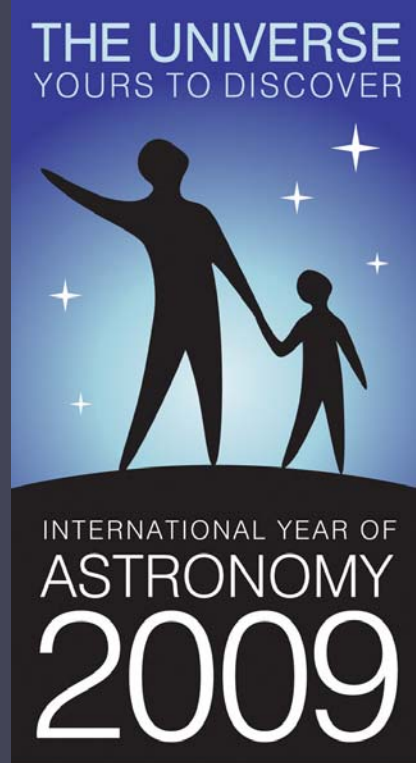




Το Σύμπαν

(Δημιουργία, δομή και εξέλιξη)

Λουκάς Βλάχος
Τμήμα Φυσικής
Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο
Θεσσαλονίκης



Αφιέρωση

- Θα ήθελα να αφιερώσω αυτή την διάλεξη στο Νίκο Λαμπρόπουλο σαν ένα δείγμα ευγνωμοσύνης από όλους μας για τη μεγάλη σταυροφορία που έχει ξεκινήσει εδώ και πολλά χρόνια για να φέρει πιο κοντά τους δημιουργούς (επιστήμονες, συγγραφείς και ανθρώπους των τεχνών γενικότερα) με το εκλεκτό αναγνωστικό κοινό της πόλης μας!

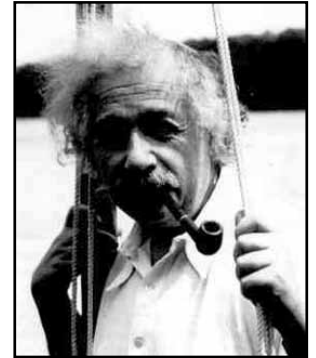
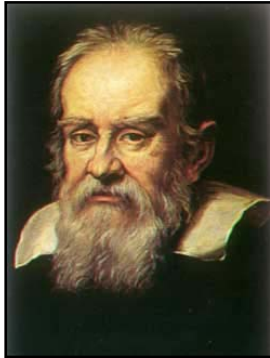
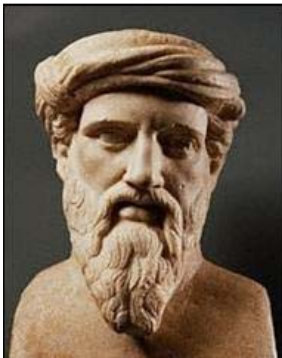
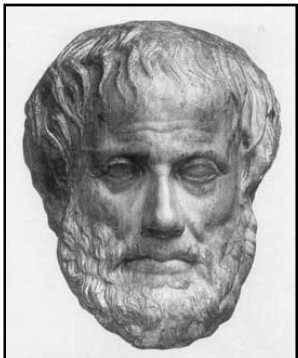
• ΣΕ ΕΥΧΑΡΙΣΤΟΥΜΕ ΝΙΚΟ!

Μια σημαντική παρατήρηση

- Η επιστήμη αναζητά την αλήθεια μέσα από το πείραμα και την παρατήρηση.
- Η επιστημονική μέθοδος είναι ο φάρος που μας βοηθά να βγούμε από το σκοτάδι των δοξασιών και των μύθων του κ. Λεφάκη ή του κ. Χαρδεβέλα.
- Θεωρητικές προτάσεις, σκέψεις και υποθέσεις είναι χωρίς καμία αξία αν δεν αποδειχτούν από τα πειράματα.

Διαχρονική πορεία της Κοσμολογικής Σκέψης

- **Αρχαία Ελληνική Κοσμολογία**: από τον Ησίοδο, τον Αναξίμανδρο, τον Αριστοτέλη στον πρωτοπόρο Αρίσταρχο τον Σάμιο (310 - 230 πΧ) , που βασιζόμενος στις Πυθαγόρειες ιδέες του Φιλόλαου αλλά και τις εκπληκτικές διαπιστώσεις του Ηρακλείδη του Πόντιου πρότεινε το επαναστατικό για την εποχή του Ηλιοκεντρικό σύστημα...
- **Χριστιανική Μεσαιωνική πνευματική αποδόμηση** και Αναγεννησιακή επιστροφή (Galileo, Copernicus etc)
- **Σύγχρονη Κοσμολογία**: ξεκινά στις αρχές του 20^{ου} αιώνα με την Γενική Θεωρία της Σχετικότητας και τις εκπληκτικές παρατηρήσεις του Hubble σχετικές με την μετατόπιση στο ερυθρό του φάσματος των γαλαξιών → διαστολή του Σύμπαντος.



Τα μεγάλα ερωτήματα

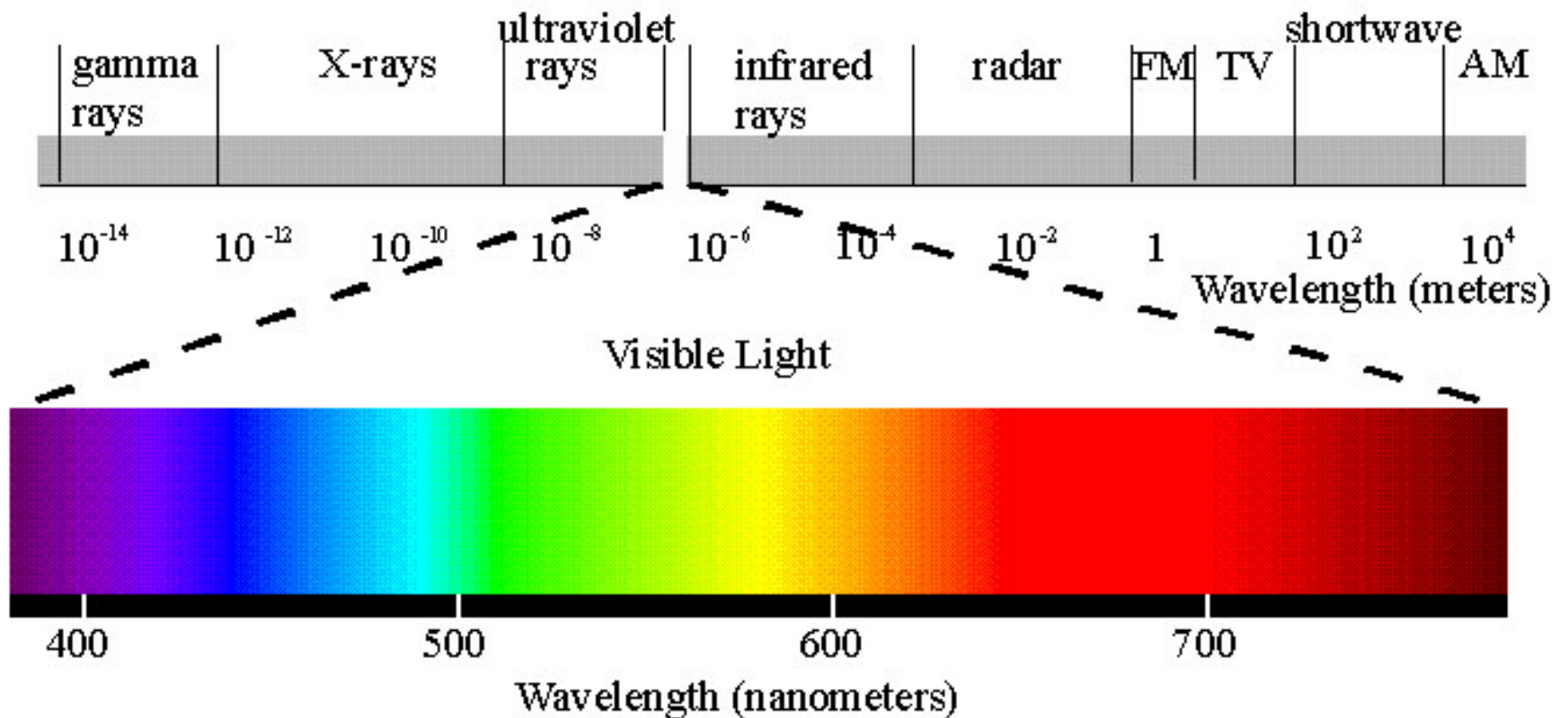
- Πως δημιουργήθηκε το Σύμπαν- Ποιά είναι η Θεωρία της Μεγάλης Έκρηξης (BING BANG)?
- Πως φτάσαμε στη σημερινή ορατή και αόρατη (σκοτεινή) πλευρά του?
- Η εξέλιξη και το μέλλον του σύμπαντος?

- Η ορατή πλευρά του σύμπαντος

Το «φως» κρύβει όλη την αλήθεια για το σύμπαν



Το Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα



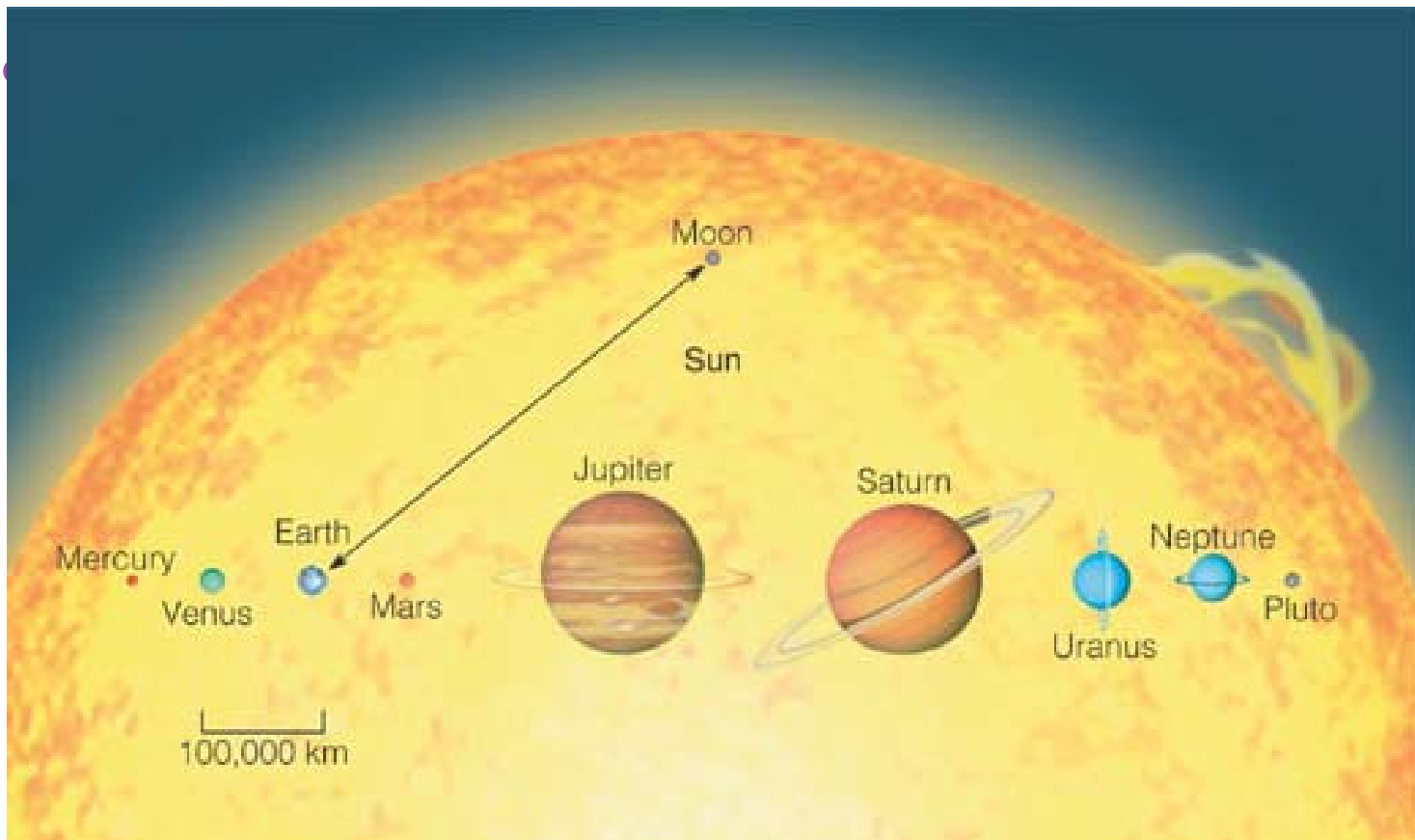
Το φως

- Το φως στο κενό κινείται με σταθερή ταχύτητα καλύπτοντας 300.000 Χιλιόμετρα το δευτερόλεπτο
- Οι αστρονόμοι χρησιμοποιούν το φως για να μετρούν αποστάσεις

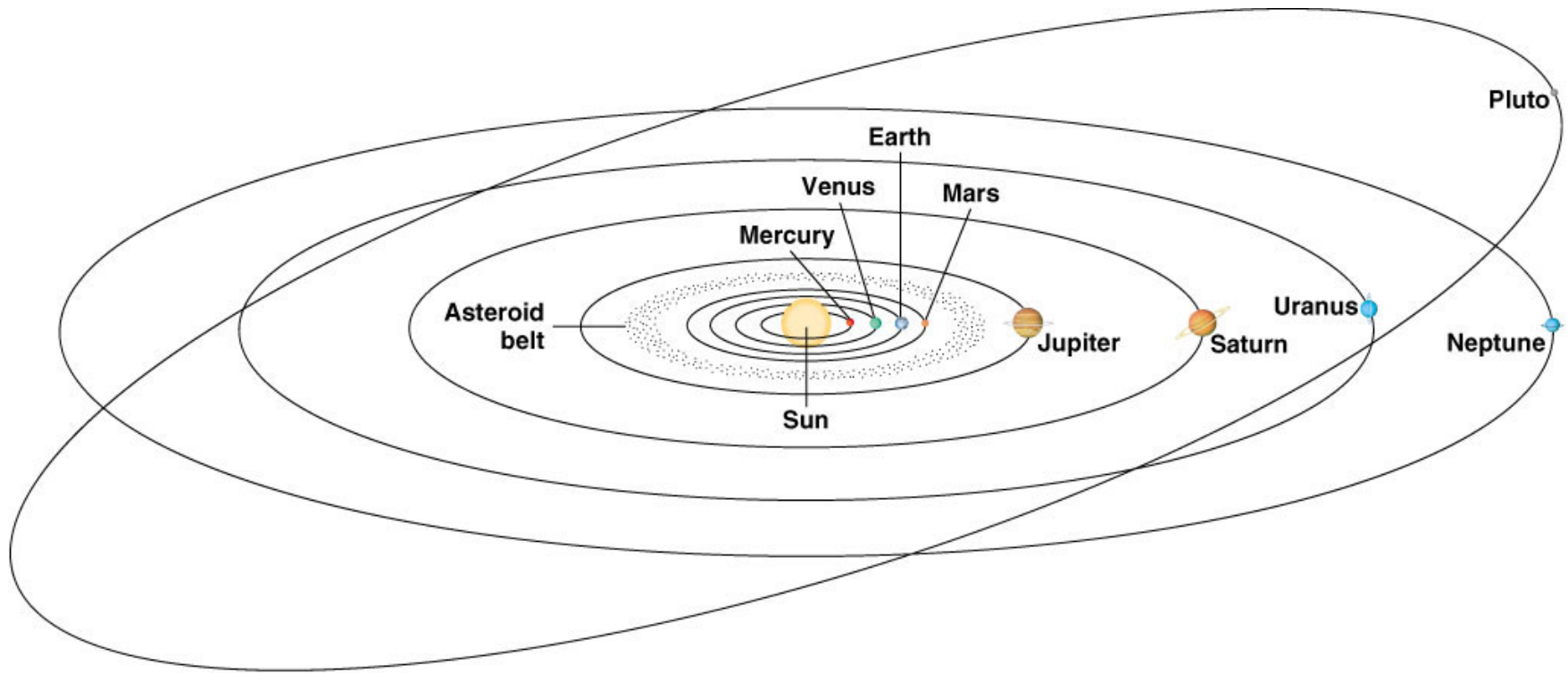
Μια ξενάγηση στο ορατό σύμπαν

- Η γειτονιά μας (Ο Ήλιος, οι πλανήτες, οι δορυφόροι τους, οι αστεροειδείς και οι κομήτες)
- Το κοντινότερο αστέρι 4.5 έτη φωτός
- Ο γαλαξίας μας (με διαστάσεις 100.000 έτη φωτός)
- Το σμήνος γαλαξιών γύρω από το γαλαξία μας
- Το αχανές σύμπαν (η μεγάλη δομή του σύμπαντος)

Μια ξενάγηση στο σύμπαν



Το Ηλιακό σύστημα



(b)

© 2001 Brooks/Cole Publishing/ITP

Alpha Centaury ... ο κοντινότερος αστέρας (4500 έτη φωτός)



Τι Είναι αυτό?

Ένα μεγάλο «νησί» από αστέρια στο σύμπαν, όλα κρατούνται μαζί από τη βαρύτητα και γυρίζουν γύρω από κοινό κέντρο
Ο Γαλαξίας μας έχει 100.000 έτη φωτός διάμετρο, 400 δισεκατομμύρια αστέρια



Η Τοπική ομάδα Γαλαξιών



Προσομοίωση μιας σύγκρουσης

- Ο γαλαξίας μας είναι σε τροχιά σύγκρουσης με τον γαλαξία της Ανδρομέδας

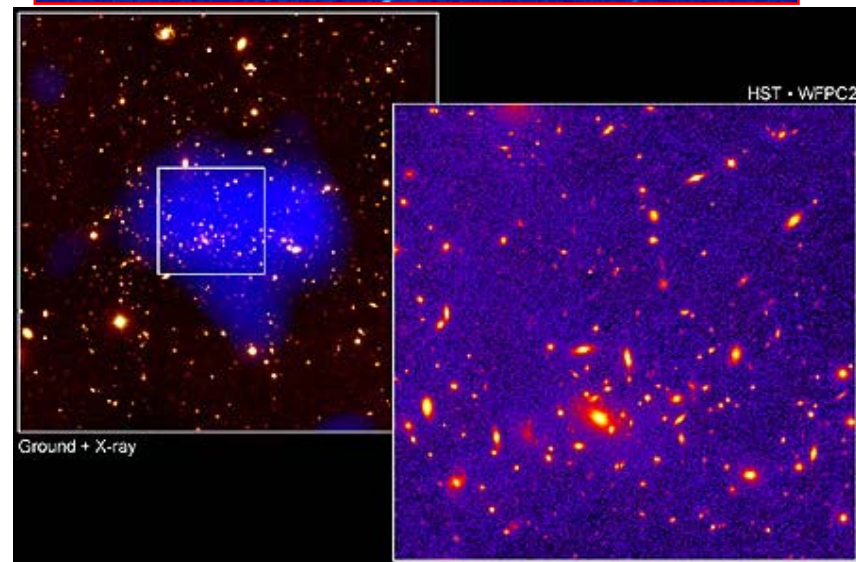
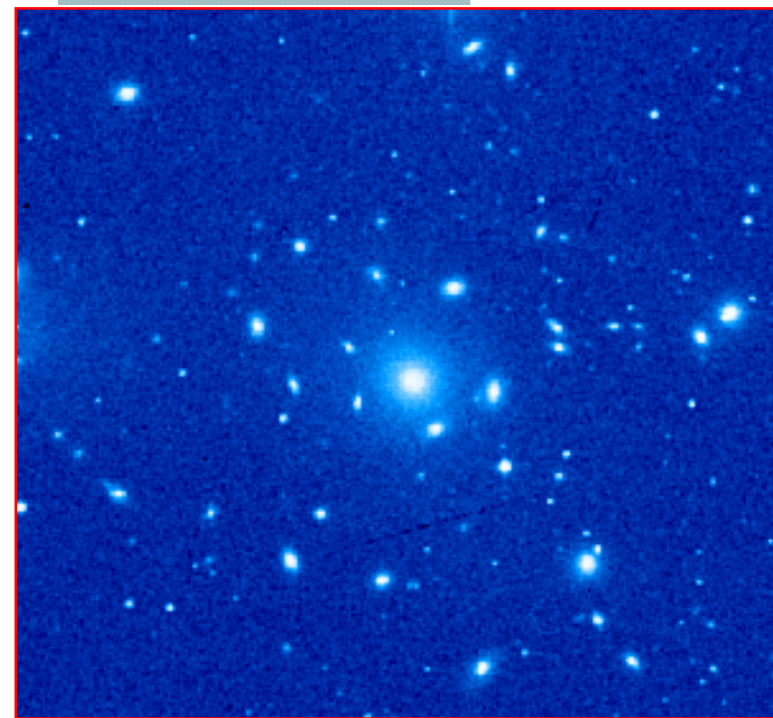
Το Μεγάλο νέφος του Μαγγελάνου



Το σμήνος Γαλαξιών Hydra

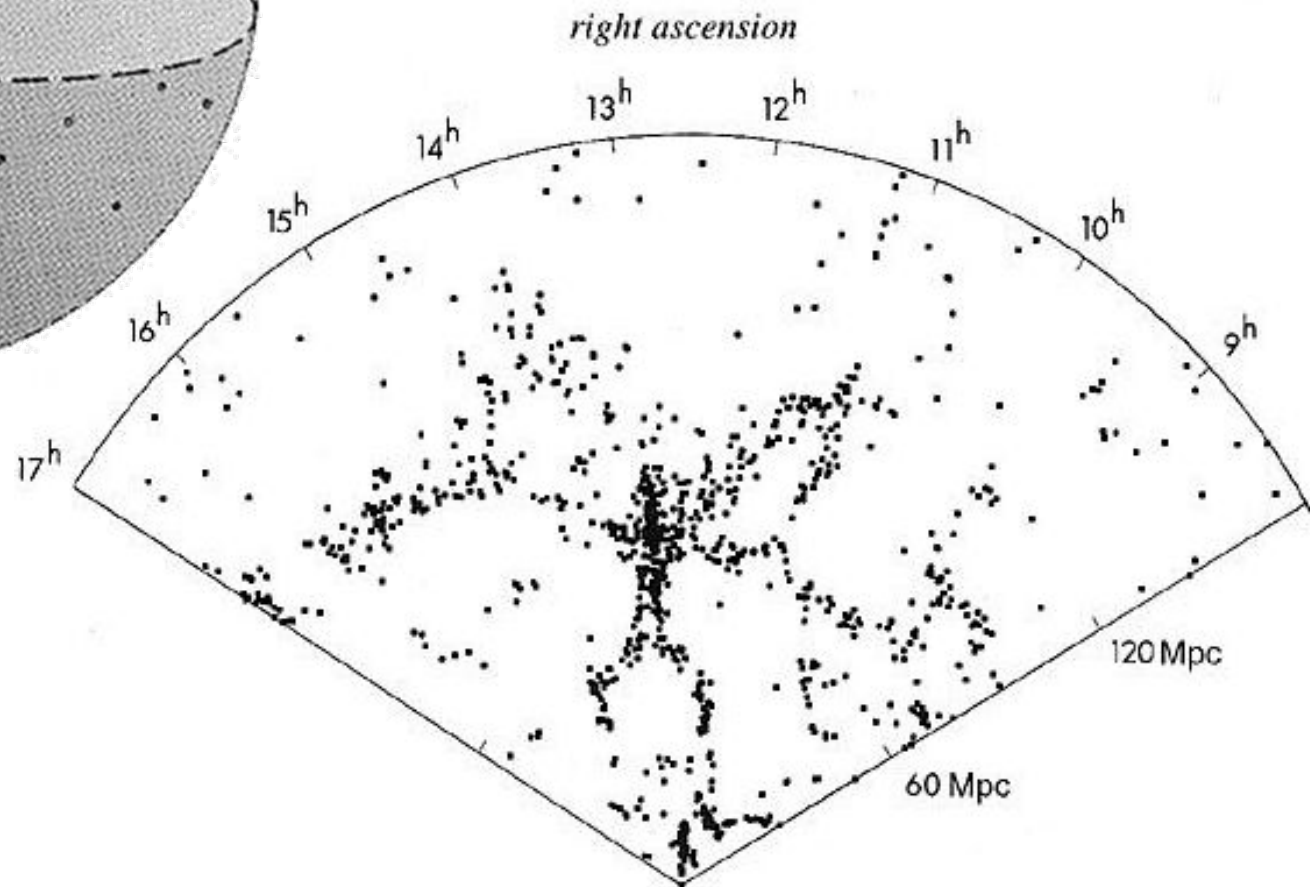
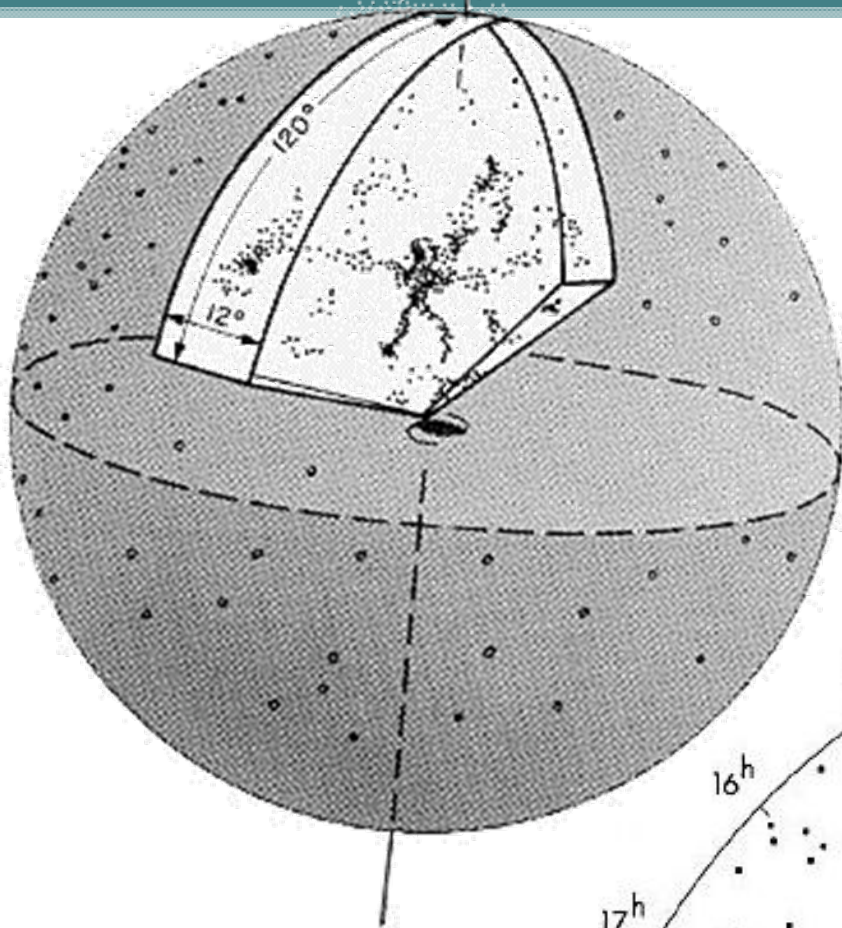


● Σμήνη γαλαξιών είναι οι μεγαλύτερες κοσμικές δομές που βρίσκονται κοντά σε δυναμική ισορροπία και τόσο λαμπρές που φαίνονται σε τεράστιες αποστάσεις. Αποτελούνται από πολλούς γαλαξίες και καυτό αέριο.



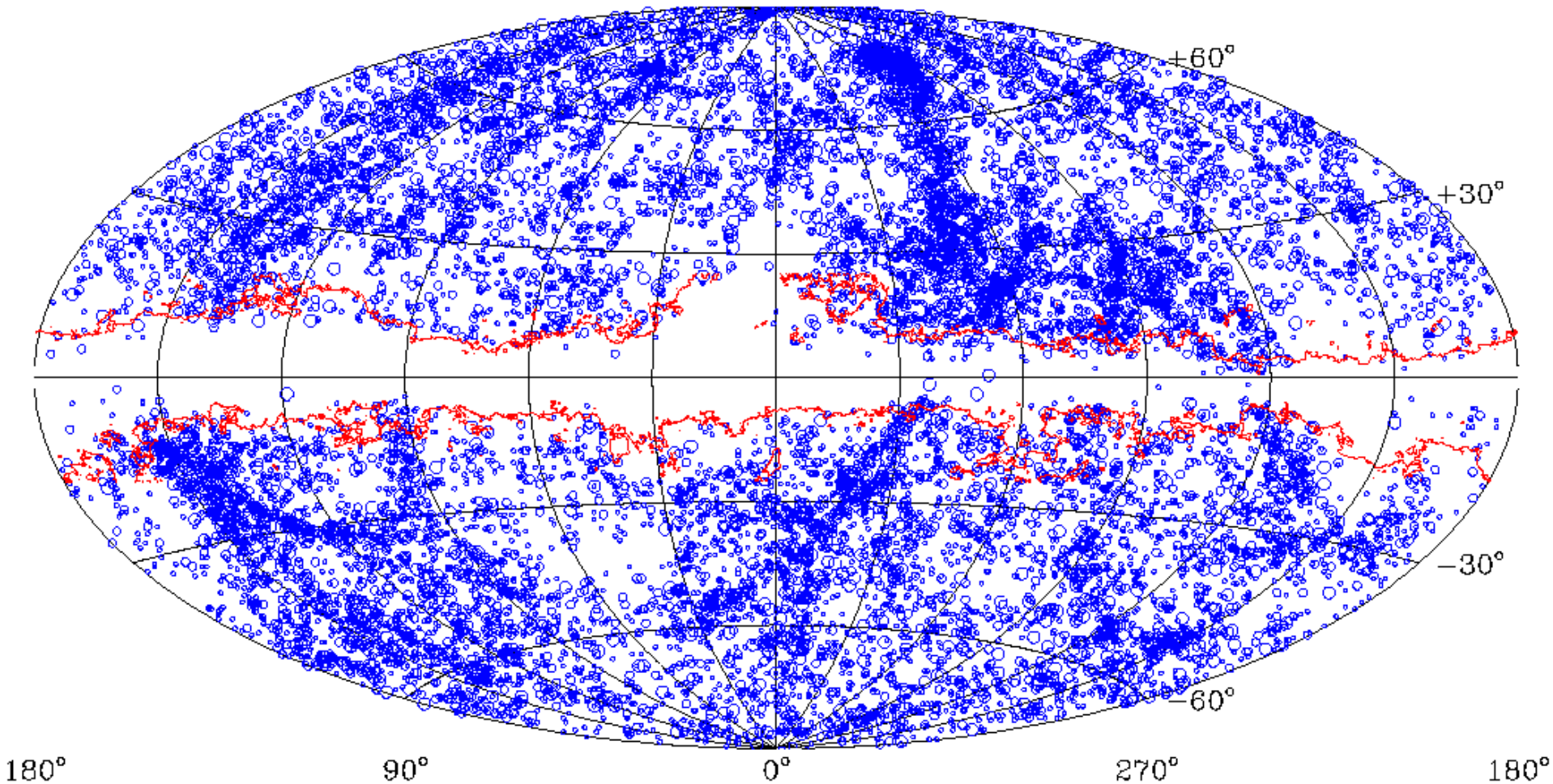
CfA Redshift Survey

First Slice

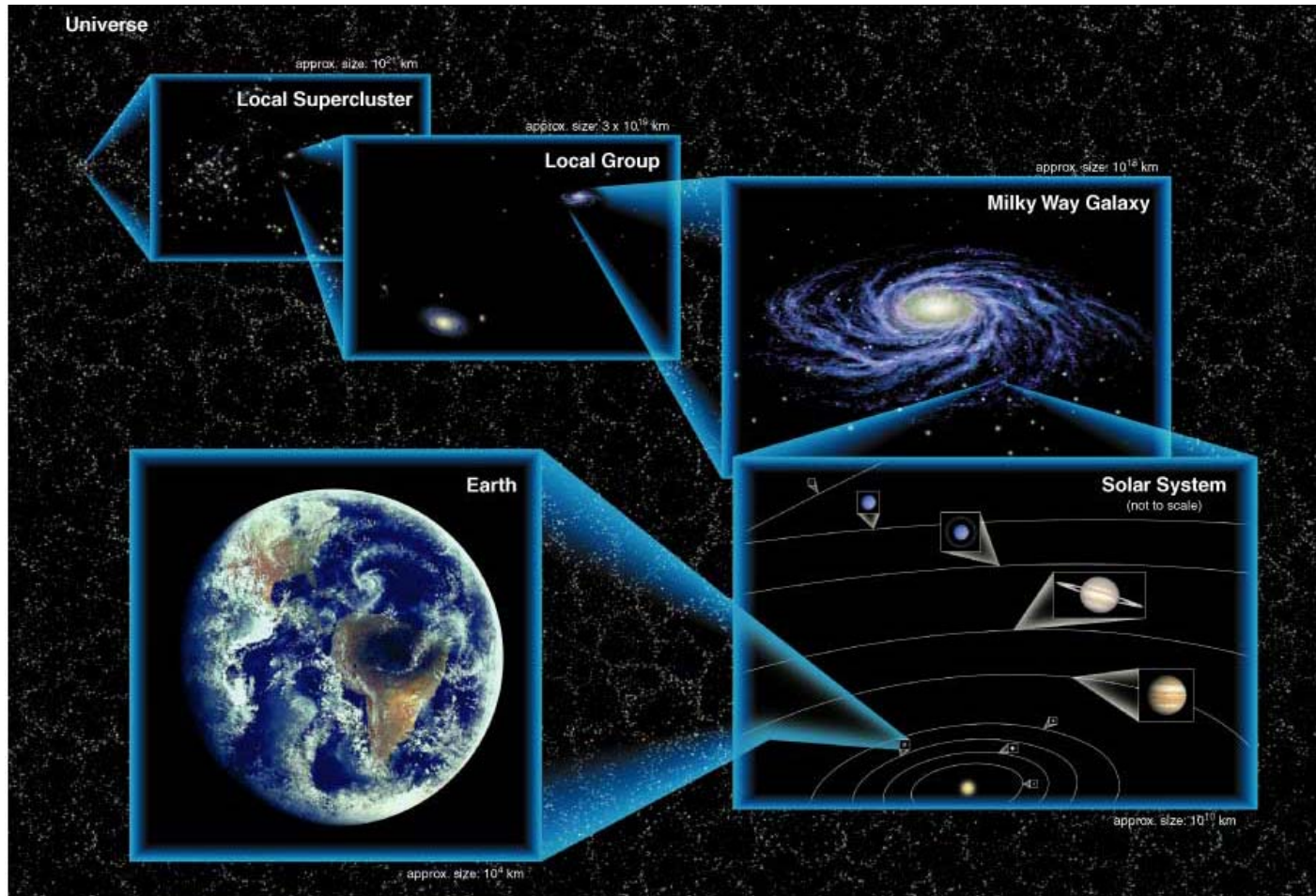


Η «μεγάλη» δομή του τοπικού σύμπαντος

The 10^5 optically-brightest galaxies on the sky



Που βρισκόμαστε μέσα στο σύμπαν;



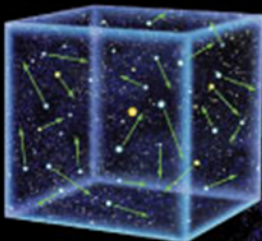
Όλα κινούνται με μεγάλες ταχύτητες?



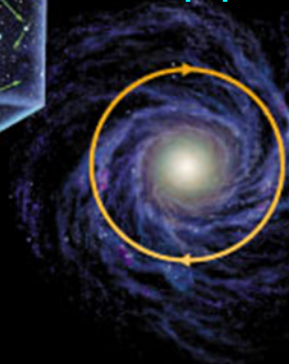
Η Γη γυρίζει γύρω από τον άξονα της: $> 1,000 \text{ km/hr}$



Η Γη κινείται γύρω από τον Ήλιο: $> 100,000 \text{ km/hr}$



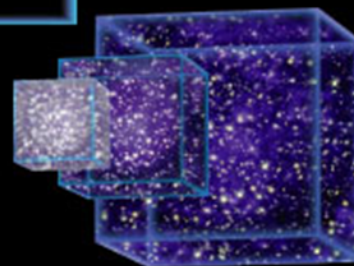
Το Ηλιακό σύστημα κινείται
στη γειτονιά του: $\sim 70,000 \text{ km/hr}$



Περιστροφή του γαλαξία μας:
 $\sim 800,000 \text{ km/hr}$



Milky Way κινείται μέσα
στη τοπική ομάδα γαλαξιών



Το Σύμπαν
διαστέλλεται

- Η Δημιουργία του σύμπαντος και η θεωρία της μεγάλης έκρηξης

Πειραματική Στοιχειοθέτηση της θεωρίας της Μεγάλης Έκρηξης-Δημιουργία του σύμπαντος

ΘΕΩΡΙΑ ΜΕΓΑΛΗΣ ΕΚΡΗΞΗΣ

```
graph TD; A[ΘΕΩΡΙΑ ΜΕΓΑΛΗΣ ΕΚΡΗΞΗΣ] --> B[ΔΙΑΣΤΟΛΗ ΣΥΜΠΑΝΤΟΣ]; A --> C[ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΥΠΟΒΑΘΡΟΥ]; A --> D[ΠΥΡΗΝΟΓΕΝΕΣΗ];
```

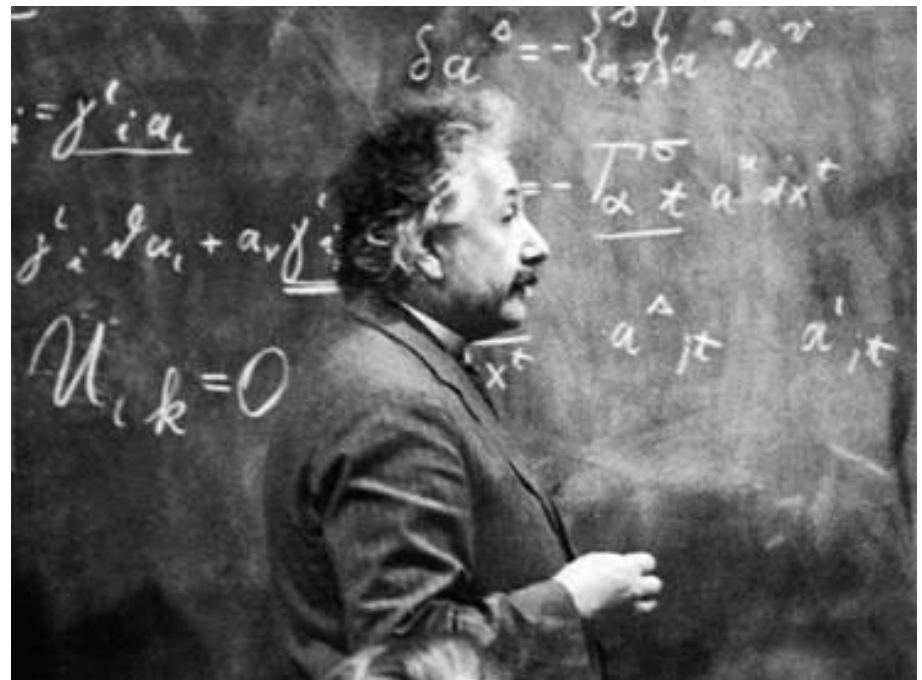
ΔΙΑΣΤΟΛΗ ΣΥΜΠΑΝΤΟΣ

ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΥΠΟΒΑΘΡΟΥ

ΠΥΡΗΝΟΓΕΝΕΣΗ

Η ειδική και γενική θεωρία της σχετικότητας (1905-1916)

- Ο Albert Einstein με δύο σημαντικές θεωρίες πριν περίπου 100 χρόνια (στην αρχή του 20^{ου} αιώνα) ανοίγει το δρόμο για τη θεμελίωση σύγχρονης κοσμολογίας!



Ειδική θεωρία σχετικότητας (1905)

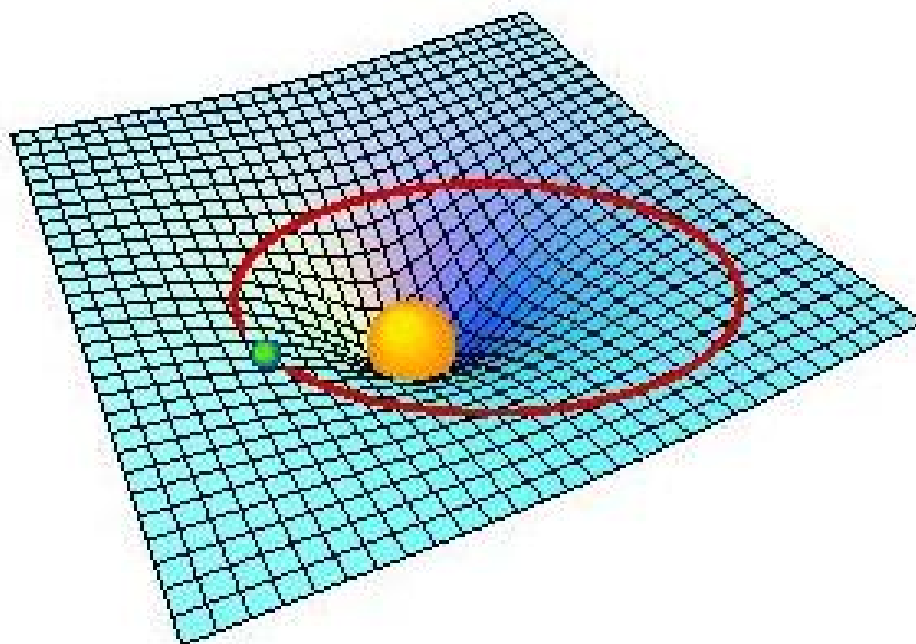
- Η ενέργεια και η μάζα συνδέονται με τον φημισμένο τύπο

$$E = mc^2$$

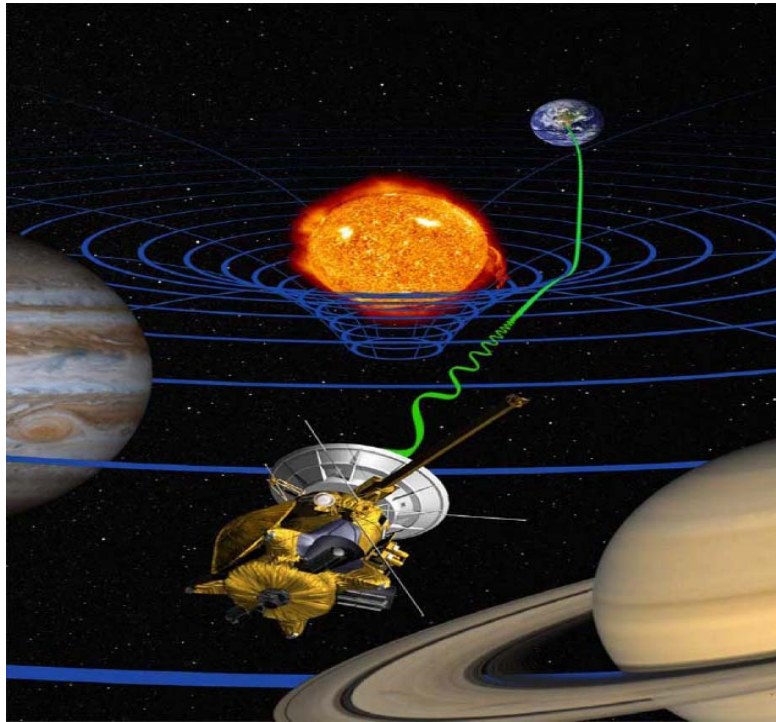
Γενική θεωρία σχετικότητας (1916)

- Προεκτείνει την ισχύ της Νευτώνειας θεωρίας της βαρύτητας σε μεγάλες μάζες και διαστάσεις, ενοποιώντας παράλληλα την ενέργεια-υλη με χώρο και χρόνο!

Η μάζα και ενέργεια καμπυλώνουν
το χώρο γύρω τους

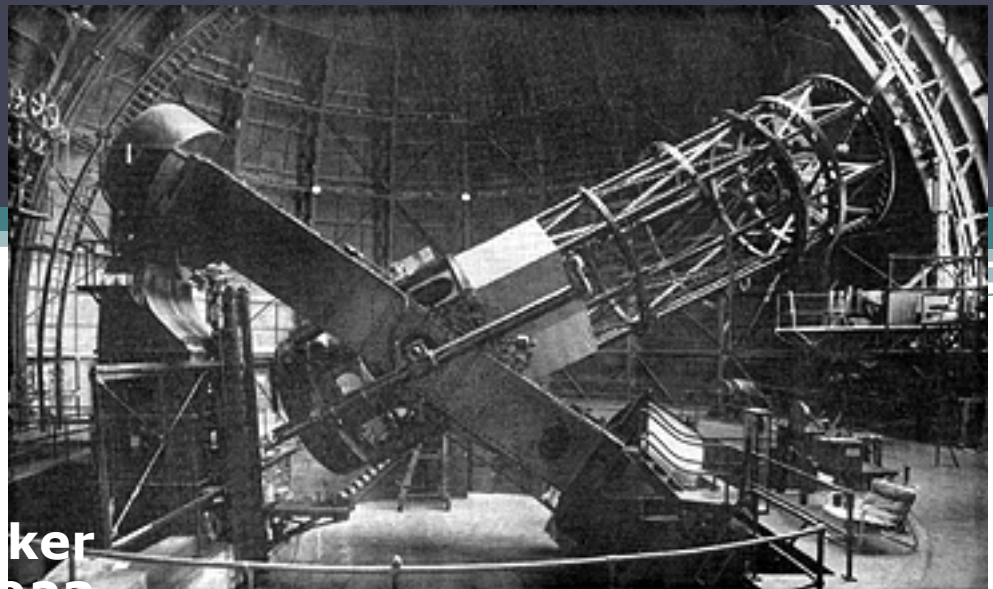


Ο Ήλιος και οι πλανήτες στον καμπύλο χώρο

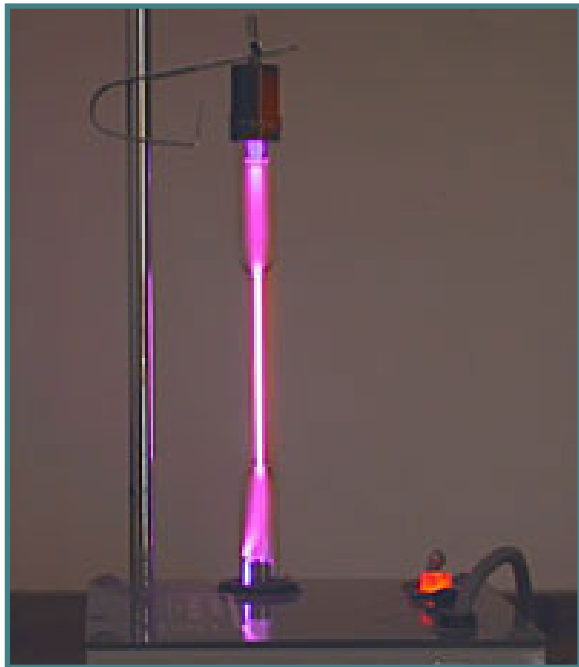


Edwin Hubble at Mt. Wilson

1929

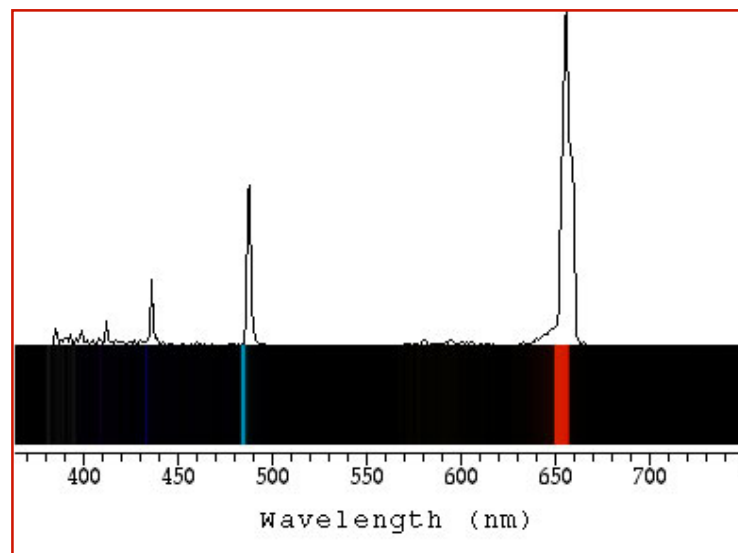


Παρατηρήσεις από τη διαστολή του Σύμπαντος

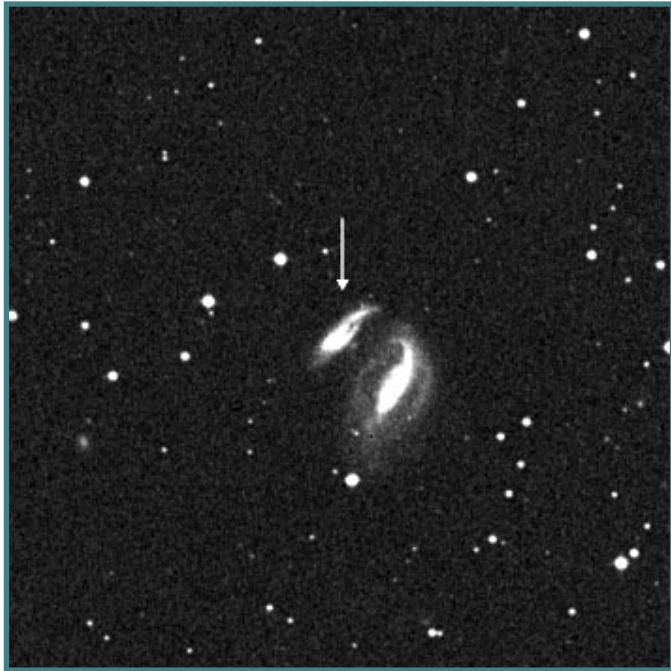


Hydrogen lamp

Το φάσμα του υδρογόνου

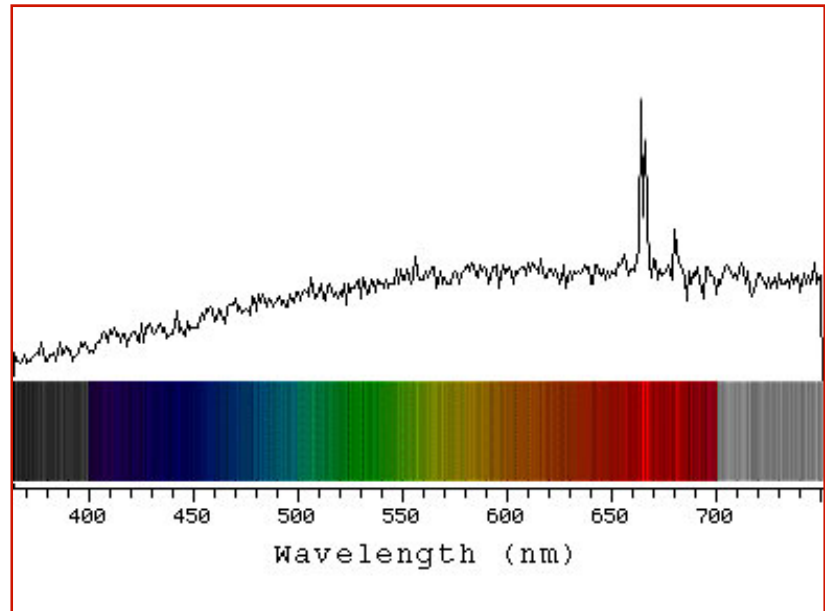


Evidence for an expanding universe

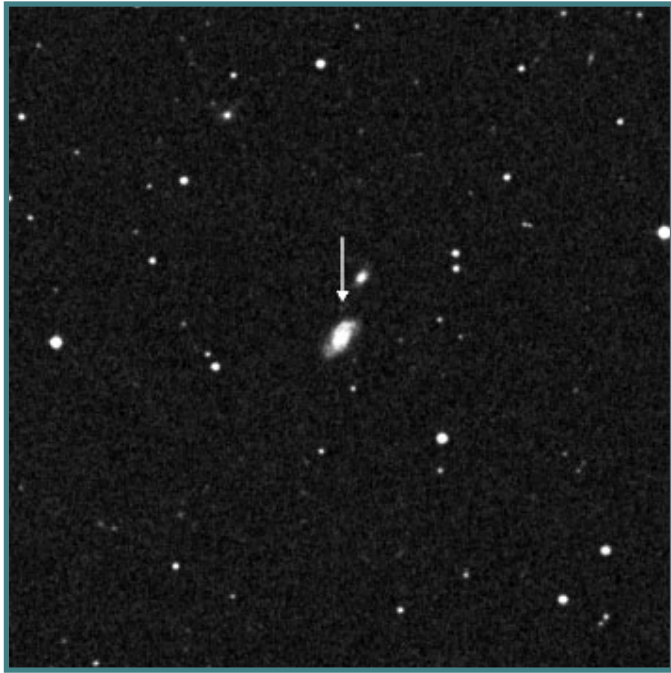


Galaxy UGC 12915

We see the same repeating pattern of lines in a galaxy, but displaced to the red

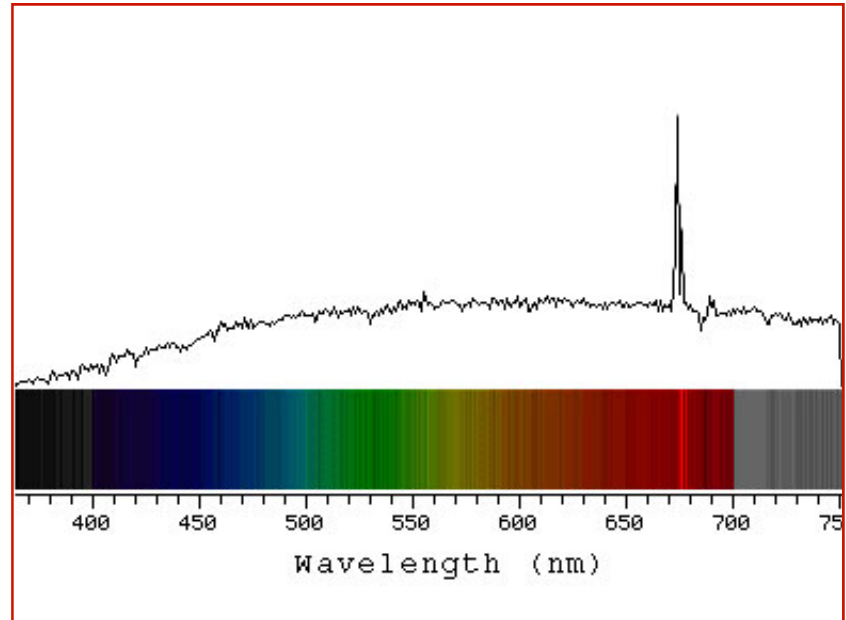


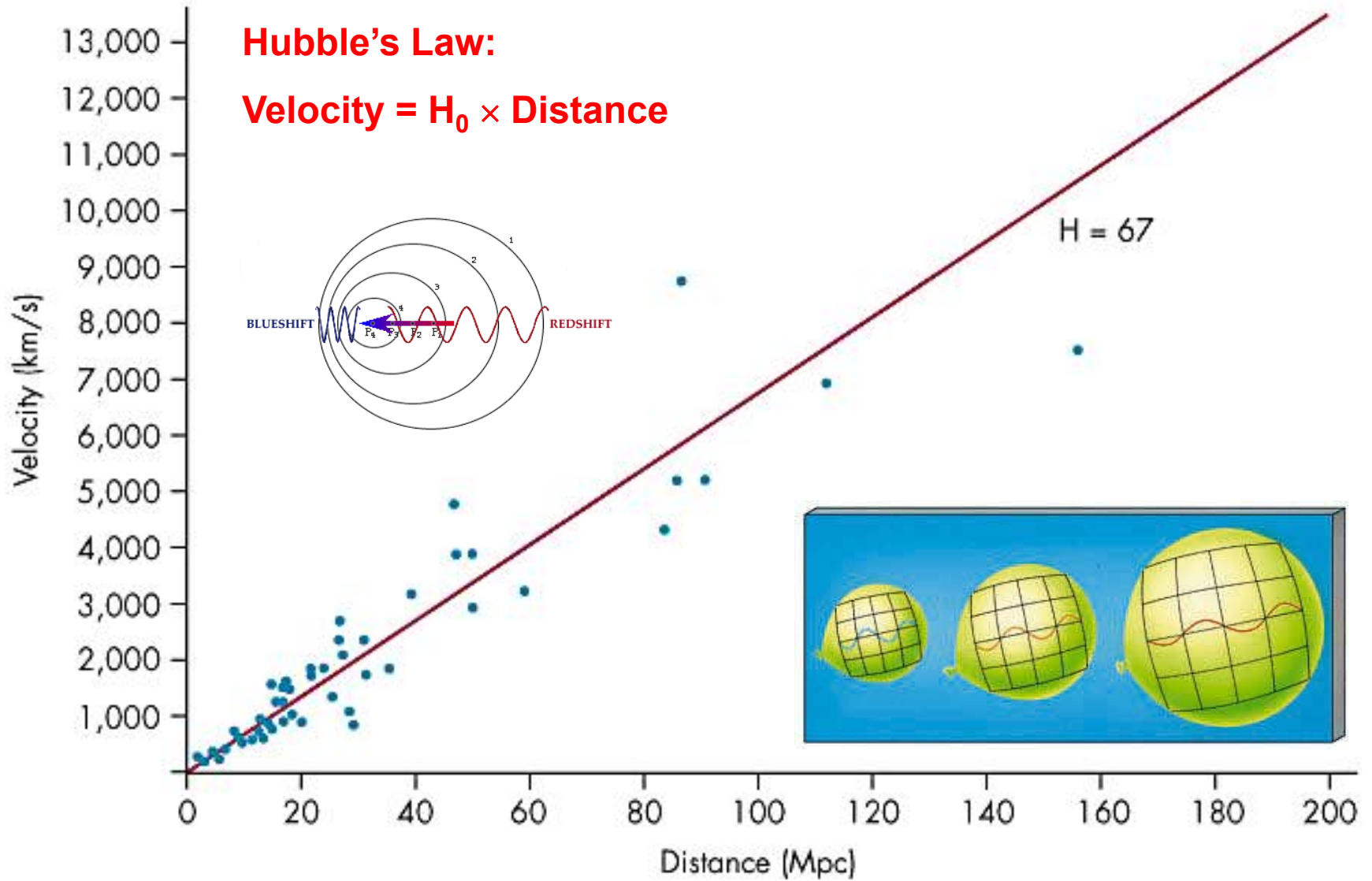
Evidence for an expanding universe



Galaxy UGC 12508

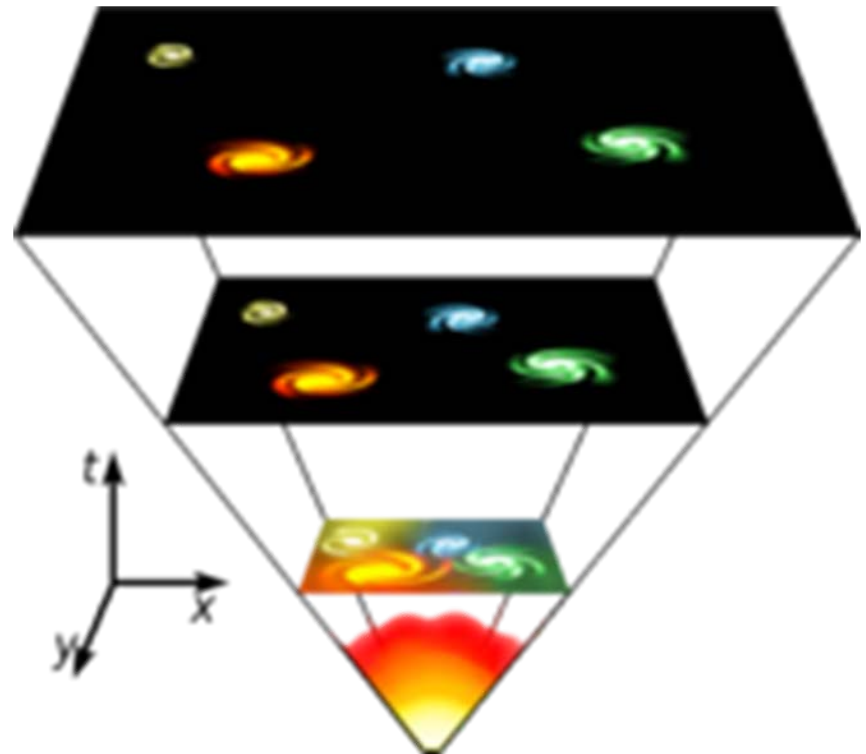
The further the galaxy,
the more the shift to the red





ΤΙ ΣΗΜΑΙΝΕΙ ΟΤΙ ΤΟ ΣΥΜΠΑΝ ΔΙΑΣΤΕΛΛΕΤΑΙ;

- Μήπως σημαίνει ότι βρισκόμαστε στο κέντρο του Σύμπαντος
- **ΟΧΙ** ! Ο κάθε γαλαξίας απομακρύνεται από κάθε άλλο γαλαξία!!! Η διαστολή του Σύμπαντος δεν έχει κέντρο στον 3-διάστατο χώρο!
- Διαστελλόμαστε και εμείς: Διαστέλλεται η Γη, η Σελήνη, το σπίτι μας, η γάτα μας; οι φίλοι μας; **ΟΧΙ**, όπως στη διαστολή ή συστολή των αερίων, τα μόρια τους μένουν ανεπηρέαστα!



Η Ηλικία του Σύμπαντος

- ☀ Ο ρυθμός διαστολής του Σύμπαντος μας δίνει άνω όριο στην **ηλικία** του:

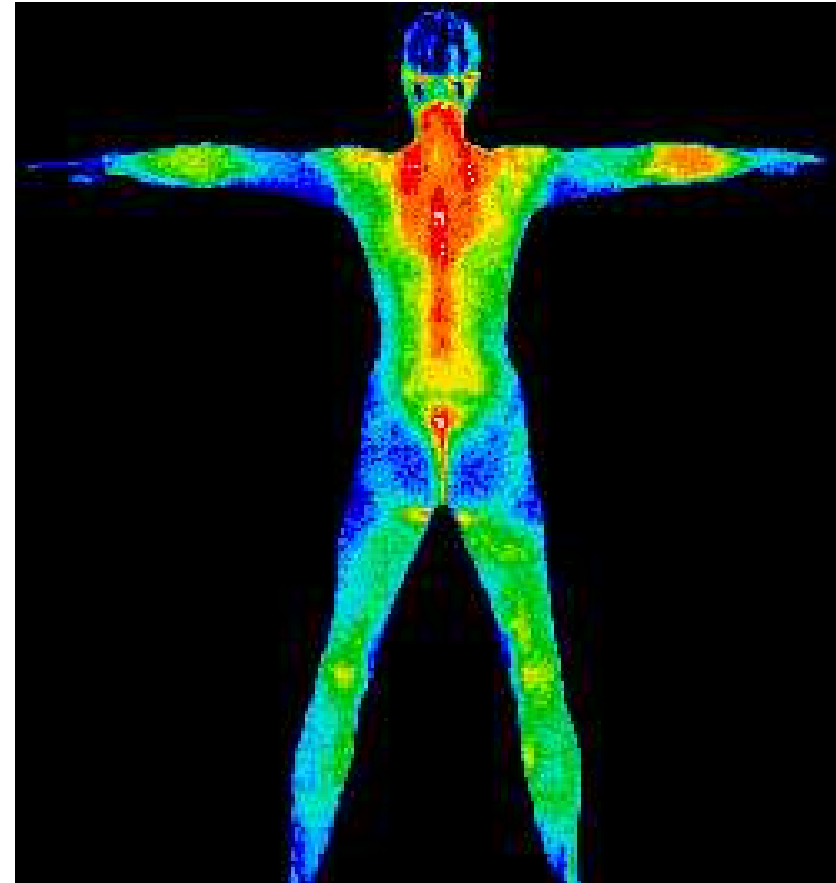
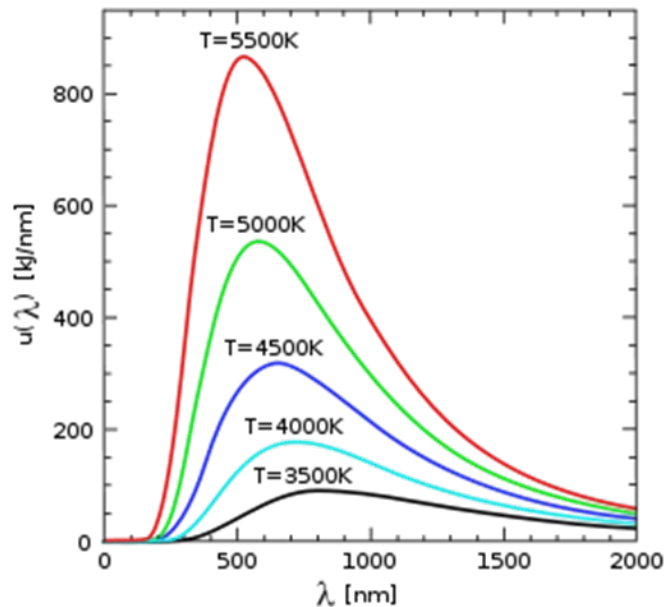
$$t_{\max} = H_0^{-1} \rightarrow 15.000.000.000 \text{ yr}$$

(λόγω επιβράδυνσης διαστολής από ίδιο βαρυτικό πεδίο !)

- ☀ Η ηλικία των εμπεριεχομένων εντός του Σύμπαντος αντικειμένων (Γη, Πλανήτες, Άστρα, Γαλαξίες κλπ) δίνει κάτω όριο
→ 5.000.000.000 yr – 13.000.000.000 yr

- ☀ Τελικά από τον επιταχυνόμενο ρυθμό διαστολής και τις πρόσφατες μετρήσεις κοσμολογικών παραμέτρων
→ 13.700.000.000 yr

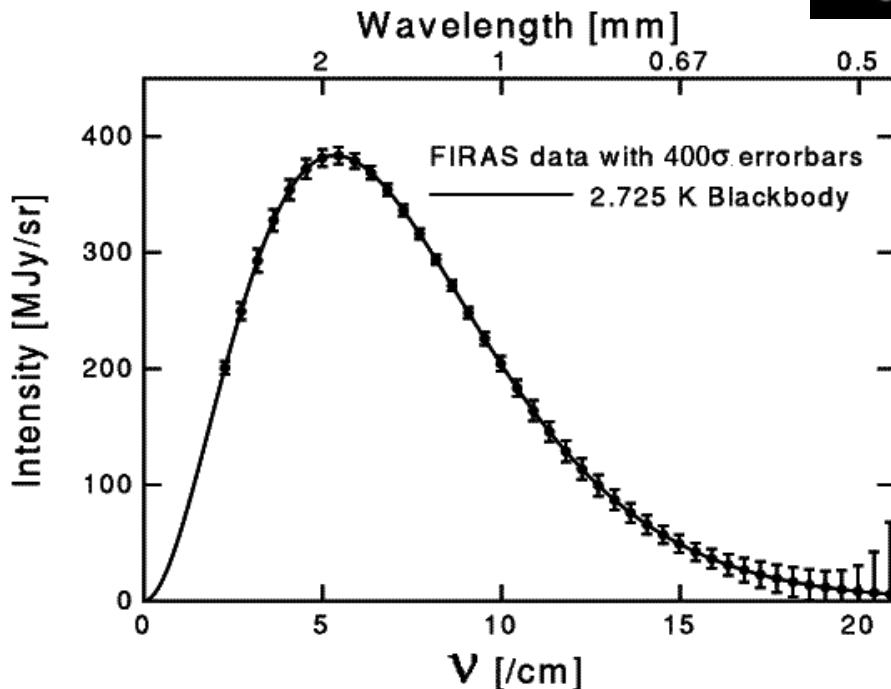
Η σχέση θερμοκρασίας και ακτινοβολίας



ΔΙΑΧΥΤΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΜΙΚΡΟΚΥΜΑΤΩΝ

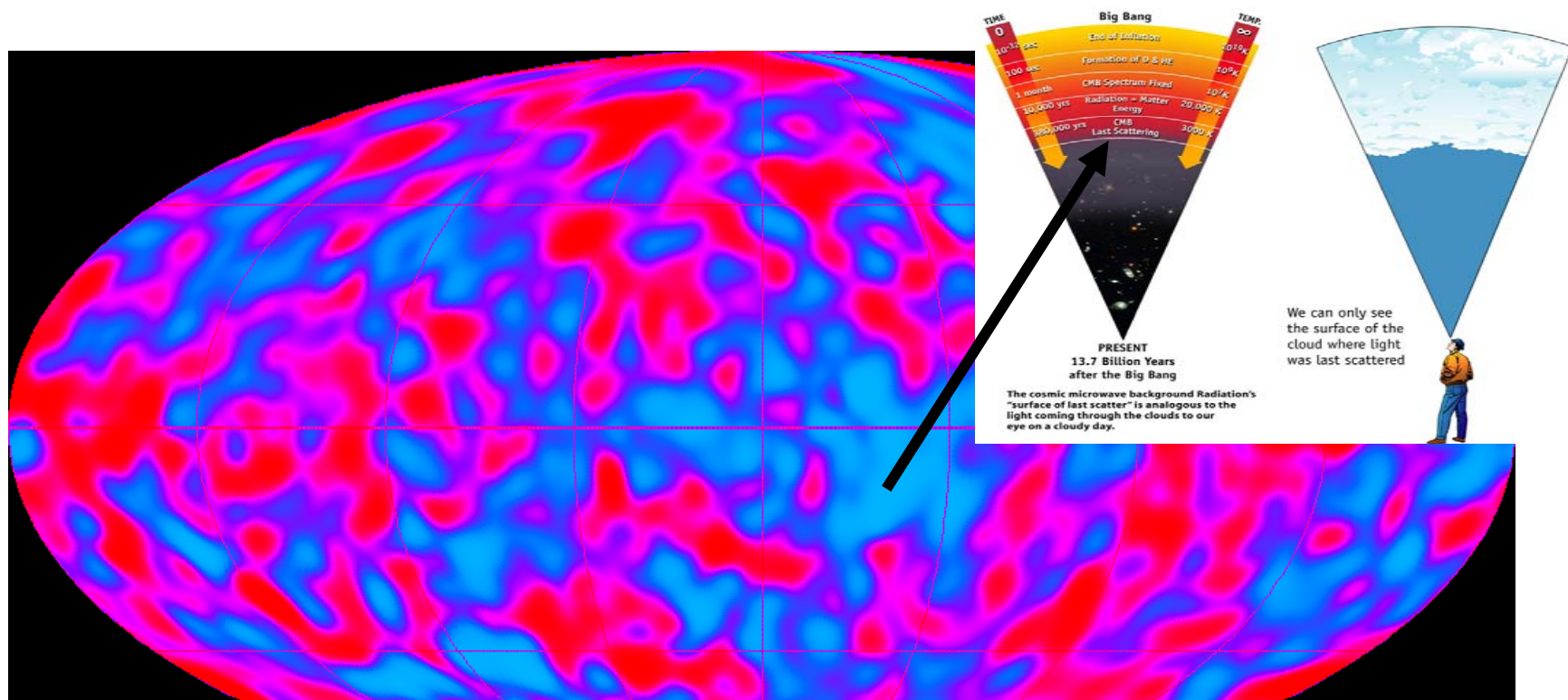
Η ύπαρξη της και η **θερμική** προέλευση της είχε προβλεφθεί από τον **Gamow, Alpher & Herman** από την δεκαετία του 1940 σαν αποτέλεσμα της αρχικά υπέρθερμης κατάστασης του Σύμπαντος. Βρέθηκε τυχαία από τους **Penzias & Wilson** το 1967 (Νόμπελ Φυσικής) με θερμοκρασία περίπου 3 K (πολύ κοντά στην αρχική πρόβλεψη).

**Η πιο ακριβής μέτρηση
ακτινοβολίας μέλανος σώματος**



Ουσιαστικά αποτελεί το απολίθωμα της αρχέγονης ακτινοβολίας του **Big-Bang**, όταν αυτή απελευθερώθηκε από τα δεσμά που την κρατούσαν σε σύζευξη με την ύλη. Δηλαδή αποτελεί φωτογραφία του Σύμπαντος όταν είχε ηλικία μόλις **~380000 έτη**.

ΔΙΑΧΥΤΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΜΙΚΡΟΚΥΜΑΤΩΝ

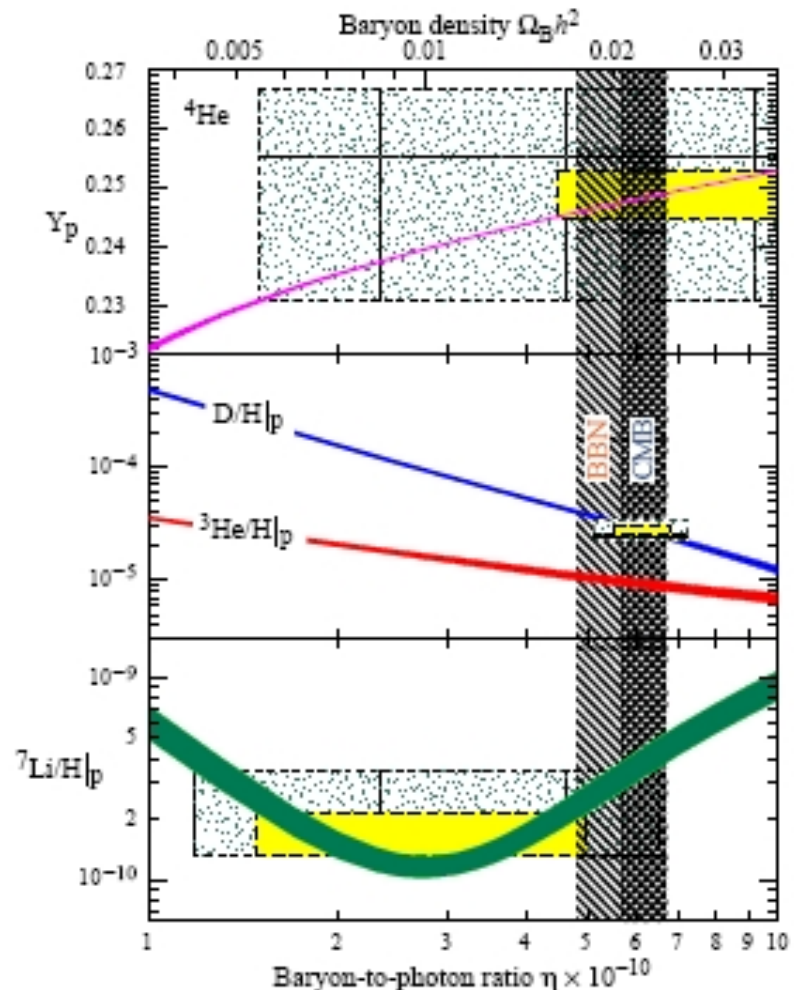


•Οι διαταραχές θερμοκρασίας της ακτινοβολίας μικροκυμάτων από τις παρατηρήσεις του δορυφόρου **COBE & WMAP** και αερόστατου **BooMERANG**. Οι κόκκινες και οι μπλε περιοχές αντιστοιχούν στις θερμότερες και στις ψυχρότερες περιοχές του Σύμπαντος αντίστοιχα. Οι διαφορές της θερμοκρασίας είναι μόνον της τάξης του 1 εκατομμυριοστού του βαθμού.

Πυρηνογένεση και η μεγάλη έκρηξη

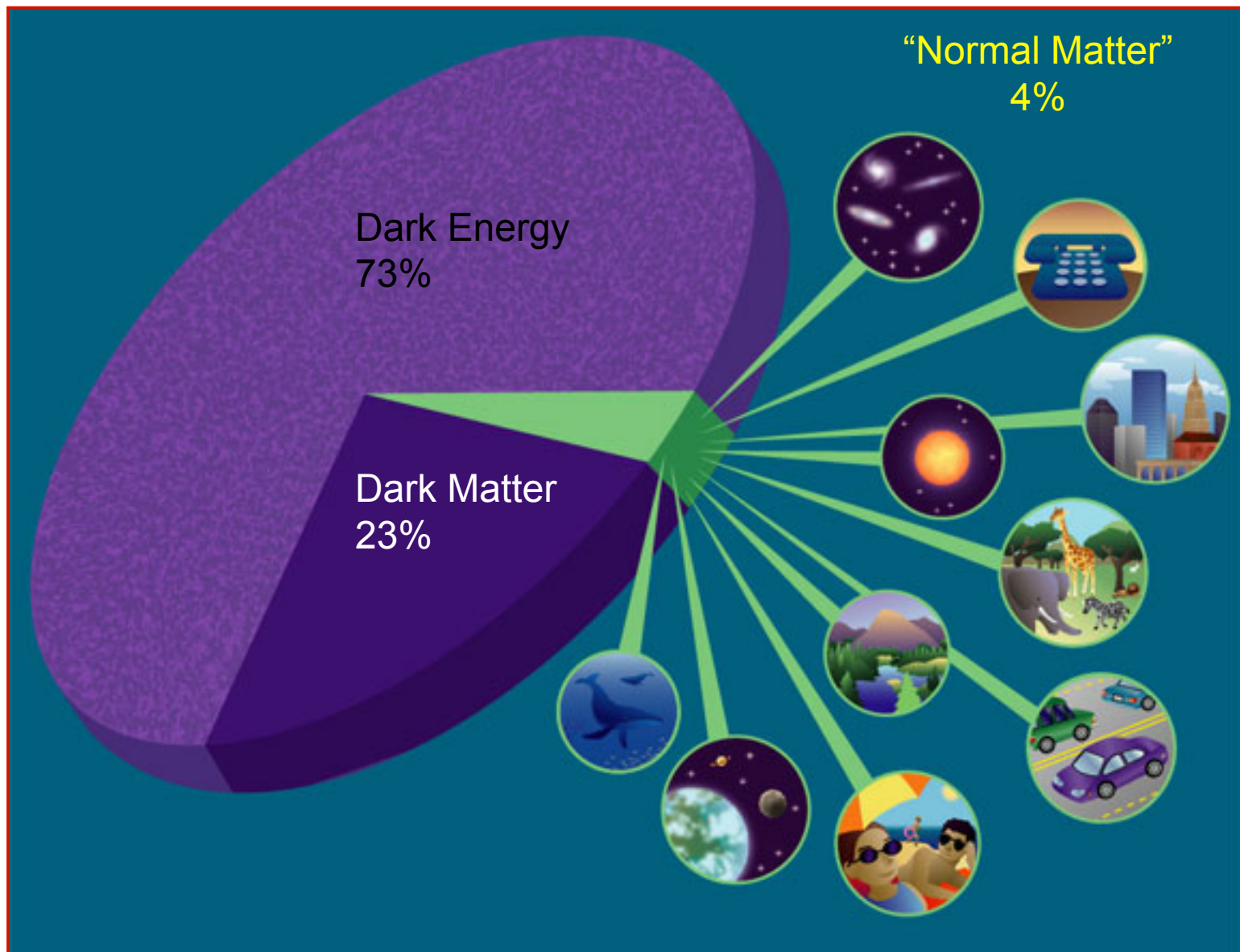
- Το σύμπαν αποτελείται κατά 74 % από υδρογόνο 24% Ήλιο και 2% “μέταλλα”.
- Η σταδιακή πτώση της θερμοκρασίας λόγω της διαστολής μπορούσε σύμφωνα με ένα από τα πιο φημισμένα άρθρα

Alpher, Bethe, Gamow
Physical Review, 1/4/1948



Μέρος τέταρτο

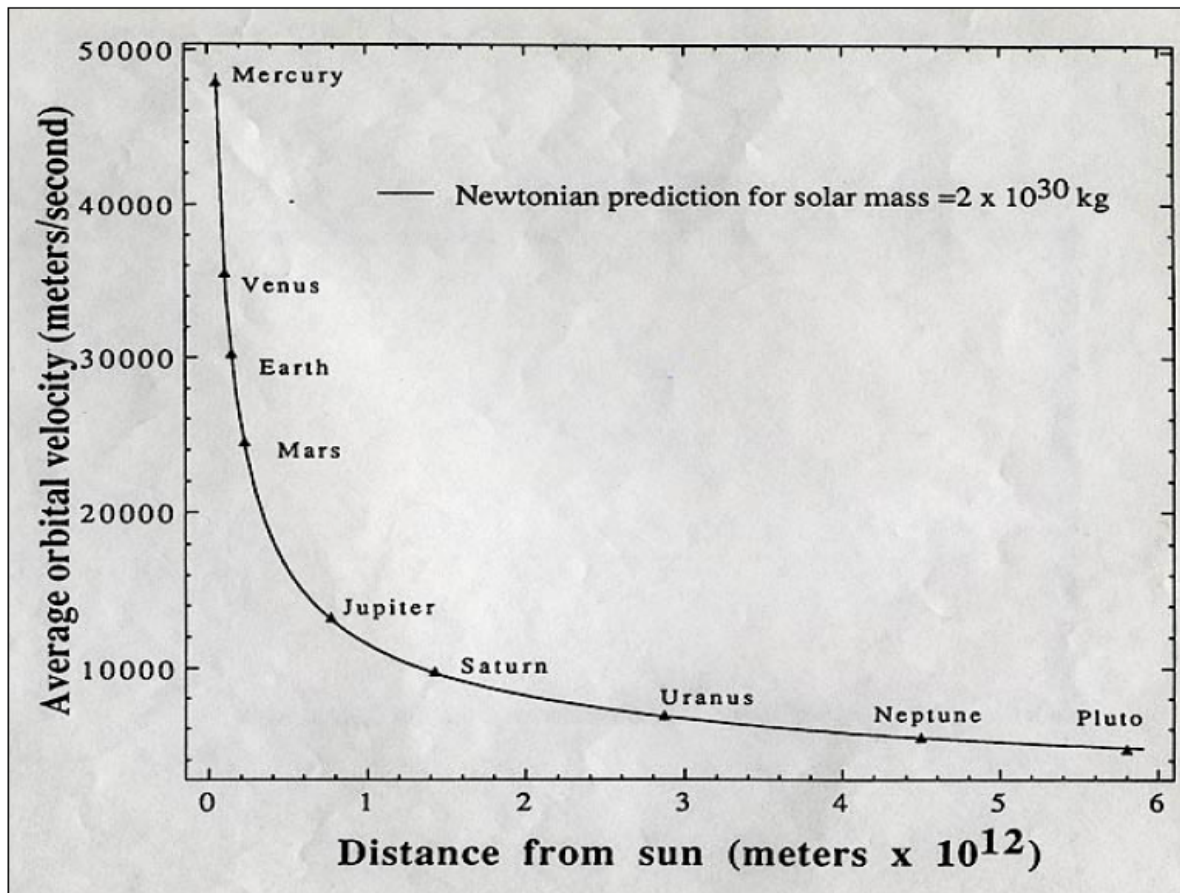
- Τα συστατικά του σύμπαντος και τα πρώτα σύννεφα στη θεωρία της μεγάλης έκρηξης
- Από τι αποτελείται το σύμπαν;



Ο τρίτος νόμος του Κέπλερ για την κίνηση των πλανητών γύρω από τον Ήλιο

- Αν υποθέσουμε ότι οι πλανήτες κινούνται σε σχεδόν κυκλική τροχιά τότε η δύναμη που έλκει ο Ήλιος τον κάθε πλανήτη με μάζα m θα είναι ίση με την φυγόκεντρο

Ο νόμος του Κέπλερ για τους πλανήτες



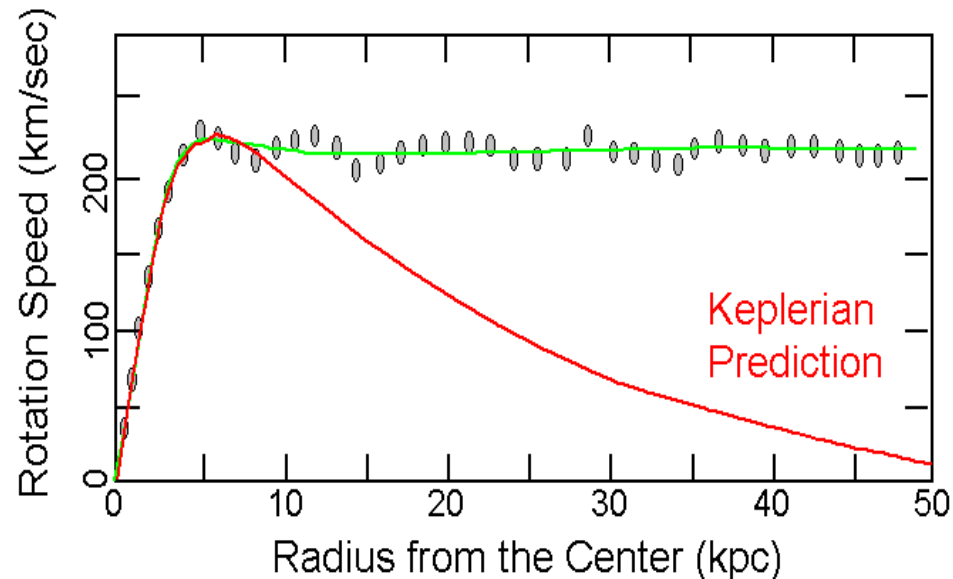
Διαπίστωση της ύπαρξης της από δυναμική
γαλαξιών και σμηνών γαλαξιών :

1. Καμπύλες Περιστροφής Σπειροειδών γαλαξιών
2. Κινήσεις γαλαξιών μέσα στα Σμήνη.
3. Βαρυτικοί φακοί

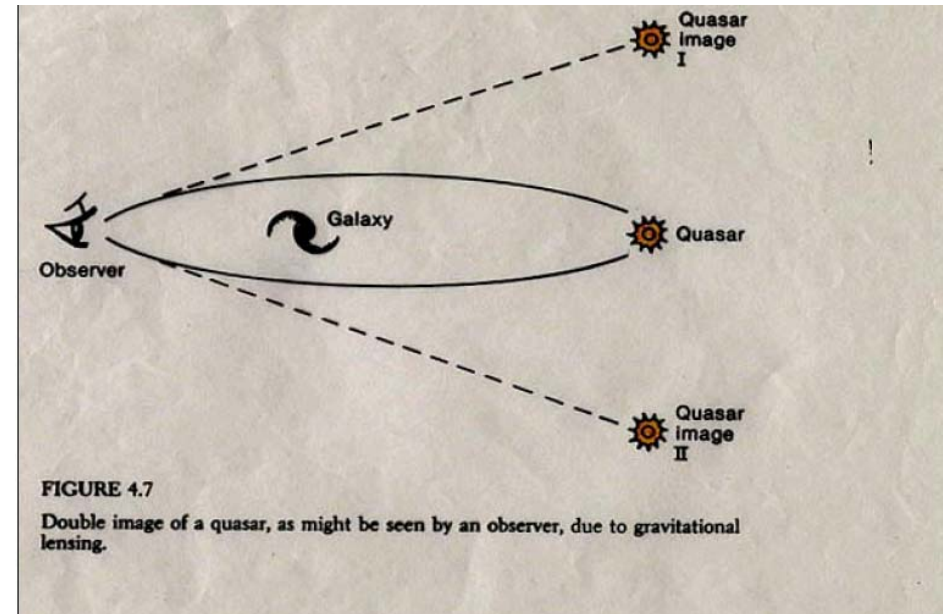
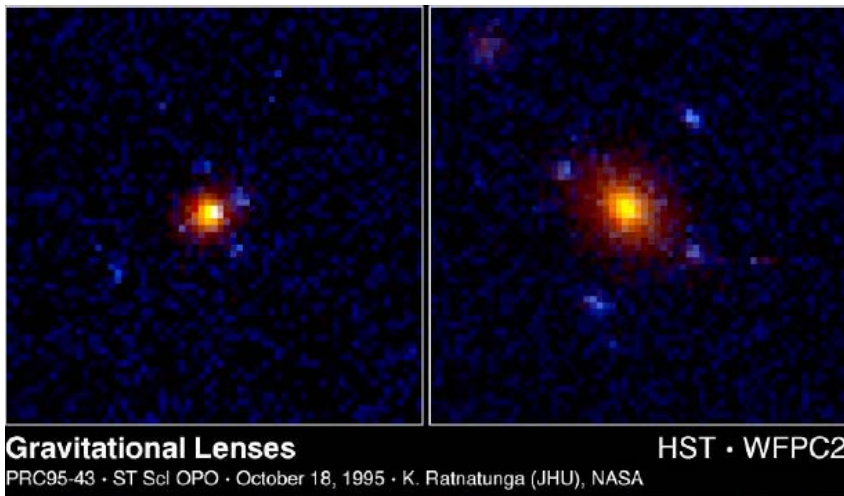


Τελικά τι είναι η σκοτεινή ύλη;
Ότι δεν εκπέμπει
ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.
Είναι σωματίδια που
αλληλεπιδρούν πολύ αμυδρά
μεταξύ τους και με την
κανονική ύλη (μόνο βαρυτική
αλληλεπίδραση).

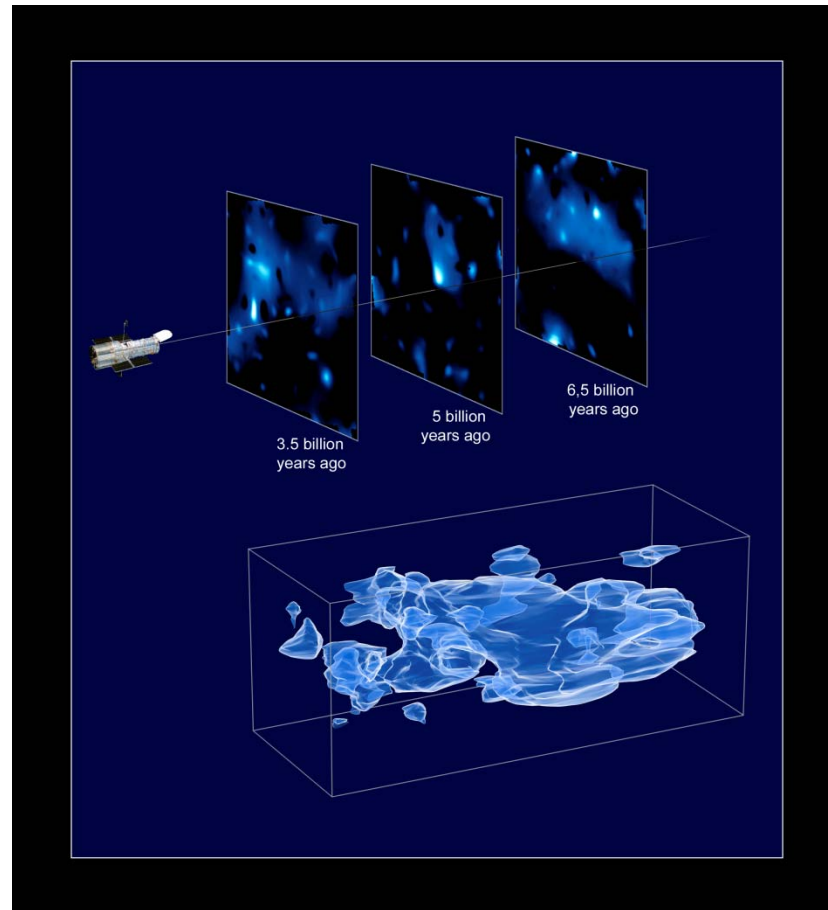
Observed vs. Predicted Keplerian



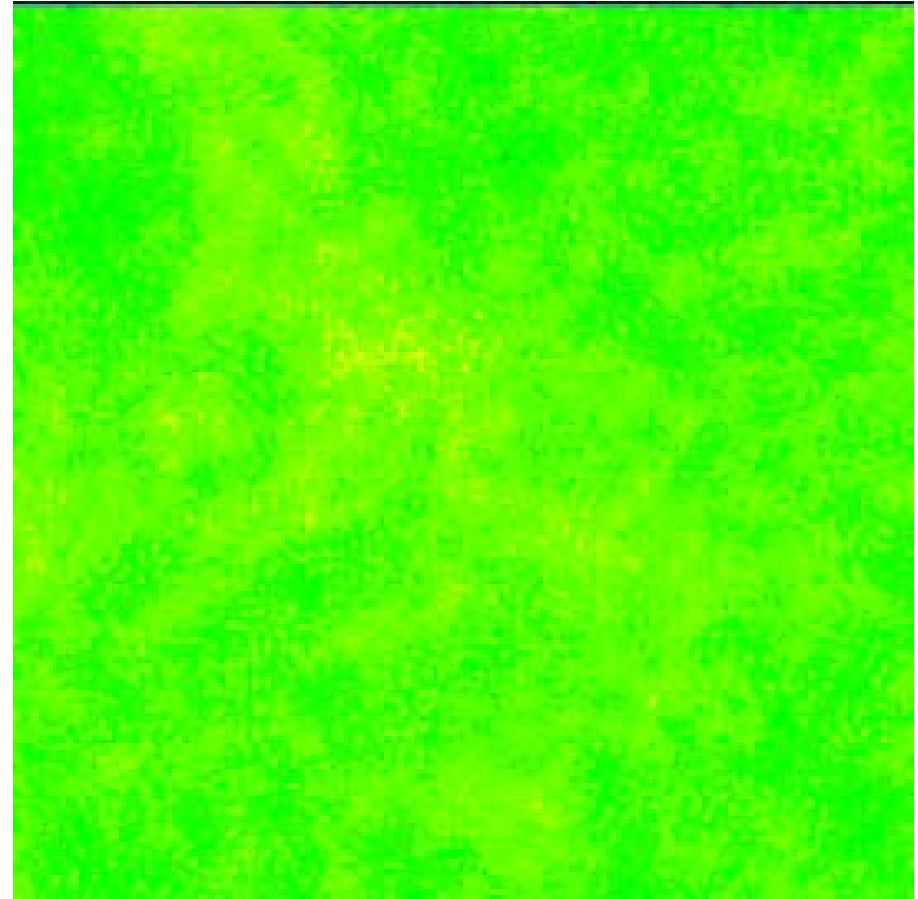
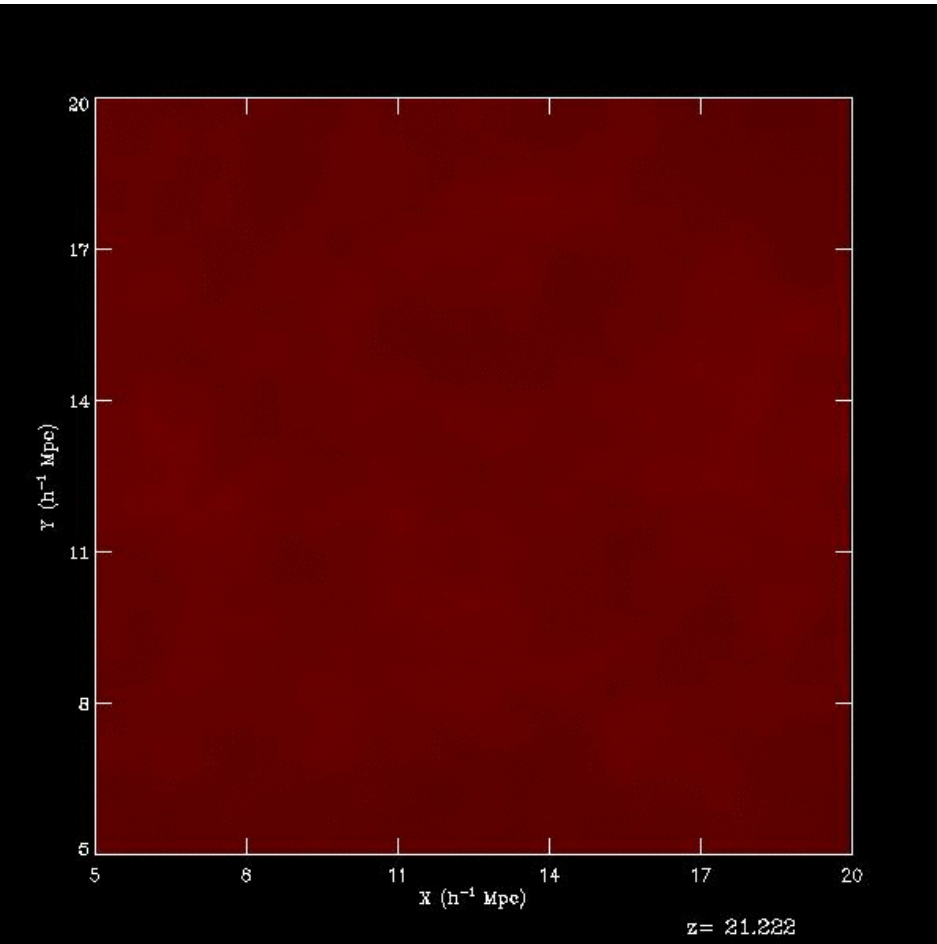
Βαρυτικοί φακοί

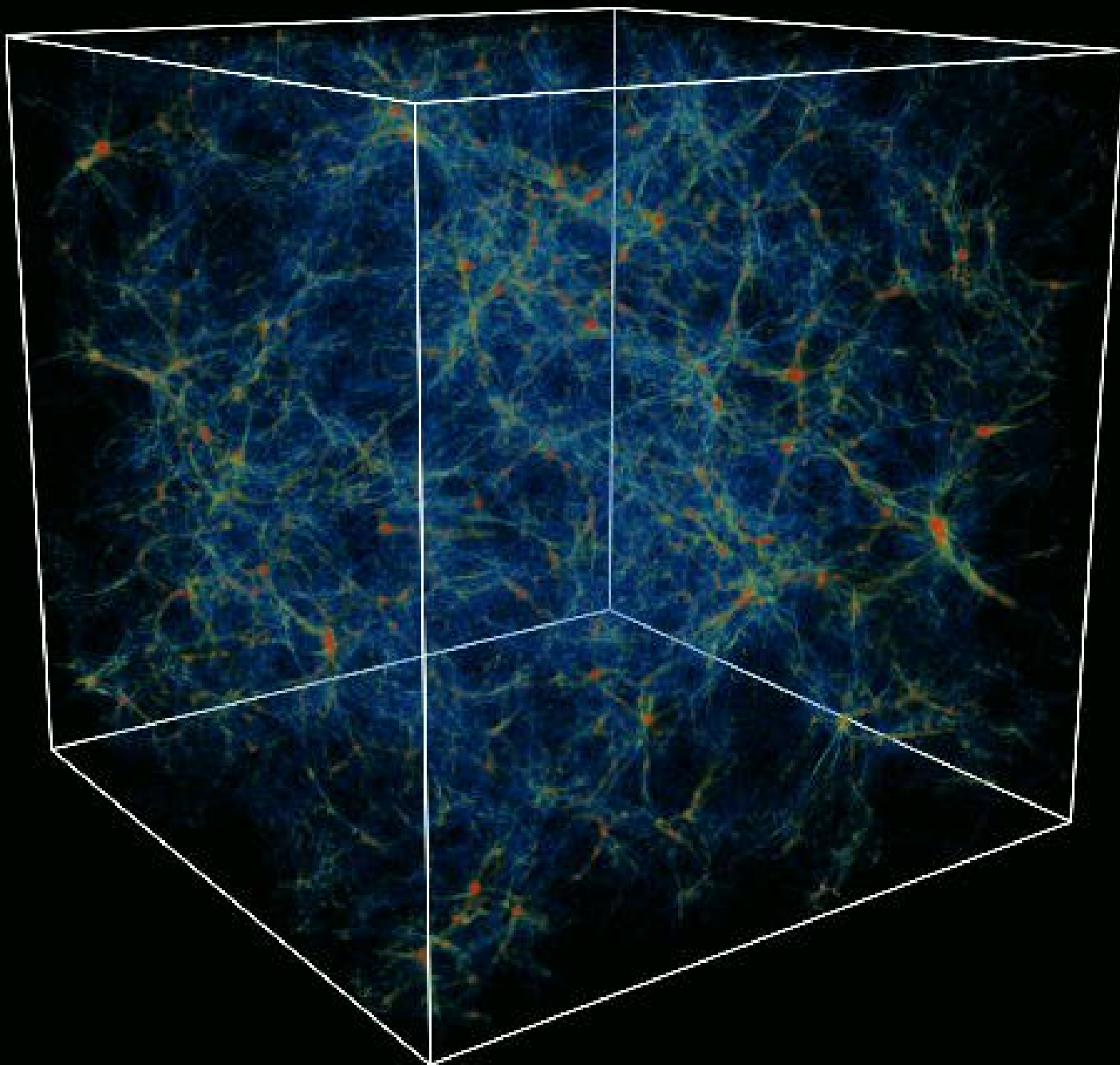


3D αναπαράσταση της σκοτεινής ύλης



Η δημιουργία μεγάλων δομών στη προσομοίωση του σύμπαντος στον υπολογιστή

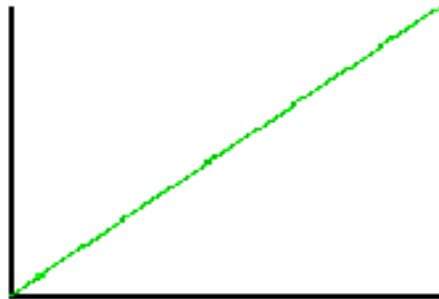




- Ποια θα είναι η Εξέλιξη του σύμπαντος με βάση όσα γνωρίζουμε σήμερα;

Θεωρία Μεγάλης Έκρηξης

- Θεω
δυνα

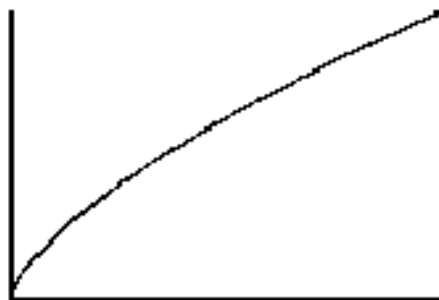


ΑΝΟΙΚΤΟ ΣΥΜΠΑΝ

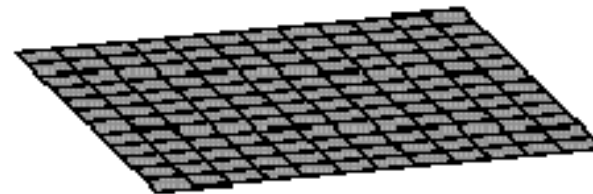


είν, το
1922).

- Το Σ
ίδιο
θερμ
ψύχ

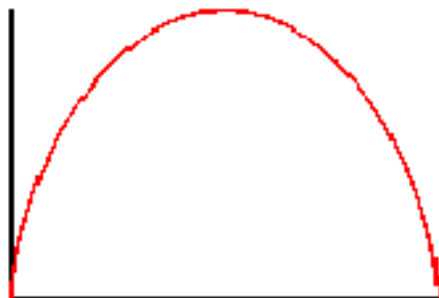


ΕΠΙΠΕΔΟ ΣΥΜΠΑΝ

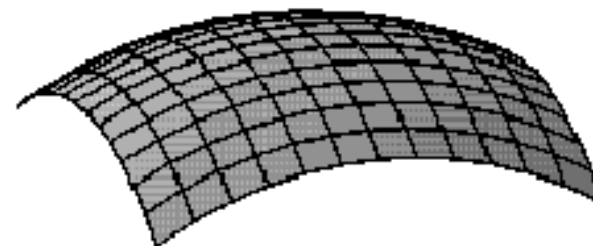


ούργησε τον
μηλότερης
αστολής

- Διαφ
ποσ
Σύμ
Σύμ
διάσ

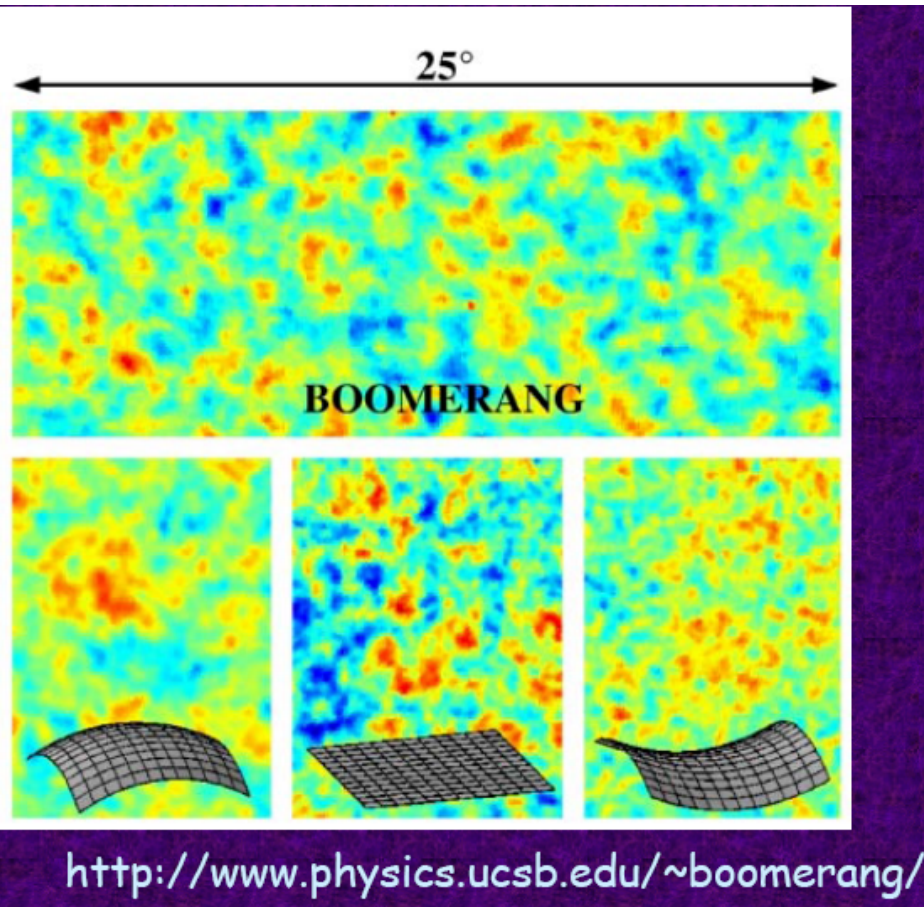


ΚΛΕΙΣΤΟ ΣΥΜΠΑΝ

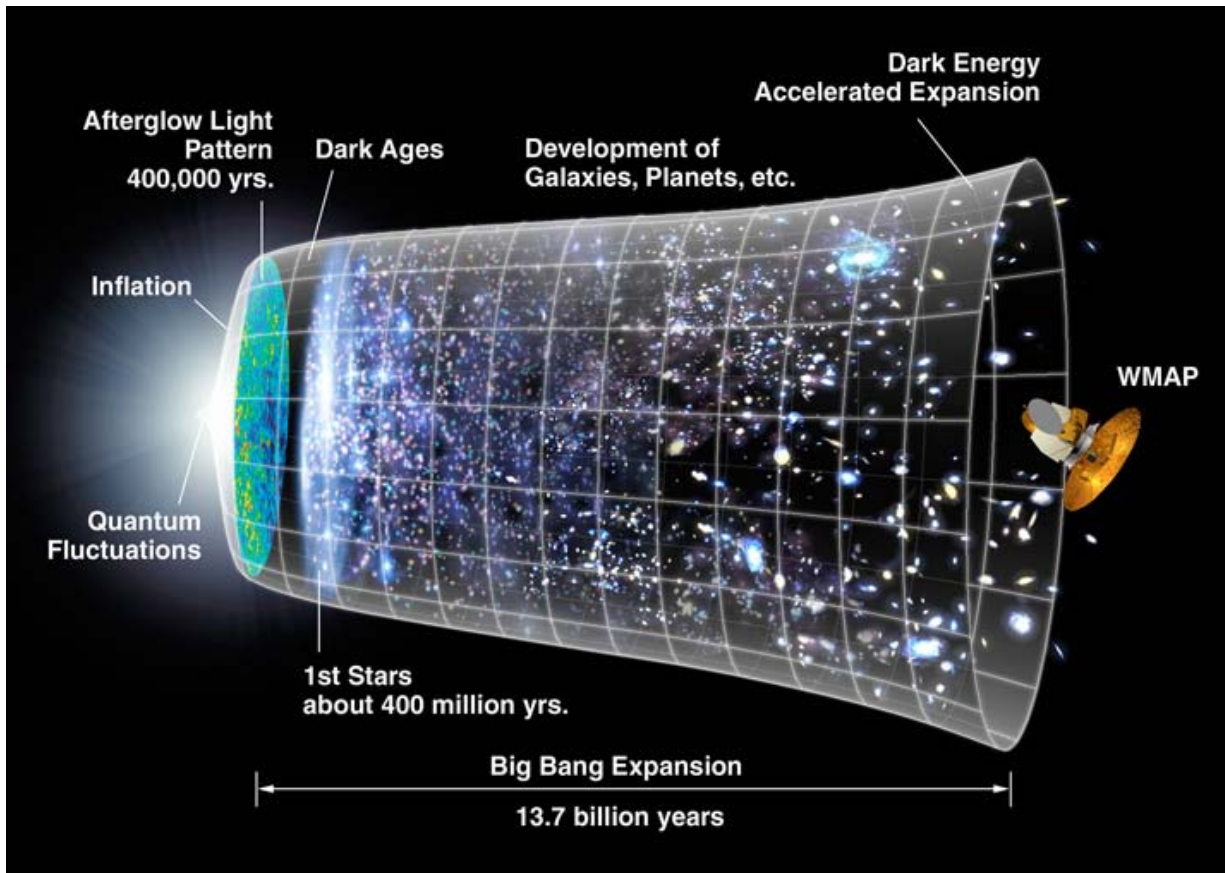


ε συνολικό
ό ποσό → το
ο ποσό → το
χρονικό

Η κατανομή των δομών στο σύμπαν και η καμπυλότητα του χώρου



Διαστολή του Σύμπαντος



Σύγχρονες
παρατηρήσεις
μακρινών
υπερκαινοφανών
αστέρων
(supernova) με το
διαστημικό
τηλεσκόπιο Hubble
μας δείχνουν ότι το
Σύμπαν
**διαστέλλεται με
επιταχυνόμενο
ρυθμό**

Τι είναι η Σκοτεινή Ενέργεια;

1. Διαπίστωση της ύπαρξης της από την επιταχυνόμενη διαστολή του Σύμπαντος (συνάρτηση Hubble με SNIa).
2. Πιστεύεται ότι είναι μια μορφή ενέργειας με αρνητική πίεση, που κατ'επέκταση προσομοιάζει «αντι-βαρύτητα».

Τι είναι η Σκοτεινή Ενέργεια;

Δύο κυρίως μοντέλα έχουν προταθεί:

- (1) η *κοσμολογική σταθερά* (που την πρωτο-εισήγαγε ο Αϊνστάιν), που είναι μία ενέργεια σταθερή στον χρόνο. Η ερμηνεία ως η ενέργεια του κενού υποστηρίζεται από την κβαντομηχανική (από το γεγονός ότι ζεύγη σωματίων & αντι-σωματίων δημιουργούνται από το κενό και παρόλο που ζουν ελάχιστα δίνουν στο κενό μη-μηδενική δυναμική ενέργεια). Στην Γ.Θ.Σ. όλες οι μορφές ενέργειας δημιουργούν βαρυτικό πεδίο, άρα και η ενέργεια του κενού και
- (2) το *quintessence* που είναι ένα δυναμικό πεδίο του οποίου η ενέργεια εξελίσσεται στον χώρο και τον χρόνο.

Συμπεράσματα

- ✓ Το Σύμπαν διαστέλλεται με επιταχυνόμενο ρυθμό!
- ✓ Η ηλικία του Σύμπαντος είναι 13.700.000.000 χρόνια
- ✓ Το 4% της ύλης είναι η κοινή ύλη (άτομα, πρωτόνια, ηλεκτρόνια → συνηθισμένη ύλη), δηλαδή από αυτή που είμαστε και εμείς φτιαγμένοι και 26% είναι **σκοτεινή ύλη** !
- ✓ Υπάρχει και μεγάλο ποσό ενέργειας (73%) του κενού (**σκοτεινή ενέργεια**). Είναι άγνωστο το πώς δημιουργήθηκε!

Άρα το μεγάλο ανοικτό πρόβλημα της κοσμολογίας σήμερα είναι «**Η σκοτεινή πλευρά**» του σύμπαντος

Η «φωτεινή και σκοτεινή» πλευρά του Σύμπαντος

Η «φωτεινή και σκοτεινή» πλευρά της Γής



Ανοιχτά θέματα για συζήτηση

- Μήπως παρακολουθούμε το τέλος μιας από τις πιο πετυχημένες θεωρίες (της Γενικής θεωρίας Σχετικότητας και της μεγάλης έκρηξης?)
- Μπορεί η θεωρία της μεγάλης έκρηξης με «βελτιώσεις» να καλύψει τα κενά που αναδεικνύονται από τις νέες παρατηρήσεις, ή χρειαζόμαστε κάτι ολοκληρωτικά νέο?
- Μήπως το «σύμπαν» έχει «γείτονες» και δεν μπορούμε ακόμα να τους δούμε (κάτι αντίστοιχο με τους γαλαξίες στις αρχές του 20 αιώνα)?
- Χωρίς πολλές ακόμα νέες παρατηρήσεις κανένα από αυτά τα θέματα δεν μπορούν να συζητηθούν σοβαρά.

Το σίγουρο είναι ότι...

- Η κοσμολογία περνά μια γόνιμη και δημιουργική περίοδο και περιμένουμε σύντομα συνταρακτικές αναταράξεις...
- Για τους αστροφυσικούς ... η «κρίση» είναι υπέροχο πράγμα... γιατί γεννά το νέο..
- Η αστροφυσική περιμένει τους νέους και τις νέες γιατί το σύμπαν είναι εδώ να το ανακαλύψουν...

Our changing view of the Universe

