



ივანე ჯავახიშვილის დაბადებიდან 140 წლისთავისადმი მიძღვნილი
მეოთხე ყოველწლიური ჯონფეხენცია ზუსტ და
საბუნებისმეტყველო მეცნიერებებში
ENS 2016

The Fourth Annual Conference in Exact and Natural Sciences
Dedicated to 140th Anniversary of the Birth of Ivane Javakhishvili

პროტოპლანეტარული დისკების დინამიკა რეოლოგიური სიბლანტით

ალექსანდრე თევზაძე
ლუკა პონიატოვსკი

ფიზიკის დეპარტამენტი, ზუსტ და საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა ფაკულტეტი

26.01.2016

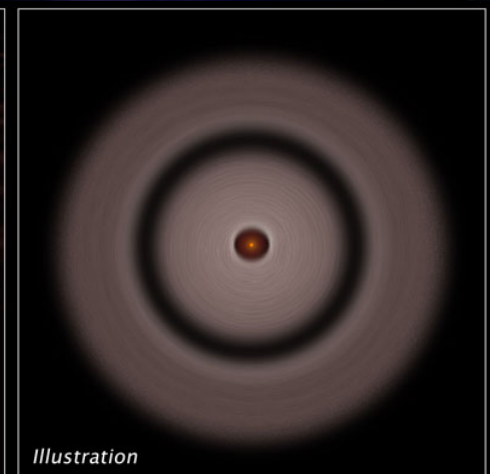
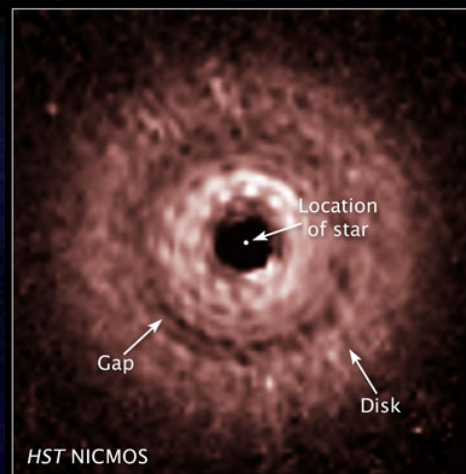
პროტოპლანეტარული დისკები

არამზიური პლანეტების სტატისტიკა (26.01.16):

- 2051 პლანეტა;
- 4696 კანდიდატი;

პლანეტების წარმოშობის თეორიის ტესტი

პლანეტების ფორმირების არეები



TW Hydrae Disk
Hubble Space Telescope ■ NICMOS

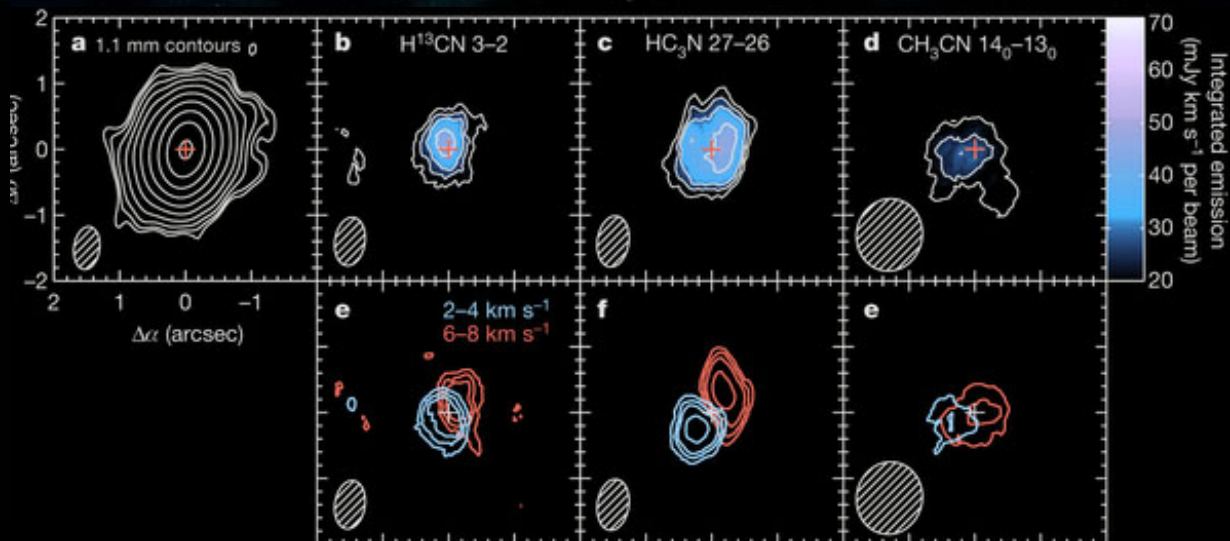
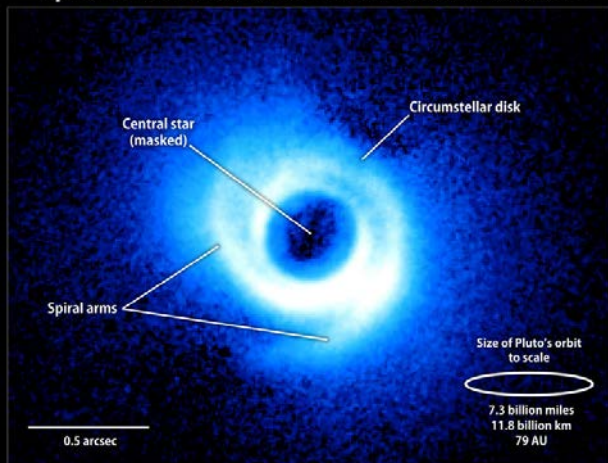
NASA and ESA

STScI-PRC13-20a

გარემოს თვისებები

დაკვირვებები (ინტერფერომეტრია, sub-mm ასტრონ.)

Spiral features revealed in SAO 206462's dust disk



აირისა და მყარი ნაწილაკების ნარევი

“მტვრის” ნაწილაკების ზომა: $0.7-1000 \mu\text{m}$

პლანეტების ზრდის პროცესი: $1 \mu\text{m} \rightarrow 10\,000 \text{ km}$

$\times 10^{10} - 10^{13}$

პლანეტების ფორმირება

ფორმირების ეტაპები:

→ აირის და მტვრის დინება;

HD + dust; მტვრის ნაწილაკების და აირის “ხახუნი”
ანტიციკლ. გრიგალები; two-stream არამდგრადობა?

→ ? ? ? ? ? ? (+ თვითგრავიტაცია)

→ ნაწილაკების (ნამსხვრევების) დისკი;

1-10მ “ნამსხვრევები” + ოლიგარქები;

პლანეტების ჩანასახები; (10^5+ სხეულის ამოცანა)

- ჰამილტონს ანალიზი (მექანიკა/რეზონანს./მოდელები.)

- N-body მოდელირება;

N 9 ?

რეოლოგიური დინებები

გარემო
დინამიკურად
ცვლადი
სიბლანტით



$$\nu = \nu (P, V')$$

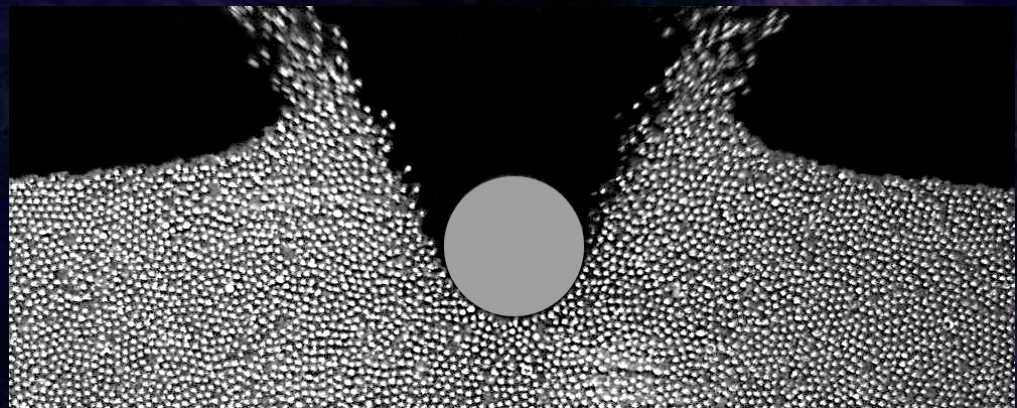
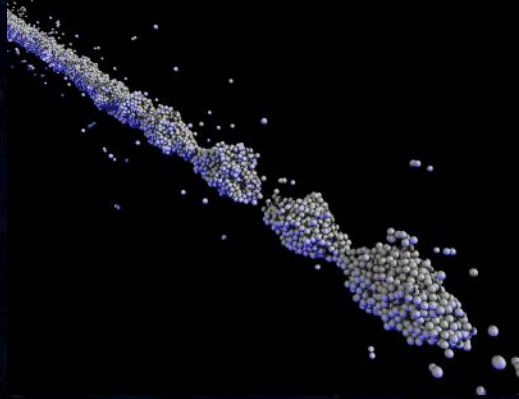
- + რეოლოგია სიმძიმის ველში;
- + რეოლოგია 0-გ;

? რეოლოგია + ცვლადი გრავ. პოტენციალი;



გრანულარული დინება

მოძრავი მტვრის/გრანულების დიდი რაოდენობა

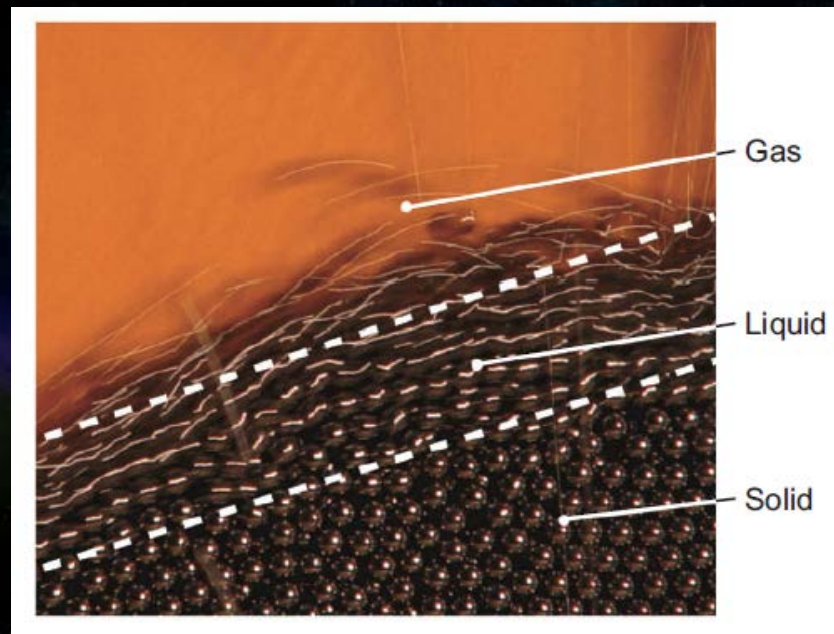


გრანულარული დინება

მდგომარეობის განტოლება

3 ფაზა:

1. რბილი მატერია;
2. სითხე;
3. კინეტიკური;



სითხე: ლოკალური მდგომარეობის განტოლება

$$\sigma_{ij} = -P\delta_{ij} + \tau_{ij},$$

$$\tau_{ij} = \eta\dot{\gamma}_{ij},$$

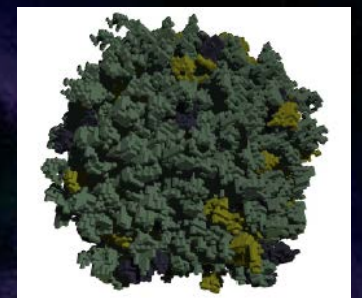
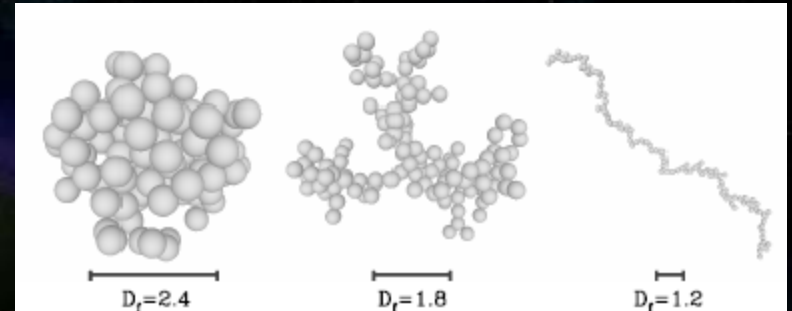
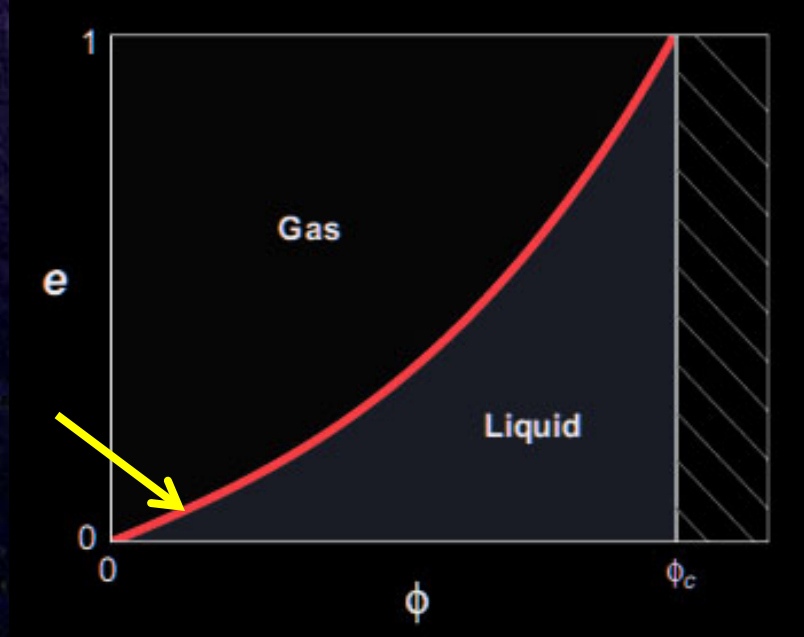
$$\eta = \frac{\mu(I)P}{|\dot{\gamma}|}$$

Forterre & Pouliquen, Ann.Rev.F.M. 2008

პროტოპლანეტარული დისკი

$e = V_2/V_1$ - დრეკადობის პარამეტრი;

ϕ - შევსების ფაქტორი;



ნაწილაკთა მცირე რაოდენობა ($e \ll 1$)

არადრეკადი დაჯახებები ($\phi \ll 1$)

გრანულარული რეოლოგიური დინება

გრანულარული კეპლერული დინება

ზოგადი რეოლოგიური მოდელი:

$$\rho \left\{ \frac{\partial}{\partial t} + v_k \frac{\partial}{\partial x_k} \right\} v_i = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + \left(\frac{\partial v_k}{\partial x_i} + \frac{\partial v_i}{\partial x_k} \right) \frac{\partial}{\partial x_k} \eta + \eta \left(\frac{\partial}{\partial x_k} \frac{\partial}{\partial x_k} v_i + \frac{\partial}{\partial x_i} \frac{\partial}{\partial x_k} v_k \right)$$

წონასწორული მდგომარეობა:

$$\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial \eta_0}{\partial r} \frac{\partial \Omega(r)}{\partial r} + \Omega(r)^2 = \frac{1}{\rho_0 r} \frac{\partial P_0}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \Phi}{\partial r}$$

$$\frac{r}{\rho_0} \frac{\partial \eta}{\partial r} \frac{\partial \Omega}{\partial r} + \frac{\eta}{\rho_0} \left(r \frac{\partial^2 \Omega}{\partial r^2} + 3 \frac{\partial \Omega}{\partial r} \right) = 0$$

$$\beta_\eta = \frac{1}{2} \quad \beta_p = 2 \quad \beta_\rho = \frac{2}{\gamma}$$

$$\begin{cases} \rho_0 = \bar{\rho} \left(\frac{r}{r_0} \right)^{-\beta_\rho} \\ P_0(r) = \bar{P} \left(\frac{r}{r_0} \right)^{-\beta_p} \\ \eta(r) = \bar{\eta} \left(\frac{r}{r_0} \right)^{-\beta_\eta} \\ \mathbf{V}_0 = (0, V_{0\phi}) \end{cases}$$

შეშფოთებათა თეორია

გამარტივებები:

- არაწრფივი წევრები;
- მრუდწირული წვლილი ბლანტ წევრებში;
- ლოკალური მიახლოება;

დისპერსია:

$$\begin{aligned} -i\omega \{ & i\omega^3 - \omega^2\nu\xi_{211} + \\ & - \omega[\nu^2(\xi_{121} + i\xi_{122}) + \nu(\xi_{111} + i\xi_{112}) + i\omega_0] + \\ & - \xi_{001} - \nu(\xi_{011} + i\xi_{012}) - \nu^2(\xi_{021} + i\xi_{022}) \} = 0 \end{aligned}$$

დაბალსიხშირის არამდგრადი ამონახსნი

$$\sigma(\mathbf{k}_x, \mathbf{k}_y) \sim d/dr \{v^2(r)\} \Omega^2 F(\mathbf{k}_x, \mathbf{k}_y)$$

დასკვნა

ჩამოყალიბებულია გრავიტირებადი დინების წონასწორული რეოლოგიური მოდელი;

შესწავლილია გრანულარული რეოლოგიური ეფექტის ზეგავლენა კეპლერულ დინებებზე;

ნაჩვენებია ახალი ტიპის რეოლოგიური ბრუნვითი არამდგრადობის არსებობა დიფერენციალურად მბრუნავ გარემოში;

არამდრადობამ შეიძლება გამოწვიოს ნაწილაკების დაჩქარებული აგრეგაცია და ზვავური ეფექტი;

შეკითხვები?