

თვითგრავიტირებადი დინებები

გრავიტაციული ფრაგმენტაცია

საწყისი მატერიის გრავიტაციული ფრაგმენტაციის პირობა:

$$E_K \leq |E_P|$$

$$\frac{1}{2}mv^2 \leq \frac{GMm}{R}$$

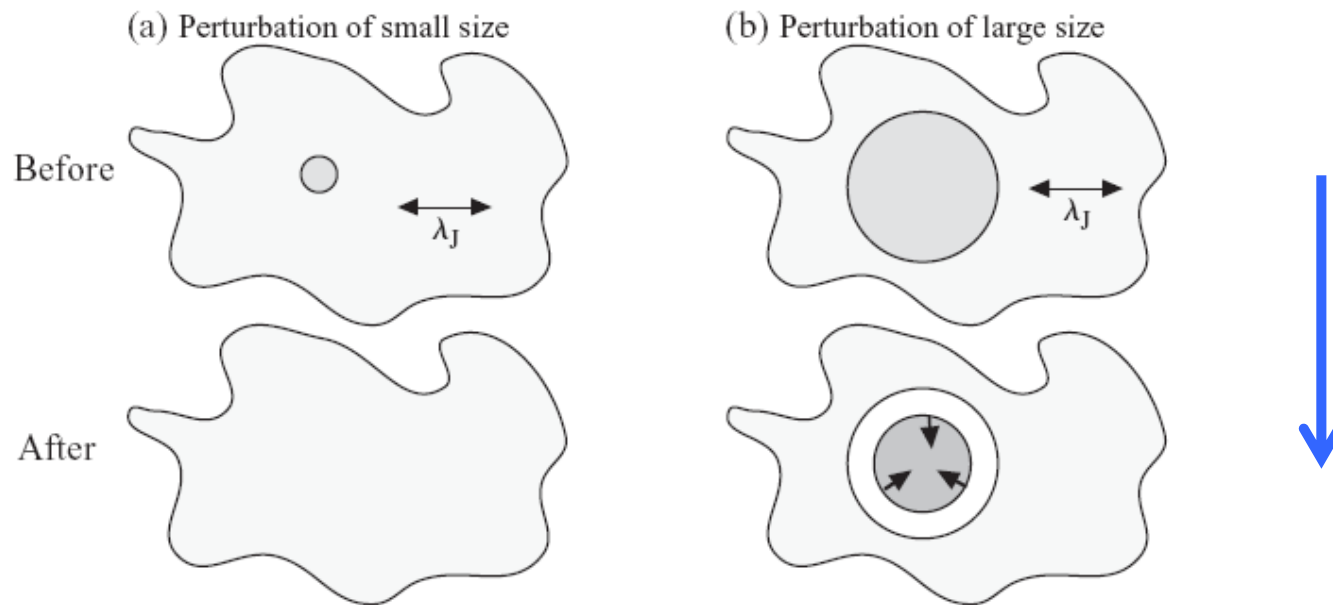
$$M \sim \rho R^3 \quad v^2 \leq GR^2 \rho$$

$$R \geq \frac{v}{(G\rho)^{1/2}}$$

R_c – კრიტიკული რადიუსი (ჯინსის რადიუსი)

M_c – კრიტიკული მასა (ჯინსის მასა)

გრავიტაციული ფრაგმენტაცია



დიდი ზომის შეშფოთებების ფრაგმენტაცია: ჯინსის რადიუსი

გრავიტაციული ფრაგმენტაცია მახასიათებელი დრო

თავისუფალი ვარდნის აჩქარება:

$$a = \frac{GM}{R^2}$$

$$R = \frac{a\Delta t^2}{2}$$

ვარდნის (კოლაფსის) მახასიათებელი დრო: $\Delta t \sim \left(\frac{R}{a}\right)^{1/2} \sim \left(\frac{R^3}{GM}\right)^{1/2}$

$$\Delta t \sim (G\rho)^{-1/2}$$

მზის საშუალო სიმკვრივე: 1400 კგ/მ^3 . $T_{\text{ზოგ}} \sim 55$ წუთი
მზის ბირთვის კოლაფსის მახასიათებელი დრო: 20 წუთი.

თეთრი ჯუჯა: 3.3 წამი, პულსარი: 0.4 მილი წამი

წრფივ შემფოთებათა მდგრადობა

სპექტრალური გაშლა:
$$\psi(\mathbf{r}, t) = \int_{-\infty}^{+\infty} \Psi(\mathbf{k}, \omega) \exp(i\mathbf{k}\mathbf{r} - i\omega t) d\mathbf{k} d\omega$$

დისპერსიული განტოლება:
ამონახსნი: ამოცანის სპექტრი

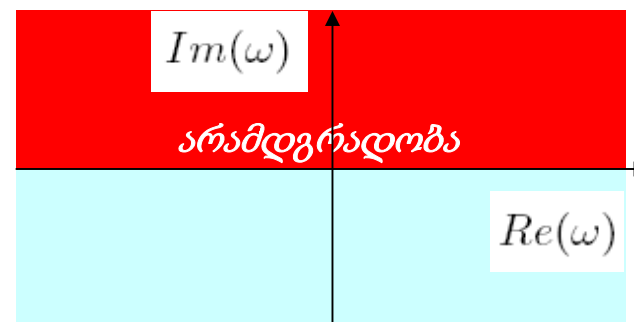
$$\omega^2 = \omega^2(\mathbf{k})$$

$$\omega = \operatorname{Re}(\omega) + i\operatorname{Im}(\omega)$$

დროითი ევოლუცია:
$$\psi(t) \sim e^{-i\omega t} \sim e^{-i\operatorname{Re}(\omega)t} e^{\operatorname{Im}(\omega)t} \sim [\cos(\operatorname{Re}(\omega)t) + i \sin \operatorname{Re}(\omega)t] e^{\sigma t}$$

$$\psi(t) \sim \cos(\Omega t + \phi_0) e^{\sigma t}$$

დროითი ზრდის ინკრიმენტი (growth rate): $\sigma = \operatorname{Im}(\omega)$



გრავიტაციული ფრაგმენტაცია: ჯინსის არამდგრადობა

უწყვეტობის და მოძრაობის განტოლებები:

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

$$\frac{\partial \mathbf{V}}{\partial t} + (\mathbf{V} \nabla) \mathbf{V} = -\frac{\nabla P}{\rho} - \nabla \Phi$$

წონასწორული და შეშფოთებული ნაწილები:

წონასწორობა: *სტაციონალური, ერთგვაროვანი.*

წრფივ შეშფოთებათა დინამიკა:

გრავ. პოტენციალის წრფივი შეშფოთება (ჯინსის მიახლოება)
ადიაბატური კუმშვა

$$\Delta \Phi' = 4\pi G \rho'$$

$$P' = c_s^2 \rho'$$

გრავიტაციული ფრაგმენტაცია: ჯინსის არამდგრადობა

დისპერსია: $\omega^2 = c_s^2 k^2 - 4\pi G \rho$ $\omega_G^2 \equiv 4\pi G \rho$

არამდგრადობის პირობა: $\omega^2 < 0 : k^2 < \frac{\omega_G^2}{c_s^2}$

გრავიტაციული ფრაგმენტაცია: ჯინსის არამდგრადობა

ჯინსის მასა და რადიუსი

$$\lambda_J^2 = \frac{\pi c_s^2}{G \rho}.$$

$$M_J = \left(\frac{\pi}{G}\right)^{3/2} \frac{c_s^3}{\rho^{1/2}}.$$

იზოთერმული თვითგრავიტირებადი თხელი ფენა

წონასწორული ფენა

$$\frac{1}{\rho} \frac{dp}{dz} + \frac{d\Phi}{dz} = 0.$$

სიმკვრივის აერაერთგვაროვანი განაწილება

$$\rho(z) = \rho_0 \operatorname{sech}^2(z/H),$$

მდგრადობის განტოლება ვერტიკალური კოორდინატისათვის

$$W = \frac{p'}{\rho}.$$

$$\frac{d^2 W}{dz^2} + \left(\frac{4\pi G \rho(z)}{c_s^2} - k^2 \right) W = 0,$$

მზრუნავი გარემოს გრავიტაციული მდგრადობა

მყარტანოვანი ბრუნვა;
დერძულად სიმეტრიული შემფოთებები;

წრფივი მდგრადობის ანალიზი;

ტუმრის პარამეტრი

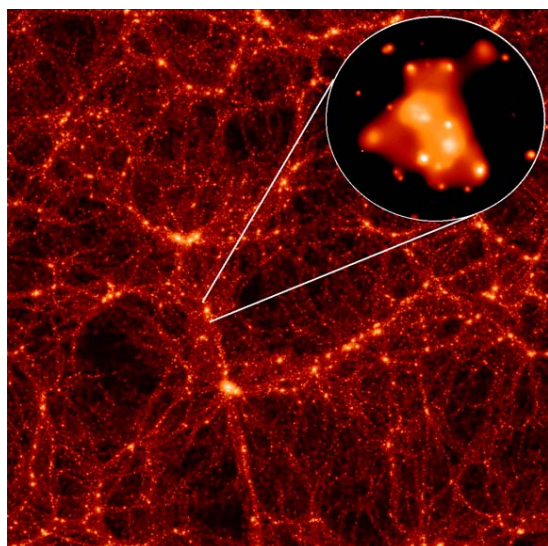
$$Q = \frac{\kappa C_s}{\pi G \Sigma}$$

ეპიცკლური სიხშირე: $\kappa^2 = 4\Omega^2$

გრავიტო-ბრუნვითი არამდგრადობის კრიტერიუმი: $Q < 1$

გრავიტაციულად შემოსაზღვრული ობიექტები

გრავიტაციული ფრაგმენტაცია: იერარქიული პროცესი



ადრეული სამყაროს მატერია



გალაქტიკების კლასტერები



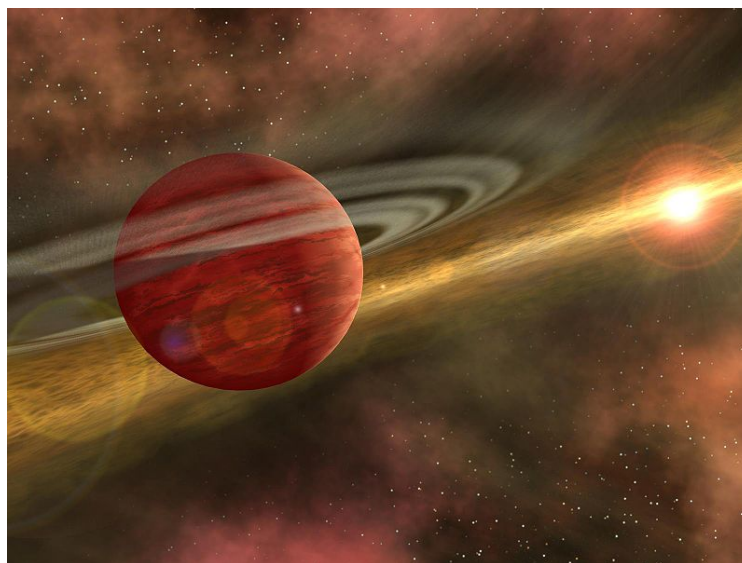
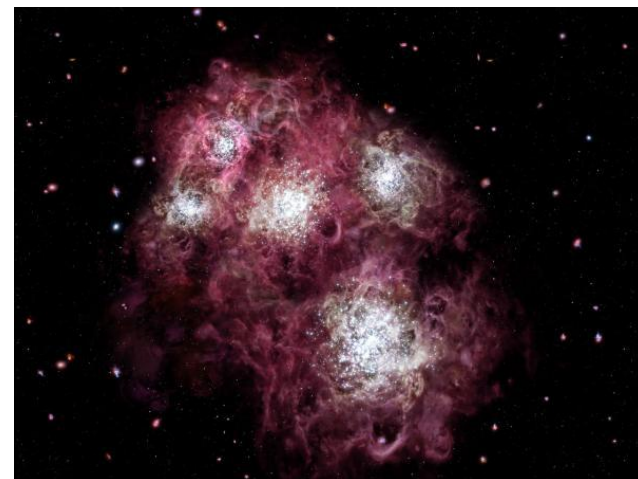
გალაქტიკები



ვარსკვლავები



გიგანტი პლანეტები ?



Star-Birth Clouds • M16

HST • WFPC2

PRC95-44b • ST ScI OPO • November 2, 1995
J. Hester and P. Scowen (AZ State Univ.), NASA

გრავიტაციულად შემოსაზღვრული ობიექტები

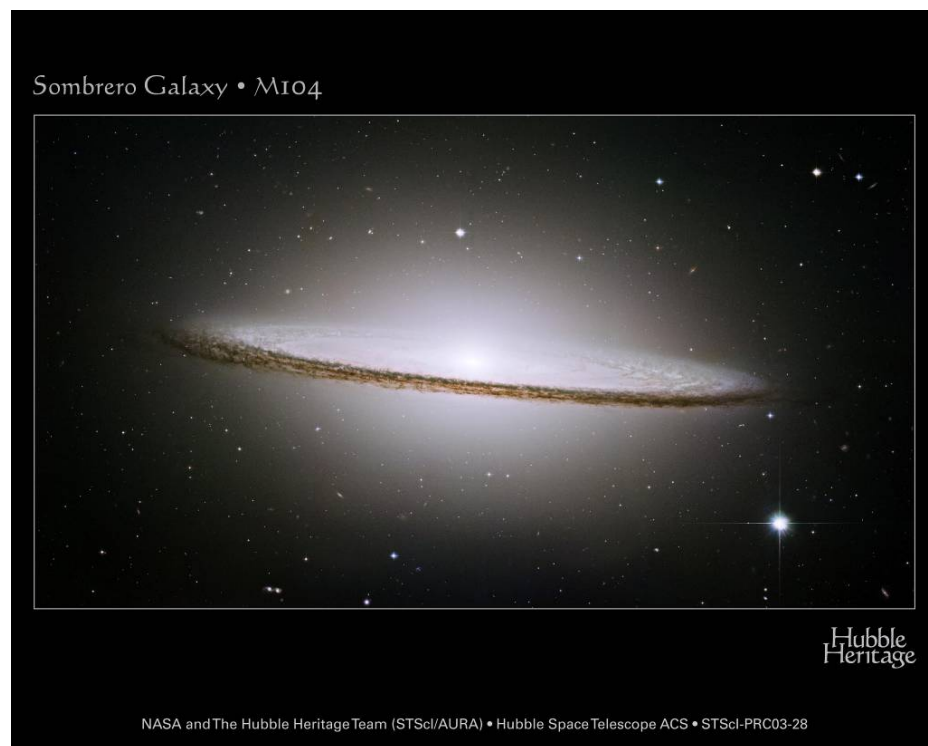
გალაქტიკები

თხელი დისკისებრი თვითგრავიტირებადი
მბრუნავი დინებები

Sombrero Galaxy (M104)

ზომა: 6M ს.წ.
60 ირმის ნახტომი

Barred Spiral Galaxy NGC 1300 (0.1M ს.წ.)

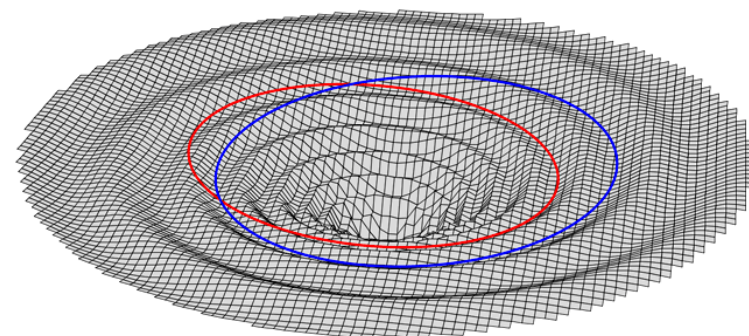
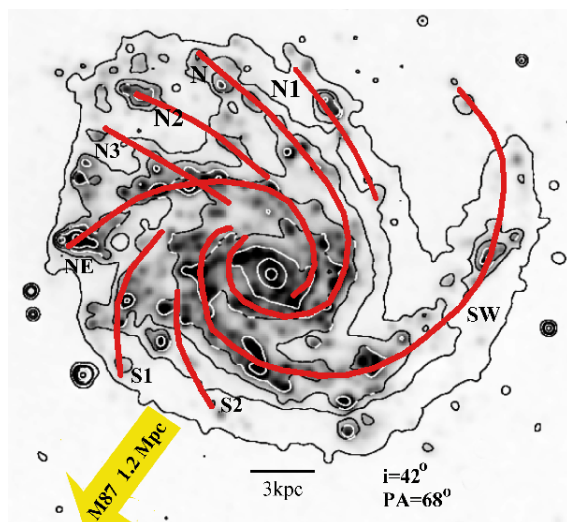


გრავიტაციული კლასტერიზაცია

კუმშვადი სპირალური ტალღა:
ვარსკვლავების ანთება

გრავიტაციულად შემოსაზღვრული ობიექტები

სპირალური გალაქტიკის გრავ. პოტენციალის ველი



არაწესიერი სპირალები:

არა-დერბულად სიმეტრიული
სპირალური ტალღები

ატმოსფერული ანალოგი:
კუმშვადი ტალღები ტენიან
(ნაჯერობასთან ახლო) ატმოსფეროში



გრავიტაციულად შემოსაზღვრული ობიექტები

მოლეკულური ღრუბელი

Barnard-68

მანძილი: 500 ს.წ. (153 pc)

მასა: 2 მზე

ზომა: 0.5 ს.წ. (0.15 pc)



გრავიტაციულად შემოსაზღვრული ობიექტები

პროტოპლანეტური დისკები

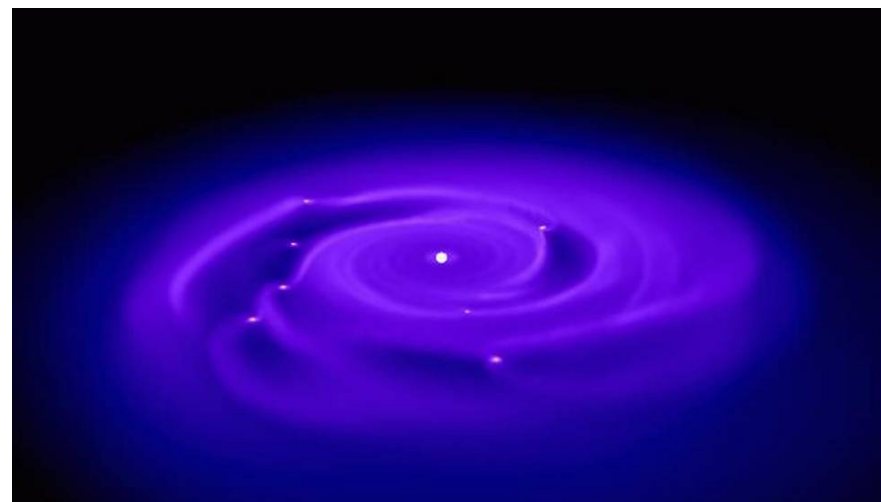
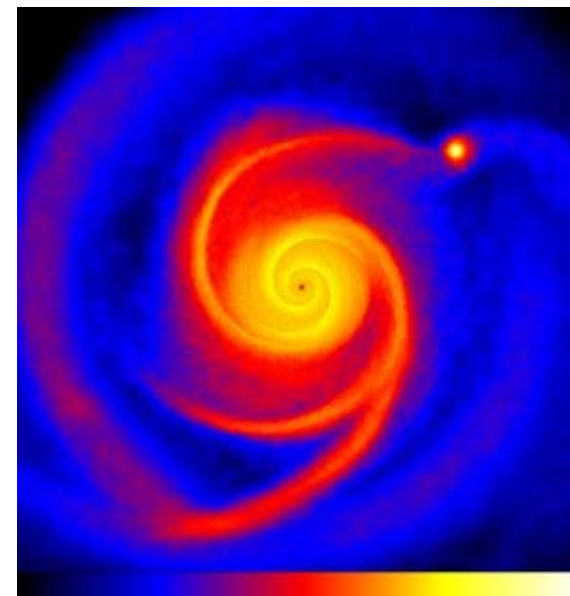
პლანეტების წარმოშობა

ერთ–ერთი მექანიზმი: თვითგრავიტაცია

რიცხვითი მოდელირების შედეგები

გრაფ. კლასტერიზაცია დაიკვირვება
დიდ რადიუსებზე (ცივი გარემო)

ტუმრის პარამეტრის ეფექტი



ამოცანები

იპოვეთ მზის პროტოპლანეტურ ნისლეულში პლანეტების კონდენსაციის შესაძლებლობა თვითგრავიტაციის ძალებით ტუმრის პარამეტრზე დაყრდნობით შემდეგი პლანეტებისათვის: მერკური, დედამიწა, იუპიტერი, ნეპტუნი;
გამოიყენეთ მინიმალური მასის მზის ნისლეულის მოდელი და იდეალური გაზის მიახლოება;

9.5.3 A large spherical cloud of gas of radius R_0 is centred at the origin and has uniform density ρ_{00} and zero pressure. At time $t = 0$ it begins to collapse from rest under its own gravity. At time t the velocity field within the cloud may be written as follows:

$$\mathbf{u}_0(\mathbf{r}, t) = \mathbf{r} \left[\frac{\dot{R}(t)}{R(t)} \right], \quad (9.59)$$

where $R(t)$ is the cloud radius and $\mathbf{r}$ is the radius vector from the origin. Show that the density remains uniform and that at time t it is given by

$$\rho_0(t) = \rho_{00} [R_0/R(t)]^3. \quad (9.60)$$

Show that the gravitational force within the cloud is given by

$$\mathbf{g} = -\mathbf{r} \left[\frac{4}{3} \pi G \rho_0(t) \right] \quad (9.61)$$

ლიტერატურა

ძირითადი

J. Pringle, A. King, “Astrophysical Flows”, 2007

Chapter 9: “Gravitational instability”, გვ. 123-133

Chapter 12: “Circular shear flow”, Subsection 12.4, გვ. 172-177

დამატებითი

S. Shore, “Astrophysical Hydrodynamics”, 2007

Chapter 9: “Instabilities”, Subsections 9.2.1-9.2.5. გვ. 317-322

H. Bradt, “Astrophysics Processes”, 2008

Chapter 2: “Equilibrium in Stars”, Subsection 2.2-2.4, გვ. 49-59

F. Shu, “The Physics of Astrophysics II: Gas Dynamics”, 1992

Chapter 5: “Equilibria of Self-Gravitating Spherical Masses”, გვ. 54-63

Chapter 8: “Fluid Instabilities: Gravitational Instability”, გვ. 110-112