

Εισαγωγή στην Κοσμολογία

Γιώργος Νικολιδάκης

Περιεχόμενα

- Κοσμολογικές Ιδέες
- Κοσμολογία- Θεμελίωση ως Επιστήμη
- Παρατηρησιακά Δεδομένα στο Ορατό φώς
 - Ο νυχτερινός ουρανός είναι σκοτεινός
 - Αστέρες, Γαλαξίες
 - Τοπική ομάδα γαλαξιών
 - Σμήνη γαλαξιών, Υπερσμήνη, νημάτια, Τοίχοι, Κοσμικά κενά
- Δομή Μεγάλης κλίμακα του σύμπαντος
- Κοσμολογική αρχή
- Παρατηρησιακά δεδομένα στα μικροκύματα
 - Μικροκυματική Ακτινοβολία Υποβάθρου CMB
- Παρατηρησιακά δεδομένα στις ακτίνες -Χ
 - Ενδογαλαξιακό αέριο
- Παρατηρησιακά δεδομένα
 - Το σύμπαν διαστέλλεται
- Υλικό Περιεχόμενο του Σύμπαντος
- Ενεργειακό Περιεχόμενο του Σύμπαντος
- Το καθιερωμένο πρότυπο της Κοσμολογία

Από πού Ερχόμαστε ; Τι είμαστε ; Που πάμε ;

- Πίνακας του Paul Gauguin (Γκογκέν) προσπαθεί να απαντήσει στις ερωτήσεις του τίτλου.
- Οι τρεις γυναίκες με ένα παιδί αντιπροσωπεύουν την αρχή της ζωής.
- Η μεσαία ομάδα συμβολίζει την καθημερινή ύπαρξη της νεανικής ενηλικίωσης.
- Η τελική ομάδα, «μια ηλικιωμένη γυναίκα που πλησιάζει τον θάνατο φαίνεται να συμφιλιώθηκε και παραιτήθηκε από τις σκέψεις της». στα πόδια της, "ένα περίεργο λευκό πουλί ... αντιπροσωπεύει τη ματαιότητα των λέξεων" ή "τα άχρηστα μάταια λόγια".
- Το μπλε είδωλο στο παρασκήνιο αντιπροσωπεύει αυτό που ο Gauguin περιέγραψε ως "το Πέρα από".



Κοσμολογικές Ιδέες

- Κόσμο-λογία: κοσμών στολίζω ,Τάξη αρμονία
 - Βαβυλώνιοι -Χάος ->θεός γεννήτορας του κόσμου Αψού.
 - Αιγύπτιοι Ρα->δημιουργός του κόσμου.
 - Ελληνική Κοσμολογία
 - Θεογονία του Ησιόδου Χάος->Ύστερα εμφανίστηκε η Γαία και ο Έρως->ουρανό
 - Ο Δημόκριτος βασίστηκε σε επιστημονική μέθοδο και μελετά τον κόσμο με δεδομένα της φύσης.
 - Πίστευε ότι η ύλη αποτελούνταν από αδιάσπαστα άτομα.
 - Ο Γαλαξίας είναι το φως από μακρινά αστέρια.
 - Το σύμπαν έχει και άλλους "κόσμους" και μάλιστα ορισμένους κατοικημένους.
 - Το κενό δεν ταυτίζεται με το τίποτα ("μη ον"), είναι δηλαδή κάτι το υπαρκτό.
- Η κοσμολογία έγινε βαθμιαία πειραματική και παρατηρησιακή επιστήμη, αφού πρώτα πέρασε από πολλά στάδια.
- Η σύγχρονη κοσμολογία είναι κλάδος της αστροφυσικής που μελετά το σύμπαν σαν σύνολο
 - Πώς και γιατί γεννήθηκε το Σύμπαν
 - Από τι είναι φτιαγμένο το σύμπαν
 - Είναι άπειρο ή πεπερασμένο
 - Υπήρξε κάποια αρχή κάποτε στο χρόνο και τι υπήρχε πριν από αυτό
 - Θα τελειώσει κάποια στιγμή στο μέλλον
- Στην κοσμολογία οι αποστάσεις είναι πολύ μεγάλες τα αντικείμενα μεγάλα και η κλίμακα του χρόνου πολύ μεγάλη.



Κοσμολογία - Θεμελίωση ως Επιστήμη

- Το 1915 διατυπώνεται η Γενική Θεωρία της Σχετικότητας από τον Einstein,
 - Εισάγεται η γεωμετρία του χωρόχρονου, και οι εξισώσεις πεδίου
 - Περιλαμβάνουν την κοσμολογική σταθερά Λ , η οποία έχει σημαντική επιρροή στη μεγάλης κλίμακας δυναμική του σύμπαντος.
- Το 1922 ο Alexander Friedman διατύπωσε τις λύσεις των εξισώσεων Einstein που περιγράφουν ένα μη στατικό σύμπαν
 - Στο ίδιο συμπέρασμα έφτασε ανεξάρτητα και ο Lemaitre το 1927
 - Το 1929 ο Edwin Hubble το επιβεβαίωσε πειραματικά βασιζόμενος στις παρατηρήσεις του.
- Το 1931 Ο Georges Lemaître εικάζει πως όσο γυρνάμε πίσω στο χρόνο, το Σύμπαν γίνεται ολοένα και μικρότερο, μέχρις ότου όλη η ενέργεια να είναι συγκεντρωμένη σε ένα σημείο.
- Το 1948 ο G.Gamow κάνει την πρώτη πρόβλεψη για την Κοσμική Μικροκυματική Ακτινοβολία Υποβάθρου και αναφέρει ότι η ακτινοβολία από τον σχηματισμό των ελαφρών πυρήνων στο πρώιμο Σύμπαν αναγκαστικά συνεπαγόταν μεγάλη πυκνότητα ακτινοβολίας, που δεν θα μπορούσε να εξαφανιστεί χωρίς ίχνος αναφέρει μια προφητική τιμή 5K, χωρίς να δίνει εξηγήσεις.
- Τον Μάιο του 1964 οι Penzias και Wilson ανακαλύπτουν την Κοσμική ακτινοβολία υποβάθρου που είναι το απομεινάρι της ακτινοβολίας που εκπέμφθηκε στο πρώιμο σύμπαν 380.000 χρόνια μετά από τη μεγάλη έκρηξη.
 - Τα χρόνια που ακολούθησαν από τότε η Μικροκυματική Ακτινοβολία Υποβάθρου έχει μελετηθεί και έχει συμβάλει τα μέγιστα στο χτίσιμο του καθιερωμένου κοσμολογικού μοντέλου.
- Καθιερώνεται η Κοσμολογία σαν επιστήμη που προσπαθεί να απαντήσει σε ερωτήματα όπως η προέλευση και το μέλλον του σύμπαντος και τίθενται οι θεωρητικές βάσεις της πάνω στις οποίες θεμελιώθηκε η Θεωρία της Μεγάλης Έκρηξης και εντέλει το Καθιερωμένο πρότυπο της κοσμολογίας.

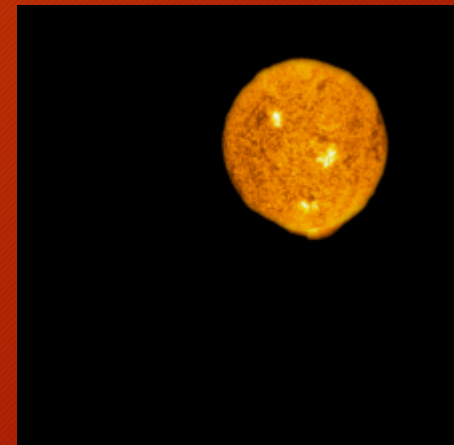
Εξισώσεις Friedman

$$\left(\frac{\dot{\alpha}}{\alpha}\right)^2 = \frac{8\pi G}{3}\rho(t) - \frac{kc^2}{r_0^2\alpha^2} + \frac{\Lambda}{3}$$

$$\frac{\ddot{\alpha}}{\alpha} = -\frac{4\pi G}{3}\left(\rho + \frac{3p}{c^2}\right) + \frac{\Lambda}{3}$$

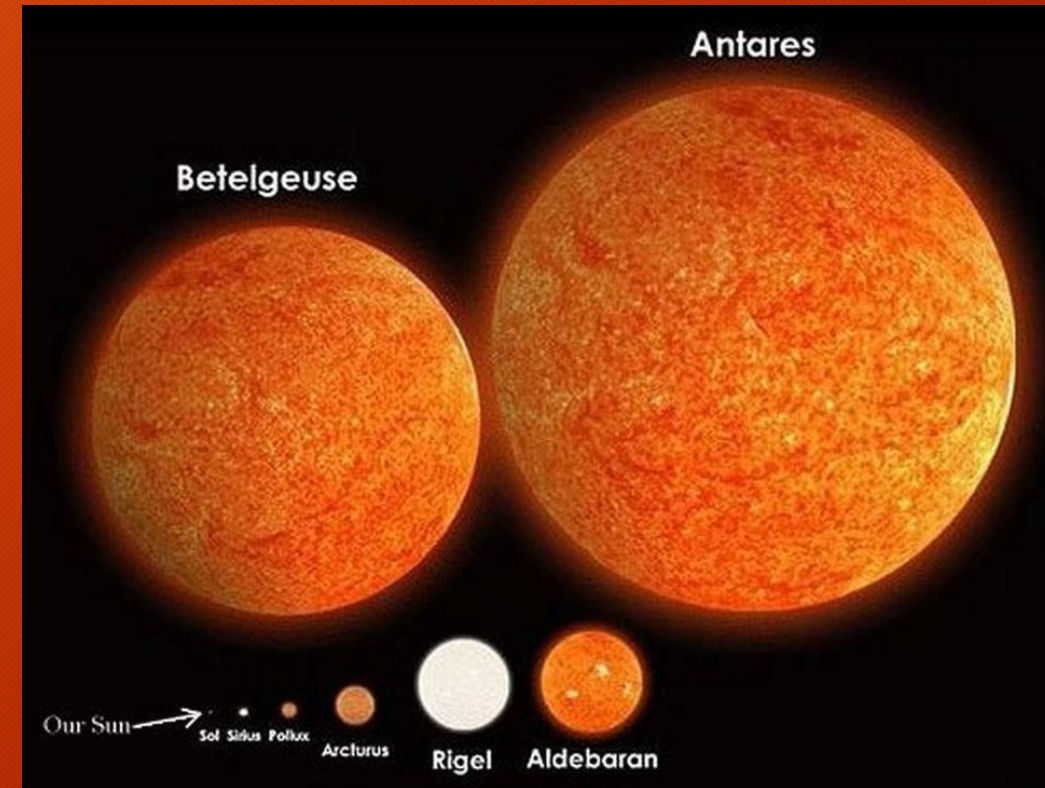
Παρατηρησιακά Δεδομένα

- Ο νυχτερινός ουρανός είναι σκοτεινός
- Παράδοξο του Olber (1826) Γερμανός ερασιτέχνης αστρονόμος Heinrich Olbers απέδειξε ότι ένα ομοιογενές και ισότροπο σύμπαν δεν μπορεί να είναι ταυτόχρονα άπειρης ηλικίας, άπειρο σε μέγεθος και στατικό.
 - Διότι οπουδήποτε και να κοιτάζαμε θα υπήρχε ένα άστρο στην γραμμή παρατήρησης και ο ουρανός θα ήταν ομοιόμορφα φωτεινός όσο και την μέρα.
 - Επιπλέον η ενέργεια ανά μονάδα χρόνου και επιφάνειας που θα έφτανε από άπειρα αστέρια σε μια μονάδα επιφάνειας στην Γη θα ήταν άπειρη.
- Γνωρίζουμε ότι στο Σύμπαν δεν παρατηρούμε κάτι από τα παραπάνω. Επομένως το ορατό Σύμπαν μας, το τμήμα του Σύμπαντος με το οποίο έχουμε επικοινωνήσει μέχρι σήμερα, δεν είναι στατικό, δεν έχει άπειρη ηλικία, ούτε είναι άπειρο σε έκταση.
 - Το Σύμπαν δεν είναι άπειρο σε μέγεθος διότι τότε δεν θα υπάρχουν αρκετά αστέρια για να καλύψουν το σύνολο του ουρανού
 - Δεν θα έχει άπειρη ηλικία επειδή λόγω πεπερασμένης ταχύτητας του φωτός τα ορατά άστρα θα είναι αυτά που η απόστασή τους είναι μικρότερη από αυτή που διανύει το φως την στιγμή της γέννησής του.
 - Είτε διαστέλλεται και τα φωτόνια μετατοπίζονται σε χαμηλότερες ενέργειες.



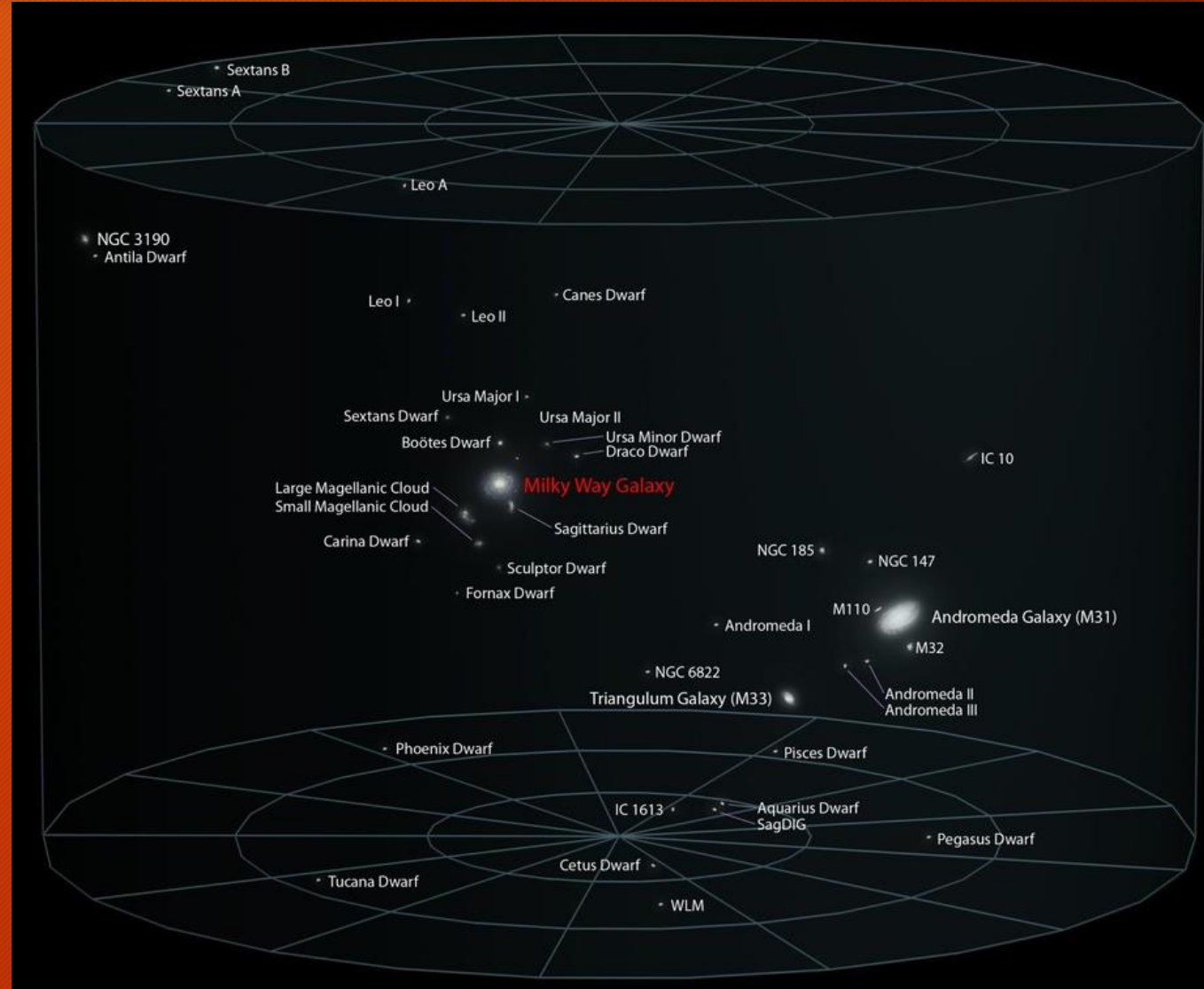
Παρατηρησιακά δεδομένα στο ορατό φως

- Αστέρες
 - Η κύρια πηγή ορατού φωτός είναι η πυρηνική σύντηξη στο εσωτερικό των αστέρων.
 - Μάζες από 0.1 έως 50 ηλιακές.
- Γαλαξίες
 - Ελλειπτικοί , σπειροειδείς, 10^{11} αστρές



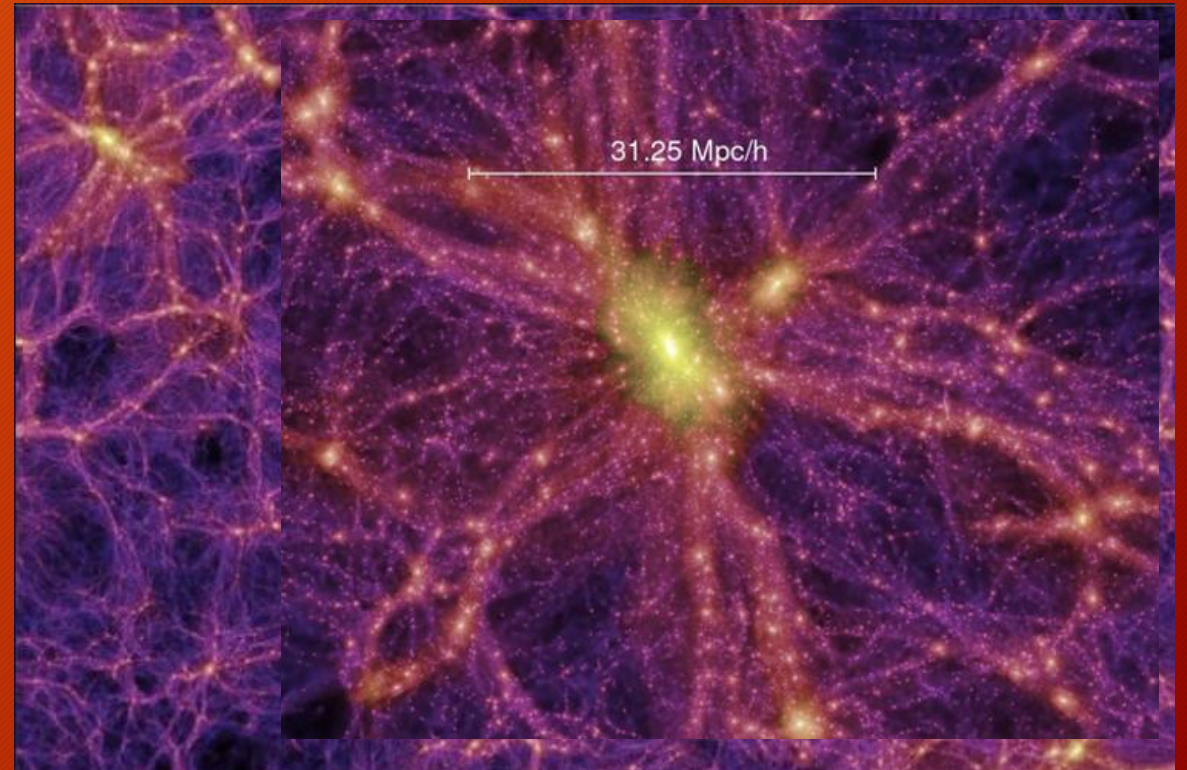
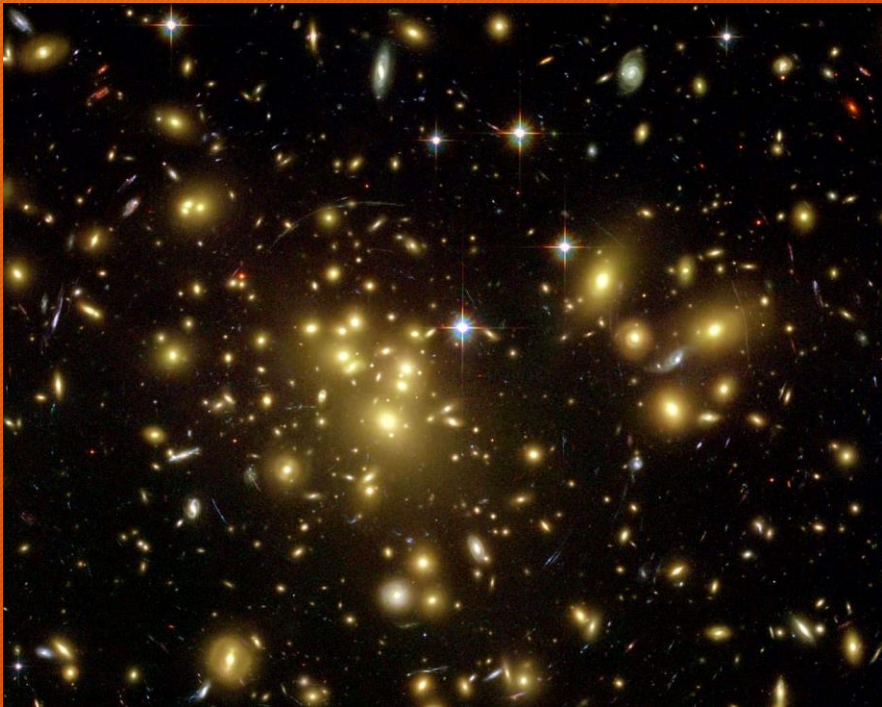
Παρατηρησιακά δεδομένα στο ορατό φως

- Τοπική ομάδα γαλαξιών
 - Τυπικός όγκος μερικά κυβικά Μεγαπαρσέκ.
 - Η Τοπική Ομάδα γαλαξιών περιλαμβάνει τουλάχιστο 40 γαλαξίες μέσα σε απόσταση περίπου 1 Mpc
 - Μερικά μέλη είναι νάνοι γαλαξίες πολύ μικροί και αμυδροί
 - Γύρω από το Γαλαξία μας βρίσκονται το Μεγάλο και το Μικρό Νέφος του Μαγγελάνου που απέχει 50 κpc και 9 νάνοι γαλαξίες.
 - Πολλοί επίσης βρίσκονται γύρω από την Ανδρομέδα (770 κpc)



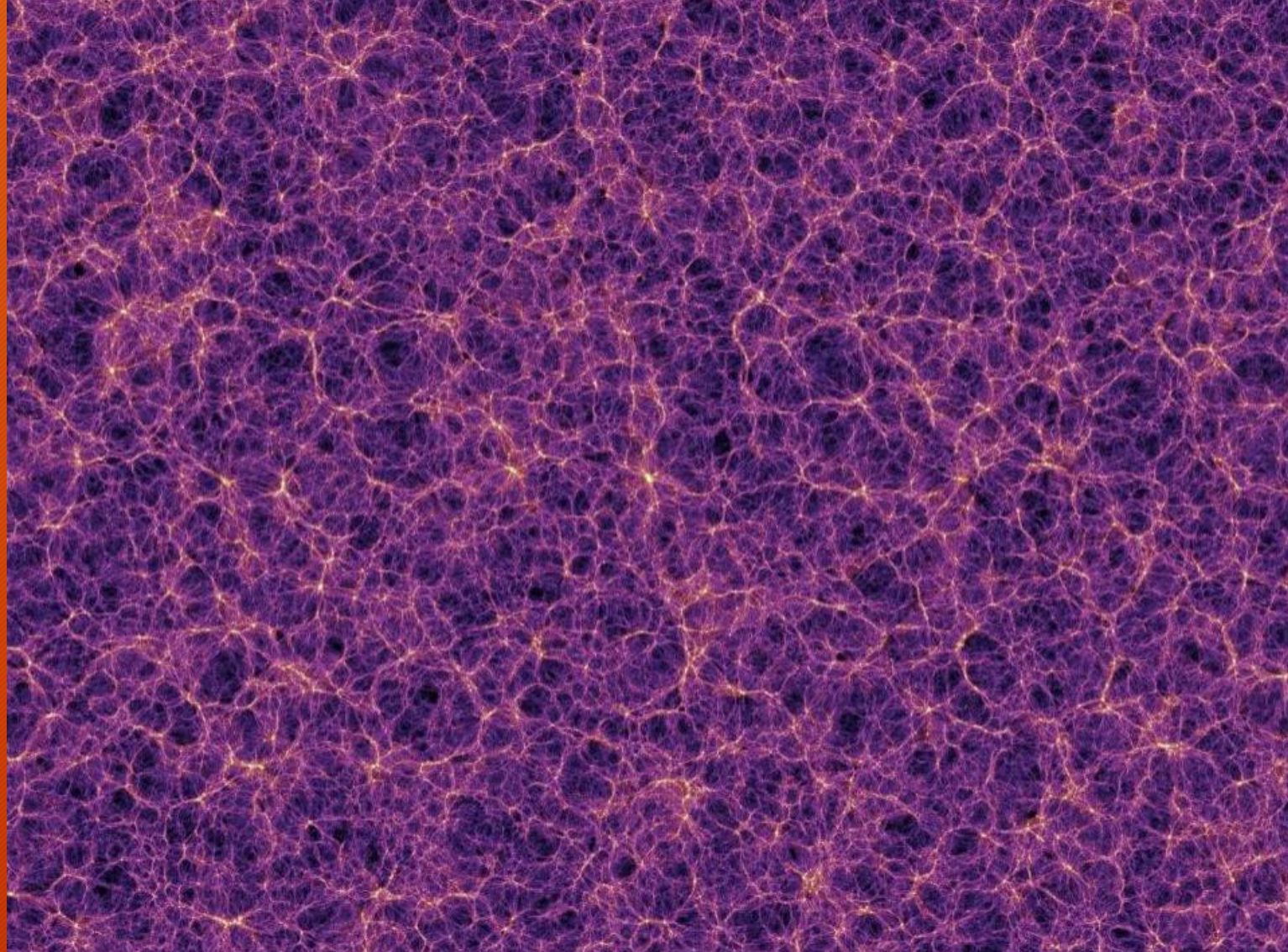
Παρατηρησιακά δεδομένα στο ορατό φως

- Δομές : Σμήνη γαλαξιών, Υπερσμήνη, Κοσμικά κενά
 - Μεγάλες περιχές της τάξης των Mpc , Σμήνος της κόμης Περιέχει περίπου 10000 γαλαξίες.
 - Οι γαλαξίες είναι κατανεμημένοι σε ομάδες των 100 έως 10.000 γαλαξιών σε σμήνη και καθένας από αυτούς αποτελείται κατά μέσο όρο από 100 δισεκατομμύρια αστέρες.
 - Χαρακτηρίζεται από την παρουσία μεγάλων ποσοτήτων διάχυτης μεσοαστρικής και ενδογαλαξιακής ύλης.
 - Τα σμήνη ομαδοποιούνται σε υπερσμήνη που συνδέονται με κοσμικά νήματα (Filaments) και τοίχους από γαλαξίες (Walls)
 - Ανάμεσά τους αυτές οι δομές που μοιάζουν με κοσμικό αφρό ή σφουγγάρι και περιέχουν κοσμικά κενά (Voids) της τάξης των 50 Mpc



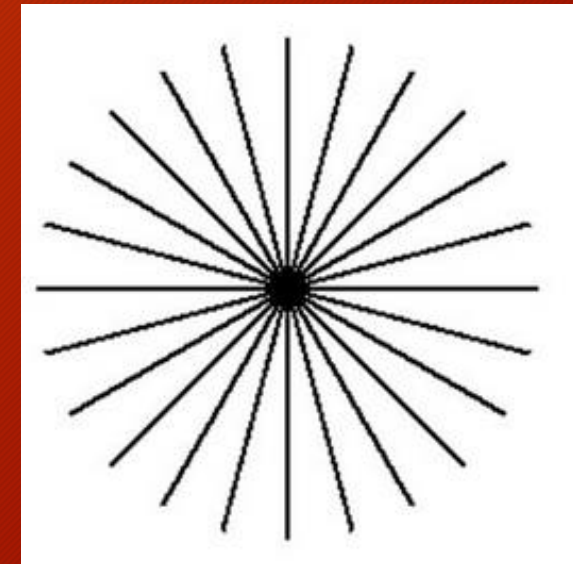
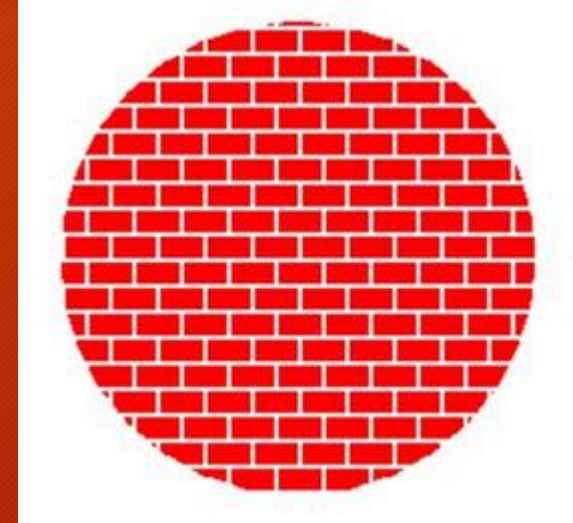
Δομή Μεγάλης κλίμακας του σύμπαντος

- Σε κλίμακες μεγαλύτερες από 100 Mpc το σύμπαν αρχίζει να ομαλοποιείται
- Όπως φαίνεται από εξαιρετικά μεγάλες γαλαξιακές απεικονίσεις
 - 2dF galaxy redshift
 - Sloan Digital Sky Survey
- Αυτές οι απεικονίσεις βρίσκουν ότι τα Voids και τα νημάτια filaments είναι οι μεγαλύτερες δομές που υπάρχουν στο σύμπαν.
- Η μεγάλης κλίμακας δομή του σύμπαντος μας δείχνει μια νηματώδη διασύνδεση όλων των γαλαξιακών δομών σε ένα τεράστιο κοσμικό ιστό και μια ομοιογενή κατανομή της ύλης μέσα σε αυτόν. Στον κοσμικό ιστό οι λεπτές νηματώδεις δομές που παρατηρούμε δεν είναι τίποτα άλλο από γαλαξίες διασυνδεδεμένους μεταξύ τους από την βαρύτητα η οποία είναι η μόνη δύναμη που επικρατεί σε μεγάλη κλίμακα ενώ στα σημεία που διασταυρώνονται με άλλα νημάτια, σχηματίζονται μεγαλύτερες δομές που είναι συγκεντρώσεις γαλαξιών σε γαλαξιακά σμήνη.
- Η περιοχή του σύμπαντος που είναι ορατή σήμερα με τα σύγχρονα όργανα εκτείνεται σε μια διάμετρο μέχρι 96 δισεκατομμύρια έτη φωτός και περιέχει περίπου 170 δισεκατομμύρια γαλαξίες.



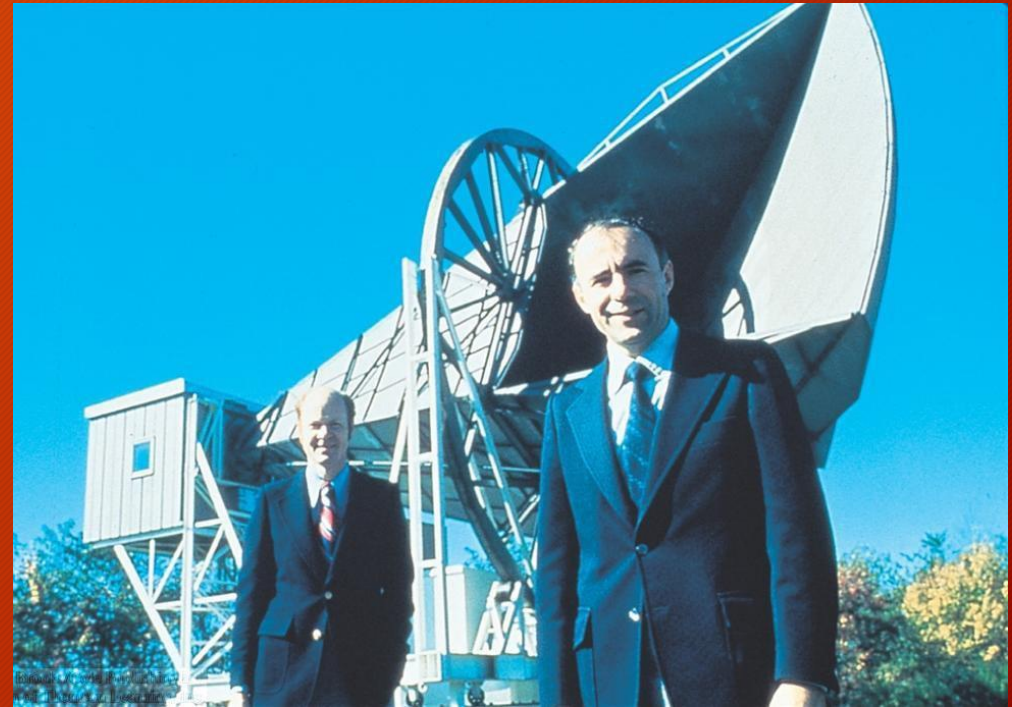
Κοσμολογική αρχή

- Σε μεγάλες κλίμακες μεγαλύτερες από 100 Mpc
- Το σύμπαν είναι ισότροπο
 - Δεν υπάρχει προεξάρχουσα διεύθυνση στο σύμπαν
 - Φαίνεται το ίδιο σε οποιαδήποτε κατεύθυνση και να παρατηρήσουμε
- Το σύμπαν είναι ομογενές
 - Δεν υπάρχει προεξάρχουσα θέση
 - Φαίνεται το ίδιο σε οποιαδήποτε θέση τοποθετήσουμε το σημείο παρατήρησης
- Το ότι κάτι είναι ομοιογενές δεν οδηγεί στο ότι είναι και ισότροπο και το αντίστροφο
 - Ομογενές αλλά όχι ισότροπο
 - Ίστροπο αλλά όχι ομογενές
- Η μοντέρνα κοσμολογία έχει υιοθετήσει την αρχή του Κοπέρνικου
 - Δεν κατέχουμε κάποια εξαιρετική ή προνομιούχα θέση στο σύμπαν .



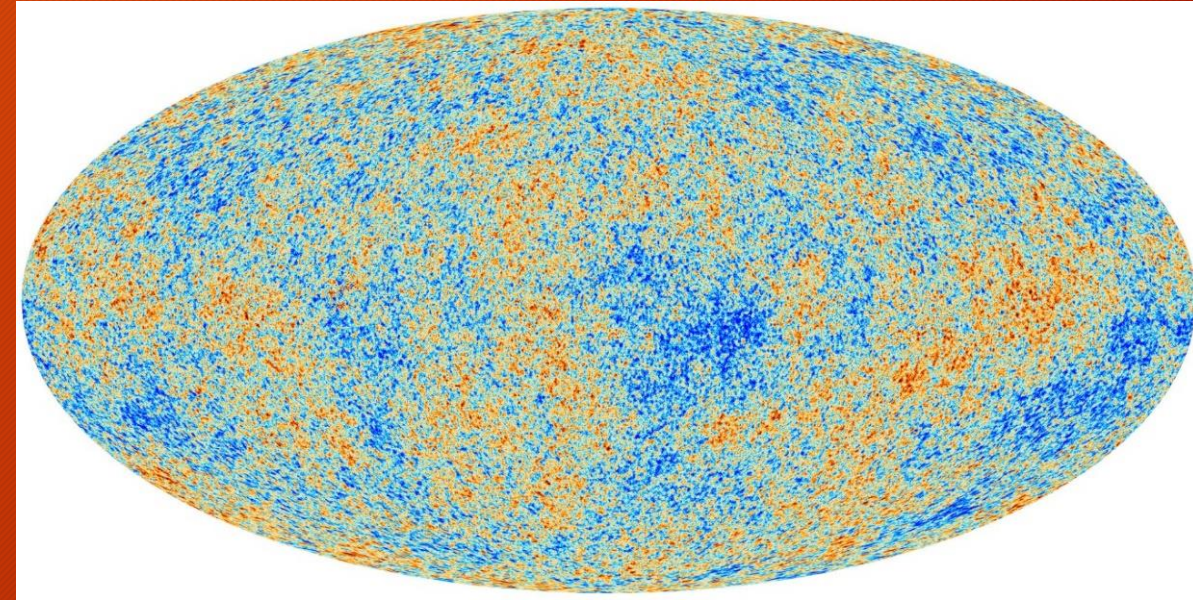
Παρατηρησιακά δεδομένα στα μικροκύματα

- Για την κοσμολογία είναι η πιο σημαντική ζώνη συχνοτήτων.
- Τον Μάιο του 1964 δύο νέοι ερευνητές φυσικοί από τα εργαστήρια της Bell, οι Arno Penzias και Robert Wilson άρχισαν να κάνουν αστρονομικές μετρήσεις από διάφορες πηγές ραδιακτινοβολίας στον ουρανό και κυρίως από γαλαξίες που εκπέμπουν στα ραδιοκύματα στην περιοχή $\lambda = 7.35 \text{ cm}$. Χρησιμοποιώντας μια κωνοειδή κεραία.
- Οι δυο φυσικοί στην προετοιμασία για τις μετρήσεις τους αντιμετώπισαν ένα τεχνικό, όπως νόμισαν, πρόβλημα παρασίτων.
- Όπου και να έστρεφαν την κεραία στον ουρανό εμφανιζόταν η ίδια ακτινοβολία η οποία έμοιαζε να προέρχεται από όλες τις κατευθύνσεις και είχε μια θερμοκρασία περίπου 3 βαθμούς Κέλβιν.



Μικροκυματική Ακτινοβολία Υποβάθρου CMB

- Τα «παράσιτα», από τα οποία προσπαθούσαν να απαλλαγούν, αποδείχθηκε ότι αποτελούσαν την σημαντικότερη ίσως παρατηρησιακή ανακάλυψη στην Ιστορία της Επιστήμης.
- Επρόκειτο για την αρχέγονη Μικροκυματική Ακτινοβολία Υποβάθρου CMB (Cosmic Microwave Background) απομεινάρι από το πρώιμο σύμπαν.
- Για την ανακάλυψή τους αυτή μοιράστηκαν το βραβείο Nobel Φυσικής το 1978.
- Τα χρόνια που ακολούθησαν από τότε η Μικροκυματική Ακτινοβολία Υποβάθρου (CMB) έχει μελετηθεί σε διάφορες συχνότητες κατευθύνσεις και πολώσεις, τόσο με επίγεια πειράματα όσοι και με διαστημικές αποστολές και μας δίνει πληθώρα πληροφοριών για το κοσμολογικό μοντέλο που αφορά στη σύνθεση, στη δομή και την εξέλιξη του σύμπαντος.



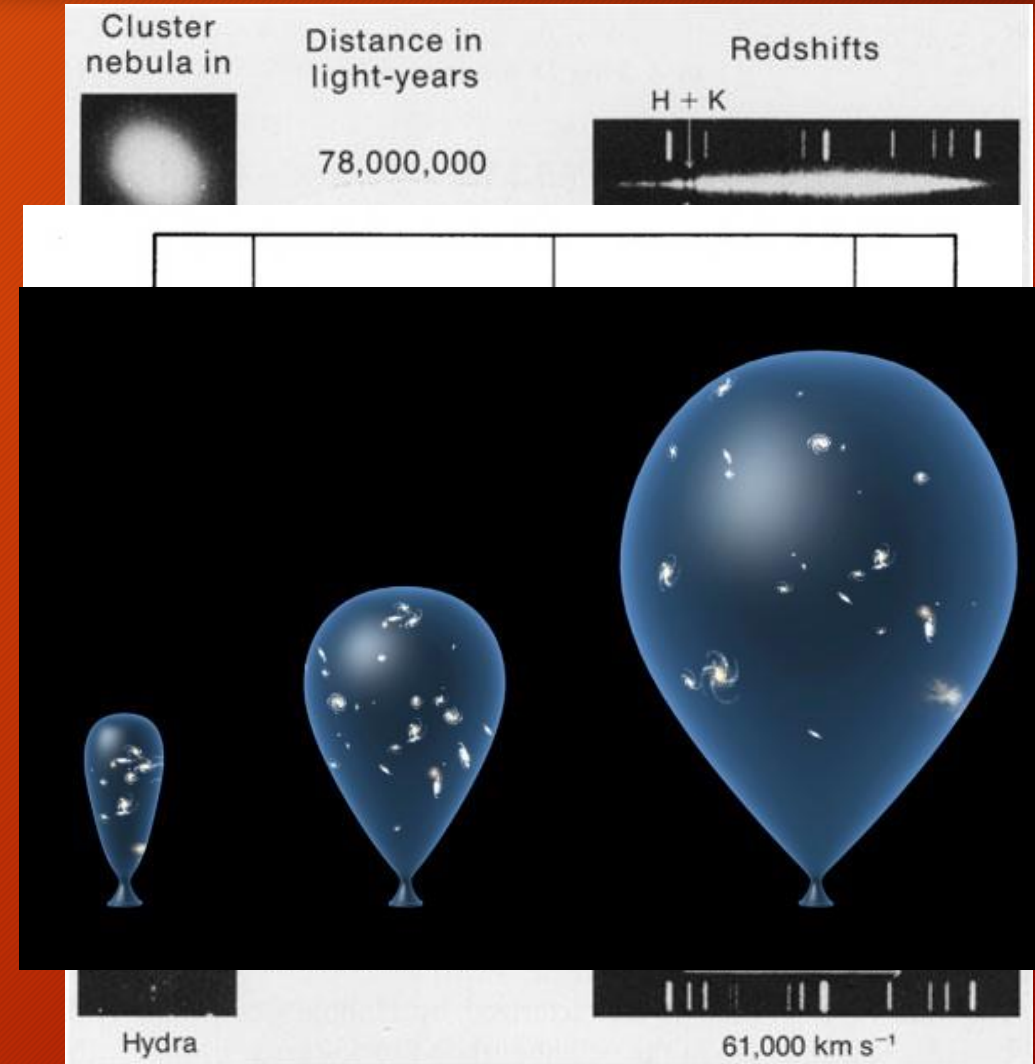
Παρατηρησιακά δεδομένα στις ακτίνες -X

- Ενδογαλαξιακό αέριο
- Ανάμεσα στους γαλαξίες υπάρχει αέριο το οποίο εκπέμπει στις ακτίνες -X αντιστοιχώντας σε θερμοκρασίες δεκάδες εκατομμυρίων βαθμών Κελσίου
- Αυτό το αέριο είναι απομεινάρι από τον σχηματισμό των γαλαξιών που απέτυχε να καταρρεύσει και να σχηματίσει αστέρες.
- Από τους δορυφόρους RoSat και από το Chandra ανιχνεύεται πλάσμα
- $8 \text{ keV} \approx 9 \times 10^7 \text{ K}$



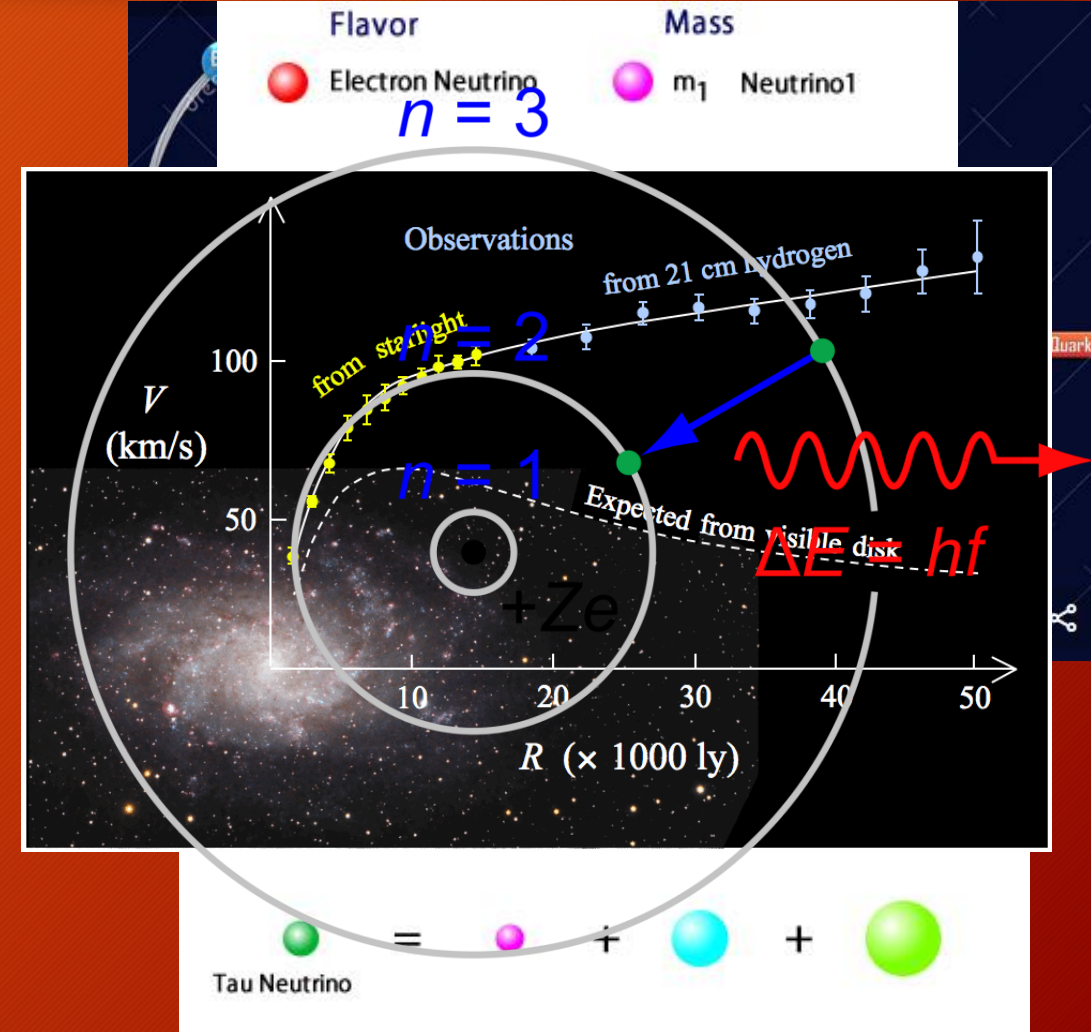
Παρατηρησιακά δεδομένα : Το σύμπαν διαστέλλεται

- Το 1929 ο Αμερικανός αστρονόμος Edwin Hubble μετρώντας το φάσμα απορρόφησης μακρινών γαλαξιών που οφείλονται στο υδρογόνο, ασβέστιο και άλλα στοιχεία, παρατήρησε μια μετατόπιση στις αναμενόμενες τιμές προς το Ερυθρό μέρος του φάσματος (Ερυθρομετατόπιση)
- Διατύπωσε μια εξίσωση η οποία έγινε γνωστή ως νόμος του Hubble. $v = H_0 d$
- Όπου v η ακτινική ταχύτητα απομάκρυνσης του γαλαξία, d η απόσταση του γαλαξία από τον παρατηρητή και H_0 μια σταθερά που ονομάζεται σταθερά Hubble.
- Συμπερασματικά σε οποιαδήποτε διεύθυνση κι αν κοιτάξουμε, βλέπουμε γαλαξίες να απομακρύνονται από εμάς και όσο πιο απομακρυσμένοι είναι οι γαλαξίες, τόσο ταχύτερα κινούνται.
- Οι γαλαξίες μας δεν κατέχει μια ιδιαίτερη θέση στο σύμπαν και επομένως θα πρέπει να είχαμε την ίδια εικόνα αν παρατηρούσαμε το σύμπαν από έναν άλλο γαλαξία. Θα πρέπει συνεπώς να φανταστούμε ότι διαστέλλεται ολόκληρο το σύμπαν στο οποίο περιέχονται οι γαλαξίες



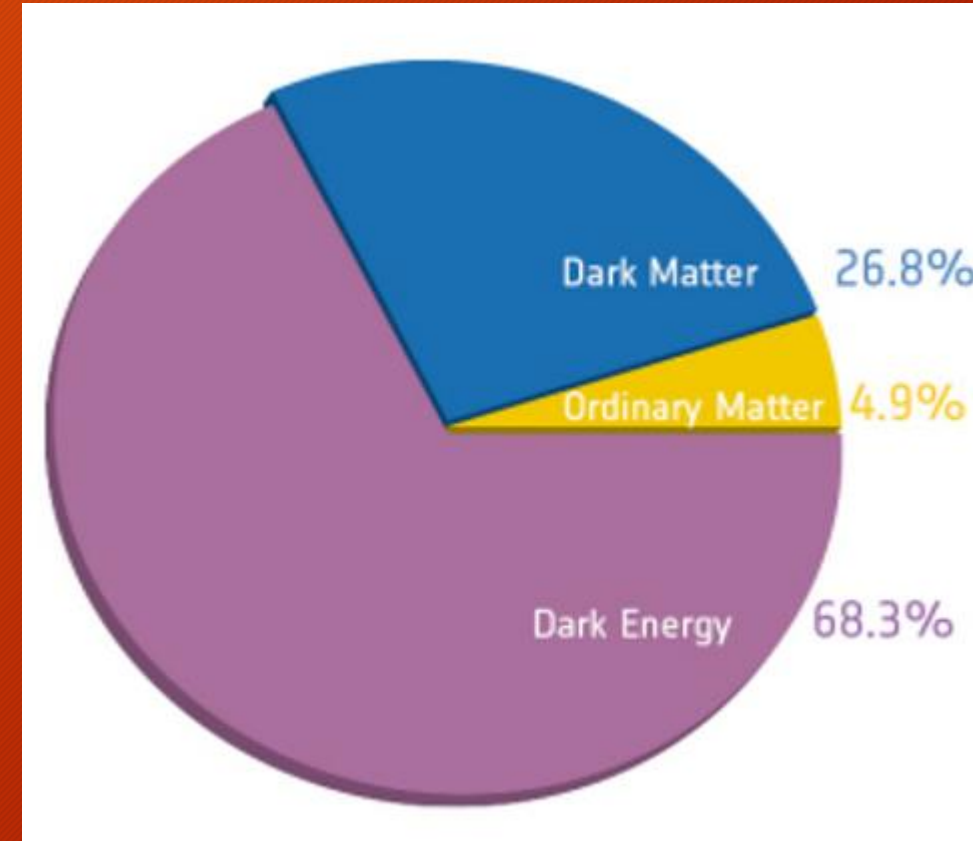
Υλικό Περιεχόμενο του Σύμπαντος

- Βαρυόνια
 - Πρωτόνια, Νετρόνια $m_p c^2 = 938.27 \text{ MeV}$
 - Αποτελούνται από Quarks
 - Τα ελεύθερα νετρόνια είναι ασταθή και διασπώνται σε πρωτόνια σε χρόνους $\tau = 8880 \text{ sec}$
 - Ηλεκτρόνια $m_e c^2 = 0.511 \text{ MeV}$
 - Σε μεγάλες κλίμακες το σύμπαν είναι ουδέτερο
- Νετρίνα
 - Αντιδρούν πολύ ασθενώς με την υπόλοιπη ύλη
 - Βρίσκονται σε κβαντική υπέρθεση σε τρεις «γέυσεις» (ν_e, ν_μ, ν_τ)
 - Ταλαντώνουν μετατρέποντας από το ένα είδος στο άλλο δίνοντας ταυτόχρονα πολύ μικρές μάζες. $\sim 10^{-3} - 10^{-5} \text{ eV}^2$
 - Δεύτερα σε αφθονία μετά τα φωτόνια
 - Cosmic neutrino background
- Ακτινοβολία
 - Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία
 - Αποτελείται από πακέτα ενέργειας γνωστά ως φωτόνια. $E = hf$
 - Αλληλοεπιδρούν με την ύλη
 - Cosmic microwave background
- Σκοτεινή εξωτική ύλη
 - Άγνωστης προέλευσης ύλη που δεν ακτινοβολεί και δεν αλληλοεπιδρά με την συνηθισμένη ύλη.
 - Προτάθηκε αρχικά για να εξηγήσει την ανωμαλία στις παρατηρούμενες περιστροφικές ταχύτητες των αστερών και των αερίων στα εξωτερικά των γαλαξιών.
 - Η καμπύλη περιστροφής ενός γαλαξιακού δίσκου (που ονομάζεται επίσης καμπύλη ταχύτητας)



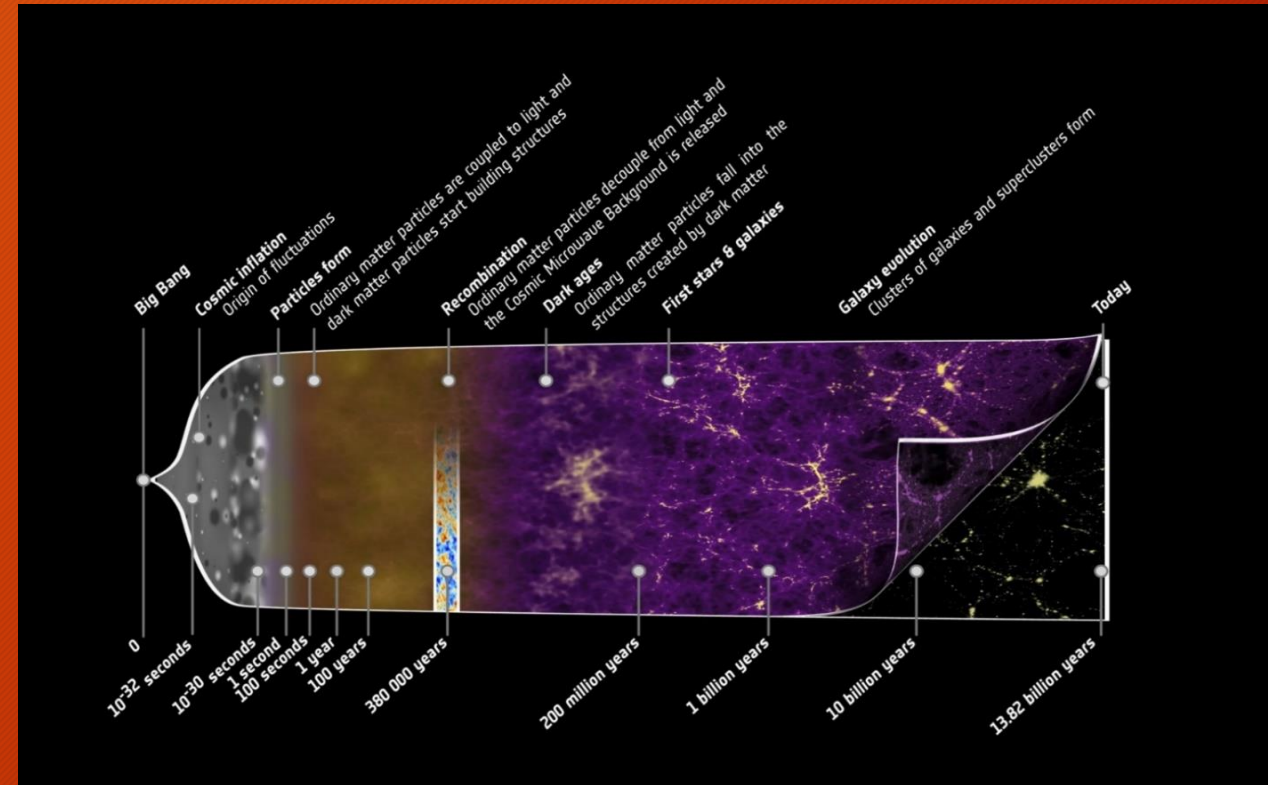
Ενεργειακό Περιεχόμενο του Σύμπαντος

- Στην βάση του μοντέλο Λ CDM το οποίο είναι μια παραμετροποίηση του κοσμολογικού μοντέλου της Μεγάλης Έκρηξης στο οποίο το σύμπαν περιέχει την κοσμολογική σταθερά Λ και την ψυχρή σκοτεινή ύλη CDM Cold Dark Matter
- Η κατανομή της ύλης και της ενέργειας στο σύμπαν με βάση τα αποτελέσματα υψηλής ακρίβειας του Planck.
- Η ύλη συμβάλει στο 31,7 του αποθέματος μάζας/ενέργειας του Σύμπαντος.
 - Η κανονική ύλη που δημιουργεί τα αστέρια και τους γαλαξίες συμβάλλει στο 4,9%.
 - Η σκοτεινή ύλη, η οποία ανιχνεύεται έμμεσα από την βαρυτική επίδρασή της στην κανονική ύλη, καταλαμβάνει το 26,8%
- Η σκοτεινή ενέργεια, μια μυστηριώδης δύναμη που θεωρείται υπεύθυνη για την επιτάχυνση της διαστολής του Σύμπαντος, αντιστοιχεί στο 68,3%.



Κοσμολογία - Καθιερωμένο πρότυπο

- Στα επόμενα θα διερευνήσουμε το καθιερωμένο κοσμολογικό πρότυπο σύμφωνα με το οποίο το Σύμπαν γεννήθηκε πριν από περίπου 13,8 δισεκατομμύρια χρόνια την χρονική στιγμή $t = 0$ σε μια υπέρθερμη και υπέρπυκνη κατάσταση και έκτοτε διαστέλλεται και ψύχεται συνεχώς (Hot Big Bang).
- Από την Χρονική στιγμή 0 έως τον χρόνο Planck ($E \geq 10^{15} \text{ GeV}$) εικάζεται σύμφωνα με την μεγάλη ενοποιημένη θεωρία (GUT) ότι οι τέσσερις θεμελιώδεις δυνάμεις της φύσης: η Βαρυτική, η Ισχυρή Πυρηνική, η Ασθενής Πυρηνική και η Ηλεκτρομαγνητική, παρουσιάζονταν ενοποιημένες σε μία δύναμη ενώ η πυκνότητα της ενέργειας, όσο και η καμπυλότητα του χώρου έτειναν προς το άπειρο.
- Τη χρονική στιγμή $t = 5 \times 10^{-43}$ δευτερόλεπτα σε μια διαδικασία που ονομάζεται αυθόρμητο σπάσιμο της συμμετρίας (πάγος-νερό), η βαρύτητα αποχωρίζεται και αποτελεί ξεχωριστή δύναμη και ταυτόχρονα γίνεται ο διαχωρισμός της ισχυρής πυρηνικής.
- Η απελευθέρωση της ισχυρής πυρηνικής αποτέλεσε την αιτία για μια μετάβαση φάσεως (phase transition) και την έναρξη μιας περιόδου εκθετικής διαστολής του σύμπαντος. Η φάση αυτή της πληθωριστικής διόγκωσης κράτησε 10^{-33} δευτερόλεπτα και μεγάλωσε το μέγεθος του σύμπαντος κατά 10^{26} φορές.
- Το Πληθωριστικό Μοντέλο (Inflation) δίνει λύσεις στο λεγόμενο “Πρόβλημα Ορίζοντα” στο πρόβλημα της επιπεδότητας αλλά και στην ανυπαρξία μαγνητικών μονοπόλων. (Carroll et al., 2014).
- Το Σύμπαν ήταν σε μία υπέρθερμη κατάσταση και τα συστατικά του αποτελούνταν από πρωτόνια, νετρόνια, ηλεκτρόνια, ποζιτρόνια, φωτόνια, νετρίνα, κουάρκ και αντικουάρκ σε θερμοκρασία $10^{10} \text{ }^\circ\text{C}$ τα οποία συγκρούονταν και μετασχηματιζόταν από το ένα στο άλλο.
- Τα φωτόνια της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σκεδάζονταν συνεχώς απ’ αυτά τα σωματίδια και δεν μπορούσαν να διαφύγουν ελεύθερα στο Διάστημα, μεταφέροντας πληροφορίες απ’ αυτή την αρχέγονη εποχή.



Καθιερωμένο πρότυπο

- Σε θερμοκρασία $k_B T = 0.8 \text{ eV}$ (10 δισεκατομμυρίων βαθμών) τα νετρίνα-αντινετρίνα αποσυνδέθηκαν από τα υπόλοιπα σωματίδια και οι δυνάμεις ασθενούς αλληλεπίδρασης σταμάτησαν να μετατρέπουν τα νετρίνια σε πρωτόνια μέσω της αντίδρασης $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$: Ο λόγος πρωτονίων προς νετρίνια σταθεροποιήθηκε σε μία τιμή.
- Καθώς το Σύμπαν συνέχισε να διαστέλλεται και να ψύχεται ($E = 1 \text{ MeV}$ χρόνος περίπου $t = 1 \text{ s}$), τα νετρίνια άρχισαν να ενώνονται με τα πρωτόνια, σχηματίζοντας πυρήνες δευτερίου. $p + n \rightleftharpoons D + \gamma$. Στη συνέχεια, το δευτέριο συντήχθηκε στο μεγαλύτερο μέρος του σε πυρήνες ηλίου $D + p \rightarrow {}^3\text{He}$, $D + D \rightarrow {}^4\text{He}$, ενώ παράλληλα σχηματίστηκαν και ίχνη λιθίου. Αυτή η περίοδος της αρχέγονης πυρηνοσύνθεσης όπως ονομάζεται, ολοκληρώθηκε αμέσως μετά τον σχηματισμό λιθίου, αφού η επακόλουθη μείωση της θερμοκρασίας του Σύμπαντος εμπόδισε το σχηματισμό βαρύτερων πυρήνων οι οποίοι θα σχηματιστούν αρκετά αργότερα, στο εσωτερικό των άστρων.
- Μετά το πέρας της πυρηνοσύνθεσης, το Σύμπαν εξακολουθούσε να είναι τόσο θερμό, ώστε η ύλη που εμπεριείχε ήταν πλήρως ιονισμένη, δηλαδή αποτελούνταν από ελεύθερα αρνητικά φορτισμένα ηλεκτρόνια και ελαφρούς ατομικούς πυρήνες θετικά φορτισμένους σε κατάσταση πλάσματος.
- Η κατανομή της ακτινοβολίας στο ζεστό πρώιμο σύμπαν ήταν κατανομή μέλανος σώματος, αλλά το αρχικό σύμπαν ήταν πολύ πυκνό και αδιαφανές στην ακτινοβολία αφού τα φωτόνια σκεδάζονταν διαδοχικά στο πυκνό αέριο των ηλεκτρονίων. Όταν πέρασαν 380.000 χρόνια μετά από τη μεγάλη έκρηξη, η θερμοκρασία του είχε μειωθεί περίπου στους 3000 K, γεγονός που επέτρεψε στα πρωτόνια να ενωθούν με τα ελεύθερα ηλεκτρόνια και να σχηματίσουν ουδέτερο υδρογόνο σε μια διαδικασία που ονομάζεται επανασύνδεση. Με τα ηλεκτρόνια να συλλαμβάνονται από τα άτομα, η πυκνότητα των ελεύθερων ηλεκτρονίων έγινε αρκετά χαμηλά ώστε η μέση ελεύθερη διαδρομή των φωτονίων έγινε πολύ μεγαλύτερη της τάξης μεγέθους του σύμπαντος και το φως ήταν ελεύθερο να διαδοθεί.
- Απ' αυτήν την χρονική στιγμή και μετά, τα φωτόνια της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας μπορούσαν να διαφύγουν και να ταξιδέψουν ανεμπόδιστα. Το σύμπαν έγινε διαφανές και το πρώτο φως παρουσιάστηκε. Τα φωτόνια της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που «απελευθερώθηκαν» ακριβώς τότε, έχουν φτάσει στις μέρες μας, και είναι γνωστά ως Κοσμική Ακτινοβολία Υποβάθρου CMB και αποτελούν το πλέον αρχέγονο φως που είναι δυνατόν να ανιχνεύσουμε στο Σύμπαν.

Κοσμολογία....

- Τέλος 1^{ου} Μέρους
- Συνεχίζεται... Ευχαριστώ...
- Πηγές .. Μέχρι τώρα :
 - Carroll, B. W., & Ostlie, D. A. (2014). An introduction to modern astrophysics. Harlow: Pearson.
 - Liddle, A. (2015). An Introduction to Modern Cosmology, 3rd Edition. John Wiley & Sons.
 - Ryden, B. S. (2017). Introduction to cosmology. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press.
 - Περιβολαρόπουλος Λ : CD ΠΣΦ-ΕΑΠ Εισαγωγή στην Κοσμολογία.