

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑ

Κεφάλαιο Κοσμολογία

Μανώλης Πλειώνης

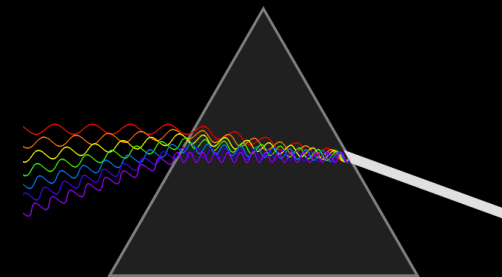
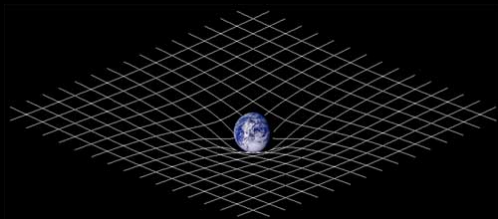
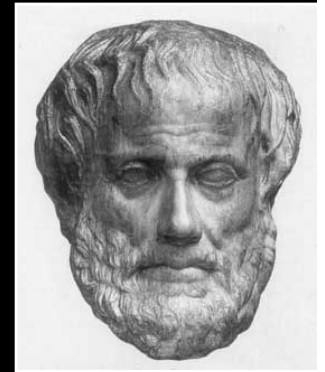
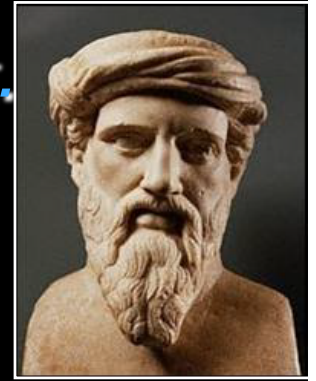
Κοσμολογία είναι η επιστήμη που μελετά την **ΓΕΝΝΗΣΗ και ΕΞΕΛΙΞΗ** του ΣΥΜΠΑΝΤΟΣ και αντίστοιχα την γέννηση και εξέλιξη των **ΚΟΣΜΙΚΩΝ ΔΟΜΩΝ** που περιέχει.

Διαχρονική πορεία της Κοσμολογικής Σκέψης

Αρχικά Θεολογικές και Φιλοσοφικές προσεγγίσεις.

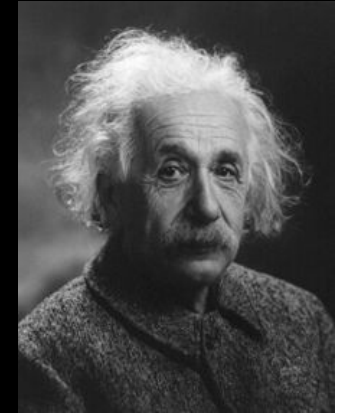
- Αρχαία Ελληνική Κοσμολογία: Ησίοδος, Ίωνες φυσικοί φιλόσοφοι, Αριστοτέλης, Πυθαγόριοι, Αρίσταρχος τον Σάμιο (310 - 230 πΧ) με την Ηλιοκεντρική του Θεωρία, κλπ
- Χριστιανική Μεσαιωνική πνευματική αποδόμηση και Αναγεννησιακή επιστροφή (Galileo, Copernicus etc)
- Σύγχρονη Κοσμολογία: Einstein, Friedmann, Lemaitre, Hubble, Gamow....

Επιστήμη του 20^{ου} αιώνα: Αναπτύχθηκε με την θεμελίωση της **Γενικής Θεωρίας της Σχετικότητας**, με την ανάπτυξη της **φασματοσκοπίας** και των **μεγάλων κατοπτρικών τηλεσκοπίων**.



Η κυρίαρχη Κοσμολογική Θεώρηση: Το Μοντέλο της *Μεγάλης Έκρηξης*

- Θεωρητική πρόβλεψη της Γενικής Θεωρίας της Σχετικότητας του **Einstein** είναι το δυναμικά εξελισσόμενο Σύμπαν (**Friedmann** 1922). Παρόλο το «τα πάντα ρεί» του Ηράκλειτου, η κυρίαρχη διαχρονικά άποψη περί στατικότητας του Σύμπαντος, ώθησε τον Einstein να την βάλει με «το χέρι» στις εξισώσεις του, μέχρι την ορθή διόρθωση -παρέμβαση του Friedmann.



Ο **Lemaitre** υπέθεσε ότι εάν το Σύμπαν διαστέλλεται τότε στο παρελθόν θα ήταν σε κατάσταση υψηλότερης θερμοκρασίας και πυκνότητας που λόγω διαστολής ψύχεται και αραιώνει συνέχεια. Όμως έως 10^{-43} δευτερόλεπτα διαθέτουμε ερμηνευτικά εργαλεία... Επομένως η έννοια του χρόνου, και η ίδια η υπόσταση του σύμπαντος παραμένει άγνωστη πριν από τον χρόνο Planck

3 Αποδεικτικοί Πυλώνες της θεωρίας της Μεγάλης Έκρηξης

ΘΕΩΡΙΑ ΜΕΓΑΛΗΣ ΕΚΡΗΞΗΣ

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

ΔΙΑΣΤΟΛΗ ΣΥΜΠΑΝΤΟΣ

ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΥΠΟΒΑΘΡΟΥ

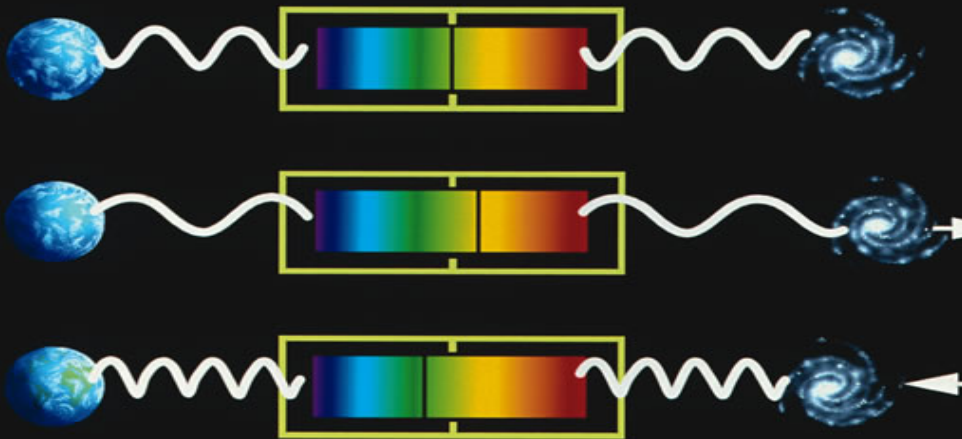
ΠΥΡΗΝΟΓΕΝΕΣΗ

Πυλώνας Νο 1: Διαστολή του Σύμπαντος

Το 1929 ο Hubble χρησιμοποιώντας το τηλεσκόπιο 2.5μ του Mt.Wilson, ανακάλυψε ότι τα φάσματα γαλαξιών είναι μετατοπισμένα στο ερυθρό $z = (\lambda_0 - \lambda) / \lambda = \Delta\lambda / \lambda$

λ = μήκος κύματος ηρεμίας

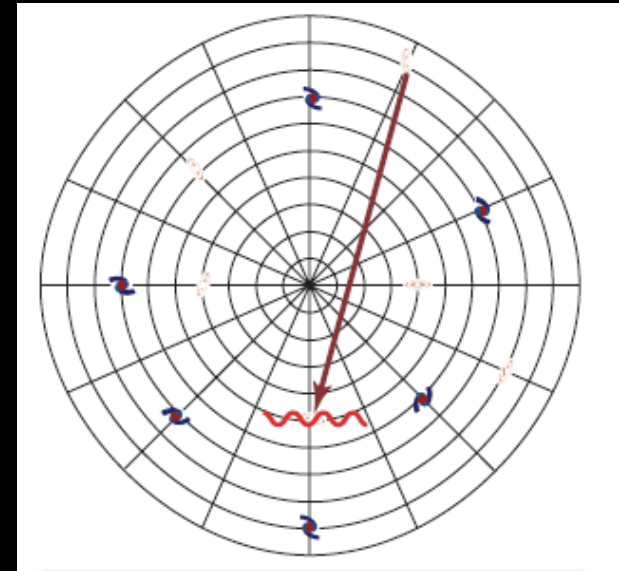
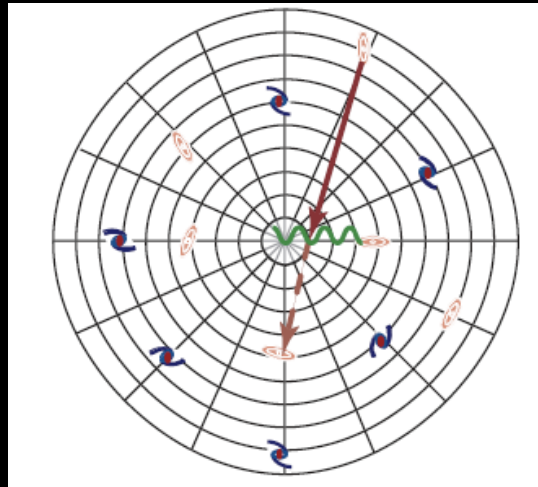
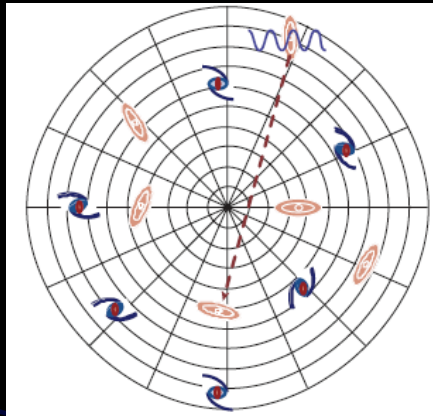
λ_0 = παρατηρούμενο μήκος κύματος



Φαινόμενο που προσομοιάζει αυτό
του **Doppler**

Κοσμολογική ερυθρομετατόπιση

Ιδιότητα του διαστελλόμενου χώρου. Όπως το Σύμπαν διαστέλλεται το μήκος κύματος του φωτονίου διαστέλλεται ανάλογα με τον παράγοντα διαστολής [συντελεστής Κοσμικής κλίμακας, $R(t)$].



Αν ακτινοβολία λ_1 εκπέμπεται την χρονική εποχή t_1 και παρατηρείται λ_2 την χρονική εποχή t_2 τότε:

$$\lambda_1 = R(t_1)\lambda_a$$

$$\lambda_2 = R(t_2)\lambda_a$$

→

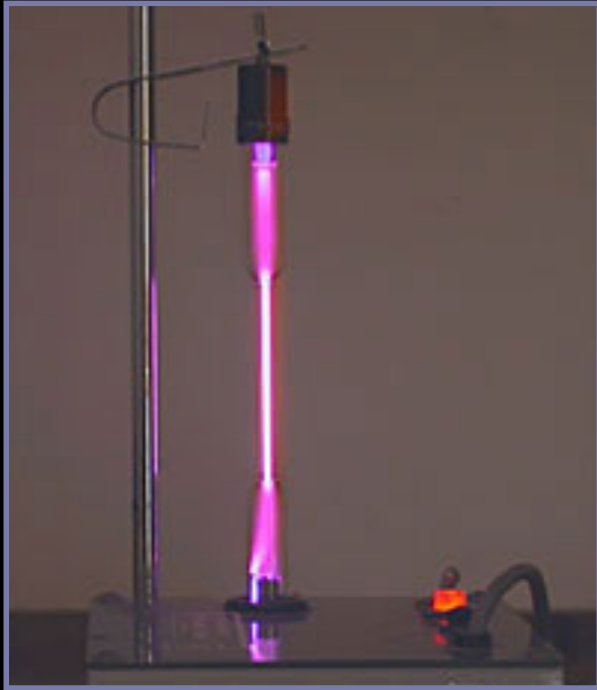
$$\frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{R(t_2)}{R(t_1)}$$

Αν πάρουμε ως χρόνο αναφοράς t_2 ως τη σημερινή εποχή t_0 για την οποία $R(t_0)=1$ τότε:

$$\frac{\lambda_0}{\lambda} = \frac{1}{R(t)} = 1 + z$$

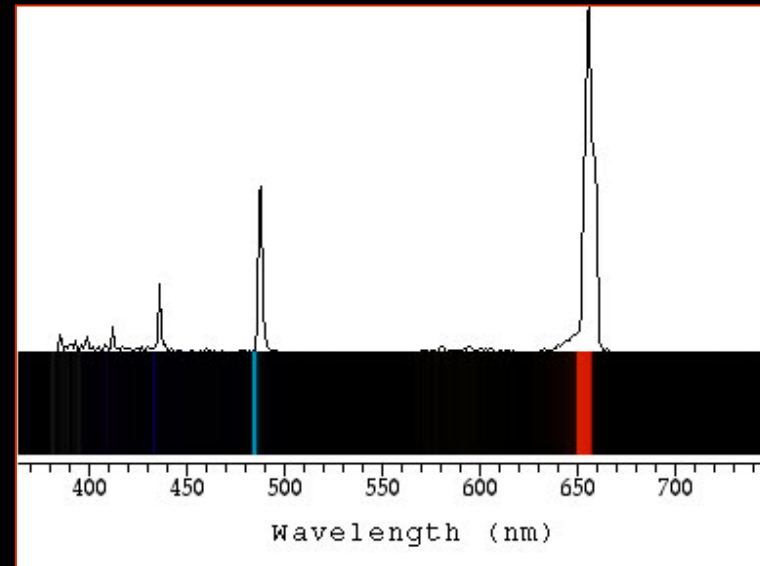
με $R(t) < 1$ ώστε $z > 0$

Πως μετράμε την διαστολή του Σύμπαντος;



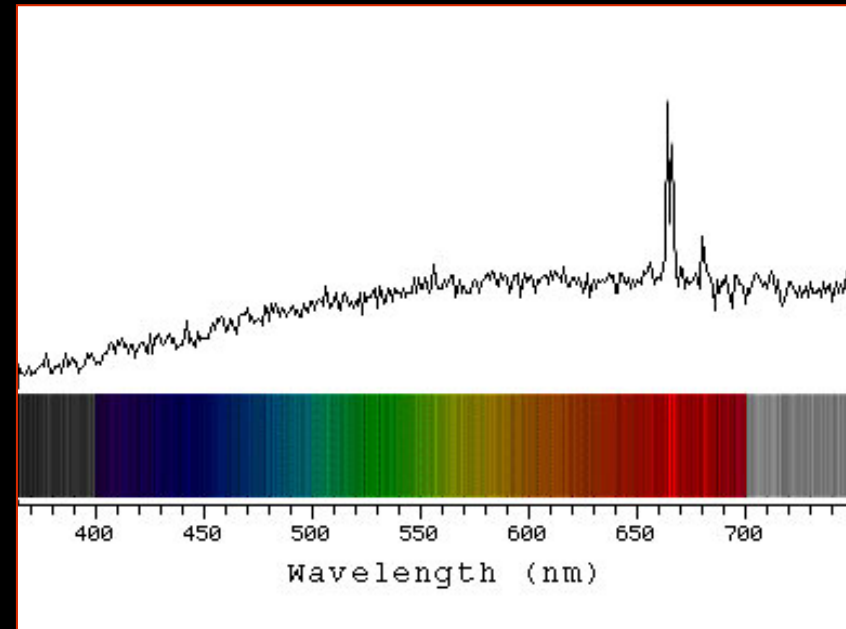
Λάμπα Υδρογόνου

Πχ. Το υδρογόνο παράγει μια χαρακτηριστική γραμμή εκπομπής



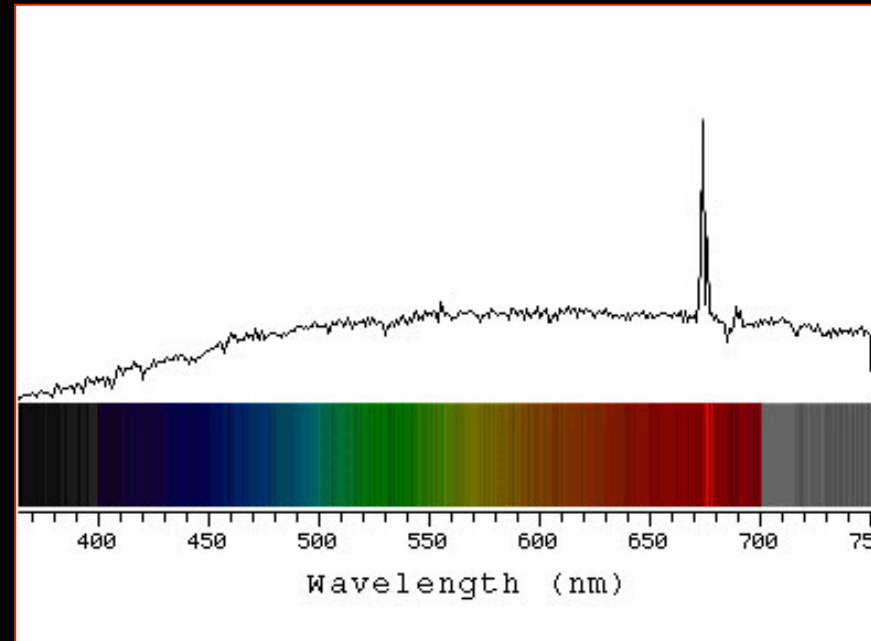


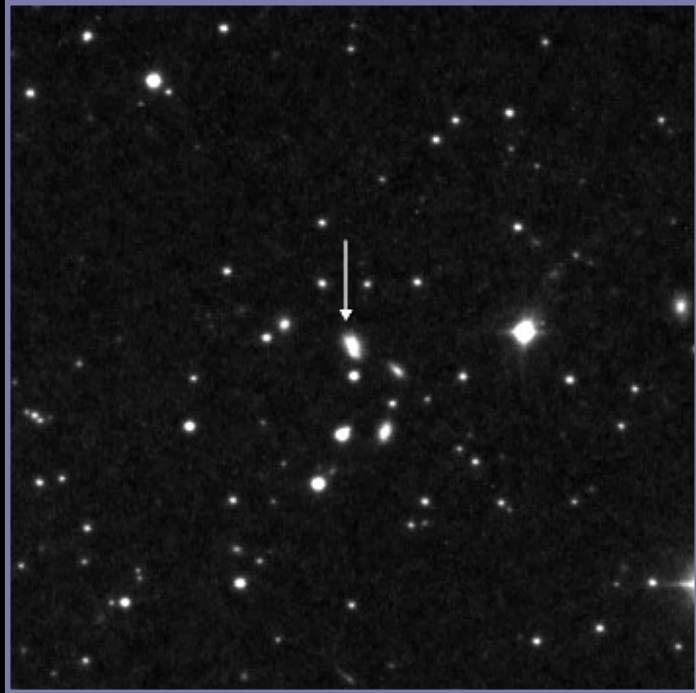
Γαλαξίας UGC 12915



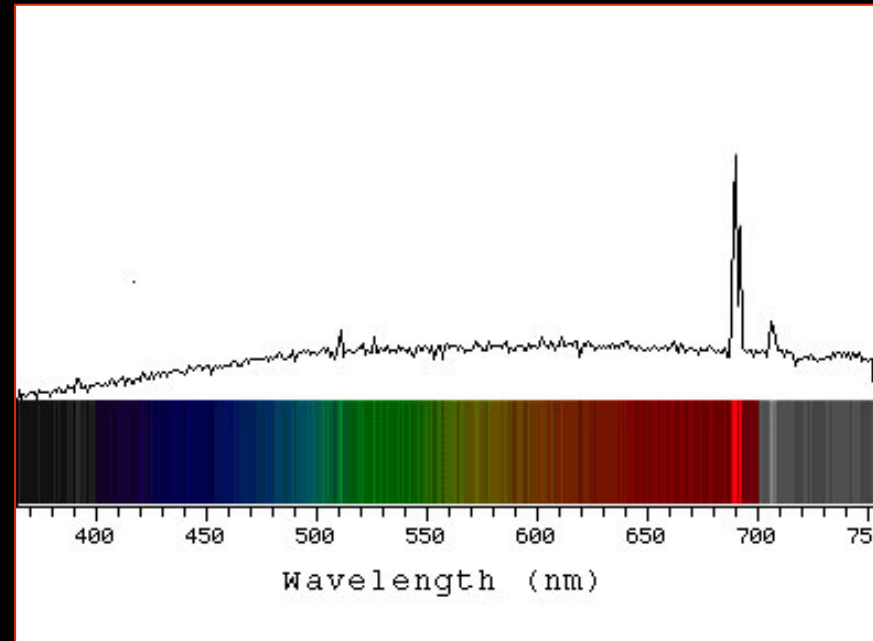


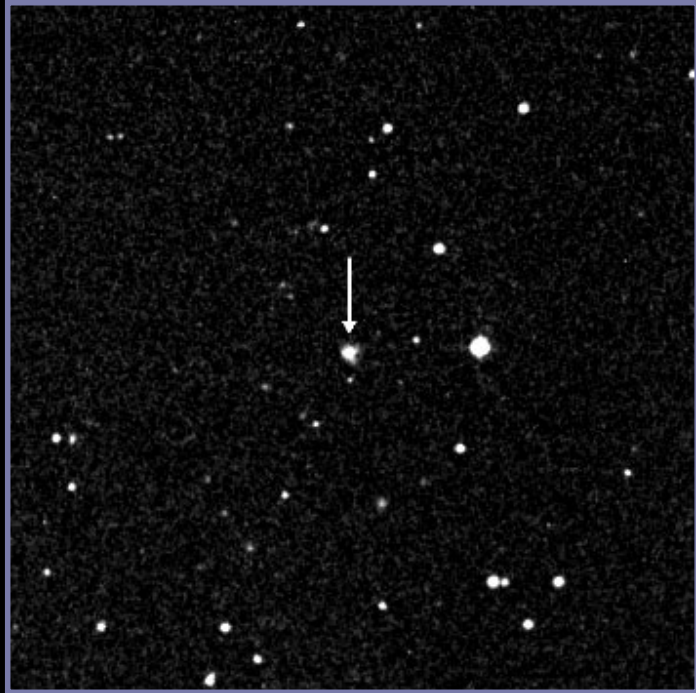
Γαλαξίας UGC 12508



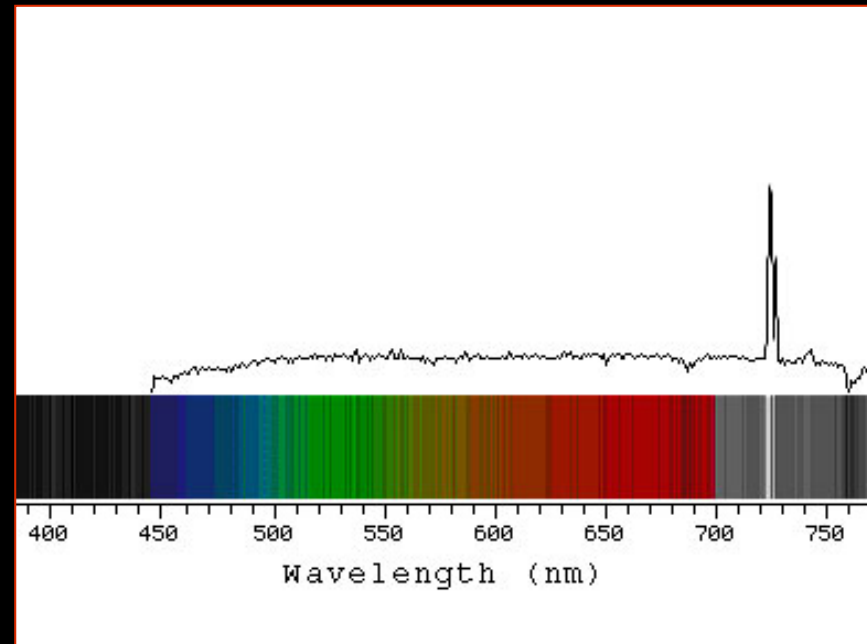


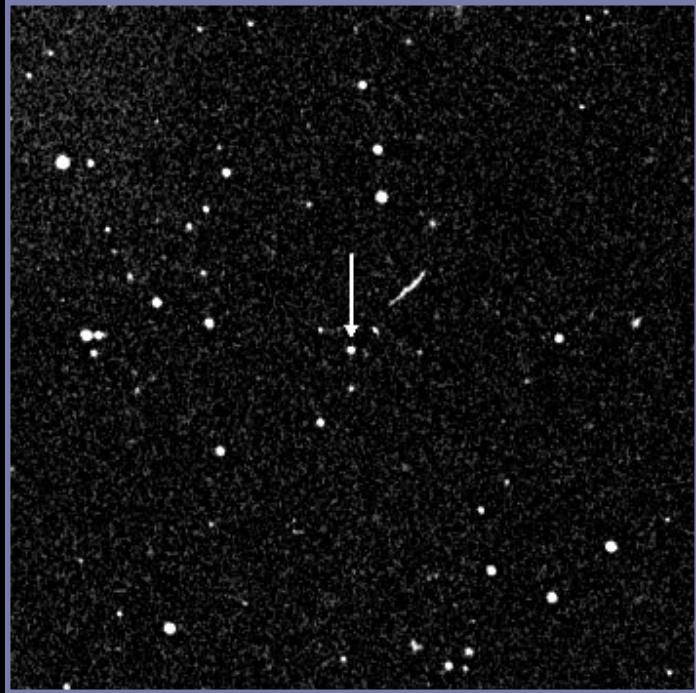
Γαλαξίας KUG 1750



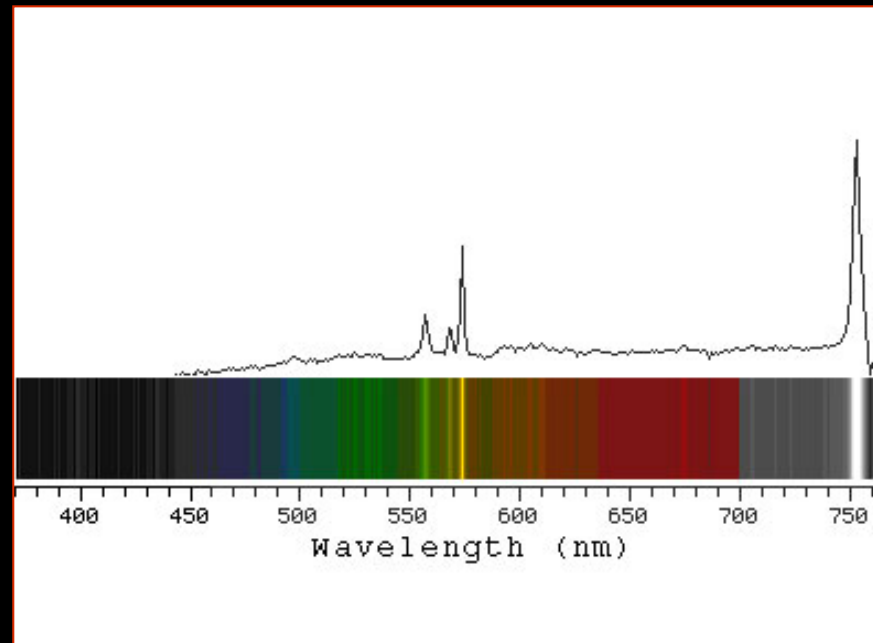


Γαλαξίας KUG 1217





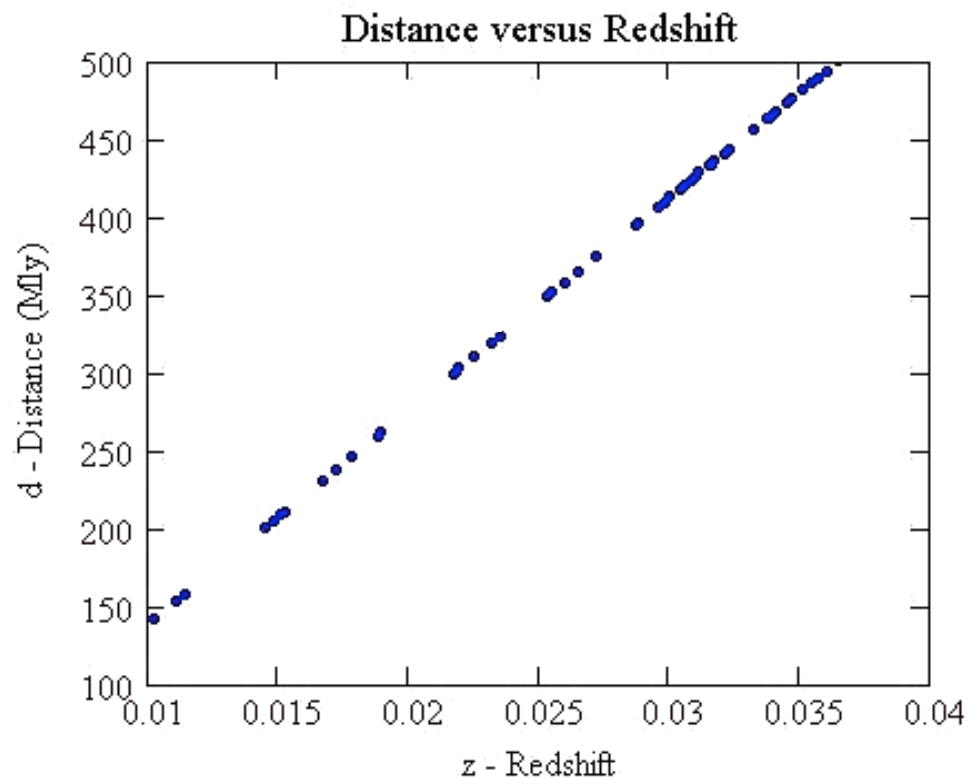
Γαλαξίας IRAS F09159



Ο Νόμος του Hubble

$$cz = v_{\text{exp}} = H_0 r$$
$$H_0 = 73 \text{ kms}^{-1} \text{Mpc}^{-1}$$

H_0 = σταθερά του Hubble



Κοσμολογική Αρχή

Οι εξισώσεις πεδίου του Αϊνστάιν λύνονται εύκολα χρησιμοποιώντας την μετρική Robertson–Walker τετραδιάτατου χωροχρονου, που υποθέτει ότι το Σύμπαν είναι ομογενές και ισότροπο σε μεγάλες κλιμακες (**Κοσμολογική Αρχή**)!

SDSS



Δυναμική Εξέλιξη του Σύμπαντος

Οι εξισώσεις παίρνουν την μορφή: όπου ο παράγοντας Λ (Κοσμολογική σταθερά) μπαίνει από τον Αϊνστάιν με το χέρι για να επιτραπούν «στατικές» λύσεις. Ο Alexander Friedmann αποδεικνύει ότι είναι ασταθής η «στατικότητα» ακόμα και με αυτόν τον παράγοντα.

$$H^2 = \left(\frac{\dot{R}}{R} \right)^2 = \frac{8\pi G\rho}{3} + \frac{\Lambda c^2}{3} - \frac{kc^2}{R^2}$$

$$\frac{\ddot{R}}{R} = -\frac{4\pi G}{3} \left[\rho + \frac{3p}{c^2} \right] + \frac{\Lambda c^2}{3}$$

Εξισώσεις Friedmann

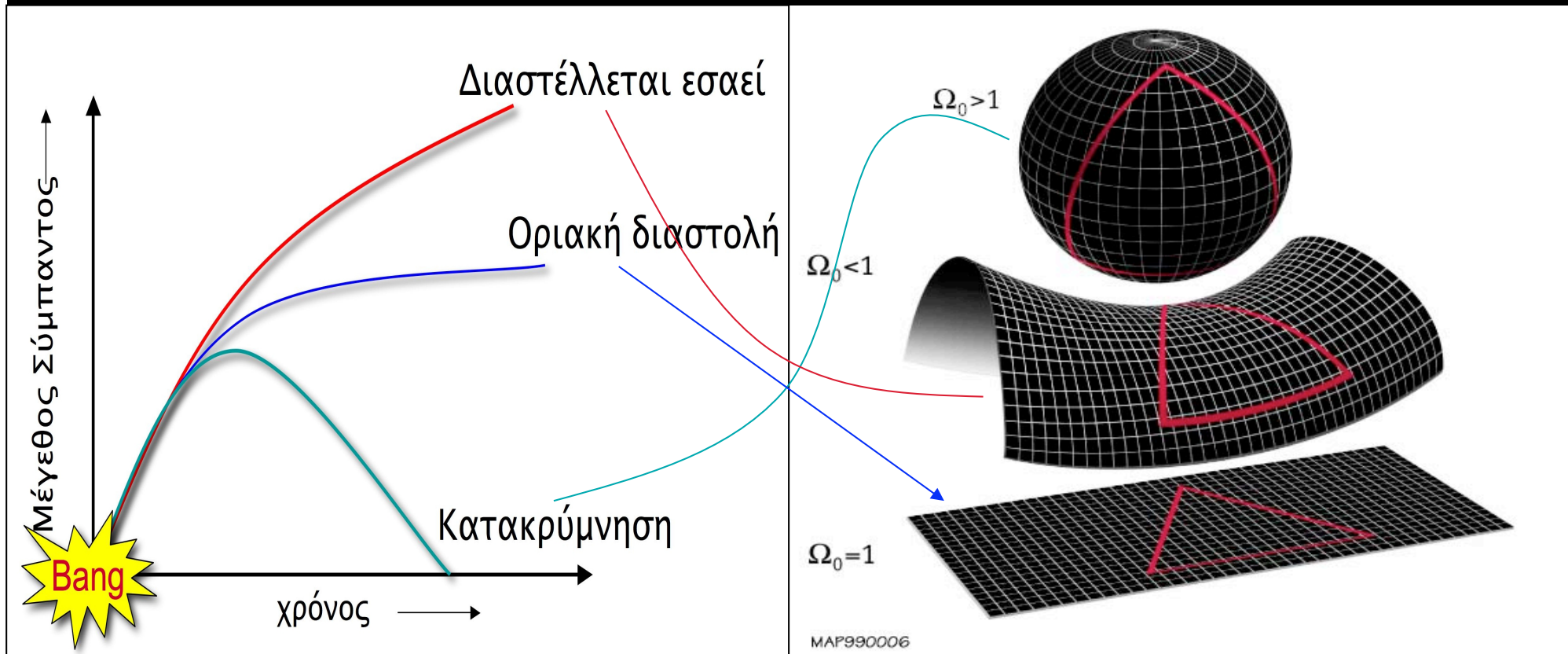
Ο ρυθμός διαστολής του Σύμπαντος

Διαφορετική είναι η εξέλιξη του Σύμπαντος ανάλογα με το συνολικό ποσό υλο-ενέργειας που εμπεριέχει:

Μικρό ποσό → το Σύμπαν θα διαστέλλεται επ' άπειρο (**Lobachevski**).

Μεγάλο ποσό → το Σύμπαν θα ξανασυσταλεί μετά από κάποιο χρονικό διάστημα (**Riemann**)

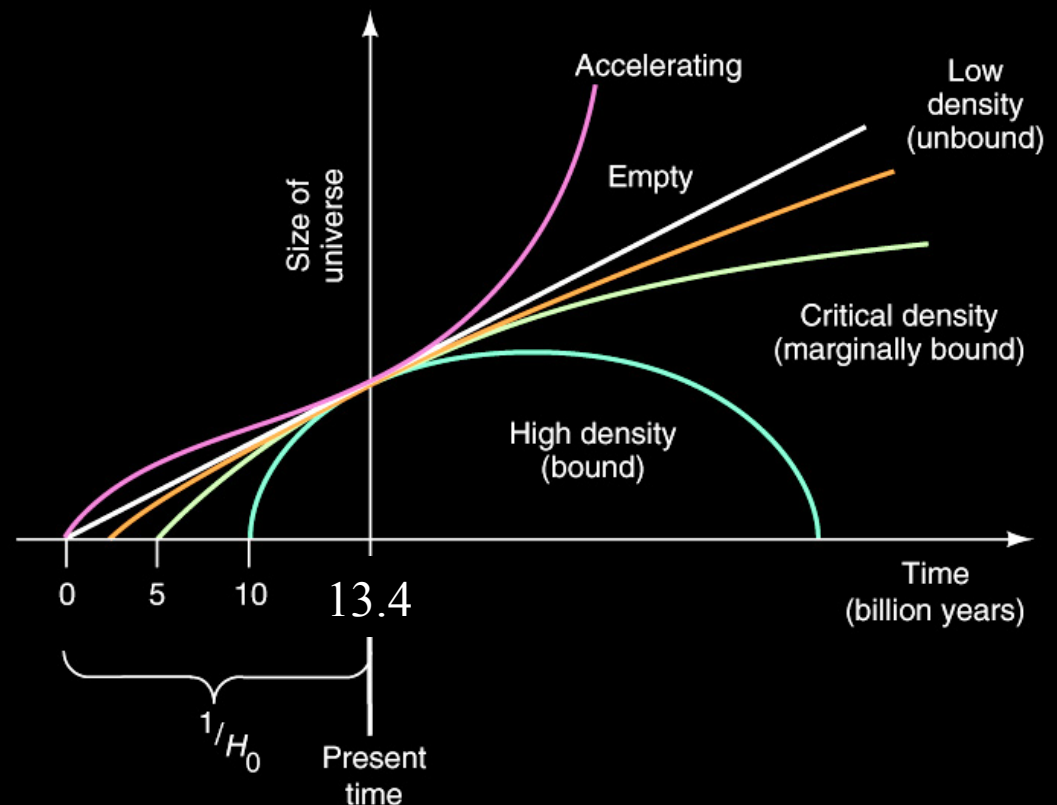
Οριακό ποσό → (ανάμεσα στα δύο) αποτελεί το **Ευκλείδειο** Σύμπαν που θεωρείται σήμερα το ορθό μοντέλο... Ερμηνεία; Πιθανή «ανθρωπική» εξήγηση;



Η Ηλικία του Σύμπαντος

1. Από τον ρυθμό διαστολής του Σύμπαντος:
 $t_{\max} = 1/H_0$ (με $H_0 = 73 \text{ km/sec/Mpc}$) $\rightarrow 13.450.000.000 \text{ yr}$
λόγω επιβράδυνσης διαστολής από ίδιο το βαρυτικό πεδίο !
2. Η ηλικία των εμπειροχομένων εντός του Σύμπαντος αντικειμένων (Γη, Πλανήτες, Άστρα, Γαλαξίες κλπ) δίνει κάτω όριο $\rightarrow 5.000.000.000 \text{ yr} - 13.000.000.000 \text{ yr}$

Τελικά από τον επιταχυνόμενο ρυθμό διαστολής και τις πρόσφατες μετρήσεις κοσμολογικών παραμέτρων $\rightarrow 13.350.000.000 \text{ yr}$



Σύντομη Θερμική Ιστορία του Σύμπαντος

- $t = 10^{-43}$ sec Χρόνος Planck, το Σύμπαν κυριαρχείται από την ακτινοβολία ($T \sim 10^{32}$ K)

$$T_P = \frac{m_P c^2}{k} = \sqrt{\frac{\hbar c^5}{G k^2}}$$

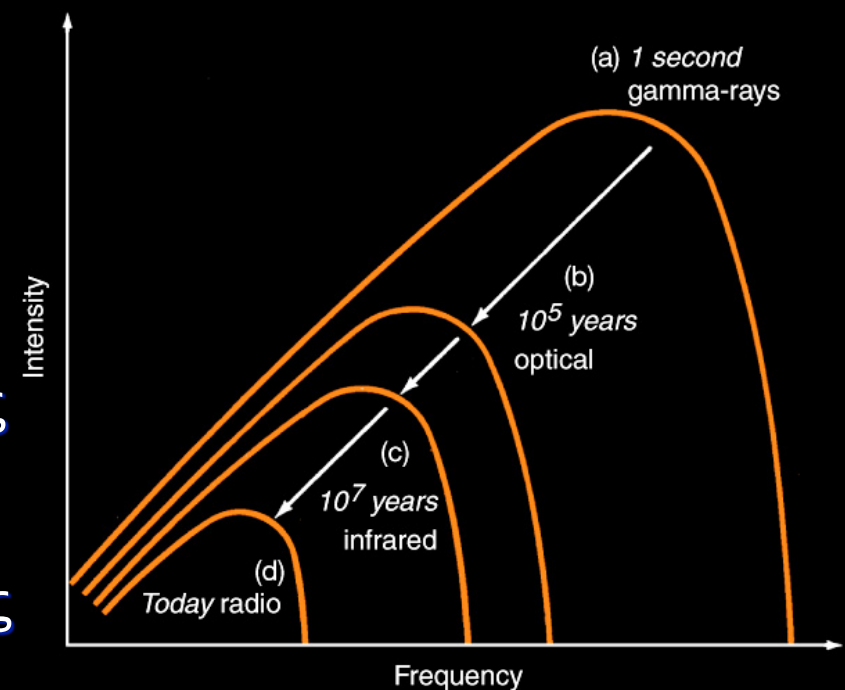
- $t \sim 10^{-36}$ sec Εποχή Πληθωρισμού (εκθετική διαστολή, $T \sim 10^{28}$ K). Το Σύμπαν αυξάνει μέγεθος κατά 10^{25} φορές και φτάνει η διάμετρος του στα 3mm.
- $t \sim 1-15$ minute (900 εκατομ. K) **Πυρηνογένεση** – πρωτόνια και νετρόνια συζεύγονται και δημιουργούν κυρίως Δευτέριο, Τρίτιο και Ήλιο-4. Στο τέλος αυτής της περιόδου το Σύμπαν περιέχει πλέον 25% Ήλιο και 75% Υδρογόνο.
- $t = 400,000$ years (3000 K) Τα ελεύθερα ηλεκτρόνια συζεύγονται με τους ατομικούς πυρήνες (Επανασύνδεση) και το Σύμπαν γίνεται για πρώτη φορά διαφανές στην θερμική ακτινοβολία. **Δημιουργία Υπόβαθρου Ακτινοβολίας Μικροκυμάτων**

Πυλώνας Νο 2: ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΜΙΚΡΟΚΥΜΑΤΩΝ

Απολίθωμα της αρχέγονης ακτινοβολίας του Big-Bang, όταν αυτή απελευθερώθηκε από τα δεσμά που την κρατούσαν σε σύζευξη με την ύλη.

Η ύπαρξη της και η θερμική προέλευση της είχε προβλεφθεί από τον **Gamow, Alpher & Herman** το 1948 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).

- Αρχικά η θερμική ακτινοβολία του Big Bang ήταν στις **ακτίνες-γ**
- Η ακτινοβολία ερυθρομετατίθεται λόγω διαστολής του Σύμπαντος έτσι ώστε σήμερα το μέγιστο της κατανομής έντασης της ακτινοβολίας βρίσκεται στην περιοχή των **μικροκυμάτων**.
- Σημερινή θερμοκρασία ακτινοβολίας είναι 2.73 K



Η μορφή της κατανομής Μέλανος Σώματος παραμένει αδιατάρακτη κατά τη διαστολή

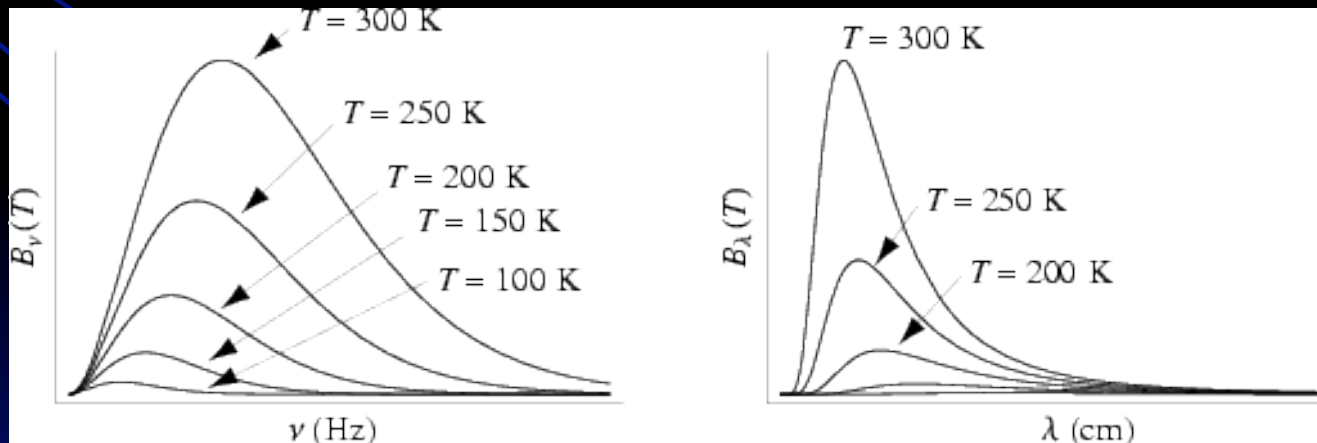
Πυκνότητα Ενέργειας σε φωτόνια είναι:

$$U(\nu, T) d\nu = \left(\frac{8\pi h \nu^3}{c^3} \right) \left(\frac{1}{e^{h\nu/kT} - 1} \right) d\nu$$

$$U(\nu_0, T) d\nu_0 = \left(\frac{8\pi h \nu_0^3}{c^3} \right) \left(\frac{1}{e^{h\nu_0/kRT} - 1} \right) d\nu_0$$

Στην σημερινή εποχή η συχνότητα ν_0 σχετίζεται με την αρχικά εκπεμπόμενη μέσω του παράγοντα διαστολής: $\nu_0 = R(t) \nu$

Επομένως η θερμική ακτινοβολία (μέλανος σώματος) ψύχεται, με: $T_0 = R(t) T$, αλλά παραμένει η μορφή της ίδια.



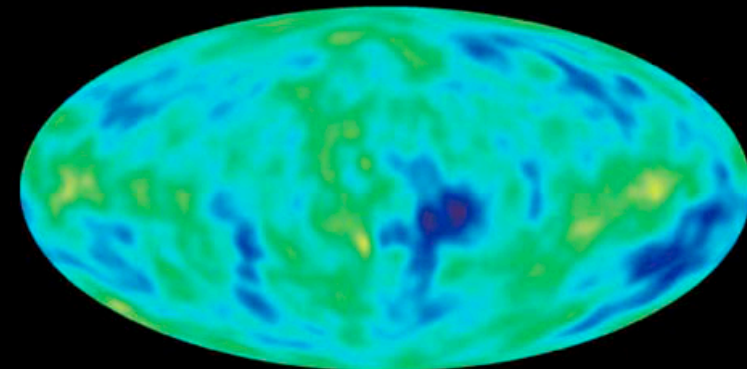
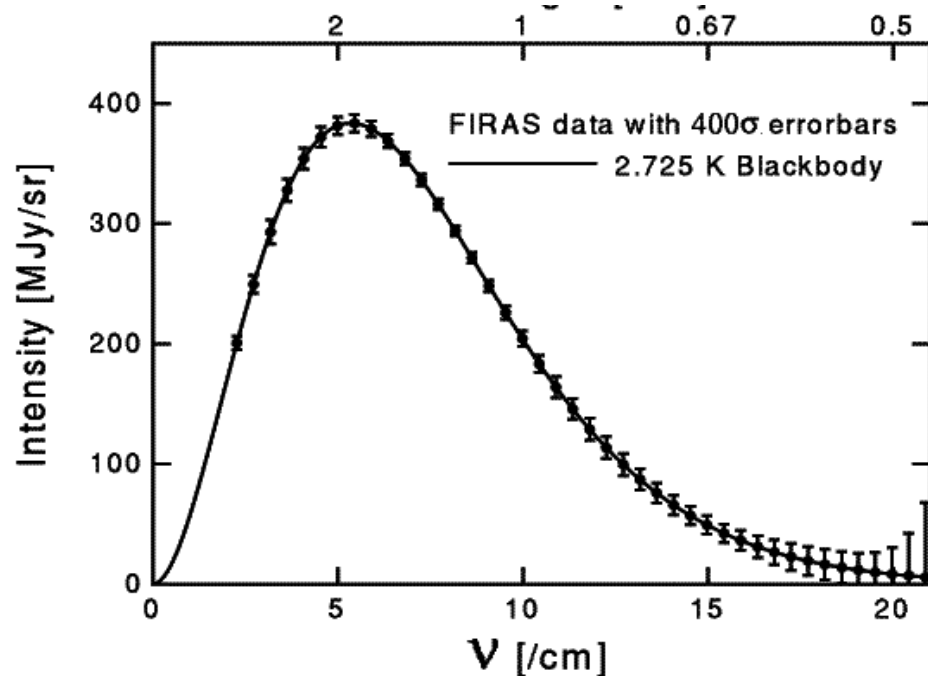
Νόμος Wien:
 $\lambda_{\max} \sim 1/T$

Παρατηρήσεις Κοσμικής Ακτινοβολίας Υποβάθρου

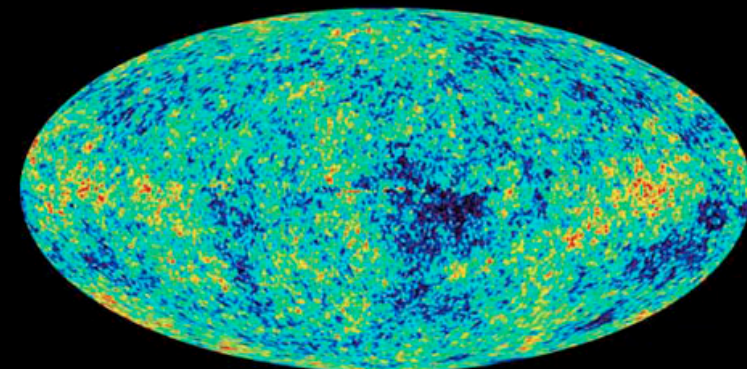
Δορυφόρος **COBE (1989)** που για πρώτη φορά μέτρηση με εκπληκτική ακρίβεια τη κατανομή έντασης της ακτινοβολίας υποβάθρου και απέδειξε τη θερμική της καταγωγή

Δορυφόρος **WMAP (2001)** μέτρησε με ακρίβεια το φάσμα διαταραχών θερμοκρασίας (πλάτους $\sim 10^{-5}$) και απέδειξε ότι η γεωμετρία του χώρου είναι Ευκλείδεια

*Η πιο ακριβής μέτρηση
ακτινοβολίας μέλανος σώματος
(COBE 1989)*



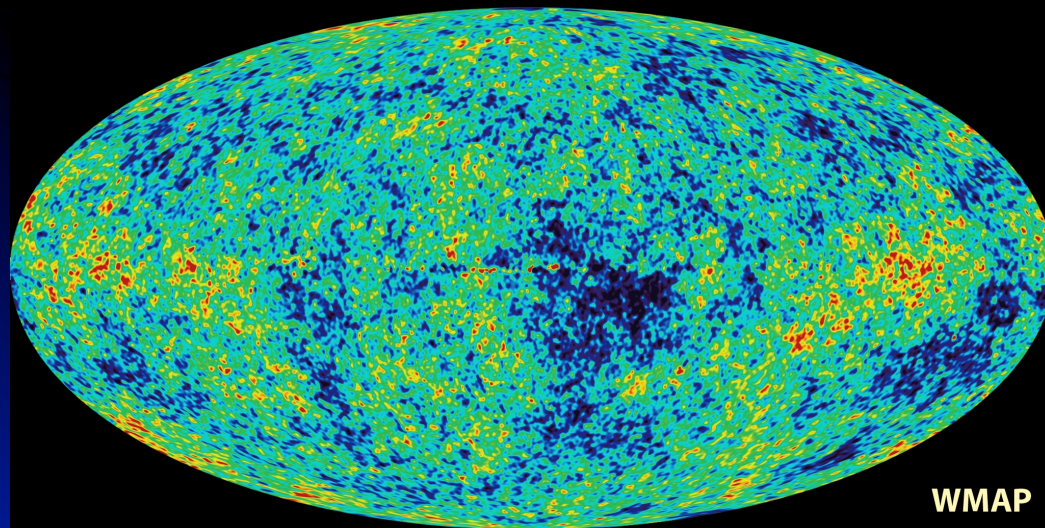
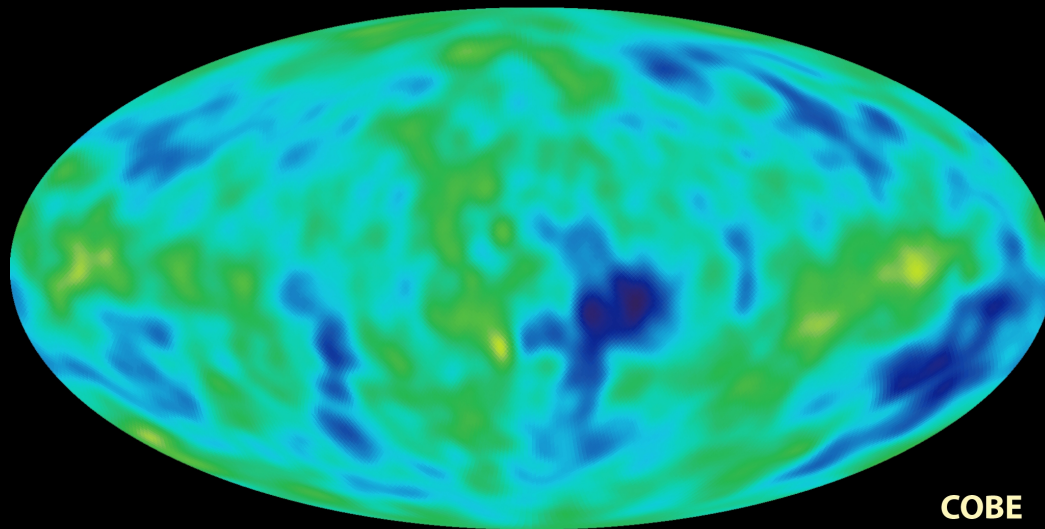
COBE



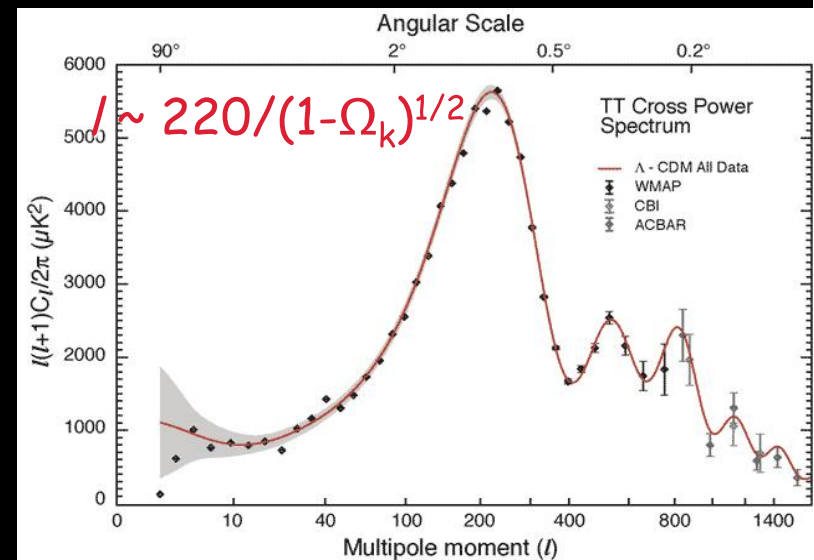
MAP

Σηματικότερη Ανακάλυψη: Γεωμετρία του χώρου ΕΥΚΛΕΙΔΙΑ

Καμπυλότητα του χώρου είναι μηδενική, --> Ευκλείδειος χώρος



Οι διαταραχές
θερμοκρασίας της
ακτινοβολίας μικροκυμάτων
από τις παρατηρήσεις του
δορυφόρου **WMAP &
PLANCK !**



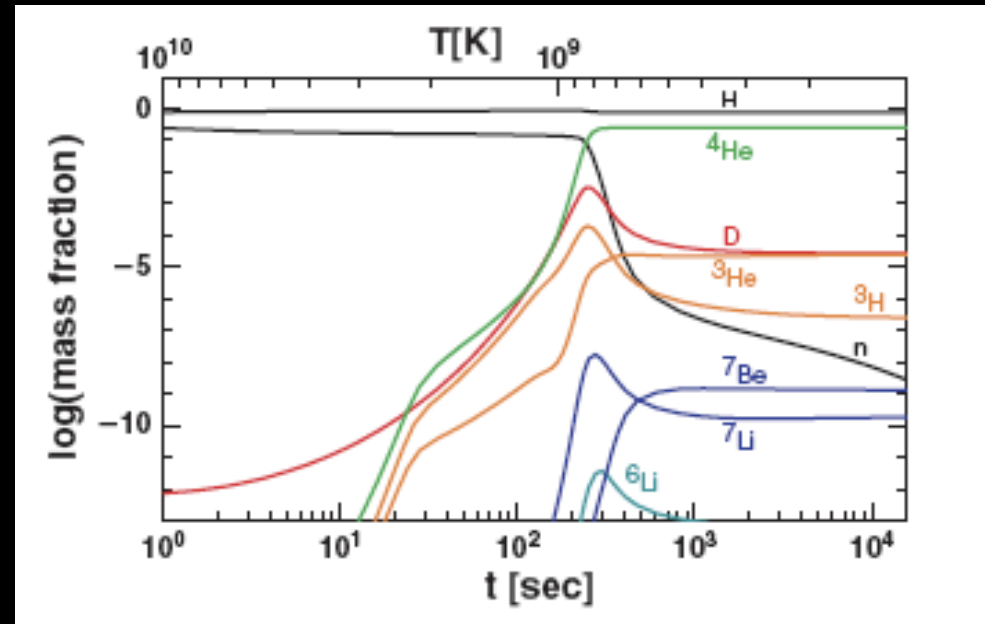
Πυλώνας Νο 3: ΠΥΡΗΝΟΓΕΝΕΣΗ

(πάντρεμα Μικρόσκοσμου και Μεγάκοσμου)

Άλλη πρόβλεψη του *Gamow* είναι ότι στην υπέρθερμη αρχική κατάσταση δεν υπάρχουν ατομικοί πυρήνες αλλά μια θάλασσα στοιχειωδών σωματιδίων (p , n , ν) σε θερμοδυναμική ισορροπία. Στα ~ 3 δευτερόλεπτα μετά το BB η θερμοκρασία έχει πέσει αρκετά ώστε να ξεκινήσει η δημιουργία των ελαφροτέρων ατομικών πυρήνων (Υδρογόνου και Ηλίου κύρια).

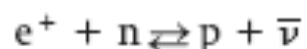
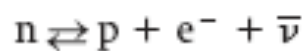
Η Θερμοδυναμική καθορίζει ποσά των Ελαφρών Στοιχείων μέσα στα 3 πρώτα λεπτά.

Θερμοπυρηνικές αντιδράσεις μεταξύ Πρωτονίων και Νετρονίων δημιουργούν ^2H , ^3He and ^4He . Το δευτέριο γρήγορα χρησιμοποιείται για την δημιουργία βαρύτερων στοιχείων. Στα 3 περίπου λεπτά έχουν δημιουργηθεί τα τελικά ποσά των ελαφρών στοιχείων (με ~25% να είναι ^4He).



Για τα τελικά ποσά είναι πολύ σημαντικός ο λόγος μεταξύ πλήθους νετρονίων και πρωτονίων που σε θερμοκρασίες $1 < T < 100 \text{ MeV}$ ($10^{10} < T < 10^{12} \text{ K}$), όταν η ηλικία του Σύμπαντος είναι $< 1 \text{ sec}$, είναι σε θερμοδυναμική ισορροπία, δηλαδή $N_n \sim N_p$

The reactions that affected neutron abundance are:



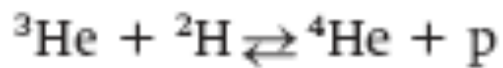
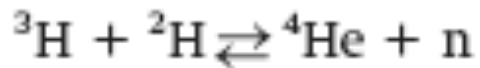
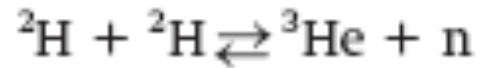
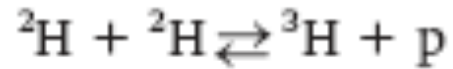
$$\frac{N_n}{N_p} \simeq \exp\left[-\frac{\Delta m}{T}\right]$$

$$\Delta m = m_n - m_p = 1.3 \text{ MeV}$$

$$T \gg \Delta m \Rightarrow N_n/N_p = 1$$

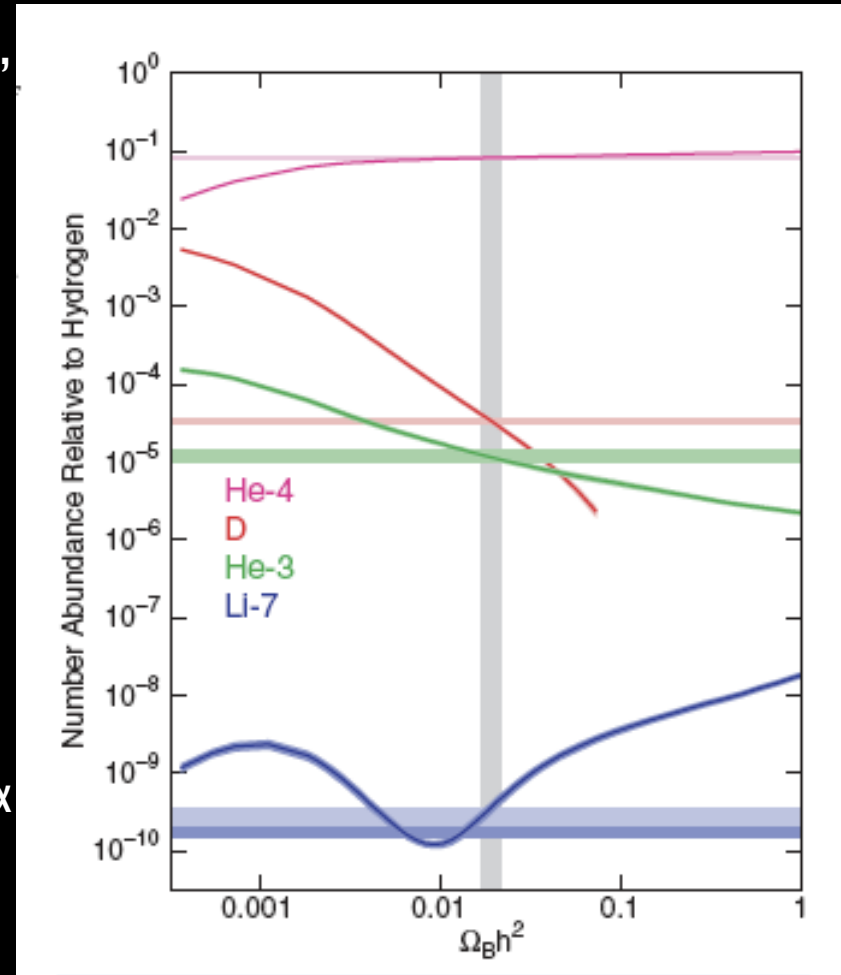
$$T < \Delta m \Rightarrow N_n/N_p = 1/7$$

Οι βασικές θερμοπυρηνικές αντιδράσεις, εκτός από $n+p \rightarrow {}^2\text{H}+\gamma$, είναι:



Ο λόγος μάζας σε ${}^4\text{He}$ σχετίζεται με διάφορους παράγοντες (λογος πυκνότητας βαρυονίων προς πυκνότητα φωτονίων, ο συνολικός αριθμός τύπων νετρίνων και ο χρόνος ημιζωής του νετρονίου):

$$Y = (0.230) + (0.0011) \ln\left(\frac{10^{10} n_B}{n_\gamma}\right) + (0.013)(N_L - 3) + (0.014)(t_{1/2} - 10.6 \text{ min})$$

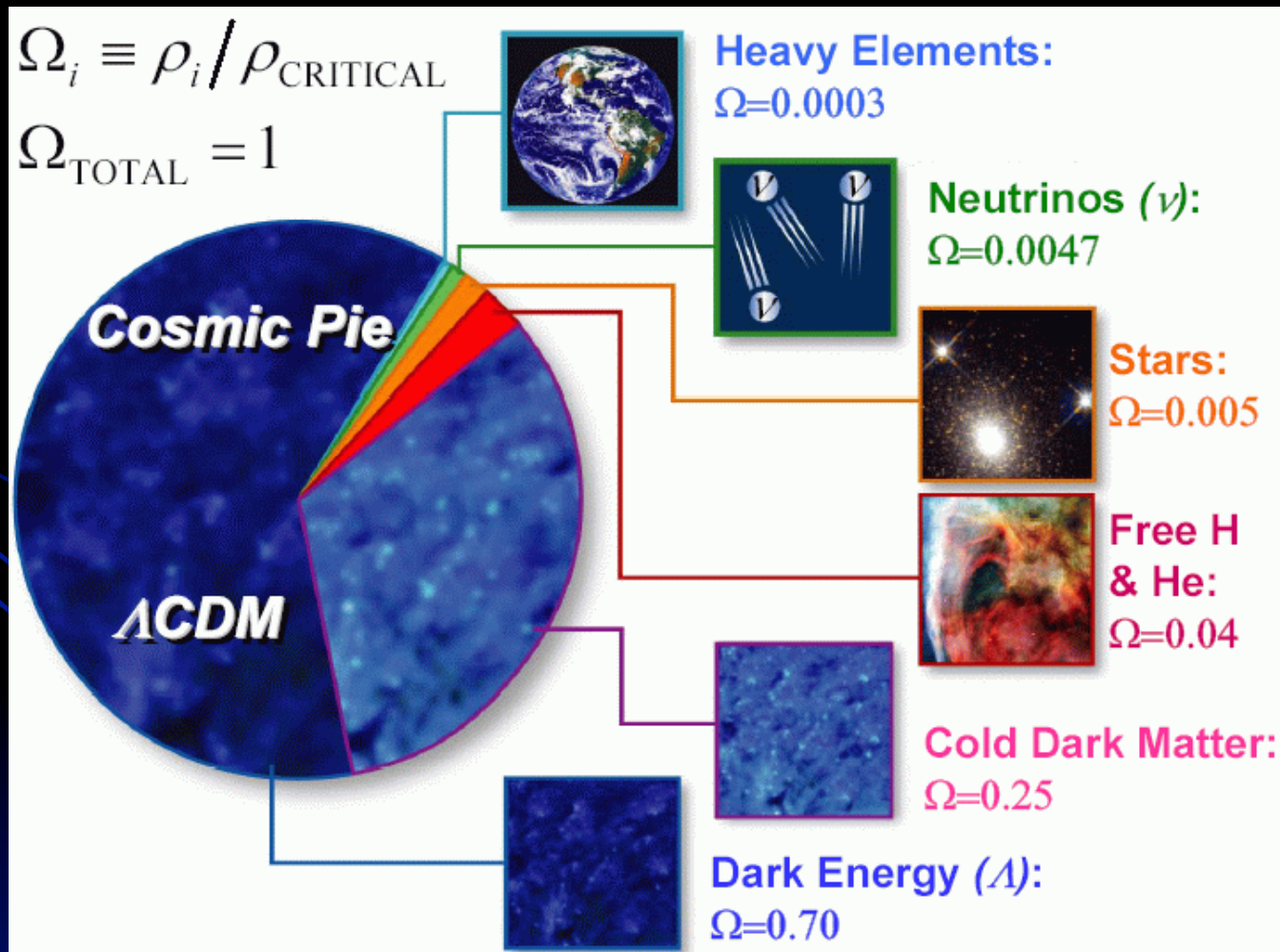


Πυκνότητα βαρυονίων

Τα 2 Μεγάλα Ερωτηματικά της Σύγχρονης Κοσμολογίας:


Σκοτεινή Ύλη & Σκοτεινή Ενέργεια

95% της υλο-ενέργειας του Σύμπαντος είναι άγνωστης μορφής



Το Σκοτεινό Σύμπαν .. 1 ..

Σκοτεινή Ύλη: Είναι ένα ιδιαίτερος τύπος ύλης που αλληλεπιδρά μόνο βαρυτικά μεταξύ της και με άλλες μορφές ύλης και επομένως δεν εκπέμπει ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Την ύπαρξη της την γνωρίζουμε έμμεσα, μόνο δηλαδή από τα αποτελέσματα των βαρυτικών αλληλεπιδράσεων.



Ενδείξεις ύπαρξης Σκοτεινής Ύλης: Σμήνη Γαλαξιών

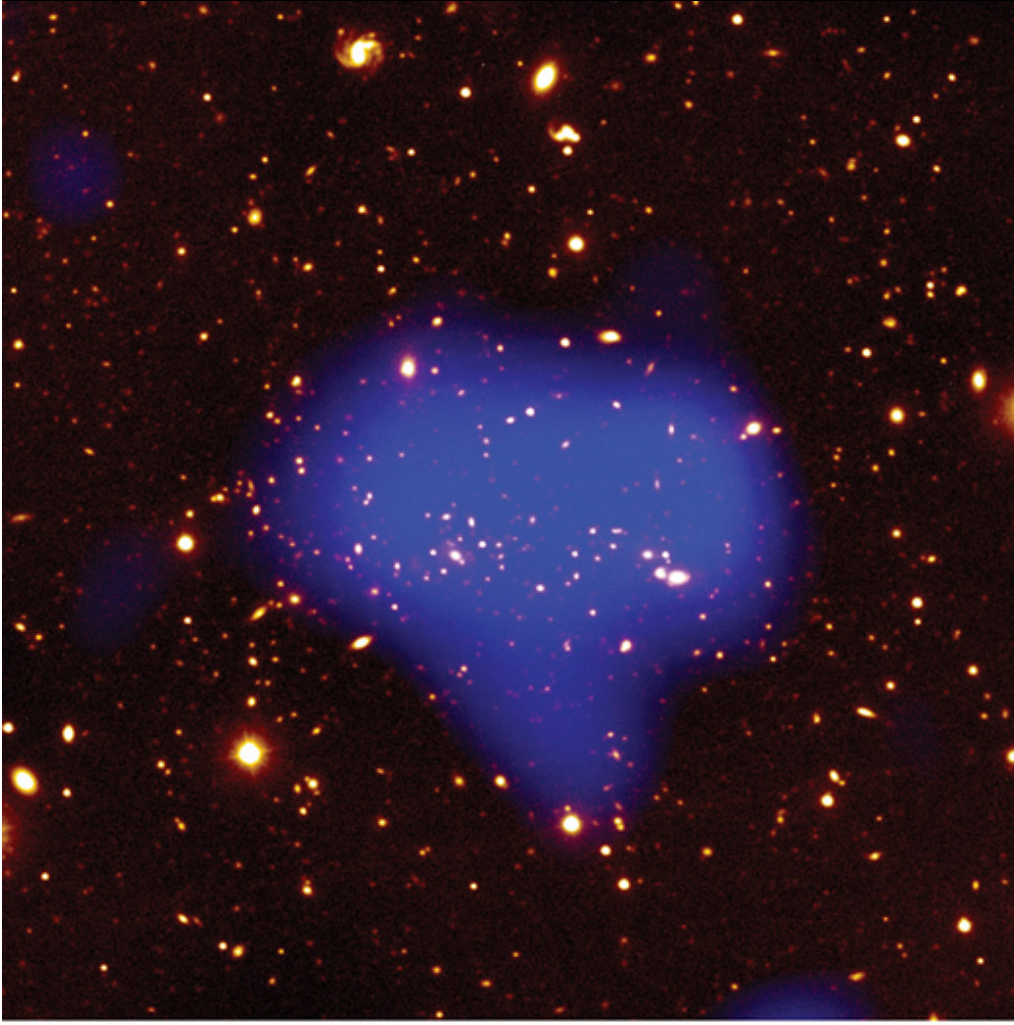
Πρώτη διαπίστωση της ύπαρξης τις κινήσεις γαλαξιών μέσα σε σμήνη γαλαξιών το 1933 από τον **Φριτζ Zwicky**.

Ουσιαστικά βρήκε ότι οι γαλαξίες είχαν ταχύτητες μεγαλύτερες από αυτές που επέτρεπε το βαρυτικό πεδίο του σμήνους (> από ταχύτητα διαφυγής)...



Οι ταχύτητες γαλαξιών μετρούνται από την μετατόπιση των φασματικών γραμμών

Ενδείξεις ύπαρξης Σκοτεινής Ύλης: Σμήνη Γαλαξιών



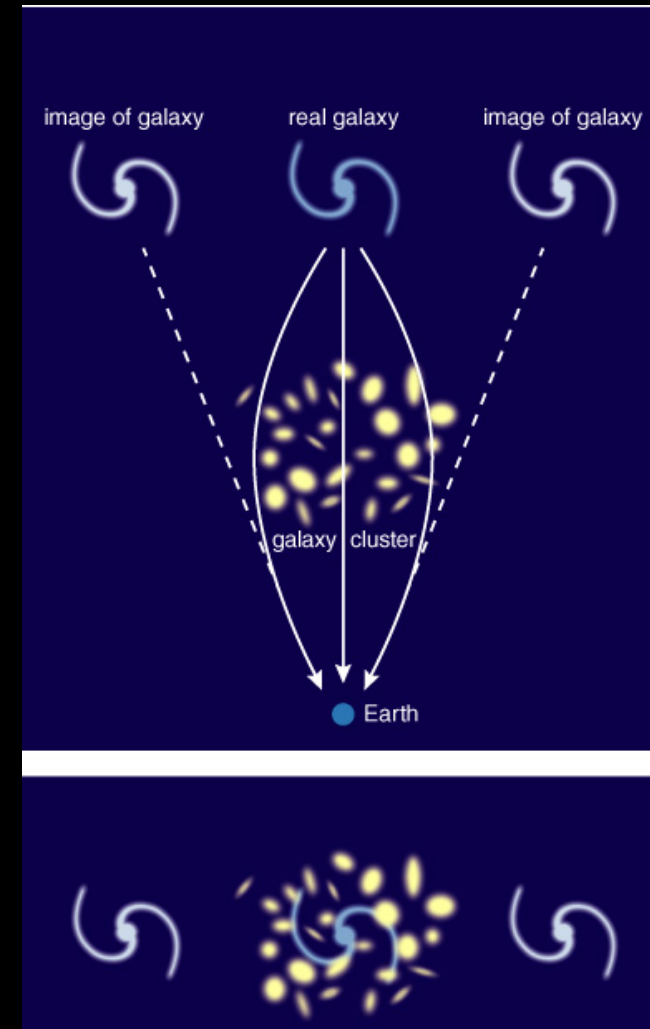
Δύο μοντέρνες μεθοδολογίες πάλι δείχνουν την ύπαρξη Σκοτεινής Ύλης στα σμήνη γαλαξιών.

(1) Χρησιμοποιώντας το καυτό αέριο που υπάρχει στα σμήνη ως ιχνηλάτη του συνολικού βαρυτικού δυναμικού, υπολογίζουμε την συνολική μάζα του σμήνους που είναι τελικά:

85% σκοτεινή ύλη
13% καυτό αέριο
2% αστέρια

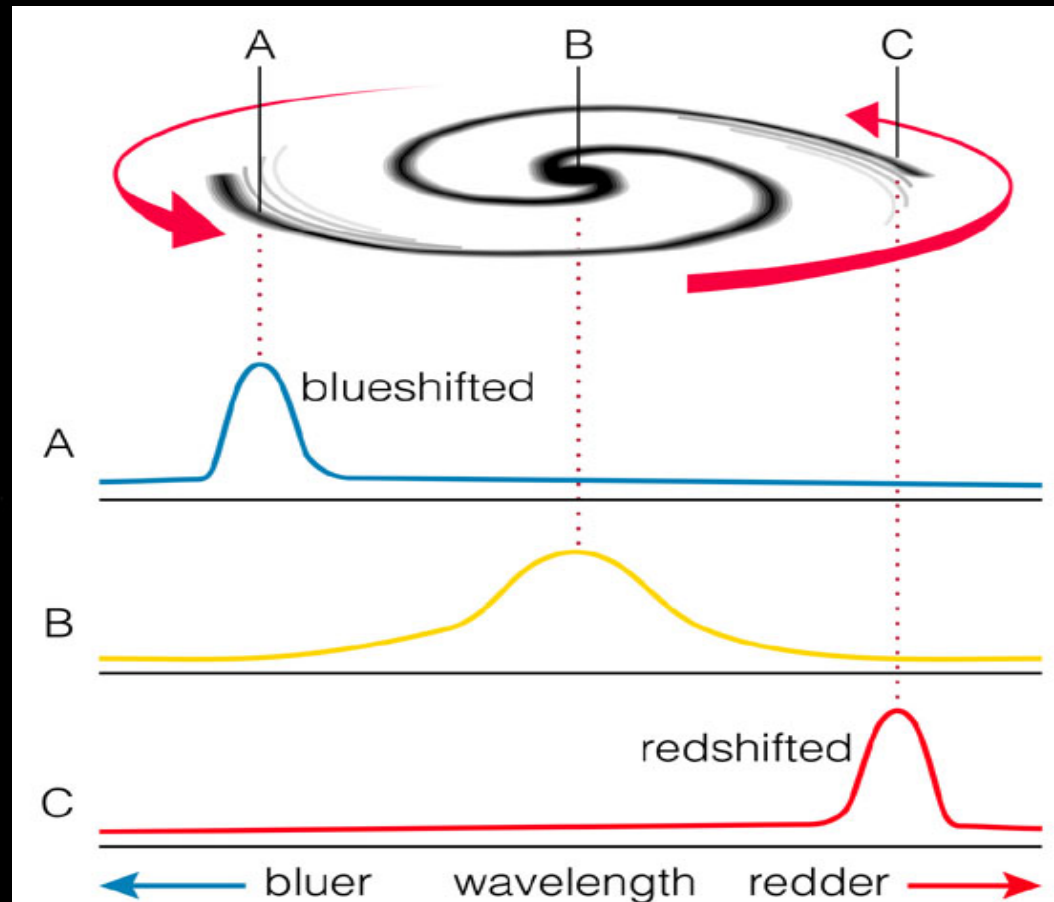
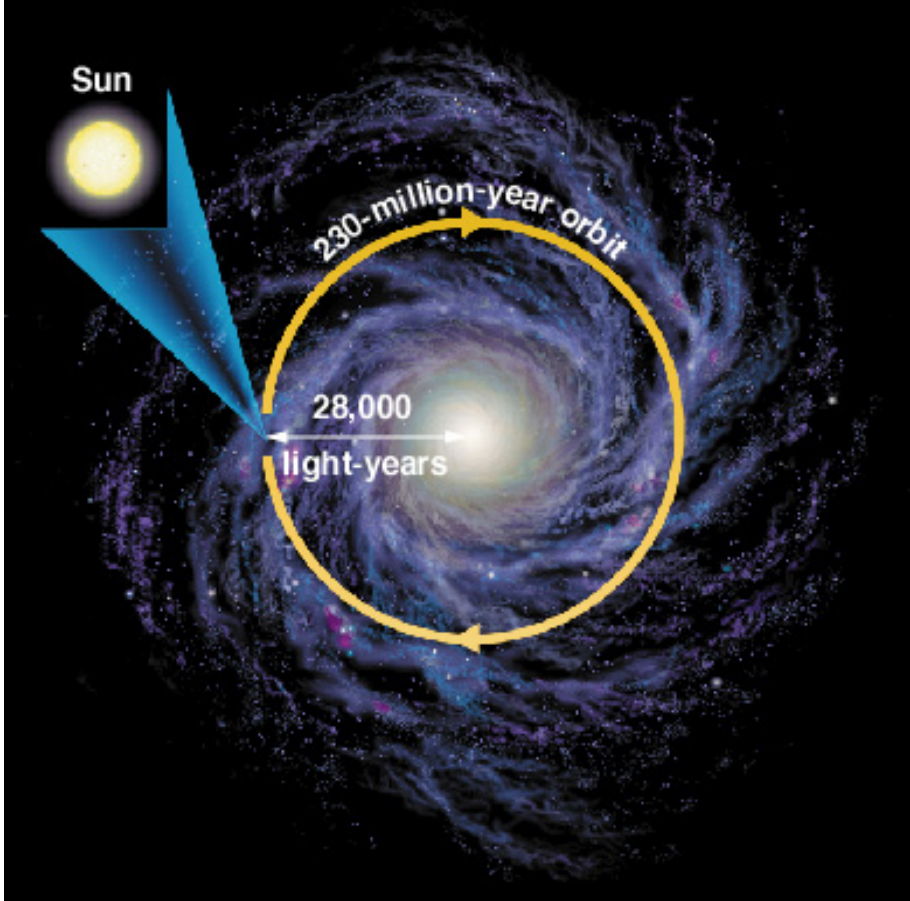
Ενδείξεις ύπαρξης Σκοτεινής Ύλης: Σμήνη Γαλαξιών

(2) Τα σμήνη γαλαξιών δρούν ως βαρυτικοί φακοί, και από το είδος των ειδώλων και απόσταση από κέντρο του σμήνους συνάγουμε την ύπαρξη Σ.Υ. σε ποσά που είναι συμβατά με άλλες μεθόδους.



Ενδείξεις ύπαρξης Σκοτεινής Ύλης: Περιστροφή Σπειρωειδών Γαλαξιών

~1970: Vera Rubin, Ken Freeman μετρήσανε την ταχύτητα περιστροφής, μέσω φαινομένου Doppler, των σπειρωειδών γαλαξιών από την ακτινοβολία στα 21cm του ατομικού υδρογόνου.



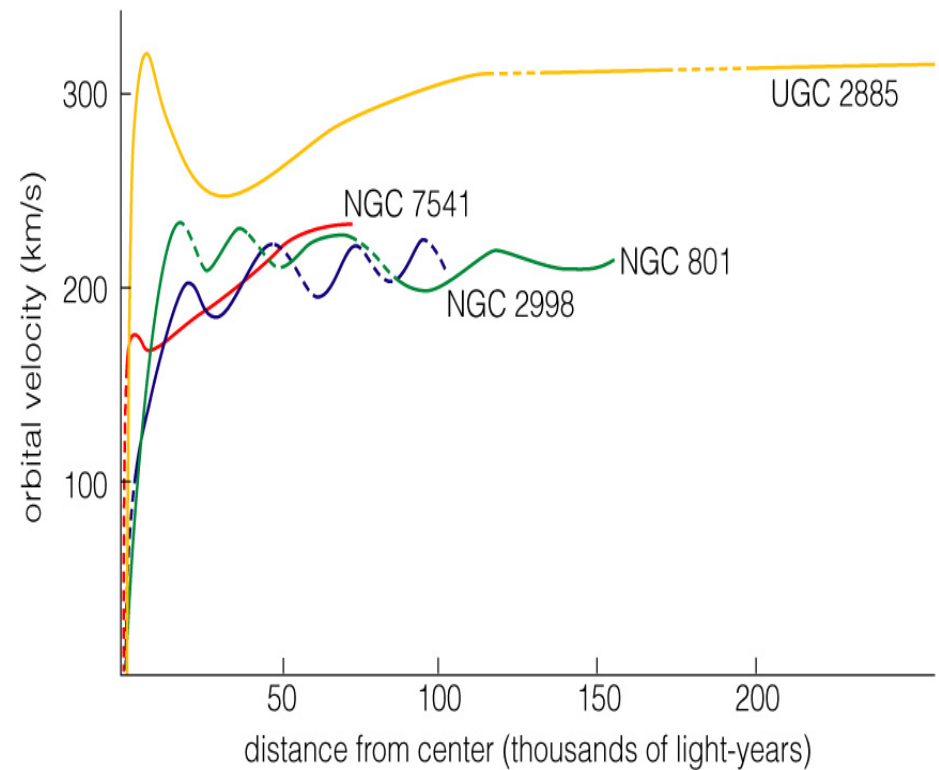
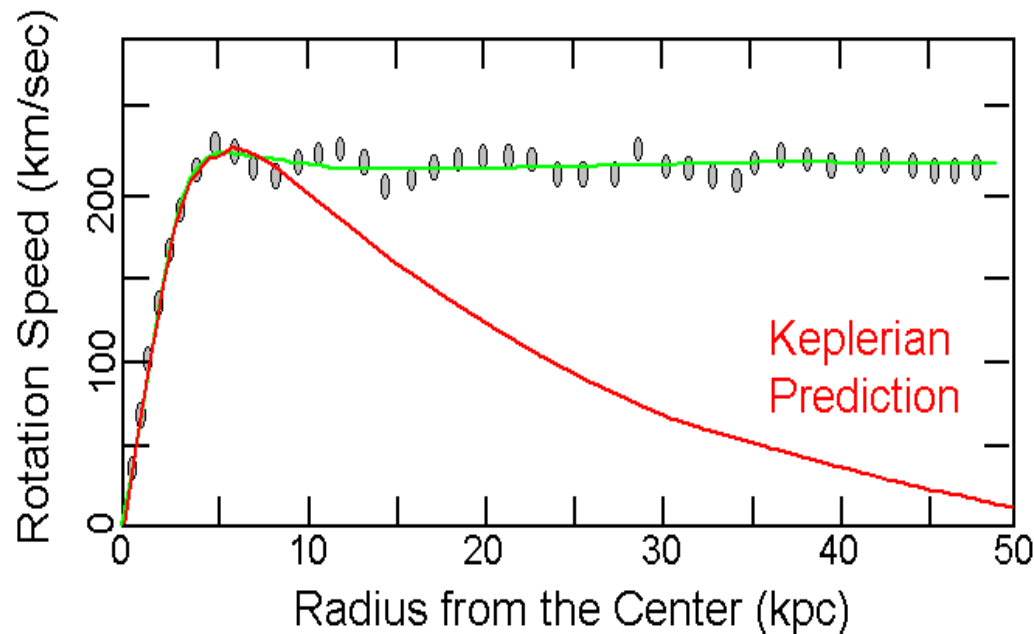
Ενδείξεις ύπαρξης Σκοτεινής Ύλης: Περιστροφή Σπειρωειδών Γαλαξιών

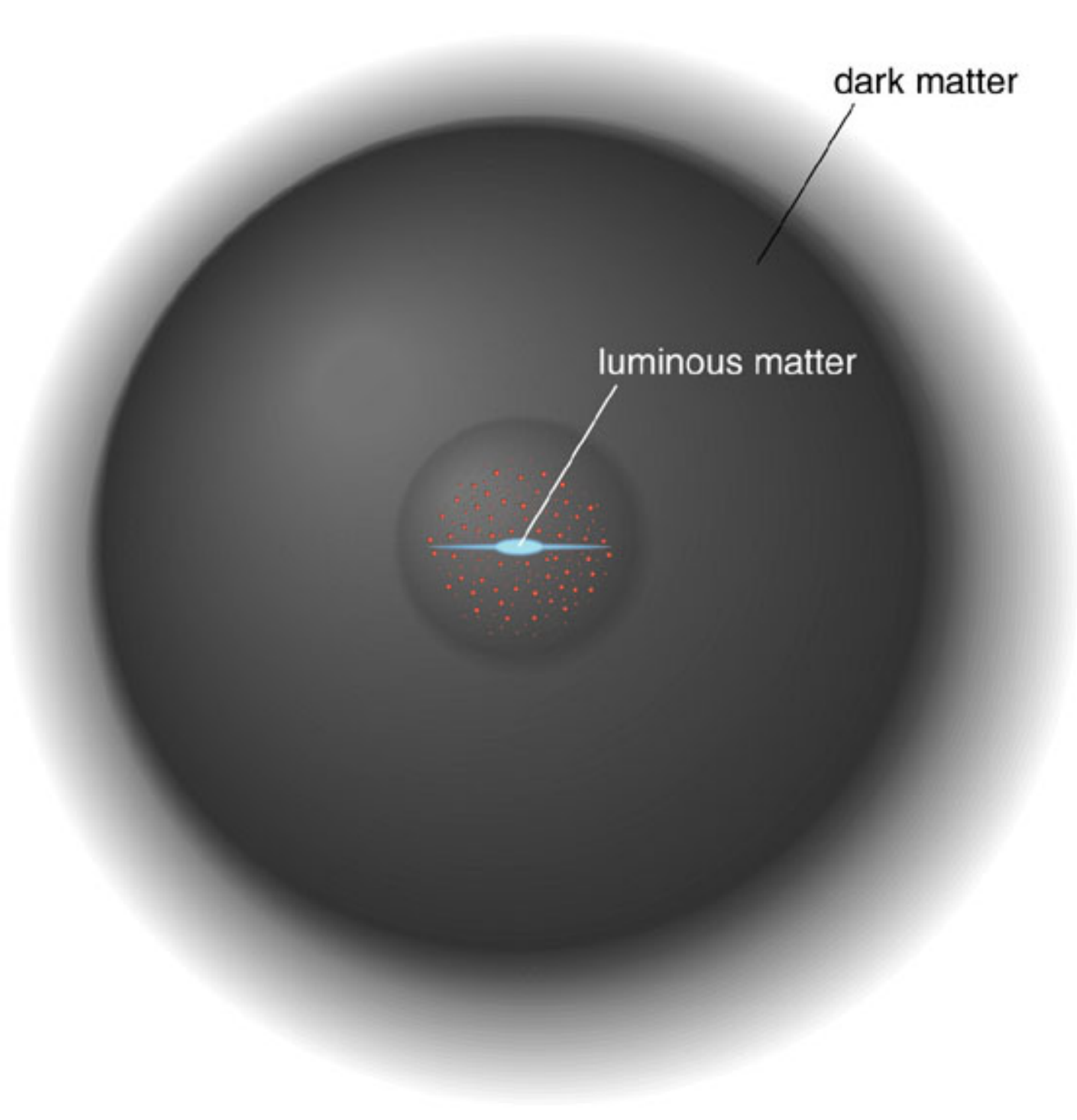
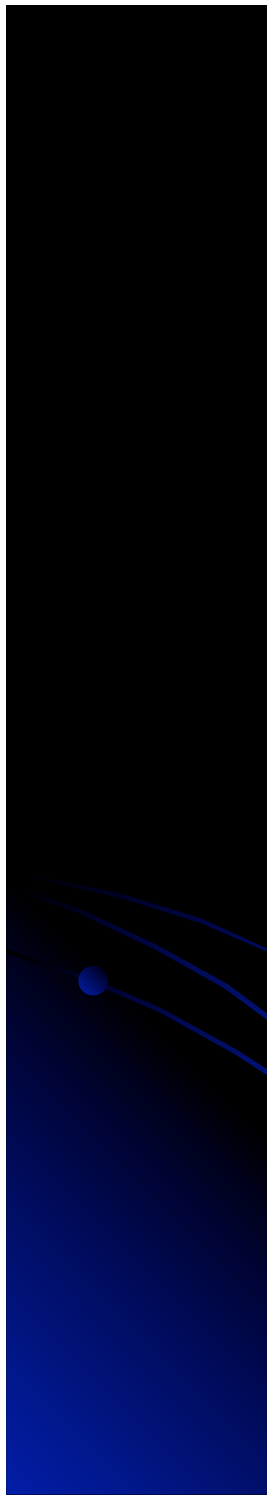
Καμπύλες Περιστροφής Σπειρωειδών γαλαξιών



$$m v^2/R = G M m/R^2 \rightarrow M \sim R$$

Observed vs. Predicted Keplerian





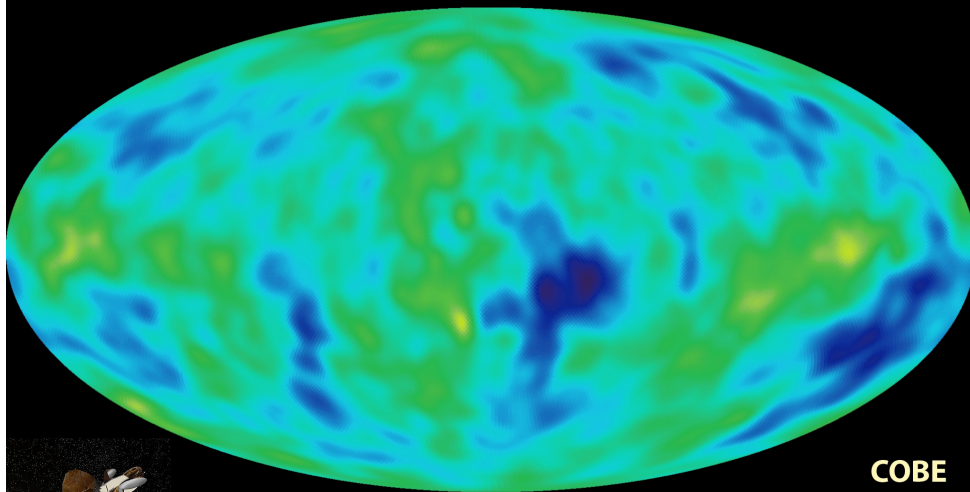
dark matter

luminous matter

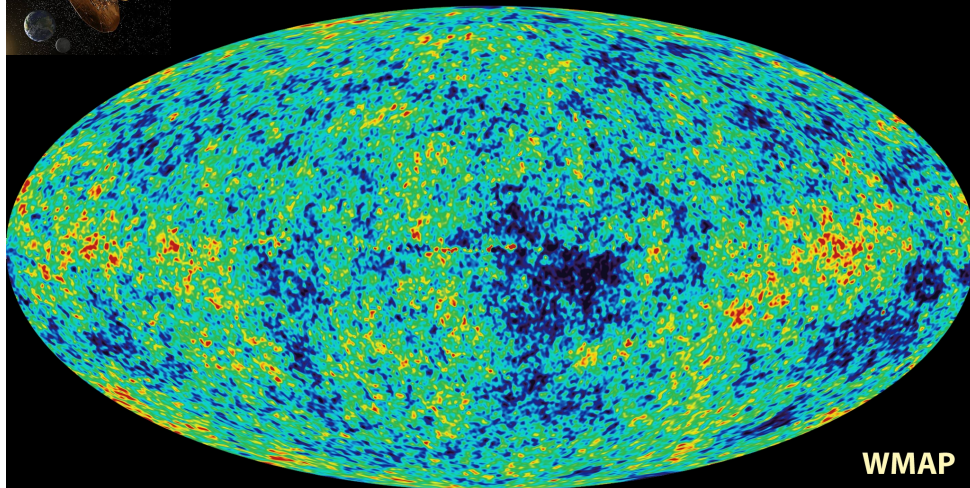


Ενδείξεις ύπαρξης Σκοτεινής Ύλης: Δημιουργία Γαλαξιών

Η ακτινοβολία Μικροκυμάτων



COBE



WMAP

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 \sim εκατομμυριοστού του βαθμού.

Για να είναι όμως συμβατές οι διαταραχές θερμοκρασίας του υπόβαθρου μικροκυμάτων με την ύπαρξη γαλαξιών πρέπει οι πρωταρχικές διαταραχές να είναι στην Σκοτεινή Ύλη.

Ενδείξεις ύπαρξης Σκοτεινής Ύλης: Δημιουργία Γαλαξιών

Λεπτομερείς Κοσμολογικές Προσομοιώσεις N-σωμάτων χρησιμοποιώντας Υπερ-υπολογιστές (ορισμένοι από τους οποίους έχουν πάνω από 10,000 CPUs), δείχνουν ότι **μόνο με ύπαρξη Σκοτεινής Ύλης μπορούμε να αναπαράγουμε τις παρατηρούμενες κοσμικές δομές.**

Ποιές είναι όμως οι πιθανές ερμηνείες της Σκοτεινής Ύλης;

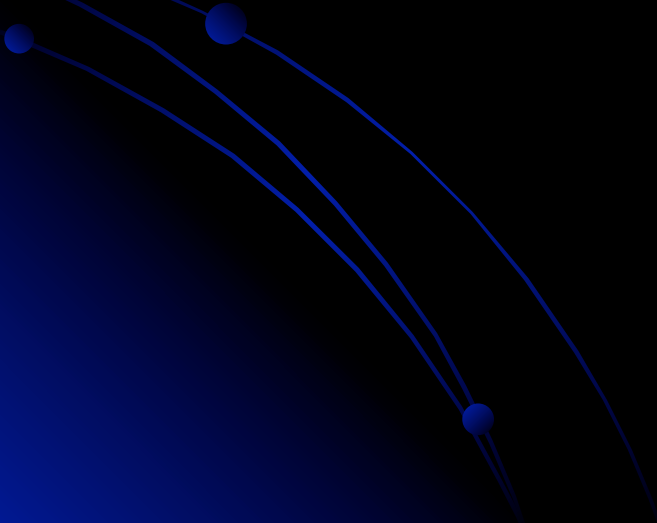
1. Κάποιο είδος σωματιδίων που δεν αλληλεπιδρούν ηλεκτρομαγνητικά και έτσι δεν παράγουν φως (είτε νέο είδος ύλης ή κανονική - βαρυονική - ύλη υπό μορφή πλανητών, «αποτυχημένων» αστέρων ή ακόμα διάσπαρτων μελανών οπών)
2. Η θεωρία βαρύτητας (Νευτώνια και Γενική Θεωρία της Σχετικότητας) είναι ελλιπής. Πχ. Πιθανόν η σταθερά της βαρύτητας να είναι συνάρτηση της απόστασης ή και του χρόνου.

→ Κυρίαρχη άποψη η 1 γιατί σώζει όλα τα φαινόμενα...

Το Σκοτεινό Σύμπαν .. 2 ..

Σκοτεινή Ενέργεια:

Άγνωστη μορφή ενέργειας, με «περίεργη» συμπεριφορά (αρνητική πίεση που δρά ως αντι-βαρύτητα), η ύπαρξη της οποίας είναι αναγκαία για να ερμηνεύσουμε την επιταχυνόμενη διαστολή του Σύμπαντος.



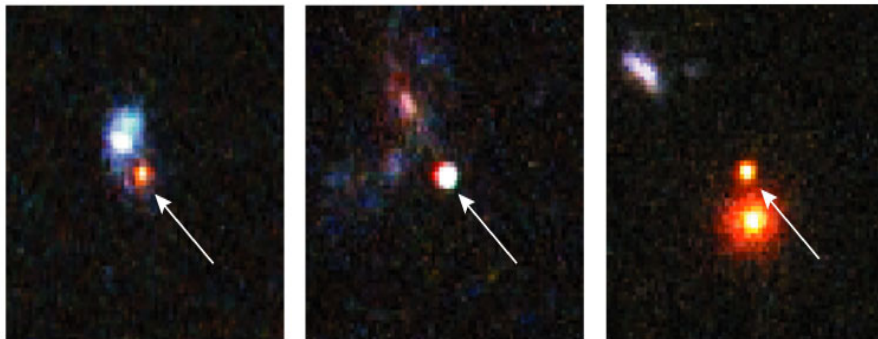
Σύγχρονες παρατηρήσεις μακρινών υπερκαινοφανών αστέρων (**supernova SNIa**) με το διαστημικό τηλεσκόπιο Hubble, μας δείχνουν ότι το Σύμπαν διαστέλλεται με **επιταχυνόμενο ρυθμό**. Δηλαδή οι SNIa βρίσκονται σε πιο μακρινές αποστάσεις από ότι θα περίμενε κανείς σε ένα επιβραδυνόμενο Σύμπαν.

Μακρυνοί γαλαξίες με SNIa

Distant galaxies before supernova explosions



The same galaxies after supernova explosions

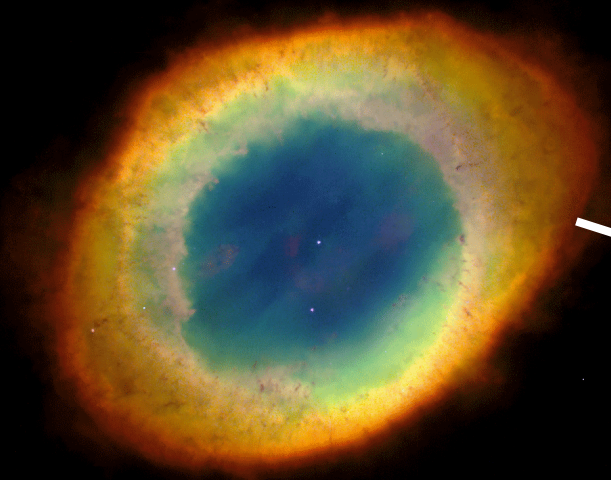


Κοντινός γαλαξίας με SNIa



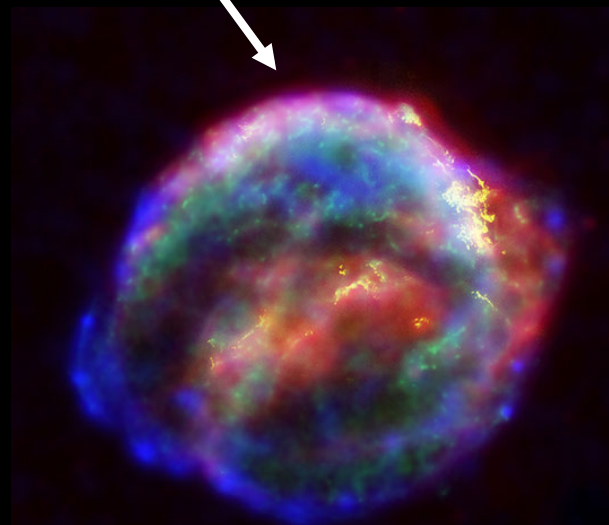
SN 1994d

ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΤΑ SUPERNOVA Ia ;



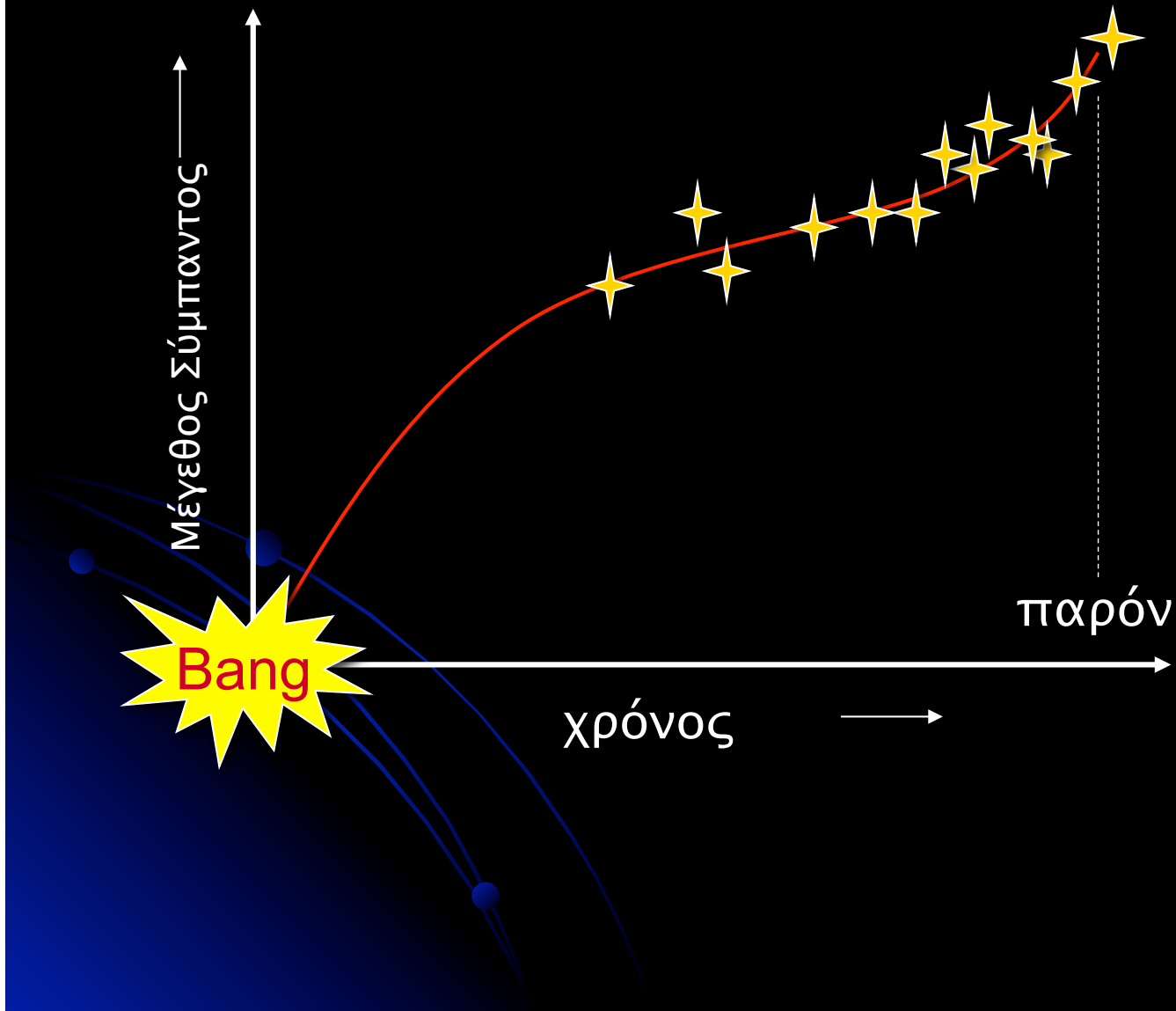
απορροφά μάζα από συνοδό

Θάνατος αστέρων -->
Δημιουργία Λευκού Νάνου.



.... και εν τέλει εκρήγνυται

Το Νέο Μοντέλο (Επιταχυνόμενη) Διαστολής του Σύμπαντος

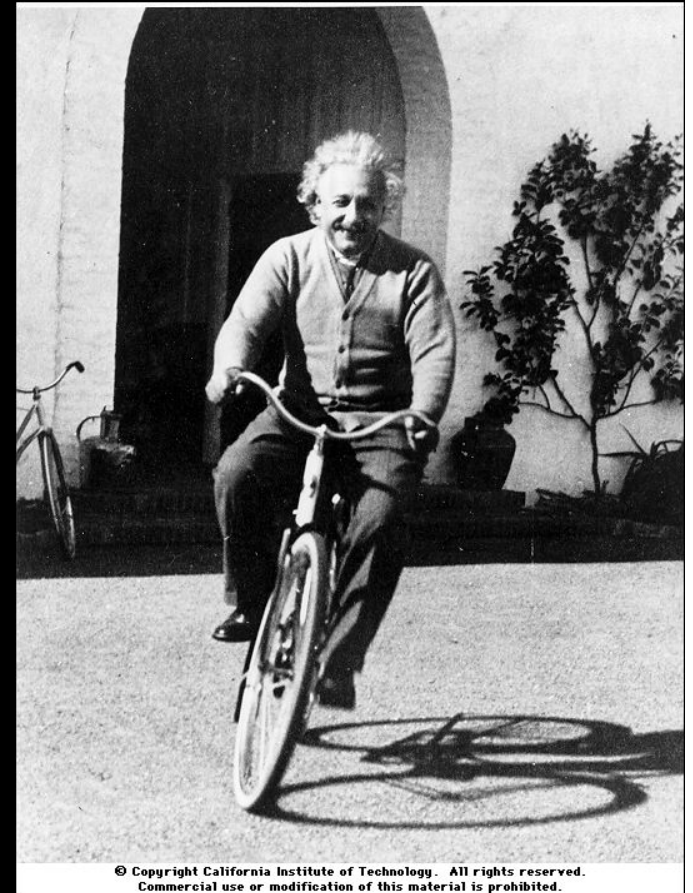


Τι μπορεί να είναι η Σκοτεινή Ενέργεια;

Μια πιθανότητα είναι το Σύμπαν να είναι γεμάτο από μια ενέργεια με σταθερή (διαχρονικά) και ομογενή (χωρικά) πυκνότητα. Αυτή είναι η λεγόμενη **Κοσμολογική Σταθερά (Λ)**, που επέβαλε ο Einstein στις εξισώσεις του για να τους προσδώσει σταθερές λύσεις, και που αργότερα απαλείφθηκε όταν ανακαλύφθηκε η διαστολή του Σύμπαντος.

Ερμηνεύεται ως η ενέργεια του κενού που 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 το αυτό και η ενέργεια του κενού.

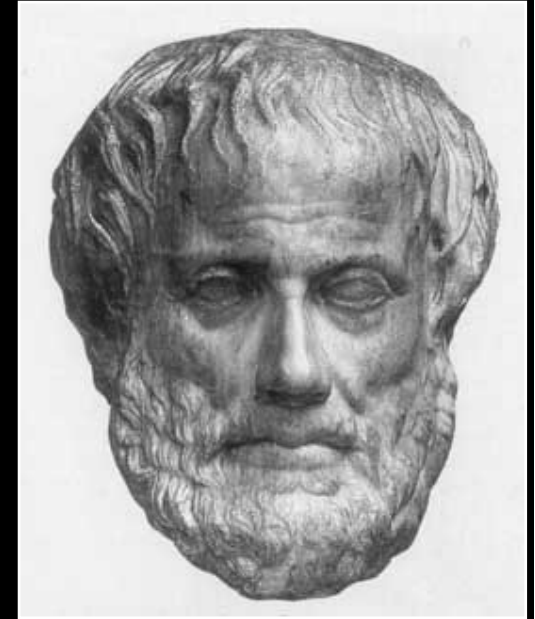
Όμως από θεωρητική άποψη η τιμή του Λ πρέπει να είναι 10^{120} μεγαλύτερη από ότι μετράμε οι παρατηρησιακοί Κοσμολόγοι.....



© Copyright California Institute of Technology. All rights reserved.
Commercial use or modification of this material is prohibited.

Τι μπορεί να είναι η Σκοτεινή Ενέργεια;

Άλλη πιθανότητα είναι η λεγόμενη **πεμπτουσία** (*quintessence*) που είναι ένα δυναμικό πεδίο του οποίου η ενέργεια εξελίσσεται στον χώρο και τον χρόνο.



Ο Αριστοτέλης πρόσθεσε στην τετράδα των στοιχείων που θεωρούσαν οι Έλληνες Ίωνες φιλόσοφοι ότι αποτελούν την βάση της φύσης (Γή, ύδωρ, πύρ και αήρ) τον αιθέρα ο οποίος θα αποτελέσει την πέμπτη ουσία την «πεμπτουσία». Το στοιχείο αυτό παρουσιάζει πολύ ενδιαφέρουσες «κοσμολογικές» ιδιότητες: είναι **αγέννητο, αγήρατο, άφθαρτο και αναλλοίωτο.....**

Κοσμολογικά Συμπεράσματα

- ✓ Το Σύμπαν διαστέλλεται με επιταχυνόμενο ρυθμό !
- ✓ Το ~5% της ύλης είναι η κοινή ύλη (άτομα, πρωτόνια, ηλεκτρόνια → Βαρυονική ύλη) δηλαδή από αυτή που είμαστε και εμείς φτιαγμένοι και 25% είναι σκοτεινή ύλη !
- ✓ Υπάρχει και μεγάλο ποσό ενέργειας του κενού, άγνωστο πώς!
- ✓ Η ηλικία του Σύμπαντος είναι 13.300.000.000 χρόνια

**ΠΕΔΙΟ ΔΟΞΗΣ
ΛΑΜΠΡΟ ΓΙΑ ΝΕΟΥΣ
ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΕΣ**

