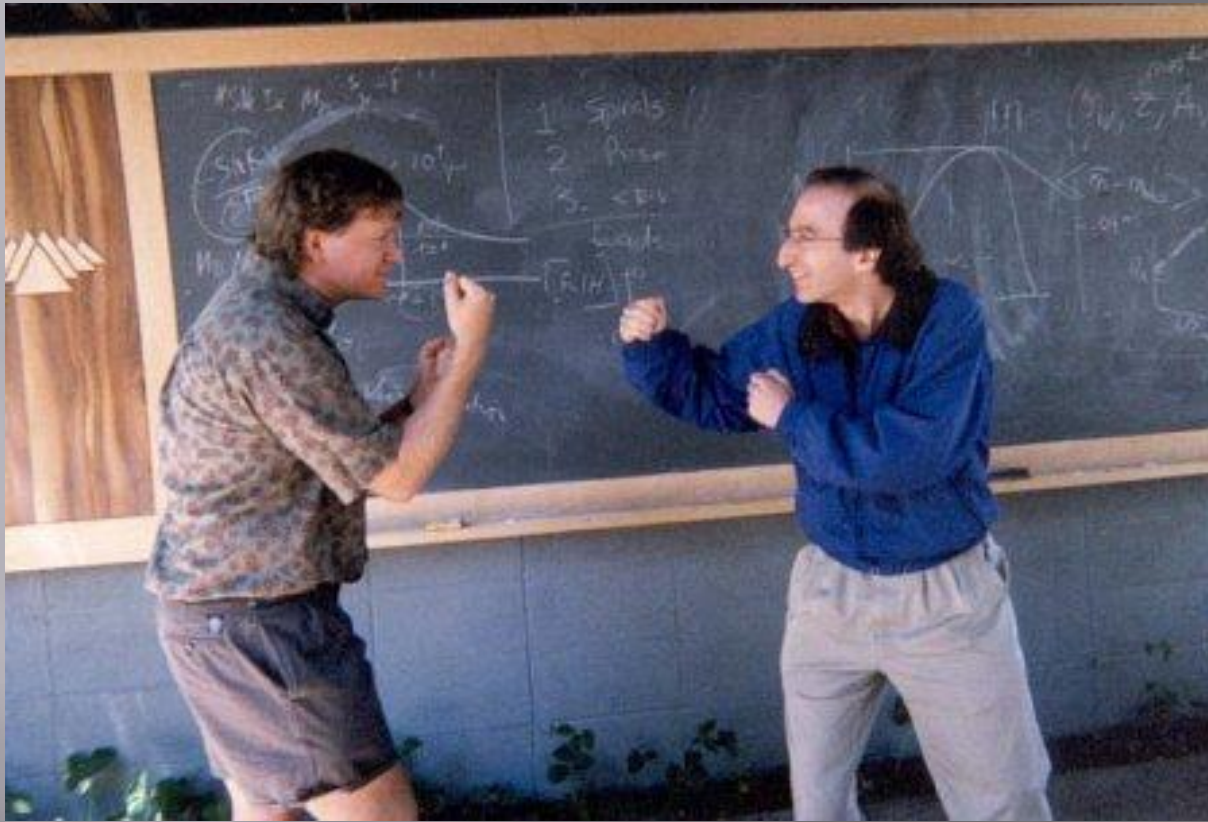


ΕΠΙΤΑΧΥΝΟΜΕΝΟ ΣΥΜΠΑΝ: ΒΡΑΒΕΙΟ ΝΟΜΠΕΛ ΦΥΣΙΚΗΣ 2011

Χάρης Βάρβογλης
Σπουδαστήριο Μηχανικής Α.Π.Θ.



Αφιερώνω την
ομιλία μου στη
μνήμη του
Γιάννη
Αντωνόπουλου,
συνάδελφου και
συνεργάτη



Brian P. Smith
Australian National University

Saul Perlmutter
University of California, Berkeley



Adam G. Riess
Johns Hopkins University & STSI

Σύγχρονη Κοσμολογία



- Η θεωρία της βαρύτητας του Νεύτωνα δεν ήταν σε θέση να περιγράψει το Σύμπαν. Αιτία: προέβλεπε τον απειρισμό της έλξης σε ένα άπειρο Σύμπαν και την «κατάρρευση» ενός πεπερασμένου.



- Η Κοσμολογία "ξεκίνησε" ως επιστήμη με τη Γενική Θεωρία Σχετικότητας (ΓΘΣ) του Αϊνστάιν, το 1916 (κατά τη διάρκεια του Α' παγκόσμιου πολέμου!)

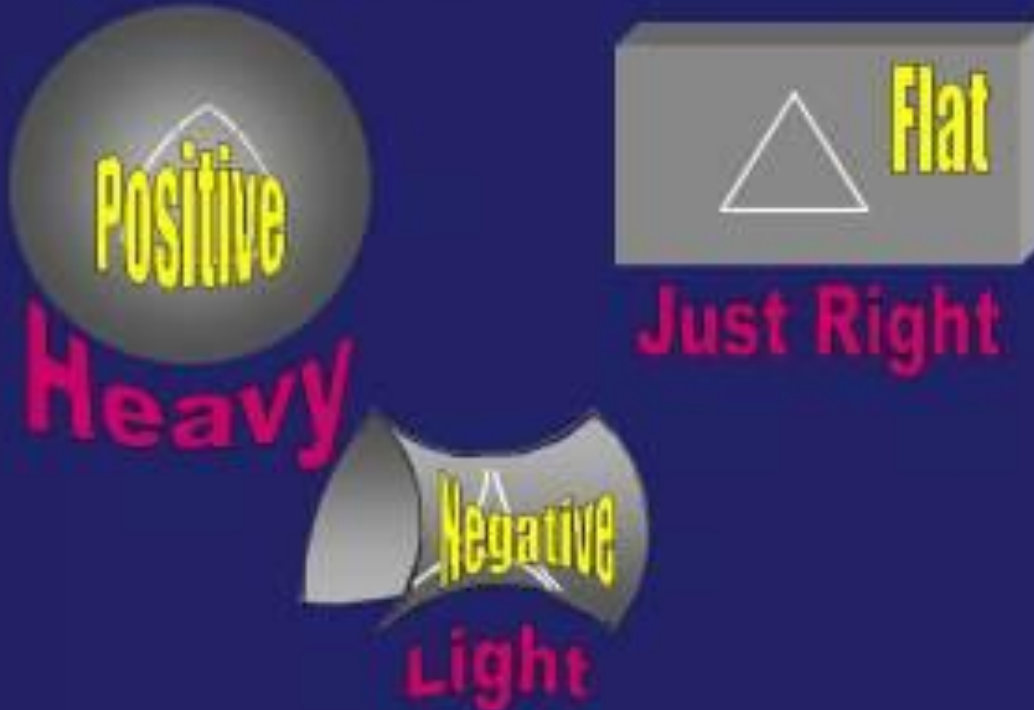
Βαρύτητα και ιδιότητες του χώρου



- ▣ Σύμφωνα με τη ΓΘΣ, το Σύμπαν έχει 4 διαστάσεις: 3 χωρικές και 1 χρονική
- ▣ Η παρουσία της μάζας "καμπυλώνει" τον 3-διάστατο χώρο, όπως ένα βαρύ σώμα καμπυλώνει τη 2-διάστατη επιφάνεια μιας ελαστικής μεμβράνης

Το "σχήμα" του Σύμπαντος εξαρτάται από τη μάζα - ενέργεια που περιέχει

Cosmic Geometry-Curvature and Density

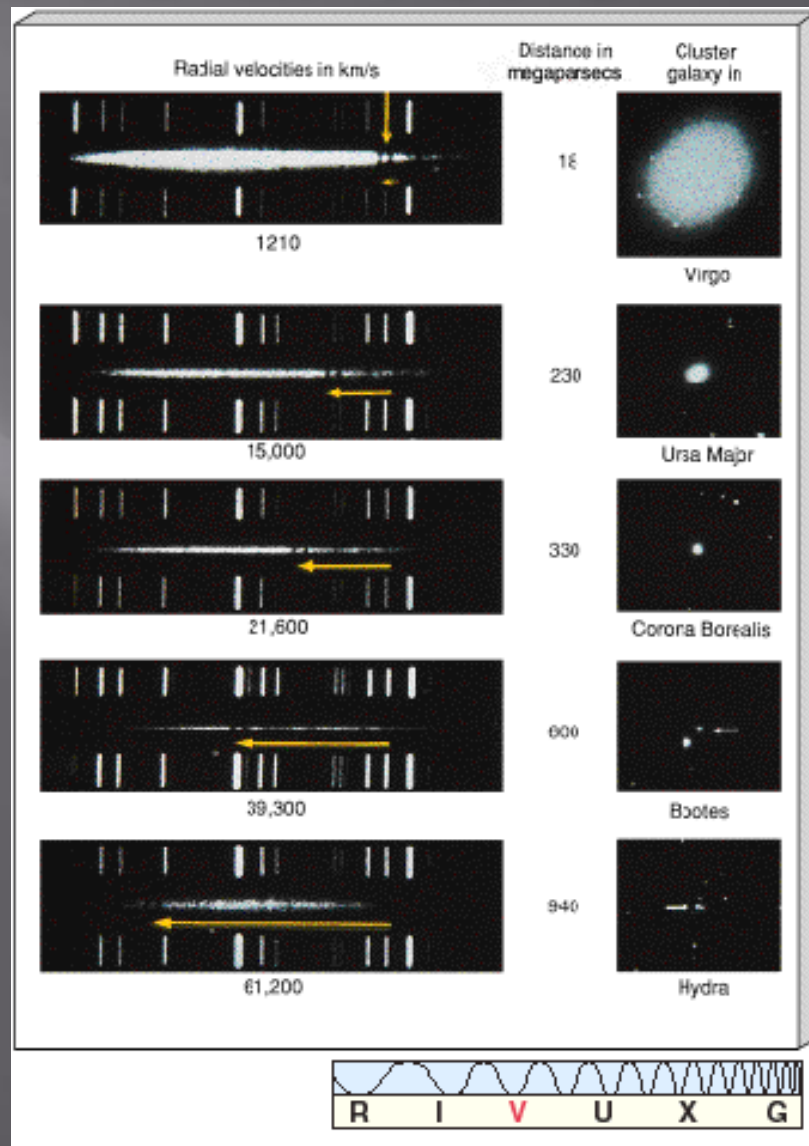


- ▣ Μεγάλη πυκνότητα μάζας κάνει το Σύμπαν *κλειστό*, σαν σφαίρα (δηλ. με πεπερασμένο όγκο)
- ▣ Μικρή πυκνότητα μάζας το κάνει *ανοικτό*, σαν σέλλα (δηλ. με άπειρο όγκο)
- ▣ Η κρίσιμη πυκνότητα, ρ_c , κάνει το Σύμπαν *επίπεδο*, σαν το χώρο που μαθαίνουμε στη γεωμετρία του Ευκλείδη.

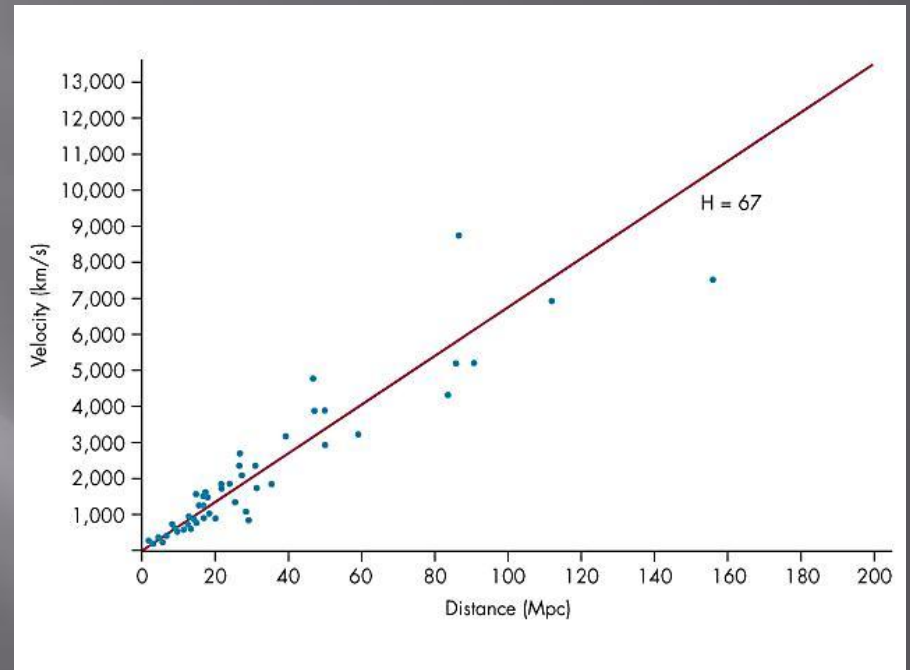
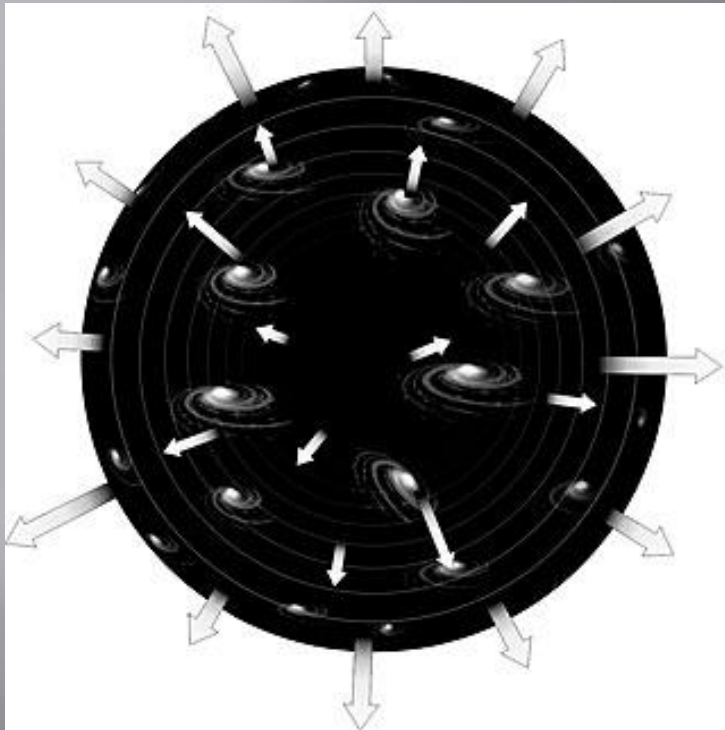
Το Σύμπαν διαστέλλεται: ΜΕΤΑΘΕΣΗ ΠΡΟΣ ΤΟ ΕΡΥΘΡΟ



Το φως από τους μακρινούς γαλαξίες έχει υποστεί μετάθεση Doppler προς το ερυθρό. Αυτό είναι απόδειξη ότι το Σύμπαν διαστέλλεται.



Νόμος του Hubble



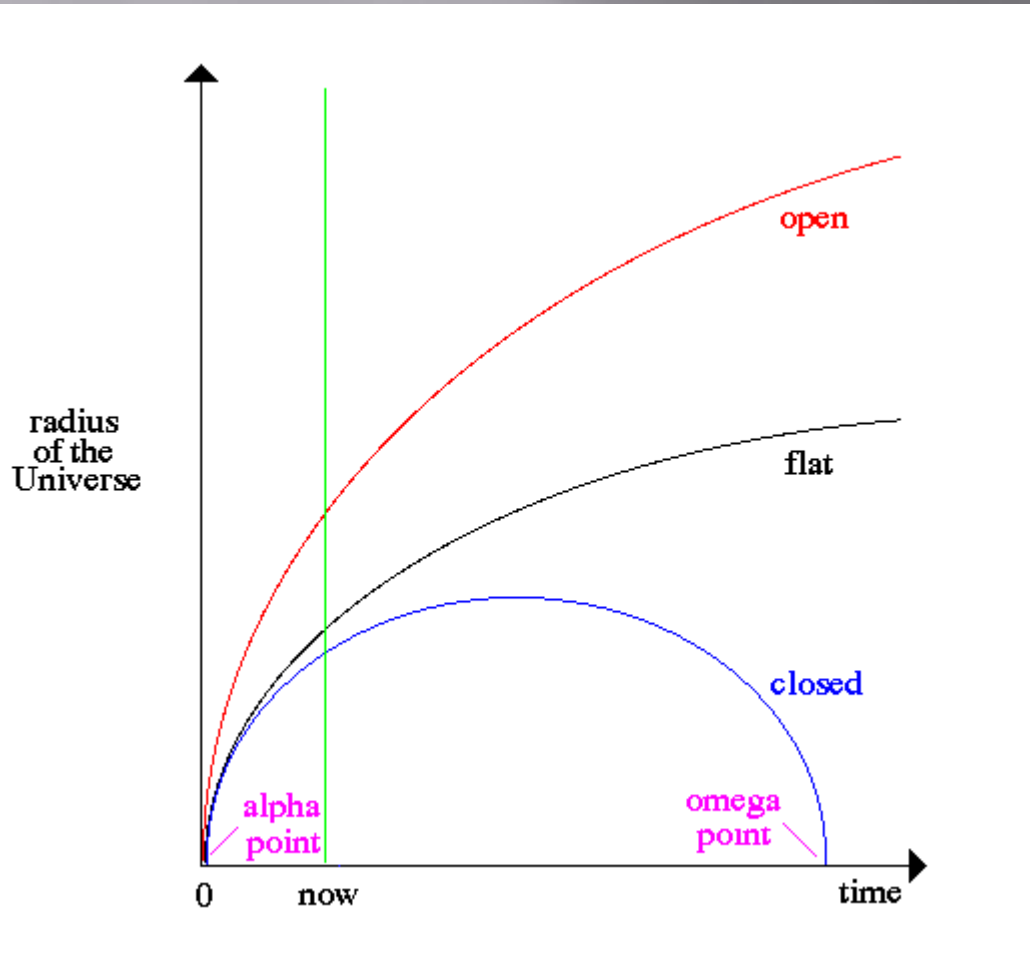
- Το Σύμπαν *διαστέλλεται*, σύμφωνα με τον νόμο του Hubble

$$v = H_0 \cdot r$$

όπου $H_0 = 71 \pm 1 \text{ km/sec} \cdot \text{Mpc}$ η σταθερά του Hubble

- Οι γαλαξίες απομακρύνονται από εμάς με ταχύτητα τόσο μεγαλύτερη, όσο πιο μακριά βρίσκονται!

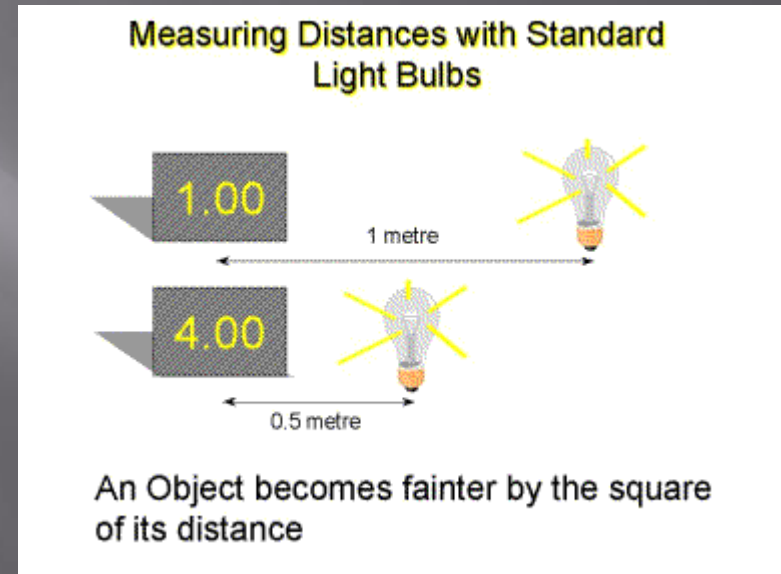
Το μέλλον του Σύμπαντος, όπως το διδάσκαμε πριν από 10 χρόνια



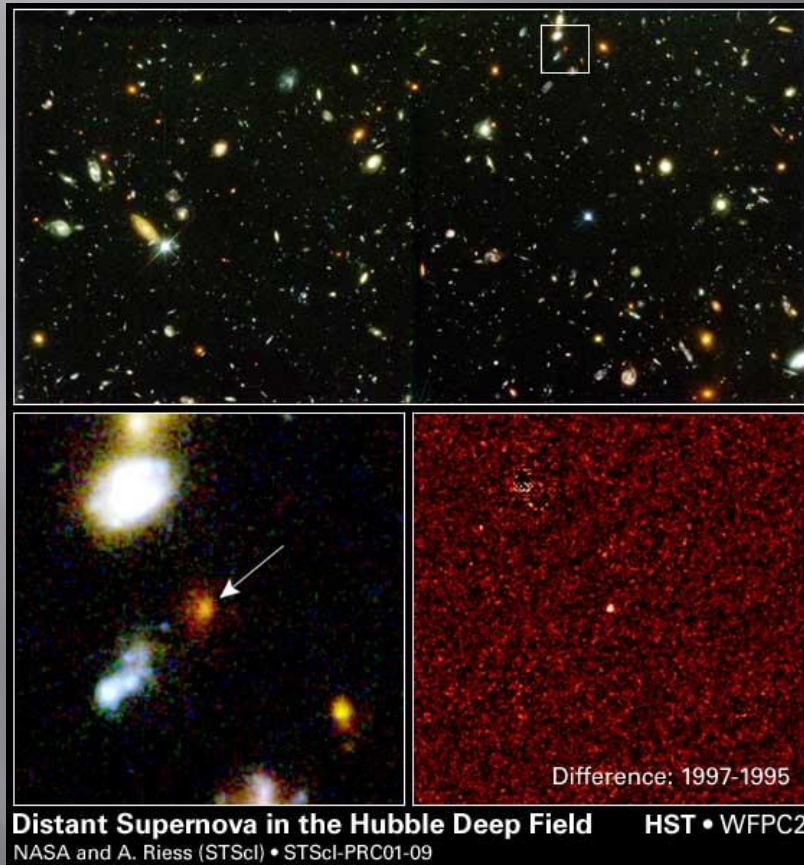
- Ένα *κλειστό Σύμπαν* καταλήγει στη "Μεγάλη Σύνθλιψη"!
- Ένα *επίπεδο* ή *ανοικτό* διαστέλλονται επ' άπειρον
- Τι είναι το Σύμπαν στο οποίο ζούμε;

Τι μορφή έχει τελικά το Σύμπαν που ζούμε; Πώς μπορούμε να την «υπολογίσουμε»;

- ▣ Συνδυάζοντας τον νόμο του Hubble με μια ανεξάρτητη μέθοδο υπολογισμού αποστάσεων!
- ▣ Η καλύτερη μέθοδος: φωτομετρία!
- ▣ Αντικείμενο που παίζει τον ρόλο της «λάμπας»: οι υπερκαινοφανείς τύπου Ia!

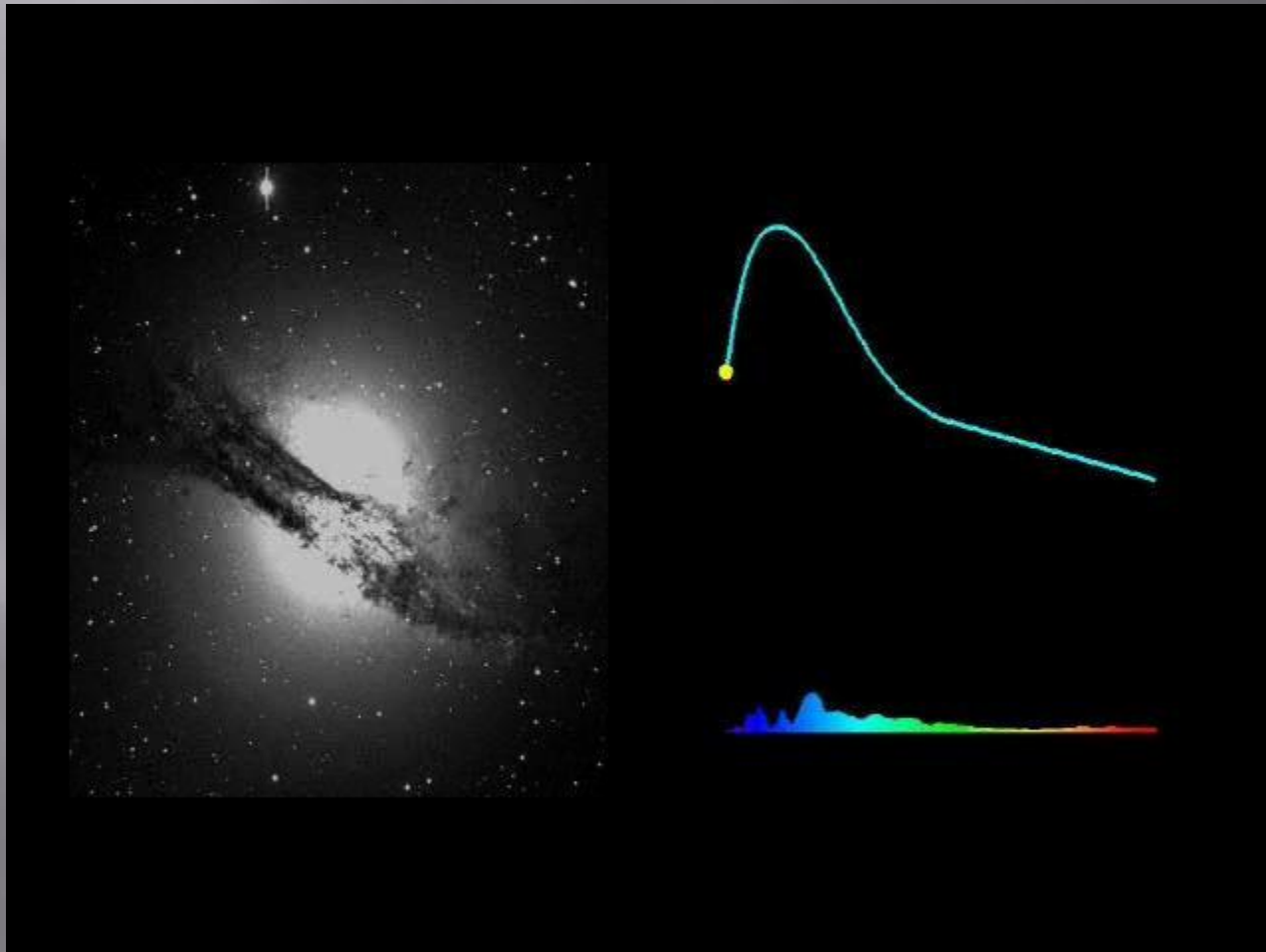


ΥΚΦ και νόμος του Hubble



- Οι ΥΚΦ τύπου Ia έχουν όλοι την ίδια φωτεινότητα, L .
- Από τη σχέση της φωτομετρίας, $\ell = L/4\pi r^2$, προκύπτει μια απόσταση για τον ΥΚΦ
- Από τον νόμο του Hubble προκύπτει μια άλλη απόσταση για τον γαλαξία του ΥΚΦ
- Ποια είναι μεγαλύτερη;

Παρατηρησιακή μορφή ΥΚΦ Ia



Μηχανισμός ΥΚΦ τύπου Ia

• Ένας ΥΚΦ Ia είναι η εξέλιξη ενός διπλού αστέρα, με μέλη ένα γίγαντα και ένα λευκό νάνο

• Ένας ΥΚΦ Ia έχει ΠΑΝΤΑ το ίδιο L , αφού ΠΑΝΤΑ προέρχεται από την έκρηξη ενός αστέρα μάζας $1,4 M_H$

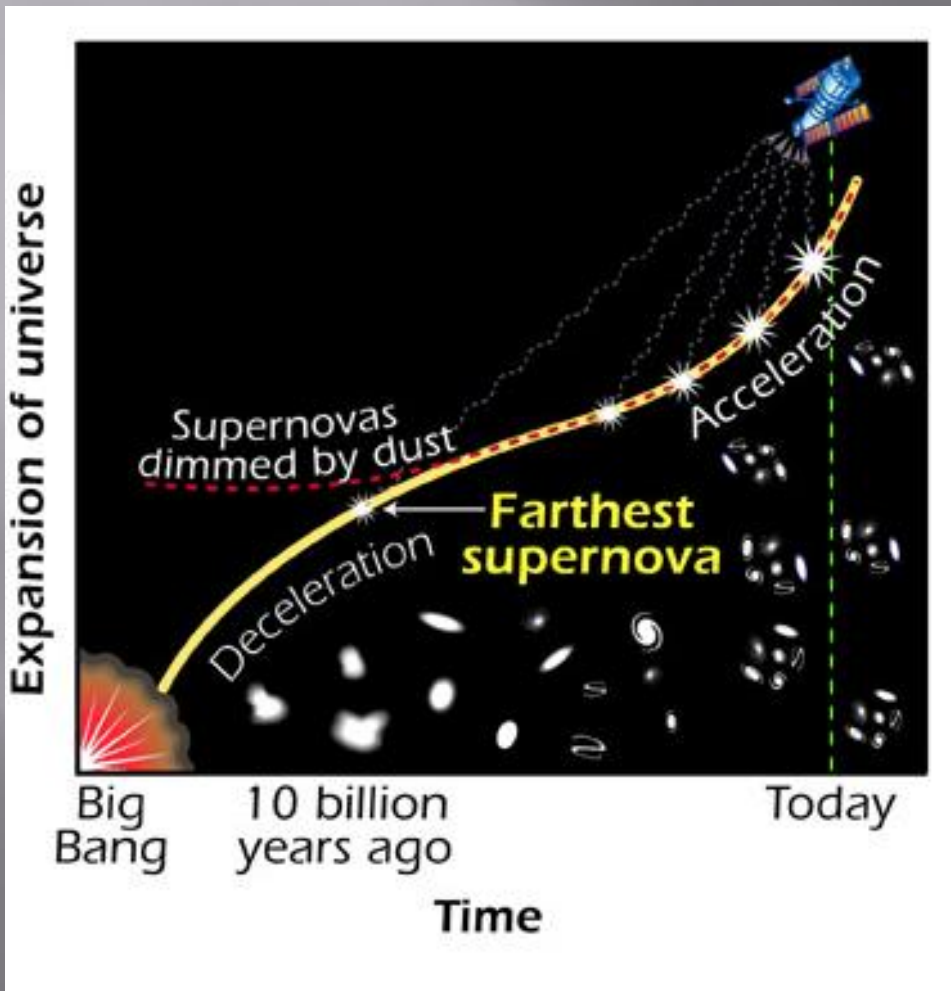
Hubble Deep Field



Αναζήτηση ΥΚΦ στο HDF



Ερμηνεία των παρατηρήσεων



Οι *μακρινοί* ΥΚΦ φαίνονται *αμυδρότεροι* από ό,τι δίνει ο νόμος του Hubble και οι *πολύ μακρινοί* ΥΚΦ φαίνονται *λαμπρότεροι*.

Πώς ερμηνεύονται οι παρατηρήσεις; Με την υπόθεση ότι το Σύμπαν *αρχικά επιβραδυνόταν* αλλά *τώρα επιταχύνεται!*

Επιταχυνόμενο ή επιβραδυνόμενο Σύμπαν;

- ▣ Αν η διαστολή επιβραδύνεται, η ταχύτητα απομάκρυνσης ενός μακρινού γαλαξία θα είναι *μεγαλύτερη* από αυτήν που προβλέπει ο *νόμος του Hubble*.
- ▣ Αν η διαστολή επιταχύνεται, η ταχύτητα απομάκρυνσης του γαλαξία θα είναι *μικρότερη* από αυτήν που προβλέπει ο *νόμος του Hubble*.
- ▣ Αλλιώς: ένας γαλαξίας με *δεδομένη ταχύτητα απομάκρυνσης* θα βρίσκεται *μακρύτερα* (και άρα θα είναι *αμυδρότερος*) σε ένα *επιταχυνόμενο Σύμπαν*.
- ▣ Το αντίθετο ισχύει για ένα επιβραδυνόμενο Σύμπαν

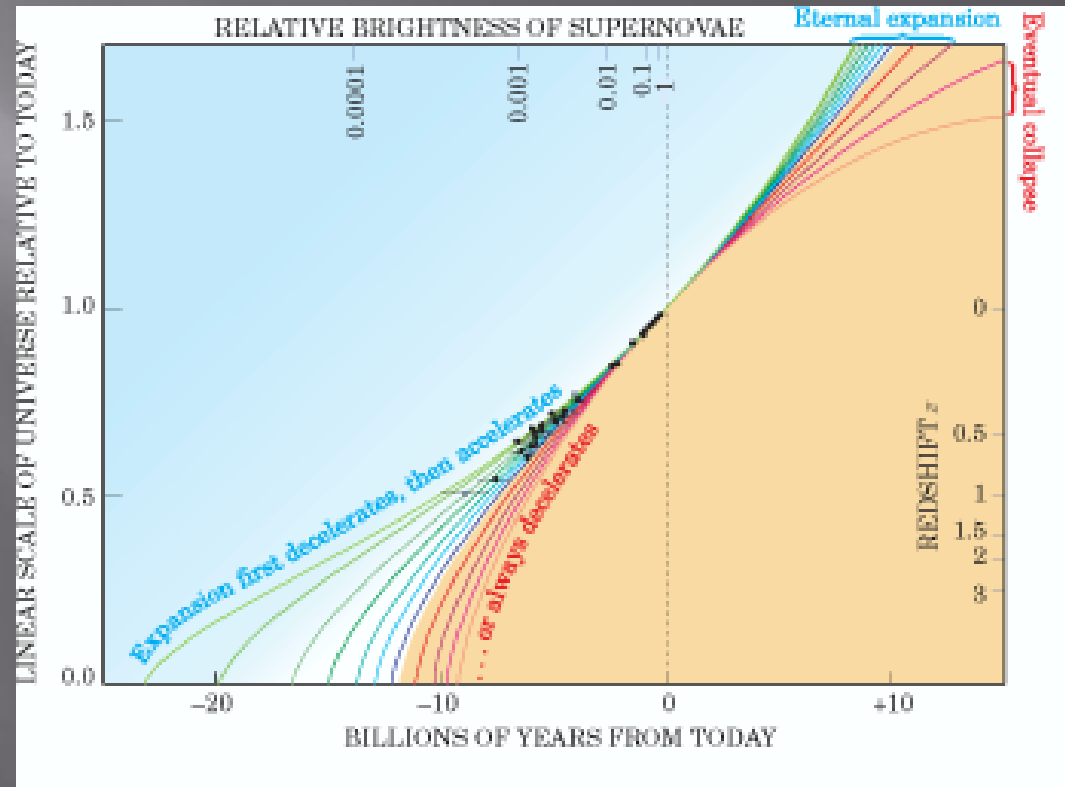
Σκοτεινή ενέργεια: κοσμολογική σταθερά ή πεμπτουσία;

- ▣ Η *επιταχυνόμενη διαστολή* υποδεικνύει την ύπαρξη μιας *απωστικής δύναμης*, που ενεργεί *μόνο* σε *μεγάλες αποστάσεις*
- ▣ Έχουν γίνει πολλές υποθέσεις για τη φύση αυτής της δύναμης. Η γενικότερα πιο αποδεκτή είναι η *σκοτεινή ενέργεια*.
- ▣ Η πιο σημαντική ιδιότητα της σκοτεινής ενέργειας είναι ότι έχει *αρνητική πίεση*.
- ▣ Τα πιο σημαντικά μοντέλα της σκοτεινής ενέργειας είναι η *κοσμολογική σταθερά*, Λ , του Αϊνστάιν και η *πεμπτουσία* (*quintessence*).

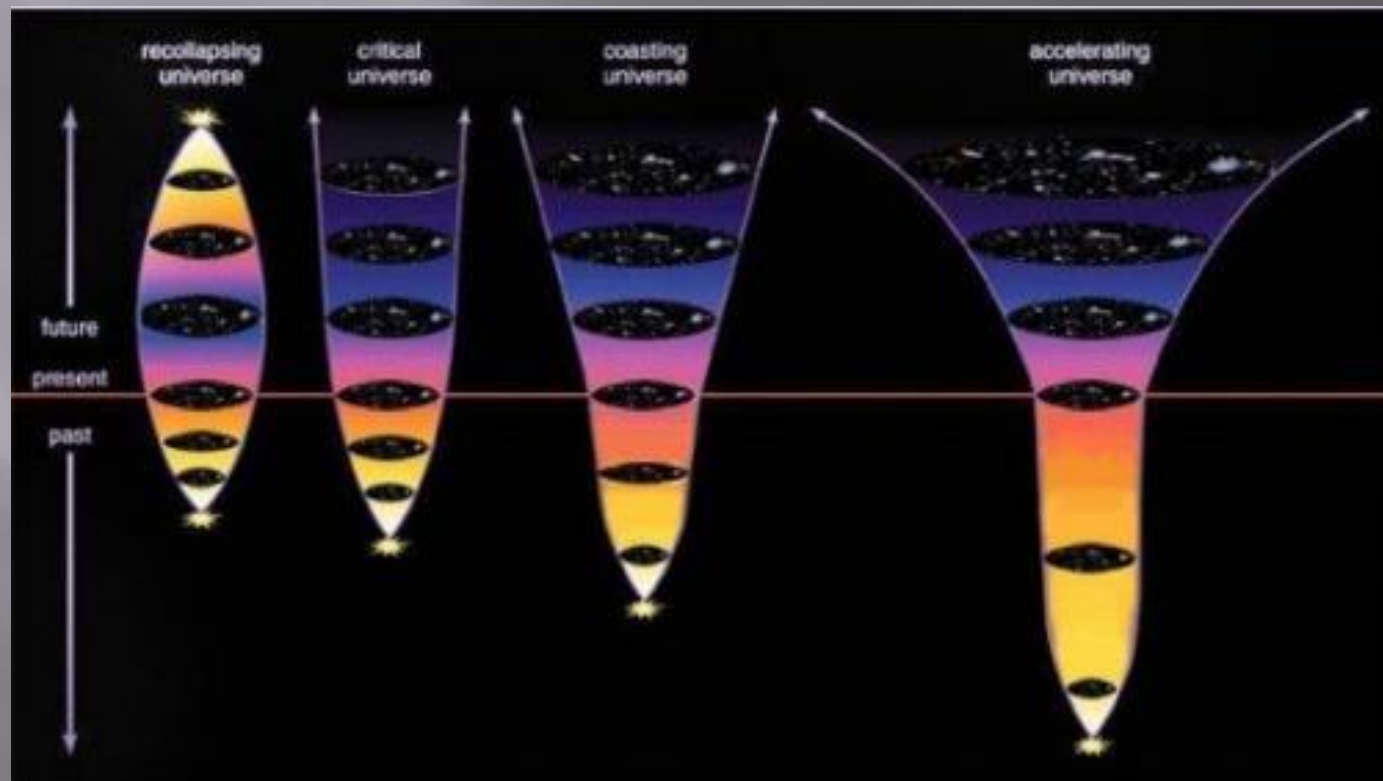
Η κοσμική διαστολή και οι απομακρυσμένοι ΥΚΦ (μαύρα σημεία)

▣ Στη **γαλάζια περιοχή** οι καμπύλες παριστάνουν μοντέλα **επιβράδυνσης-επιτάχυνσης**. Οι καμπύλες υποθέτουν πυκνότητες «σκοτεινής ενέργειας» μεταξύ 95 % ρ_c (επάνω καμπύλη) και 40% ρ_c (κάτω καμπύλη).

▣ Στην **πορτοκαλί περιοχή** οι καμπύλες παριστάνουν μοντέλα **αιώνιας επιβράδυνσης**. Οι καμπύλες υποθέτουν πυκνότητες μάζας στο διάστημα 80% ρ_c έως 140% ρ_c . Οι δύο τελευταίες καμπύλες αντιστοιχούν σε κλειστό Σύμπαν.

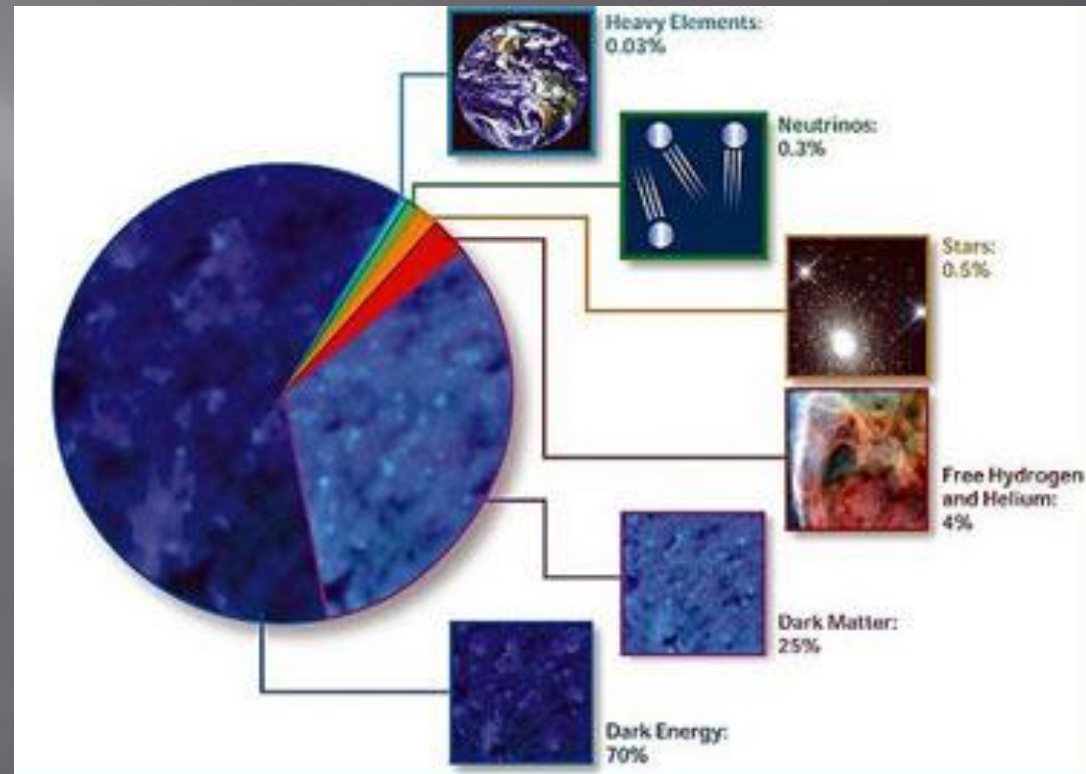


Τα 3 «κλασικά» μοντέλα του Σύμπαντος (αριστερά) και το «επιταχυνόμενο» (δεξιά)

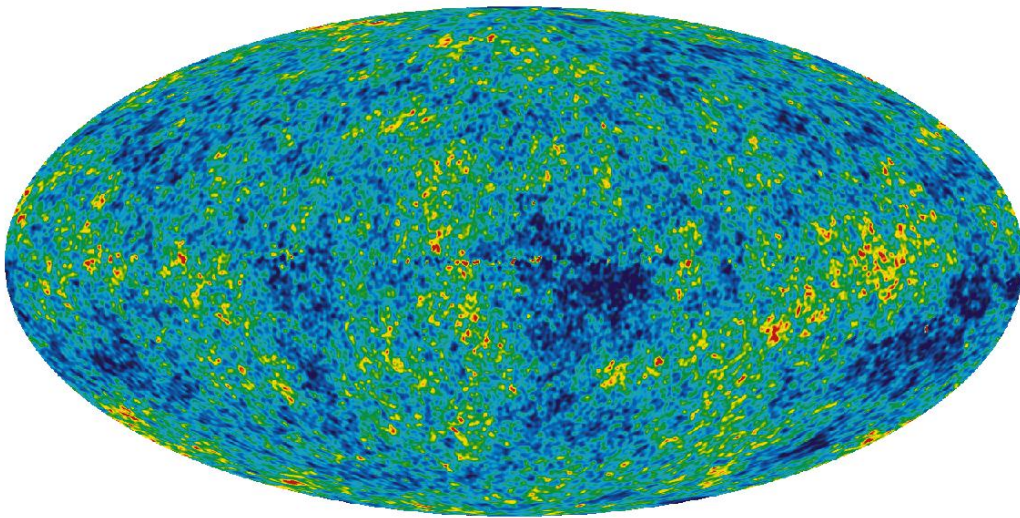


Από τι αποτελείται το Σύμπαν;

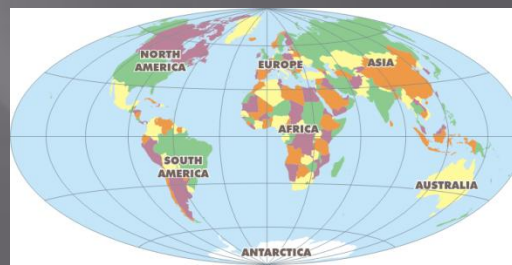
- Η **σκοτεινή ενέργεια** είναι το **βασικό "συστατικό"** του Σύμπαντος
- Ακολουθεί η **σκοτεινή ύλη** (άγνωστης φύσης, αφού δεν την βλέπουμε!)
- Τα **αστέρια** (κυρίως υδρογόνο και ήλιο) είναι **ασήμαντο συστατικό**
- Τα **"βαριά" στοιχεία**, από τα οποία αποτελούνται οι "στερεοί" πλανήτες (όπως η Γη), **μόλις το 0.03%!**

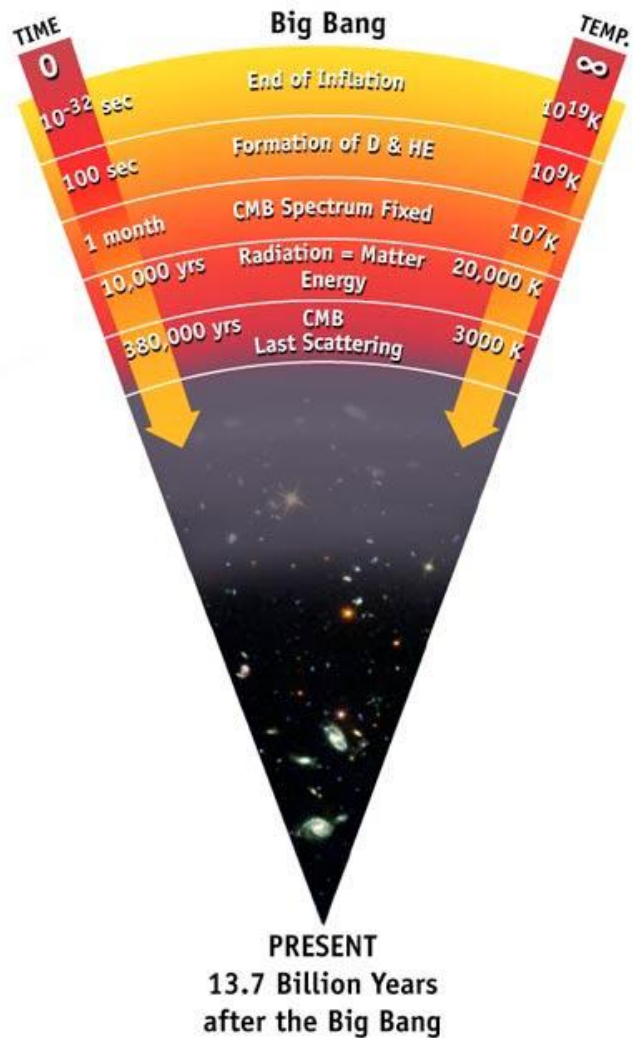


Τι βλέπουμε μακρύτερα από τους γαλαξίες του HDF; Διαστημόπλοιο WMAP!

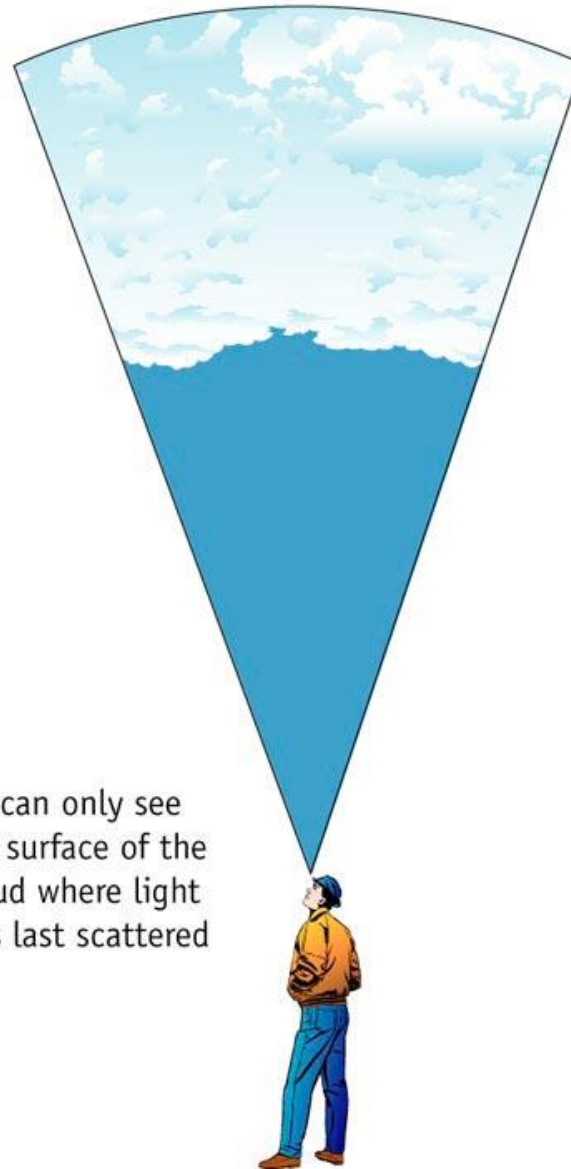


- Η ακτινοβολία στην περιοχή των μικροκυμάτων, η οποία αποτελεί τον "απόηχο" της Μεγάλης Έκρηξης, όπως φαίνεται αποτυπωμένη σε ένα επίπεδο ανάπτυγμα του ουρανού, είναι *σχεδόν* ισοτροπική.
- Από άλλες διευθύνσεις είναι «θερμότερη» (κόκκινες κηλίδες) και από άλλες «ψυχρότερη» (μπλε κηλίδες)





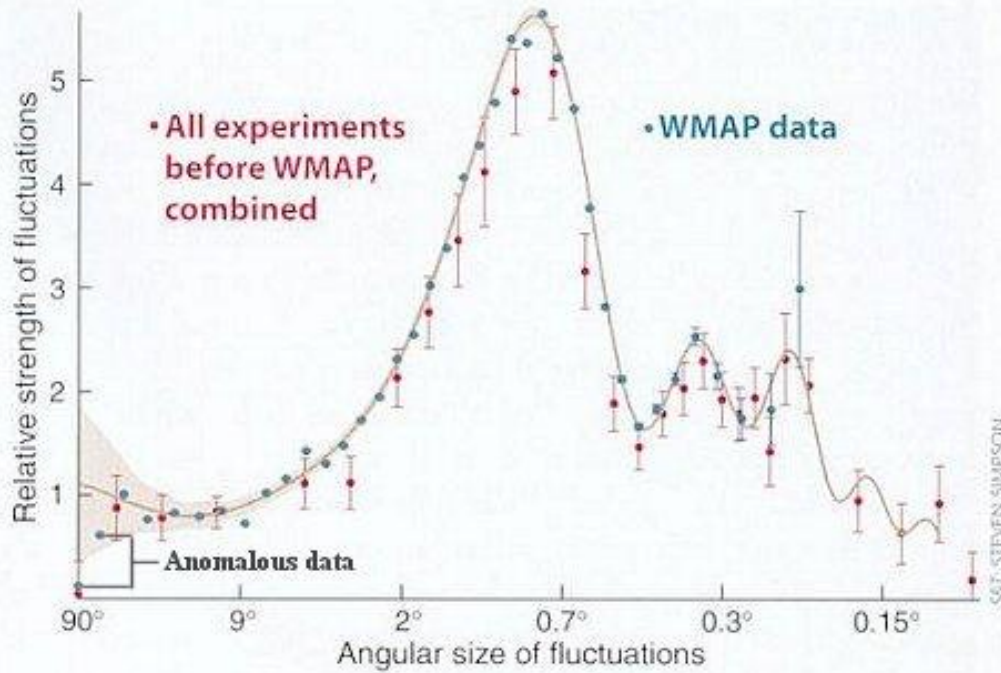
The cosmic microwave background Radiation's "surface of last scatter" is analogous to the light coming through the clouds to our eye on a cloudy day.



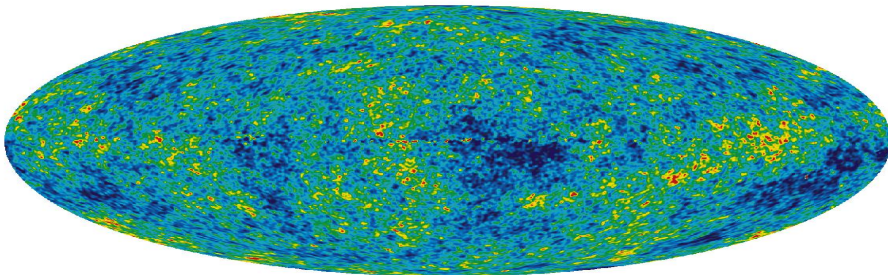
We can only see the surface of the cloud where light was last scattered

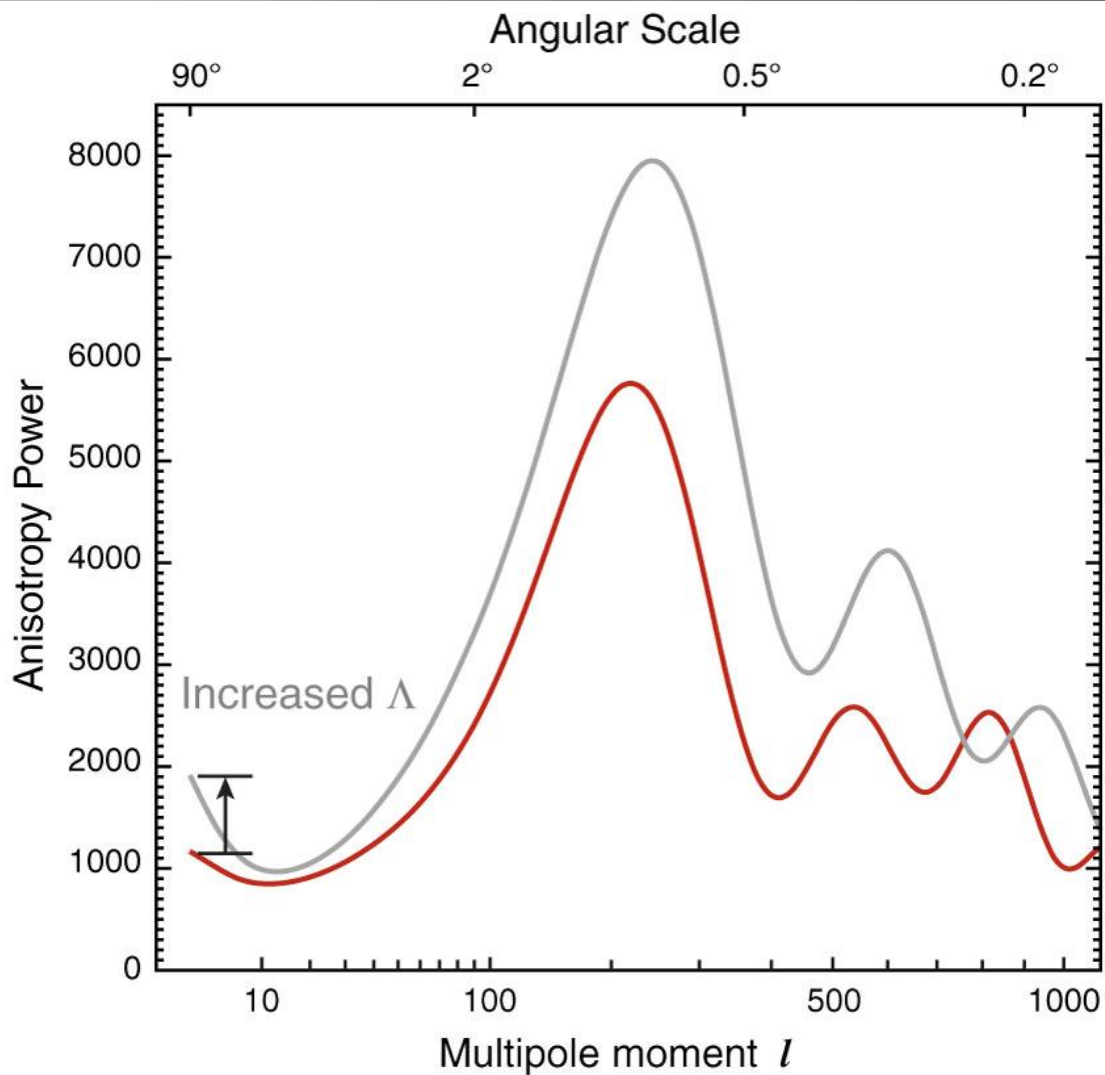
- Τι ακριβώς "βλέπουμε" στην εικόνα του WMAP;
- Την "επιφάνεια" του υλικού της Μεγάλης Έκρηξης, όπως ήταν μόλις 380.000 χρόνια μετά από αυτήν!

Ανάλυση της "φωτογραφίας" του ουρανού από τον WMAP - I



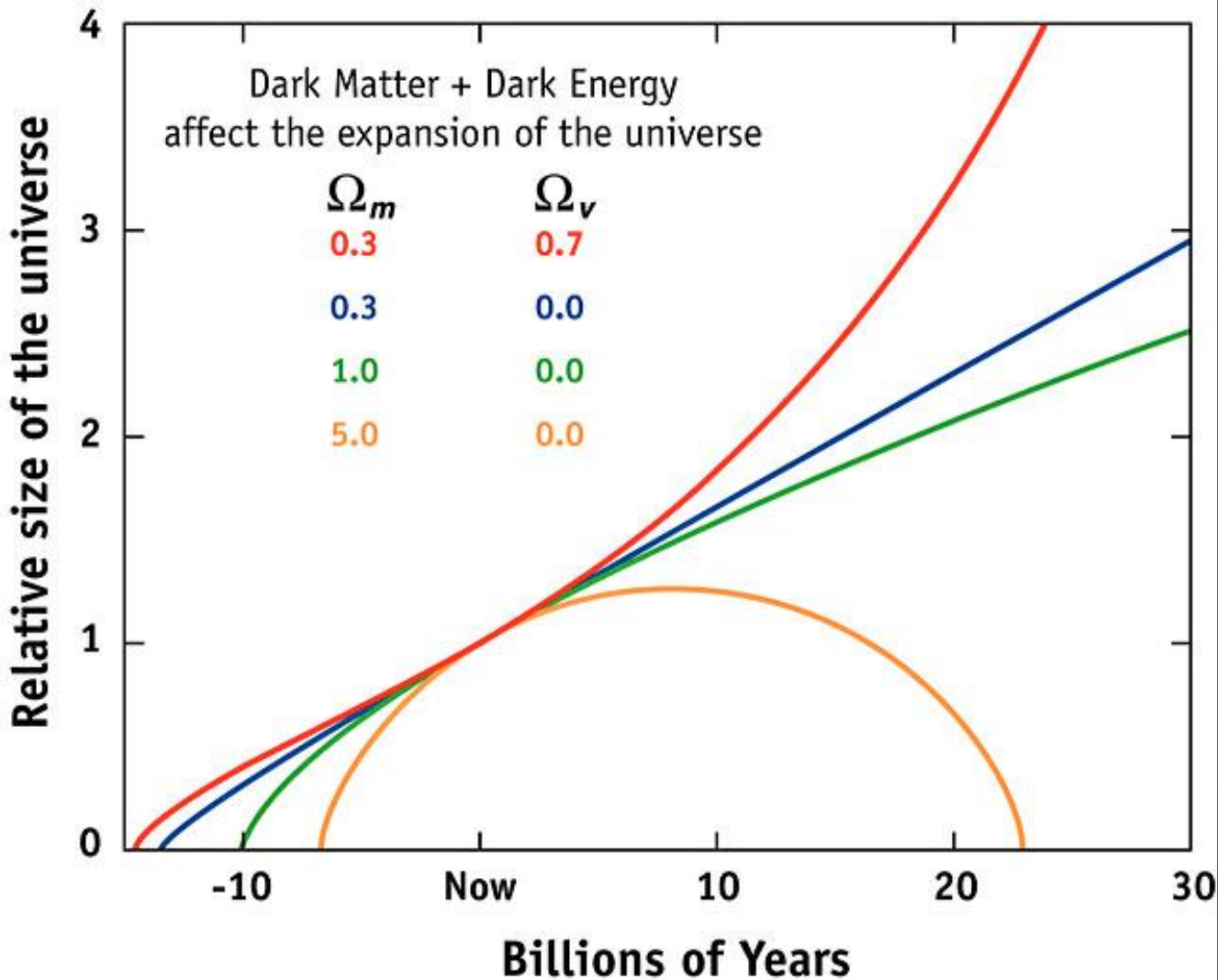
- Μετράμε πόσες "κηλίδες" κάθε διαμέτρου υπάρχουν στη "φωτογραφία", και βάζουμε τα αποτελέσματα σε ένα διάγραμμα
- Οι **θέσεις** και το **ύψος** των κορυφών στο διάγραμμα δείχνουν αν το Σύμπαν είναι κλειστό, ανοικτό ή επίπεδο, την **ηλικία** του και τα **συστατικά** από τα οποία αποτελείται!





- ▣ Παράδειγμα ανάλυσης του διαγράμματος από τις παρατηρήσεις του WMAP
- ▣ Μέτρηση της «*κοσμολογικής σταθεράς, Λ* », που είναι μια από τις πιθανές ερμηνείες της επιταχυνόμενης διαστολής

EXPANSION OF THE UNIVERSE



- Το μέλλον του Σύμπαντος, όπως το διδάσκουμε σήμερα
- Πολλή μάζα
- «Κρίσιμη» μάζα
- Λίγη μάζα
- Η μετρημένη αναλογία μάζας-σκοτεινής ενέργειας