



Ivane Javakhishvili Tbilisi State University

Second Scientific Conference in Exact and Natural Sciences ENS-2014

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

**კუმშადი არაერთგვაროვანი
ანიზოტროპული მჰდ ასტროფიზიკური
ქარების მდგრადობა**

ალექსანდრე თევზაძე
ელენე უჩავა

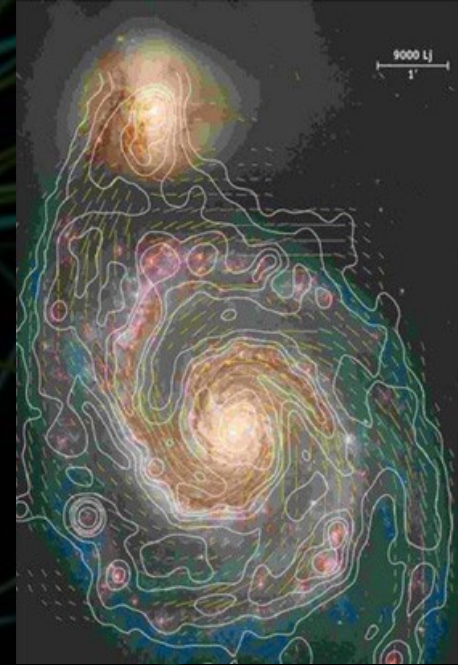
ფიზიკის დეპარტამენტი

ზუსტ და საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა ფაკულტეტი, თსუ

მაგნიტური ველები სამყაროში

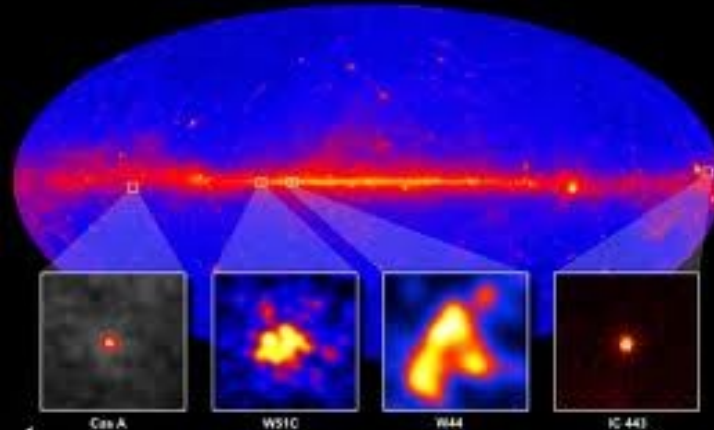
დიდმასშტაბოვანი მაგნიტური ველები:

- გალაქტიკები (10^6 Gauss)
- გალაქტიკების კლასტერები
- ინტრაკლასტერული სივრცე
(Neronov, Vovk 2010 $B > 10^{-16}$ Gauss)



(TeV) $\gamma + \gamma \rightarrow e^+ + e^-$

NASA's Fermi telescope resolves supernova remnants at GeV energies



კოსმოსური მაგნიტური ველები

მაგნიტური ველის წყარო დიდ მასშტაბებზე:

- კოსმოლოგიური მაგნიტური ველი

(Fermi 1949)

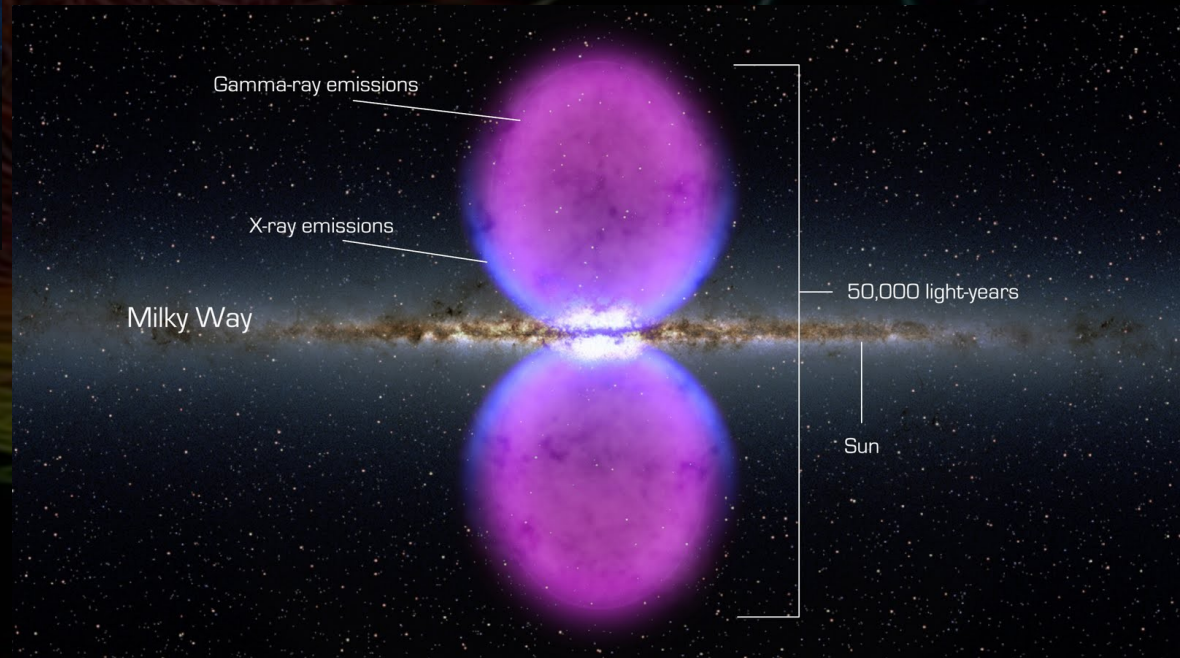
ინფლაცია, ფაზური გადასვლები, ტოპოლოგიური დეფექტები, სუპერსიმეტრიული მოდელები

- გალაქტიკური ქარები

მაგნიტური ველის გადატანა მცირე მასშტაბებიდან დიდ მასშტაბებზე;

გალაქტიკური ქარი

გალაქტიკა M82



“ფერმის ბუშტები”

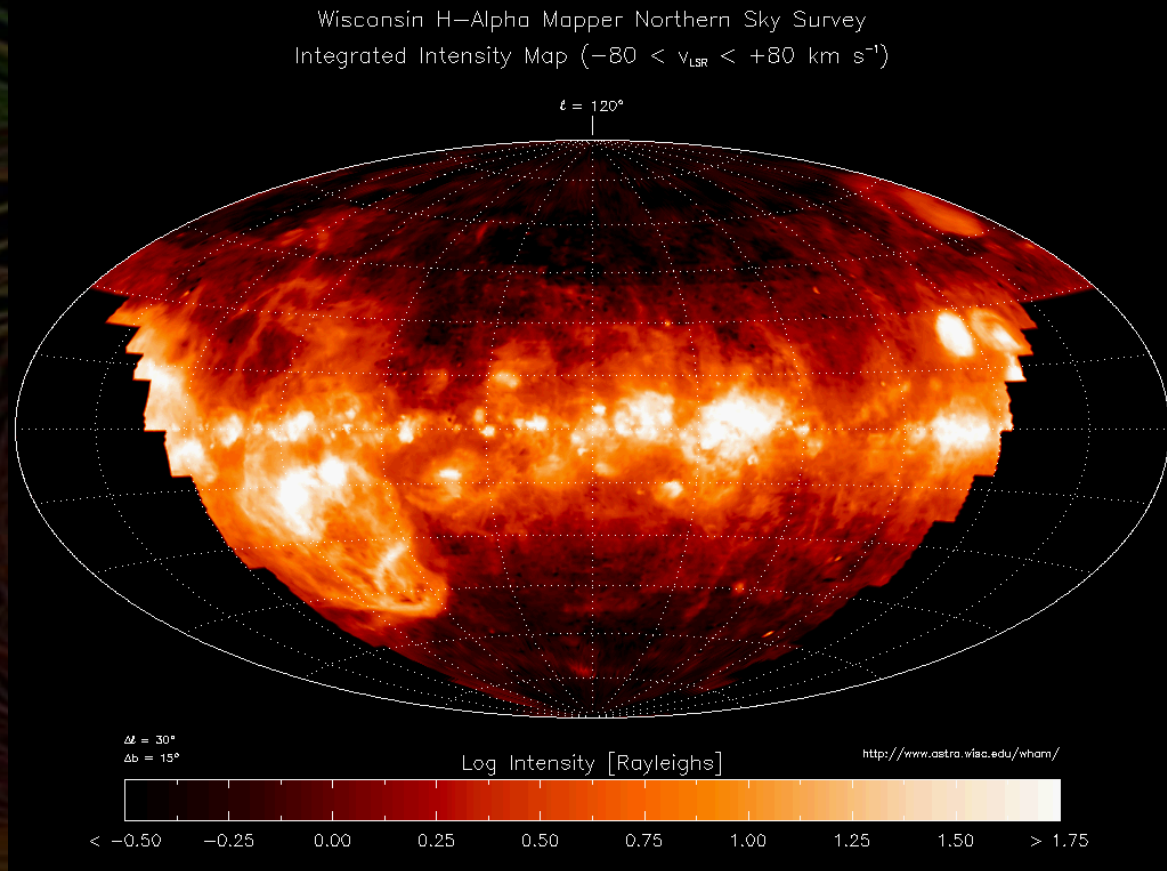
ვარსკვლავთშორისი გარემო

გაუბზობული
იონიზირებული
აირი

$$T = 8000 \text{ K}$$

$$\text{Rho} = 0.2\text{-}0.5$$

$$\text{ატომი/სმ}^3$$



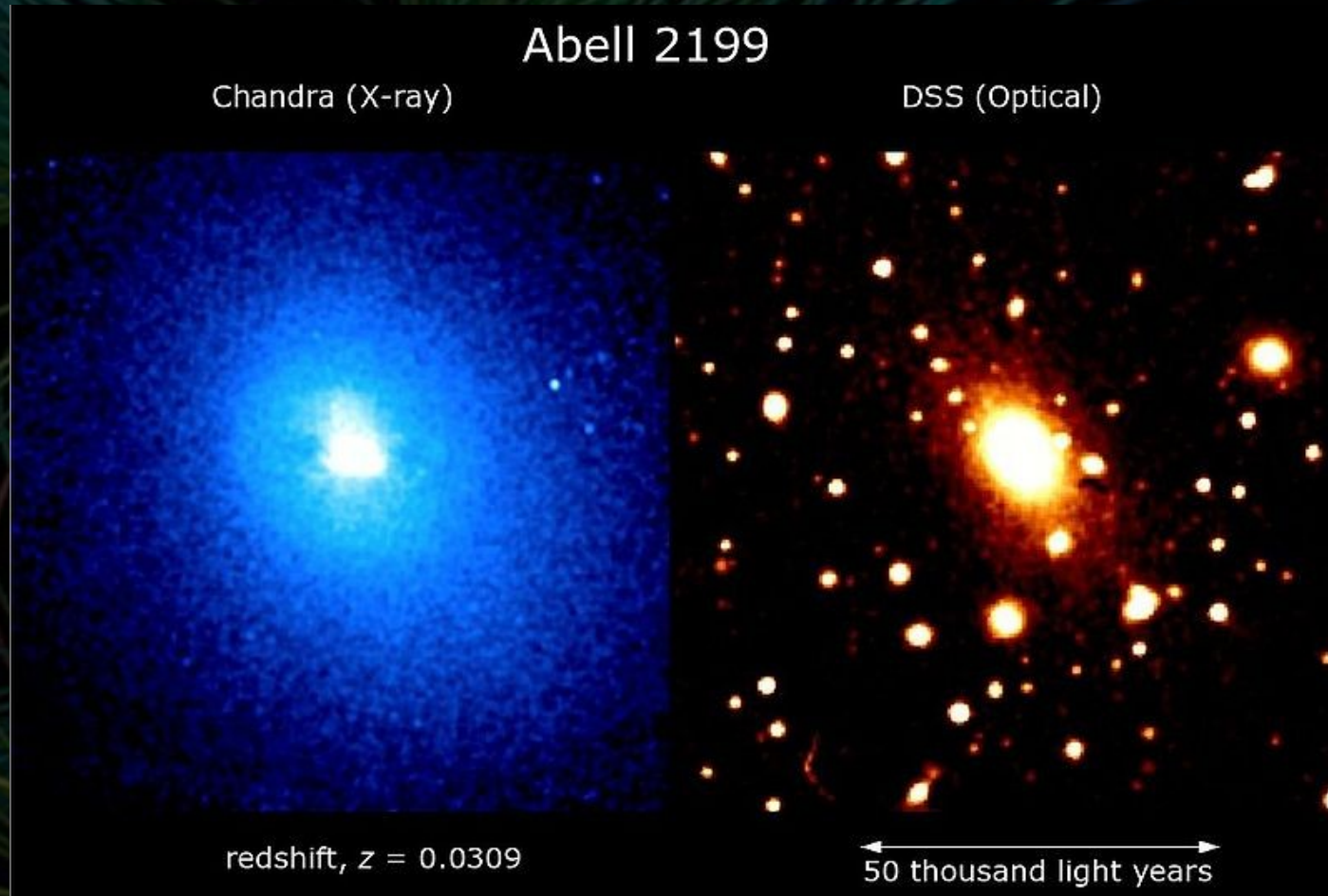
იონიზირებული წყალბადის
გადაჭილების რუქა ჩენს გალაქტიკაში

ინტრაკლასტერული გარემო

$$T = 10^7 - 10^8 \text{ K}$$

$$\text{Rho} = 0.001$$

$$\text{ატომი/სმ}^3$$



ანიზოტროპული გარემო

ძლიერად გაუხშობილი იონიზირებული გარემო
მაგნიტურ ველში

“დაუჯახებელი გარემო” (სუსტად დაჯახებადი)

უწყვეტო გარემოს მაგნიტური ველის პარალელური
და პერპენდიკულარული თვისებები განსხვავდება

$$P_{\parallel} \neq P_{\perp}$$
$$T_{\parallel} \neq T_{\perp}$$

ანიზოტროპული გარემო

აღწერის მეთოდები:

1. ბრაგინსკის ანიზოტროპული ტენზორი ანიზოტროპულია მხოლოდ დისიპაცია (სიბლანტე) (გალაქტიკები, მოლეკულური ღრუბლები, ...)
2. Chew-Goldberg-Low (CGL) მოდელი ანიზოტროპულია წნევა და ტემპერატურა (მზის ქარი, ...)
3. 16 იმპულსური მიახლოება (Oraevskii et al. 1968)

16 იმპულსური მჰდ მიახლოება

ანიზტროპულია:

წნევა და ტემპერატურა და სითბური ნაკადი

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{P_{\parallel} B^2}{\rho^3} \right) = -\frac{B^2}{\rho^3} \left[B(\mathbf{h}\nabla) \frac{S_{\parallel}}{B} + \frac{2S_{\perp}}{B} (\mathbf{h}\nabla) B \right],$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{P_{\perp}}{\rho B} \right) = -\frac{B}{\rho} (\mathbf{h}\nabla) \frac{S_{\perp}}{B^2},$$

სითბური ნაკადები:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{S_{\parallel} B^3}{\rho^4} \right) = -j \frac{3P_{\parallel} B^3}{\rho^4} (\mathbf{h}\nabla) \frac{P_{\parallel}}{\rho},$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{S_{\perp}}{\rho^2} \right) = -j \frac{P_{\parallel}}{\rho^2} \left[(\mathbf{h}\nabla) \frac{P_{\perp}}{\rho} + \frac{P_{\perp}}{\rho} \frac{P_{\perp} - P_{\parallel}}{P_{\parallel} B} (\mathbf{h}\nabla) B \right]$$

წრფივი მდგრადობის ანალიზი

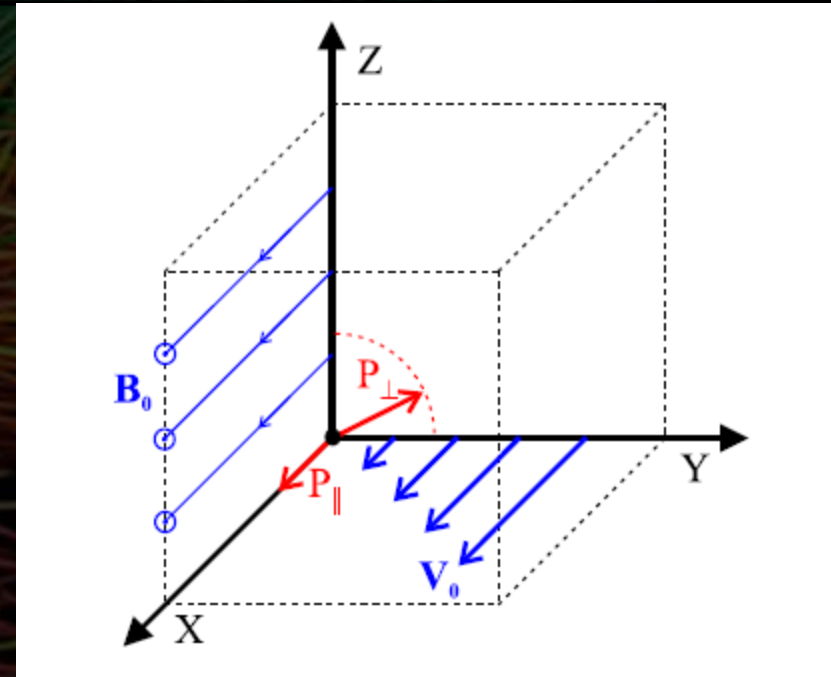
ანიზოტროპული
კუმშვადი
არაერთვაროვანი დინება

ანიზოტროპიის პარამეტრი:

$$\alpha \equiv P_{\perp 0}/P_{\parallel 0} = S_{\perp 0}/S_{\parallel 0} .$$

სითბური ნაკადების პარამეტრი:

$$\gamma \equiv \frac{S_{\parallel 0}}{P_{\parallel 0} C_{\parallel}} = \frac{S_{\perp 0}}{P_{\perp 0} C_{\perp}} .$$



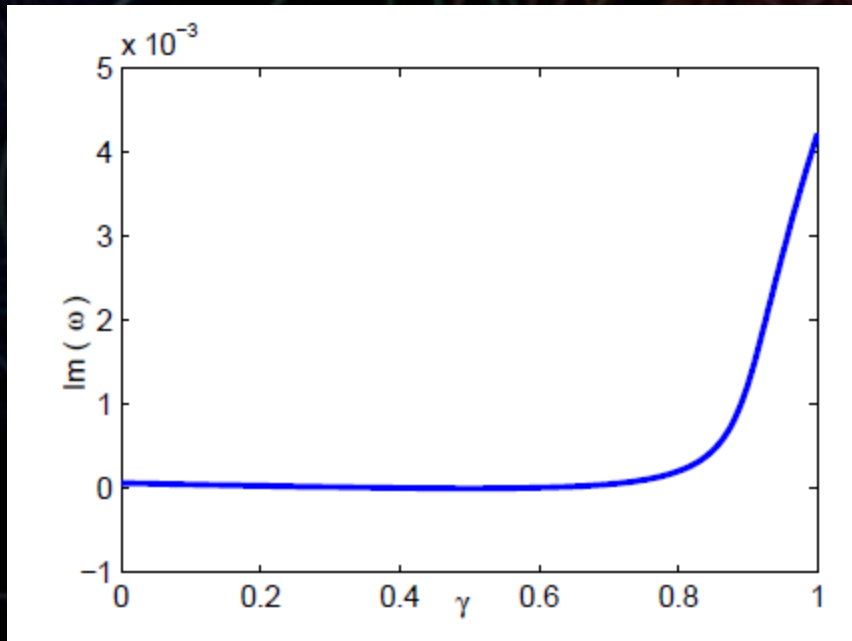
წრფივი მდგრადობის ანალიზი

დისპერსიული განტოლების
დაბალსიხშირული ზღვარი

$$(\omega^2 - jC_{\parallel}^2 k_x^2) D_0 - iA\beta_{\perp} \frac{k_x k_y}{k^2} D_1 = 0 ,$$

$$D_0 = \omega^4 - 3(j+1)C_{\parallel}^2 k_x^2 \omega^2 - 4\gamma C_{\parallel}^3 k_x^3 \omega + 3jC_{\parallel}^4 k_x^4$$

$$D_1 = (2\omega^5 + 2\alpha\gamma C_{\parallel} k_x \omega^4 - (5+7j)C_{\parallel}^2 k_x^2 \omega^3 - \\ - (2\alpha(2+3j) + 7)\gamma C_{\parallel}^3 k_x^3 \omega^2 + \\ + (j(3j+5) - 6\alpha\gamma^2)C_{\parallel}^4 k_x^4 \omega + \\ + 3\gamma j C_{\parallel}^5 k_x^5) .$$



თერმო-აკუსტიკური
ტალღის არამდგრადობა

$$\gamma > \gamma_{cr} = 0.85.$$

დამაგნიტებული ქარი

გაუხშობილი დამაგნიტებული ანიზოტროპული ასტროფიზიკური ქარის მდგრადობა:

სტაციონალური ქარის ინვარიანტები სითბური ნაკადების გათვალისწინებით

$$\frac{P_{\parallel} B^2}{\rho^3} = \text{const.}, \quad \frac{P_{\perp}}{\rho B} = \text{const.}$$

$$\frac{S_{\parallel} B^3}{\rho^4} = \text{const.}, \quad \frac{S_{\perp}}{\rho^2} = \text{const.}$$

გაფართოებადი ქარის მოდელი:

$$B \propto r^{-n}, \quad \rho \propto r^{-m}.$$

დამაგნიტებული ქარი

რადიალური კანონზომიერებები:

$$P_{\parallel} \propto r^{2n-3m}$$

$$S_{\parallel} \propto r^{3n-4m}$$

$$P_{\perp} \propto r^{-n-m}$$

$$S_{\perp} \propto r^{-2m}$$

$$\gamma_{\parallel} \equiv \frac{S_{\parallel}}{P_{\parallel} C_{\parallel}}, \quad \gamma_{\perp} \equiv \frac{S_{\perp}}{P_{\perp} C_{\perp}}$$

სითბური პარამეტრის რადიალურ ცვლილებას:

$$\gamma_{\parallel} \propto \text{const.}, \quad \gamma_{\perp} \propto r^{3n/2-m}$$

დამაგნიტებელი ქარი

თუკი გამა ზრდადი პარამეტრია, მან შეიძლება გადააჭარბოს კრიტიკულ მნიშვნელობას და განვითარდეს არამდგრადობა;

მიმართული ქარი -> გაბნეული კუმშვადი ბუშტები

$$n/m > 2/3$$

მაგ. სფერულად გაფართოებადი ღრუბელი: $n=m=2$.

არასფერული გეომეტრია: $m < 2$

არაერთგვაროვანი მაგნიტური ველი: $n < 2$


დასკვნა

- ასტროფიზიკური ქარების გავრცელების რადიალური შეზღუდვა კუმშვადო სითბური არამდგრადობით

ანიზოტროპული კუმშვადი იონიზირებული გაუხშობებული გარემო სითბური ნაკადებით;

- მაგნიტური ველის მაქსიმალური მნიშვნელობის შეზღუდვა, რომელიც შეუძლია გადაიტანოს სტაციონალურმა ქარმა

მაგნიტური ველის ამპლიტუდის გადაჭარბება გამოიწვევს ლოკალურ კუმშვად არამდგრადობას, რომელიც მიმართულ კინეტიკურ ენერგიას გააბნევს;



გმადლობთ
ყურადღებისათვის