

Οι αθέατες ύλη και ενέργεια στο Σύμπαν.

Γ.Ι. Γούναρης,

Τμήμα Φυσικής, Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Μάρτιος 2007

Οι αθέατες ύλη και ενέργεια στο Σύμπαν.

- Το Σύμπαν είναι Μεγάλο. Όσο πιο μακρινά αντικείμενα κοιτάς μέσα σ' αυτό, τόσο πιο αρχαία φωτογραφία του Σύμπαντος βλέπεις. Η Κοσμολογία μοιάζει με την Αρχαιολογία ...
- Το Σύμπαν οργανώνεται σε άστρα, γαλαξίες, σμήνη και υπερσμήνη, με τεράστια μεταξύ των «κενά».
- Ό,τι εκπέμπει ΗΜ ακτινοβολία και το «βλέπουμε», είναι **συνήθης ύλη**. Βρίσκεται στ' άστρα, τους γαλαξίες, τα σμήνη ... και κυρίως στα «κενά» !
- Όμως η **συνήθης ύλη** αποτελεί **μικρό ποσοστό** της όλης ύλης στο Σύμπαν. Η **αθέατη, (ηλεκτρομαγνητικά αδρανής) ύλη** πρέπει να είναι ~5.5 φορές περισσότερη και αποτελείται από σωματία με ταχύτητες $v \ll c$. Συνήθως ονομάζεται ψυχρή **Σκοτεινή Ύλη**.
- Η **αθέατη (ή σκοτεινή) ενέργεια** πρέπει να είναι ~2.9 φορές περισσότερη της όλης ύλης. Είναι σκέτη ενέργεια (;). Ενδεχομένως πεδία που δεν συνοδεύονται από σωματία ύλης.
- Ενέργεια και ύλη συνδυάζονται για να καταστήσουν την γεωμετρία ευκλείδειο.

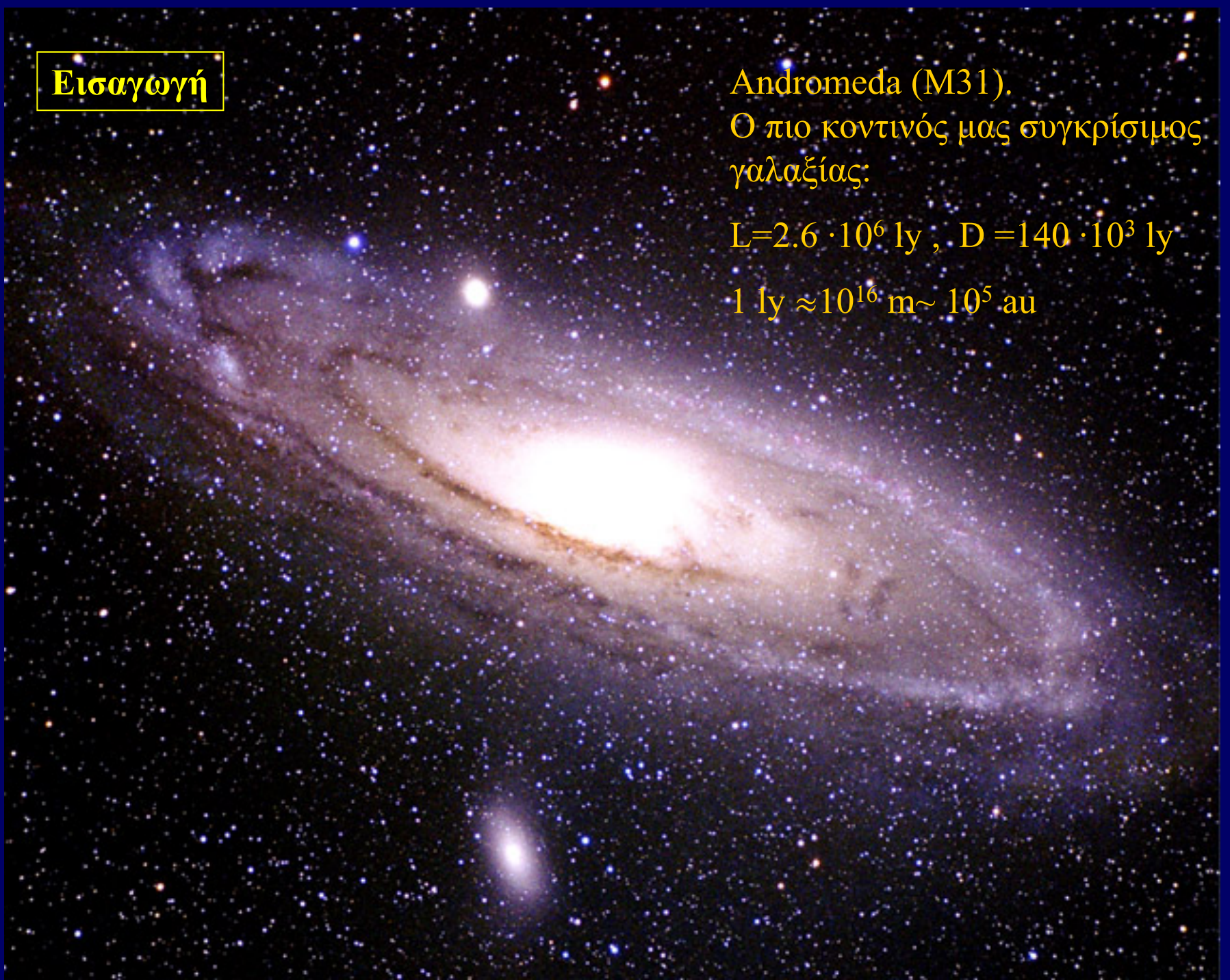
Εισαγωγή

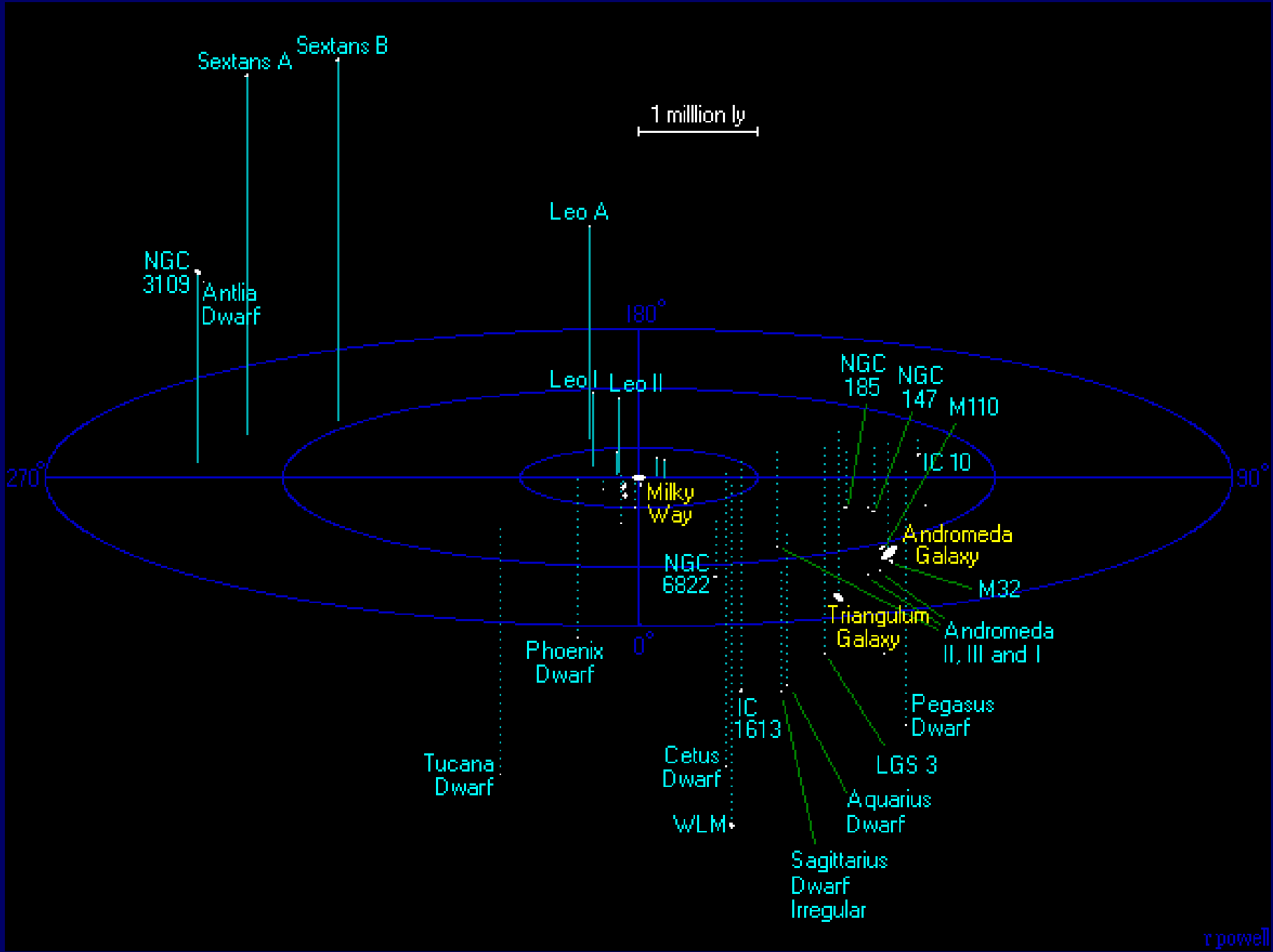
Andromeda (M31).

Ο πιο κοντινός μας συγκρίσιμος
γαλαξίας:

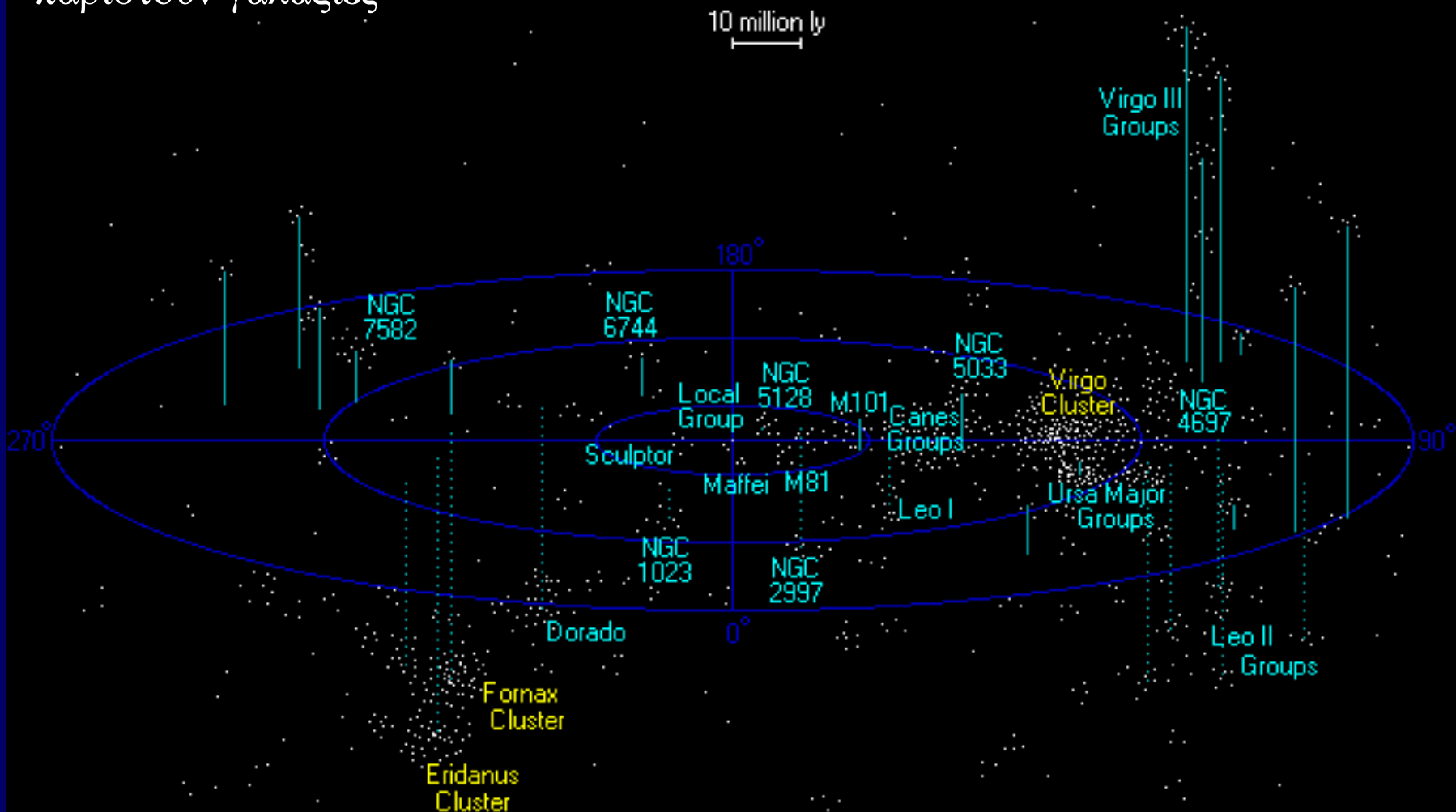
$L=2.6 \cdot 10^6 \text{ ly}$, $D =140 \cdot 10^3 \text{ ly}$

$1 \text{ ly} \approx 10^{16} \text{ m} \sim 10^5 \text{ au}$





Οι λευκές κουκίδες παριστούν γαλαξίες

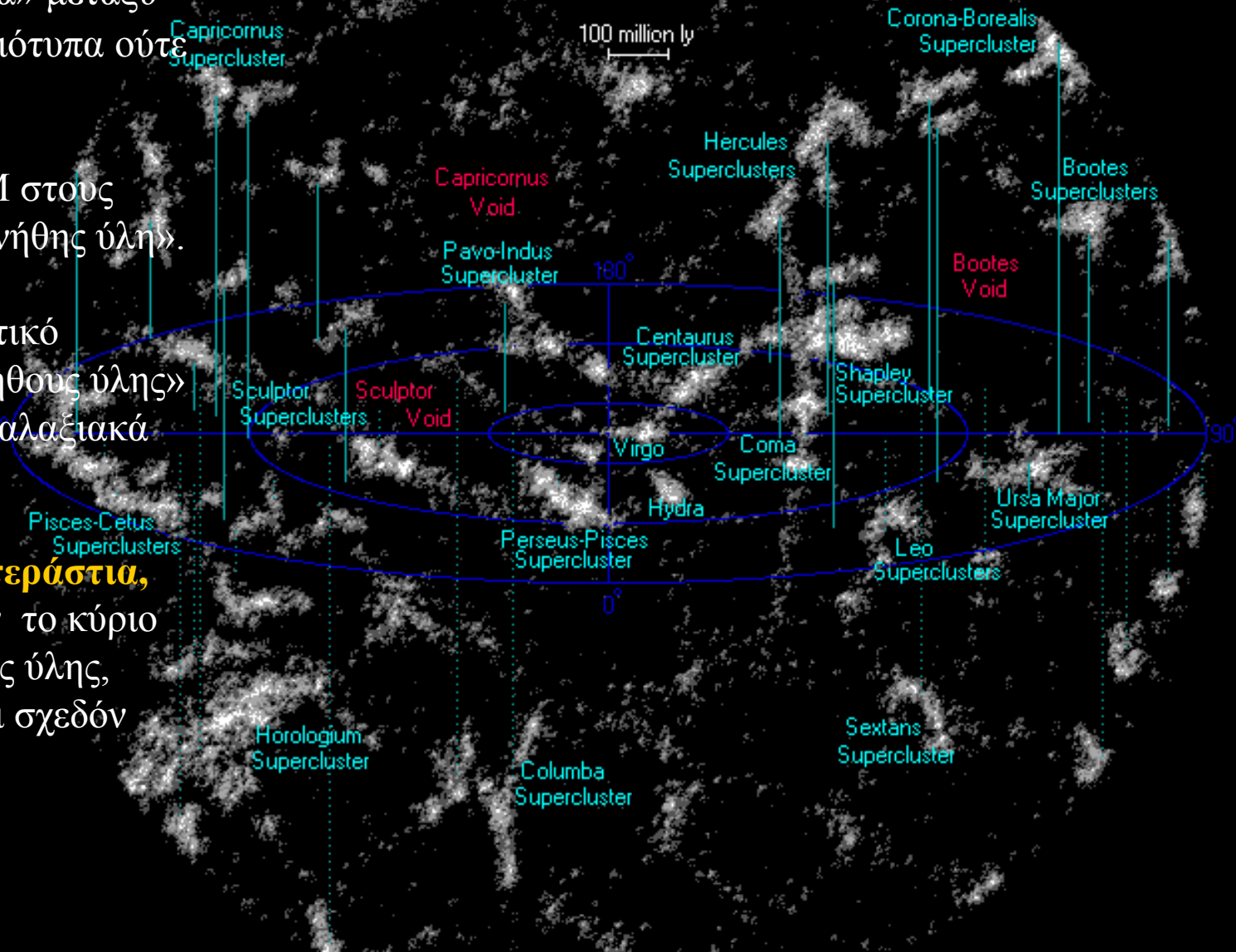


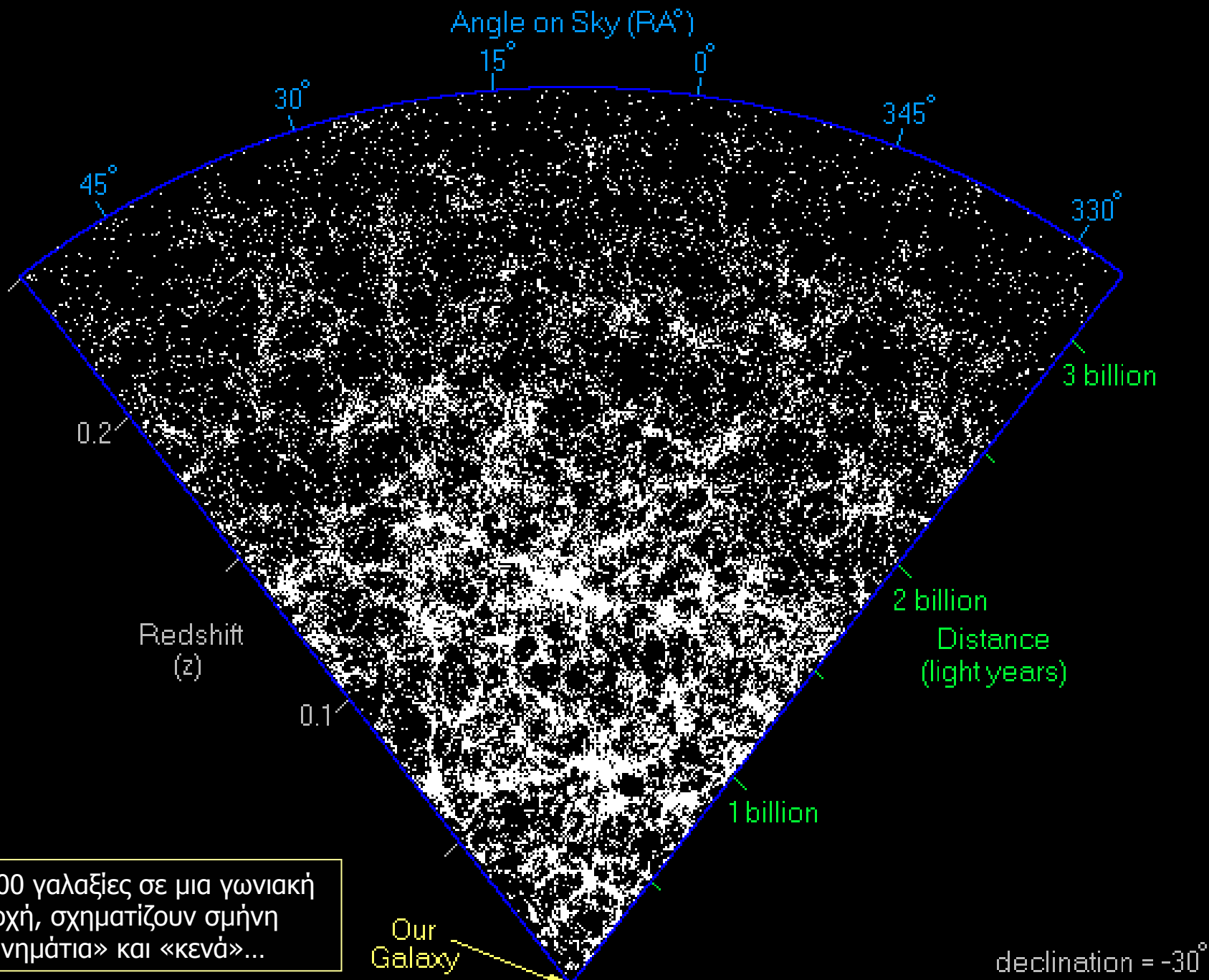
• Τα υπερσμήνη γαλαξιών σχηματίζουν ενίοτε «νημάτια» με «κενά» μεταξύ τους. Ούτε πανομοιότυπα ούτε ακατάστατα ...

• Ό,τι εκπέμπει ΗΜ στους γαλαξίες είναι «συνήθης ύλη».

• Όμως το συντριπτικό ποσοστό της «συνήθους ύλης» βρίσκεται στα διαγαλαξιακά «κενά» ως p, e .

• Τα «κενά» είναι **τεράστια**, και περιλαμβάνουν το κύριο μέρος της συνήθους ύλης, παρ' όλο που είναι σχεδόν **άδεια**



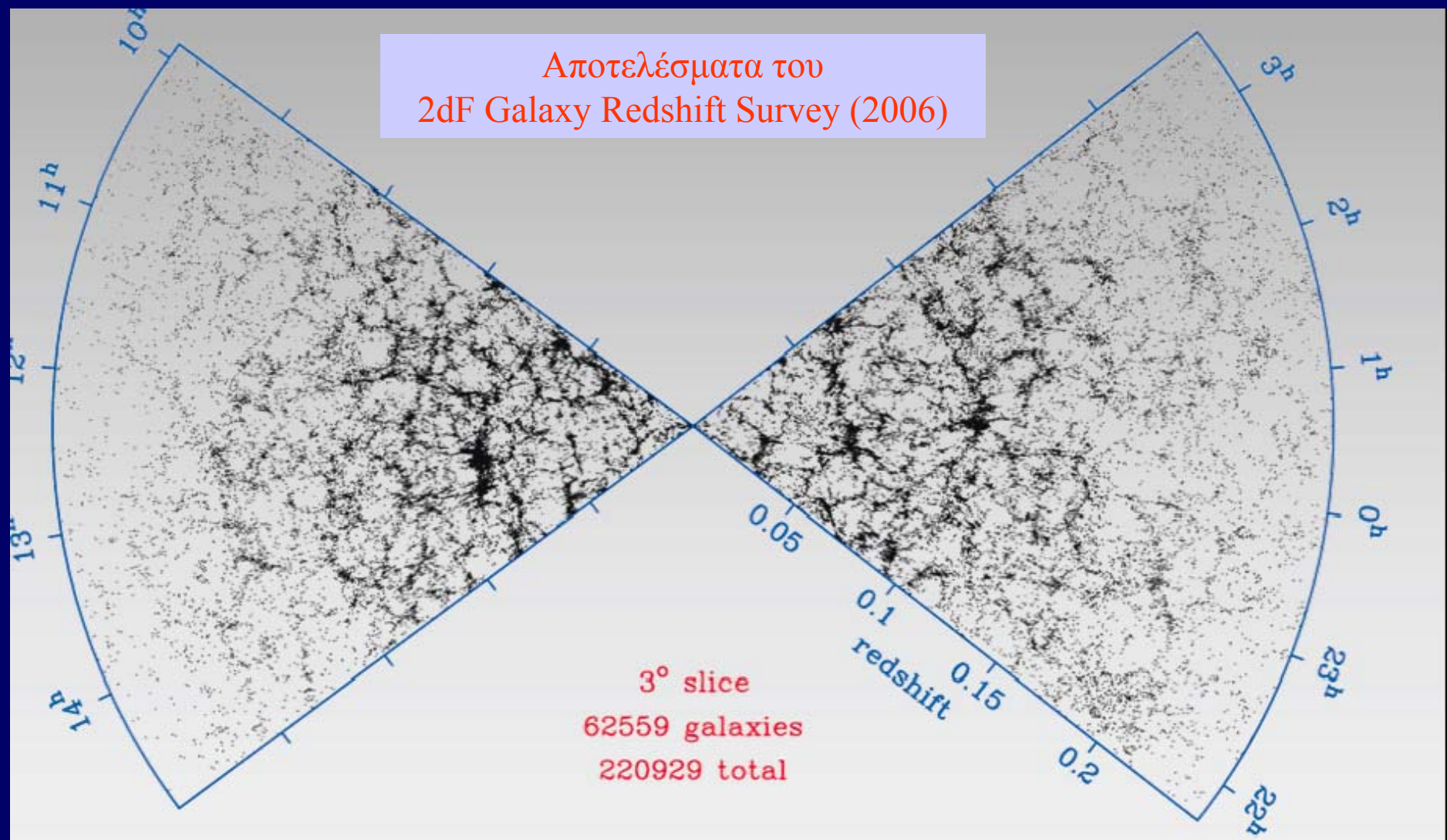


52 000 γαλαξίες σε μια γωνιακή περιοχή, σχηματίζουν σμήνη και «νημάτια» και «κενά»...

Our Galaxy

declination = -30°

Αποτελέσματα του
2dF Galaxy Redshift Survey (2006)



Οι συμπυκνώσεις αυξάνονται καθώς ο χρόνος κυλά.

Η Μεγάλη Έκρηξη. **Εν αρχή** εποίησεν ο Θεός τον **ουρανόν** και την **γην**.

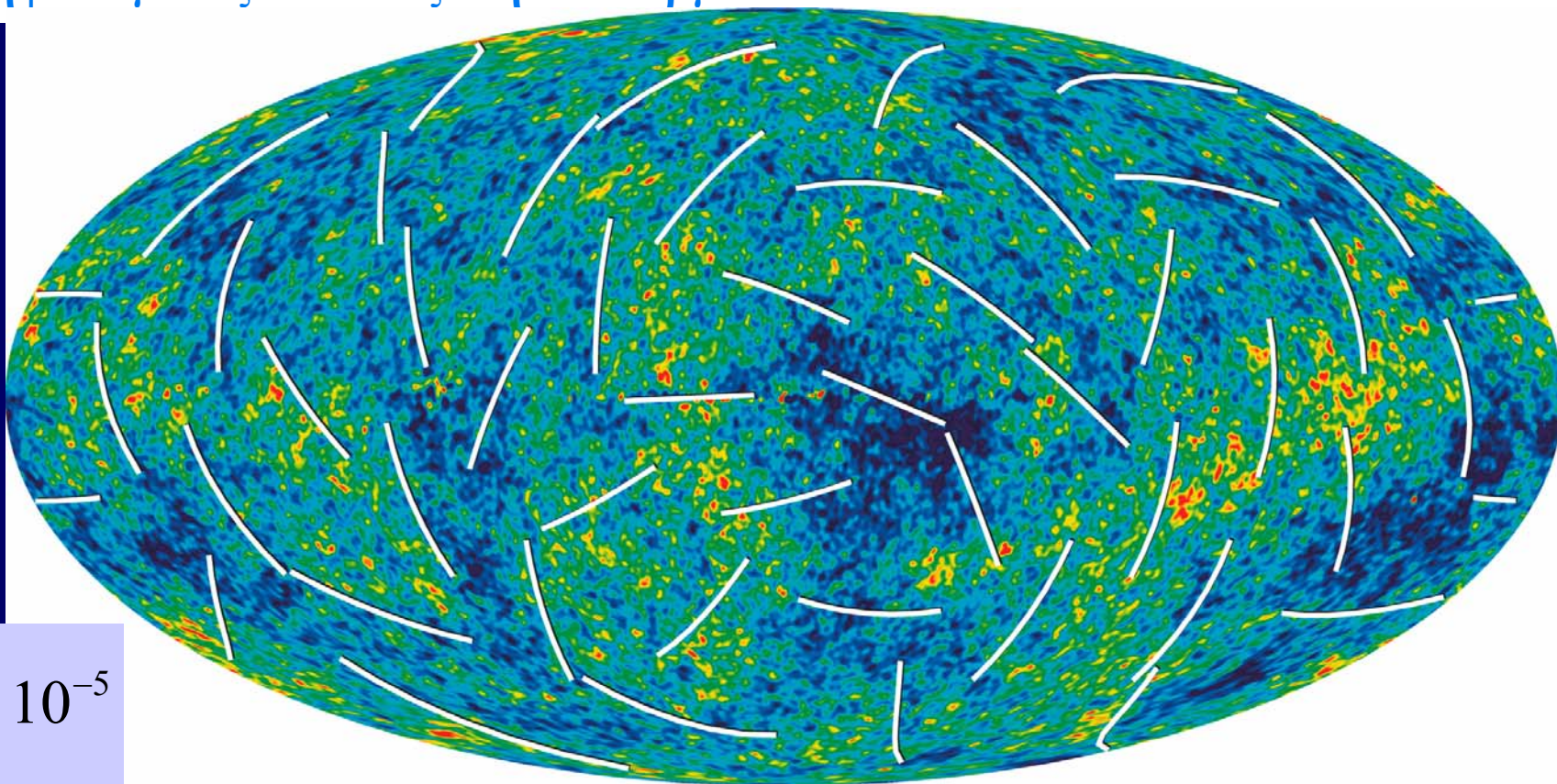
- **Εν αρχή**. Τότε που γεννήθηκε ο χρόνος και άρχισε να τρέχει... Τα σημεία του χώρου που ήταν κολλημένα το ένα πάνω στο άλλο, άρχισαν να απομακρύνονται βίαια, μεταξύ τους. Για ένα μικρό διάστημα μεταξύ 10^{-34} - 10^{-32} sec η απομάκρυνση ήταν εκθετική (πληθωρισμός), αλλά γρήγορα έγινε σαν $R \sim \sqrt{t}$, και αργότερα σαν $R \sim t^{2/3}$. Όλο το αισθητό σήμερα Σύμπαν φαίνεται ν' άρχισε από κάτι μικρότερο από 10^{-33} cm.
- **Ο Ουρανός**. Ο χώρος, δεν προϋπήρχε της δημιουργίας. Δημιουργήθηκε μαζί με την ύλη και τους φυσικούς νόμους πριν από ~14 δισ χρόνια.
- Τα ελεύθερα **p, e⁻**, που βρίσκονται στα διαγαλαξιακά κενά αποτελούν **το κύριο μέρος της συνήθους ύλης** και προήλθαν από την Μεγάλη Έκρηξη.
- **5 λεπτά** μετά την αρχή άρχισαν να δημιουργούνται τα ελαφρά στοιχεία **⁴He, D, ³He, ⁷Li**. Η όλη διαδικασία τέλειωσε μετά ~15 min. Είναι τα **πρωτογενή** συστατικά του Σύμπαντος και δίδουν άμεσες πληροφορίες γι' αυτό.
- Τα άλλα (βαρύτερα) στοιχεία παρήχθησαν αργότερα μέσα στα άστρα ...

WMAP (NASA 16/3/2006.): Στα 400000 χρόνια του, το νεογέννητο Σύμπαν γίνεται διαφανές και φωτογραφίζεται ... μέσα στο αρχαιότερο Φως! Οι συχνότητες του φωτός αυτού έχουν κατανομή μέλανος σώματος.

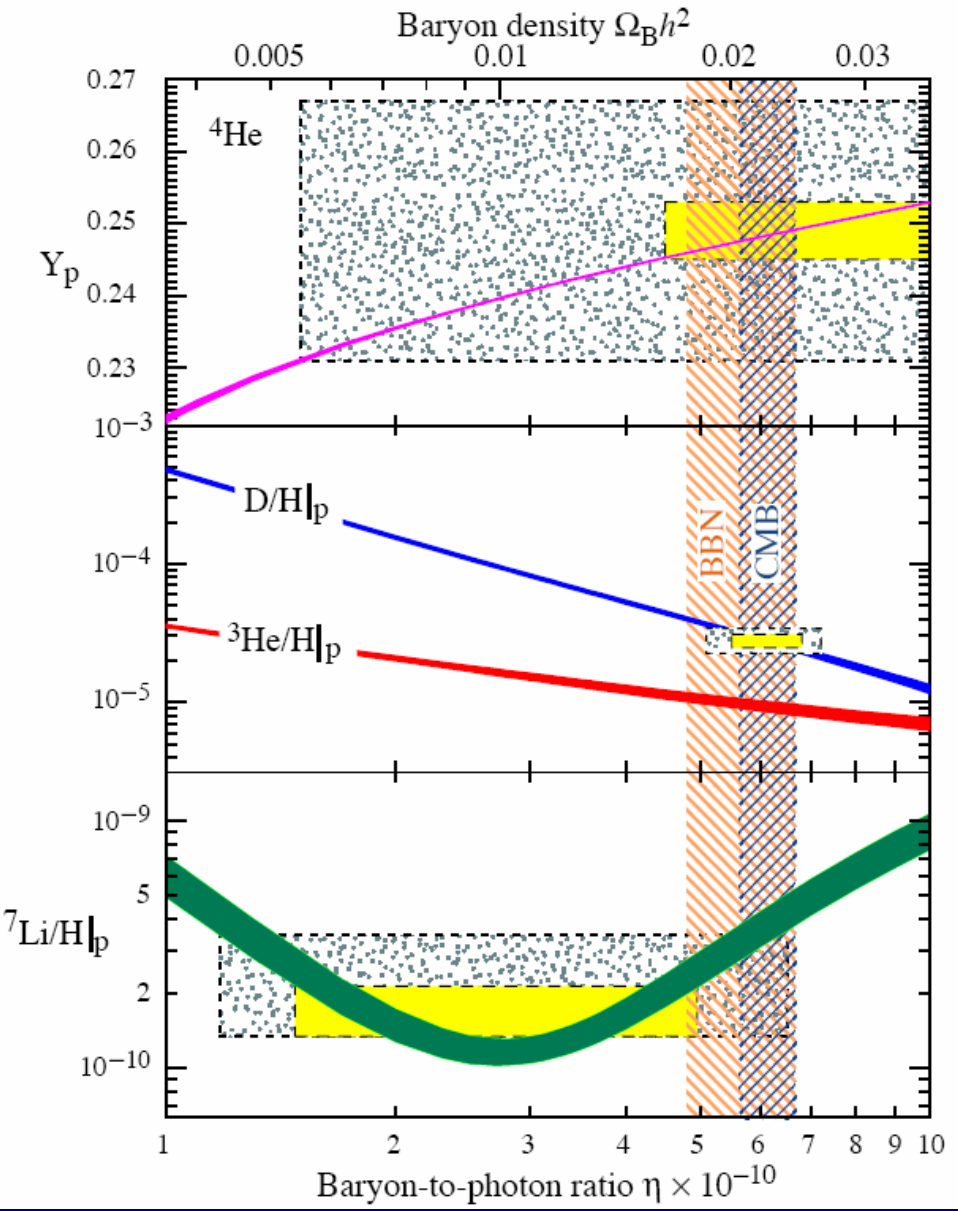
Η ένταση του φωτός καθορίζεται από την θερμοκρασία που είναι σχεδόν ισοτροπική με μικρότατες διακυμάνσεις. Τα μεταβολές **κόκκινο**, **κίτρινο**, **πράσινο**, **μπλε**, **μαύρο** παριστούν ελαττούμενες θερμοκρασίες.

Το Σύμπαν τότε ήταν σχεδόν ομοιογενές. Πολύ περισσότερο από σήμερα ...

Η Κοσμική Ακτινοβολία Υποβάθρου (CMB) παίζει βασικό ρόλο στην διαμόρφωση των αντιλήψεων για τις σκοτεινές ύλη και ενέργεια.



$$\frac{\delta T}{T} \sim 10^{-5}$$



Η απορρόφηση του φωτός μακρινών κβάζαρς από νέφη H στον διαγαλαξιακό χώρο, επέτρεψε για πρώτη φορά την μέτρηση $D/H \approx 3 \cdot 10^{-5} \rightarrow \Omega_b \approx 0.04$

Μόνον 4% της ενεργείας του Σύμπαντος βρίσκεται υπό την μορφή συνήθους ύλης! Παρόμοια και από την CMB κατανομή.

Πού βρίσκεται η υπόλοιπη ενέργεια;

Πρέπει να υπάρχει Σκοτεινή Ύλη. Πλανήτες, αποτυχόντες αστέρες, παγωμένοι λευκοί νάνοι ... αποκλείονται...

Η ΣΥ νέα μορφή ύλης. Είναι ψυχρή.

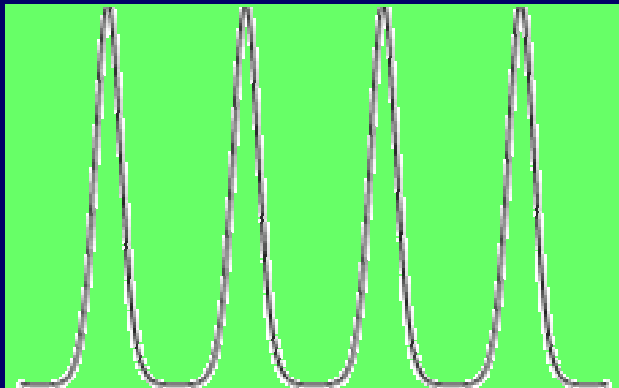
Ποιες άλλες ενδείξεις υπάρχουν;

Η Σκοτεινή Ύλη πρέπει να είναι ψυχρή

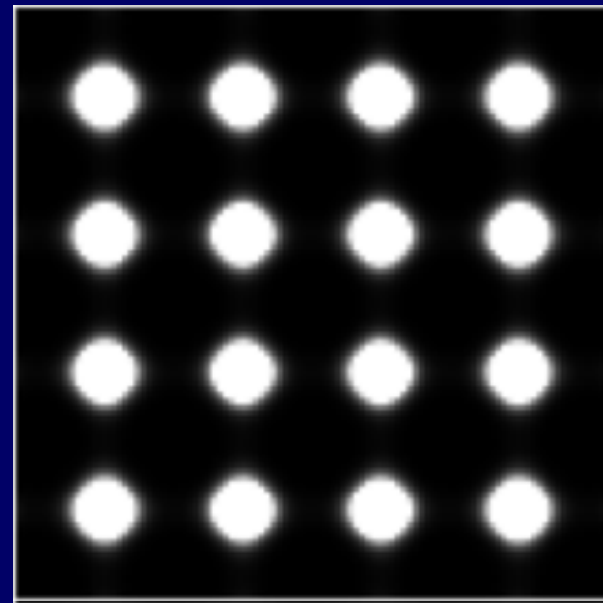
Η ΣΥ δεν αισθάνεται τις ΗΜ δυνάμεις· μόνον την βαρύτητα και τις ασθενείς...

Η ψυχρή ΣΥ κινείται με ταχύτητες πολύ μικρότερες του φωτός. Έτσι συγκρατείται από την βαρύτητα και με την σειρά της ενισχύει τις συμπυκνώσεις της ύλης (συνήθους και σκοτεινής) και την γέννηση γαλαξιών.

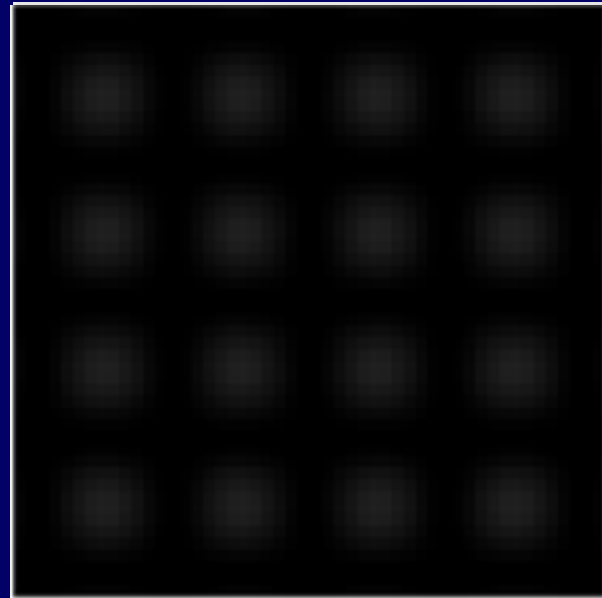
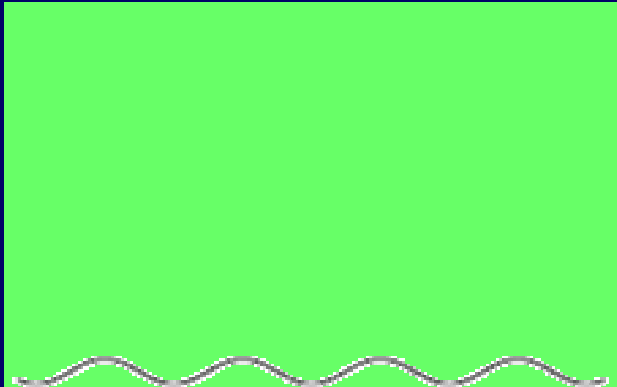
Η ΣΥ βοηθά στη δημιουργία γαλαξιών, ενισχύοντας τις συμπυκνώσεις που τις προκαλούν



Murayama



Αν η ΣΥ ήταν θερμή, αποτελείτο δηλ. από ελαφρά σωματίια (σαν τα νετρίνο) που κινούνται με ταχύτητες συγκρίσιμες με του φωτός, τότε οι τυχόν εμφανιζόμενες συμπυκνώσεις θα έτειναν να εξαλειφθούν, και αστέρες και γαλαξίες θα ήταν πολύ πιο δύσκολο (ή και αδύνατο) να γεννηθούν.



Murayama

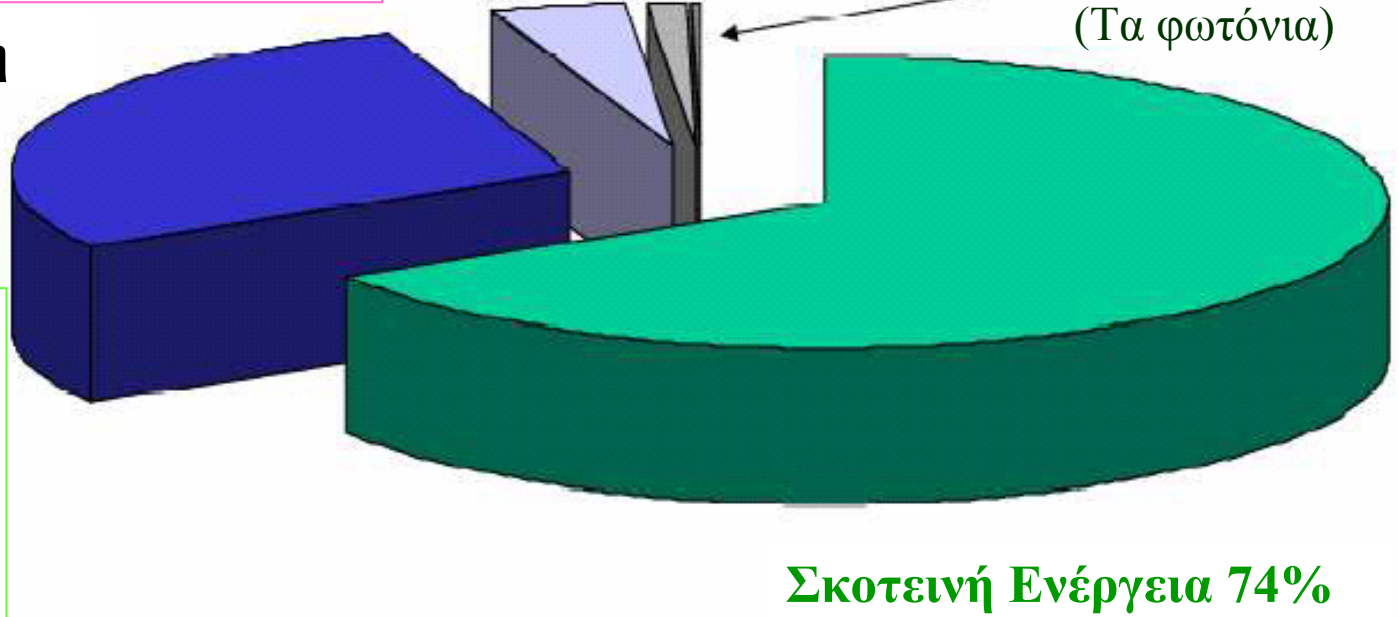
Η Γενική Σύσταση του Σύμπαντος

Συνήθης ύλη:
πυρήνες, $e^- = 4\%$

$$\sum_j m_{\nu_j} < 1\text{eV}$$

Ψυχρά Σκ. Ύλη
22%

CMB: 0.01%
(Τα φωτόνια)



Σκοτεινή Ενέργεια 74%

$$\Omega_b = \frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_c} = 0.04$$

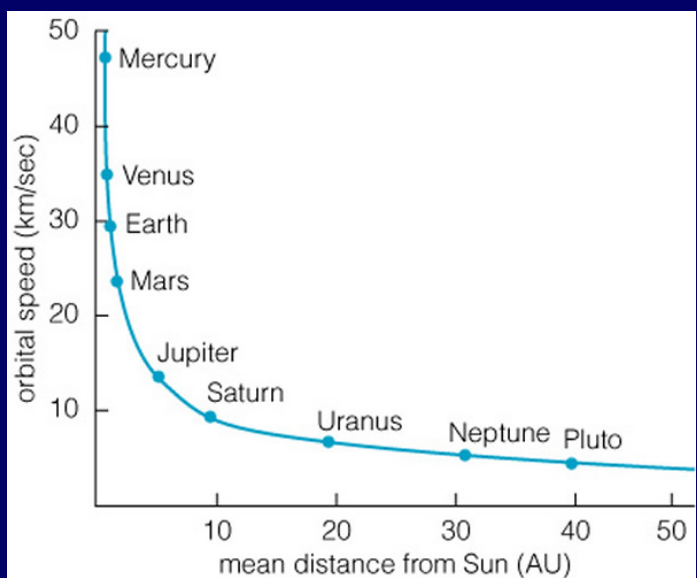
$$\Omega_{DM} = \frac{\varepsilon_{DM}}{\varepsilon_c} = 0.22$$

$$\Omega_\Lambda = \frac{\varepsilon_\Lambda}{\varepsilon_c} = 0.74$$

$$\Omega_M = \Omega_b + \Omega_{DM}$$

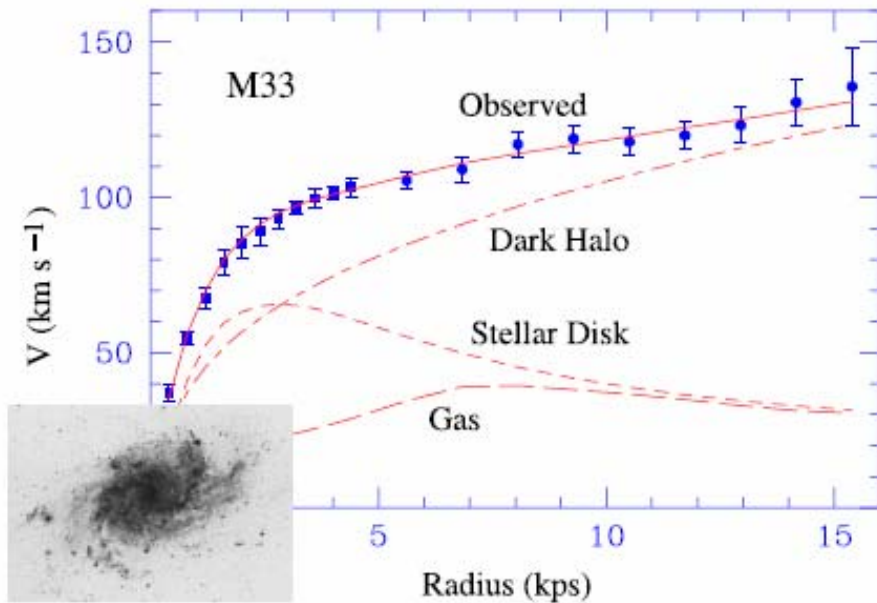
$$\varepsilon_c = \frac{3H^2}{8\pi G_N}$$

Τι μας κάνει να πιστεύουμε στην κατανομή αυτή, πέρα από το $D/H \approx 3 \cdot 10^{-5}$ και την ενίσχυση των συμπυκνώσεων της συνήθους ύλης ;

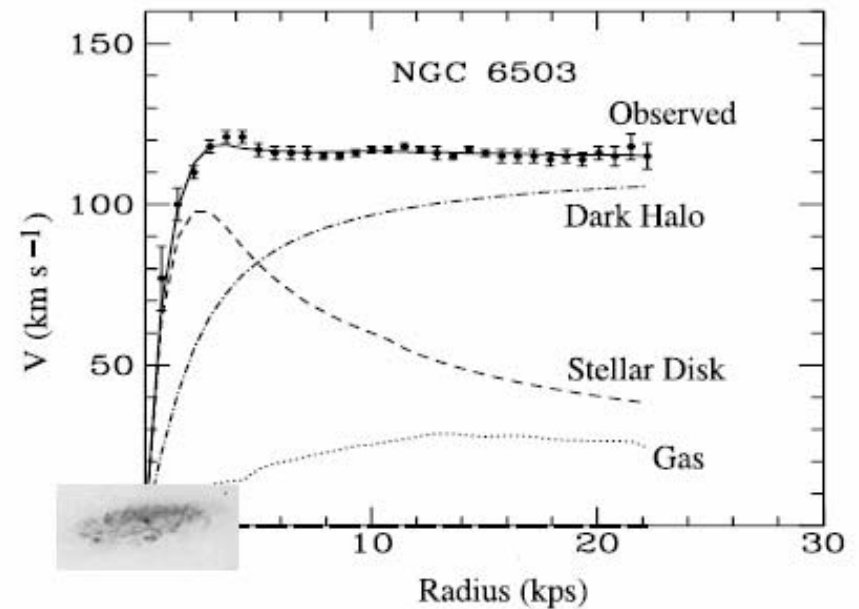


$$V_{\text{περιστροφής}} = \sqrt{\frac{G_N M}{R}}$$

Γύρω από την αλώ των Γαλαξιών συγκεντρώνεται πολύ Σκοτεινή Ύλη.



$L = 3 \cdot 10^6 \text{ ly}$



$L = 17 \cdot 10^6 \text{ ly}$

Τα κέντρα μάζης
της σκοτεινής και
συνήθους ύλης
συνήθως
συμπίπτουν.



Το Abell 2029 σμήνος γαλαξιών στα **1δισ έτη φωτός**.

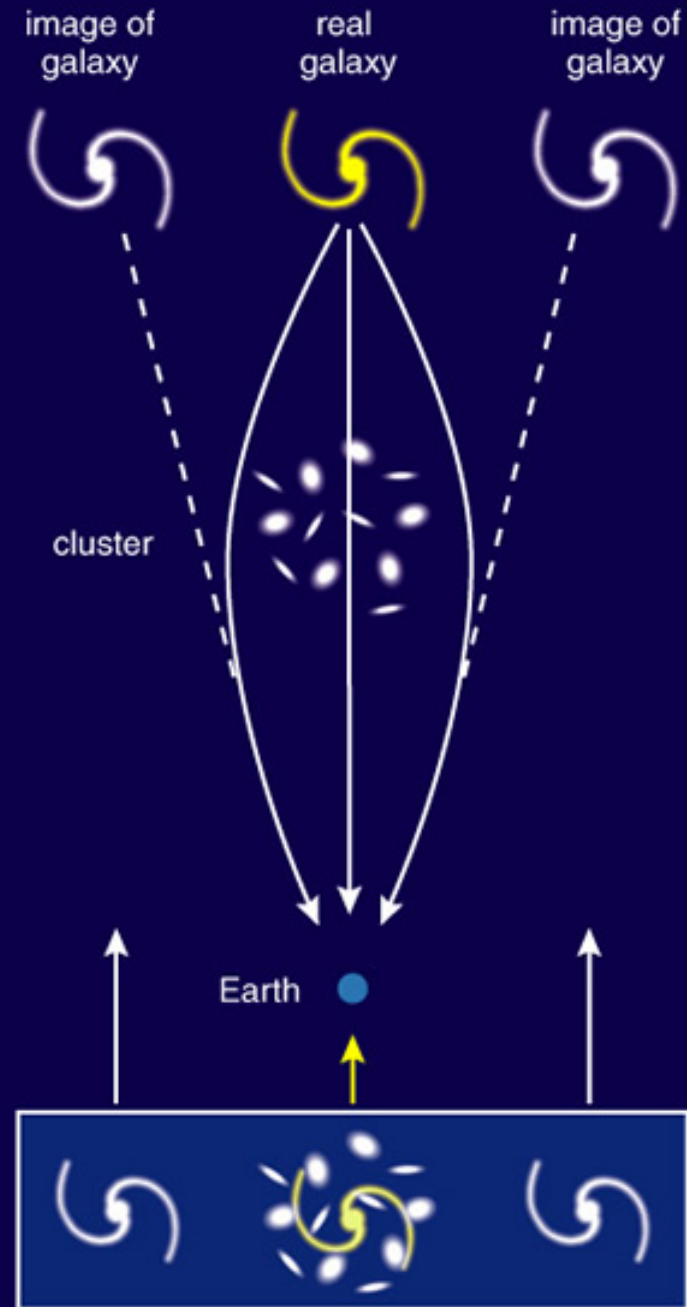
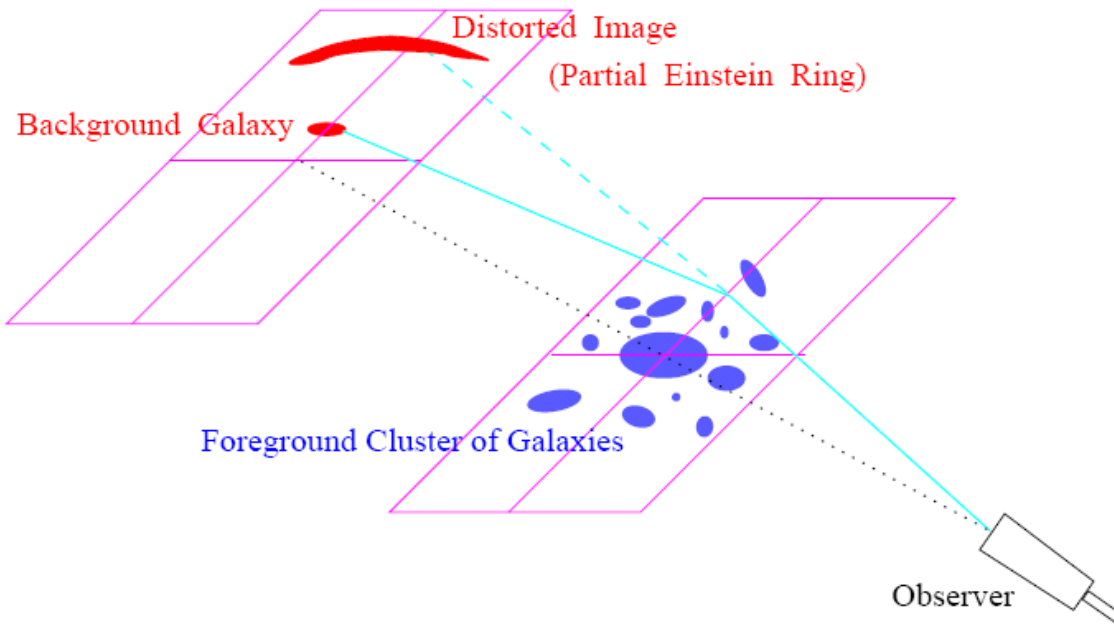
Οι γαλάζιες κουκκίδες είναι γαλαξίες στο οπτικό φως.

Οι κόκκινες περιοχές είναι θερμές αέριες μάζες εκατομμυρίων βαθμών στις ακτίνες X. Η βαρύτης εκ της παρατηρουμένης ύλης **δεν επαρκεί** για να συγκρατήσει το σύστημα. Χρειάζεται πολύ σκοτεινή ύλη...

Εκτός αν αλλάξουμε την βαρύτητα σε μεγάλες αποστάσεις... ;

Μπορούμε να παρατηρήσουμε την Σκοτεινή Ύλη;

Η βαρύτης ενός σχετικά κοντινού σμήνους γαλαξιών δρα ως φακός, δημιουργώντας παραμορφωμένα είδωλα περισσότερο απομακρυσμένων γαλαξιών. Η μελέτη τους επιτρέπει την εξαγωγή συμπερασμάτων για την κατανομή της μάζης στο φακό.



Παραμορφωμένα είδωλα του ίδιου γαλαξία εμφανίζονται σε τρεις διαφορετικές θέσεις

Βαρυτικά είδωλα δημιουργούμενα από το σμήνος γαλαξιών Abell 2218, ευρισκόμενο σε απόσταση 3δισ ετών φωτός. Η κατανομή και το σχήμα τους επιτρέπουν την μέτρηση της συνολικής μάζας του Abell και της κατανομής της.



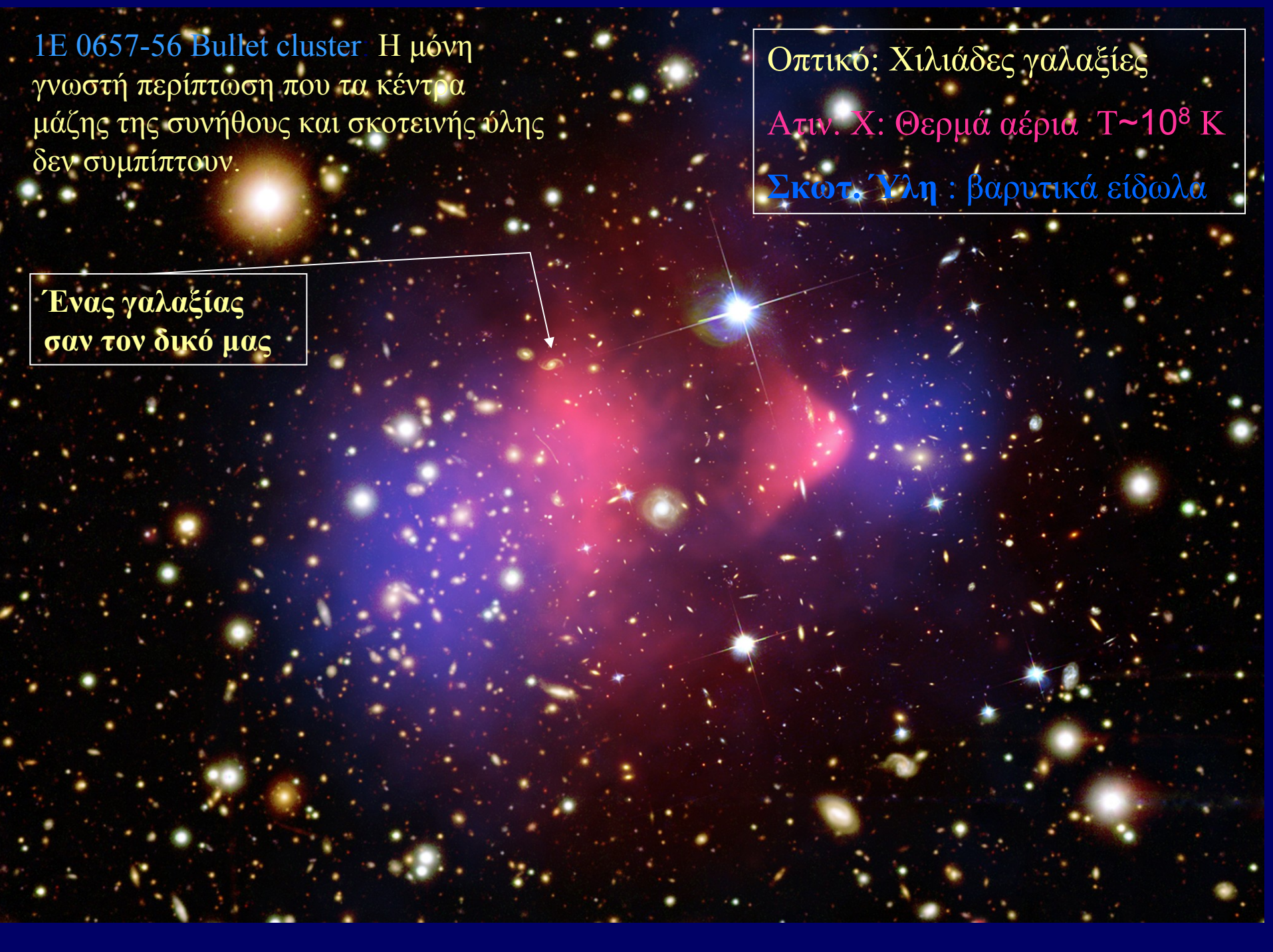
1E 0657-56 Bullet cluster: Η μόνη γνωστή περίπτωση που τα κέντρα μάζης της συνήθους και σκοτεινής ύλης δεν συμπίπτουν.

Ένας γαλαξίας σαν τον δικό μας

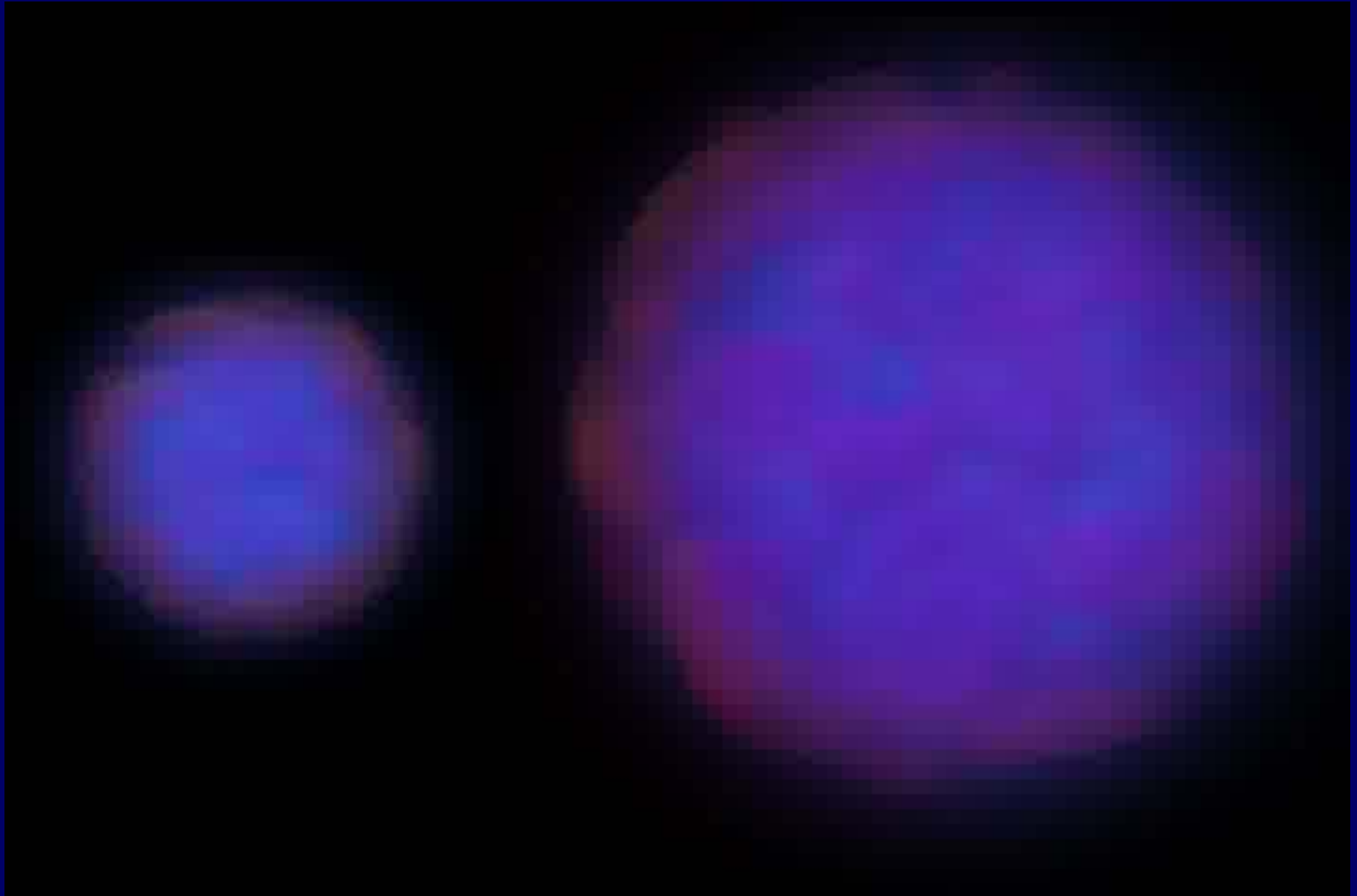
Οπτικό: Χιλιάδες γαλαξίες

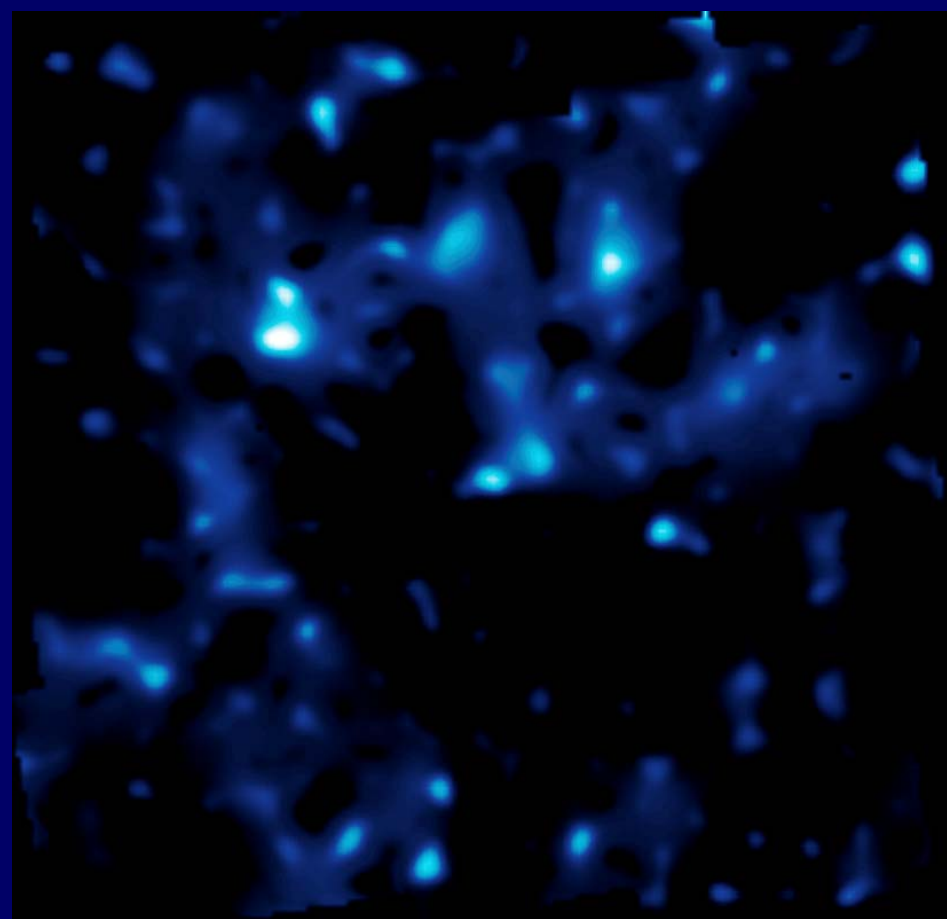
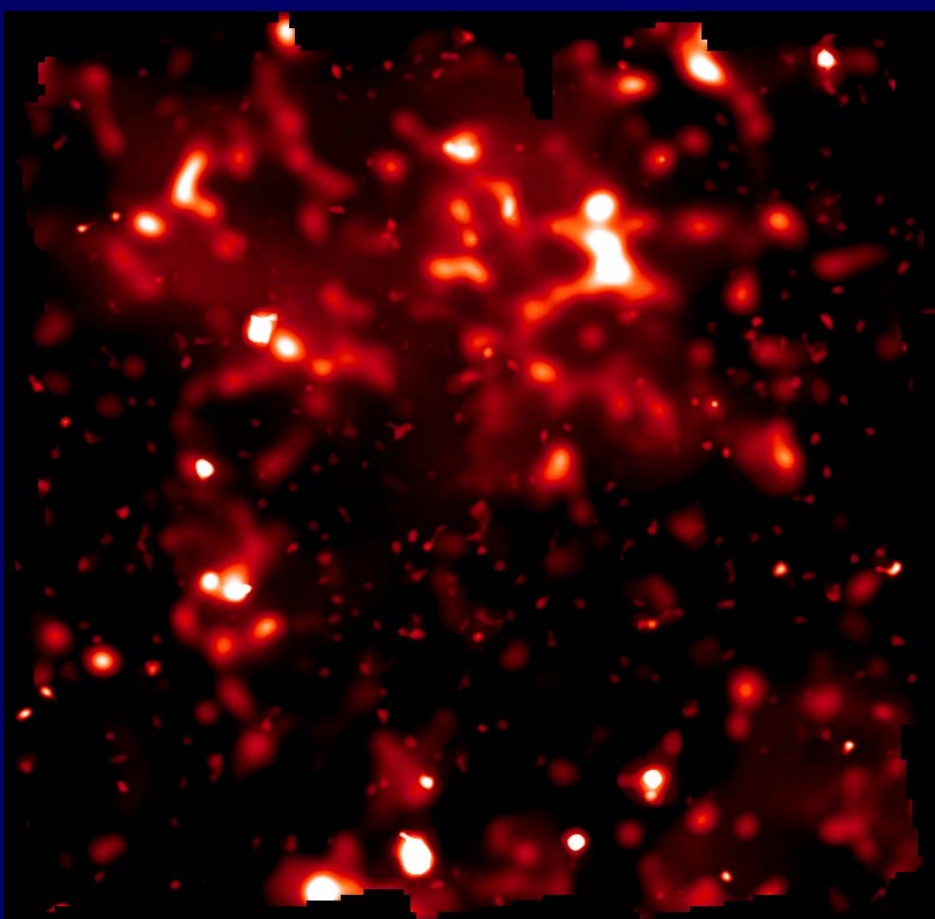
Ατιν. Χ: Θερμά αέρια $T \sim 10^8$ K

Σκωτ. Ύλη : βαρυτικά είδωλα



1E 0657-56 Bullet cluster: Η ανακάλυψη τους τον Αύγουστο 2006, κατέστησε την Σκοτεινή Ύλη αναπόφευκτη....

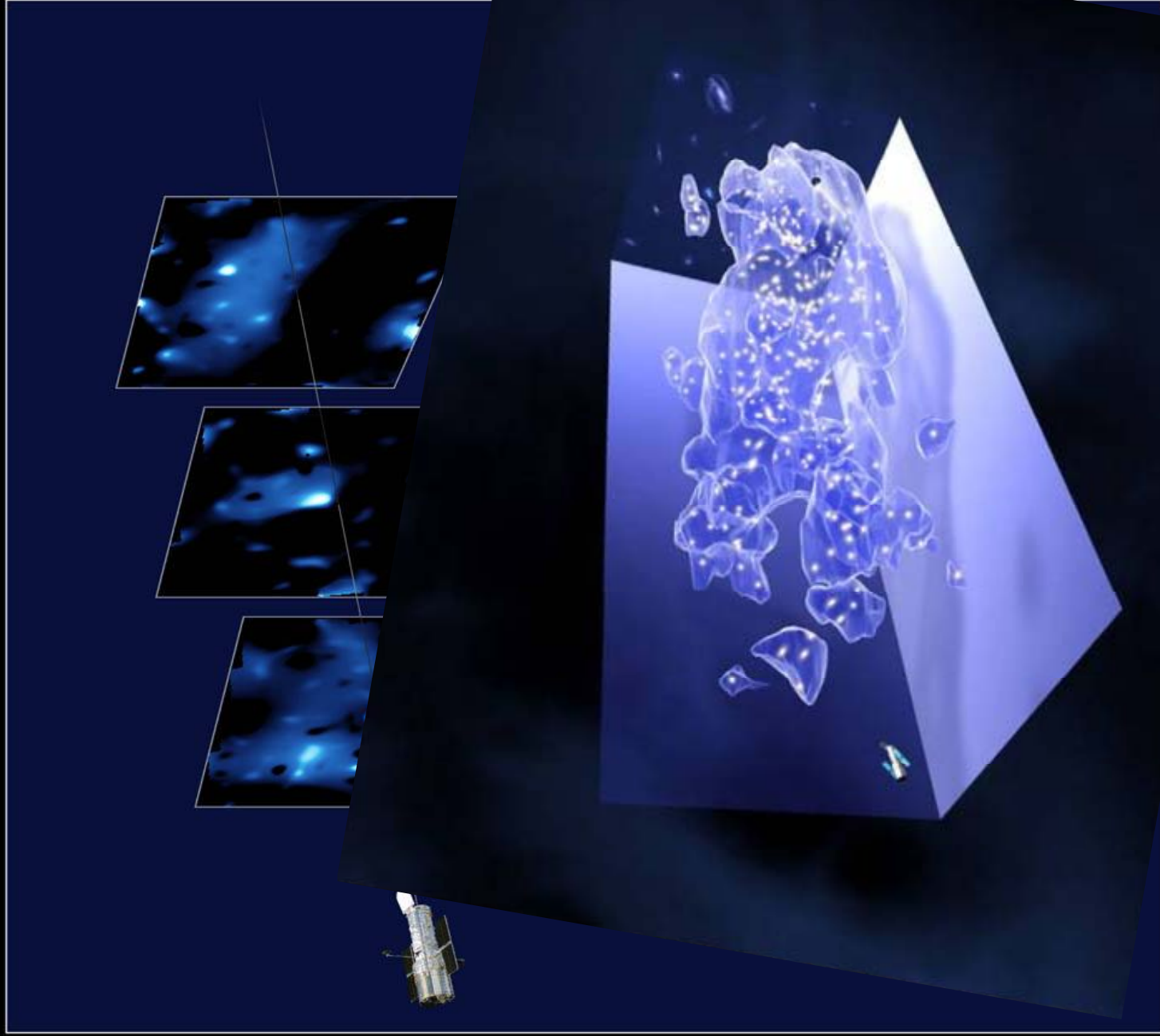




Κατανομή **συνήθους** και **σκοτεινής** ύλης σε μια περιοχή του ουρανού
γωνιακής διαμέτρου 9 φορές μεγαλύτερης από αυτήν της πλήρους σελήνης.

Οι συμπυκνώσεις της **συνήθους ύλης** γενικά ακολουθούν τις συμπυκνώσεις
της **σκοτεινής ύλης** ! (Ιανουάριος 2007)

Κατανομή της Σκοτεινής Ύλης

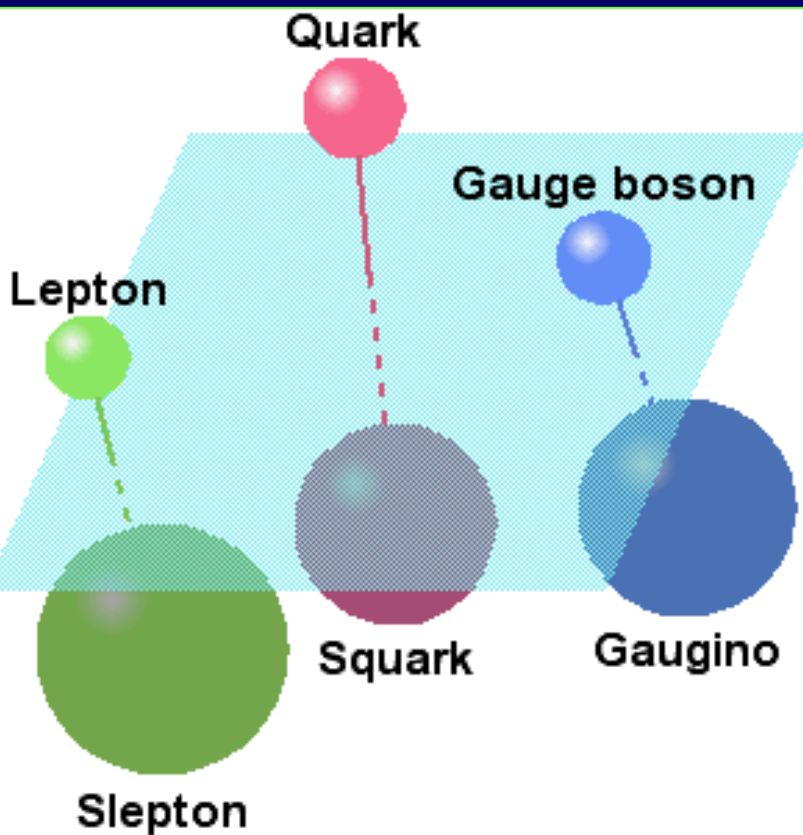


Τα σωματίια της Ψυχρής Σκοτεινής Ύλης, συλλογικά ονομάζομενα WIMP, είναι

- ουδέτερα,
- έχουν διάρκεια ζωής > 14 δισ έτη
- αλληλεπιδρούν ασθενώς ή πολύ ασθενώς μεταξύ τους και με την συνήθη ύλη,
- όταν ελευθερώθηκαν στο Σύμπαν είχαν πλέον πολύ μικρές ταχύτητες $\implies v \ll c$.
- πρέπει να προκαλούν $\Omega_{DM} \sim 0.22$
- Στα πλαίσια της υπερσυμμετρίας τέτοια σωματίια είναι τα νιουτραλίνο, αξιόνια, αξίνο, βαρυτόνια... (τα αξιόνια θα μπορούσαν να υπάρξουν και εκτός υπερσυμμετρίας)
- Η συνεισφορά των μελανών οπών στην Σκοτεινή Ύλη πρέπει να είναι μικρή.

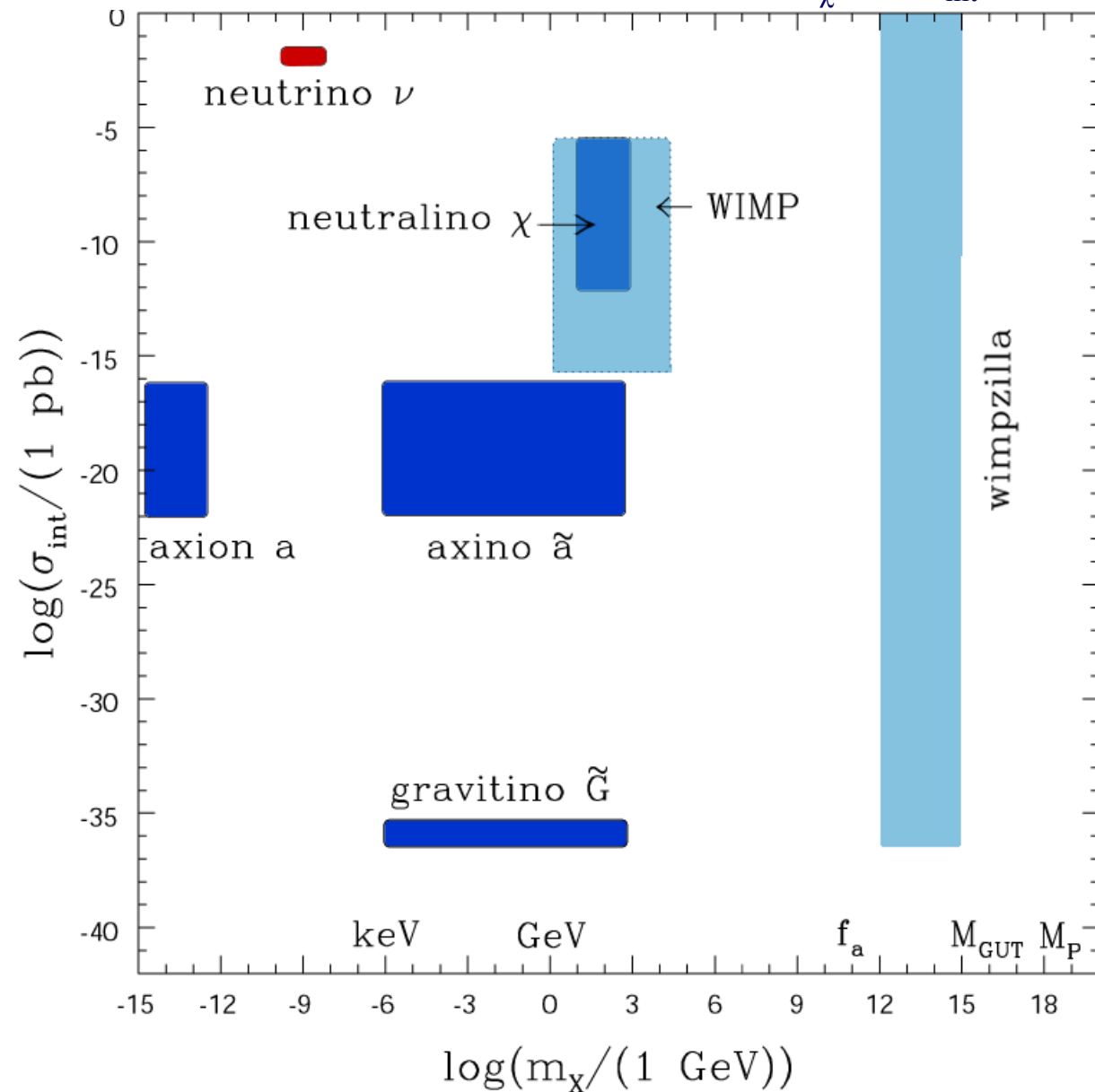
Τι είναι η Υπερσυμμετρία;

Μια γενίκευση του χωροχρόνου, ώστε να περιλαμβάνει και την εν αυτό ύλη. Είναι αδύνατο να φαντασθούμε την «ενοποίηση των δυνάμεων», χωρίς την υπερσυμμετρία.



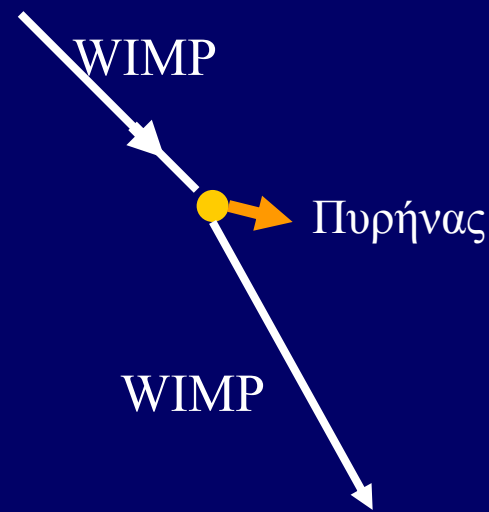
- Κάθε ένα από τα συνήθη σωματΙΑ (κουάρκ, λεπτόνια, κβάντα των δυνάμεων), συνοδεύεται από το υπερσυμμετρικό του αντίστοιχο σωματΙΑ, με σπιν διαφέρον κατά $\frac{1}{2}$.
- Εξασφαλίζει την ενοποίηση των ισχυρών, ασθενών και των ηλεκτρομαγνητικών δυνάμεων μεταξύ τους, και ίσως και με τη βαρύτητα.
- Ίσχυσε τα πρώτα 10^{-34} sec, όταν οι τρεις πρώτες δυνάμεις ήταν μία...
- Απαλύνει τις δυνάμεις στις μικρές αποστάσεις.

Άμεση ανίχνευση Σκοτ. Ύλης: m_χ και σ_{int}

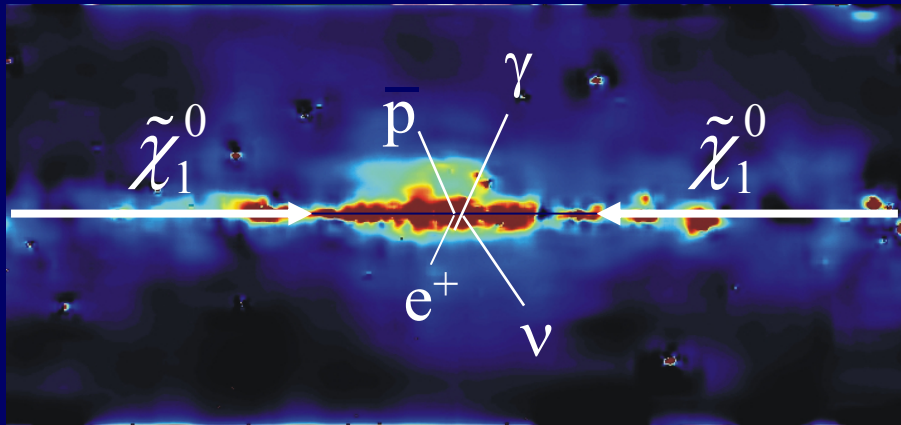


Η μέτρηση των σ_{int} είναι ένας άμεσος τρόπος ανιχνεύσεως των WIMP
 σ_{int} = ενεργός διατομή αλληλεπίδρασης των WIMP με σωματλια συνήθους ύλης.

- m_χ = μάζα ενός WIMP
- $1 \text{ pb} = 10^{-36} \text{ cm}^2$



Έμμεση ανίχνευση: Η υποψηφιότητα των νιουτραλίνος



- Εύλογες συνιστώσες της Σκοτεινής Ύλης.
- Ένας σημαντικός έμμεσος τρόπος ανιχνεύσεως της Σκ.Υ. είναι αναζητώντας **συνεχή** φάσματα e^+ ή γ από

$$\tilde{\chi}_1^0 \tilde{\chi}_1^0 \rightarrow \gamma \dots$$

$$\tilde{\chi}_1^0 \tilde{\chi}_1^0 \rightarrow e^+ \dots$$

EGRET: Ψάχνοντας για ΣΥ σε ακτίνες γ από το Διάστημα

$$\tilde{\chi}_1^0 \tilde{\chi}_1^0 \rightarrow \gamma \dots$$

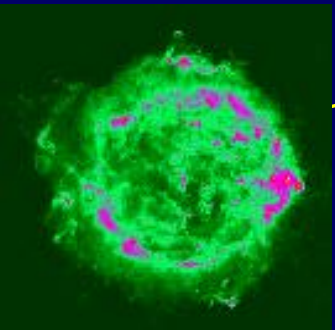


Η πλεονάζουσα, αυξημένης ενεργείας, ακτινοβολία γ από το κέντρο του Γαλαξία, ίσως προέρχεται από την ΣΥ.

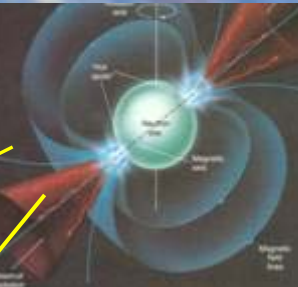
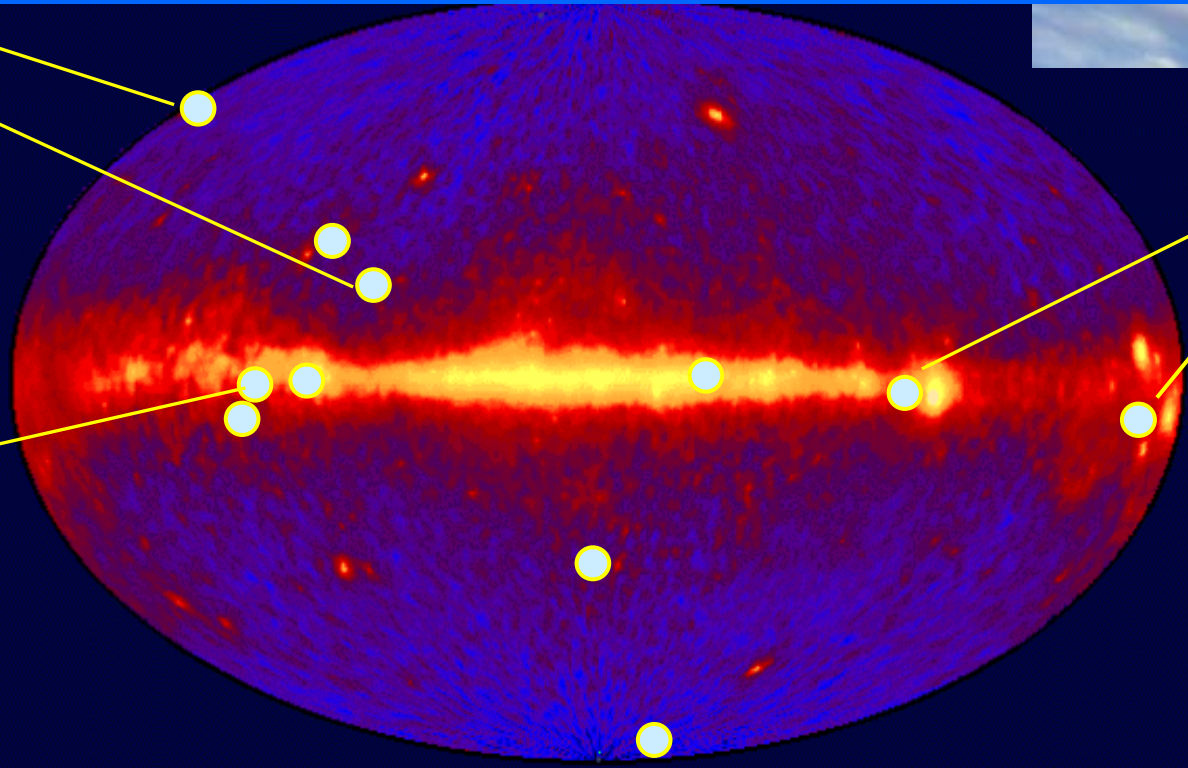
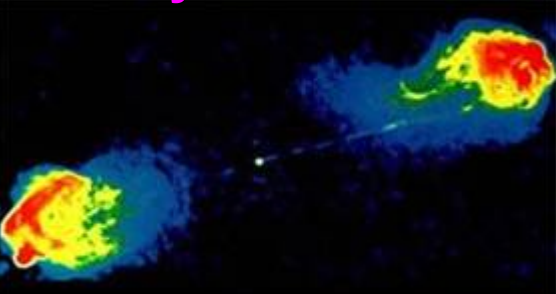
AGN



SNR



Radio Galaxy

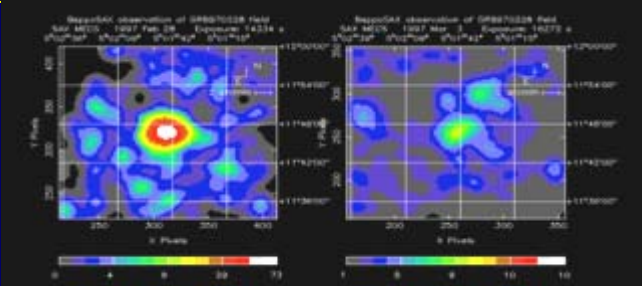


GRB

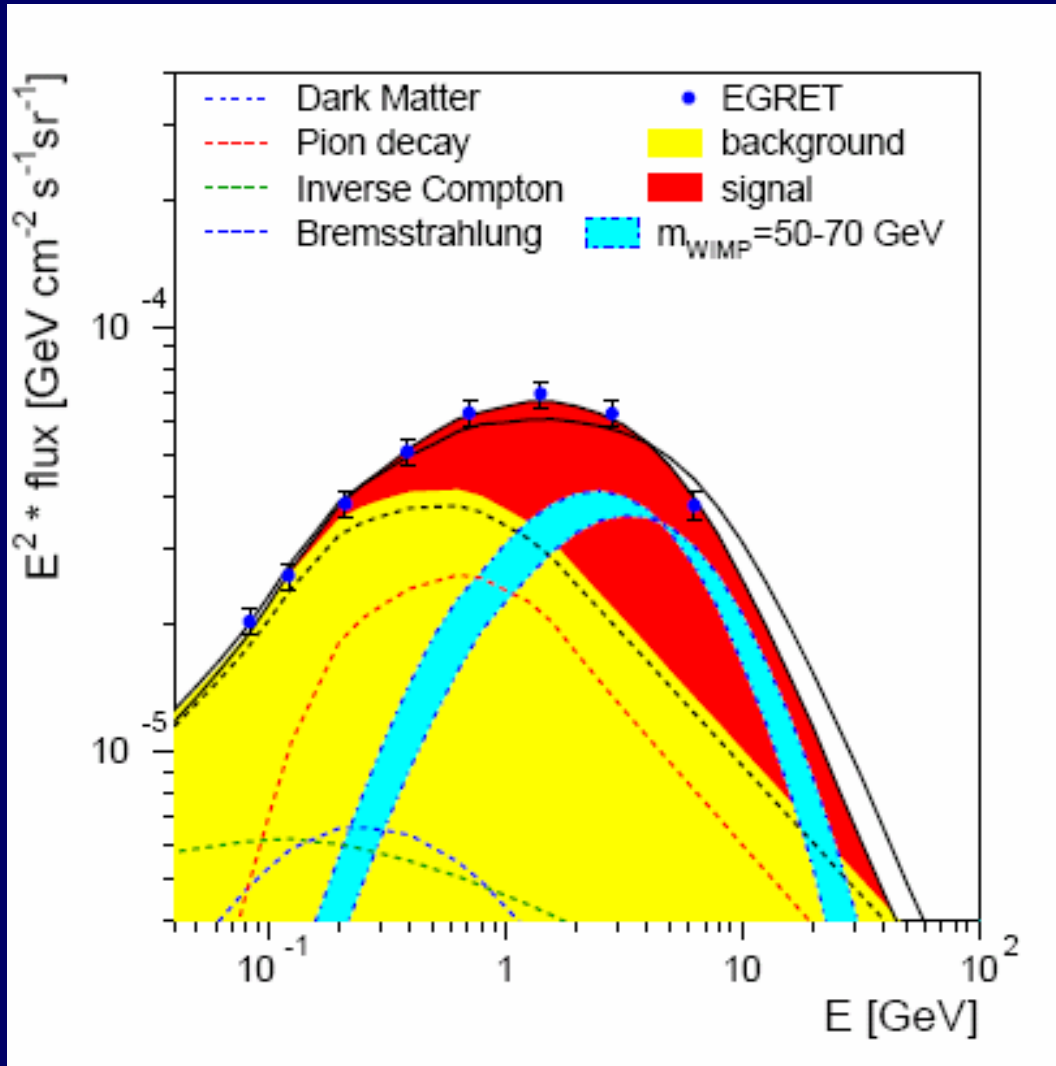
$$100 \text{ MeV} < E_\gamma < 30 \text{ GeV}$$

$$\Sigma Y \leftrightarrow E_\gamma > 10 \text{ GeV}$$

$$50 < m_{\tilde{\chi}_1^0} < 175 \text{ GeV}$$



EGRET: Δυνατές μάζες των σωματιδίων της ψυχρής σκοτεινής ύλης



$$\tilde{\chi}_1^0 \tilde{\chi}_1^0 \rightarrow \gamma \dots ,$$

$$m_{\tilde{\chi}_1^0} \approx 60 \text{ GeV}$$

HEAT (High Energy Antimatter Telescope) : Αγνώστου αιτιολογίας ακτινοβολία e^+ από το κέντρο του Γαλαξία μας

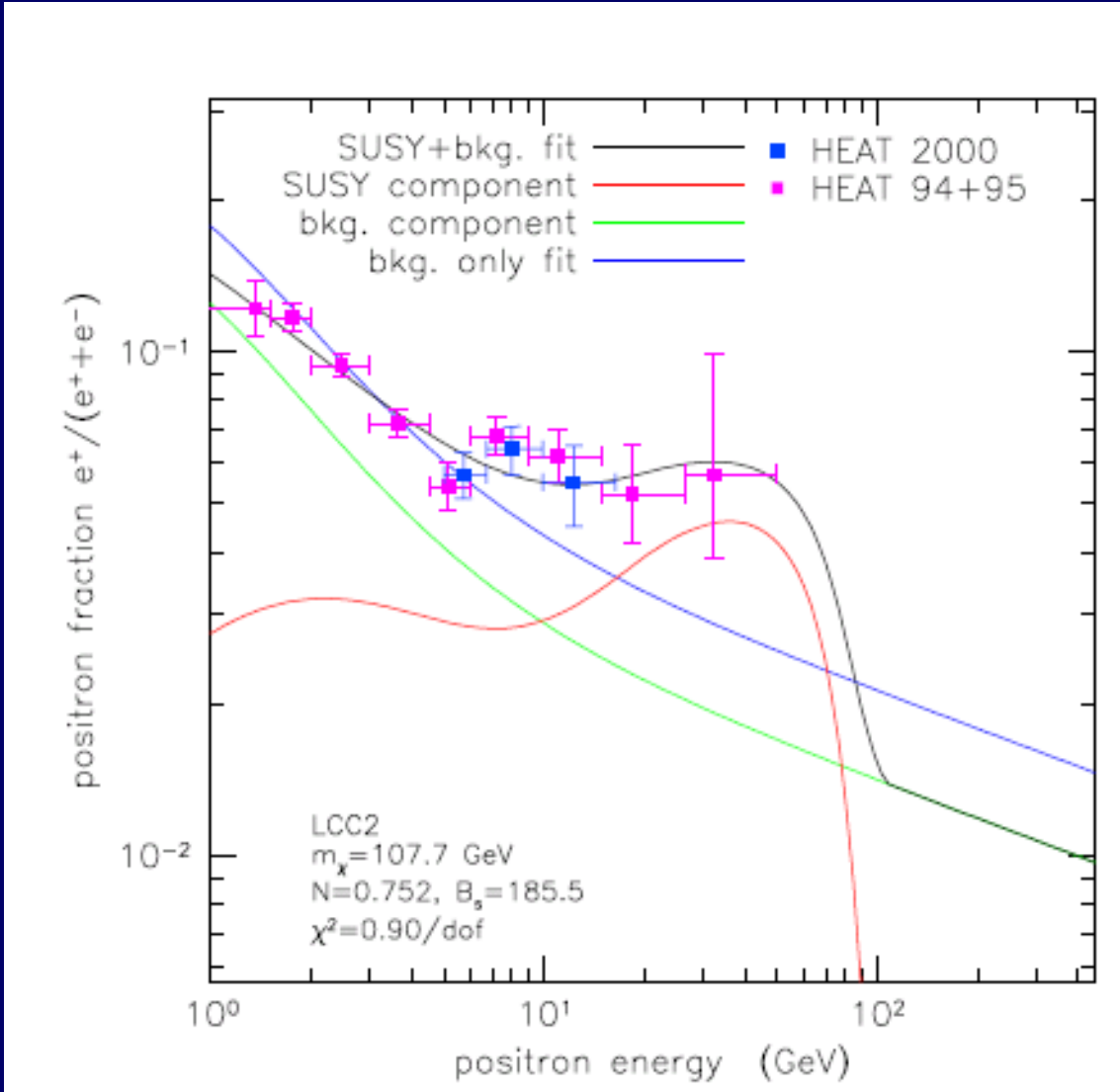
Από αερόστατο
μεγάλου ύψους

$$\tilde{\chi}_1^0 \tilde{\chi}_1^0 \rightarrow e^+ \dots ,$$

$$E_{e^+} \sim 8 \text{ GeV}$$

$$m_{\tilde{\chi}_1^0} \approx 108 \text{ GeV}$$

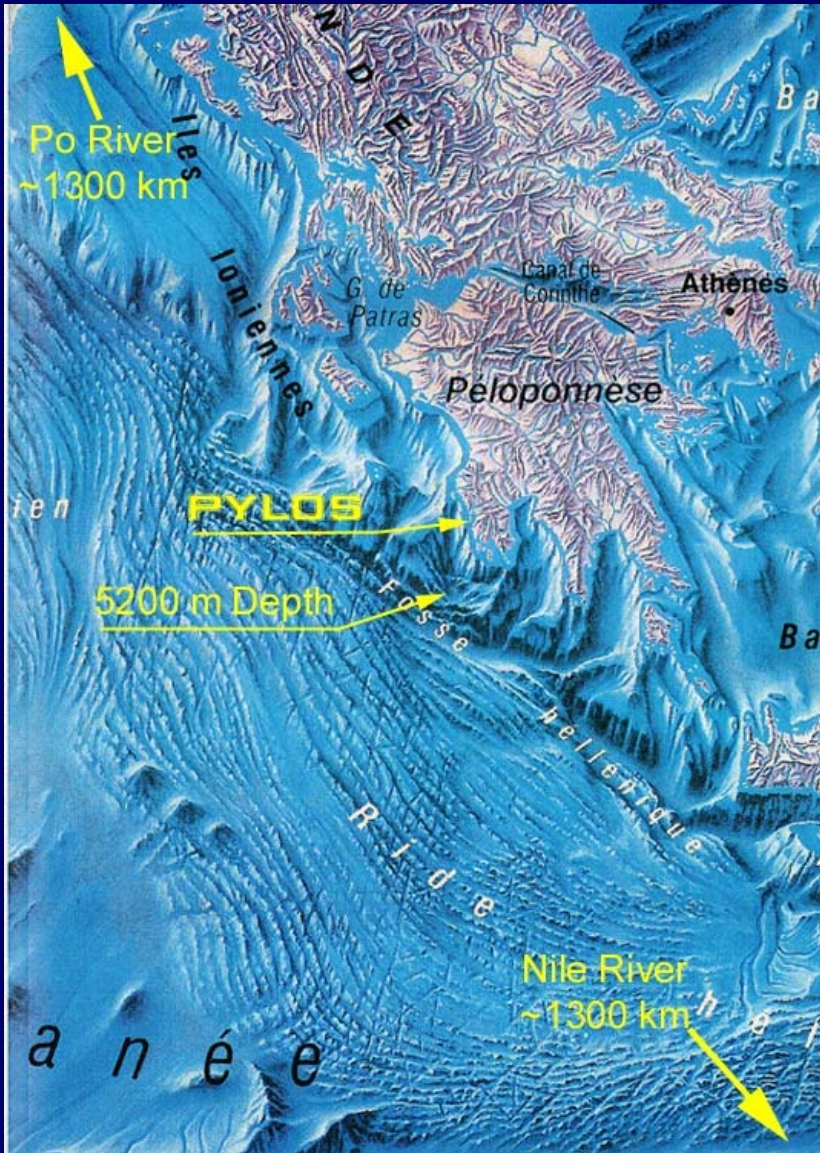
Ασφαλέστερο αν ξέραμε τα
νιουτραλίνο από επίγεια
πειράματα,
και τα χρησιμοποιούσαμε
για την κατανόηση της
καταστάσεως κοντά στο
γαλακτικό κέντρο...



Μεγάλης ενεργείας νετρίνος από ΣΥ θα μπορούσαν ν' ανιχνευθούν με το NESTOR



NESTOR



PYLOS

5200 m Depth

Nile River
~1300 km



Έμμεση ανίχνευση: Φωτόνια καθορισμένης ενεργείας

- Εντυπωσιακό αν τέτοια φωτόνια παρατηρηθούν κάποτε από

$$\tilde{\chi}_i^0 \tilde{\chi}_j^0 \rightarrow \gamma\gamma, \gamma Z, \gamma + \text{higgs}$$

- Αλλά τότε χρειάζεται να μελετηθούν και οι αντίστροφες διαδικασίες στο **LHC**

$$q\bar{q} \rightarrow \tilde{\chi}_i^0 \tilde{\chi}_j^0, \quad gg \rightarrow \tilde{\chi}_i^0 \tilde{\chi}_j^0$$

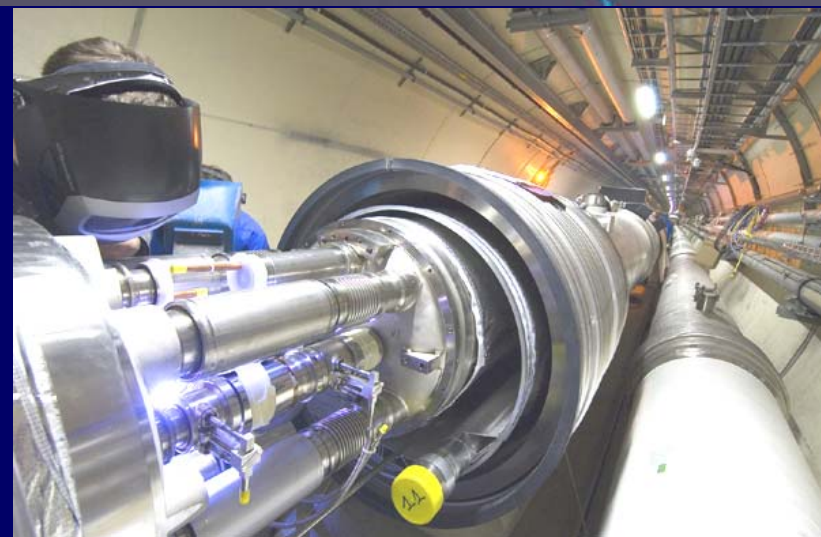
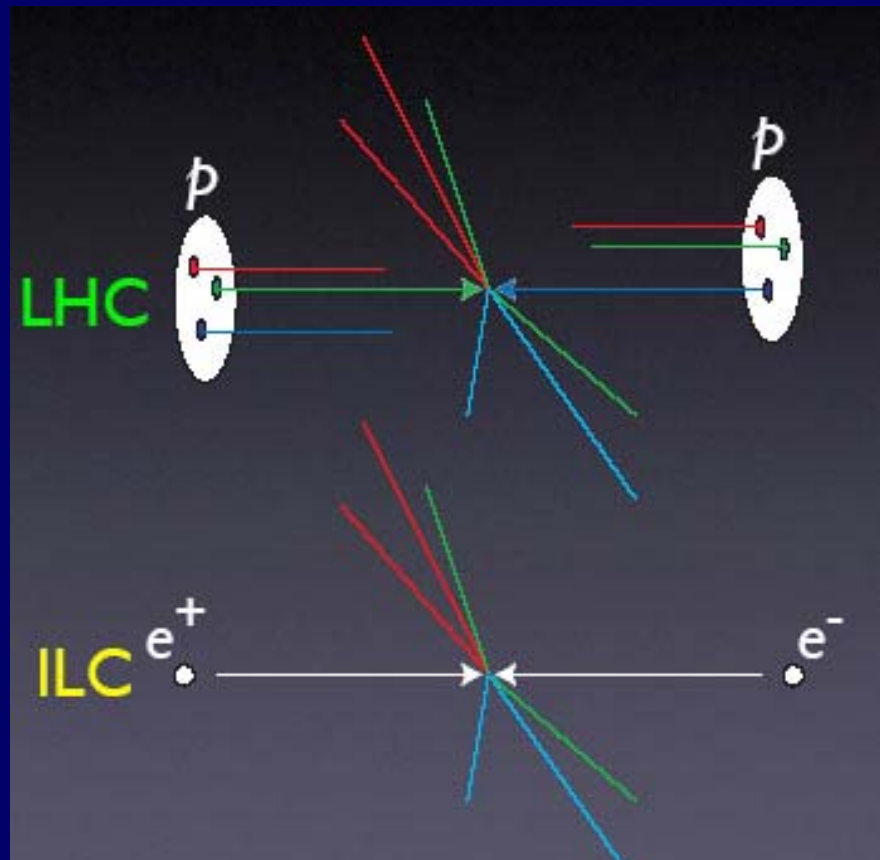
$$q\bar{q} \rightarrow \tilde{\chi}_i^0 \tilde{g}, \quad gq \rightarrow \tilde{\chi}_i^0 \tilde{q}_{L,R}, \quad q\bar{q}' \rightarrow \tilde{\chi}_i^0 \tilde{\chi}_a^\pm, \quad gg \rightarrow \tilde{\chi}_i^0 \tilde{g}$$

- ή στο **ILC**

$$e^- e^+ \rightarrow \tilde{\chi}_i^0 \tilde{\chi}_j^0, \quad \gamma\gamma \rightarrow \tilde{\chi}_i^0 \tilde{\chi}_j^0$$

Τα στοιχειώδη σωματjα και οι μεταξύ τους δυνάμεις μελετώνται κυρίως με τους επιταχυντές...

Η βαρύτης, μέχρι σήμερα, έμεινε εκτός της φυσικής των στοιχειωδών σωματιδίων ...



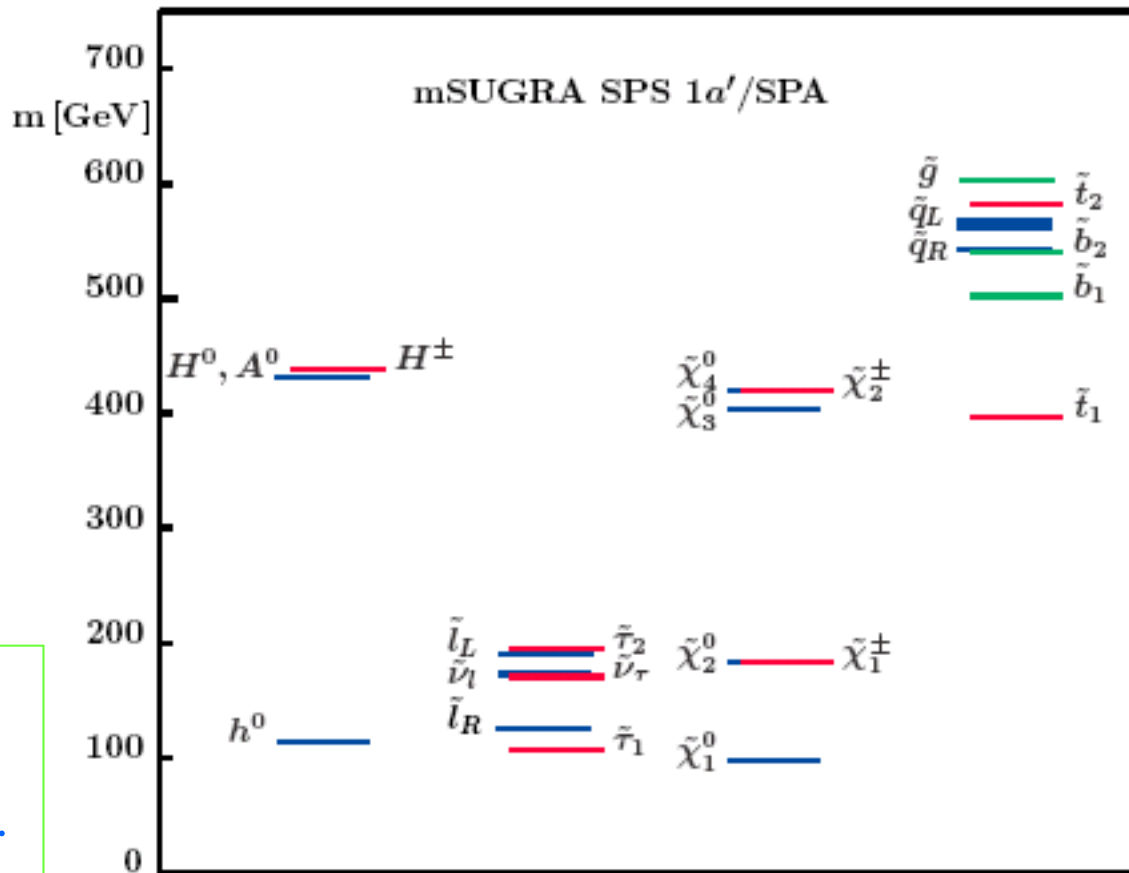
Μια εικόνα των μαζών των προβλεπομένων από την Υπερσυμμετρία νέων σωματιδίων.

Το $\tilde{\chi}_1^0$ θα μπορούσε να αποτελεί την κυρία συνιστώσα της ψυχρής Σκοτεινής Ύλης.

Για τέτοιες μάζες, το LHC αναμένεται να παράγει πάρα πολλά γλινό και σκουαρκς.

Μέχρι το τέλος 2008 θα πρέπει να ξέρουμε...

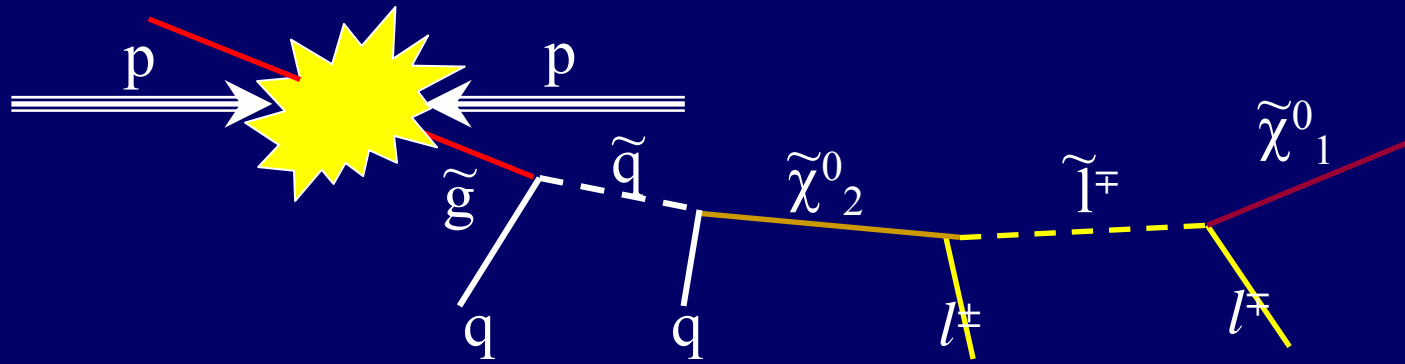
Ίσως παρασκευάσουμε ΣΥ στη Γη...



$$pp \rightarrow \tilde{\chi}_i^0 \tilde{\chi}_j^0 \dots ,$$

$$(i, j) = 1, 2, 3, 4$$

Παραγωγή του πιο ελαφρού νιουτραλίνου στο LHC

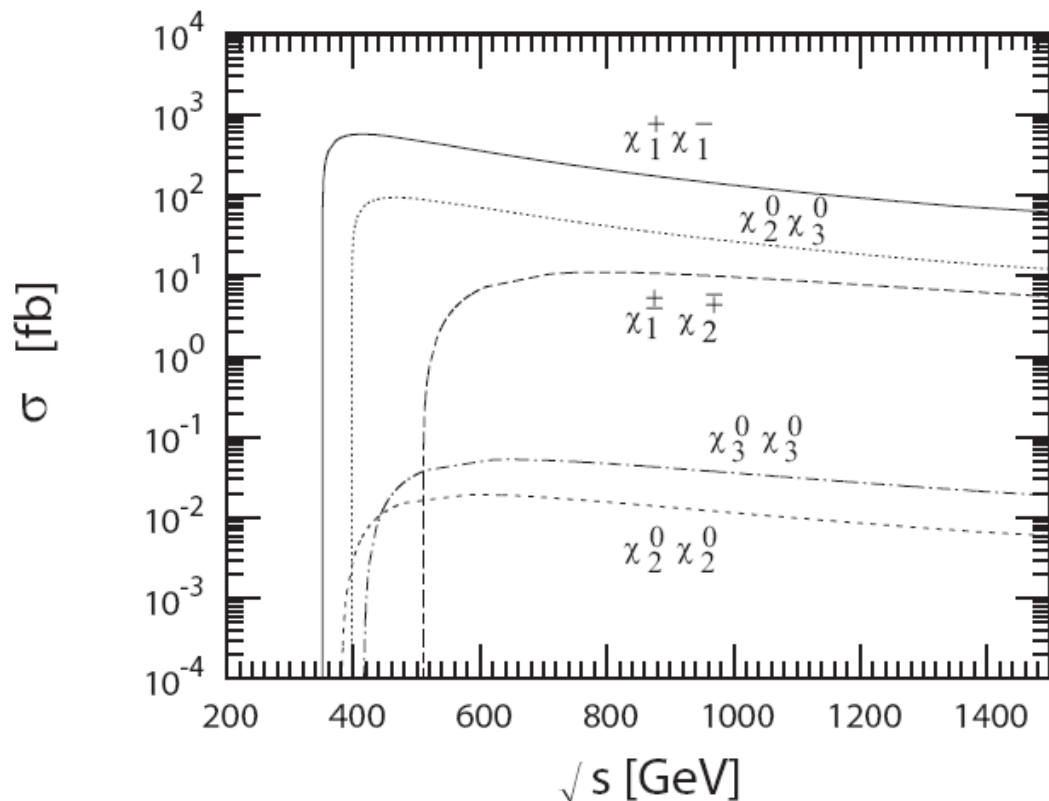
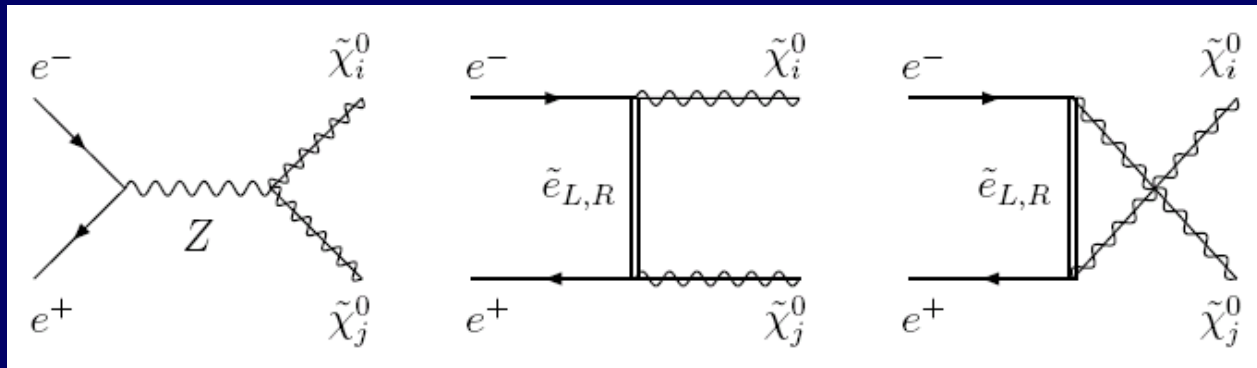


- Ο κύριος μηχανισμός μέσω διαδοχικών διασπάσεων αρχίζοντας από γλουόνια.
- Όμως υπάρχουν και πιο ευθείς αλλά λιγότερη παραγωγικοί μηχανισμοί όπως

$$q\bar{q} \rightarrow \tilde{\chi}_i^0 \tilde{\chi}_j^0, \quad gg \rightarrow \tilde{\chi}_i^0 \tilde{\chi}_j^0$$

Παραγωγή νουτραλίνο στο ILC

$$e^- e^+ \rightarrow \tilde{\chi}_i^0(\lambda_1) \tilde{\chi}_j^0(\lambda_2)$$



Οι μορφές των ενεργών διατομών παραγωγής, πλησίον του κατωφλίου, πληροφορούν για τις ιδιότητες της Σκ. Ύλης.

Το ILC θα είναι ο επόμενος μεγάλος επιταχυντής, αν τα αποτελέσματα του LHC είναι ενθαρρυντικά...

Η αθέατη ή Σκοτεινή Ενέργεια (ΣΕ) (ή Ενέργεια του Κενού)

Εκτεταμένα βαθμωτά πεδία φ_Λ , εξαρτώμενα μόνον από τον χρόνο, δημιουργούν πυκνότητα ενεργείας

$$\varepsilon_\Lambda = \frac{\dot{\varphi}^2}{2} + V(\varphi) = T + V$$

$$p_\Lambda = \frac{\dot{\varphi}^2}{2} - V(\varphi) = T - V$$

και πίεση

Οι CMB παρατηρήσεις είναι συμβατές με $T \approx 0$. Αν η κινητική ενέργεια είναι αμελητέα, τότε η **πίεση γίνεται αρνητική...**

$$\varepsilon = \varepsilon_M(t) + \varepsilon_\Lambda, \quad p = p_M + p_\Lambda$$

$$\varepsilon_M(t) \approx \frac{\varepsilon_{M0}}{R^3(t)}, \quad p_M \approx 0,$$

$$p_\Lambda = -\varepsilon_\Lambda = \text{σταθ.}$$

$$\frac{\ddot{R}(t)}{R(t)} = -\frac{4\pi G_N}{3}(\varepsilon + 3p)$$

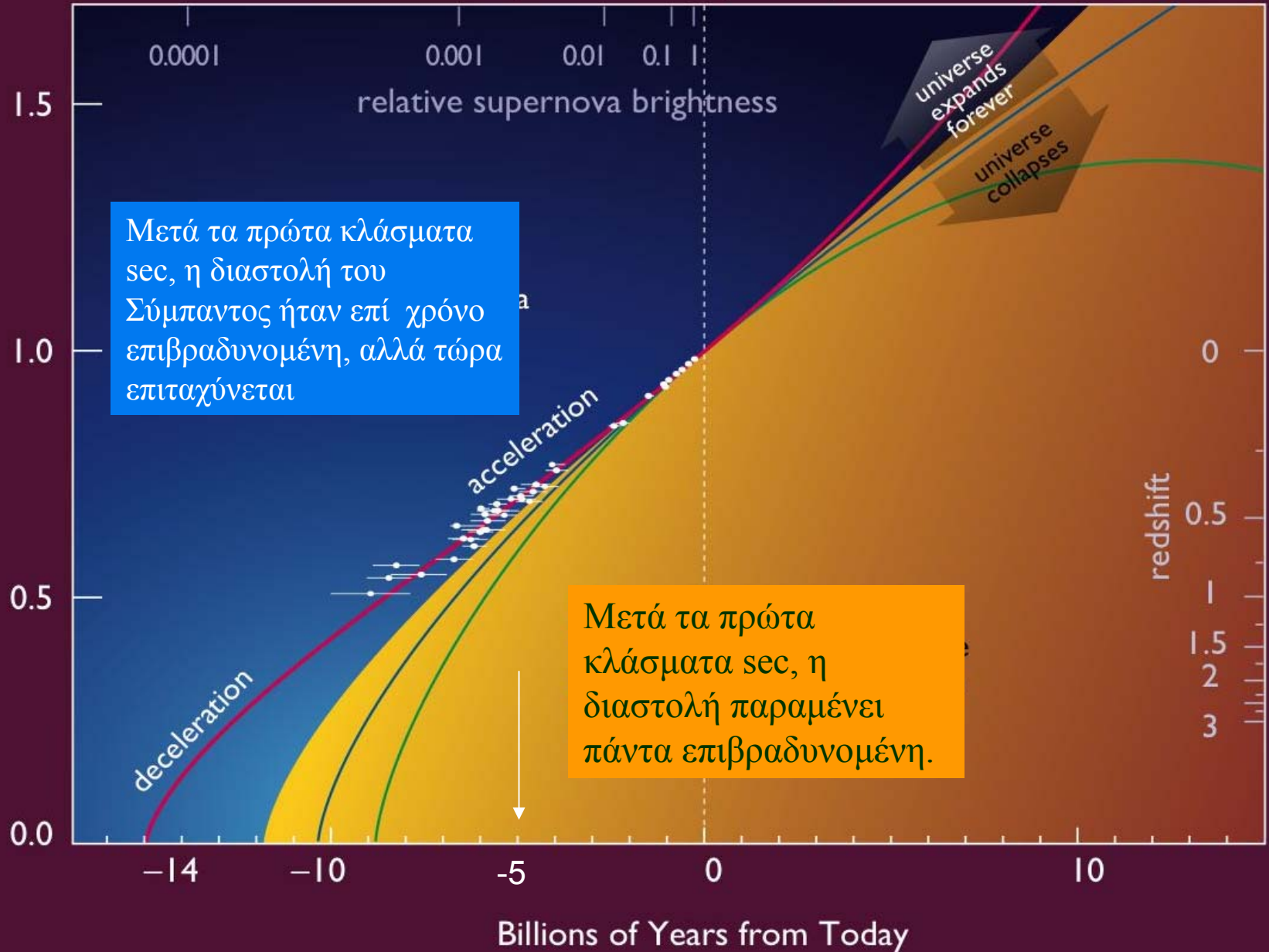
Στο μεγαλύτερο μέρος του παρελθόντος επικρατούσε η ύλη και η διαστολή επεβραδύνετο. Μόλις πριν 5δισ έτη άρχισε να επικρατεί το ε_Λ , και η διαστολή να επιταχύνεται.

Η ανθρωπότητα πλάσθηκε σε μια οριακή εποχή.. .

Αν μετρούσαμε το $R(t)$?

past ← today → future

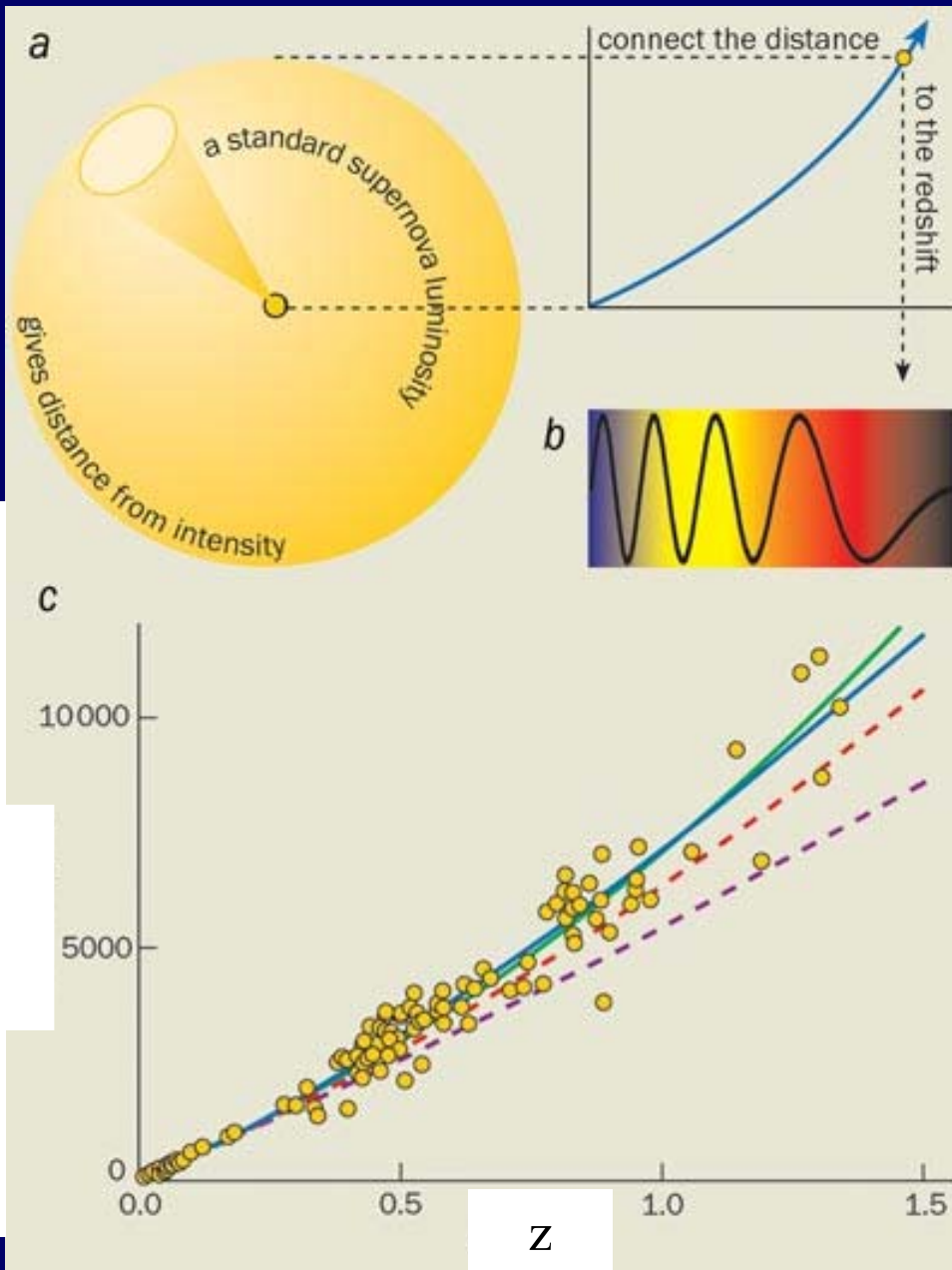
Μέση απόσταση μεταξύ γαλαξιών $R(t)$
($R(0)=1$)



Μετά τα πρώτα κλάσματα sec, η διαστολή του Σύμπαντος ήταν επί χρόνο επιβραδυνόμενη, αλλά τώρα επιταχύνεται

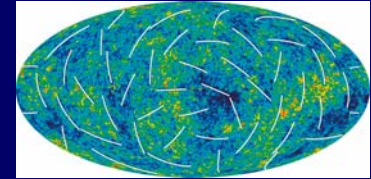
Μετά τα πρώτα κλάσματα sec, η διαστολή παραμένει πάντα επιβραδυνόμενη.

Billions of Years from Today



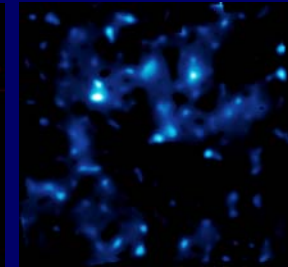
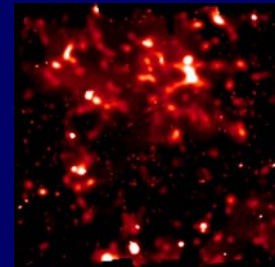
Πληροφορίες για την $R(t)$ από τρεις πηγές:

- Την CMB



- Η κατανομή της λαμπρότητας των Ia υπερκαινοφανών και της ερυθρά των μετατοπίσεως (παραπλεύρως).

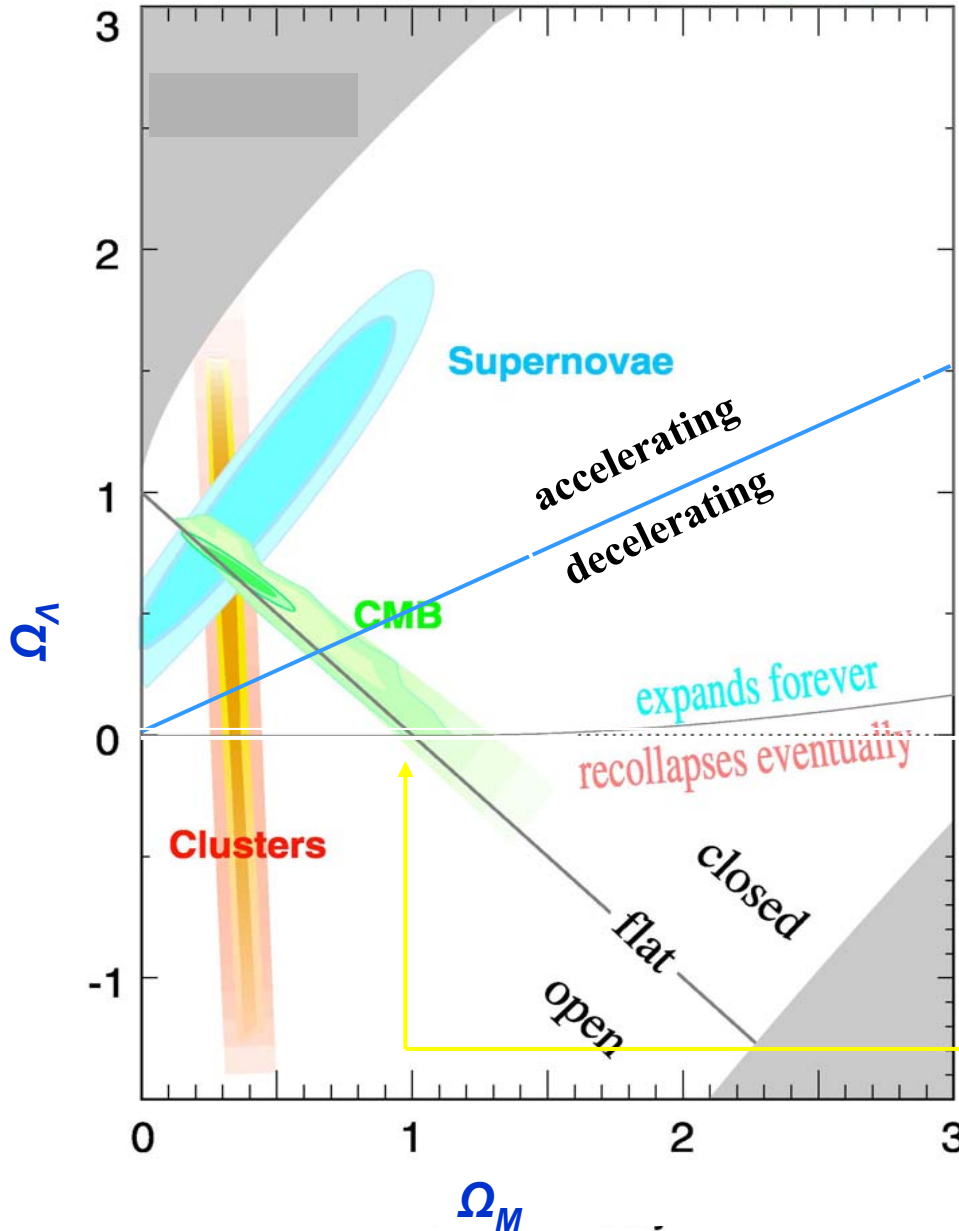
- Την κατανομή των σμηνών γαλαξιών.



$$R(t) = \frac{1}{1+z}$$

cf. Tonry et al. (2003)
Supernova Cosmology Project

Knop et al. (submitted)
Spergel et al. (2003)
Allen et al. (2002)



Οι σημερινές πυκνότητες ύλης και ενεργείας στο Σύμπαν είναι τέτοιες ώστε η καμπυλότητα του χώρου να είναι μηδενική και ο χώρος ευκλείδειος! Κανονικά περιμέναμε

$$\Omega_M + \Omega_\Lambda = 1 - \Omega_{\text{καμπ}}$$

Αλλά βρίσκουμε $\Omega_{\text{καμπ}} \approx 0$

Το παρατηρούμενο Ω_Λ είναι στα όρια. Αν ήταν μεγαλύτερο, το Σύμπαν δεν θα μπορούσε να βαστάξει αστέρες...

Ευκλείδειο Σύμπαν με μηδενική σκοτεινή ενέργεια

Η πεμπουσία: Είδαμε ότι ένα εκτεταμένο βαθμωτό πεδίο φ , που εξαρτάται μόνον από τον χρόνο, δημιουργεί πυκνότητα ενέργειας και πίεση

$$\varepsilon_\varphi = \frac{\dot{\varphi}^2}{2} + V(\varphi) = T + V, \quad ,$$

$$p_\varphi = \frac{\dot{\varphi}^2}{2} - V(\varphi) = T - V$$

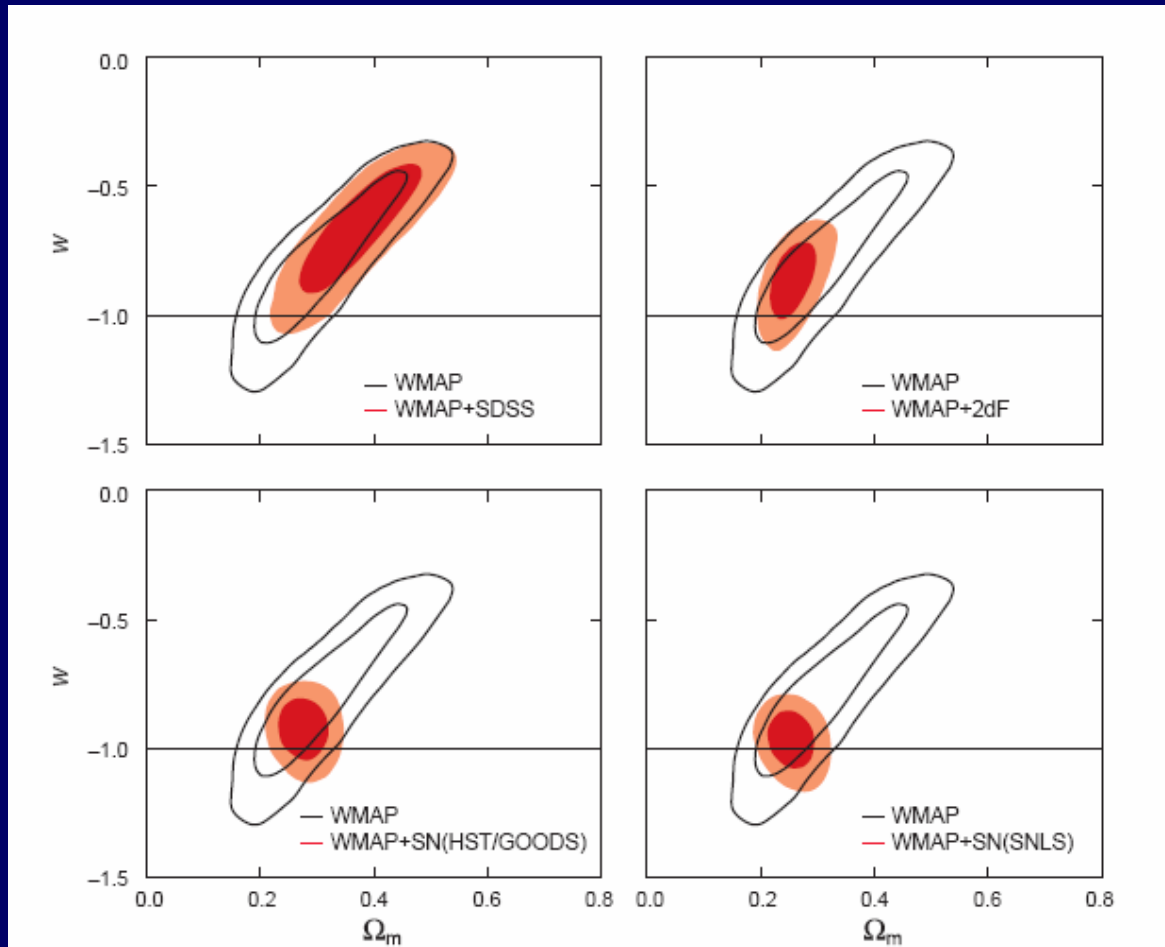
με $p_\varphi = w \varepsilon_\varphi$

$$\varepsilon_\varphi(t) \approx \frac{\varepsilon_{\varphi 0}}{R^{3(1+w)}(t)}$$

Η Σκοτεινή Ενέργεια αντιστοιχεί σε $w = -1$.

Στο τέλος θα έχουμε μόνο ΣΕ;

Είναι δυνατόν $w \neq -1$??



Συμπέρασμα: Το Σύμπαν έχει μια απίστευτη ιστορία

- Για ένα μικρό κλάσμα του sec, διαστελλόταν επιταχυνόμενα και το μέγεθός του αυξανόταν εκθετικά.
- Ακολούθως, για 9 δισ έτη η διαστολή του ήταν επιβραδυνόμενη, λόγω επικρατήσεως της ακτινοβολίας στην αρχή, και της ψυχρής ύλης μετά.
- Καθώς διαστελλόταν η εκ της ύλης πυκνότητα ενεργείας του μικραίνει, ενώ η εκ της ΣΕ παρέμενε σταθερά. Εδώ και 5 δισ έτη η διαστολή του ξανάγινε επιταχυνόμενη, λόγω επικρατήσεως τελικά της ΣΕ.
- Μόνο το 4% της ενεργείας του Σύμπαντος είναι δυνατόν να αποδοθεί σε γνωστές μορφές ύλης. Για τα υπόλοιπα χρειαζόμαστε 22% από ψυχρή ΣΥ και 74% από ΣΕ.
- Με βαθμωτά πεδία περιγράφουμε την **σημερινή επιταχυνόμενη διαστολή** . Παρόμοια πεδία χρησιμοποιούνται και για τον **πληθωρισμό** στην αρχή της Δημιουργίας και την **εμφάνιση της μάζης** διά του φαινομένου Higgs. Υπάρχουν τέτοια βαθμωτά πεδία;

Ερωτηματικά

- Ό,τι μετράμε στο Σύμπαν συμφωνεί με το σενάριο που σας παρουσίασα. Είναι όμως αυτή η αλήθεια ;
- Κβαντικές διεγέρσεις (αντίστοιχα στοιχειώδη σωματίδια) από τα βαθμωτά πεδία δεν έχουμε δει! Θα δούμε κάτι στο LHC ;
- Τι είναι τα σωματίδια της ΣΥ; Θα μπορέσει να τα δει το LHC, ή οι άμεσες ή έμμεσες μέθοδοί ανιχνεύσεως της στην γειτονιά μας;
- Τι είναι η ΣΕ; Μήπως δεν υπάρχει ΣΕ, αλλά κάποια **πεμπουσία** χαρακτηριζόμενη από αρνητική πίεση; Θα το μάθουμε ποτέ;
- Λόγω κβαντικών συνεισφορών, θα έπρεπε κανονικά το ϵ_Λ να ήταν κατά 10^{122} φορές μεγαλύτερο από την εμφανιζόμενη τιμή του $\epsilon_\Lambda \approx (0.002 \text{ eV})^4$. Η τιμή αυτή είναι και η **μεγίστη** επιτρεπομένη για να μπορεί το Σύμπαν να βαστάξει αστέρες ... Η φύση είναι γεμάτη τέτοιες συμπτώσεις ...
- Κάτι αν πήγαινε στραβά, το Σύμπαν θα είχε καταστραφεί αμέσως Πολύ πριν προλάβει να μας φιλοξενήσει.

Σκέφτομαι πως σε κάθε βήμα μοιάζει να χρειαζόταν ένας έλεγχος για να μπορέσει να επιζήσει το Σύμπαν και να προχωρήσει η Δημιουργία.

Ένας έλεγχος σαν αυτόν που η Γραφή περιγράφει με την παρήγορη και επαναλαμβανόμενη φράση:

Και είδεν ο Θεός ... ότι καλόν... (Γεν)