

Η προέλευση και η εξέλιξη του σύμπαντος

Julieta Fierro, Susana Deustua, Beatriz García

International Astronomical Union,

Universidad Nacional Autónoma de México, México

Space Telescope Science Institute, USA

ITeDA and Universidad Tecnológica Nacional, Argentina



Το σύμπαν είναι τα πάντα:

Χώρος

Υλη

Ενέργεια

Η ώρα



Βρίσκεται σε συνεχή εξέλιξη.

Κάθε αντικείμενο στο σύμπαν αλλάζει,
όπως και οι ιδέες μας γι' αυτό.

Έχει περάσει λιγότερο από έναν αιώνα από τότε που έχουμε αριετές παρατηρήσεις για να ποσοτικοποιήσουμε το σύμπαν και να προσπαθήσουμε να κάνουμε την επιστήμη για αυτό το θέμα.



Τις τελευταίες δεκαετίες έχουμε πληροφορίες για το σύμπαν και μπορούμε να τις μελετήσουμε. Πριν υπήρχαν μόνο εικασίες.

Η διαισθητική μας εκτίμηση για το σύμπαν δεν είναι το τυπικό μοντέλο της Μεγάλης Έκρηξης.

Ιστορικά, οι πολιτισμοί προσπάθησαν να εξηγήσουν το σύμπαν. Για παράδειγμα, οι Βαβυλώνιοι πίστευαν ότι η Γη είναι επίπεδη, με ορισμένα υψόμετρα, και υποστηρίζεται από ελέφαντες οι οποίοι, με τη σειρά τους, τοποθετούνται σε μια χελώνα που περιβάλλεται από ένα φίδι. Εξηγούσαν τους σεισμούς με ανακατατάξεις ελεφάντων.



Δοκιμή του μοντέλου:

Η σκιά ενός ελέφαντα και μιας χελώνας, ποτέ δεν μοιάζει με τη σκιά της Γης στη Σελήνη.

Μόνο μια σφαίρα έχει πάντα μια κυκλική σκιά. Επίδειξη έκλειψης Σελήνης



Προόδους στην επιστήμη

- Αντανεκλαστικός
- Σκεπτόμενοι ερωτήσεις που έχουμε για τη φύση
- Πειραματίζονται
- Σκεπτόμενος τα αποτελέσματα
- Κοινωνικοποίηση της νέας γνώσης μέσα από άρθρα
- Όταν άλλοι στοχαστές σχολιάζουν ευνοϊκά τις ιδέες μας, η γνώση παγιώνεται. Επίσης όταν μαθαίνουμε από τα λάθη μας.

Τυπικό μοντέλο της Μεγάλης Έκρηξης

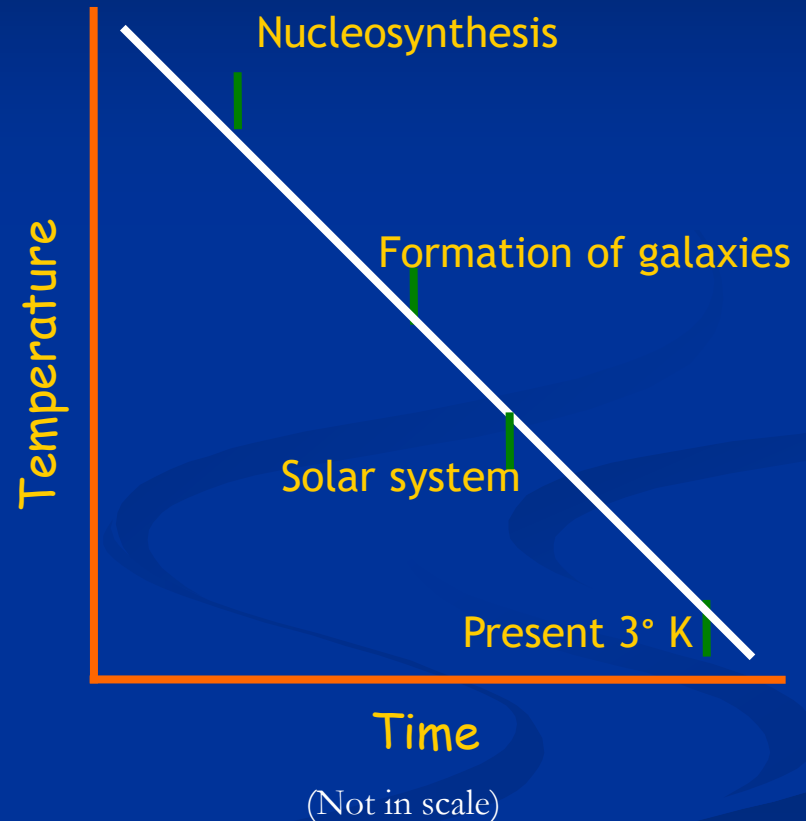
- Αυτό είναι το πιο απλό και εξηγεί τις παρατηρήσεις:
 - Επέκταση
 - Κοσμική ακτινοβολία υποβάθρου
 - Χημική αφθονία
 - Ισοτροπία
- Υπάρχουν και άλλα μοντέλα



- Η επιστήμη δεν ισχυρίζεται ότι έχει την αλήθεια - είναι ανέφικτη.

Διαστολή του Σύμπαντος

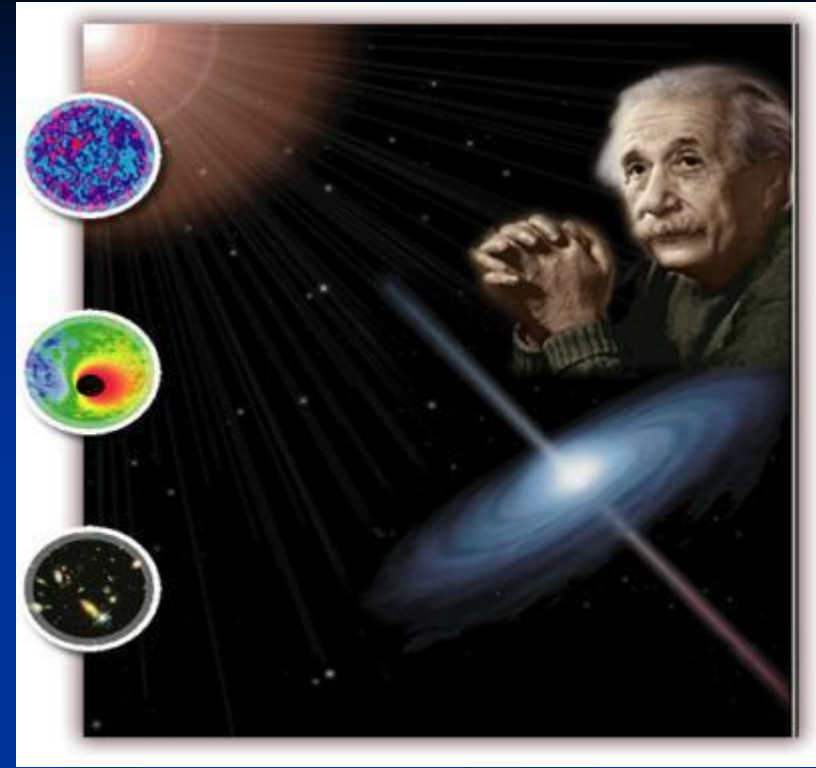
- ❑ Το Σύμπαν σχηματίστηκε πριν από 14.000 εκατομμύρια χρόνια.
- ❑ Όλα ξεκίνησαν όταν απελευθερώθηκε ενέργεια από το κενό
- ❑ Αυτό επεκτάθηκε και ψύχθηκε στη διαδικασία
- ❑ Ως αποτέλεσμα, αυτή η ενέργεια μετατράπηκε σε ύλη



Η Φυσική που μελετήθηκε στη Γη και εφαρμόστηκε στο υπόλοιπο σύμπαν είναι η Αστροφυσική.

Ο Άλμπερτ Αϊνστάιν ανακάλυψε ότι η ενέργεια μπορεί να μετατραπεί σε ύλη και το αντίστροφο. Στην αρχή του σύμπαντος, η ενέργεια του κενού μετατράπηκε σε ύλη.

Μέσα στα αστέρια η ενέργεια μετατρέπεται σε ύλη, γι' αυτό λάμπουν.



Ισοδυναμία μεταξύ ύλης και ενέργειας

$$E = mc^2$$

κουάρκ, λεπτόνια

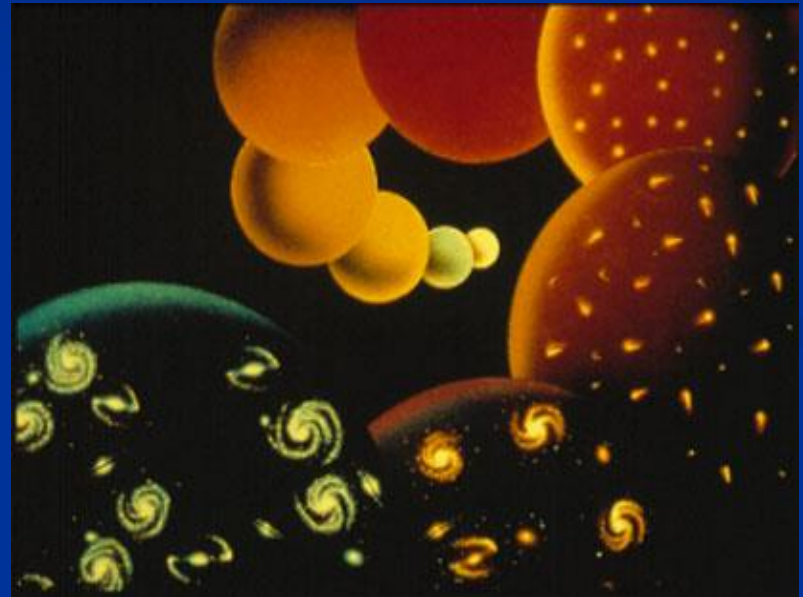
p^+ n e^-



Στην αρχή όλα έχουν σημασία ιονίστηκε

Αργότερα ανασυνδυάστηκε
για να σχηματίσει ουδέτερα
άτομα

Τα άτομα σχημάτισαν
σύννεφα, και στο εσωτερικό,
οι πρώτοι γαλαξίες με τα
πρώτα αστέρια.



Αργότερα σχηματίστηκαν οι βραχώδεις πλανήτες
(όπως η Γη) και εμφανίστηκε η πρώτη ζωή.

Χημική εξέλιξη

Πρωτόνια, νετρόνια και ηλεκτρόνια σχηματίστηκαν στο πρώτο λεπτό του σύμπαντος. Σχημάτισαν τα πιο απλά άτομα, H και He

$$E = mc^2$$

H - Formed by a proton p^+

4 H - Turns to He + 2ν + $2e^+$ + 2γ

- Τα υπόλοιπα στοιχεία σχηματίστηκαν μέσα στα αστέρια μέσω θερμοπυρηνικών αντιδράσεων.
- Τα βαρύτερα άτομα, όπως το ουράνιο, εμφανίζονται όταν τα αστέρια ειρηνεύουν και εκτοξεύουν σωματίδια που συγκρούονται, σχηματίζοντας νέα στοιχεία.
- Χιλιάδες εκατομμύρια χρόνια πέρασαν μετά τη Μεγάλη Έκρηξη, όταν άλλα στοιχεία εκτός από το υδρογόνο και το ήλιο σχηματίστηκαν μέσω της αστρικής εξέλιξης.



Φυσική και Κοσμολογία

Μπορούμε να εξηγήσουμε την καθημερινή ύλη με τα κουάρκ, τα συστατικά των πρωτονίων, των νετρονίων και των λεπτονίων (ένα από τα πιο γνωστά είναι το ηλεκτρόνιο) και τις αλληλεπιδράσεις τους, όπως ο ηλεκτρομαγνητισμός.

Family			Interaction
lepton	electron	neutrino	Electromagnetic force
quarks	up	down	Strong force
baryon	proton	neutron	Weak force, strong force

Αυτή η απλότητα του μοντέλου βοηθά να κατανοήσουμε πώς ήταν το πρώιμο Σύμπαν, όπου η ενέργεια μεταμορφωνόταν σε ύλη και η ύλη σε ενέργεια.



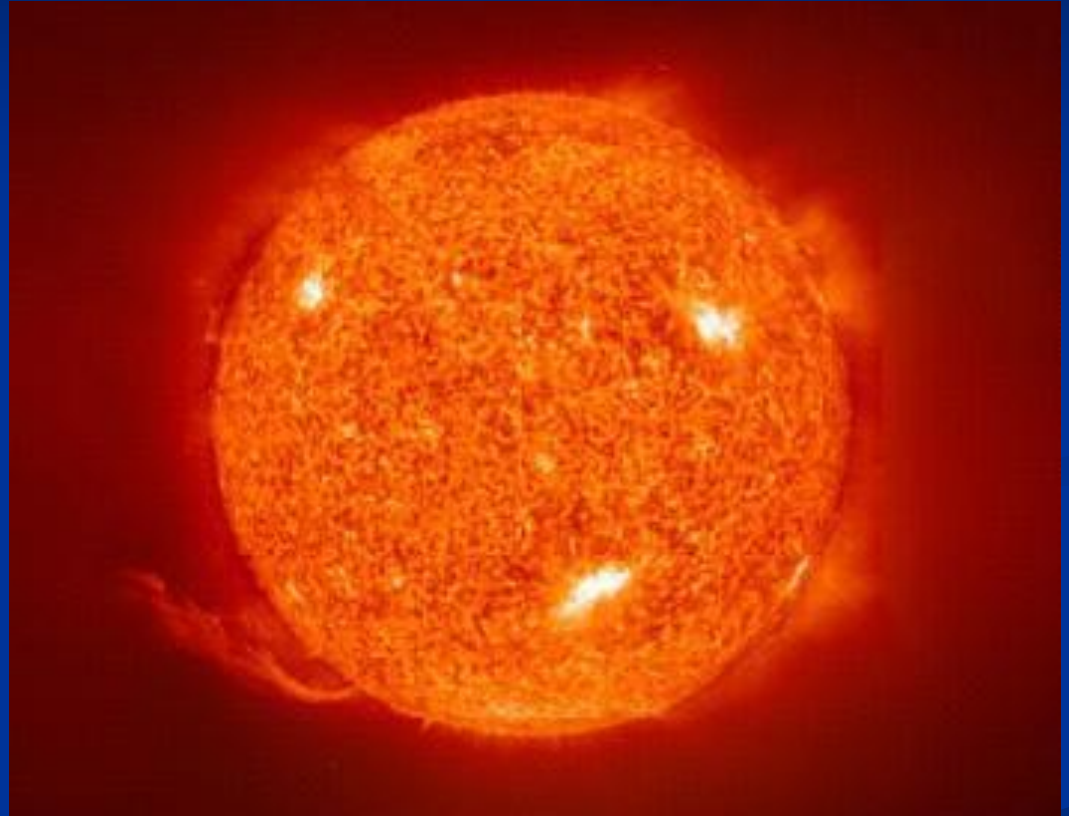
Μέσα από τις παρατηρήσεις μαθαίνουμε

- ☐ Οι φυσικές ιδιότητες των ουράνιων αντικειμένων
- ☐ Μεγέθη και αποστάσεις
- ☐ Εποχές και εποχές
- ☐ Ρυθμός διαστολής του σύμπαντος
- ☐ Θερμοκρασία της ακτινοβολίας υποβάθρου
- ☐ Χημική σύνθεση
- ☐ Δομή του Σύμπαντος
- ☐ Γιατί η νύχτα είναι σκοτεινή
- ☐ Η ύπαρξη της σκοτεινής ύλης και της σκοτεινής ενέργειας

Ο ήλιος

Τα αντικείμενα που έχουν μελετηθεί περισσότερο είναι τα πιο φωτεινά – το πιο εύκολο.

Ο Ήλιος και τα υπόλοιπα αστέρια είναι τα πιο γνωστά αντικείμενα.



Επιπλέον ηλιακοί πλανήτες



Εκτός από τα αστέρια,
τα τελευταία χρόνια
έχουν ανακαλυφθεί
εκατοντάδες πλανήτες
γύρω από άλλα
αστέρια, όχι επειδή
εκπέμπουν φως, αλλά
επειδή διαταράσσουν
τις αστρικές τροχιές
και τις καμπύλες
φωτός.

ΖΩΗ



Μια άλλη ιδιότητα του Σύμπαντος είναι η ζωή. Δεν έχουμε ανακαλύψει ακόμη τη ζωή έξω από τη Γη.

Πιστεύουμε ότι απαιτεί νερό για να ανθίσει γιατί διευκολύνει την ανταλλαγή ουσιών και το σχηματισμό συμπλόκων μόρια.

Διαστρική ύλη

Ο χώρος ανάμεσα στα αστέρια δεν είναι κενός, γεμίζεται από διαστρική ύλη. Αυτό είναι το υλικό από το οποίο σχηματίζονται τα νέα αστέρια.

Ο χώρος ανάμεσα στα αστέρια δεν είναι κενός, γεμίζεται από διαστρική ύλη. Αυτό είναι το υλικό από το οποίο σχηματίζονται τα νέα αστέρια.



Στη συνέχεια, σχηματίζονται άνθρακας, άζωτο και οξυγόνο - τα στοιχεία από τα οποία είμαστε φτιαγμένοι.

Κύκλος ζωής ενός αστεριού που μοιάζει με ήλιο



Όταν τα αστέρια εξαντλούν τα καύσιμα τους, εκτοξεύονται στον περιβάλλοντα χώρο σωματίδια που δημιουργούνται μέσα τους. Μετά από κάθε αστρική γενιά, το διαστρικό μέσο -όπου γεννιούνται νέα αστέρια- γίνεται πιο άφθονο ή με βαρύτερα χημικά στοιχεία.

Συστάδες

Πολλά αστέρια συσσωματώνονται σε σμήνη που περιέχουν μεταξύ 100 και 1.000.000 αστέρια. Πολλά αστέρια συσσωματώνονται σε σμήνη που περιέχουν μεταξύ 100 και 1.000.000 αστέρια.



Jewel Box, ανοιχτό
σύνπλεγμα



Ωμέγα Κένταυρος,
σφαιρικό σμήνος

Γαλαξίες

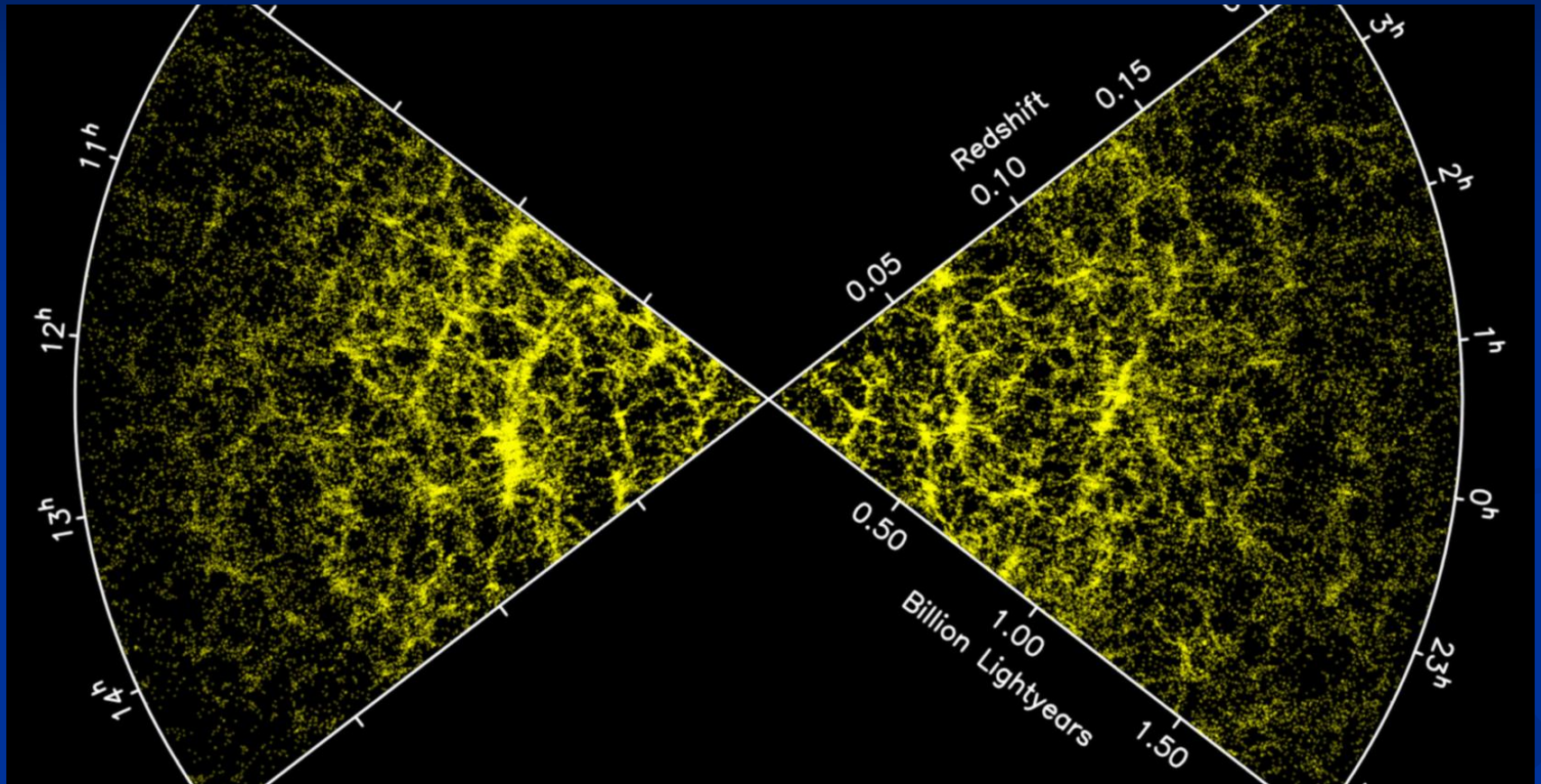


Whirlpool Spiral Galaxy
Source: Hubble Space Telescope

Τα συγκρότημα ετερογενών δραστηριοτήτων είναι οι γαλαξίες, ο σπειροειδής όπως ο δικός μας, έχουν >100 δισεκατομμύρια αστέρια, ο καθένας με τους πλανήτες, τους δορυφόρους και τους κομήτες του, το αέριο, τη σκόνη και ως επί το πλείστον τη λεγόμενη σκοτεινή ύλη



Νηματώδες σύμπαν



Οι ομάδες των γαλαξιών είναι διατεταγμένες
σε αυτό που ονομάζεται νηματώδες σύμπαν

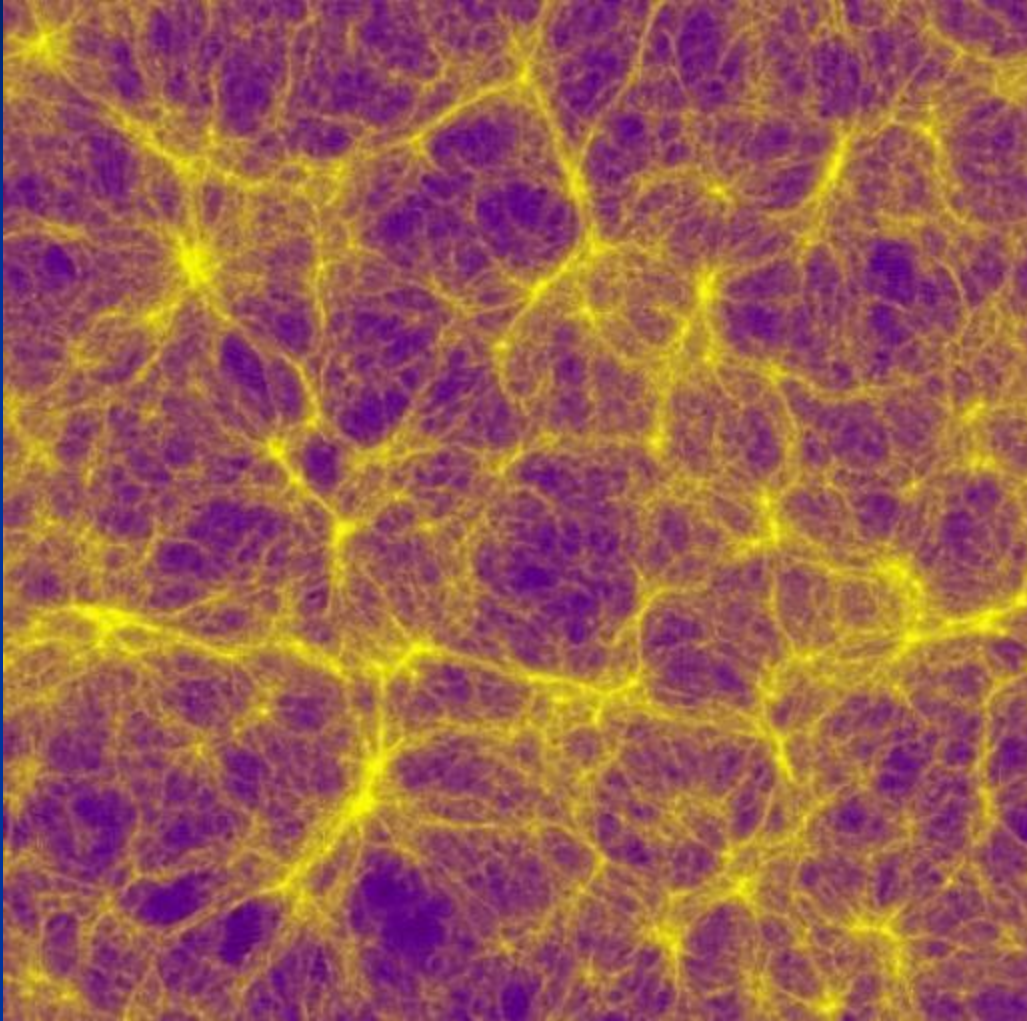


Είναι σαν το Σύμπαν να είναι ένα αφρόλουτρο όπου η ύλη περιβάλλει τον χώρο που λείπει από γαλαξίες, και όσο περνάει η ώρα ο όγκος, χωρίς την ύλη, μεγαλώνει



Καθώς το Σύμπαν επεκτείνεται ο χώρος μεταξύ των σμηνών γαλαξιών αυξάνεται και το σύμπαν διαλύεται περισσότερο

Μοντέλο του νηματώδους σύμπαντος



Τα σμήνη και τα υπερσμήνη των γαλαξιών βρίσκονται στα νημάτια, όπως στην επιφάνεια μιας φουσαλίδας. Το μοντέλο συμπίπτει με τις παρατηρήσεις

Source: Millennium Project Max Planck Institute.



Δομή του σύμπαντος: σύνθεση

- Τα αστέρια είναι σε συστάδες.
- Τα αστρικά σμήνη βρίσκονται μέσα στους γαλαξίες.
- Οι γαλαξίες σχηματίζουν σμήνη, φτιαγμένα από λίγους γαλαξίες ή χιλιάδες από αυτούς.
- Οι μεγαλύτερες δομές στο σύμπαν είναι νήματα, που σχηματίζονται από σμήνη και σούπερ σμήνη γαλαξιών.

Μεγέθη στον Κόσμο

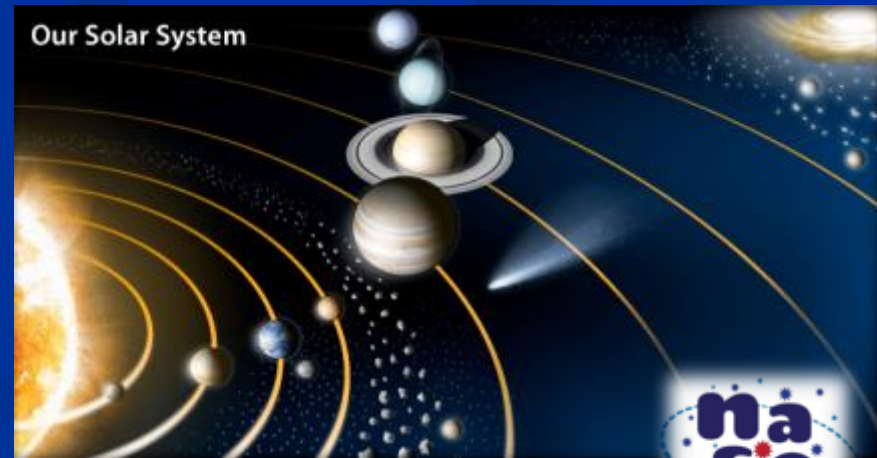
Μπορούμε να υπολογίσουμε το μέγεθος ενός μέτρου, παρόμοιο με το μέγεθος ενός παιδιού, και επίσης μια μονάδα χίλιες φορές μεγαλύτερο, ένα χιλιόμετρο...



... απόσταση χιλιάδες φορές μεγαλύτερη, χιλιάδες χιλιόμετρα, μπορεί να διασχιστεί με αεροπλάνο σε δύο ώρες.

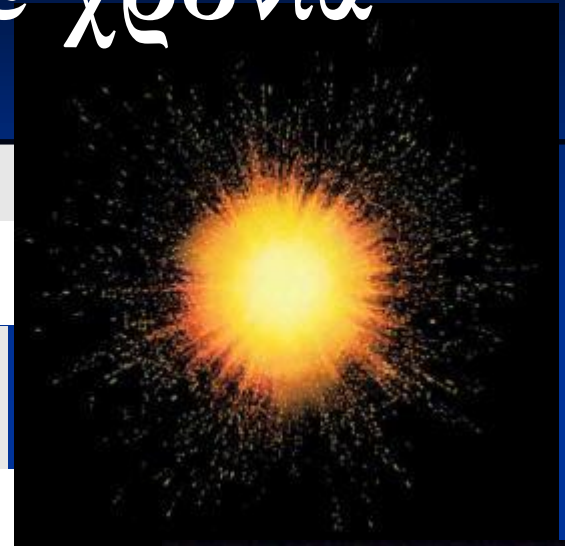
Για να φτάσουμε στη Σελήνη χρειαζόμαστε τρεις μέρες και να καλύψουμε την απόσταση μεταξύ Ήλιου και Δία αρκετά χρόνια.

Η απόσταση από τα κοντινά αστέρια είναι χιλιάδες φορές μεγαλύτερη



Ο χρόνος στον Κόσμο σε χρόνια

Big bang	14 000 000 000
Galaxy formation	13 000 000 000
Solar System formation	4 600 000 000
Appearance of life on Earth	3 800 000 000
Appearance of complex life	500 000 000
Appearance of dinosaurs	350 000 000
The Cretaceous extincion	65 000 000
Appearance of the modern man	120 000



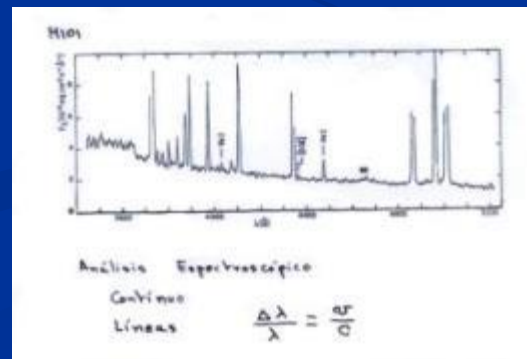
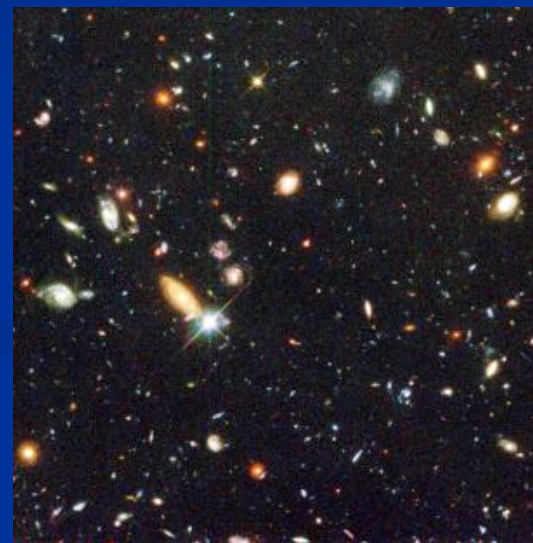
The appearance of the man is very recent

Παρατηρώντας το σύμπαν

Μπορείτε να τραβήξετε μια εικόνα για να προσδιορίσετε τη θέση ή την εμφάνιση ενός αστεριού ή την ποσότητα φωτός που εκπέμπεται.

Τα φάσματα μπορούν να καθορίσουν την ταχύτητα των άστρων. Αυτό είναι αυτό που είναι γνωστό ως το φαινόμενο Doppler του φωτός.

Αναλύοντας την ακτινοβολία που εκπέμπουν, αντανακλούν ή απορροφούν τα αστέρια και οι γαλαξίες, μαθαίνουμε για τη φύση τους. (Φαινόμενο Ντόπλερ)



Πυλώνες του Καθιερωμένου Μοντέλου

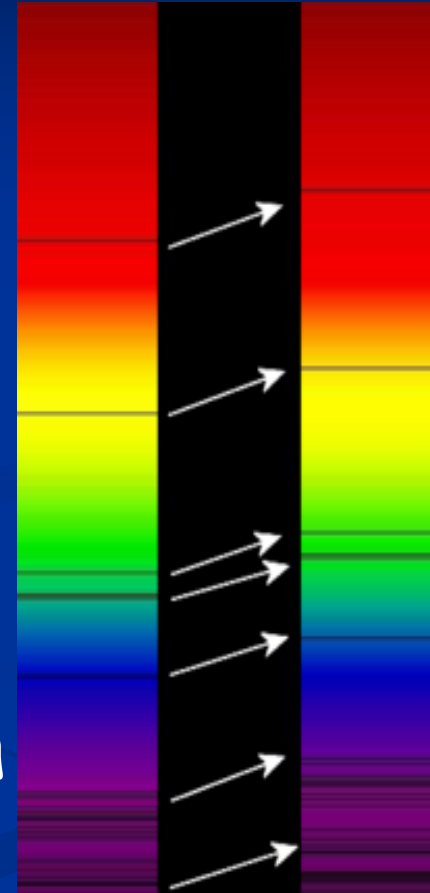
Διαστολή του σύμπαντος

Η μετατόπιση Doppler σε κόκκινο δείχνει τη διαστολή (Εάν τα αστέρια πλησιάσουν τον παρατηρητή, το φως είναι πιο μπλε και αν απομακρυνθούν είναι πιο κόκκινο).

Οι ομάδες των γαλαξιών απομακρύνονται η μία από την άλλη και αν είναι πιο μακριά, απομακρύνονται με ταχύτερο ρυθμό

Χημική αφθονία στο σύμπαν

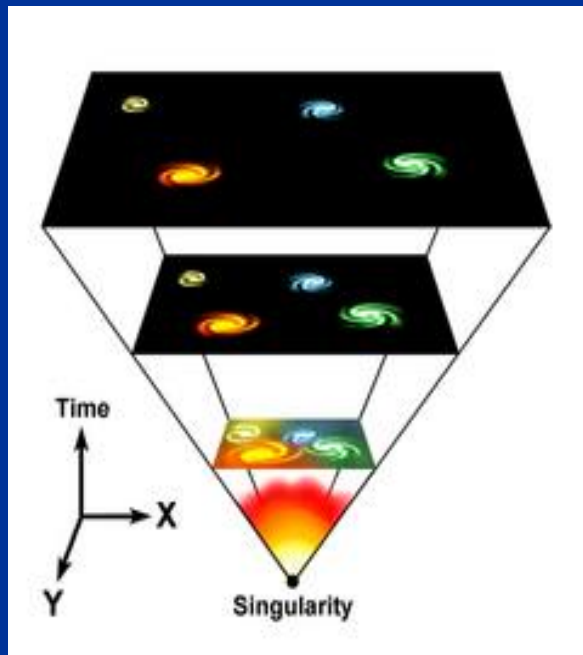
Στα πρώτα λεπτά του Κόσμου, σχηματίστηκαν μόνο οι Η και Ειείνος. η διαστολή σταμάτησε την παραγωγή: η ακτινοβολία έχασε την ενέργεια και δεν ήταν πλέον δυνατό να μετατραπεί σε πρωτόνια και νετρόνια. Τα C, N και O δημιουργήθηκαν μέσα στα αστέρια και αναμίχθηκαν με το διαστρικό μέσο όταν πέθαναν τα αστέρια.



Κοσμική Επέκταση



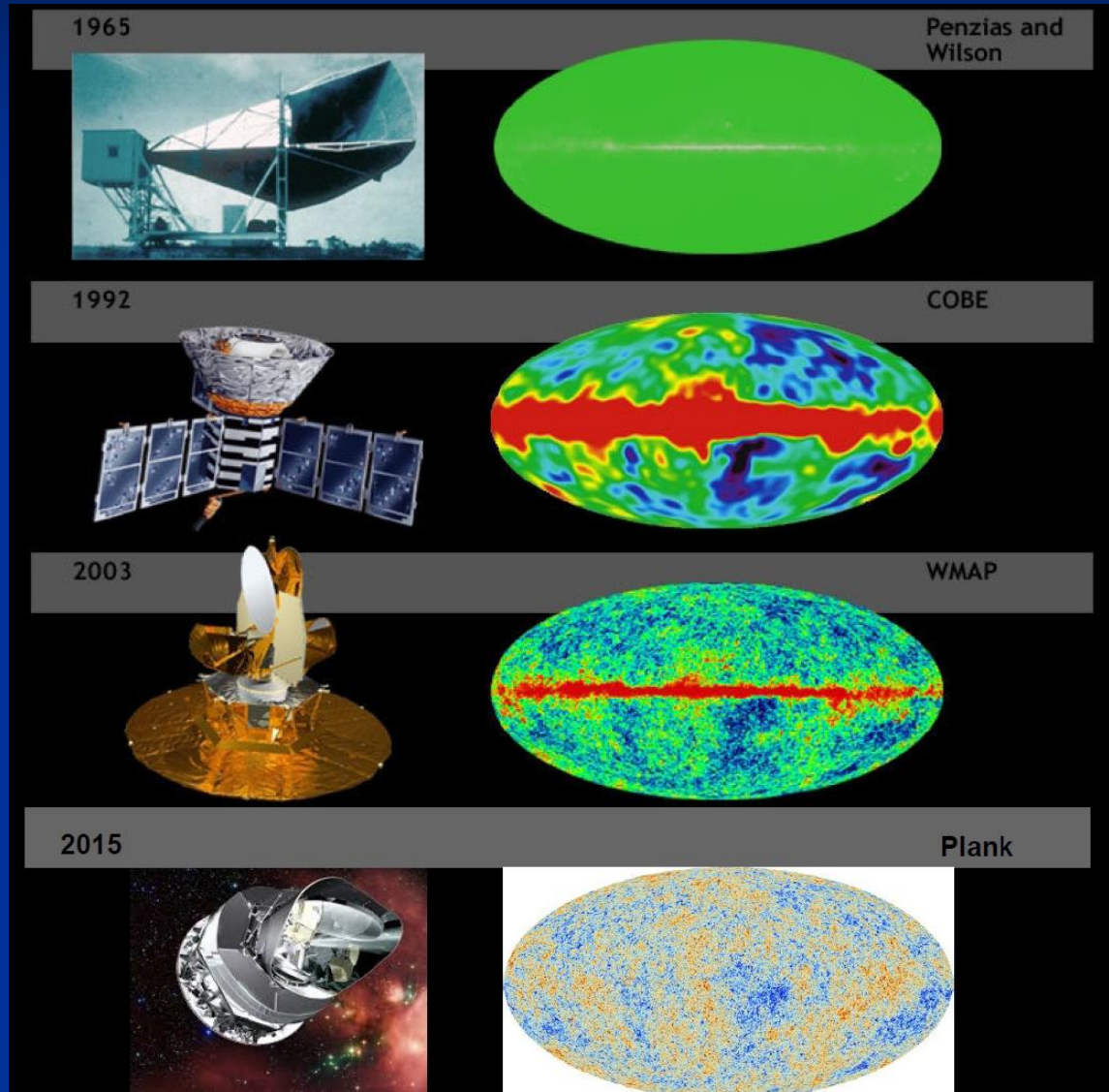
Ο χώρος διαστέλλεται, και επίσης τα φωτόνια της ακτινοβολίας τεντώνονται. Αυτό που στο παρελθόν ήταν οι μικροσκοπικές ακτίνες γάμμα μήκους κύματος, σήμερα τις παρατηρούμε ως ραδιοκύματα.



Μετρώντας την κοσμική διαστολή, μπορούμε να υπολογίσουμε την ηλικία του Σύμπαντος, 14 δισεκατομμύρια χρόνια. Αυτή η εκτίμηση είναι πιο ακριβής (αντί υψηλότερη) από την ηλικία που μετρήθηκε για τα μεγαλύτερα αστέρια

Κοσμική ακτινοβολία υποβάθρου μικροκυμάτων (CMB).

■ Οι αποστολές COBE, WMAP και PLANCK έφτιαξαν έναν χάρτη του ουρανού της ακτινοβολίας CMB, κάθε φορά με περισσότερες λεπτομέρειες, ανιχνεύοντας μικρές διακυμάνσεις: αποτυπώματα σβώλων ύλης από τα οποία άρχισαν να σχηματίζονται γαλαξίες



Υπάρχει η άκρη του σύμπαντος;

Απαραίτητη προϋπόθεση για τη σταθερότητα του σύμπαντος είναι να βρίσκεται σε συνεχή διαστολή. Διαφορετικά, θα έπαυε να υπάρχει όπως το βλέπουμε τώρα. Η διαστολή του σύμπαντος είναι ένας από τους πυλώνες του τυπικού μοντέλου της Μεγάλης Έκρηξης

αλλά... δεν υπάρχει
κέντρο επέκτασης



Κυριαρχεί η βαρύτητα στο σύμπαν?



Το Σύμπαν περιέχει μάζα, επομένως έχει μια τεράστια βαρυτική δύναμη. Η βαρύτητα έλκει.

Η επέκταση της μεγάλης έκρηξης αντισταθμίζει τη βαρύτητα

Το σύμπαν επιταχύνεται και η πηγή ενέργειας που είναι υπεύθυνη για αυτή την επιτάχυνση είναι άγνωστη.

Όταν παρατηρούμε μακρινούς γαλαξίες, βλέπουμε πώς ήταν στο παρελθόν. Οι κοντινοί γαλαξίες είναι διαφορετικοί από τους μακρινούς γαλαξίες



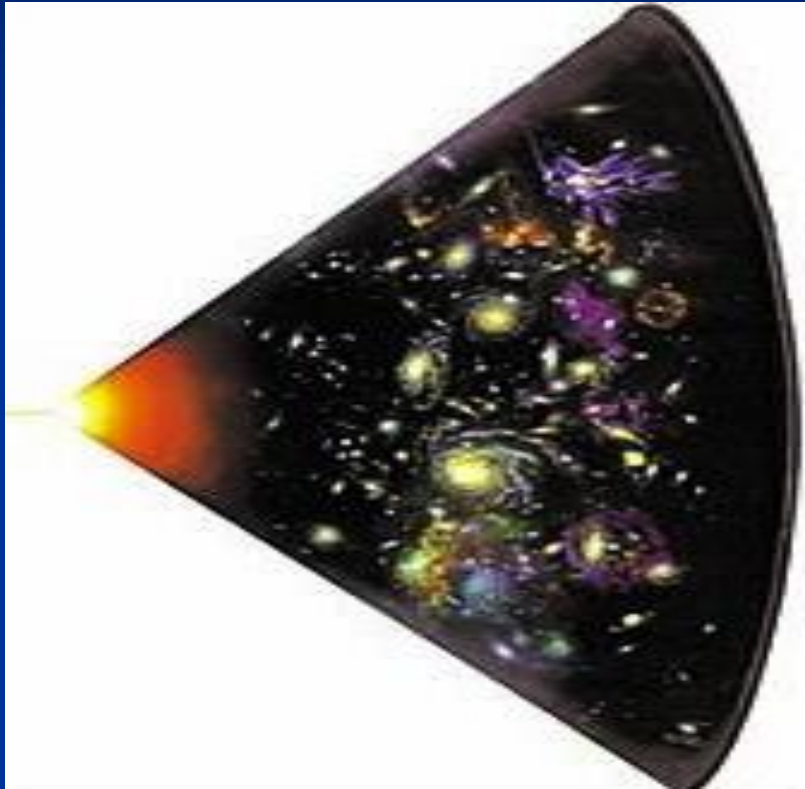
Κοντινός Σπειροειδής
Γαλαξίας



Οι μακρινοί γαλαξίες
είναι μικροί και άμορφοι



Εξέλιξη



Υπάρχει ένα όριο πέρα από το οποίο δεν έχουμε πληροφορίες για τον Κόσμο.

Δεν μπορούμε να παρατηρήσουμε τα αστέρια των οποίων το φως χρειάζεται περισσότερα από δεκατέσσερα δισεκατομμύρια χρόνια για να φτάσει σε εμάς.

Αν το σύμπαν μας ήταν μικρό θα είχαμε πληροφορίες μόνο για ένα μικρό τμήμα, και αν ήταν άπειρο αυτό θα ήταν μικροσκοπικό

Το ΑΟΡΑΤΟ μέρος του
σύμπαντος, 95% σκοτεινή ύλη και
σκοτεινή ενέργεια, ανιχνεύεται λόγω
της δράσης του σε ΟΡΑΤΑ
αντικείμενα.

Δεν γνωρίζουμε το είδος του υλικού
από το οποίο κατασκευάζεται



Επιφάνεια θάλασσας



Είναι σαν να είμαστε
θαλάσσιοι βιολόγοι, αλλά
μπορούμε να δούμε μόνο
την επιφάνεια της
θάλασσας

ΒΥΘΟΣ της ΘΑΛΑΣΣΑΣ

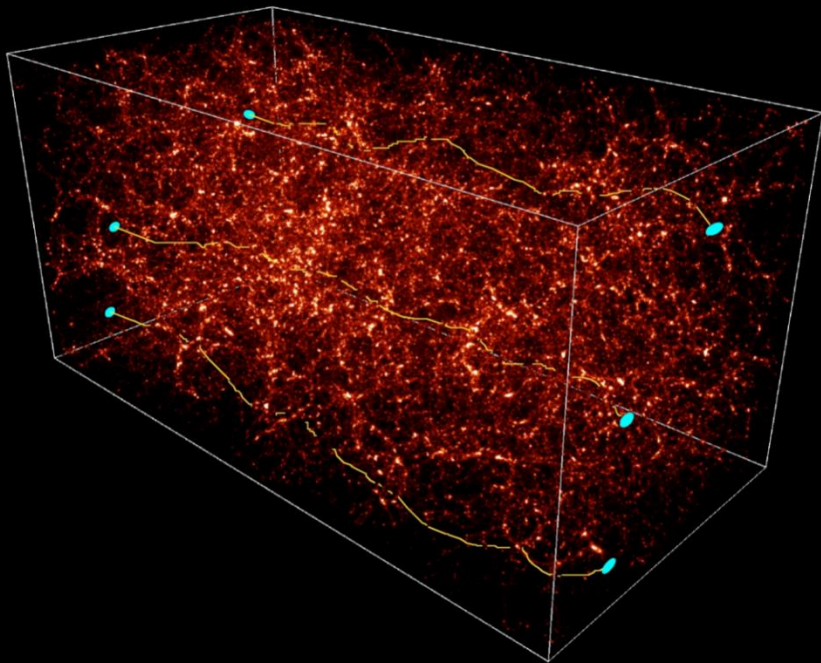


Αν κοιτάξουμε από πιο
κοντά, θα μπορούσαμε να
ανακαλύψουμε μια μεγάλη
ποικιλομορφία

Η σκοτεινή ύλη

Γνωρίζουμε ότι για κάθε ανιχνευμένο αστρονομικό αντικείμενο υπάρχουν χιλιάδες περισσότερα τα οποία δεν έχουμε πληροφορίες, παρό μόνο η μάζα που περιέχει. Δεν γνωρίζουμε το σχήμα και την κατανομή του

DEFLECTION OF LIGHT RAYS CROSSING THE UNIVERSE, EMITTED BY DISTANT GALAXIES



SIMULATION: COURTESY NIC GROUP, S. COLOMBI, IAP.

Θεωρείται ότι η σκοτεινή ύλη είναι κατανεμημένη νηματοειδώς. Τα μπλε σχήματα είναι μακρινοί γαλαξίες. Οι κίτρινες γραμμές είναι τα μονοπάτια του φωτός που εκπέμπουν οι γαλαξίες. Χωρίς τη σκοτεινή ύλη θα ήταν ευθείες.



Τα αστέρια κινούνται γύρω από το γαλαξιακό κέντρο επειδή η μάζα του τα έλκει. Τα σμήνη γαλαξιών παραμένουν δεσμευμένα λόγω της βαρυτικής δύναμης.

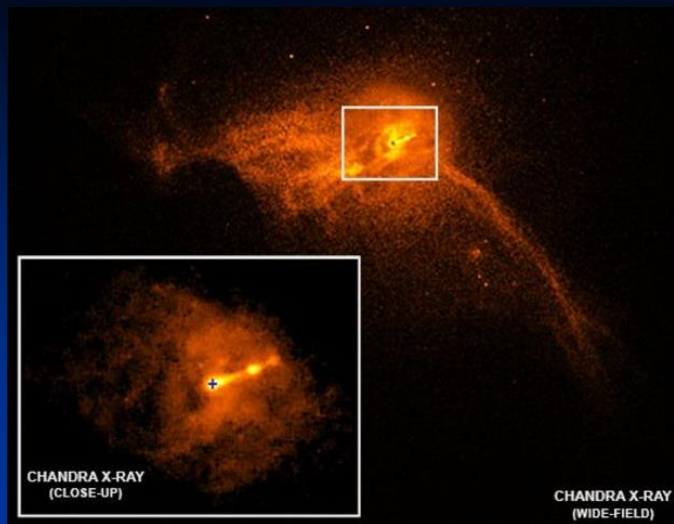


Η σκοτεινή ύλη δεν είναι ορατή, αλλά μπορεί να ανιχνευθεί μέσω της βαρύτητας



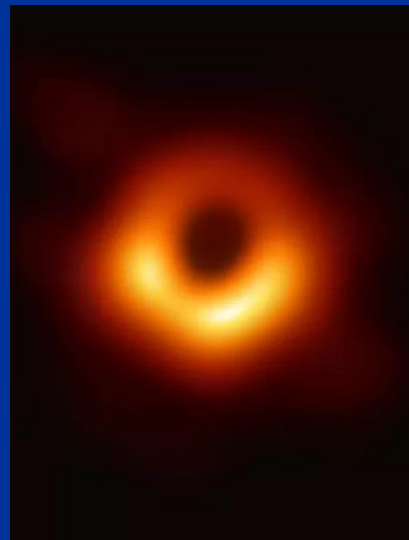
Υπάρχουν αντικείμενα που κινούνται γύρω από άλλα που δεν μπορούμε να δούμε. Για παράδειγμα, υπάρχουν αστέρια και ομάδες αστεριών που κινούνται γύρω από τις μαύρες τρύπες στο κέντρο των γαλαξιών





Μια κοινοπραξία περισσότερων από 200 επιστημόνων και 60 ιδρυμάτων σε 18 χώρες 6 ηπείρων αποτελούν μέρος του τηλεσκοπίου Event Horizon: 8 ραδιοτηλεσκοπία σε όλο τον πλανήτη

Κέντρο του M87, μακρινό 53,5 εικοτομμύρια l.y. από τον ήλιο
(credit: NASA/CXC/Villanova University/J. Neilsen)
«Σκιά» και ο ορίζοντας γεγονότων της υπερμεγέθους μαύρης τρύπας στο κέντρο του M87, 6,5 δισεκατομμύρια φορές μεγαλύτερης μάζας από τον Ήλιο μας
(credit: Event Horizon Telescope)



Η πρώτη εικόνα μιας υπερμεγέθους μαύρης τρύπας που τραβήχτηκε ποτέ, παρουσιάστηκε σε συνέντευξη Τύπου στις 10 Απριλίου 2019

Εξέλιξη του σύμπαντος

Στα μεγάλα χρονικά διαστήματα, το σύμπαν θα συνεχίσει να διαστέλλεται. Η ταχύτητα της διαστολής αυξάνεται με το χρόνο, επιταχύνεται. Η ενέργεια που ευθύνεται για αυτή την επιτάχυνση είναι ακόμα άγνωστη. Το λέμε σκοτεινή ενέργεια.

Μετά από ~ τρισεκατομμύρια χρόνια όλη η διαστρική ύλη θα καταναλωθεί και ο σχηματισμός των άστρων θα σταματήσει.

Τα πρωτόνια θα διαλυθούν και οι μαύρες τρύπες θα εξατμιστούν.

Το σύμπαν θα είναι απέραντο, γεμάτο εξωτικά ύλη και ραδιοκύματα χαμηλής ενέργειας.

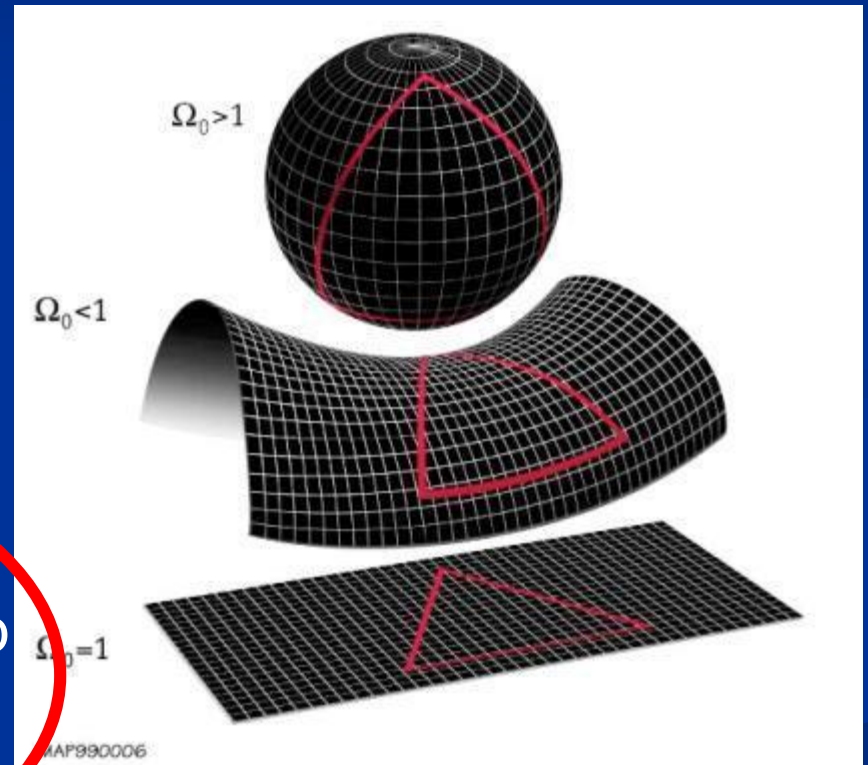


Γεωμετρία του σύμπαντος ανάλογα με την Κοσμολογική σταθερά

Κλείσε $\rightarrow \Omega > 1$

Ανοιξε $\rightarrow \Omega < 1$

Διαμέρισμα $\rightarrow \Omega = 1$
(προβλέπεται από πληθωρ
θεωρία και συμπίπτει με
παρατηρήσεις)



Η εξέλιξη εξαρτάται από το περιεχόμενο του σύμπαντος

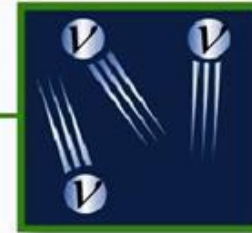
Cosmological constant

$$\Omega_{\text{total}} = 1.0$$



Heavy elements

0.03%



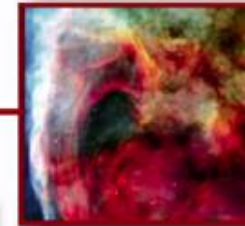
Neutrinos

0.47%



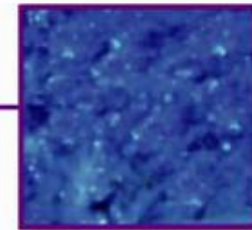
Stars

0.5%



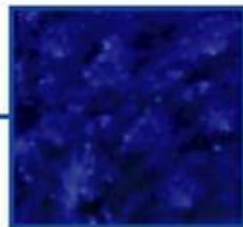
Free H
and He

4%



Dark matter

25%



Dark Energy:

70%

A Successful Model: The Big Bang (προβλέψεις-επαληθεύσεις)

- **Επέκταση:**

επαληθεύτηκε στις αρχές του 20ου αιώνα από τον E. Hubble.

- **Κοσμική ακτινοβολία υποβάθρου:**

ανακαλύφθηκε τον 20ο αι. από τους A. Penzias και R. Wilson.

- **Αφθονία των χημικών στοιχείων:**

επιδείχθηκε τον 20ο αι.

- **Δομή μεγάλης κλίμακας:**

ανακαλύφθηκε στα τέλη του 20ου αι.



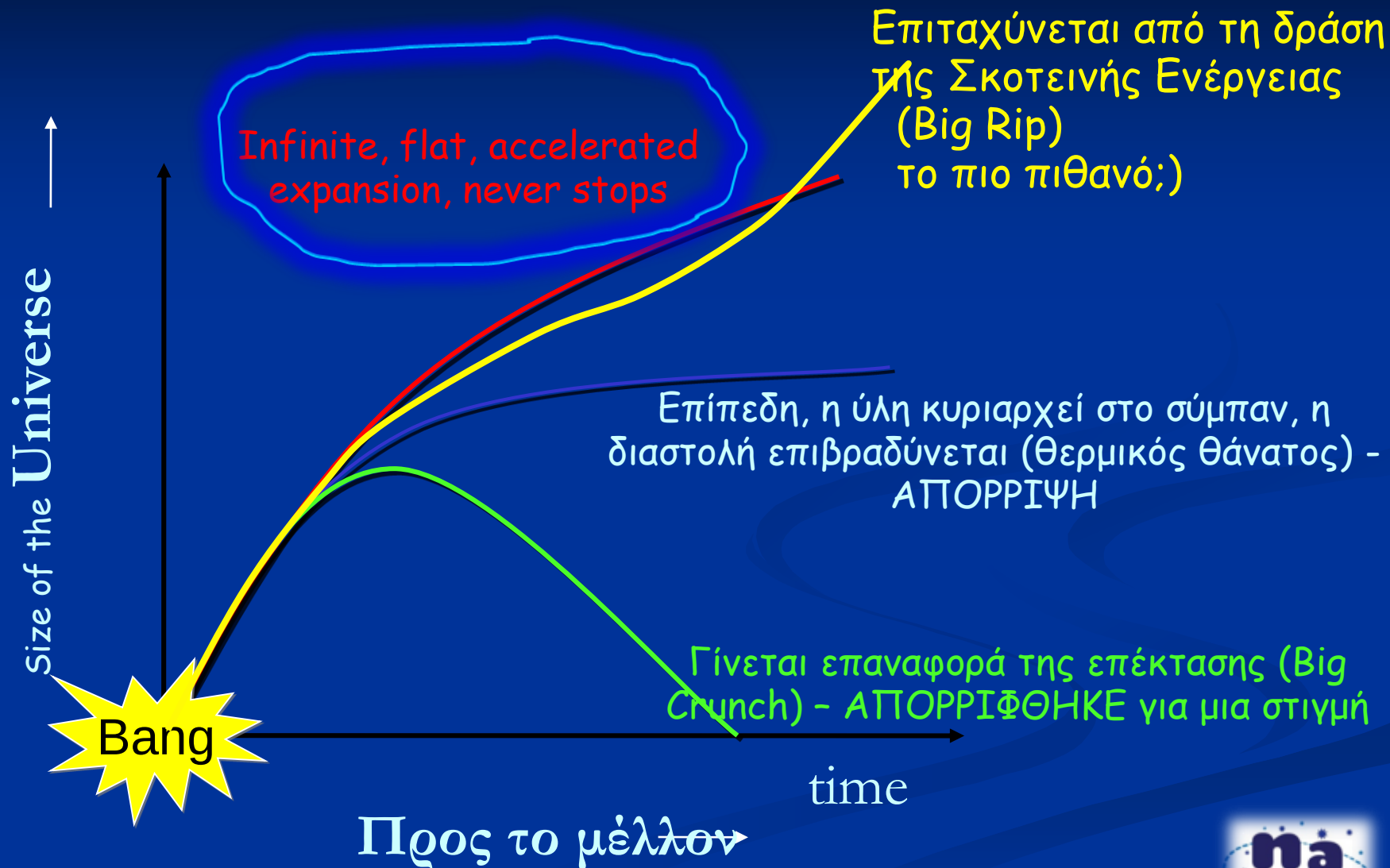
Τελικό πεπρωμένο του σύμπαντος (πιθανά σενάρια)

- Big Crunch (επιστροφή της επέκτασης)
- Επίπεδος, θερμικός θάνατος (η διαστολή σταματά)
- Άπειρο, επίπεδο, σε μόνιμη επέκταση
(αυτό είναι το σενάριο πλέον αποδεκτό)
- Big Rip (επιταχυνόμενη επέκταση)

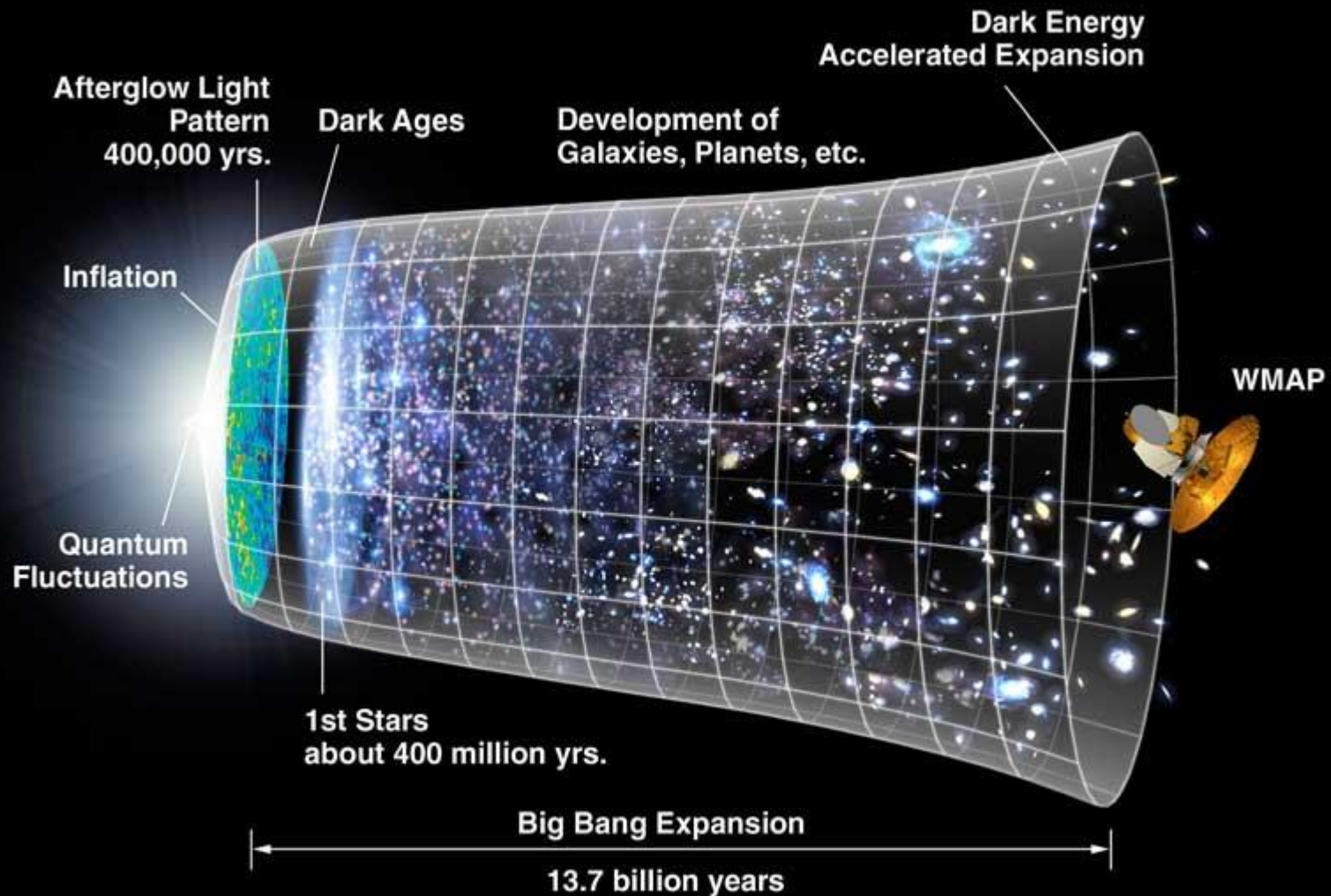
Το Μέλλον εξαρτάται από το περιεχόμενο του σύμπαντος, από την κρίσιμη πυκνότητα και από την ύπαρξη της σκοτεινής ενέργειας.



Σχήμα και Πεπρωμένο του Σύμπαντος

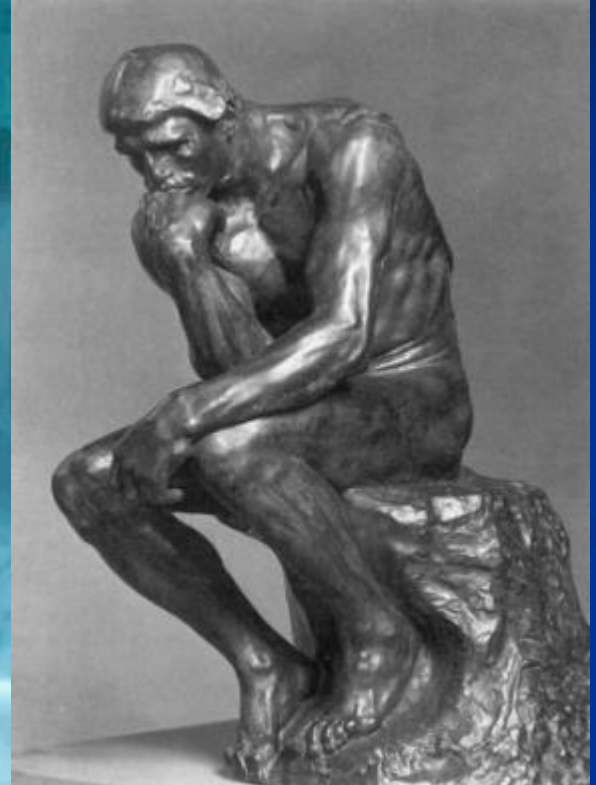


Ιστορία του σύμπαντος



Επίλογος

Ζούμε σε μια
εξαιρετική
εποχή στην
οποία μπορούμε
να σκεφτούμε το
σύμπαν
χρησιμοποιώντας
τους φυσικούς
νόμους.



Είναι πιθανό με τον καιρό οι ιδέες μας να αλλάζουν, αλλά
έτσι είναι η επιστήμη

Πολλά ευχαριστώ
για την προσοχή σας!