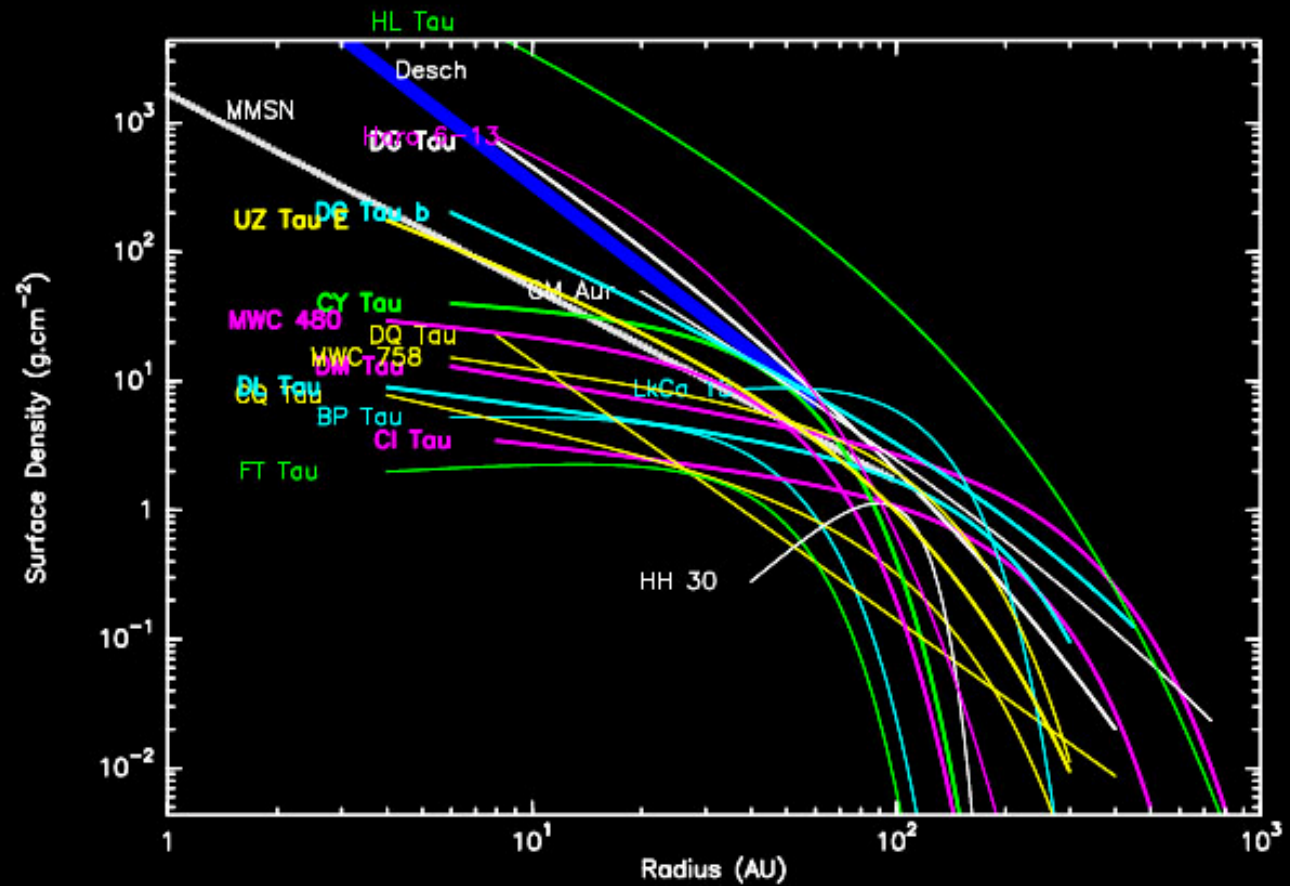


Fig. 12. Surface densities of observed sources. Thick lines are for sources in which a variation of β and thus κ with radius was derived. Thin lines are for sources for which we assumed $\kappa(1.3 \text{ mm}) = 2 \text{ cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$. The gray line is the MMSN, while the yellow area indicates the Solar Nebula from Desch (2007).

რადიალური სტრუქტურა

ტემპერატ.
(ენტროპიის)
რადიალური
გრადიენტი

ბაროკლინობა

$$S(r) \sim r^{-n}$$

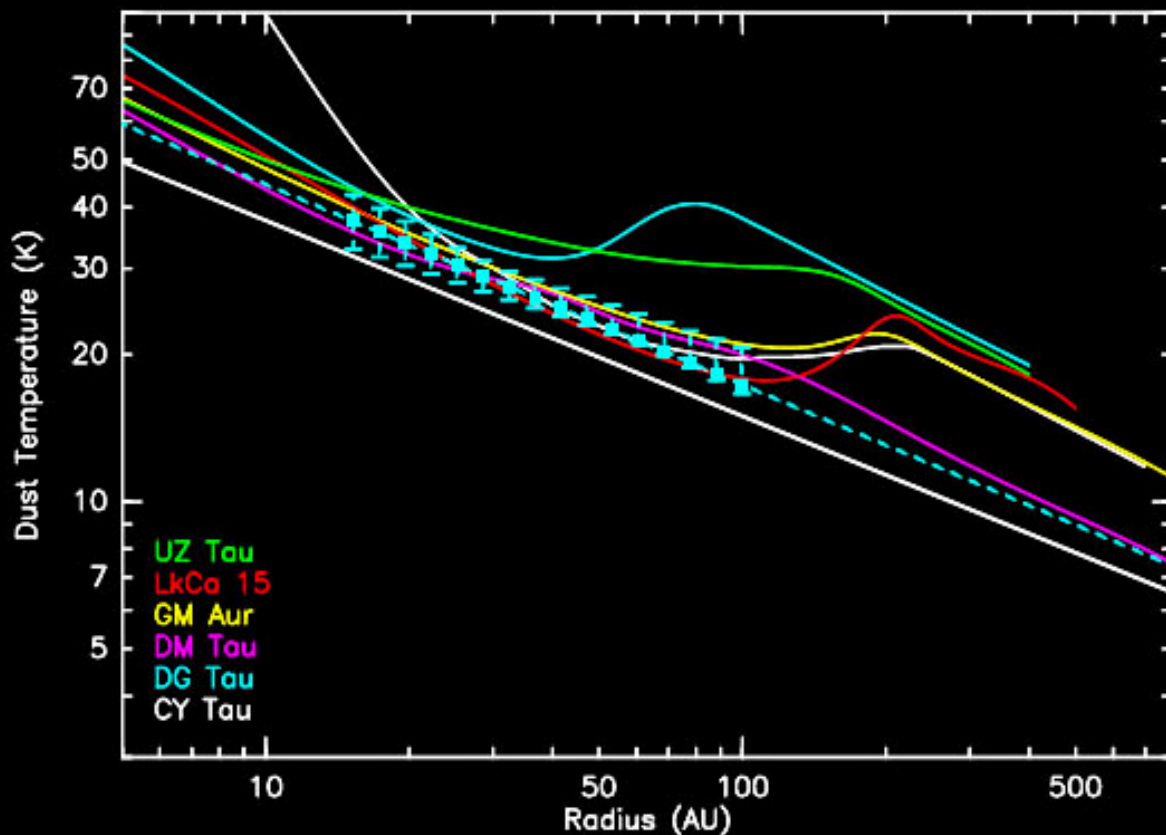


Fig. 6. Temperature laws derived by Isella et al. (2009) (color curves, one for each source) compared to our assumed power law (black continuous line). The dashed red line indicate the best fit power law for DG Tau, and the error bars indicate the $\pm 1\sigma$ range in the region where this power law is constrained, i.e. about 20 to 100 AU.

პლანეტების წარმოშობის თეორიები

1. Top Down

(ლაპლასი)

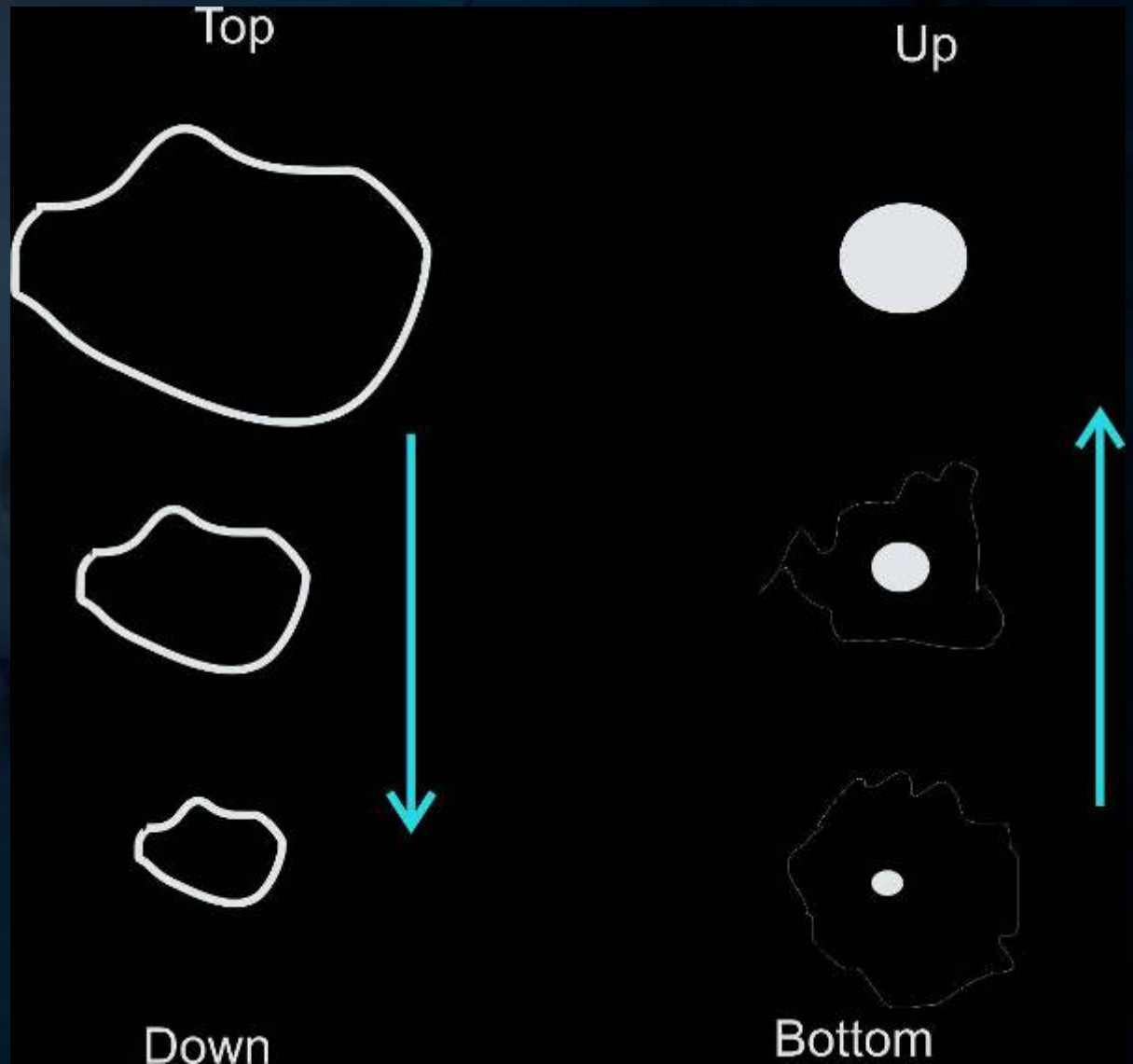
გრავიტაციული
ფრაგმენტაცია

2. Bottom Up

(საფრონოვი)

Core

Accretion



ძირითადი ფაქტორები

წონასწორობა

გაზის წნევა
გრავიტაცია

$$r\Omega^2(r) = \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial P_0(r)}{\partial r} + \frac{\partial \Phi(r)}{\partial r}$$

კეპლერული ბრუნვა: $\Omega_K(r) \sim r^{-3/2}$
(მტვერი, სხეულები)

ქვე-კეპლერული ბრუნვა: $\Omega(r) < \Omega_K(r)$

აირი/მტვერის “ხახუნი”

ბირთვზე აკრეციის მოდელი

სამ ეტაპიანი მოდელი

1. პლანეტების ჩანასახების ფორმირება ($>km$)
2. გაზის აკრეცია ბირთვზე
3. ოლიგარხული ზრდა

პრობლემა: როგორ გავაჩინოთ ჩანასახი სწრაფად

- **Streaming Instability**
- **Vortex Model**

Streaming Instability

Linear Streaming Instability: Gas + particles (dust)

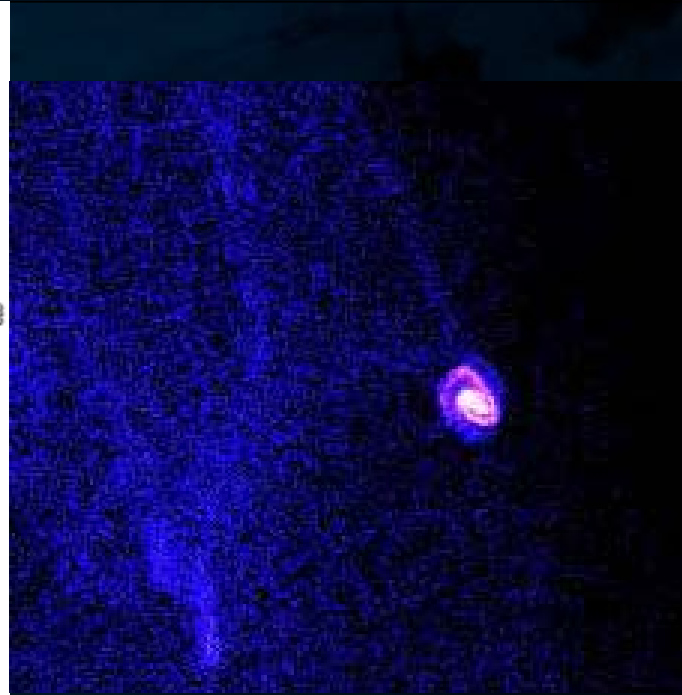
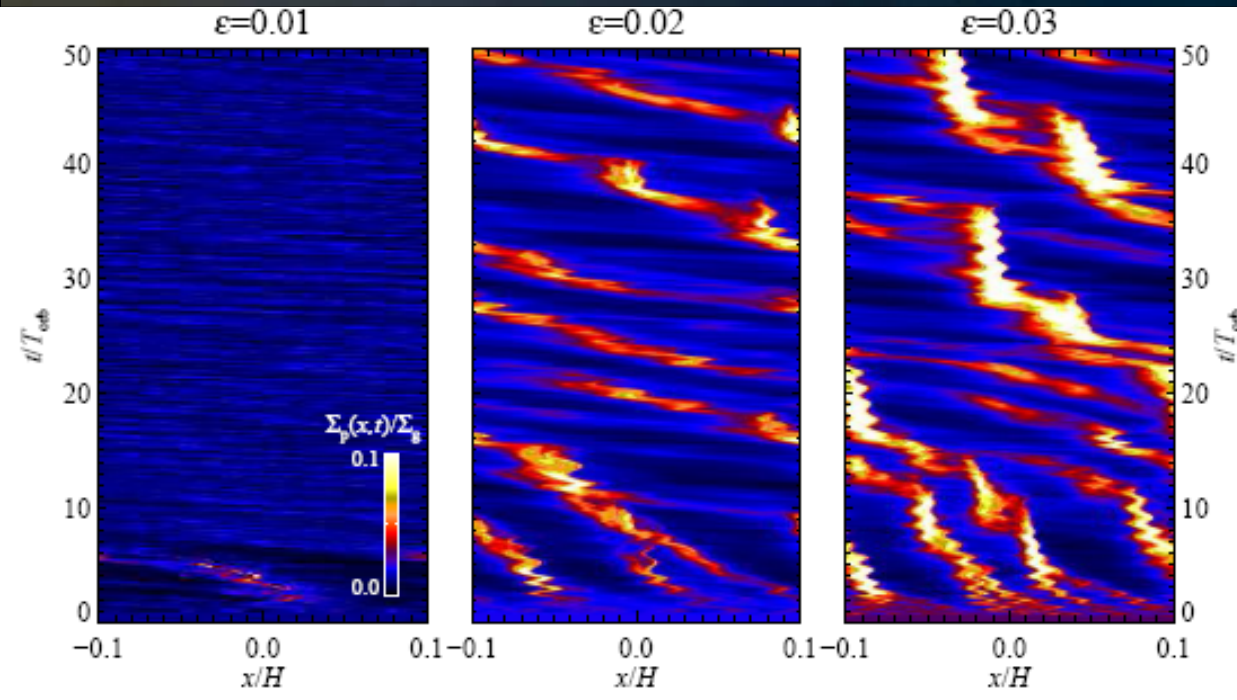
Goodman & Pindor 2001, Youdin & Goodman 2005

Momentum feedback from particles to the gas leads to a linear instability

Energy: radial pressure gradient

Nonlinear Development: Planetesimals?

Streaming Instability



Turbulence:
(numerical)

MRI? Accelerates process

Problem:

Gas/Dust ratio ~ 1

Core Accretion

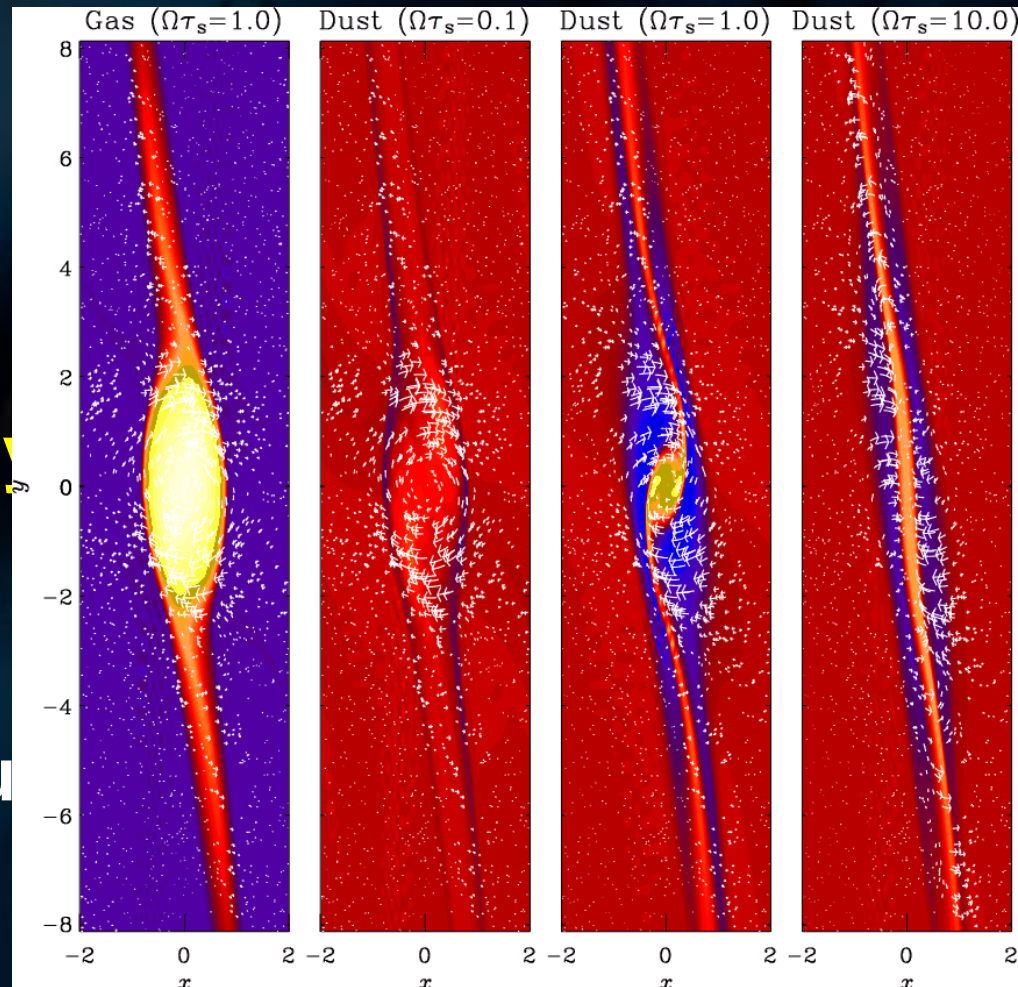
Vortex Model

Barge, Sommeria (1995):

Particles captured by
vortices

Long lived anticyclonic
vortices can kinematically
TRAP dust

Center: high density + dust
*Triggering planetesimal
formation*



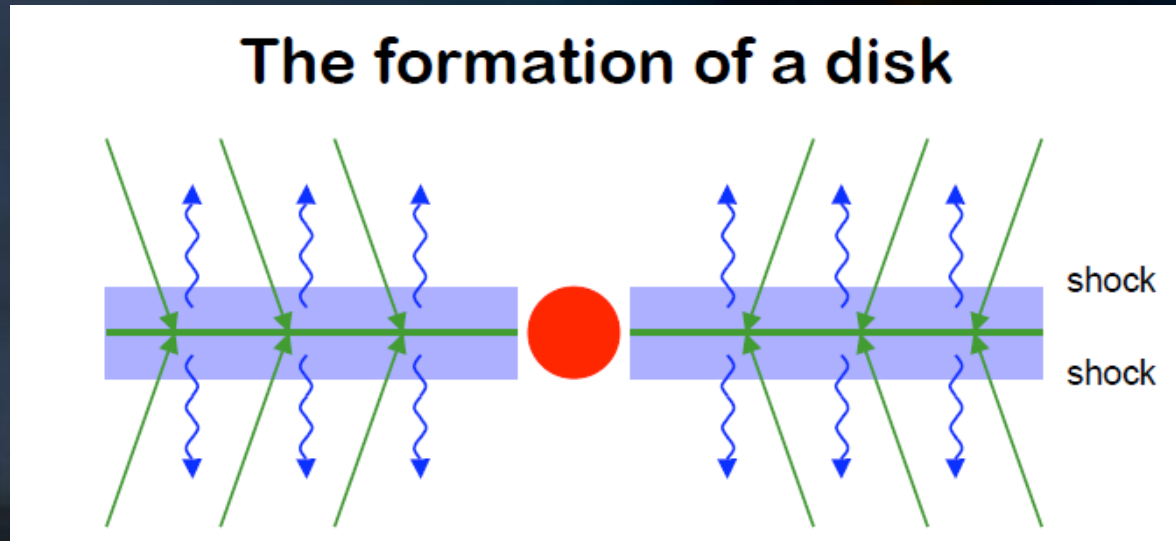
გრიგალები დისკებში

გრიგალის წყაროები

1. როსბის ტაღლის არამდგრადობა
(ენტროპიის ლოკალური მაქსიმუმები)
2. გრიგალების ბაროკლინური გენერაცია
(რადიალური სტრატეფიკაცია)
3. დარტყმითი ტაღლები

საწყისი შეშფოთებების წყაროები

პროტოპლანეტური დისკის წარმოქმნის
ადრეული ეტაპები



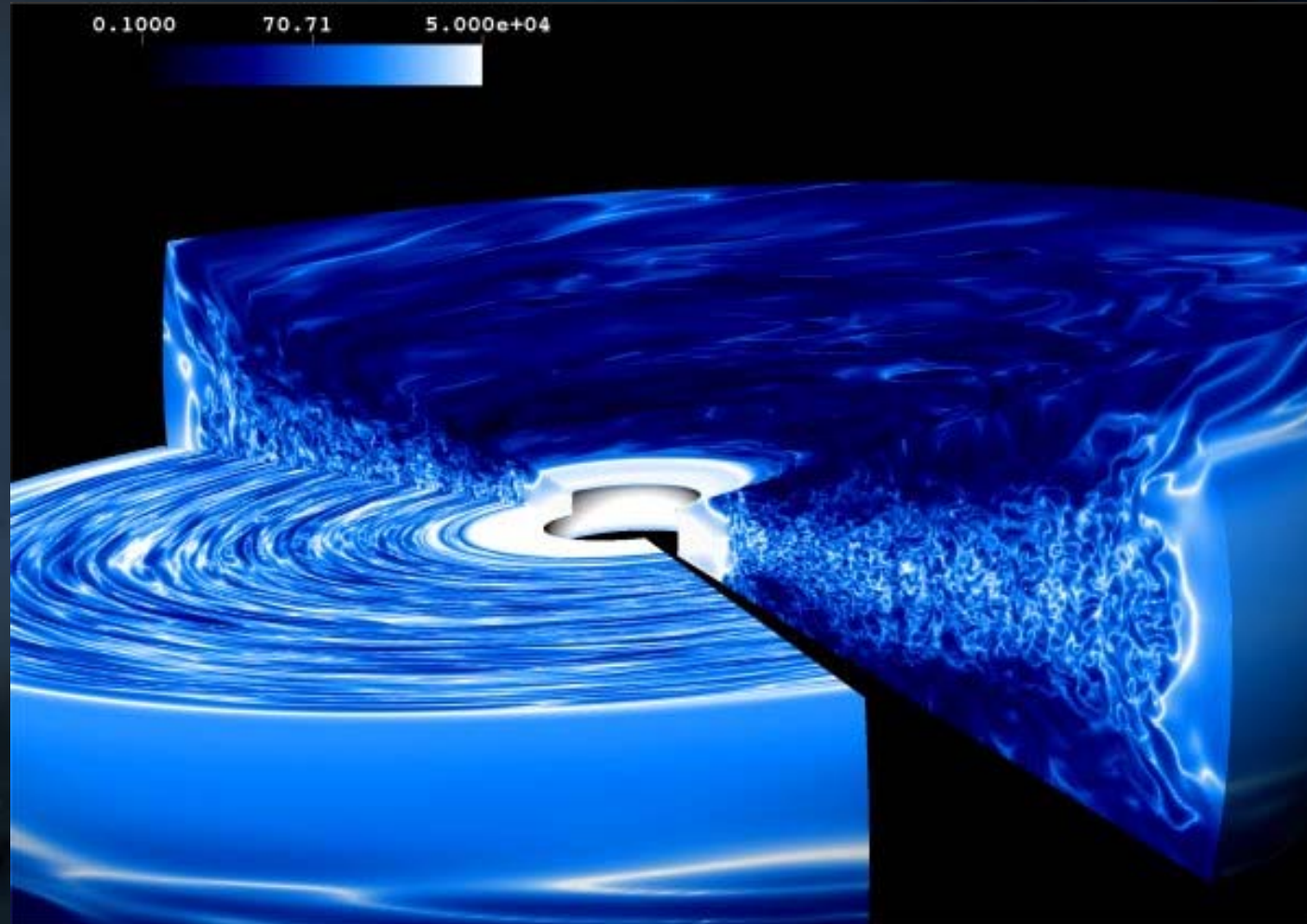
- + კუმშვადი შეშფოთებები
- + დარტყმითი ტალღები

დარტყმითი ტალღები ჩნდება დისკის
ჩამოყალიბებასთან ერთად

მოდელირება

Flock et al.
(2010)

PLUTO
3D MRI



ტურბულენტობა გამოდევნის მაგნიტურ ველს
დისკის მოცულობიდან: **ჰიდროდინამიკა**

რიცხვითი მოდელირება

კოდი: **PLUTO** (`plutocode.to.astro.it`)
ამომხსნელი: **Riemann/Godunov, HD, FARGO, (ppm)**
ბადე: **Polar, [2048x326], [4096x652]**

წონასწორული დინება:

რადიალურად სტრატეფიცირებული დისკი

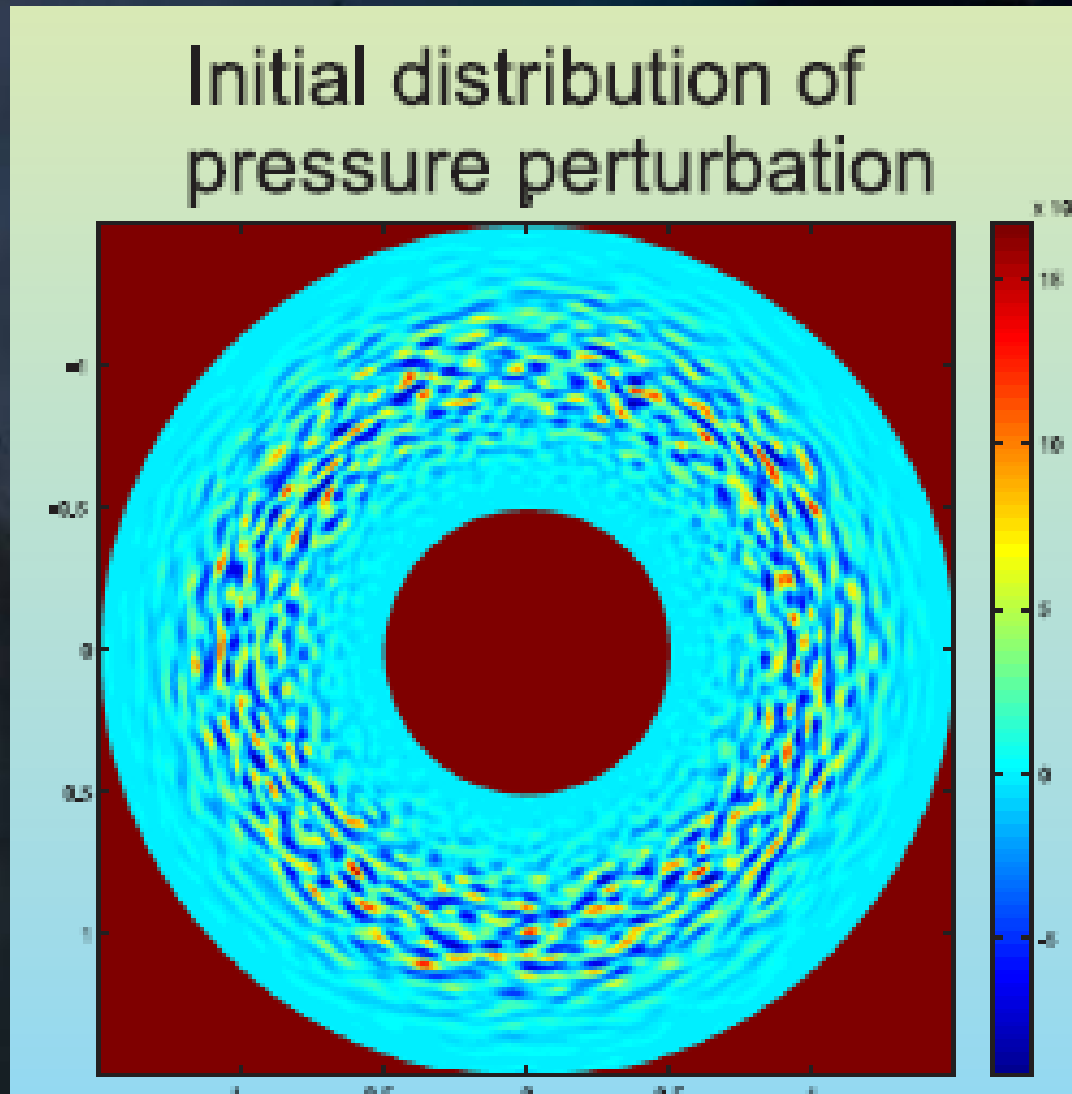
შეშფოთებები: წნევა, სიმკვრივე;

ნულოვანი პოტენციური ცირკულაცია, ენთროპია;

ქაოსური საწყისი შეშფოთებები

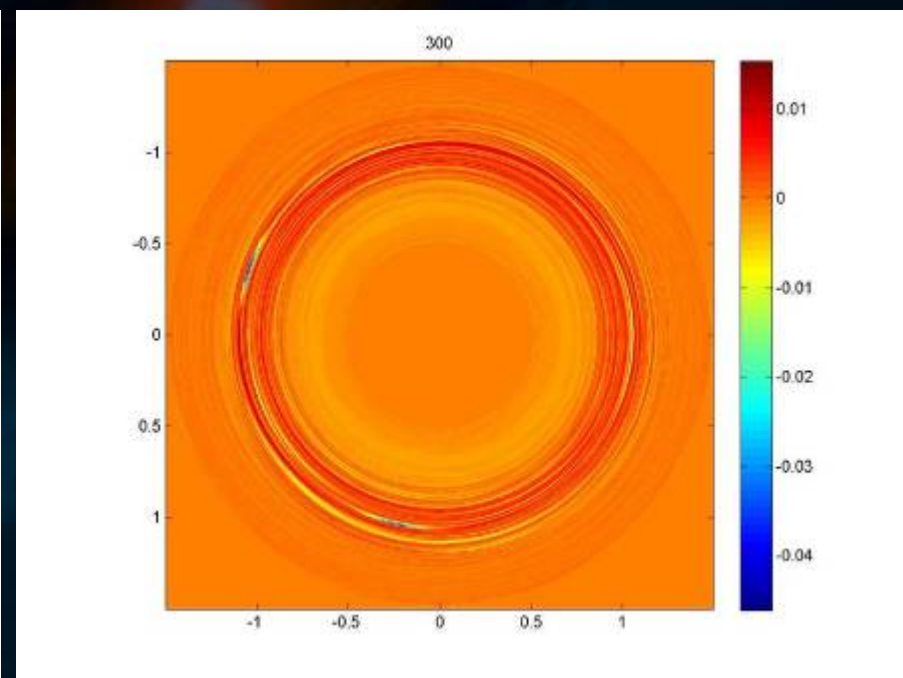
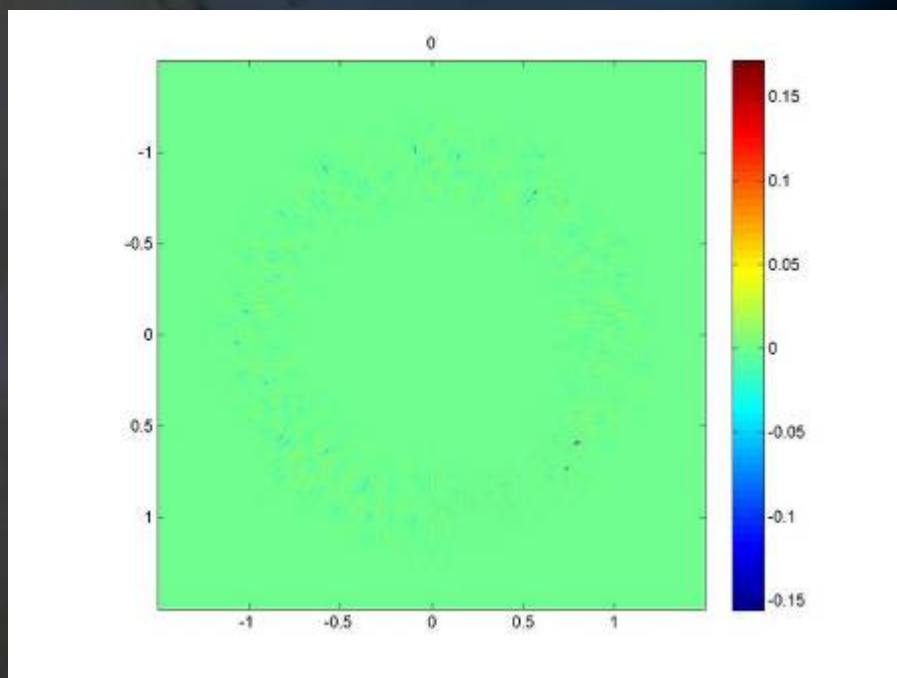
მოდელირება

საწყისი ქაოსური განაწილება



რიცხვითი მოდელირება

სიჩქარის ცირკულაციის შეშფოთებები
საწყისი/ საბოლოო



ანტიციკლონური გრიგალები

რიცხვითი მოდელირება

— ვიდეო —



პლანეტების წარმოშობის ადრეული ეტაპები

ბირთვზე აკრეციის მოდელი (core-accretion)

პროტოპლენეტარული დისკის ფორმირებისას (საწყისი კოლაფსისას) დისკის თერმალიზაცია და გრიგალების გენერაცია: რიცხვითი შედეგები

პლანეტების ჩანასახების გაჩენის აჩქარება მდგრადი ხანგრძლივად არსებული ანტიციკლონური გრიგალებით

ვერტიკლური სტრუქტურის ეფექტების შესწავლა



მადლობთ
ყურადღებისთვის