

*Σύγχρονη Κοσμολογία:  
Στοιχεία για την Γένεση, Εξέλιξη &  
η Δομή του Σύμπαντος*

Μανώλης Πλειώνης

Τομέας Αστροφυσικής, Αστρονομίας & Μηχανικής, Τμήμα  
Φυσικής,  
ΑΠΘ

Ινστιτούτο Αστρονομίας & Αστροφυσικής,  
Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών

Θεσσαλονίκη, 14 Οκτωβρίου 2009

# Τι είναι η Κοσμολογία;

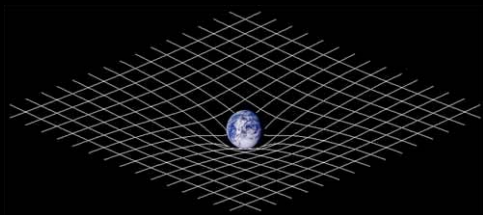
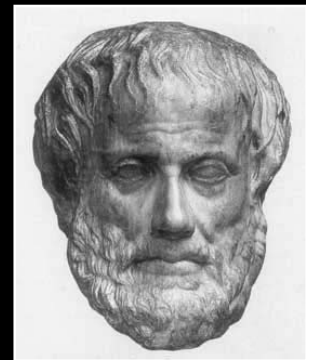
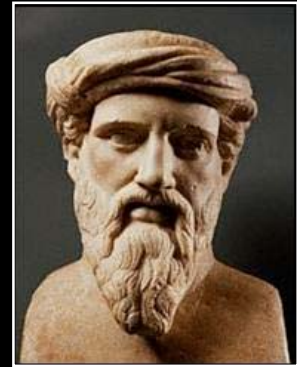
Κοσμολογία είναι η επιστήμη που μελετά την *ΓΕΝΝΗΣΗ και ΕΞΕΛΙΞΗ* του ΣΥΜΠΑΝΤΟΣ και τις *ΚΟΣΜΙΚΕΣ ΔΟΜΕΣ* που περιέχει.

# Διαχρονική πορεία της Κοσμολογικής Σκέψης

Αρχικά μόνο Θεολογικές και Φιλοσοφικές προσεγγίσεις.

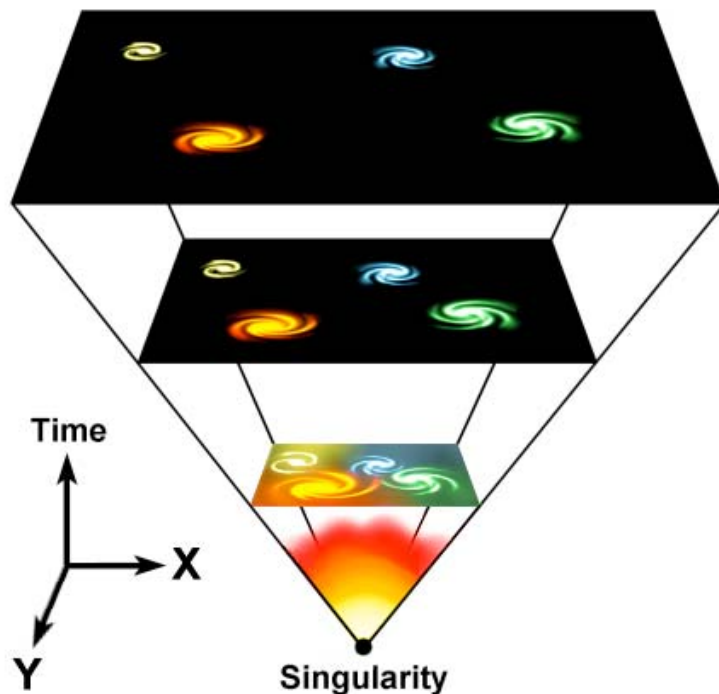
- Αρχαία Ελληνική Κοσμολογία: Ησίοδος, Ίωνες φυσικοί φιλόσοφοι, Αριστοτέλης, Πυθαγόριοι, Αρίσταρχος τον Σάμιο (310 – 230 πΧ) με την Ηλιοκεντρική του Θεωρία, κλπ
- Χριστιανική Μεσαιωνική πνευματική αποδόμηση και Αναγεννησιακή επιστροφή (Galileo, Copernicus etc)
- Σύγχρονη Κοσμολογία: Einstein, Freedman,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

**Επιστήμη του 20<sup>ου</sup> αιώνα**: Αναπτύχθηκε με την θεμελίωση της **Γενικής Θεωρίας της Σχετικότητας**, με την ανάπτυξη της **φασματοσκοπίας** και των **μεγάλων κατοπτρικών τηλεσκοπίων**.

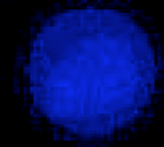


# Η Σύγχρονη Κοσμολογική Θεωρία είναι αυτή της Μεγάλης Έκρηξης:

*Η διαστολή του Σύμπαντος ξεκίνησε από μια υπέρπυκνη & υπέρθερμη κατάσταση και έκτοτε συνεχίζει να διαστέλλεται και να ψύχεται*



$z=49.000$



# Η Σύγχρονη Κοσμολογική Θεωρία είναι αυτή της Μεγάλης Έκρηξης:

3 ΒΑΣΙΚΟΙ ΠΥΛΩΝΕΣ ΤΗΣ ΘΕΩΡΙΑΣ ΜΕΓΑΛΗΣ ΕΚΡΗΞΗΣ

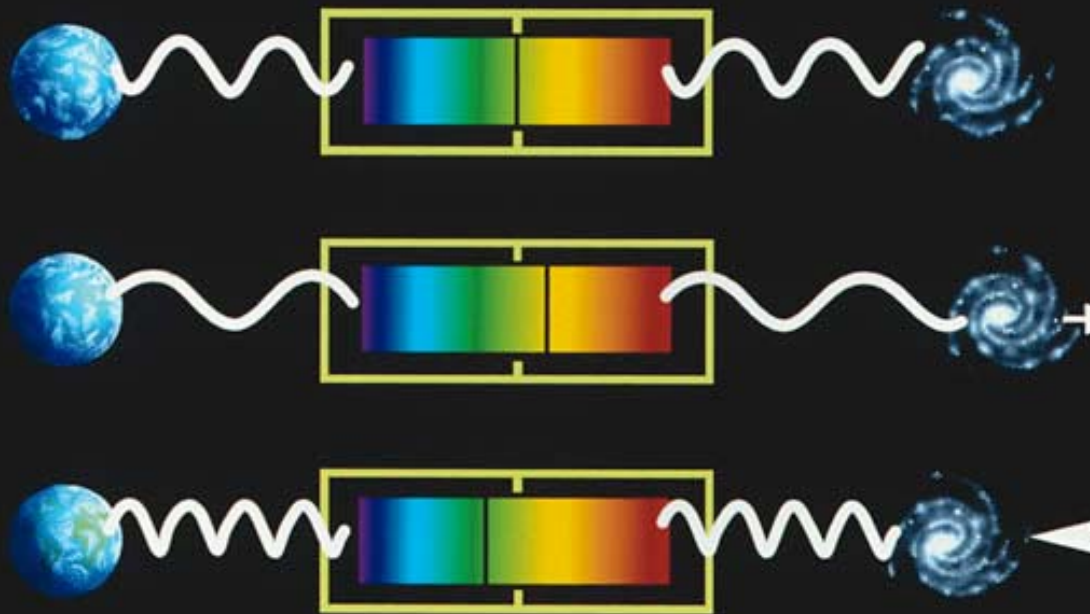
ΔΙΑΣΤΟΛΗ ΣΥΜΠΑΝΤΟΣ

ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΥΠΟΒΑΘΡΟΥ

ΠΥΡΗΝΟΓΕΝΕΣΗ

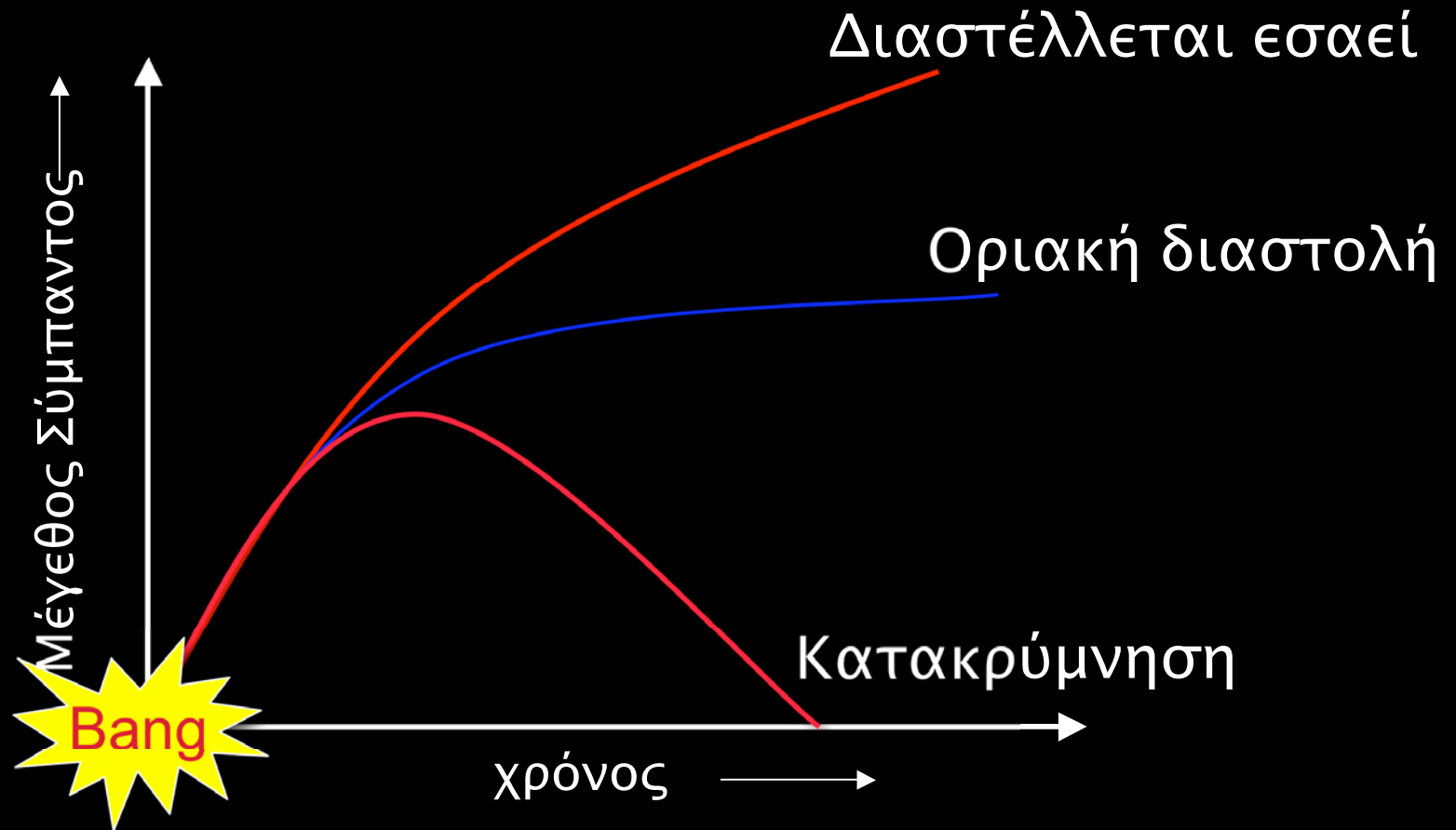
# Πυλώνας Νο 1: Διαστολή του Σύμπαντος

Το 1929 ο Hubble ανακάλυψε ότι τα φάσματα γαλαξιών είναι μετατοπισμένα στο ερυθρό → Φαινόμενο Doppler



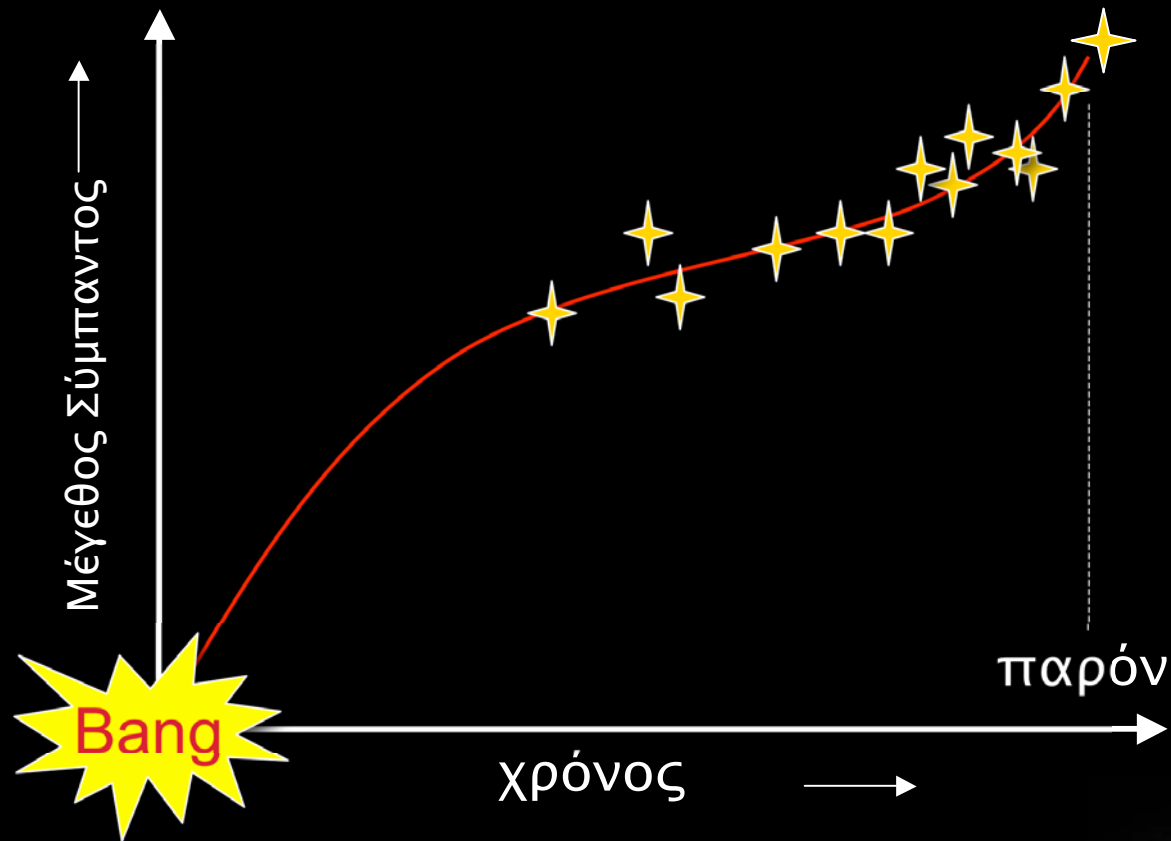
Τι σημαίνει ότι το Σύμπαν διαστέλλεται;

# Κλασικά Μοντέλα Διαστολής του Σύμπαντος



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

# Το Νέο Μοντέλο (Επιταχυνόμενη) Διαστολής του Σύμπαντος



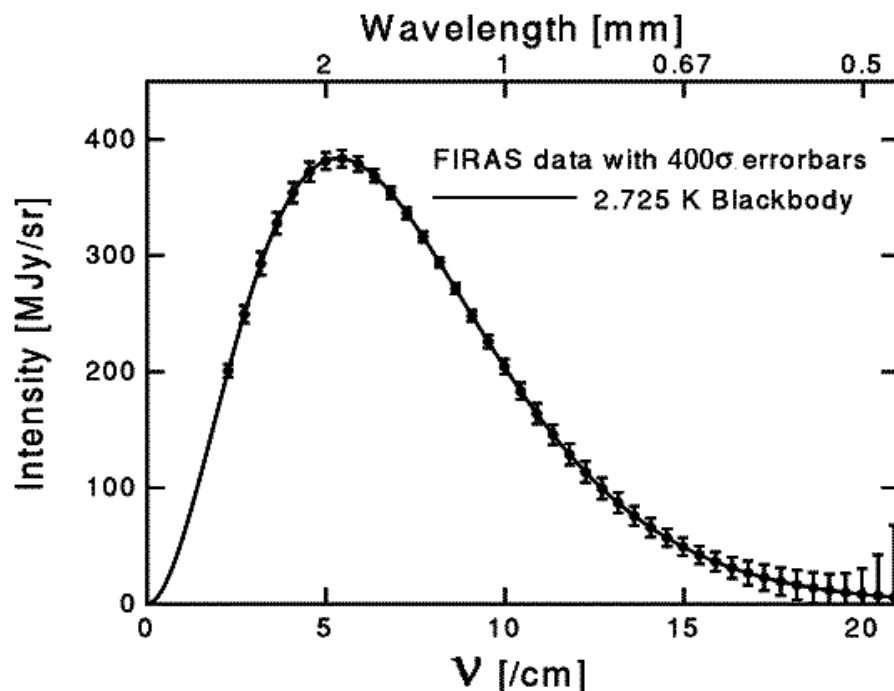
“Ενοχοποιείται” η Σκοτεινή Ενέργεια...



# 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.

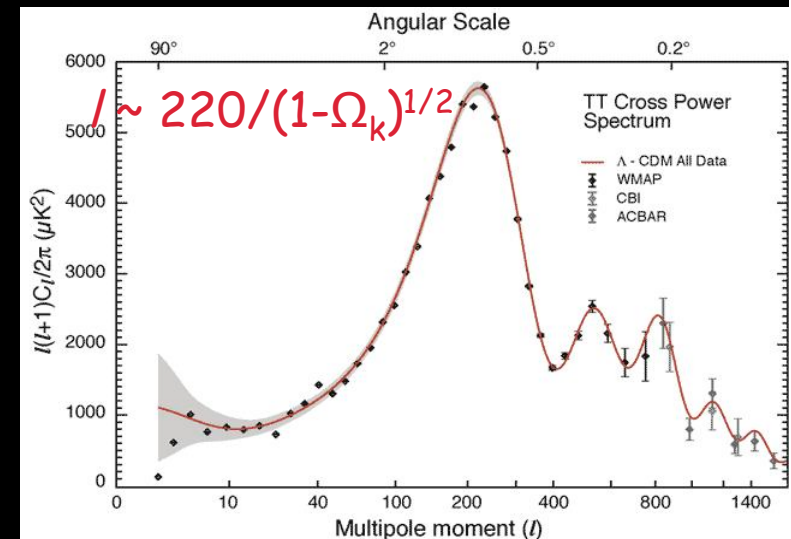
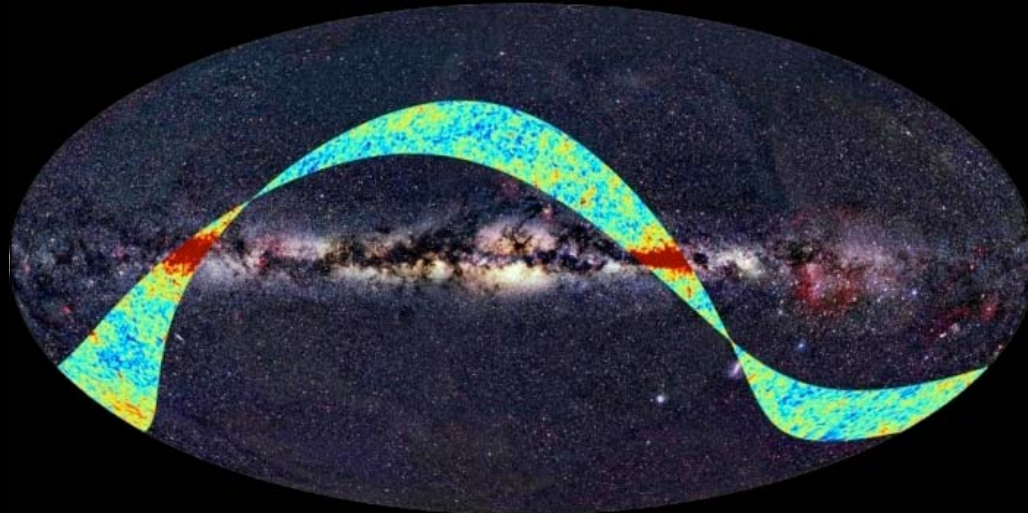
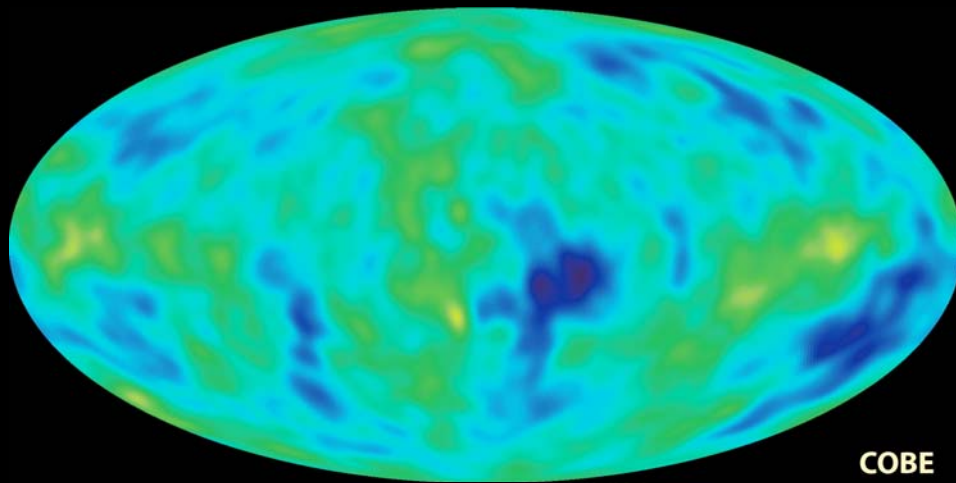
*Η πιο ακριβής μέτρηση ακτινοβολίας μέλανος σώματος*



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).

Φωτογραφία του Σύμπαντος όταν είχε ηλικία μόλις **380000 έτη**

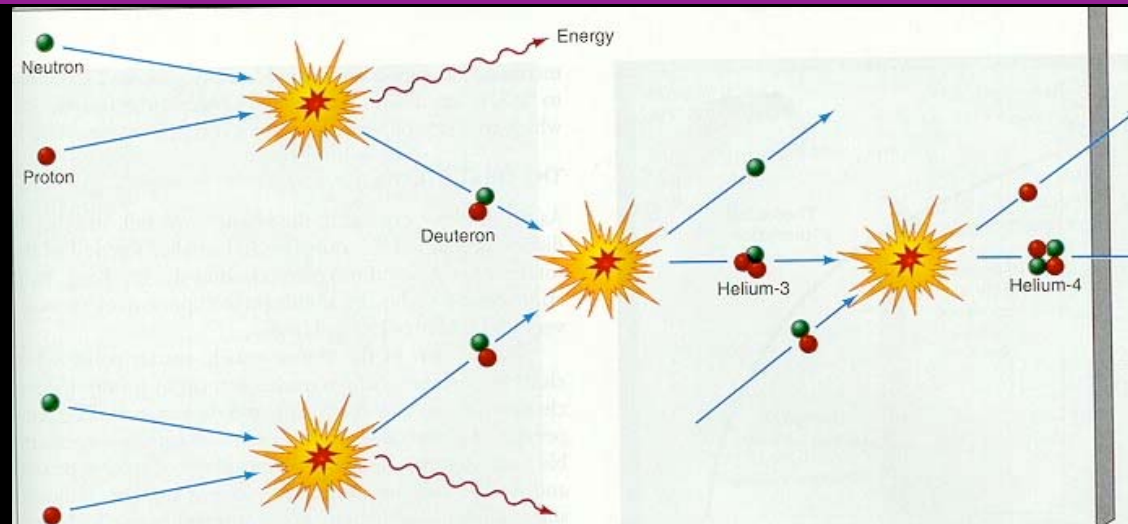
Οι διαταραχές θερμοκρασίας  
της ακτινοβολίας  
μικροκυμάτων από τις  
παρατηρήσεις του  
δορυφόρου **COBE & WMAP &  
PLANCK !**



# Πυλώνας Νο 3: ΠΥΡΗΝΟΓΕΝΕΣΗ

(πάντρεμα Μικρόσκοσμου και Μεγάκοσμου)

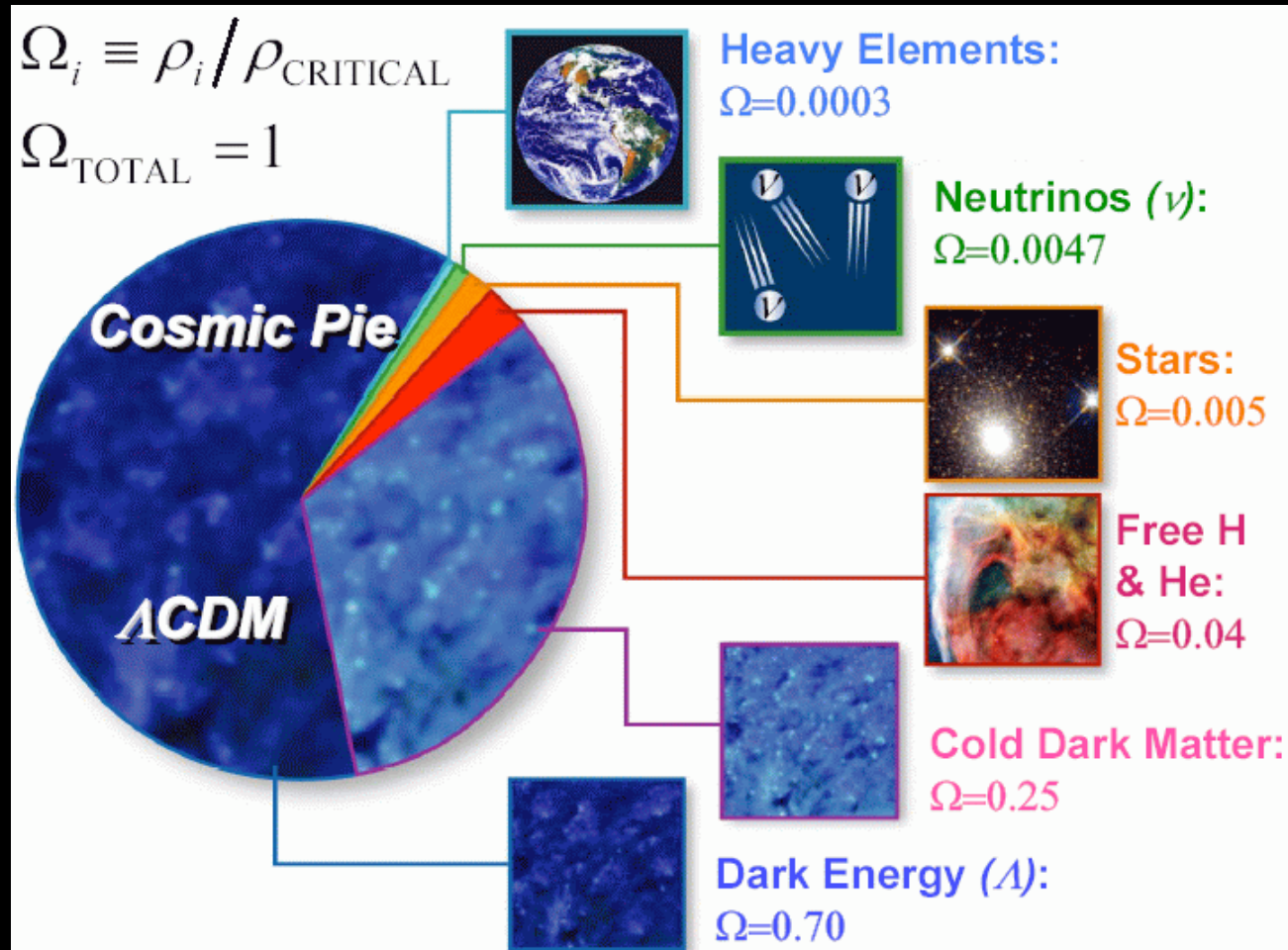
Άλλη πρόβλεψη των **Alpher, Gamow** είναι ότι στην υπέρθερμη αρχική κατάσταση δεν υπάρχουν ατομικοί πυρήνες αλλά μια θάλασσα στοιχειωδών σωματιδίων ( $p$ ,  $n$ ,  $\nu$ ) σε θερμοδυναμική ισορροπία. Στα 3 δευτερόλεπτα μετά το BB η θερμοκρασία έχει πέσει αρκετά ώστε να ξεκινήσει η δημιουργία των ελαφροτέρων ατομικών πυρήνων (Υδρογόνου και Ηλίου κύρια). Η (γνωστή) φυσική αλληλεπιδράσεων των στοιχειωδών σωματιδίων μαζί με τον ρυθμό διαστολής (ψύξης) του Σύμπαντος έδωσε την δυνατότητα στον **Gamow** να προβλέψει τα αρχικά ποσά του H και He, τα οποία και επιβεβαίωσε η παρατήρηση.



## 2 Μεγάλα Ερωτηματικά της Σύγχρονης Κοσμολογίας: Σκοτεινή Ύλη & Σκοτεινή Ενέργεια

*Γνωρίζουμε την ύπαρξη τους αλλά όχι την φύση τους*

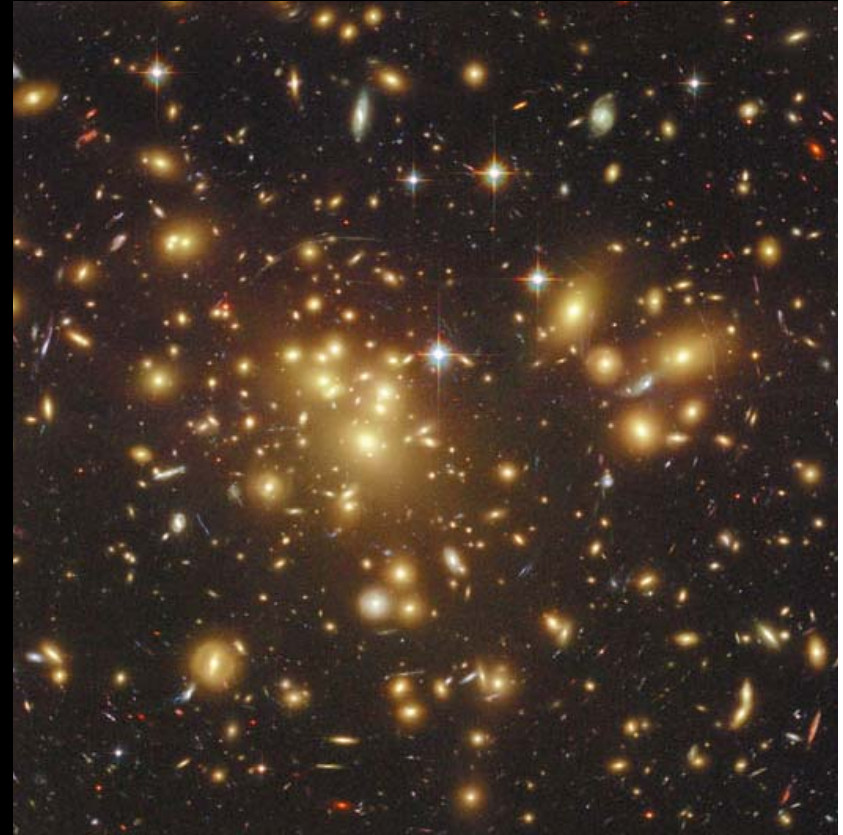
95% της υλο-ενέργειας του Σύμπαντος είναι άγνωστης μορφής



# Ενδείξεις ύπαρξης Σκοτεινής Ύλης: Σμήνη Γαλαξιών

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

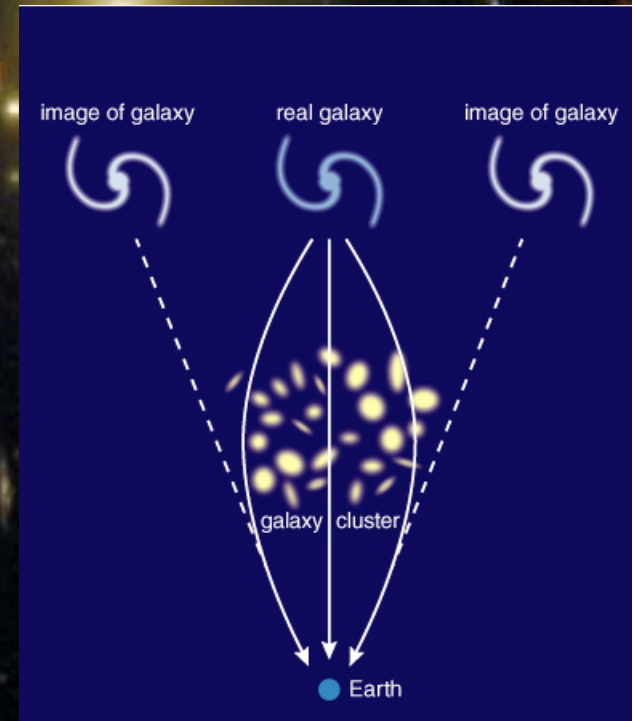
Ουσιαστικά βρήκε ότι οι γαλαξίες είχαν ταχύτητες μεγαλύτερες από αυτές που επέτρεπε το βαρυτικό πεδίο του σμήνους (> από ταχύτητα διαφυγής)...

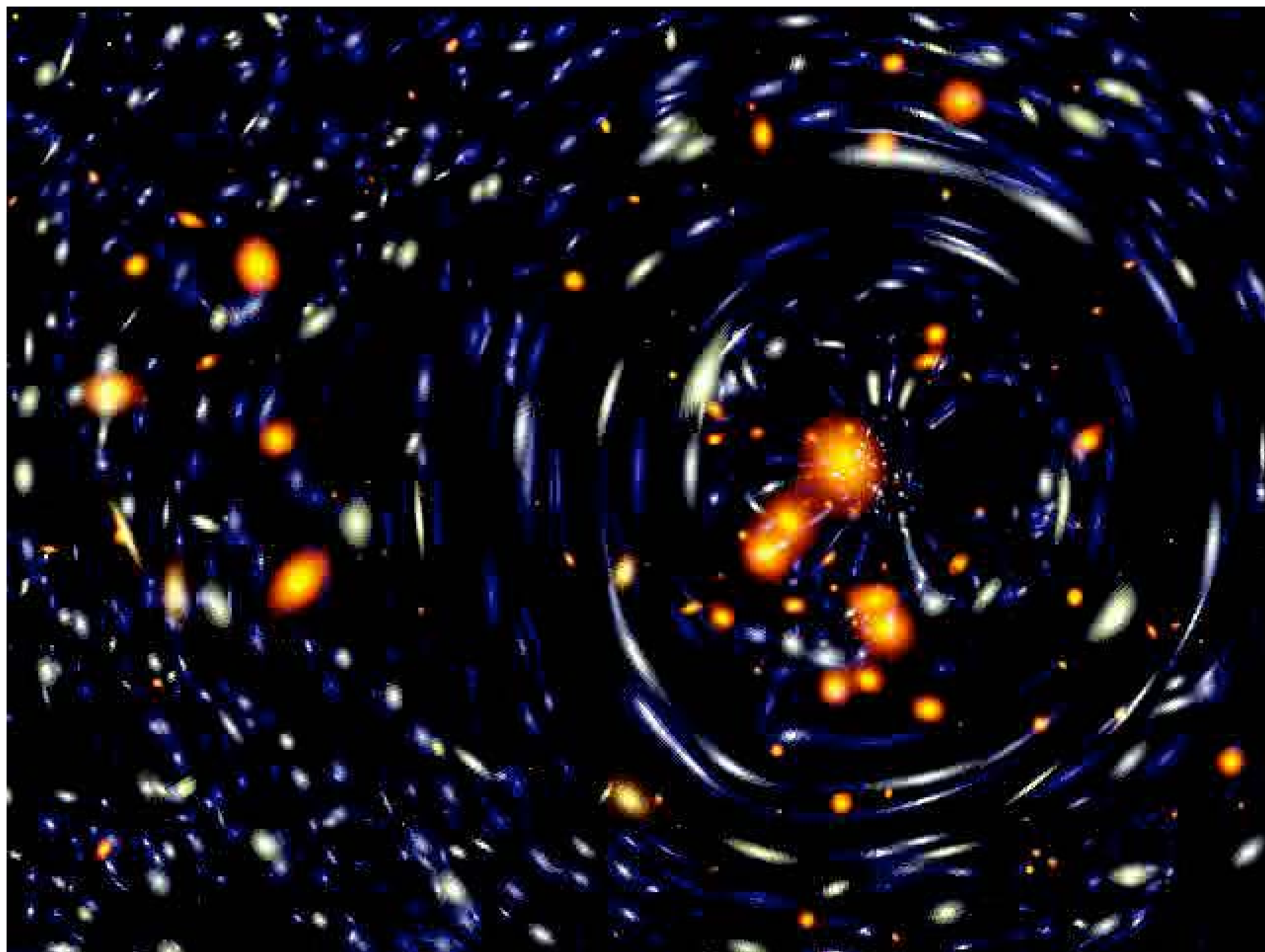


Οι ταχύτητες γαλαξιών μετρούνται από την μετατόπιση των φασματικών γραμμών

# Ενδείξεις ύπαρξης Σκοτεινής Ύλης: Σμήνη Γαλαξιών

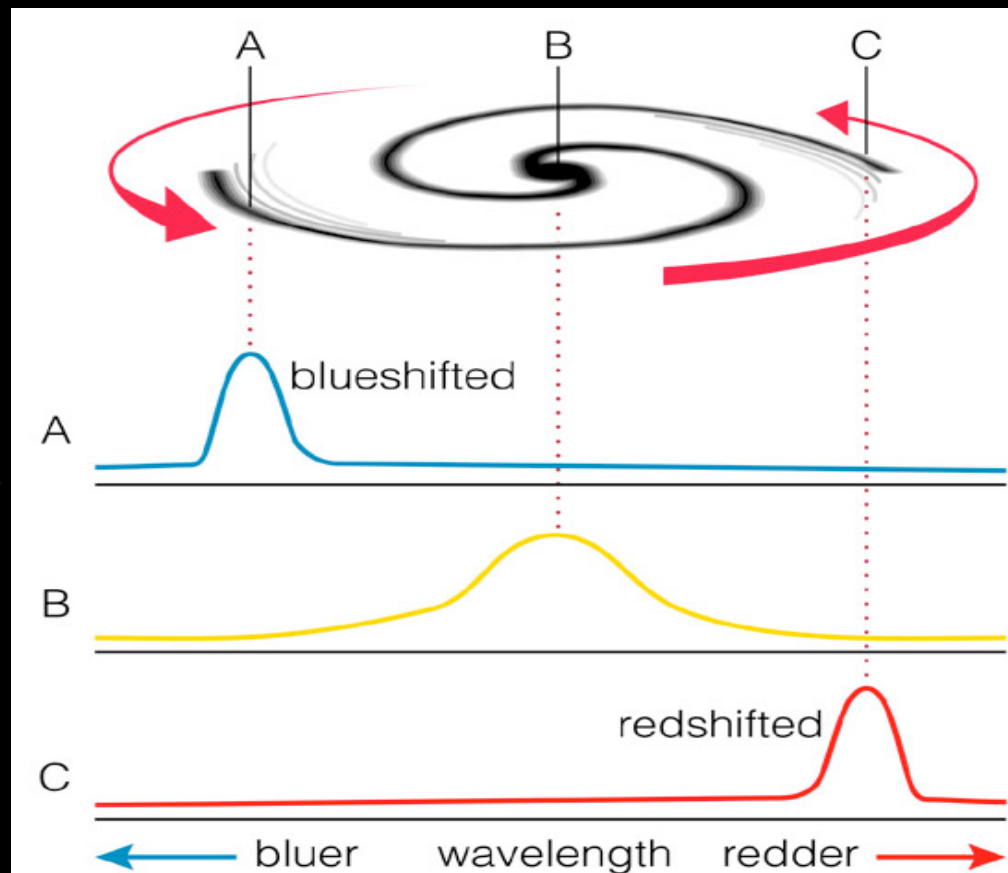
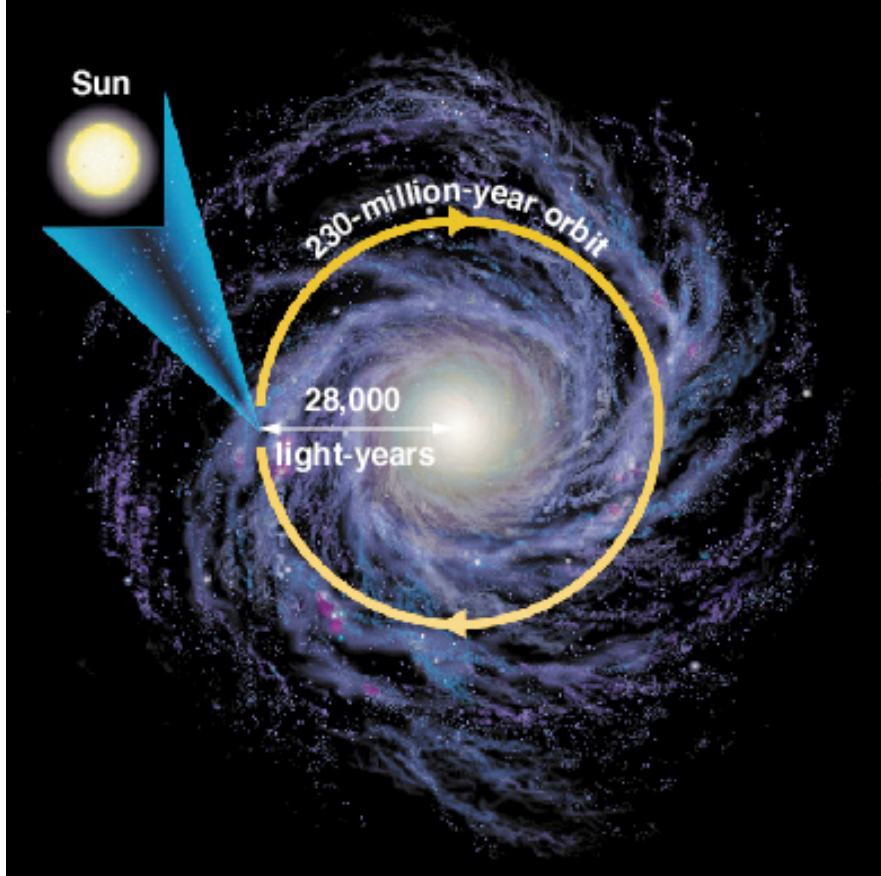
Τα σμήνη γαλαξιών δρούν ως βαρυτικοί φακοί, και από το είδος των ειδώλων και απόσταση από κέντρο του σμήνους συνάγουμε την ύπαρξη Σ.Υ. σε ποσά που είναι συμβατά με άλλες μεθόδους.





# Ενδείξεις ύπαρξης Σκοτεινής Ύλης: Περιστροφή Σπειρωειδών Γαλαξιών

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

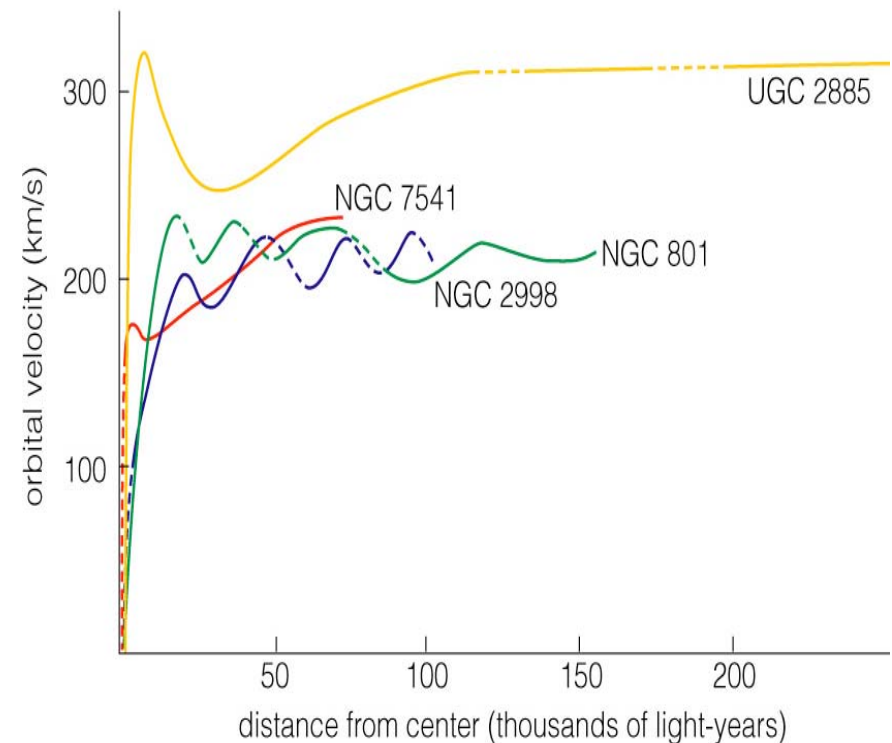
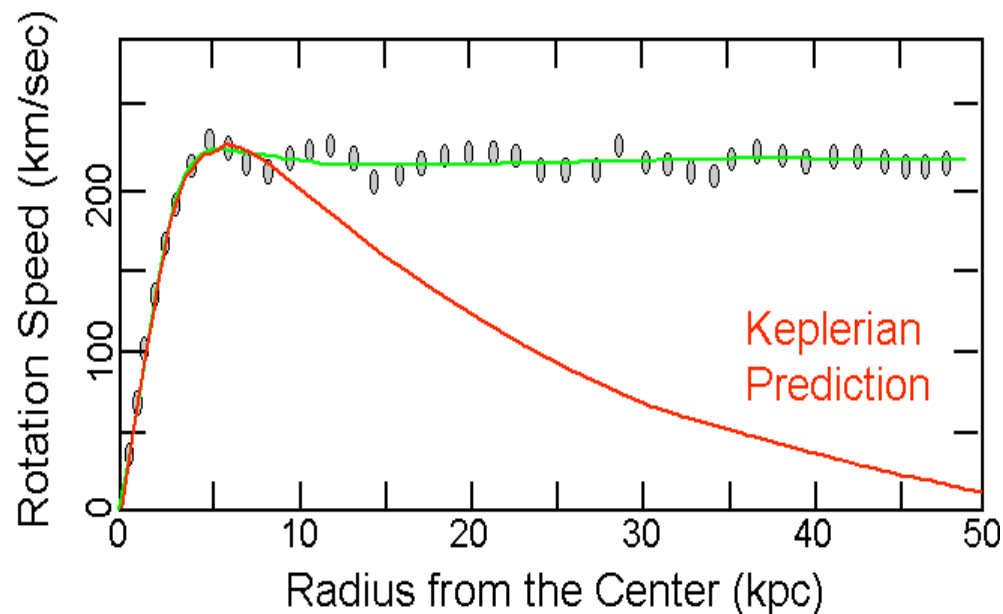


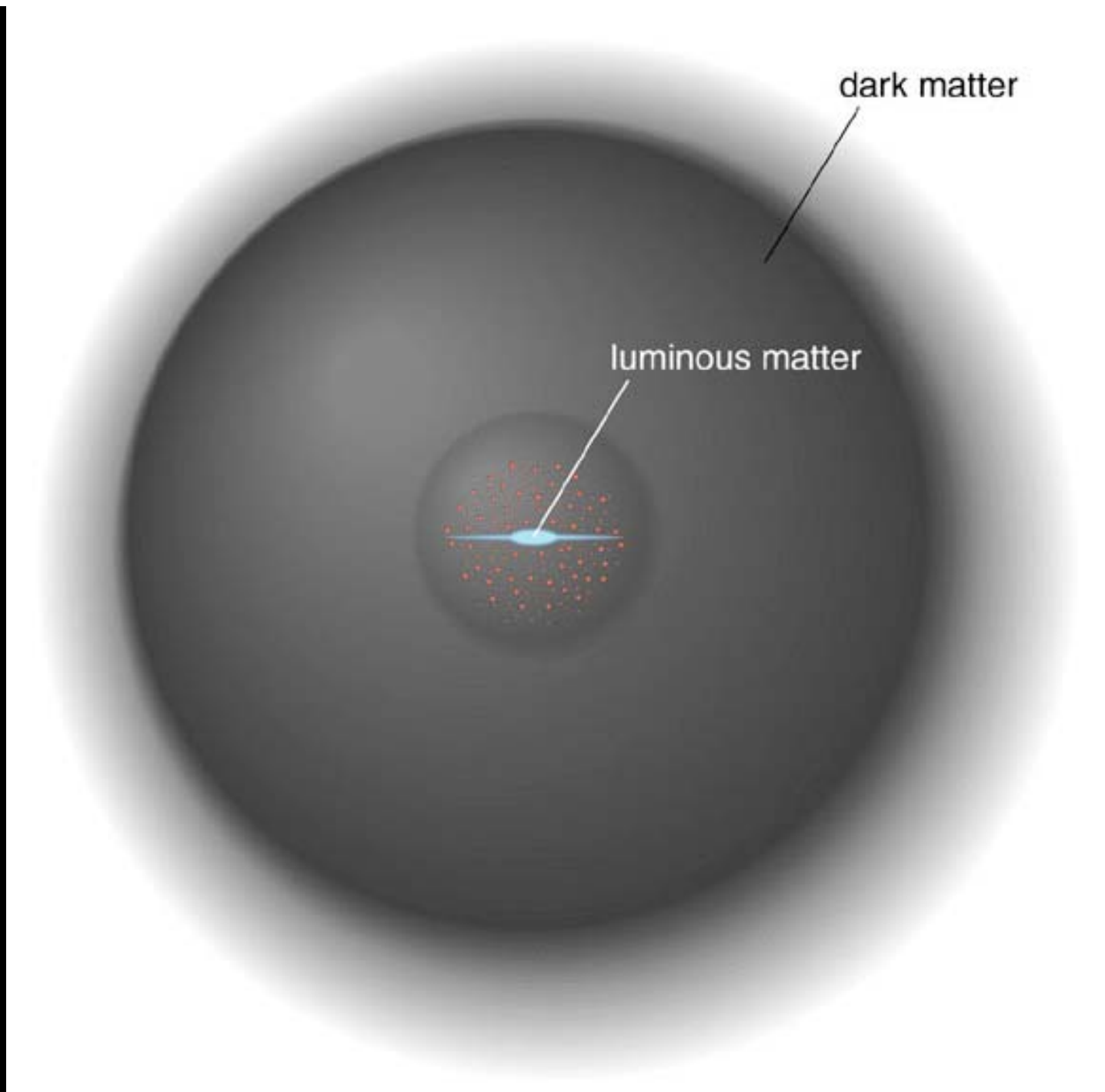
# Ενδείξεις ύπαρξης Σκοτεινής Ύλης: Περιστροφή Σπειρωειδών Γαλαξιών

Καμπύλες Περιστροφής Σπειρωειδών γαλαξιών →

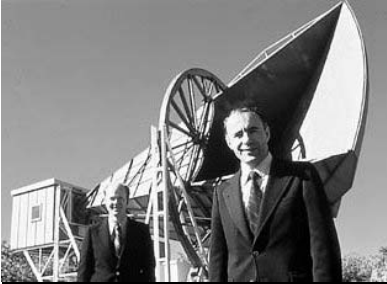
$$m v^2/R = G M m/R^2 \rightarrow M \sim R$$

Observed vs. Predicted Keplerian

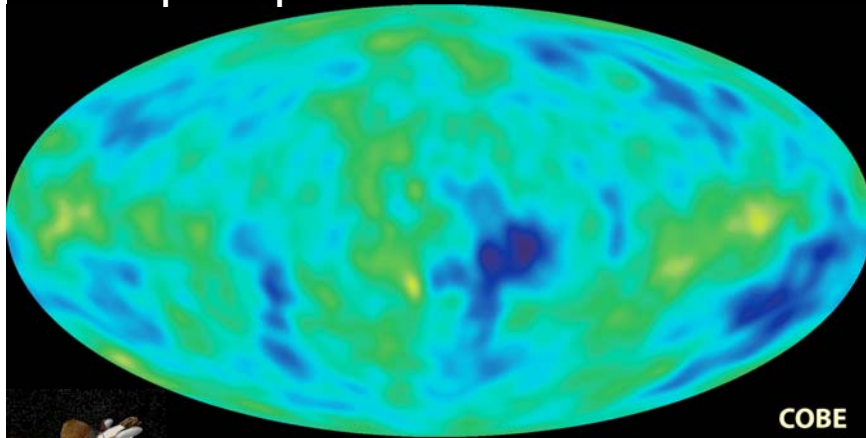




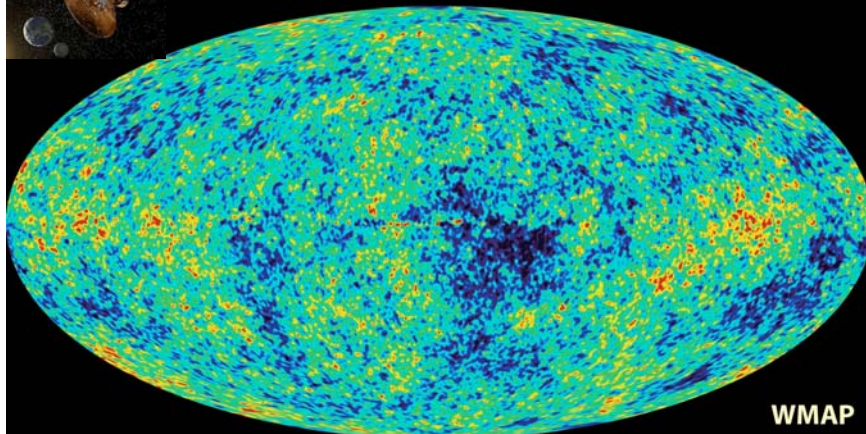
# Ενδείξεις ύπαρξης Σκοτεινής Ύλης: Δημιουργία Γαλαξιών



Διαταραχές στην ακτινοβολία  
Μικροκυμάτων



COBE



WMAP

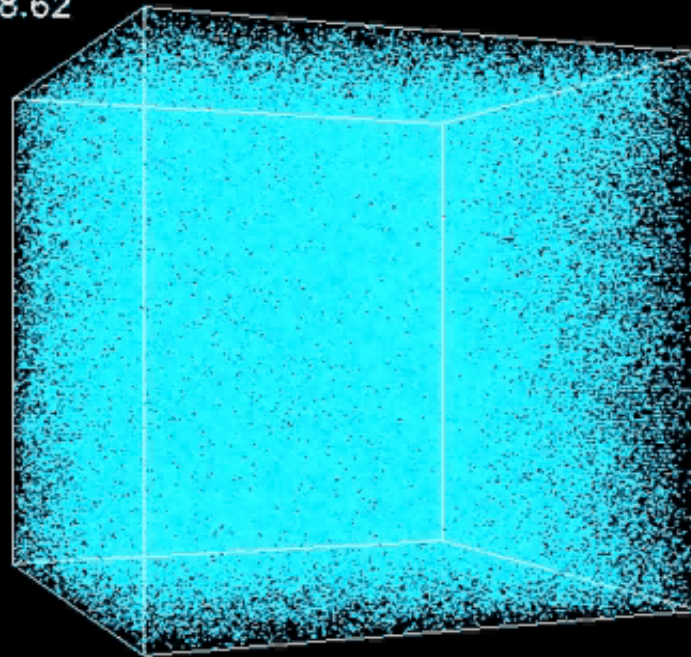
Οι **κόκκινες** και οι **μπλε** περιοχές αντιστοιχούν στις θερμότερες και στις ψυχρότερες περιοχές του Σύμπαντος, αντίστοιχα. Οι διαφορές της θερμοκρασίας είναι μόνον της τάξης του  $\sim$  εκατομμυριοστού του βαθμού.

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.**

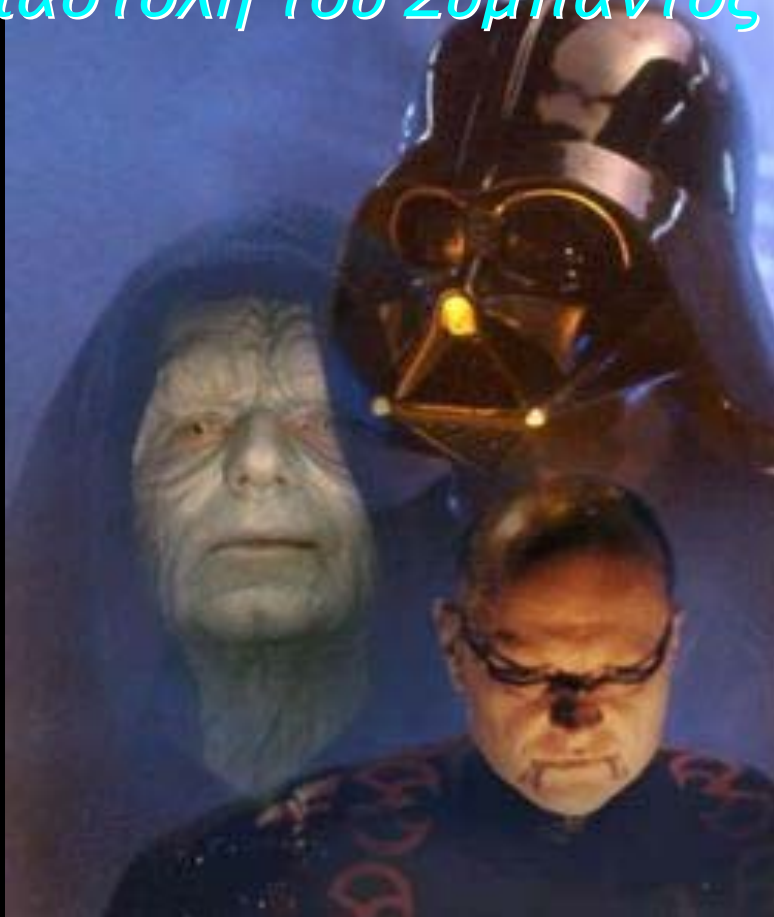
$z=28.62$



## Σκοτεινή Ενέργεια

Άγνωστη μορφή ενέργειας, με «περίεργη» συμπεριφορά (δρά ως αντι-βαρύτητα).

Διαπίστωση της ύπαρξης της από την επιταχυνόμενη διαστολή του Σύμπαντος (συνάρτηση Hubble με SNIa).

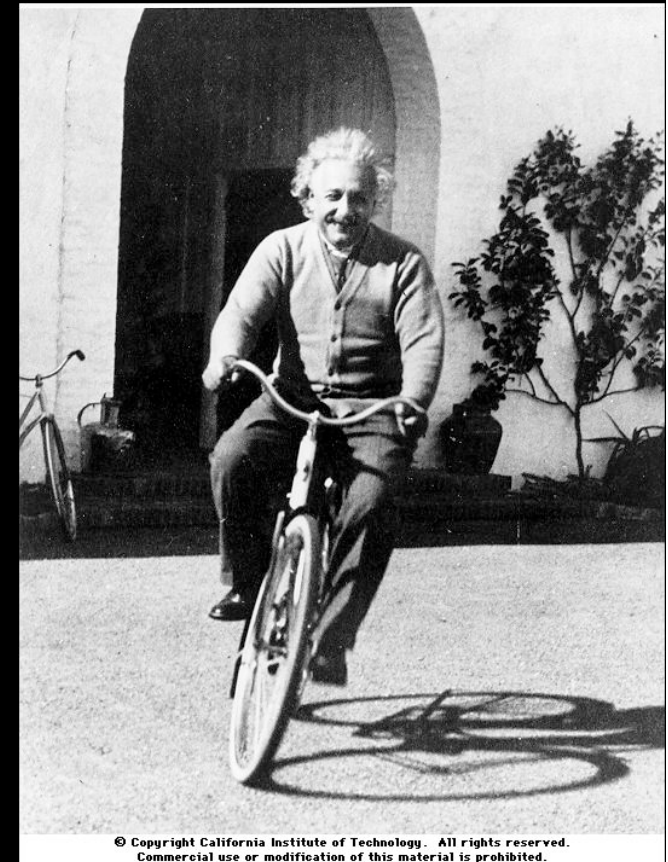


# Τι μπορεί να είναι η Σκοτεινή Ενέργεια;

Μια πιθανότητα είναι το Σύμπαν να είναι γεμάτο από μια ενέργεια με σταθερή (διαχρονικά) και ομογενή (χωρικά) πυκνότητα. Αυτή είναι η λεγόμενη **Κοσμολογική Σταθερά ( $\Lambda$ )**, 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 προσδίδουν 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.

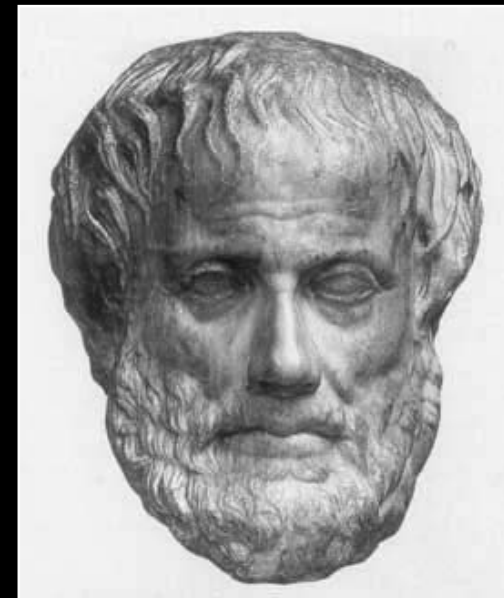
Όμως από θεωρητική άποψη η τιμή του  $\Lambda$  πρέπει να είναι  $10^{120}$  μεγαλύτερη από ότι μετράμε οι παρατηρησιακοί Κοσμολόγοι.....



# 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 Έλληνες 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.....



# 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 → Βαρυονική ύλη) δηλαδή από αυτή που είμαστε και εμείς φτιαγμένοι και 24% είναι σκοτεινή ύλη !
- ✓ Υπάρχει και μεγάλο ποσό σκοτεινής ενέργειας, άγνωστης ακόμα φύσης!

**ΠΕΔΙΟ ΔΟΞΗΣ ΛΑΜΠΡΟ ΓΙΑ ΝΕΟΥΣ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΕΣ**

