

Η ΜΕΓΑΛΗ ΕΚΡΗΞΗ



ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
ΑΝΤΩΝΙΟΥ ΙΩΑΝΝΗΣ ΠΕ 04.01

Μαθητές της ερευνητικής ομάδας

1. Βλαχάκης Βασίλης
2. Καλαϊτζίδης Χρήστος
3. Κάνταρου Μαρία
4. Καρδακάρη Όλγα
5. Κόκκαλης Γιώργος
6. Κολόι Γρηγόρης
7. Κόντης Κώστας
8. Κορακιανίτης Πέτρος
9. Ντάγκας Λευτέρης
10. Ράππη Κυβέλη
11. Ρίγγας Βασίλης
12. Τζέκου Κωνσταντίνα
13. Τζελίλη Φαμπιόλα
14. Τρικαλιώτη Σπυριδούλα
15. Τσαούσης Γιώργος
16. Τσενεμπή Άσπα
17. Χαλικιάς Θοδωρής

Περιεχόμενα

Μαθητές της ερευνητικής ομάδας	σελ. 1
Κοσμολογία	σελ. 3
Εισαγωγή στη θεωρία της μεγάλης έκρηξης	σελ. 4
Η θεωρία της μεγάλης έκρηξης	σελ. 6
Η διαστολή του σύμπαντος	σελ.10
Κατανομή γαλαξιών	σελ. 11
Ακτινοβολία μικροκυμάτων	σελ. 14
Η δημιουργία των πρωτογενών χημικών στοιχείων	σελ.22
Αποτελέσματα έρευνας	σελ.25
Αναπάντητα ερωτήματα	σελ.27
Βραβεία Νόμπελ Φυσικής 2011	σελ.28
Συμπεράσματα	σελ.31
Βιβλιογραφία	σελ.32
Ιστοσελίδες	σελ.33

Κοσμολογία

Στην κοσμολογία μελετάμε τη γέννηση, τη δομή και την εξέλιξη του Σύμπαντος, επίσης μελετάμε τους γαλαξίες που αποτελούν το βασικό δομικό υλικό του Σύμπαντος καθώς και την κατανομή των γαλαξιών, και επομένως την ύλη, στο Σύμπαν. Βλέπουμε ότι οι γαλαξίες κατανέμονται σε σμήνη και τα σμήνη σε υπερσμήνη.

Υπάρχουν διάφορες θεωρίες που προσπαθούν να εξηγήσουν την δημιουργία του σύμπαντος. Μερικές από αυτές είναι της Μεγάλης έκρηξης, η θεωρία βρανών, η θεωρία των Brans-Dicke και άλλες. Η επικρατέστερη είναι αυτή της Μεγάλης Έκρηξης (Big Bang) την οποία πρώτος θεμελίωσε ο Gamow(1946) και αργότερα συμπλήρωσαν διάφοροι ερευνητές, όπως οι Einstein, Friedman, Le Maître, Robertson, Walker, Και πολλοί άλλοι. Η αντίληψη που έχουν σήμερα για την εξέλιξη του Σύμπαντος βασίζεται στο κοσμολογικό μοντέλο του Friedman-Robertson-Walker(FRW) το οποίο είναι γνωστό ως το μοντέλο 'της θερμής Μεγάλης Έκρηξης' (the hot Big Bang Model). Ο όρος αυτός αρχικά χρησιμοποιήθηκε ειρωνικά σε μία ραδιοφωνική εκπομπή, αλλά αργότερα καθιερώθηκε, ενώ αποβλήθηκε το ειρωνικό περιεχόμενο του όρου. Το μοντέλο είναι τόσο επιτυχές που θεωρείται ως η στάνταρντ κοσμολογία. Η FRW κοσμολογία είναι τόσο ανεπτυγμένη ώστε μας επιτρέπει να διατυπώσουμε εικασίες για την κατάσταση του Σύμπαντος στο χρονικό διάστημα 10^{-43} sec έως 10^{-2} sec μετά την έκρηξη.

Με λίγα λόγια η κοσμολογία μελετά την γέννηση του Σύμπαντος, την εξέλιξή του και ποιο θα είναι το μέλλον του. Επίσης προσπαθεί να εξηγήσει τι υπήρχε πριν από την δημιουργία του και να απαντήσει στο ερώτημα αν υπάρχουν παράλληλα σύμπαντα.

Εισαγωγή στη θεωρία της μεγάλης έκρηξης (BIG BANG)

Θεωρία της Μεγάλης Εκρήξεως (Big Bang) καλείται η επικρατούσα κοσμολογική υπόδειξη της πρώιμης ανάπτυξης του σύμπαντος, σύμφωνα με την οποία το σύμπαν προήλθε από μια εξαιρετικά καυτή και πυκνή κατάσταση, με ταχύτατους ρυθμούς διαστολής.

Τη θεωρία αυτή θεμελίωσε ο Gamow (1946) και αργότερα συμπλήρωσαν διάφοροι ερευνητές, όπως οι Einstein, Friedmann, Lemaitre, Robertson, Walker και πολλοί άλλοι.

Ο όρος «Big Bang» ήταν επινοήση του Fred Hoyle κατά τη διάρκεια μιας ραδιοφωνικής εκπομπής του BBC, το κείμενο της οποίας δημοσιεύτηκε το 1949.

Υπόβαθρο της περί κοσμογονίας επικρατέστερης αντίληψης αποτέλεσε το κοσμολογικό μοντέλο της «θερμής Μεγάλης Έκρηξης» (the hot Big Bang model) γνωστό και ως μοντέλο των **Friedmann- Robertson-Walker (FRW)**. Το μοντέλο αυτό θεωρείται ως η **«στάνταρτ κοσμολογία»**.

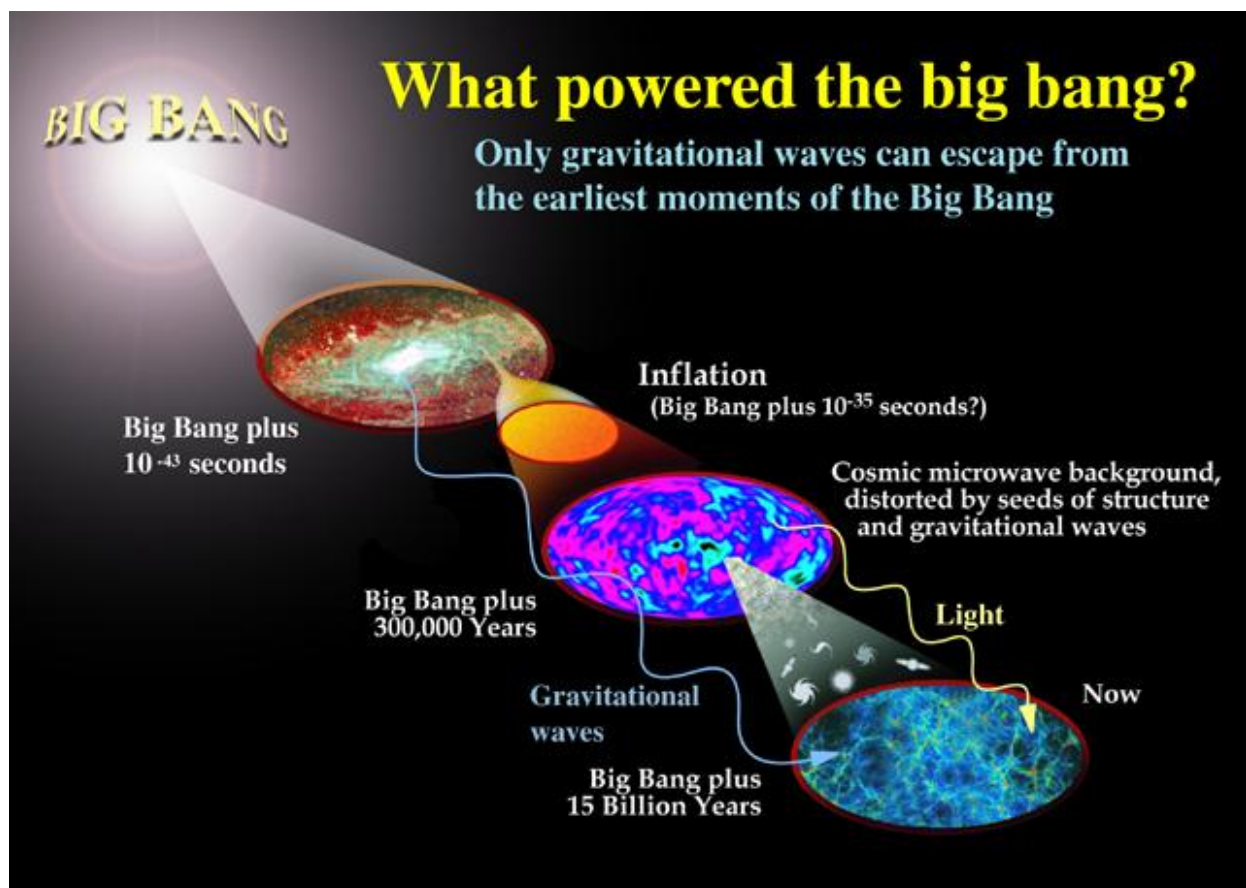
Οι πιο σημαντικές ενδείξεις ελέγχου οι οποίες επαληθεύουν τα όσα προτείνει η στάνταρτ κοσμολογία απαντώνται κατά τις αρχικές φάσεις της ύπαρξης του Σύμπαντος. Εικασίες της FRW κοσμολογίας που συνδέονται με τη μορφή του Κόσμου από την περίοδο κβαντικής βαρύτητας έως και την αρχική νουκλεοσύνθεση ($10^{-43}\text{sec} - 10^{-2}\text{sec}$) βασίζονται σε θεωρίες αλληλεπιδράσεων εξαιρετικά υψηλών ενεργειών, οι οποίες πλησιάζουν την κλίμακα Planck (10^{19} GeV). Υπάρχει σήμερα ένα στάνταρτ μοντέλο της σωματιδιακής Φυσικής, το μοντέλο $SU(3)_c \times SU(2) \times U(1)_Y$ θεωρία gauge) των ισχυρών και ηλεκτρασθενών αλληλεπιδράσεων, το οποίο παρέχει μια θεμελιώδη θεωρία των quarks και των λεπτονίων και το οποίο έχει ελεγχθεί για ενέργειες που πλησιάζουν τα 1000 GeV.

Στα παρατηρησιακά δεδομένα που τεκμηριώνουν την εγκυρότητα του κοσμολογικού μοντέλου FRW συμπεριλαμβάνονται η διαστολή του σύμπαντος, η σταθερά του Hubble H_0 , η παράμετρος επιβράδυνσης q_1 , η ηλικία του Σύμπαντος t_1 , η πυκνότητα της μάζας ρ_0 , η χημική σύνθεση του Σύμπαντος ρ_1 (βαρυόνια, ακτινοβολία κ.τ.λ.), η μικροκυματική ακτινοβολία του υποβάθρου (Microwave Background Radiation – MBR), τόσο το φάσμα αυτής της ακτινοβολίας όσο και η κατανομή της στο χώρο. Άλλα στοιχεία στήριξης του αποτελούν η διάχυτη ισότροπη ακτινοβολία στα μήκη κύματος IR, UV, X-rays, γ -rays, η αφθονία των ελαφρών χημικών στοιχείων, κυρίως του He^4 , D^2 , Li^7 και He^3 , ο αριθμός των βαρυονίων στο Σύμπαν που δίνεται από τον λόγο βαρυόνια/φωτόνια, η κατανομή των γαλαξιών σε σμήνη και υπερσμήνη καθώς και τα «κενά» ανάμεσα στα υπερσμήνη.

Εισηγητής της θεωρίας αυτής υπήρξε ο Βέλγος Αβάς και αστρονόμος George Lemaitre. Βασιζόμενος στη θεωρία του Albert Einstein περί γενικής σχετικότητας, όπου ως αρχή του σύμπαντος προβλεπόταν μια μαθηματική ανωμαλία, και τις παραδοχές της ομοιογένειας και της ισοτροπίας του χρόνου, διατύπωσε την «υπόθεση του αρχέγονου ατόμου». Υπό αυτό το πρίσμα, αρχή του κόσμου θεωρήθηκε το αρχικό άτομο, στο οποίο περικλείεται ολόκληρη η μάζα του σύμπαντος, όταν ο χωροχρόνος είναι ακόμα ανύπαρκτος. Οι εξισώσεις που το διέπουν διατυπώθηκαν από τον Alexander Friedmann. Εν καιρώ το αρχικό άτομο εξερράγη και δημιουργήμα της εκτοξευθείσας ύλης αποτελούν τα άστρα και οι γαλαξίες.

Το 1929 ο Edwin Hubble ανακάλυψε ότι η απόσταση μεταξύ των γαλαξιών είναι ανάλογη της μετατόπισης προς το ερυθρό, μια ιδέα που αρχικά προτάθηκε από το Lemaitre το 1927.

Το 1948 ένας Ρωσοαμερικάνος φυσικός, ο George Gamow, μελετώντας την υπερβολική πυκνότητα του αρχικού ατόμου, κατέληξε ότι το ήλιο και άλλα ελαφρά χημικά συστατικά δημιουργήθηκαν σε χρόνο $t = 4 \text{ sec}$. Ακόμη, μια διάχυτη ισότροπη ακτινοβολία-λείψανο της Μεγάλης Εκρήξεως, ίση με 3 K είναι ανιχνεύσιμη έως και σήμερα.



Εικόνα 1 Η εξέλιξη του σύμπαντος χρονικά.

Η θεωρία της μεγάλης έκρηξης

Η θεωρία της μεγάλης έκρηξης προβλέπει τον τρόπο δημιουργίας και το σχήμα του σύμπαντος. Το Σύμπαν δεν είναι ούτε «άμορφο» ούτε «άπειρο», αλλά έχει πέρατα. Όσο και αν, εκ πρώτης όψεως, αυτό είναι δύσκολα αποδεκτό, γεγονός είναι ότι οι έρευνες της τελευταίας πεντηκονταετίας συγκλίνουν σε αυτήν την άποψη, ότι δηλαδή το Σύμπαν είναι περιορισμένο, είναι «περατό». Πρώτος κατέληξε σε αυτό το συμπέρασμα ο Γερμανοεβραίος φυσικός Άλμπερτ Αϊνστάιν (A. Einstein) (1879 - 1955), όταν εισηγήθηκε την Θεωρία της σχετικότητας.

Έτσι καταλήγουμε να θεωρούμε ότι το σχήμα του Σύμπαντος είναι, το πιθανότερο, υπερσφαιρικό.

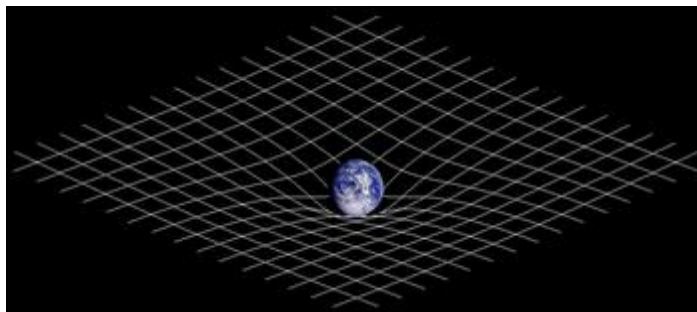
Μια υπερσφαίρα μπορεί να νοηθεί ως μια σφαίρα της οποίας η ακτίνα συνεχώς («εν χρόνω») μεταβάλλεται. Με αυτή την έννοια το σχήμα του σύμπαντος στο χωροχρόνο τεσσάρων διαστάσεων λέγεται ότι (σύμφωνα με τις σχετικές θεωρίες) είναι πιθανά υπερσφαιρικό. Τούτο σημαίνει ότι το Σύμπαν μοιάζει με μπαλόνι που συν τω χρόνω διογκώνεται, διαστέλλεται. Αυτή η διαστολή συνεχίζεται από τη δημιουργία του μέχρι σήμερα. Η θεωρία της σχετικότητας αναφέρεται σε τρεις θεωρίες

1^{ov} στην αρχή της σχετικότητας του Γαλιλαίου.

2^{ov} στην γενική

3^{ov} στην ειδική θεωρία της σχετικότητας του Άλμπερτ Αϊνστάιν.

Η γενική θεωρία μιλάει για θεωρία βαρύτητας που προτάθηκε από τον Άλμπερτ Αϊνστάιν, και η οποία περιγράφει την βαρυτική δύναμη μέσω των καμπυλώσεων του χωροχρόνου παρουσία μάζας.



Εικόνα 2 Ο χωροχρόνος είναι καμπυλωμένος γύρω από μία ποσότητα ύλης π.χ. ένα άστρο ή έναν πλανήτη.

Το δισδιάστατο ανάλογο παραμόρφωσης του χωροχρόνου. Η παρουσία ύλης αλλάζει τη γεωμετρία του χωροχρόνου, η οποία ερμηνεύεται ως βαρύτητα.

Βασική αρχή της θεωρίας είναι η ισοδυναμία των επιταχυνόμενων συστημάτων αναφοράς με συστήματα που ευρίσκονται εντός βαρυτικού πεδίου.

Τον Νοέμβριο του 1915, ο Αϊνστάιν παρουσίασε τη θεωρία της Γενικής Σχετικότητας σε μια σειρά διαλέξεων ενώπιον της Πρωσικής Ακαδημίας Επιστημών. Η τελευταία διάλεξη προκάλεσε αναστάτωση στον επιστημονικό κόσμο, καθώς ο Αϊνστάιν παρουσίασε μια θεωρία που αντικαθιστούσε την εξήγηση του Ισαάκ Νεύτωνα για τη βαρύτητα. Σύμφωνα με τη θεωρία αυτή, η βαρύτητα δεν θεωρείται ως το αποτέλεσμα μιας δύναμης, αλλά οφείλεται στην καμπύλωση του χωροχρόνου, η οποία προκαλείται από την περιεχόμενη στον χωρόχρονο ύλη και ενέργεια.

Η ειδική θεωρία μιλάει για η θεωρία που διατυπώθηκε από τον Άλμπερτ Αϊνστάιν το 1905, και η οποία συμπληρώνει τους νόμους κίνησης του Νεύτωνα, ώστε να ισχύουν και σε ταχύτητες κοντά στην ταχύτητα του φωτός. Η ειδική θεωρία της σχετικότητας προκύπτει από την ικανοποίηση της γενικευμένης αρχής της σχετικότητας και της αρχής του Αϊνστάιν, σύμφωνα με την οποία η ταχύτητα του φωτός είναι ίδια για όλους τους αδρανειακούς παρατηρητές, ανεξάρτητα από τη σχετική τους ταχύτητα. Σύμφωνα με την γενικευμένη αρχή της σχετικότητας, οι φυσικοί νόμοι που ισχύουν σε ένα αδρανειακό σύστημα αναφοράς (δηλαδή ένα μη επιταχυνόμενο σύστημα), έχουν την ίδια μορφή σε οποιοδήποτε άλλο αδρανειακό σύστημα αναφοράς.

Πριν τον Αϊνστάιν, μια πρώτη μορφή της αρχής της σχετικότητας είχε διατυπωθεί ήδη από τον Γαλιλαίο και στη συνέχεια ενσωματώθηκε στη Νευτώνεια σύνθεση. Η αρχή αυτή δήλωνε ότι όλοι οι νόμοι της μηχανικής πρέπει να έχουν την ίδια μορφή σε όλα τα αδρανειακά συστήματα αναφοράς. Η μετάβαση από το ένα αδρανειακό σύστημα στο άλλο γινόταν με ένα ορισμένο είδος μετασχηματισμών συντεταγμένων, που ονομάστηκαν αργότερα μετασχηματισμοί του Γαλιλαίου ή αλλιώς, νόμος πρόσθεσης ταχυτήτων. Ενώ οι νόμοι της μηχανικής συμμορφώνονταν με τον μετασχηματισμό αυτό (ήταν αναλλοίωτοι κατά την εφαρμογή του), οι νόμοι του Ηλεκτρομαγνητισμού, και ειδικά ο νόμος για την σταθερότητα και παγκοσμιότητα της ταχύτητας του φωτός, τον παραβίαζαν. Ο Αϊνστάιν αντικατέστησε τους μετασχηματισμούς του Γαλιλαίου με ένα νέο σύνολο μετασχηματισμών, τους μετασχηματισμούς του Λόρεντζ, και διατύπωσε την Γενικευμένη αρχή της Σχετικότητας, σύμφωνα με την οποία όλοι οι νόμοι της Φύσης (μηχανικής, ηλεκτρομαγνητισμού και όποιοι άλλοι) είναι αναλλοίωτοι κάτω από τους νέους αυτούς μετασχηματισμούς και (πρέπει να) παίρνουν την ίδια μορφή σε όλα τα αδρανειακά συστήματα.

Η ειδική θεωρία της σχετικότητας προβλέπει φαινόμενα που αντίκεινται στην καθημερινή μας εμπειρία, ωστόσο έχει επιβεβαιωθεί πειραματικά σε σειρά πειραμάτων, και επιβεβαιώνεται καθημερινά στους σύγχρονους επιταχυντές σωματιδίων.

Η ειδική σχετικότητα συμπληρώθηκε αργότερα από τη γενική σχετικότητα, διατυπωμένη επίσης από τον Αϊνστάιν, που μελετούσε τη βαρύτητα με τον σχετικιστικό φορμαλισμό. Με τη διατύπωση της γενικής σχετικότητας, η Νευτώνεια βαρύτητα έγινε πλέον υποπερίπτωση της σχετικιστικής βαρύτητας, και η κλασική Φυσική ολοκληρώθηκε ως εννοιολογικό πλαίσιο.

Η ειδική σχετικότητα είναι μια θεωρία της δομής του χωροχρόνου, την οποία εισήγαγε ο Άλμπερτ Αϊνστάιν το 1905. Βασίζεται σε δύο αξιώματα τα οποία είναι αντίθετα με την κλασική μηχανική:

- Οι νόμοι της φυσικής είναι οι ίδιοι για όλους τους παρατηρητές που βρίσκονται σε αδρανειακό σύστημα αναφοράς (αρχή σχετικότητας του Γαλιλαίου).
- Η ταχύτητα του φωτός στο κενό είναι ίδια για όλους τους παρατηρητές, ανεξαρτήτως της σχετικής τους κίνησης ή της κίνησης της πηγής του φωτός.

Η γενική σχετικότητα είναι μια θεωρία βαρύτητας που αναπτύχθηκε από τον Αϊνστάιν την περίοδο 1907 - 1915. Η ανάπτυξη της γενικής σχετικότητας ξεκίνησε με την αρχή της ισοδυναμίας, σύμφωνα με την οποία οι καταστάσεις επιταχυνόμενης κίνησης και ηρεμίας σε ένα βαρυτικό πεδίο (για παράδειγμα πάνω στην επιφάνεια της Γης) είναι ταυτόσημες. Το αποτέλεσμα της ιδέας αυτής είναι ότι η ελεύθερη πτώση είναι αδρανειακή κίνηση σε μη ευκλείδειο χώρο: Με άλλα λόγια, ένα αντικείμενο σε ελεύθερη πτώση, πέφτει επειδή αυτός είναι ο τρόπος με τον οποίο τα αντικείμενα κινούνται όταν δεν ασκείται πάνω τους δύναμη, αντί να πέφτει λόγω της δύναμης της βαρύτητας, όπως συμβαίνει στην κλασική μηχανική. Αυτό είναι ασύμβατο με την κλασική μηχανική και την ειδική σχετικότητα, επειδή σε αυτές τις θεωρίες αντικείμενα που κινούνται αδρανειακά δε μπορούν να επιταχύνουν το ένα σε σχέση με το άλλο, αλλά αντικείμενα σε ελεύθερη πτώση κάνουν ακριβώς αυτό. Για να λυθεί η δυσκολία, ο Αϊνστάιν πρότεινε αρχικά πως ο χωροχρόνος είναι καμπυλωμένος. Το 1915 ανακοίνωσε τις πεδιακές εξισώσεις Αϊνστάιν, οι οποίες συσχετίζουν την καμπύλωση του χωροχρόνου σε σχέση με τη μάζα, την ενέργεια και την ορμή μέσα σε αυτόν.

Σύμφωνα με τη γενική θεωρία της σχετικότητας:

- Ο χρόνος περνά διαφορετικά σε χαμηλότερα βαρυτικά δυναμικά. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται βαρυτική διαστολή του χρόνου.

■ Οι τροχιές μεταβάλλονται με τρόπο μη αναμενόμενο από τη θεωρία του Νεύτωνα για τη βαρύτητα.

■ Ακόμα και οι ακτίνες του φωτός (όπου τα φωτόνια δεν έχουν μάζα) αλλάζουν πορεία παρουσία ενός βαρυτικού πεδίου.

Ερμηνεύει η διαστολή του Σύμπαντος, και τα μακρινά μέρη του απομακρύνονται από εμάς σχεδόν με την ταχύτητα του φωτός. Αυτό δεν αντιτίθεται στην ειδική σχετικότητα, καθώς είναι το ίδιο το Σύμπαν το οποίο διαστέλλεται.

Η εντροπία είναι η έννοια μέσω της οποίας μετράται η αταξία, της οποίας η μέγιστη τιμή αντικατοπτρίζει την πλήρη αποδιοργάνωση (ομογενοποίηση των πάντων) και ισοδυναμεί με την παύση της ζωής ή αλλιώς της εξέλιξης. Σε μια τέτοια κατάσταση δεν υπάρχει καμία διαδικασία και δε βρίσκεται «σε λήθαργο» (κρυμμένη) κανενός είδους πληροφορία που να επιτρέπει την εξέλιξη (ή τη ζωή) αν με κάποιο τρόπο γίνει εκ νέου παροχή μόνο ενέργειας. Αφαιρώντας την έννοια της πληροφορίας που δεν είναι αντικειμενικά μετρήσιμη (η εντροπία που εξαρτάται από αυτήν είναι επίσης μη αντικειμενικά μετρήσιμη και μάλιστα αφήνεται χωρίς μονάδες), προκύπτει μια μορφή εντροπίας που αφορά μόνο θερμικές μεταβολές, υπολογίζεται και είναι σαφώς ορισμένη: η θερμοδυναμική εντροπία. Η θερμοδυναμική εντροπία είναι εκτατική μεταβλητή ενός θερμοδυναμικού συστήματος.

Τόσο στην Ειδική Θεωρία Σχετικότητας όσο και στην Γενική Θεωρία Σχετικότητας, ο χρόνος και ο τρισδιάστατος χώρος θεωρούνται ως μία τετραδιάστατη πολλαπλότητα (manifold), που λέγεται χωροχρόνος. Η έννοια του χωροχρόνου πρωτοεμφανίστηκε το 1908 σε μια μαθηματική πραγματεία του Μινκόφσκι για τη γεωμετρία του χώρου και του χρόνου όπως αυτή είχε οριστεί στην ειδική θεωρία της σχετικότητας του Άλμπερτ Αϊνστάιν. Ο Αϊνστάιν είχε δημοσιεύσει το 1905 ένα άρθρο που σχετιζόταν με τους θεμελιώδεις νόμους του ηλεκτρομαγνητισμού και ονομαζόταν <<Περί της ηλεκτροδυναμικής των εν κινήσει σωμάτων>>. Αυτή η θεωρία προκάλεσε στις αρχές του 20ού αιώνα μια από τις μεγαλύτερες ανατροπές δεδομένων στον κόσμο της φυσικής.

Η θεωρία ερμηνεύει πλήρως την διαστολή του σύμπαντος, την μικροκυματική ακτινοβολία υποβάθρου, την κατανομή των γαλαξιών καθώς και την δημιουργία των πρωταρχικών στοιχείων. Αυτά θα αναλυθούν διεξοδικά στην συνέχεια.



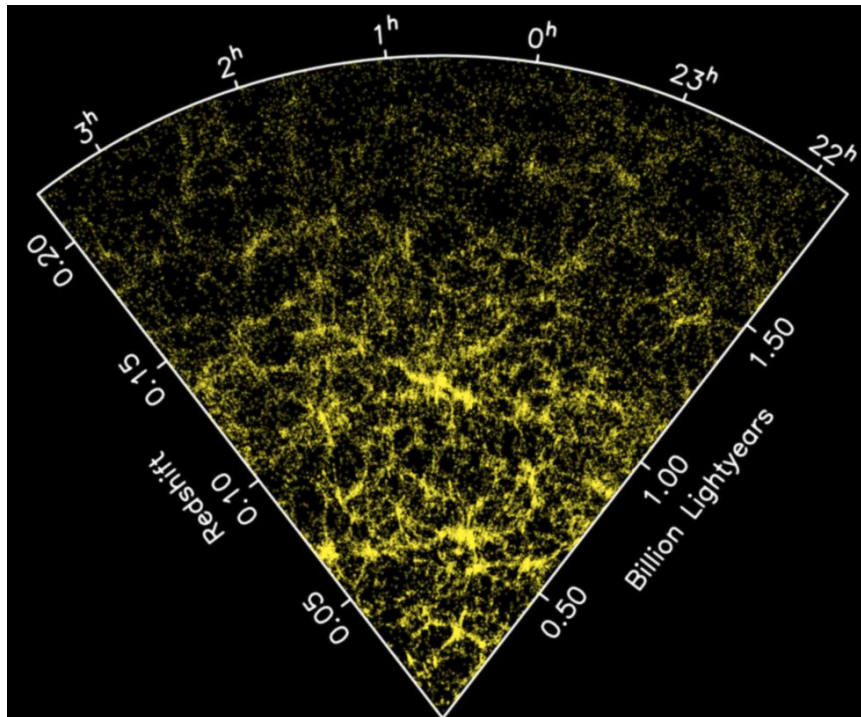
Η διαστολή του σύμπαντος

Η μοντέρνα κοσμολογία άρχισε γύρω στο 1925-1930 με την ανακάλυψη του Hubble ότι το Σύμπαν βρίσκεται σε μια δυναμική εξέλιξη και ότι διαστέλλεται. Ο Hubble παρατήρησε ότι οι φασματικές γραμμές στα οπτικά φάσματα όλων των γαλαξιών που είχε στην κατοχή του, ήταν μετατοπισμένες συστηματικά προς μεγάλα μήκη κύματος, δηλαδή προς το ερυθρό. Αυτή η μετατόπιση ονομάζεται προς το ερυθρό μετατόπιση και εκφράζεται ως $z = \Delta\lambda/\lambda$. Εάν οφείλεται σε κινητικό και όχι βαρυτικό Doppler τότε z είναι ανάλογο της ταχύτητας v του γαλαξία. Οι αστροφυσικοί πιστεύουν ότι η μετατόπιση των φασματικών γραμμών οφείλεται στην κίνηση των γαλαξιών στο διαστημικό χώρο. Η προς το ερυθρό μετατόπιση δείχνει ότι οι γαλαξίες απομακρύνονται από τον παρατηρητή, φεύγουν δηλαδή μακριά ο ένας από τον άλλον με ταχύτητα "φυγής" v . Αυτό αποδεικνύει ότι το Σύμπαν διαστέλλεται.

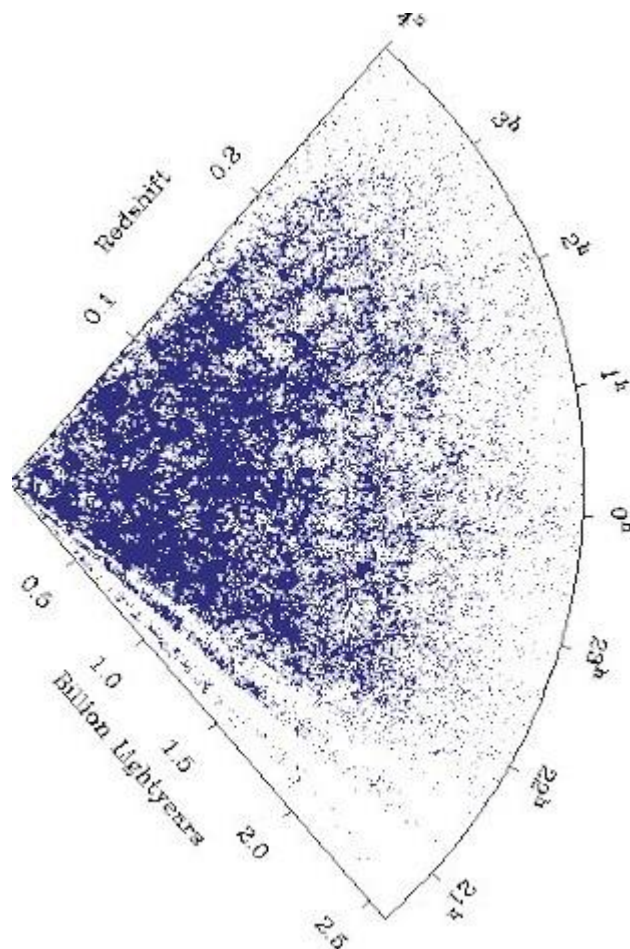
Ένα από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά του μοντέλου της στάνταρντ κοσμολογίας είναι η διαστολή του σύμπαντος. Η διαστολή παίζει έναν βασικό ρόλο στην παρατηρησιακή κοσμολογία. Τα φάσματα περισσότερων από 30000 γαλαξιών είναι όλα μετατοπισμένα προς το ερυθρό, κάτι που δείχνει την παγκοσμιότητα της διαστολής. Όλοι οι γαλαξίες, που είναι τα βασικά δομικά συστατικά του Σύμπαντος, απομακρύνονται από τον Γαλαξία μας. Έτσι η παρατηρούμενη διαστολή δεν είναι τοπικό φαινόμενο ούτε στατιστικά τυχαίο φαινόμενο αλλά είναι μια καθολική ιδιότητα του Σύμπαντος. Οι γαλαξίες απομακρύνονται με μεγάλες ταχύτητες οι οποίες σε μεγάλες αποστάσεις πλησιάζουν της ταχύτητα του φωτός. Έχουν παρατηρηθεί πολλοί ραδιογαλαξίες και ημιαστέρες (QSO s) με $z > 2.0$. Επίσης υπάρχουν παρατηρήσεις απομακρυσμένων γαλαξιακών σμηνών με $z \approx 0.94$. Το φως αυτών των ουρανίων σωμάτων έχει φύγει από την πηγή όταν το Σύμπαν ήταν μόνο μερικών δισεκατομμυρίων ετών. Έτσι οι γαλαξίες, οι ημιαστέρες και τα γαλαξιακά σμήνη μας επιτρέπουν διεisdύσουμε στο Σύμπαν και να φτάσουν πίσω στο χρόνο της δημιουργίας.

Κατανομή γαλαξιών

Ο Γαλαξίας μας, μαζί με το τοπική ομάδα γαλαξιών (Ανδρομέδα, Νέφη του Μαγγελάνου και άλλοι μικρότεροι), τρέχουν με περίπου 2.5 εκατομμύρια χλμ/ώρα με κατεύθυνση τον αστερισμό του Κενταύρου. Η κίνηση του Γαλαξία αποτυπώνεται στο σχεδόν ομοιόμορφο πεδίο της μικροκυματικής ακτινοβολίας υποβάθρου επιτρέποντας ακριβή μέτρηση της ταχύτητας και της διεύθυνσης. Η ένταση της μικροκυματικής ακτινοβολίας εμφανίζεται μεγαλύτερη προς τη κατεύθυνση κίνησης και μικρότερη στην αντίθετη διεύθυνση.



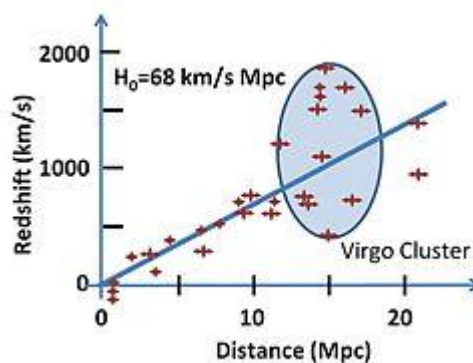
Εικόνα 3 Η κατανομή των γαλαξιών στο σύμπαν με βάση την απόσταση από το γαλαξία μας.



Εικόνα 4 Οι γαλαξίες απομακρύνονται καθώς το σύμπαν διαστέλλεται επιταχυνόμενο.

Η κίνηση του Γαλαξία οφείλεται στη βαρυτική έλξη που ασκούν μεγάλες συγκεντρώσεις μάζας, όπως σμήνη και υπερσμήνη γαλαξιών, τα οποία βρίσκονται σχετικά κοντά σε αυτόν. Όμως μέχρι πρόσφατα οι επιστήμονες δεν είχαν πλήρη εικόνα της κατανομής της ύλης στο κοντινό Σύμπαν ώστε να υπολογίσουν με ακρίβεια τη συνολική βαρυτική έλξη που ασκείται στο Γαλαξία μας και να ελέγξουν αν αυτή είναι συμβατή με την κατεύθυνση και ταχύτητα κίνησης που αποτυπώνεται στα μικροκύματα.

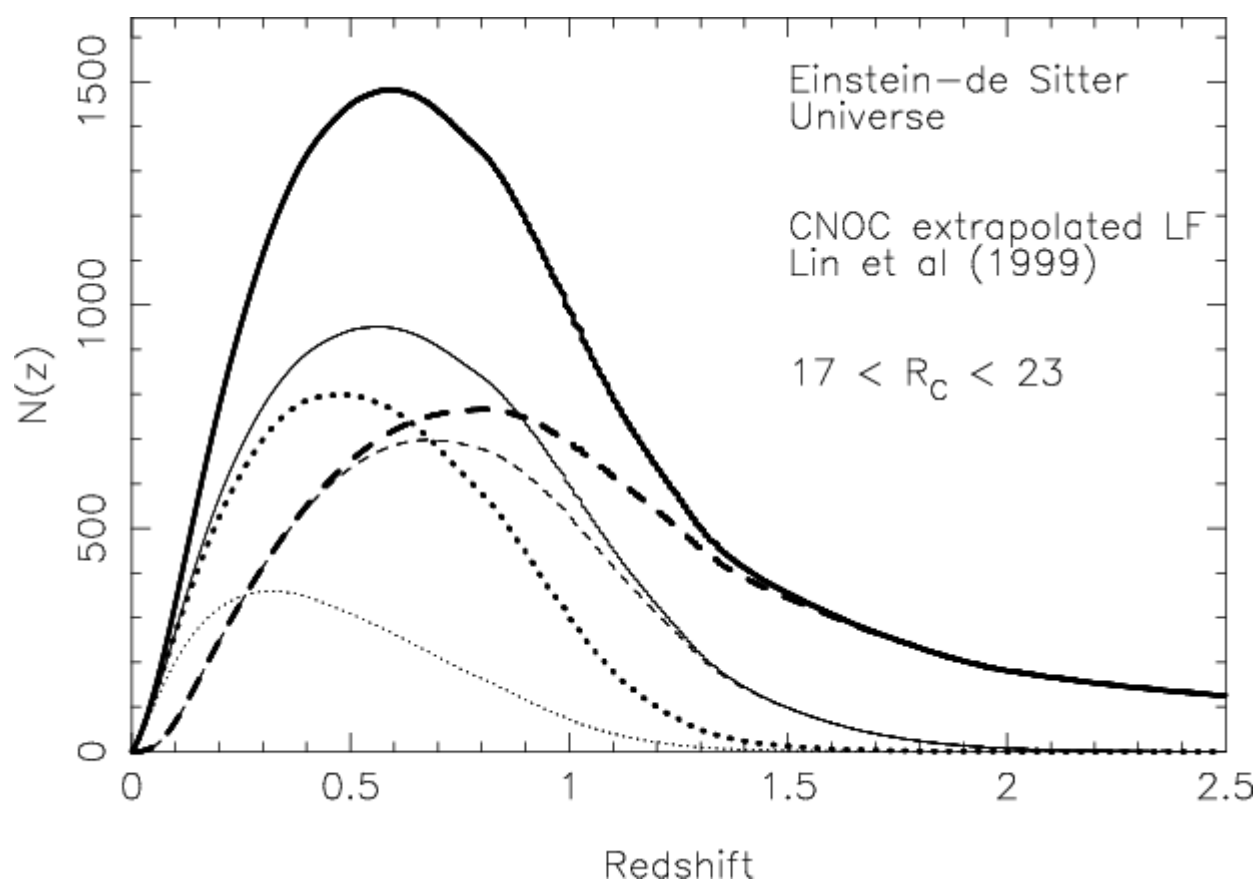
Σύμφωνα με τον νόμο του Hubble η ταχύτητα φυγής των γαλαξιών είναι ανάλογη της απόστασής τους από εμάς. Η σχέση που την υπολογίζει είναι



Εικόνα 5 Ο νόμος του Hubble

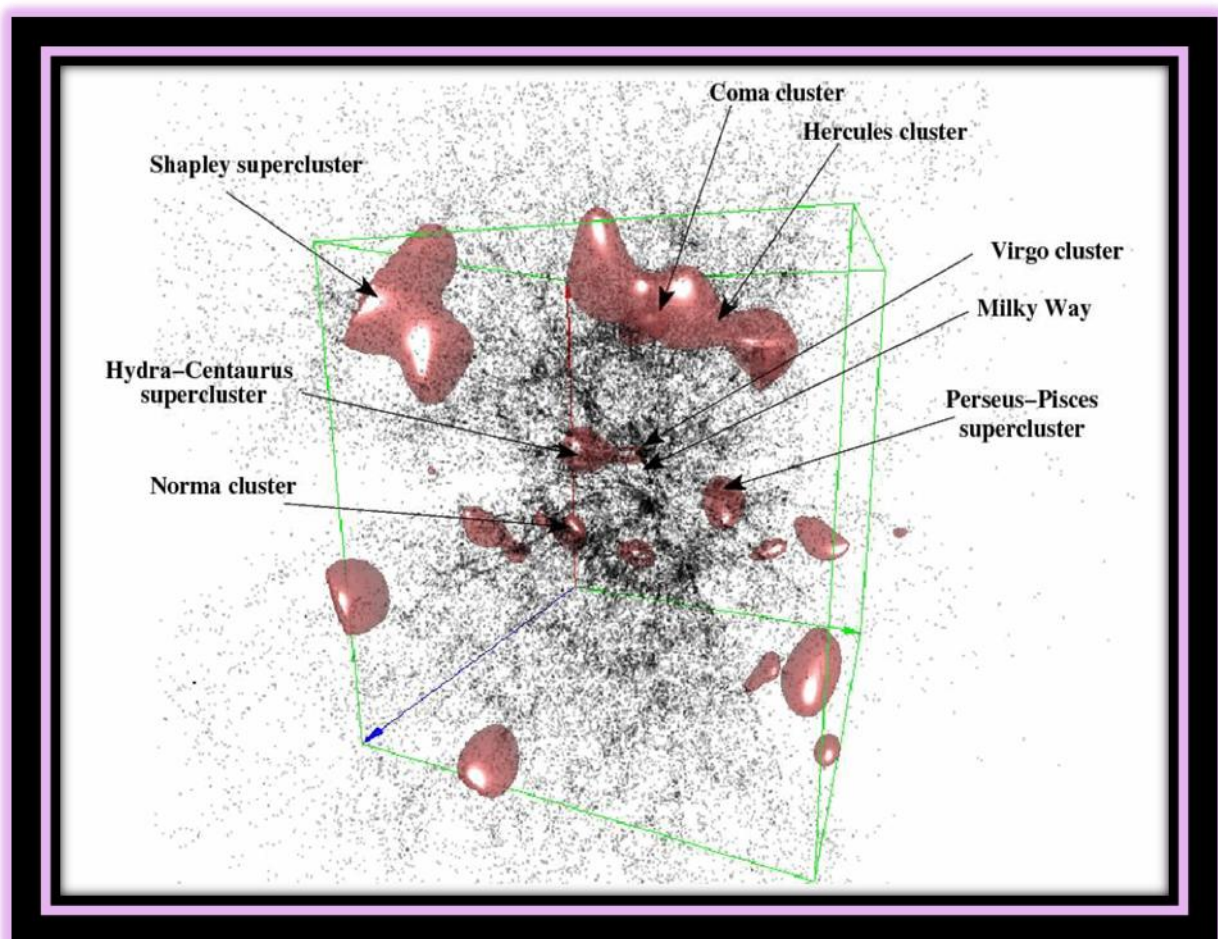
$$u=H \times d$$

όπου H είναι η σταθερά του Hubble που εξαρτάται από διάφορους παράγοντες.



Εικόνα 6 Η κατανομή των γαλαξιών με βάση την απόστασή τους από τον γαλαξία μας.

Σε πρόσφατη δημοσίευση αστρονόμοι συγκέντρωσαν φασματοσκοπικές μετρήσεις των ταχυτήτων 70.000 γαλαξιών για να υπολογίσουν την απόστασή τους και να ανασκευάσουν την κατανομή της ύλης στο κοντινό Σύμπαν. Τα αποτελέσματα φαίνονται σε τρισδιάστατη απεικόνιση στο παρακάτω σχήμα. Κάθε πλευρά του κύβου αντιστοιχεί σε περίπου 0.7 δισεκατομμύρια έτη φωτός και στο κέντρο του βρίσκεται ο Γαλαξία μας. Κάθε κουκκίδα μέσα στον κύβο αντιπροσωπεύει ένα γαλαξία για τον οποίο έχει μετρηθεί η απόστασή του. Υψηλές συγκεντρώσεις γαλαξιών, όπως σμήνη και υπερσμήνη, δείχνονται ως κόκκινες επιφάνειες. Τα ονόματα των πιο γνωστών γαλαξιών φαίνονται στην εικόνα.

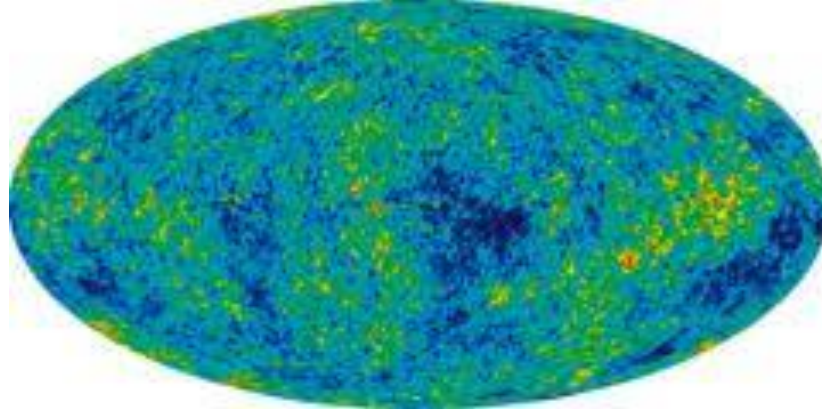


Εικόνα 7 Υπερσμήνη γαλαξιών όπως το Hydra-Centaurus και το Perseus-Pisces αν και δεν έχουν τη μάζα του Shapley βρίσκονται πολύ πιο κοντά στο Γαλαξία μας και συνεπώς η βαρυτική έλξη που ασκούν είναι ισχυρότερη. Τον τραβάνε σε αντίθετες διευθύνσεις με ταχύτητες περίπου 2 και 1 εκατομμύρια χιλιόμετρα/ώρα, με τη συνισταμένη κίνηση να είναι προς την κατεύθυνση του Perseus-Pisces.

Ακτινοβολία μικροκυμάτων

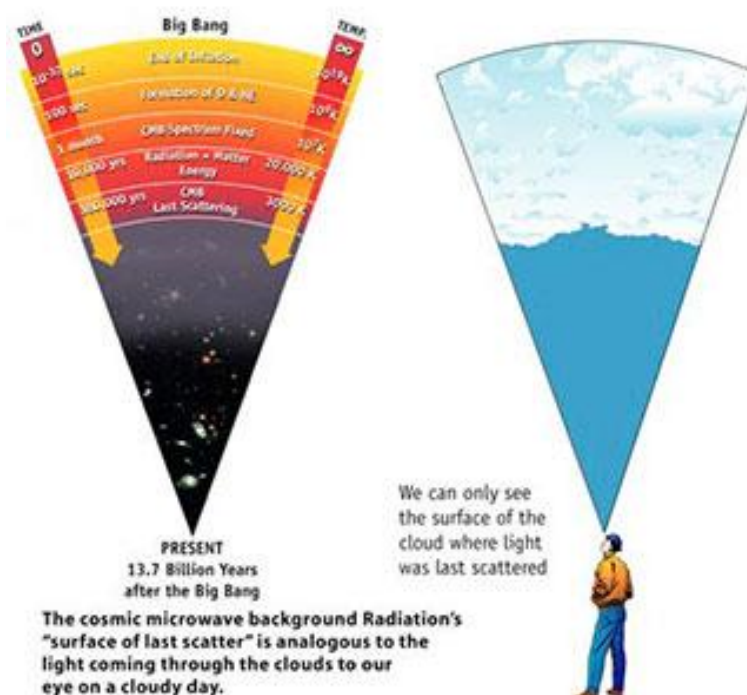
Η χαρτογράφηση των ανισοτροπιών στην ακτινοβολία υποβάθρου του ουρανού των 2.74 Kelvin από τον δορυφόρο COBE. Αυτά τα κοσμικά σχήματα στον ουρανό πιθανόν να είναι κατάλοιπα από την εποχή των 10^{-32} sec μετά τη Μεγάλη Έκρηξη. Ο χάρτης δείχνει όλη την ουράνια σφαίρα. Ο Γαλαξίας μας είναι η κόκκινη λωρίδα που διέρχεται οριζόντια από το μέσο. Οι γαλαξίες και ροζ περιοχές είναι ελαφρά θερμότερες και ψυχρότερες από το μέσο όρο, περίπου 1 μέρος στα 90.000. Η εικόνα είναι το άθροισμα παρατηρήσεων του COBE στα 53 και 90 GHz και αντιστοιχεί σε χωρική διακριτική ικανότητα 100. Ακόμα και οι μικρότερες ανομοιογένειες, μικροδιακυμάνσεις, είναι πολύ μεγάλες για να έχουν παίξει οποιοδήποτε ρόλο

στη διαμόρφωση του Σύμπαντος που βλέπουμε σήμερα. Οι μικροδιακυμάνσεις πιστεύεται πως αποτελούν τα "σπέρματα" του σχηματισμού των σημερινών δομών του σύμπαντος.



Εικόνα 8 Η κατανομή της ακτινοβολίας υποβάθρου στην περιοχή των μικροκυμάτων.

Λίγες επιστημονικές ανακαλύψεις αυτού του αιώνα μπορούν να συγκριθούν σε σπουδαιότητα με την παρατήρηση της κοσμικής ακτινοβολίας υποβάθρου, μιας διάχυτης ακτινοβολίας μικροκυμάτων που κατακλύζει ολόκληρο το Σύμπαν και θεωρείται ότι είναι το σημερινό υπόλειμμα από την υπέρθερμη αρχέγονη Μεγάλη Έκρηξη που δημιούργησε την ύλη, το χώρο και το χρόνο, περίπου 12-15 δισεκατομμύρια χρόνια πριν.



Εικόνα 9 Η εξέλιξη του σύμπαντος με μία άλλη ματιά.

Οι Penzias-Wilson μπροστά στην κωνική κεραία του Holmdel New Jersey, με την οποία ανακάλυψαν το 1964 τη διάχυτη ακτινοβολία υποβάθρου στο

Σύμπαν. Σήμερα, 35 χρόνια από την ανακάλυψή της από τους Αμερικανούς ραδιοαστρονόμους Arno Penzias και Robert Wilson των Bell Telephone Laboratories, ίσως έχει παύσει πια να εντυπωσιάζει όσο παλαιότερα - παρόλο που συνεχίζει να αποτελεί το κλειδί όλων των σύγχρονων κοσμολογικών θεωριών .

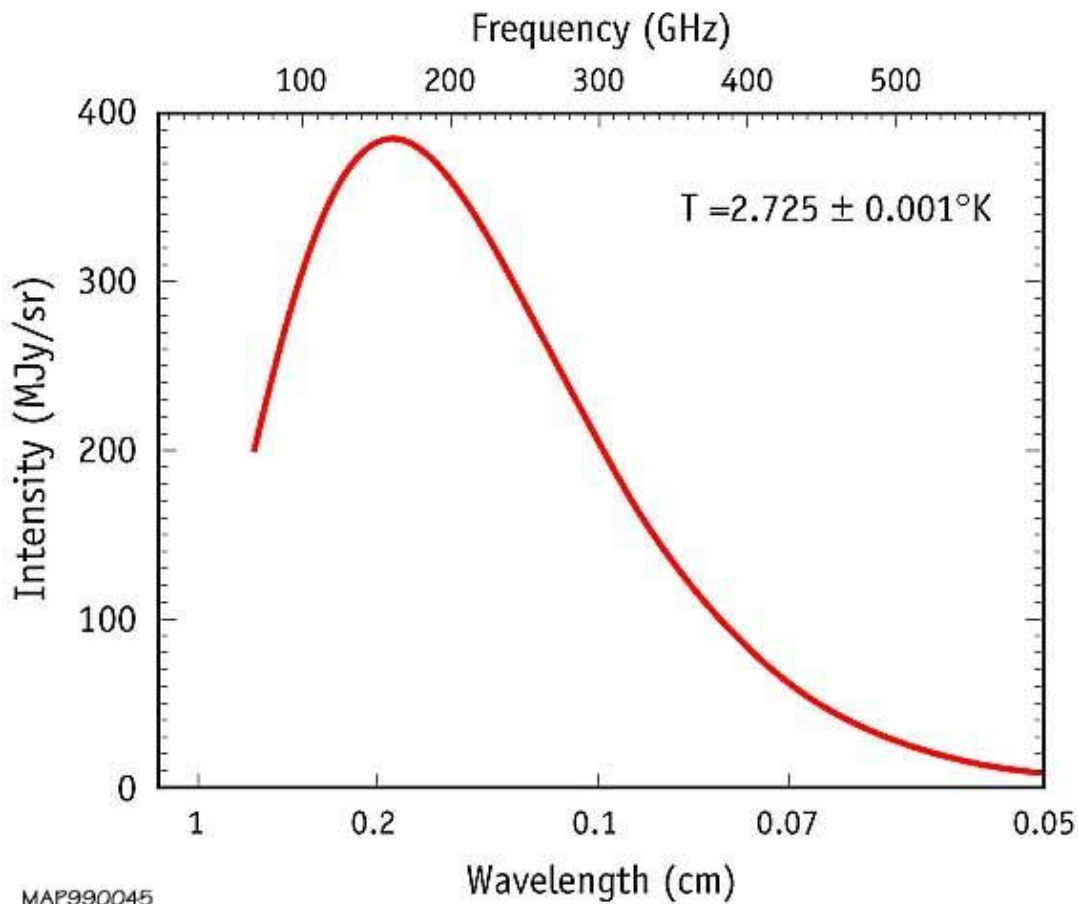
Ωστόσο, θα έπρεπε κανείς να αναλογιστεί ότι μόλις λίγα χρόνια πριν από την ανακοίνωση των Penzias και Wilson το Μάιο του 1965, συζητήσεις σχετικά με τη δημιουργία του Σύμπαντος θεωρούντο "φιλοσοφικές" και αταίριαστες για επιστήμονες. Τώρα οι αστρονόμοι, στηριζόμενοι κατά κύριο λόγο στην ανακάλυψη αυτής της διάχυτης μικροκυματικής ακτινοβολίας υποβάθρου, μιλούν για ένα αποδεκτό κοσμολογικό μοντέλο της δημιουργίας του Κόσμου.

Όπως συμβαίνει με όλες τις σπουδαίες επιστημονικές επαναστάσεις. το πλήθος των προβλημάτων που απαντήθηκαν από την εργασία των Penzias και Wilson ήταν όσο και των νέων προβλημάτων που ανέκυψαν. Το πιο δραματικό από αυτά αφορούσε την εξαιρετικά ομοιόμορφη κατανομή της κοσμικής ακτινοβολίας υποβάθρου. Η παρατηρούμενη έλλειψη οποιασδήποτε μετρήσιμης απόκλισης φαινόταν να μη συμβιβάζεται με τη δομή του σημερινού Σύμπαντος, ενός κόσμου δηλαδή με δισεκατομμύρια άστρα, γαλαξίες, σμήνη και υπερσμήνη κάθε άλλο παρά ομοιόμορφα κατανεμημένων.

Ήταν ακριβώς αυτό το μυστήριο που αποτέλεσε τον κύριο στόχο του δορυφόρου COBE (Cosmic Background Explorer ή Εξερευνητής Κοσμικού υποβάθρου) της NASA, ο οποίος από το Νοέμβριο του 1989 άρχισε να μελετά την ακτινοβολία υποβάθρου σε διάφορα μήκη κύματος.

Τον Απρίλιο του 1992, ο George F. Smoot του Lawrence Berkeley Laboratory και οι συνεργάτες του ανακοίνωσαν τα πρώτα ενθαρρυντικά αποτελέσματα: ο COBE είχε καταγράψει διακυμάνσεις στη μέση θερμοκρασία της κοσμικής ακτινοβολίας υποβάθρου του ουρανού της τάξης των 30 εκατομμυριοστών του βαθμού Kelvin. Οι διακυμάνσεις αυτές φαίνεται να αντιστοιχούν σε κοσμικές δομές --υπολείμματα από την εποχή μόλις 300.000 χρόνια μετά την τρομακτική έκρηξη που πιστεύεται ότι δημιούργησε το Σύμπαν. Τον πρώτο ενθουσιασμό από την ανακάλυψη του COBE έχει τώρα αντικαταστήσει η προσεκτική μελέτη των μετρήσεων και η προσπάθεια ερμηνείας τους.

SPECTRUM OF THE COSMIC MICROWAVE BACKGROUND



Εικόνα 10 Το φάσμα της μικροκυματικής ακτινοβολίας υποβάθρου

Η κοσμολογία, όπως την αντιλαμβανόμαστε σήμερα, έχει αναπτυχθεί μέσα στο θεωρητικό πλαίσιο που πρόσφερε το 1916 η Γενική Θεωρία της Σχετικότητας του Einstein, η οποία ήταν μια θεωρία βαρύτητας, αντικαθιστώντας τη μέχρι τότε Νευτώνεια θεωρία της παγκόσμιας έλξης (τουλάχιστον για χώρους με μεγάλες συγκεντρώσεις μάζας) επέτρεψε στους επιστήμονες να περιγράφουν το Σύμπαν με γλώσσα δυναμική: το Σύμπαν μπορούσε να είναι παραμορφωμένο -ακριβέστερα, καμπυλωμένο- εξαιτίας των ουράνιων σωμάτων που περιείχε, να δρα βαρυτικά πάνω στο φως και στην ενέργεια, να διαστέλλεται και να συστέλλεται και, το κυριότερο, μπορούσε να έχει μια αρχή και ένα τέλος.

Η πρώτη παρατηρησιακή επιβεβαίωση ενός διαστελλόμενου Σύμπαντος - και συγχρόνως η απαρχή της θεωρίας της Μεγάλης Έκρηξης - δόθηκε τη δεκαετία του 1920 από τη σπουδαία ανακάλυψη του Αμερικανού αστρονόμου Edwin Hubble ότι οι γαλαξίες απομακρύνονται ο ένας από τον άλλον με ταχύτητες ανάλογες των αποστάσεών τους. Για ένα Σύμπαν που φαινόταν να διαστέλλεται, ήταν φυσικό να υποθέσει κανείς ότι κάποια στιγμή στο

απόμακρο παρελθόν του όλοι οι γαλαξίες θα βρίσκονταν πολύ πλησιέστερα μεταξύ τους, συμπιεσμένοι σε μια μάζα αφάνταστα υψηλής πυκνότητας και θερμοκρασίας.

Με το τέλος της δεκαετίας του 1940, οι Ralph Alpher και Robert Herman του Applied Physics Laboratory στις ΗΠΑ είχαν αναπτύξει σε ικανοποιητικό βαθμό τη διδακτορική θέση του Alpher σχετικά με τις ιδιότητες της υπέρθερμης ύλης από την έκρηξη της οποίας μπορούσε να είχε δημιουργηθεί το Σύμπαν. Επρόκειτο ουσιαστικά για την προώθηση μιας ιδέας του George Gamow, Ρώσου επιστήμονα που έφτασε στις ΗΠΑ το 1933 και εγκαταστάθηκε στο George Washington University. Οι Alpher και Herman γρήγορα κατάλαβαν ότι το σημερινό Σύμπαν θα έπρεπε να είναι γεμάτο με το υπόλειμμα εκείνης της αφάνταστα υψηλής θερμοκρασίας της δημιουργίας του. Ωστόσο, σαν συνέπεια της μετέπειτα διαστολής του Σύμπαντος, η θερμοκρασία αυτή θα έπρεπε σήμερα να έχει μειωθεί σημαντικά σε ένα είδος διάχυτης ακτινοβολίας "στο βάθος" όλων των υπόλοιπων ακτινοβολιών από τις μετέπειτα "δραστηριότητες" του Σύμπαντος. Η πρόβλεψή τους ότι σήμερα αυτή η παραμένουσα ακτινοβολία υποβάθρου θα ήταν γύρω στους πέντε βαθμούς πάνω από το απόλυτο μηδέν δημοσιεύτηκε στο επιστημονικό περιοδικό Nature το 1948 αλλά πέρασε απαρατήρητη.

Περίπου δεκαπέντε χρόνια αργότερα, η κοσμική ακτινοβολία υποβάθρου ανακαλύφθηκε κατά τύχη. Οι ραδιοαστρονόμοι Arno Penzias και Robert Wilson των Bell Laboratories, κατά τη διάρκεια ενός τεστ ρουτίνας μιας κωνικής κεραίας μικροκυμάτων στο Holmdel του New Jersey, παρατήρησαν ένα στατικό ηλεκτρικό θόρυβο στο σήμα τους που φαινόταν να προέρχεται από κάθε σημείο του ουρανού. Αφού κάθε προσπάθεια να απαλλαγούν από αυτό το θόρυβο απέτυχε, ζήτησαν βοήθεια από συναδέλφους τους και τότε πληροφορήθηκαν από τον Robert H. Dicke του Princeton ότι μόλις είχαν "ακούσει" τον απόηχο από τη Μεγάλη Έκρηξη - για την ακρίβεια, ότι "ακουγόταν" 300.000 χρόνια μετά τη στιγμή της Δημιουργίας, αλλά εξασθενημένο σε μια αντίστοιχη θερμοκρασία 2,74 βαθμών της κλίμακας Kelvin λόγω της διαστολής του Σύμπαντος που ακολούθησε.

Αμέσως ήλθε στην επικαιρότητα η θεωρία των Gamow, Alpher και Herman. Η εποχή ήταν επίσης ώριμη για μια σύνδεση της κοσμολογίας με τις ισχύουσες τότε θεωρίες των στοιχειωδών σωματιδίων (σε λίγα χρόνια θα ολοκληρωνόταν η ενοποίηση των ηλεκτρομαγνητικών και των ασθενών πυρηνικών δυνάμεων από τους Salam, Weinberg και Glashow). Πολύ σύντομα οι επιστήμονες μιλούσαν με αυτοπεποίθηση για τα "τρία πρώτα λεπτά" μετά τη στιγμή της Μεγάλης Έκρηξης, ίσως και για τα πρώτα εκατοστά του δευτερολέπτου μετά τη Δημιουργία. Το λεγόμενο αποδεκτό μοντέλο της δημιουργίας του Σύμπαντος είχε γεννηθεί.

Από την κεραία του HOLMDEL στα ραδιόμετρα του COBE

Τα χρόνια που ακολούθησαν την τυχαία ανακάλυψη των Penzias και Wilson γνώρισαν μια άλλη "Μεγάλη Έκρηξη": θεωρίες, μοντέλα και υποθέσεις γύρω από την προσπάθεια να ενσωματωθούν στο νέο αποδεκτό μοντέλο της

κοσμολογίας τα διάφορα πειραματικά δεδομένα που είχαν συσσωρευτεί από την εποχή των πρώτων παρατηρήσεων του Hubble στη δεκαετία του 1920 σχετικά με τη διαστολή του Σύμπαντος. Το ίδιο το αποδεκτό μοντέλο βελτιώθηκε στις αρχές της δεκαετίας του 1980 με τη λεγόμενη πληθωριστική εκδοχή του Alan Guth του Τεχνολογικού Ινστιτούτου της Μασαχουσέτης. Για να αντιληφθεί κανείς την αναγκαιότητα να μελετηθεί η κατανομή της κοσμικής ακτινοβολίας υποβάθρου πάνω από το "θόρυβο" της γήινης ατμόσφαιρας-αναγκαιότητα που κατέληξε στην εκτόξευση του δορυφόρου COBE αφιερωμένου αποκλειστικά στην παρατήρηση της ακτινοβολίας υποβάθρου-πρέπει να ανατρέξει στα αναπάντητα προβλήματα που είχαν παραμείνει στα μέσα της δεκαετίας του 1980 μετά την αποδοχή του πληθωριστικού μοντέλου.

Το φάσμα όπως μετρήθηκε από τον COBE. Το φάσμα δείχνει την κατανομή της ενέργειας της ακτινοβολίας στα διάφορα μήκη κύματος. Η συνεχής καμπύλη παριστάνει τη θεωρητικά προσδοκώμενη κατανομή της ακτινοβολίας που προέρχεται από τη Μεγάλη Έκρηξη. Αυτή η ακτινοβολία είναι τύπου μέλανος σώματος.

Η ακτινοβολία μικροκυμάτων υποβάθρου θεωρείται ότι αποτελεί το υπόλειμμα της θερμικής ισορροπίας που χαρακτήριζε το Σύμπαν περίπου 300.000 χρόνια μετά τη Μεγάλη Έκρηξη. Η ακτινοβολία που παρατηρείται σήμερα σε θερμοκρασία 2,74 βαθμών Κελσίου αντιστοιχεί σε μια αρχέγονη θερμοκρασία 3.000 βαθμών που μετατράπηκε σε ανιχνεύσιμη όταν τα ελεύθερα ως τότε ηλεκτρόνια παγιδεύτηκαν σε κβαντισμένες ατομικές τροχιές γύρω από πυρήνες υδρογόνου, ηλίου και λιθίου.

Σαν αποτέλεσμα αυτής της παγίδευσης, η αλληλεπίδραση φωτονίων και πυρήνων και ηλεκτρονίων μειώθηκε δραματικά και η ύλη έγινε διαπερατή στην ακτινοβολία.

Η περαιτέρω μείωση της θερμοκρασίας εκείνης στη σημερινή τιμή της κατά τρεις τάξεις μεγέθους (δηλαδή χίλιες φορές) οφείλεται στην αντίστοιχη μετέπειτα διαστολή του Σύμπαντος.

Η παραπάνω εικόνα της πρώτης ηλικίας του Σύμπαντος περιγράφει μια τελείως ομοιόμορφη κατανομή της κοσμικής ακτινοβολίας υποβάθρου. Από μια άποψη, μια τέτοια κατανομή φαινόταν μέχρι πριν από λίγα χρόνια να συμφωνεί απόλυτα με όλες τις μετρήσεις της ακτινοβολίας υποβάθρου με ακρίβεια 1/10.000.

Αλλά κάθε άλλο παρά συμφωνεί με τη σημερινή εικόνα του εξαιρετικά ανομοιόμορφου Σύμπαντος γύρω μας. Είναι χαρακτηριστικό ότι οι σύγχρονες χαρτογραφήσεις μεγάλης κλίμακας του ουρανού γίνονται με βάση σμήνη γαλαξιών και παρουσιάζουν δομές, τόσο από υπερσμήνη γαλαξιών όσο και από κενά, με διαστάσεις που φτάνουν τα 300 εκατομμύρια έτη φωτός! Πώς λοιπόν μπορεί κανείς να ερμηνεύσει την εξέλιξη μιας τέλει ομοιογενούς κατανομής ακτινοβολίας (και προφανώς ύλης) σε ένα Σύμπαν που κυριαρχείται από υπερσυγκεντρώσεις γαλαξιών σε "Μεγάλα Τείχη" διασκορπισμένα ανάμεσα σε "Μεγάλα Κενά";

Ο COBE λοιπόν εκτοξεύτηκε το 1989 ακριβώς για να δώσει απάντηση σε αυτό το ερώτημα. Ήταν κάτι περισσότερο από διαδικασία ρουτίνας σε μια περίοδο κανονικής επιστημονικής δραστηριότητας.

Πολλοί ερευνητές που εργάζονταν πάνω στο αποδεκτό κοσμολογικό μοντέλο είχαν αρχίσει να ανησυχούν για την αδυναμία των επίγειων πειραμάτων να παρατηρήσουν διακυμάνσεις στην κατανομή της ακτινοβολίας υποβάθρου που θα εξηγούσαν την προέλευση των σημερινών δομών στο Σύμπαν. Η ανακοίνωση από τον Smoot στις 23 Απριλίου 1992 ότι "η Μεγάλη Έκρηξη ήταν ζωντανή και πολύ-πολύ υγιής" προκάλεσε ίσως περισσότερο ανακούφιση παρά ενθουσιασμό ανάμεσα στην κοινότητα των κοσμολόγων.

Ο COBE ανίχνευσε διακυμάνσεις στην κατανομή της κοσμικής ακτινοβολίας υποβάθρου που διαφέρουν από τη μέση θερμοκρασία των 2,74 βαθμών Kelvin του ουρανού μόνο κατά 30 εκατομμυριοστά του βαθμού. Το μεγαλύτερο μέρος των διακυμάνσεων -περίπου τα δύο τρίτα των δεδομένων- είναι στην πραγματικότητα αποτύπωση του ηλεκτρικού θορύβου των οργάνων του δορυφόρου και των ακτινοβολιών από κοντινές "πρόσφατες" πηγές του ουρανού. Η μαθηματική ανάλυση των διακυμάνσεων δείχνει ότι πίσω από την ολική εικόνα φαίνεται να υπάρχουν σήματα που ανταποκρίνονται σε αληθινές στατιστικές διακυμάνσεις στην κατανομή της ακτινοβολίας υποβάθρου. Οι μικρότερες από τις δομές αυτές εκτείνονται μέχρι και 500 εκατομμύρια έτη φωτός μέσα στο διάστημα!

Μελλοντικά σχέδια

Δύο νέες διαστημικές αποστολές ετοιμάζονται αυτό τον καιρό με θέμα τη μελέτη της ακτινοβολίας υποβάθρου και θα εκτοξευθούν τα επόμενα χρόνια. Η πρώτη προέρχεται από τη NASA που θα εκτοξεύσει τον MAP (Microwave Anisotropy Probe) και η δεύτερη από την Ευρωπαϊκή Διαστημική Υπηρεσία που θα εκτοξεύσει τον Planck σε πέντε χρόνια περίπου.

Τα τελευταία οκτώ χρόνια από την ανακάλυψη της ανισοτροπίας στην ακτινοβολία υποβάθρου που πρόσφερε ο COBE, πραγματοποιήθηκαν πολλές μετρήσεις, οι οποίες επαλήθευσαν το αποτέλεσμα.

Δυστυχώς, όμως, όλες οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στην επιφάνεια της Γης, με αποτέλεσμα η ακρίβειά τους να είναι σημαντικά μικρότερη από αυτήν του COBE. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων μπορούν να συνοψιστούν στα εξής:

Οι μετρήσεις είναι σε συμφωνία με τη θεωρία της Εκθετικής Διαστολής και ταυτόχρονα απορρίπτουν όλες τις θεωρίες της εξέλιξης του σύμπαντος οι οποίες δεν περιέχουν την ύπαρξη μη βαρυονικής σκοτεινής ύλης.

Επίσης, τα αποτελέσματα απορρίπτουν τη θεωρία πως οι αρχικές διαταραχές που οδήγησαν στη δημιουργία των σημερινών σχηματισμών οφείλονταν στο "σπάσιμο" της συμμετρίας και το χωρισμό των τεσσάρων δυνάμεων. Σε συνδυασμό με ορισμένες τελευταίες μετρήσεις που υποδείκνυαν ότι πρώτα σχηματίστηκαν οι γαλαξίες και μετά τα σμήνη μπορούμε να πούμε ότι η σημερινή θεώρηση είναι αυτή της εκθετικής διαστολής και της ψυχρής σκοτεινής ύλης.

Από τις μετρήσεις της ανισοτροπίας μπορούμε ακόμα να μετρήσουμε και να ελέγξουμε πειραματικά τις προβλέψεις της θεωρίας για το Ω , τη σταθερά του Hubble ή την πυκνότητα βαρυονίων με ακρίβεια της τάξης του 20%. Υπάρχει η δυνατότητα εξαγωγής της τιμής του Ω από μετρήσεις υπερκαινοφανών αστερών. Η ανισοτροπία της ακτινοβολίας υποβάθρου θα μας επιτρέψει να διασταυρώσουμε την τιμή αυτή και με μία εντελώς διαφορετική μέθοδο.

Μία επιπλέον ιδιότητα της ανισοτροπίας της ακτινοβολίας υποβάθρου που δεν έχει παρατηρηθεί ακόμα είναι το γεγονός ότι πρέπει να είναι μερικά πολωμένη. Οι νέοι δορυφόροι MAP και Planck θα έχουν τα κατάλληλα όργανα ώστε να μετρήσουν αυτή την πόλωση.

Υπάρχει η αντίληψη ότι μελετώντας τη θα είμαστε σε θέση να ξεχωρίσουμε τη συνεισφορά των κυμάτων βαρύτητας λόγω της εκθετικής διαστολής και, γνωρίζοντας αυτή τη συνεισφορά, να υπολογίσουμε την ενεργειακή κλίμακα της διαστολής. Επίσης, η πόλωση θα μας δώσει πληροφορίες για τον ιονισμό που παρατηρήθηκε στο σύμπαν κατά τη δημιουργία των πρώτων άστρων και για το τέλος της σκοτεινής περιόδου που ξεκίνησε την περίοδο της επανασύνδεσης.



Εικόνα 11 Περιοχή δημιουργίας νέων αστεριών

Από την ανακάλυψή της μέχρι σήμερα η ακτινοβολία υποβάθρου έχει παίξει τεράστιο ρόλο στην κοσμολογία. Μας αποκάλυψε κάποια από τα βαθιά κρυμμένα μυστικά του σύμπαντος και μας άνοιξε "ένα παράθυρο σε μία εποχή όπου το σύμπαν είχε ηλικία μόλις 300.000 ετών. Η μελέτη της ανισοτροπίας της ακτινοβολίας, κυρίως χάρη στους δύο δορυφόρους που θα εκτοξευθούν τα επόμενα χρόνια, ελπίζουμε ότι θα λύσει πάρα πολλές από τις σημερινές απορίες μας για την εξέλιξη του σύμπαντος και θα αποκαλύψει τις

τιμές των κοσμολογικών παραμέτρων που ακόμα μας διαφεύγουν. Σίγουρα πάντως θα θέσει σε δοκιμασία όλες τις θεωρίες μας για την εξέλιξη αυτή. Σε αναμονή λοιπόν της εκτόξευσης του MAP και του Planck το 2005.

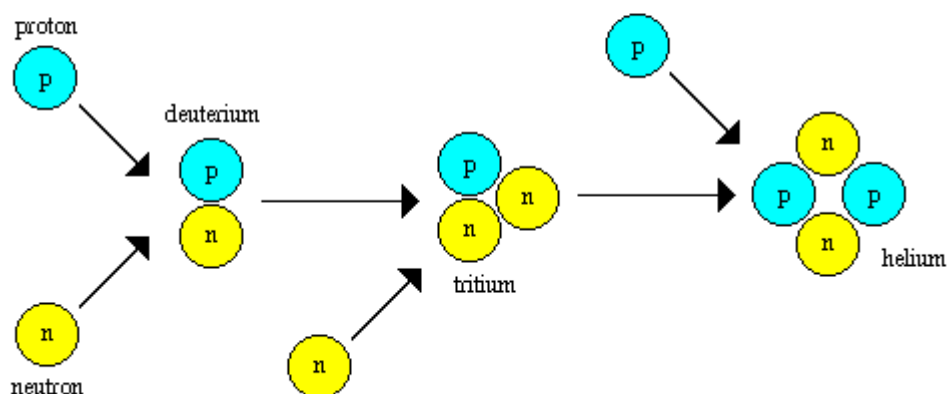
Η δημιουργία των πρωτογενών χημικών στοιχείων

Σύμφωνα με τη θεωρία της Μεγάλης Έκρηξης, ένα εκ των κυριοτέρων στοιχείων ελέγχου της στάνταρντ κοσμολογίας, ο σχηματισμός των ατομικών πυρήνων των πρωτογενών χημικών στοιχείων (**primordial nucleosynthesis**) λαμβάνει χώρα κατά τις αρχικές φάσεις της ύπαρξης του σύμπαντος. Δημιουργείται δηλαδή μεγάλη ποσότητα **H** και **He⁴**, μικρής ποσότητας **D²** και ελάχιστο **He³** και **Li⁷**.

Ως γνωστόν, τα χημικά στοιχεία σχηματίζονται στο εσωτερικό των αστρικών πυρήνων, υπό συνθήκες υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας. Δεδομένης της εκ γενετής υψηλής περιεκτικότητάς τους σε υδρογόνο, από τη σύντηξη τέτοιων πυρήνων συντίθεται ήλιο-4 (**He⁴**), προϊόν αντίδρασης πρωτονίου-πρωτονίου και κύκλου άνθρακα (**C¹²**). Για την παραγωγή βαρύτερων στοιχείων, από τον **C¹²** έως το **Fe⁵⁶**, οι θερμοπυρηνικές αντιδράσεις γίνονται με την απορρόφηση ατόμων **He⁴**. Για τη σύνθεση βαρύτερων στοιχείων μετά το **Fe⁵⁶** γίνεται απορρόφηση νετρονίων (neutron capture) στα πολύ μαζικά αστέρια που εξελίσσονται σε supernova (SN).

Nucleosynthesis

as the Universe cools, protons and neutrons can fuse to form heavier atomic nuclei



Εικόνα 12 Ο σχηματισμός των πρώτων χημικών στοιχείων

Βάσει των αστρικών φασμάτων και του μεσοαστρικού χώρου οι ποσότητες των χημικών στοιχείων είναι οι αναμενόμενες σύμφωνα με τις προαναφερθείσες θερμοπυρηνικές αντιδράσεις, πλην του He^4 και του δευτέρου (D^2). Τα στοιχεία αυτά συναντώνται σε ποσότητες μεγαλύτερες των παραγόμενων δυνατών εντός των αστέρων. Το 75% της ύλης στο σύμπαν αποτελείται από H και το 25% από He^4 , ποσοστό του οποίου η δημιουργία στους αστρικούς πυρήνες δεν καθίσταται δυνατή. Οι αστροφυσικοί θεωρούν πως μόνο περίπου 5% He^4 συντίθεται στο εσωτερικό των αστέρων. Το υπόλοιπο κατά πάσα πιθανότητα προϋπήρχε από την εποχή που προηγήθηκε της δημιουργίας των αστέρων και των γαλαξιών, όπως προβλέπει το κοσμολογικό μοντέλο της Μεγάλης Έκρηξης. Συμπερασματικά, το He^4 , ως επί το πλείστον, είναι πρωτογενές.

Alchemy of the Universe

The Nucleosynthesis of Chemical Elements

The Elements

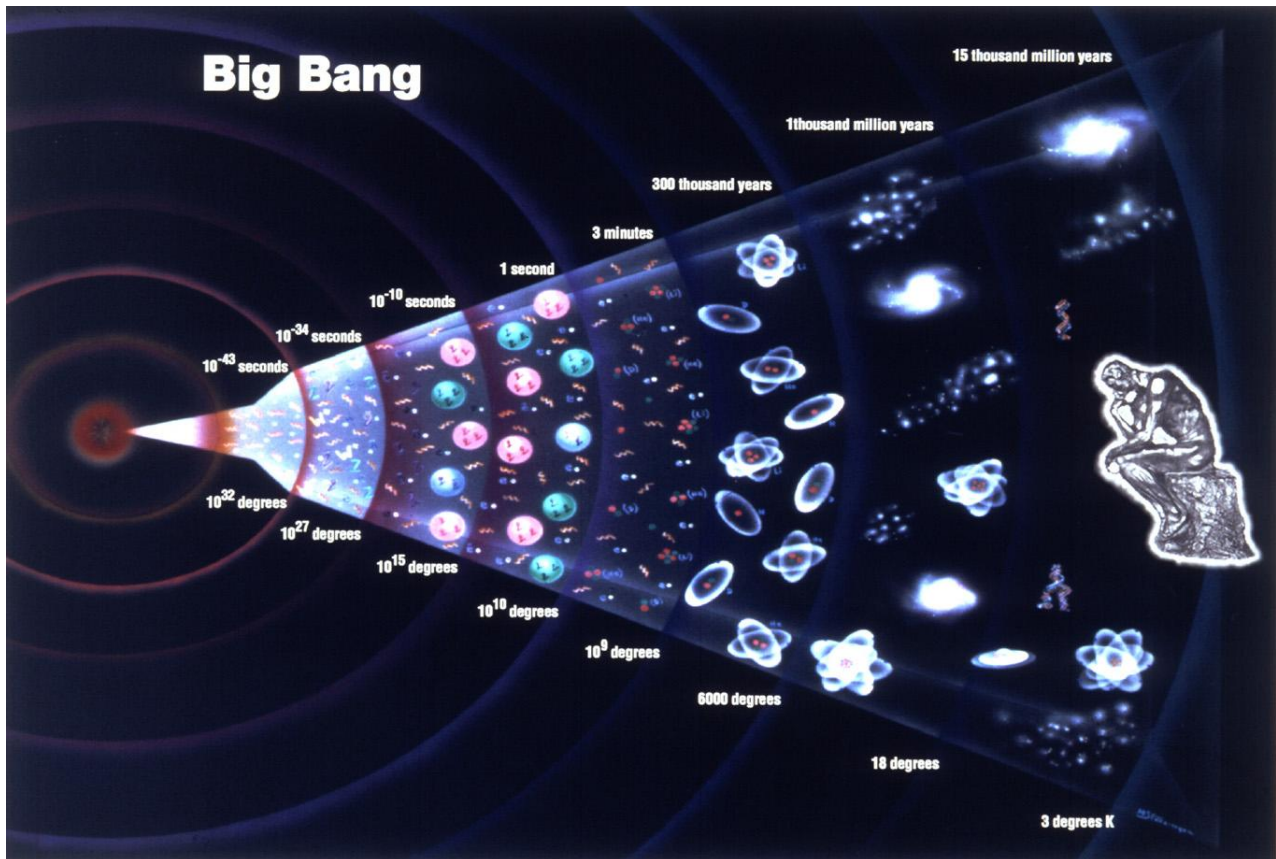
Dr. Adriana Banu, Cyclotron Institute

Supernova 1987A HUBBLESITE.org

February 23, Saturday Morning Physics'08

Εικόνα 13 Τα χημικά στοιχεία όπως τα γνώριζαν οι αλχημιστές

Δευτέριο (D^2) δεν παρατηρείται στα αστρικά φάσματα, αλλά στο μεσοαστρικό γαλαξιακό μας χώρο. Βρέθηκε ότι περίπου 10% της μάζας του μεσοαστρικού υλικού συνίσταται από D^2 . Αν και αυτή η ποσότητα του δευτερίου είναι πολύ μικρή, εντούτοις είναι δύσκολο έως αδύνατον να εξηγηθεί, καθώς όλες οι γνωστές αστροφυσικές διαδικασίες καταστρέφουν την ασθενή σύζευξη του πυρήνα του δευτερίου (το D^2 είναι ασταθές ισότοπο), το οποίο καίγεται σε θερμοκρασία 0.5×10^6 K. Τότε και το δευτέριο είναι πρωτογενές.



Εικόνα 14 Καθώς ο χρόνος περνάει, η θερμοκρασία του σύμπαντος μειώνεται

Αποτελέσματα έρευνας

Σε έρευνα η οποία έγινε στο πλαίσιο της ερευνητικής εργασίας για τη θεωρία της Μεγάλης Έκρηξης οι 52 μαθητές των υπολοίπων project Α' τάξης 5^{ου} ΓΕΛ κλήθηκαν να απαντήσουν σε ερωτηματολόγιο περί Big Bang.

ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ

1. Τι είδους θεωρία είναι η θεωρία είναι η θεωρία της Μεγάλης Έκρηξης ;

☐ Αστρολογική ☐ Κοσμολογική ☐ Φιλοσοφική ☐ Άλλο

1. Το σύμπαν :

☐ Διαστέλλεται ☐ Συστέλλεται ☐ Είναι σταθερό ☐ Δεν γνωρίζουμε

2. Το σύμπαν δημιουργήθηκε πριν :

☐ 2011 έτη ☐ 10.000 έτη ☐ 13,7 δις έτη ☐ 22 τρις έτη

3. Από τι ξεκίνησε η Μεγάλη Έκρηξη ;

☐ Από το κενό ☐ Από ένα άτομο ☐ Από το Θεό ☐ Από ένα σημείο άπειρης ύλης

4. Στην θεωρία αυτή οι διαστάσεις είναι:

☐ 1 (μήκος) ☐ 2 (μήκος-πλάτος) ☐ 3 (μήκος-πλάτος-ύψος) ☐ 4 (χωροχρόνος)

Τα αποτελέσματα παρατίθενται ως εξής:

- Το 48% του συνόλου των μαθητών γνωρίζει ότι η θεωρία της Μεγάλης Έκρηξης εντάσσεται στην επιστήμη της κοσμολογίας, ενώ το 40% πιστεύει πως αφορά την αστρολογία. Ποσοστό της τάξεως του 4% και 10% εικάζει πως η θεωρία είναι φιλοσοφική ή άλλου είδους αντίστοιχα.
- Το 38% θεωρεί πως δεν γνωρίζουμε εάν το σύμπαν συστέλλεται, διαστέλλεται ή παραμένει σταθερό. Το 28% έχει γνώση της διαστολής του. Σύμφωνα με το 24% και 10% ,το σύμπαν συστέλλεται και η κατάστασή του δεν μεταβάλλεται αντίστοιχα.
- Το 46% γνωρίζει την ακριβή ηλικία του σύμπαντος (13,7 δισεκατομμύρια έτη). Ως χρονική στιγμή δημιουργίας του το 40% εικάζει τα 22 τρισεκατομμύρια έτη. Το 12% υποθέτει πως η Μεγάλη Έκρηξη έλαβε χώρα 10 χιλιετίες πριν, ενώ το 4% 2011 χρόνια πριν.
- Όσον αφορά την απαρχή του Big Bang, δηλαδή ένα σημείο άπειρης ύλης, αυτή αποτελεί και απάντηση του 42% των μαθητών. Το 26% εκφράζει την πιθανότητα να προήλθε από το κενό. Το 24% και το 6% νομίζουν ότι η Μεγάλη Έκρηξη ξεκίνησε από ένα άτομο και από το Θεό αντίστοιχα.
- Κατά την τελευταία ερώτηση, η επιστημονικά αποδεκτή θεωρία, σύμφωνα με την οποία οι διαστάσεις του σύμπαντος είναι τέσσερις (χωροχρόνος), διατυπώθηκε από το 60%. Το 30% απάντησε πως ο κόσμος είναι τρισδιάστατος (μήκος-πλάτος-ύψος), το 6% επέλεξε την απάντηση (μόνη διάσταση το μήκος) ως ορθή και το 4% ανέφερε ως διαστάσεις του το μήκος και το πλάτος.

Εν κατακλείδι, βάσει των απαντήσεων του ερωτηματολογίου που δόθηκαν από το σύνολο των ερωτηθέντων, το γεγονός ότι οι σωστές απαντήσεις προήλθαν από το μέγιστο ποσοστό τους αντικατοπτρίζει τη διαπίστωση ότι ως επί το πλείστον οι μαθητές είναι ενημερωμένοι αναφορικά με την θεωρία της Μεγάλης Έκρηξης.

Αναπάντητα ερωτήματα

Η Θεωρία της μεγάλης έκρηξης μας εξηγεί πάρα πολλές θεωρίες και ερωτήσεις αλλά μας αφήνει και κάποια αναπάντητα ερωτήματα όπως:

1. Προβλέπει ένα μικρότερο σύμπαν από αυτό που υπάρχει σήμερα.
2. Δεν εξηγεί την Κοσμολογική Αρχή, αλλά την δέχεται αξιωματικά, πράγμα ασυμβίβαστο με την μαθηματική ανάλυση.
3. Τι υπήρχε πριν;
4. Πως από το τίποτα προήλθαν τα πάντα;
5. Γιατί δημιουργήθηκαν οι συγκεκριμένοι φυσικοί νόμοι και όχι κάποιοι άλλοι; Γιατί για παράδειγμα ο χωροχρόνος είναι τετραδιάστατος;
6. Υπάρχουν παράλληλα σύμπαντα;
7. Τα υπάρχει πέρα από το σύμπαν;
8. Το σύμπαν συστέλλεται ή όχι;
9. Πως σχηματίστηκαν οι γαλαξίες και τα γαλαξιακά σμήνη και υπερσμήνη;



Εικόνα 15 Μερικές εικόνες της μεγάλης έκρηξης, όπως την φανταζόμαστε

Βραβεία Νόμπελ Φυσικής 2011

Αυτή τη χρονιά η Σουηδική Ακαδημία Επιστημών απονέμει τα βραβεία της Φυσικής σε τρεις ανθρώπους που το επάγγελμά τους απαιτεί να έχουν συνέχεια στραμμένο το βλέμμα τους στα βάθη του Σύμπαντος σε μια χρονοβόρα και εντατική προσπάθεια να μαντέψουν αν ο κόσμος μας διαστέλλεται και μάλιστα με συνεχή επιτάχυνση. Το μισό βραβείο πηγαίνει στον Αμερικανό καθηγητή της Αστροφυσικής στο Πανεπιστήμιο της Καλιφόρνιας στο Μπέρκλεϊ, τον Saul Perlmutter, 52 ετών. Το άλλο μισό μοιράζεται εξίσου στον Αμερικανό και με αυστραλιανή υπηκοότητα καθηγητή στο Χάρβαρντ, Brian Schmidt, 44 ετών και στον Αμερικανό καθηγητή της Αστρονομίας και της Φυσικής στο Τζον Χόπκινς, τον Adam Riess, 42 ετών.

Πριν από 75 χρόνια ο αστρονόμος Edwin Hubble ανακάλυπτε ότι οι Γαλαξίες απομακρύνονται ο ένας από τον άλλον, αλλά και κάτι ακόμη. Ότι οι πιο απομακρυσμένοι φαινόταν να κινούνται με ταχύτητα μεγαλύτερη από αυτή των πιο κοντινών. Η γενική πεποίθηση από τον καιρό του Αϊνστάιν, ήταν ότι τα υλικά σώματα συμπεριφέρονται σαν να θέλουν πάντα να έλθει κοντά το ένα το άλλο. Για παράδειγμα λέμε ότι τα πράγματα πέφτουν στο πάτωμα γιατί τα έλκει η Γη. Έτσι ήταν πολύ απλό να υποθέτουν οι άνθρωποι για καιρό ότι την ορμή της αρχικής έκρηξης επιβράδυνε με την πάροδο του χρόνου η έλξη μεταξύ των σωμάτων που βρίσκονται στο Σύμπαν. Έτσι θα ερχόταν μια στιγμή που η όλη αυτή συμπαντική διαστολή θα σταματούσε και από εκεί και πέρα υπήρχαν δυο πιθανά σενάρια. Το Σύμπαν να αρχίσει να μικραίνει, δηλαδή να συρρικνώνεται ή να μείνει σε μια στάσιμη κατάσταση. Όμως η Γενική Θεωρία της Σχετικότητας αφήνει ανοιχτό το παράθυρο και για αντίθετες συμπεριφορές, δηλαδή την ύπαρξη μιας μορφής ενέργειας που να κάνει την ύλη να υπερνικά την έλξη και το Σύμπαν να διαστέλλεται με επιταχυνόμενο ρυθμό. Σήμερα πιστεύεται ότι καθώς το Σύμπαν διαστέλλεται η πυκνότητα της ύλης ελαττώνεται αλλά η λεγόμενη Σκοτεινή Ενέργεια, που ακόμη δεν έχουμε καταλάβει την πηγή της, παρουσιάζει αυξομειώσεις. Σε αρχικά στάδια της εξέλιξης του Σύμπαντος η διαστολή του είχε επιβραδυνόμενο ρυθμό. Για κάποιο λόγο όμως η σκοτεινή ενέργεια αυξήθηκε οπότε είχαμε μια εναλλαγή συμπαντικών διαστάσεων και περάσαμε στη φάση όπου έχουμε διαστολή με αυξανόμενο ρυθμό. Όλα αυτά όμως πώς τα διαπιστώνεις και κάνεις και τους άλλους να πειστούν; Δυο ομάδες επιστημόνων, η μια με τον Perlmutter (πάνω αριστερά) και η άλλη με τους Schmidt (μέσο

δεξιά) και Riess (κάτω αριστερά) μεταξύ 1994 και 1998 ξεκίνησαν ένα σκληρό αγώνα για το ποιός θα αποδείξει με τη βοήθεια του φωτός από τους λαμπρούς Υπερκαινοφανείς αστέρες το πώς συμπεριφέρεται ολόκληρο το Σύμπαν.

Οι Σουπερκαινοφανείς ή Σούπερνόβα αστέρες υφίστανται εκρήξεις όπου απελευθερώνεται τόση ενέργεια ώστε «σβήνει» κυριολεκτικά τη λάμψη ενός ολόκληρου Γαλαξία με δισεκατομμύρια άστρων. Κατατάσσονται σε Υπερκαινοφανείς Τύπου I, και Τύπου II. Στο φάσμα του Τύπου II ανιχνεύονται γραμμές χαρακτηριστικές από το στοιχείο Υδρογόνο ενώ στον άλλο Τύπο δεν υπάρχει. Ακόμη περισσότερο αναλυτικά ο Τύπος I χωρίζεται σε τρεις άλλους. Τύπου Ia, Ib, Ic. Στον πρώτο χαρακτηριστικό του είναι το πυρίτιο, στο δεύτερο το ήλιο και στον τρίτο απουσιάζον και τα δυο.



Εικόνα 16 Η πορεία της Μεγάλης Έκρηξης

Και οι δυο ομάδες είχαν σκεφθεί να εργαστούν με τον ίδιο κλασικό τρόπο και χρησιμοποιώντας το φως από Σουπερνόβα Τύπου Ια. Να βρουν κάποια πολύ λαμπρά αστέρια, να τα φωτογραφίσουν αμέσως μετά τη Νέα Σελήνη και ξανά τρεις εβδομάδες αργότερα, πριν η πανσέληνος μπει στη μέση με το φως της. Έχοντας κάνει καλή μελέτη του πώς σχετίζεται το φως με την απομάκρυνση του αστέρα αυτού σε σχέση με τη Γη και υπερνικώντας τα τρομακτικά εμπόδια που βάζει η κοσμική σκόνη, άλλες παρεμβολές, λόγω της απόστασης και η ανάγκη για την καταγραφή πολλών γεγονότων προς επιβεβαίωση, μαζί με τον αναπόφευκτο ανταγωνισμό είχαν στο τέλος την έκπληξη της ζωής τους. Αντί να αποδείξουν ότι το Σύμπαν διαστέλλεται με επιβραδυνόμενο ρυθμό διαπίστωσαν ότι πλέον διαστέλλεται με επιταχυνόμενο ρυθμό.

Έκαναν μια τεράστια αποκάλυψη και βύθισαν τους εαυτούς τους και τους συναδέλφους τους σε μια ακόμη μεγαλύτερη απορία αφού ακόμη δεν έχει εξηγηθεί η δράση και η προέλευση της σκοτεινής ενέργειας. Κάποιοι άλλοι βέβαια αυτή τη στιγμή εργάζονται πυρετωδώς με ανταμοιβή ένα επόμενο βραβείο Νομπέλ γι αυτή τη γνώση.

Συμπεράσματα –Προοπτικές

Σήμερα, είναι αποδεκτό στον περισσότερο επιστημονικό κόσμο, πως η επικρατέστερη θεωρία για την δημιουργία του κόσμου στον οποίο ζούμε είναι η θεωρία της Μεγάλης Έκρηξης, γνωστή με τον όρο Big Bang. Προβλέπει ότι το σύμπαν ξεκίνησε με μία έκρηξη, που έγινε πριν από 13,7 δισεκατομμύρια χρόνια περίπου, από ένα σημείο άπειρης πυκνότητας και εξαιρετικά μεγάλης θερμοκρασίας. Το σημείο αυτό αναφέρεται και ως ανώμαλο σημείο. Την στιγμή αυτή δημιουργήθηκε ο χώρος και ο χρόνος οι οποίοι πλέον συνυπάρχουν. Έτσι δημιουργείται η έννοια του χωροχρόνου. Με την θεωρία αυτή ξέρουμε τι έχει συμβεί από την χρονική στιγμή $t=10^{-43}\text{sec}$ και μετά αν θεωρήσουμε ότι την στιγμή $t=0$ έγινε η έκρηξη.

Ερμηνεύει πολλά παρατηρησιακά δεδομένα όπως η μικροκυματική ακτινοβολία υποβάθρου(CMB), η κατανομή των γαλαξιών στο σύμπαν, η δημιουργία των πρωτογενών στοιχείων με την προβλεπόμενη αναλογία και φυσικά την διαστολή του σύμπαντος. Οι ανταγωνιστικές θεωρίες είναι πολύ υποδεέστερες και εξηγούν πολύ λιγότερες κοσμολογικές παρατηρήσεις.

Όπως κάθε θεωρία, έτσι και αυτή έχει κάποια κενά, αφήνοντας μερικά αναπάντητα ερωτήματα ήσσονος σημασίας. Παρουσιάζει επίσης αδυναμία ερμηνείας κάποιων φαινομένων και δέχεται αξιωματικά κάποιες αρχές όπως συμβαίνει με κάθε θεωρία.

Αναμένουμε ότι αυτή η θεωρία θα ολοκληρωθεί στο μέλλον καθώς τα όργανα παρατήρησης και η ανθρώπινη σκέψη θα εξελίσσονται. Προβλέπεται πως θα μπορεί να ερμηνεύσει κάθε φαινόμενο που θα παρατηρηθεί στο μέλλον και φυσικά δεν θα κλονιστούν τα θεμέλια της από κάποια νεοεμφανιζόμενη θεωρία. Άλλωστε οι υπόλοιπες κοσμολογικές θεωρίες που υπάρχουν σήμερα προσπαθούν να την συμπληρώσουν και να την επεκτείνουν.

Βιβλιογραφία

- Stephen Hawking, <<Το χρονικό του χρόνου>>, Αθήνα 2005, Εκδόσεις Κάτοπτρο.
- Mike Goldsmith, <<Ο Άλμπερτ Αϊνστάιν και η φύσκα του σύμπαντος>>, Αθήνα 2003, Εκδόσεις Ερευνητές από την σειρά Εξωφρενική βιβλιοθήκη.
- Κων/νος Βαγιονάκης, << Σωματιδιακή και Κοσμολογική Φυσική>> ,3η έκδοση, Ιωάννινα 2003, Εκδόσεις Πανεπιστημίου Ιωαννίνων.
- Βασιλική Τσικουδή, <<Γαλαξίες και Κοσμολογία>>, Ιωάννινα 2004, Εκδόσεις Πανεπιστημίου Ιωαννίνων.
- Στράτος Θεοδοσίου-Μάνος Δανέζης, <<Μετρώντας τον άχρονο χρόνο>>, 2η έκδοση, Αθήνα 1996, Εκδόσεις Δίαυλος.
- Simon Singh, <<Big Bang, η πιο σημαντική ανακάλυψη όλων των εποχών>>, Αθήνα 2005, Εκδόσεις Τραυλός.
- Κ. Γαβρίλης, Π. Νιάρχος, Κ. Παπαμιχάλης, Μ. Μεταξάς, <<Στοιχεία αστρονομίας και διαστημικής>>, Αθήνα 2011, ΟΕΔΒ.

Ιστοσελίδες

- www.google.gr
- www.wikipedia.com
- www.physics4you.gr
- <http://big-bang-theory.com>
- www.youtube.com
- <http://map.gsfc.nasa.gov/universe/index.html>
- http://cosmology.berkeley.edu/Education/IUP/Big_Bang_Primer.html
- <http://www.spaceandmotion.com/Cosmology-Big-Bang-Theory.htm>
- <http://www.metaphysics-for-life.com/big-bang-theory.html>
- www.astronomia.gr
- www.ododeiktes.gr
- www.livopedia.gr
- www.physics.ntua.gr
- www.eugenfound.edu.gr
- www.astro.auth.gr
- <http://digitalschool.minedu.gov.gr>
- <http://hep.physics.uoc.gr/~kiritsis/courses/freshman-cosmology/fresh2.html>