



ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი
ზუსტ და საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა ფაკულტეტი

ჯინსის არამდგრადობა გარეშე გალაქტიკურ ჰალოს ასიმეტრიულ ველში

სალომე მჭედლიძე

ფიზიკის დეპარტამენტი, ასტროფიზიკის კათედრა
ხელმძღვანელი: ალექსანდრე თევზაძე

(საბაკალავრო ნაშრომის დაცვა, 13.07.2015)

ვარსკვლავთწარმოშობა გალაქტიკებში

გრავიტაციული ფრაგმენტაცია გალაქტიკებში:
ვარსკვლავთწარმოშობა;



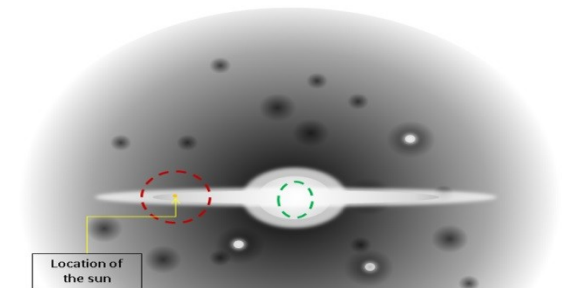
გარეშე გრავიტაციული ველი

- ლოკალური გრავიტაციული არამდგრადობა გალაქტიკის გლობალურ გრავიტაციულ ველში
- გალაქტიკა: არამყარტანოვანი ბრუნვა;
გრავ. პოტენციალი: $\phi_{ext} = \phi_{ext}(\mathbf{r})$
- ლოკალური პროცესებისათვის შეიძლება განვიხილოთ როგორც გარეშე ველი



ასიმეტრიული ჰალო

- გარეშე ასიმეტრიული ველი $\phi_{ext}(r, z)$:
 - გალაქტიკების მჭიდრო გროვა;
 - გალაქტიკების დაჯახება;
 - ასიმეტრიული ფარული მასის ჰალო;



ჯინსის არამდგრადობა

ვიხილავთ სივრცეში განაწილებულ ერთგვაროვანი სიმკვრივისა და ტემპერატურის მქონე აირს:

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

$$\frac{\partial \mathbf{V}}{\partial t} + (\mathbf{V} \cdot \nabla) \mathbf{V} = -\frac{1}{\rho} \nabla p - \nabla \phi$$

$$\nabla^2 \phi = 4\pi G \rho$$

წონასწორობა:

$$\mathbf{V}_0 = 0$$

$$\rho_0 = \text{const}$$

$$P_0 = \text{const}$$

$$\phi_0 = \text{const}$$

წრფივ შეშფოთებათა ანალიზი:

$$p = p_0 + p'$$

$$\rho = \rho_0 + \rho'$$

$$\mathbf{V} = \mathbf{V}_0 + \mathbf{V}'$$

$$\phi = \phi_0 + \phi'$$

$$\frac{\phi'}{\phi_0} \sim \frac{\rho'}{\rho_0} \sim \frac{p'}{p_0} = \varepsilon \ll 1$$

$$\varepsilon^2 \approx 0$$

ჯინსის არამდგრადობა

წრფივ შეშფოთებათა განტოლებები:

$$\frac{\partial \rho'}{\partial t} + \rho_0 (\nabla \cdot \mathbf{V}') = 0$$

$$\nabla p' = c_s^2 \nabla \rho'$$

$$\frac{\partial \mathbf{V}'}{\partial t} = -\frac{1}{\rho_0} c_s^2 \nabla \rho' - \nabla \phi'$$

$$\nabla^2 \phi' = 4\pi G \rho'$$

ტალღური განტოლება სიმკვრივისათვის:

$$\frac{\partial^2 \rho'}{\partial t^2} - c_s^2 \nabla^2 \rho' - 4\pi G \rho_0 \rho' = 0$$

დისპერსიული თანაფარდობა: $\omega^2 = k^2 c_s^2 - 4\pi G \rho_0$

სისტემა არამდგრადია როცა: $\omega^2 < 0$

$$\lambda_J = \frac{2\pi}{k} = \left(\frac{\pi c_s^2}{G \rho_0} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$M_{\text{Jeans}} = \left(\frac{4\pi}{3} \right) \rho_0 \left(\frac{\lambda_J}{2} \right)^3 = \left(\frac{\pi \rho_0}{6} \right) \left(\frac{\pi c_s^2}{G \rho_0} \right)^{3/2}$$

გარეშე ველი

$$\phi = \phi_0 + \phi' + \phi_{\text{ext}} \quad \phi'_{\text{ext}} \approx 0$$

$$\frac{\partial^2 \rho'}{\partial t^2} = 4\pi G \rho_0 \rho' + \nabla^2 (c_s^2 \rho') + \rho' \nabla^2 \phi_{\text{ext}} + \nabla \phi_{\text{ext}} \nabla \rho'$$

- $\nabla \phi_{\text{ext}} \nabla \rho' \approx 0$ მოდიფიცირებული დისპერსია: $\omega^2 = k^2 c_s^2 - 4\pi G \rho_0 + D_0$

$$D_0 = -\frac{\partial^2 \phi_{\text{ext}}}{\partial r^2}$$

$$\lambda'_J = \lambda_J \frac{1}{\left(1 - \frac{D_0}{4\pi G \rho_0}\right)^{1/2}}$$

Ch. J. Jog “Jeans instability criterion modified by external tidal field”, MNRASL 434 L56-L60 (2013)

გარეშე ველი

- $D_0 > 0$ გარეშე მიმოქცევითი ველი დამრღვევია
(გრავ. პოტენციალი ამოზნექილია) (Disruptive tidal field)

$$(M_j)_{\text{super}} = \frac{M_J}{\left(1 - \frac{D_0}{4\pi G \rho_0}\right)^{3/2}} \quad (M_j)_{\text{super}} > (M_j)$$

- $D_0 < 0$, გარეშე მიმოქცევითი ველი შემკუმშველია
(გრავ. პოტენციალი ჩაზნექილია) (Compressive tidal field)

$$(M_j)_{\text{sub}} = \frac{M_j}{\left(1 + \frac{|D_0|}{4\pi G \rho_0}\right)^{3/2}} \quad (M_j)_{\text{sub}} < (M_j)$$

Ch. J. Jog “Jeans instability criterion modified by external tidal field”, MNRASL 434 L56-L60 (2013)

ტალღური არამდგრადობა

- $\nabla\phi_{\text{ext}}\nabla\rho' \neq 0$

$$\omega^2 = k^2 c_s^2 - 4\pi G\rho_0 + D_0 + i\mathbf{k}\mathbf{D}_1, \text{ სადაც } \mathbf{D}_1 = \partial\phi_{\text{ext}}/\partial\mathbf{r}.$$

$$\omega = \Omega + i\sigma$$

$$\begin{cases} \Omega^2 - \sigma^2 = k^2 c_s^2 - 4\pi G\rho_0 + D_0 \\ 2i\sigma\Omega = i\mathbf{k}\mathbf{D}_1 \end{cases}$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{2} \left(-\omega_0^2 \pm \sqrt{\omega_0^4 + (\mathbf{k} \cdot \mathbf{D}_1)^2} \right)$$

$$D_1 \neq 0, \text{ არამდგრადობა ტალღური ხასიათისაა: } \Omega = \frac{\mathbf{k} \cdot \mathbf{D}_1}{2\sigma} \neq 0$$

გარეშე ველი

გარეშე სფერული პოტენციალია: $\phi_{ext} = \phi(r') = \frac{GM_g}{R_0} \frac{1}{\eta - 1} \left[\frac{r'^{(\eta-1)}}{(1 + r')^{\eta-1}} - 1 \right]$

სადაც $r' = R/R_0$, $0 < \eta \leq 3$, M_g გალაქტიკის მასაა, ხოლო R_0 გალაქტიკის ბირთვის რადიუსი.

(Tremaine et al. 1994)

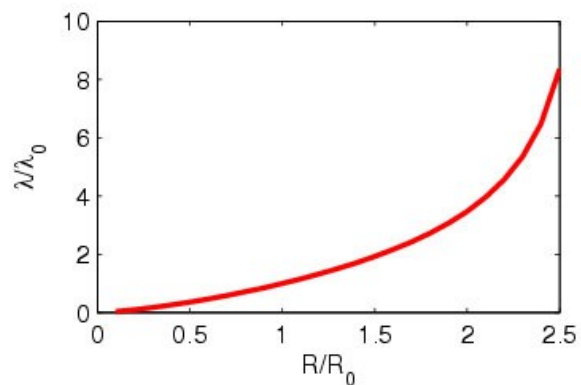
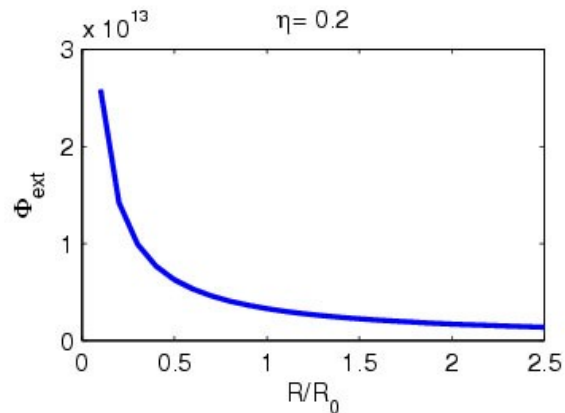
Das, Jog, 1999

გარეშე ველი:

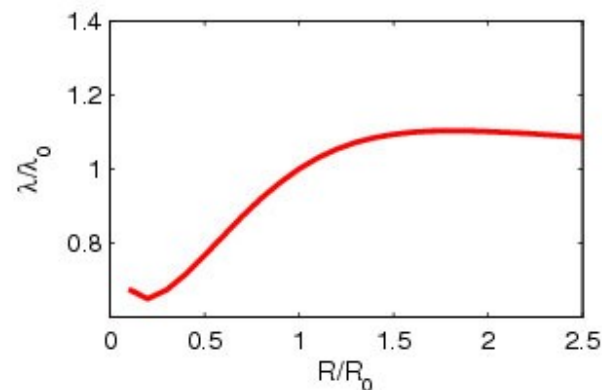
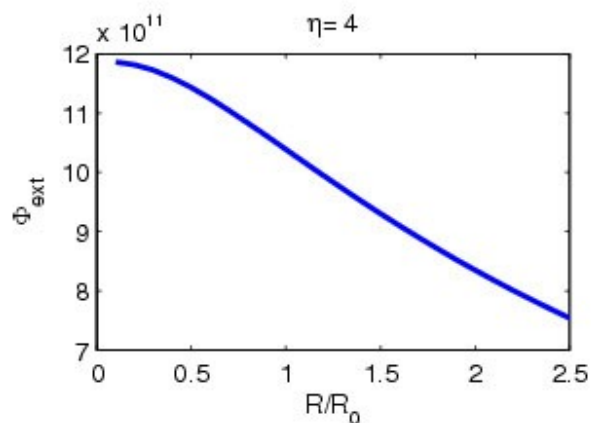
$$D_0 = -\frac{\partial^2 \phi_{ext}}{\partial r^2} = -\frac{GM_g}{R_0^3} \frac{r'^{(\eta-3)}}{(1 + r')^{(\eta+1)}} (\eta - 2 - 2r')$$

გარეშე ველი

- Disruptive $\eta = 0.2$



- Compressive $\eta = 0.4$



ასიმეტრიული პოტენციალი

გარეშე ასიმეტრიული ველის $\phi_{ext}(r, z)$ შემთხვევაში დისპერსია :

$$\omega^2 = k_r^2 c_s^2 + k_z^2 c_s^2 - 4\pi G \rho_0 + D_{0r} + D_{0z}$$

სადაც $D_{0r} = -\partial^2 \phi_{ext} / \partial r^2$ და $D_{0z} = -\partial^2 \phi_{ext} / \partial z^2$

კრიტიკული ჯინსის მრუდი:

$$k_r(k_z) = \sqrt{\frac{4\pi G \rho_0 - D_{0r} - D_{0z}}{c_s^2} - k_z^2}$$

ასიმეტრიული პოტენციალი

ელიფსური ასიმეტრია: $\epsilon^2 = 1 - \frac{z^2}{R^2}$

$$D_{0z} = \frac{1}{(1 - \epsilon^2)} D_{0r}$$

$$k_{rJ}^2 = \frac{4\pi G \rho_0 - \frac{2-\epsilon^2}{1-\epsilon^2} D_{0r}}{c_s^2} - k_{zJ}^2$$

- შესწავლილია ჯინსის არამდგრადობა გარეშე ველის ზეგავლენის შემთხვევაში;
- ნაჩვენებია, რომ გარეშე მიმოქცევითი ველი შეიძლება იყოს დამრღვევი ან კუმშვადი ხასიათის;
- გარეშე ველის პირობებში ჯინსის არამდგრადობა ტალღური ხასიათისაა;
- ნაპოვნია გარეშე ასიმეტრიული ჰალოს ზეგავლენა ჯინსის არამდგრადობის კრიტერიუმზე;
- ასიმეტრიული ჰალოს შემთხვევაში ჯინსის მასის თეორიული მონაცემების დაკვირვებით მონაცემებთან შედარება საშუალებას მოგვცემს შევზღუდოთ ფარული მასის ჰალოს ასიმეტრიის პარამეტრები.

გმადლობთ ყურადღებისთვის