

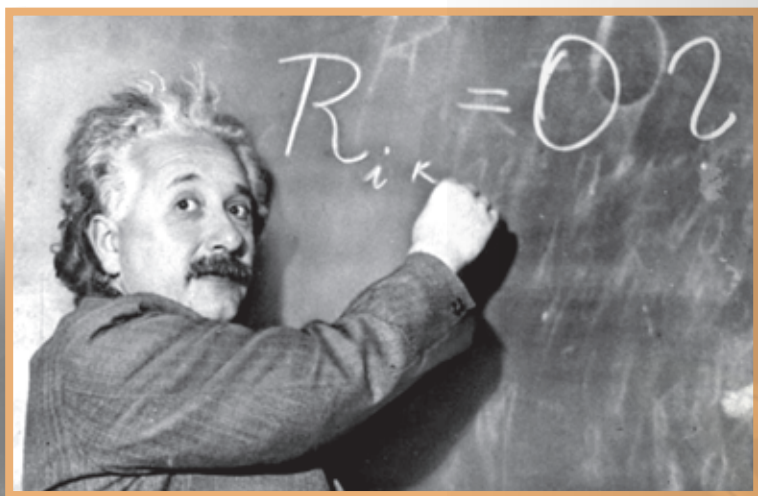


ΚΟΣΜΟΛΟΓΙΑ

Η ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΠΟΥ ΜΕΛΕΤΑ ΤΟ ΣΥΜΠΑΝ

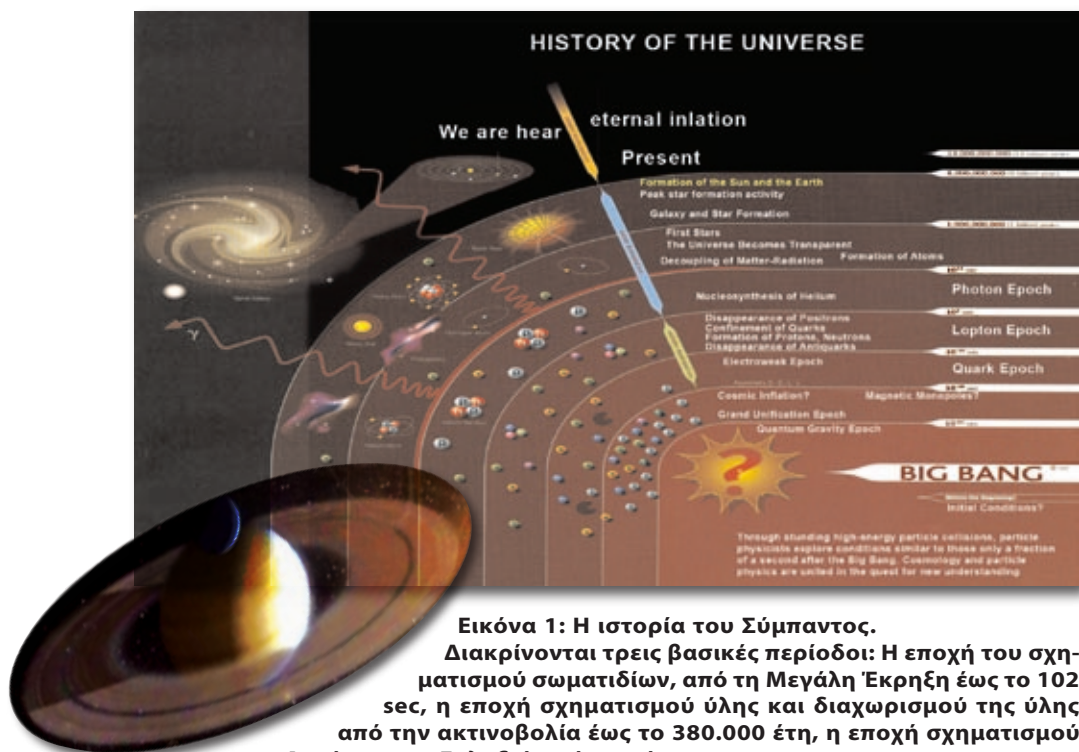
ΚΕΙΜΕΝΟ: Ανχης (ΠΖ) Ιωάννης Αγαπάκης

Σύμπαν μία τόσο κοινή λέξη, που όλοι, λίγο ή πολύ, έχουμε χρησιμοποιήσει. Το σίγουρο όμως είναι πως αν ζητηθεί ο ακριβής ορισμός της, δεν θα μπορέσουμε εύκολα να τον διατυπώσουμε. Συνδυάζοντας τη φιλοσοφία με την Αστρονομία, θα μπορούσαμε να καταλήξουμε σε έναν αρκετά ακριβή ορισμό. Το σύνολο της ύλης και της ενέργειας, του χώρου και του χρόνου, της γνώσεως και των εμπειριών συνθέτουν αυτό που ονομάζουμε Σύμπαν. Πιο κάτω θα δούμε ότι στο Σύμπαν περιέχονται σμήνη και υπερσμήνη γαλαξιών, γαλαξίες, αστέρες, πλανήτες, νεφελώματα, μεσοαστρική και μεσογαλαξιακή ύλη, αλλά και σκοτεινή ύλη και σκοτεινή ενέργεια. Ο κλάδος της Αστρονομίας που ασχολείται με τη μελέτη σε μεγάλη κλίμακα της δομής και της εξέλιξης του Σύμπαντος ονομάζεται «Κοσμολογία».



Η ανάπτυξη της Κοσμολογίας οφείλεται σε δύο κυρίως μεγάλες ανακαλύψεις στην περιοχή της σχετικά πρόσφατης αστρονομικής έρευνας. Η πρώτη από αυτές είναι η ανακάλυψη του τεραστίου μεγέθους του ορατού Σύμπαντος, από τις αστρονομικές παρατηρήσεις των δεκαετιών 1920 και 1930. Η δεύτερη σημαντική ανακάλυψη στην επιστημονική έρευνα της Κοσμολογίας οφείλεται στα επιτεύγματα της Θεωρητικής Φυσικής στον 20ό αιώνα. Αφού αναπτύχθηκε η Γενική Θεωρία της Σχετικότητας (ΓΘΣ) από τον Albert Einstein, αποδείχθηκε ότι αυτή παρέχει τη δυνατότητα επινοήσεως κοσμολογικών προτύπων, δηλαδή μαθηματικών εξισώσεων που περιγράφουν τη δομή και εξέλιξη του κόσμου ως ενός ενιαίου συνόλου και φυσικά, επιτρέπουν τη διατύπωση αντίστοιχων θεωριών.

Γενικά αποδεκτή για την αρχή του Σύμπαντος είναι «η θεωρία της Μεγάλης Έκρηξης» (Big Bang theory). Σύμφωνα με τη θεωρία αυτή, όλα ξεκίνησαν στο 0 του χρόνου, με μία έκρηξη, από την οποία προήλθε όλη η ύλη και η ενέργεια που παρατηρείται ακόμη και σήμερα στο Σύμπαν αναλλοίωτη.



Εικόνα 1: Η ιστορία του Σύμπαντος.
Διακρίνονται τρεις βασικές περιόδους: Η εποχή του σχηματισμού σωματιδίων, από τη Μεγάλη Έκρηξη έως το 102 sec, η εποχή σχηματισμού ύλης και διαχωρισμού της ύλης από την ακτινοβολία έως το 380.000 έτη, η εποχή σχηματισμού Αστέρων και Γαλαξιών μέχρι σήμερα.

Από τις πρώτες στιγμές της δημιουργίας του, το Σύμπαν άρχισε να διαστέλλεται, διαστολή που συνεχίζεται μέχρι και σήμερα, 13,7 δισεκατομμύρια έτη μετά τη γέννησή του. Βέβαια, από την πρώτη στιγμή της Δημιουργίας μέχρι σήμερα, το Σύμπαν έχει υποστεί τεράστιες μεταβολές, (οι σημαντικότερες από τις οποίες επήλθαν τα πρώτα δευτερόλεπτα!), τις οποίες μελετά η Κοσμολογία. (Εικόνα 1).

Η μελέτη και η κατανόηση του Σύμπαντος βασίζεται σε σημαντικές παρατηρήσεις στο πεδίο της κοσμολογίας που ονομάζονται «παρατηρήσεις κοσμολογικής σημασίας». Οι παρατηρήσεις αυτές μας επιτρέπουν να βγάλουμε ορισμένα συμπεράσματα για την αρχή και εξέλιξη του Σύμπαντος.

Εκτός από τη γενική παραδοχή της θεωρίας της Μεγάλης Έκρηξης που πιο πάνω αναφέρθηκε, ως σημαντικότερες παρατηρήσεις κοσμολογικής σημασίας αναφέρονται οι παρακάτω:

- Η αναλογία των ελαφρών χημικών στοιχείων στο Σύμπαν εκτιμάται σήμερα, από παρατηρησιακά δεδομένα, ότι είναι 75% υδρογόνο και 25% ήλιο.
- Η διαστολή του Σύμπαντος που ακολουθεί τον «νόμο του Hubble».

Σύμφωνα με αυτόν τον νόμο, κάθε γαλαξία απομακρύνεται από όλους τους άλλους με ταχύτητα που αυξάνεται ανάλογα με τη μεταξύ τους απόσταση. Η απόδειξη του νόμου επιτεύχθηκε με τη βοήθεια του «φαινομένου Doppler».¹ Ο

¹Σύμφωνα με το φαινόμενο Doppler για πηγές που απομακρύνονται από τον παρατηρητή, η ακτινοβολία παρουσιάζει μετατόπιση προς το ερυθρό, ενώ για πηγές που πλησιάζουν, μετατόπιση προς το ιώδες.

Hubble παρατήρησε ότι το φως των μακρινών γαλαξιών παρουσιάζει μετατόπιση των φασματικών γραμμών (εκπομπής ή απορροφήσεως κάποιων στοιχείων) προς το ερυθρό και, συνδυάζοντας την παρατήρησή του αυτή με το φαινόμενο Doppler, συμπεράνε ότι οι γαλαξίες αυτοί απομακρύνονται.

- Η κατανομή των ραδιογαλαξιών² χαρακτηρίζεται από το ότι η αριθμητική πυκνότητά τους (δηλαδή πλήθος ραδιογαλαξιών ανά μονάδα όγκου) είναι αύξουσα συνάρτηση της αποστάσεώς τους από οποιονδήποτε παρατηρητή. Έτσι, όσο πιο μακριά παρατηρούμε, τόσο περισσότερους ραδιογαλαξίες βρίσκουμε ανά μονάδα όγκου. Επειδή όμως, κοιτάζοντας μακριά, βλέπουμε τα αντικείμενα όπως αυτά ήταν, όταν εκπέμφθηκε η ακτινοβολία που λαμβάνουμε, από την παραπάνω παρατήρηση προκύπτει ότι σε προγενέστερες χρονικές στιγμές το Σύμπαν ήταν πυκνότερο από ό,τι σήμερα.

- Η μέτρηση της ηλικίας του Σύμπαντος υπολογίζεται, με διάφορες ανεξάρτητες μεταξύ τους μεθόδους, ότι είναι 12 έως 15 δισεκατομμύρια έτη. Η ακριβής μέτρηση της ηλικίας του υπολογίζεται με τη βοήθεια της σταθεράς του Hubble H_0 . Αφού εξ ορισμού η σταθερά του Hubble είναι η σταθερά αναλογίας μεταξύ της ταχύτητας απομακρύνσεως u και της αποστάσεως r ενός γαλαξία (δηλαδή είναι $u = H_0 \cdot r$), επομένως ο χρόνος που χρειάστηκε ένας γαλαξίας να διανύσει από τη στιγμή της Μεγάλης Έκρηξης απόσταση r είναι:

$T = r/u = r/H_0 \cdot r$ δηλαδή είναι $T = H_0^{-1}$ και με τη σημερινή τιμή της σταθεράς $H_0 = 73 \text{ km/sec/Mpc}$,³ προκύπτει ότι η Ηλικία του Σύμπαντος είναι 13,7 δισεκατομμύρια έτη.

- Η κατανομή της ακτινοβολίας μικροκυμάτων είναι με μεγάλη ακρίβεια «ισοτροπική».

Η ύπαρξη της ακτινοβολίας αυτής παρατηρήθηκε για πρώτη φορά το 1965 από τους Arno Penzias και Robert Wilson (βραβείο Νόμπελ Φυσικής) και μετρήθηκε από τους δορυφόρους COBE και WMAP (Εικόνα 2), με εκπληκτική ακρίβεια. Πρέπει να σημειωθεί ότι το γεγονός αυτό είχε προβλέψει 15 περίπου χρόνια πριν, με βάση τη ΓΘΣ, ο φυσικός George Gamow και η επιβεβαίωσή του όχι μόνο απέδειξε την ισχύ της ΓΘΣ, αλλά επιβεβαίωσε, επίσης, και τη θεωρία της Μεγάλης Έκρηξης.

Η παραπάνω παρατήρηση αποτελεί την επιβεβαίωση της «κοσμολογικής αρχής» (cosmological principle), η οποία είναι μια θεωρητική παραδοχή που έρχεται σε συμφωνία με την αρχή διαστολής του Σύμπαντος και που σύμφωνα με την οποία:

Το Σύμπαν θεωρητικά είναι «ομογενές» και «ισότροπο» σε μεγάλες κλίμακες αποστάσεων.

«Ομογενές» σημαίνει ότι σε μια δεδομένη χρονική στιγμή η πυκνότητα της ύλης του Σύμπαντος είναι παντού η ίδια, ενώ «ισότροπο» σημαίνει ότι το Σύμπαν παρουσιάζει τις ίδιες ιδιότητες, ανεξάρτητα της κατεύθυνσης παρατηρήσεως.

Ωστόσο σε μικρές, σχετικά, αποστάσεις το Σύμπαν εμφανίζεται ανομοιογενές, αφού διαπιστώνουμε την ύπαρξη συγκεντρώσεων ύλης σε πολλές διαφορετικές κλίμακες. Έτσι, παρατηρούμε αστέρες, πλανήτες, δορυφόρους και αστεροειδείς σε κλίμακα της

²Πρόκειται για ελλειπτικούς συνήθως πολύ μακρινούς γαλαξίες που εκπέμπουν ισχυρά σε ραδιοφωνικά μήκη κύματος. Η χαρτογράφησή τους γίνεται με μεγάλα ραδιοτηλεσκόπια.

³Η ταχύτητα διαστολής του Σύμπαντος αυξάνεται όσο οι γαλαξίες απομακρύνονται ο ένας από τον άλλον, γι' αυτό και στη μονάδα μετρήσεως της ταχύτητας διαστολής του υπάρχει και ο όρος Mpc μετά το km/sec, που δηλώνει την εξάρτηση της ταχύτητας διαστολής από την απόσταση των γαλαξιών.

τάξεως του ενός παρσέκ⁴ (pc), γαλαξίες σε κλίμακα της τάξεως των 1000 παρσέκ (kpc), σμήνη γαλαξιών σε κλίμακες του ενός εκατομμυρίου παρσέκ (Mpc) και τέλος παρατηρούμε και υπερσμήνη γαλαξιών (δηλαδή σμήνη σμηνών) σε κλίμακες των 100 Mpc.

Παρ' όλα ταύτα η θεωρητική περιγραφή του Σύμπαντος επιτυγχάνεται ευκολότερα, αν υποθέσουμε ότι αυτό είναι ομογενές και ισότροπο σε μεγάλες κλίμακες. Η ακριβής τιμή της κλίμακας αποστάσεων πέραν της οποίας ισχύει η κοσμολογική αρχή παραμένει ακόμη θέμα έρευνας στο πλαίσιο της Παρατηρησιακής Κοσμολογίας.

Σήμερα, με την ταχύτητα απομακρύνσεως γαλαξιών να έχει την τιμή $H_0 = 73$ km/sec/Mpc, θεωρείται ότι η κοσμολογική αρχή σίγουρα ισχύει για αποστάσεις πέραν των 200 Mpc.

Ας σημειωθεί ότι, επειδή η διαστολή του Σύμπαντος θεωρείται ομοιόμορφη, δεν προκαλεί διαφορές πυκνότητας στον χώρο και άρα είναι συμβατή με την κοσμολογική αρχή.

Από τις παρατηρήσεις κοσμολογικής σημασίας προκύπτει ότι το παρατηρούμενο Σύμπαν δεν είναι στατικό, γεγονός που είναι αντίθετο προς την αντίληψη που κυριαρχούσε μέχρι προ εκατονταετίας περίπου. Η αντίληψη αυτή πρέπει να αποδοθεί εν μέρει στο ότι οι χαρακτηριστικοί χρόνοι μεταβολής του Σύμπαντος είναι πολύ μεγάλοι, συγκρινόμενοι με τη διάρκεια της ανθρώπινης ζωής.

Αφού σήμερα το βλέπουμε να διαστέλλεται, είναι φυσικό να υποθέσουμε ότι κάποτε στο παρελθόν η ύλη του κάθε γαλαξία ήταν συγκεντρωμένη σε μια μικρή περιοχή. Άρα το Σύμπαν έχει αρχή και, όπως έχει αναφερθεί ήδη, η ηλικία του είναι 13,7 δισεκατομμύρια έτη.

Με βάση τα ανωτέρω, σήμερα θεωρείται ότι η Θεωρία της Μεγάλης Έκρηξης είναι η επικρατέστερη θεωρία για τη δημιουργία του Σύμπαντος.

Σύμφωνα με αυτήν, όπως προαναφέρθηκε, το Σύμπαν δεν υπήρχε από πάντα, αλλά δημιουργήθηκε, μαζί με τον χρόνο, το χώρο και την ύλη-ενέργεια κατά την αρχική χρονική στιγμή. Κατά τη χρονική αυτή στιγμή η πυκνότητα του Σύμπαντος ήταν άπειρη.

Σήμερα, με βάση τα διαθέσιμα παρατηρησιακά δεδομένα, γνωρίζουμε ότι, μετά από την αρχική έκρηξη, το Σύμπαν διαστέλλεται συνεχώς. Η διαστολή αυτή περιγράφεται συνήθως με μια συνάρτηση $a(t)$, που ονομάζεται συντελεστής ή παράγοντας κοσμικής κλίμακας⁵ (cosmic scale factor). Η συνάρτηση αυτή μπορεί να θεωρηθεί ως ένα μέτρο των γραμμικών διαστάσεων του Σύμπαντος κατά τη χρονική στιγμή t , δηλαδή κατά κάποιο τρόπο εκφράζει την απόσταση δύο σημείων του Σύμπαντος σε κάθε χρονική στιγμή.

Η εξέλιξη του Σύμπαντος, από την αρχική υπέρπυκνη και υπέρθερμη κατάσταση, είναι μια διαδικασία συνεχούς διαστολής και ψύξεώς του.

⁴Το ένα parsec είναι η απόσταση στην οποία η απόσταση Γης-Ηλίου (αστρονομική μονάδα: 149.598.000 km) φαίνεται υπό γωνία ενός δευτερολέπτου. Το ένα παρσέκ ισούται με 31×10^{12} km (τριάντα ένα τρισεκατομμύρια km) ή 3,26 έτη φωτός (απόσταση που διανύει το φως, με ταχύτητα 300.000 km/sec, σε ένα έτος).

⁵Η σχέση δίνεται από τα Μαθηματικά της Γενικής Θεωρίας της Σχετικότητας και είναι η παρακάτω: $ds^2 = -dt^2 + a^2(t)[dr^2/(1-kr^2) + r^2(d\theta^2 + \sin^2\theta d\phi^2)]$, όπου ds η μεταβολή του μήκους (διαστολή), t ο χρόνος, και r, θ, ϕ οι πολικές συντεταγμένες ενός σημείου στον τριδιάστατο χώρο. Η σταθερά k παίρνει τις τιμές -1, 0, +1 στις περιπτώσεις που το Σύμπαν είναι: ανοιχτό υπερβολοειδές, επίπεδο, και κλειστό αντίστοιχα. Ιδιαίτερα για το επίπεδο Σύμπαν, η σχέση παίρνει την απλούστερη μορφή της: $ds^2 = -dt^2 + a^2(t)[dx^2 + dy^2 + dz^2]$, όπου x, y, z οι καρτεσιανές συντεταγμένες ενός σημείου στον τριδιάστατο χώρο.

Πιο συγκεκριμένα, από τη Μεγάλη Έκρηξη μέχρι το πρώτο δευτερόλεπτο της ζωής του Σύμπαντος, η θερμοκρασία ήταν μεγαλύτερη από 10 δισεκατομμύρια βαθμούς και η ύλη βρισκόταν σε θερμοδυναμική ισορροπία με την ακτινοβολία.

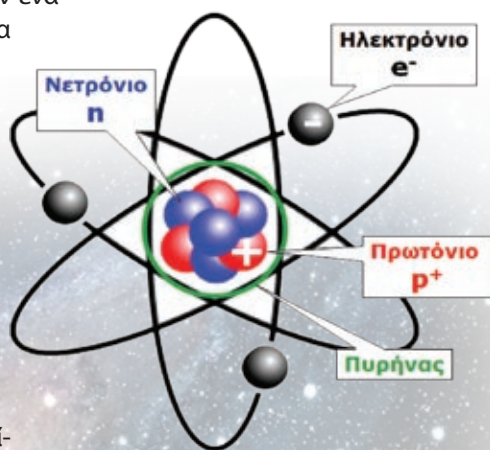
Αυτό συμβαίνει, επειδή η μέση ενέργεια των φωτονίων kT (όπου k η σταθερά Boltzmann), είναι μεγαλύτερη από την ενέργεια ηρεμίας (mc^2) του πρωτονίου. Έτσι, καθώς τα φωτόνια συγκρούονται (με τεράστιες ταχύτητες), η ενέργειά τους μετατρέπεται σε ύλη, με αποτέλεσμα συνεχώς να παράγονται ζεύγη πρωτονίων-αντιπρωτονίων (ή και ηλεκτρονίων-ποζιτρονίων) και αμέσως να εξαυλώνονται, παράγοντας ακτινοβολία.

Μετά από το πρώτο δευτερόλεπτο, η θερμοκρασία του Σύμπαντος άρχισε να πέφτει ραγδαία. Περίπου 1 δευτερόλεπτο μετά τη Μεγάλη Έκρηξη, η θερμοκρασία έχει πέσει στους 10^{10} K και έχουν δημιουργηθεί τα γνωστά ευσταθή σωματίδια (πρωτόνια, ηλεκτρόνια, νετρόνια και νετρίνα) μέσα σε μια «θάλασσα» φωτονίων. Η περίοδος που διανύει το Σύμπαν ονομάζεται «Περίοδος της Ακτινοβολίας» (Radiation Era) (βλέπε Εικόνα 1).

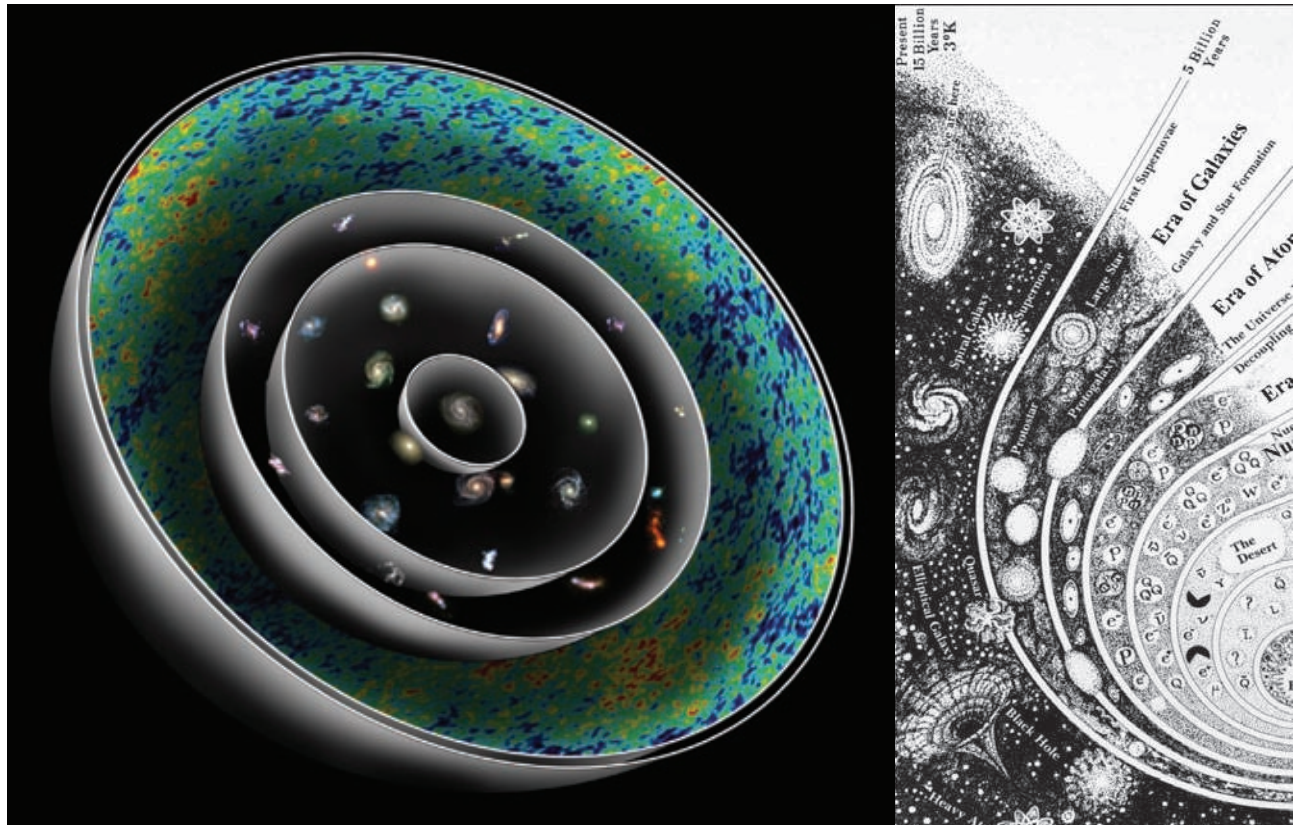
Μισή περίπου ώρα μετά, η θερμοκρασία έχει πέσει στους $10^9 - 10^8$ K και αρχίζει η «κοσμική πυρηνοσύνθεση» (nucleosynthesis), δηλαδή η δημιουργία των πυρήνων των χημικών στοιχείων. Στη φάση αυτή δημιουργήθηκε το ήλιο από το υδρογόνο (τέσσερα πρωτόνια έδωσαν ένα πυρήνα ήλιου). Όταν η πίεση και η θερμοκρασία δεν ήταν πια αρκετές για να ευνοήσουν τη μεταστοιχείωση του υδρογόνου σε ήλιο, η αναλογία των δύο αυτών στοιχείων σταθεροποιήθηκε σε 75% υδρογόνο και 25% ήλιο.

Όσο προχωρεί η διαστολή και η ψύξη του Σύμπαντος, η πυκνότητα της ύλης αυξάνει σε σχέση με την πυκνότητα της ακτινοβολίας. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στη διαφορετική συμπεριφορά ύλης και ακτινοβολίας κατά τη διαστολή⁶. Όταν η ηλικία του Σύμπαντος είναι 5×10^3 έτη ($1,6 \times 10^{11}$ sec) και η θερμοκρασία του 4×10^3 K, οι δύο αυτές πυκνότητες είναι συγκρίσιμες. Από το χρονικό σημείο αυτό η ύλη κυριαρχεί στο Σύμπαν, ενώ η ακτινοβολία γίνεται πλέον δευτερεύον συστατικό.

Η περίοδος αυτή ονομάζεται «Περίοδος κυριαρχίας της Ύλης» (Matter Dominated Era). (Εικόνα 1). Στην αρχή της περιόδου αυτής η ύλη εξακολουθεί να είναι ιονισμένη, δηλαδή τα άτομα είναι απογυμνωμένα από τα ηλεκτρόνια τους. Αυτό σημαίνει ότι παντού υπάρχουν ελεύθερα ηλεκτρόνια, πάνω στα οποία αντανακλάται η ακτινοβολία, με αποτέλεσμα η ακτινοβολία να βρίσκεται σε συνεχή αλληλεπίδραση με



⁶Αποδεικνύεται ότι η πυκνότητα ενέργειας της ακτινοβολίας μεταβάλλεται ανάλογα με την ποσότητα $a(t)^{-4}$, ενώ η πυκνότητα της ύλης μεταβάλλεται ανάλογα με την ποσότητα $a(t)^{-3}$. Επομένως για μικρές τιμές του $a(t)$, που σημαίνει μικρές τιμές της ηλικίας του Σύμπαντος, η πυκνότητα ενέργειας της ακτινοβολίας είναι μεγαλύτερη από αυτήν της ύλης, αλλά η διαφορά τους μειώνεται σταθερά.



την ύλη και να μην μπορεί να δραπετεύσει απ' αυτήν.

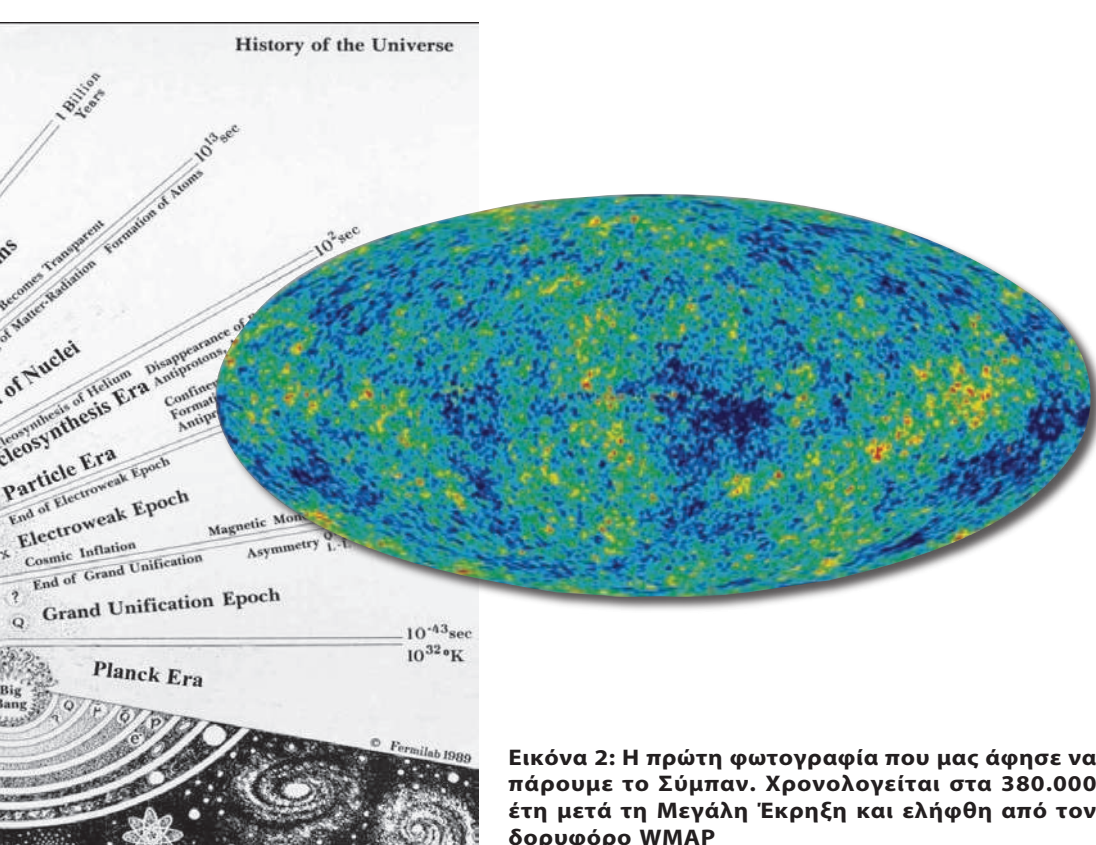
Το Σύμπαν φθάνει στην ηλικία των 380.000 ετών (10^{13} sec), η θερμοκρασία του είναι τώρα 3×10^3 K και συμβαίνει κάτι πολύ σημαντικό: **Η ύλη αποσυνδέεται από την ακτινοβολία.**

Αυτό συμβαίνει επειδή, λόγω της συνεχούς ψύξεως του Σύμπαντος, η θερμική ενέργεια των ηλεκτρονίων συνεχώς ελαττώνεται. Τα ηλεκτρόνια δεν έχουν πια επαρκή ενέργεια για να «δραπετεύουν», έτσι «συλλαμβάνονται» από τα θετικά ιόντα, με αποτέλεσμα η ιονισμένη ύλη να μετατραπεί σε ηλεκτρικά ουδέτερα. Επειδή ο σημαντικότερος μηχανισμός αλληλεπίδρασης ύλης και ακτινοβολίας είναι η σκέδαση των φωτονίων από ελεύθερα ηλεκτρόνια, είναι φανερό ότι μετά από αυτή τη χρονική στιγμή η ύλη εξελίσσεται πλέον ανεξάρτητα από την ακτινοβολία. Η ακτινοβολία ξεφεύγει από την ύλη και έτσι φθάνει στα μάτια μας η πρώτη εικόνα του Σύμπαντος (Εικόνα 2): «ακτινοβολία μικροκυμάτων υποβάθρου» (background microwave radiation).

Η θερμοκρασία του Σύμπαντος θα συνεχίσει να μειώνεται για να φθάσει σήμερα στους 2.73 K.

Μετά την ηλεκτρική ουδετεροποίηση της ύλης, σχηματίζονται τοπικές ανομοιογένειες της πυκνότητας, οι οποίες, υπό την επίδραση του πεδίου βαρύτητάς τους, συστέλλονται και σχηματίζουν νέφη αερίου, τους «πρωτογαλαξίες». Από τους πρωτογαλαξίες και ενώ η ηλικία του Σύμπαντος είχε φθάσει τα 10^9 έτη (ένα δισεκατομμύριο έτη) σχηματίστηκαν, τελικά, οι πρώτοι γαλαξίες και τα σμήνη γαλαξιών που σήμερα παρατηρούνται.⁷ (Εικόνα 3).

⁷Ο δικός μας Γαλαξίας (Milky Way) είναι κατά πολύ νεότερος, σχηματίστηκε περίπου 8 δισεκατομμύρια έτη μετά τη μεγάλη έκρηξη.



Εικόνα 2: Η πρώτη φωτογραφία που μας άφησε να πάρουμε το Σύμπαν. Χρονολογείται στα 380.000 έτη μετά τη Μεγάλη Έκρηξη και ελήφθη από τον δορυφόρο WMAP

Από εκεί και έπειτα τίποτε αξιοσημείωτο δε συμβαίνει στο Σύμπαν, αφού η δημιουργία γαλαξιών και αστέρων συνεχίζεται με αμείωτη ταχύτητα για 12,7 δισεκατομμύρια χρόνια, μέχρι και σήμερα.

Όλοι οι σχηματισθέντες γαλαξίες (πλην των κοντινών-γειτονικών)⁸ απομακρύνονται από όλους, σύμφωνα με την (κατά Hubble)⁹ αρχή διαστολής του Σύμπαντος.

ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ ΤΟΥ ΣΥΜΠΑΝΤΟΣ

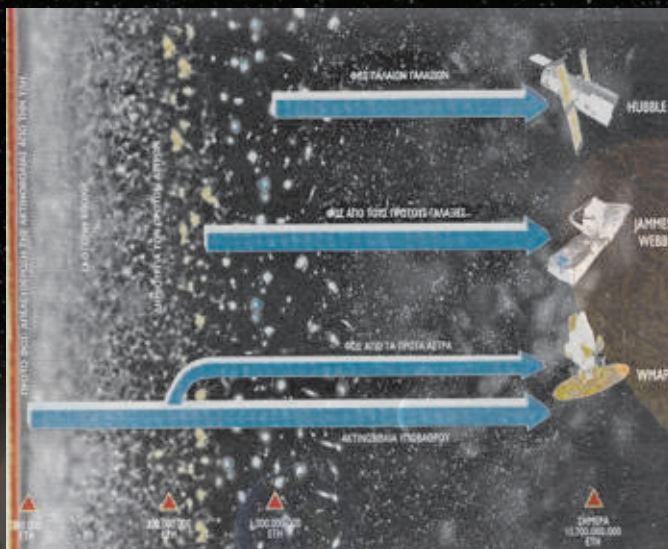
Για το ποια θα είναι η εξέλιξη και το μέλλον του Σύμπαντος, καθοριστικό ρόλο διαδραματίζει η βαρύτητα.

Ουσιαστικά από τις πρώτες στιγμές της ζωής του Σύμπαντος διεξάγεται ένας αγώνας μεταξύ της ορμής της Μεγάλης Έκρηξης και των βαρυτικών δυνάμεων. Από τη μία η ορμή που προήλθε από την ενέργεια που εξαπολύθηκε μετά τη Μεγάλη Έκρηξη, σπρώχνει το Σύμπαν προς τα «έξω», προκαλώντας του τη διαστολή που παρατηρούμε, ενώ από την άλλη οι βαρυτικές δυνάμεις τείνουν να εμποδίσουν την εξάπλωση αυτή, φρενάροντας τη διαστολή του.

Η ένταση της βαρύτητας όμως είναι ανάλογη με τη συνολική μάζα από την οποία

⁸Οι γειτονικοί γαλαξίες δεν ακολουθούν την αρχή διαστολής του Σύμπαντος, αλλά υποκύπτουν στην ελκτική δύναμη που το πεδίο βαρύτητός τους δημιουργεί. Αν θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε σχετικιστική ορολογία, η καμπύλωση που επιφέρει η μάζα ενός γαλαξία στον χωροχρόνο επηρεάζει τους γειτονικούς του γαλαξίες, ώστε οι απωστικές δυνάμεις διαστολής υπερνικούνται από τις ελκτικές δυνάμεις βαρύτητας, με αποτέλεσμα οι γειτονικοί γαλαξίες να αποκτούν τροχιές σύγκρουσης. Για παράδειγμα, ο δικός μας Γαλαξίας (The Milky Way) έχει αποκτήσει τροχιά σύγκρουσης με τον γειτονικό του γαλαξία M31 (Ανδρομέδα).

⁹Ο αστρονόμος Edwin Hubble απέδειξε το 1929, αναλύοντας το φάσμα των μακρινών γαλαξιών, ότι αυτοί απομακρύνονται ο καθένας από όλους, και μάλιστα πως όσο πιο απομακρυσμένος είναι ένας γαλαξίας τόσο μεγαλύτερη είναι και η ταχύτητα απομακρυνσεώς του από τους άλλους.



Εικόνα 3: Η εξέλιξη του Σύμπαντος από τη στιγμή που αυτό έγινε «διαφανές», από τη στιγμή δηλαδή που αποδεσμεύτηκε η ακτινοβολία από την ύλη, «ακτινοβολία μικροκυμάτων υποβάθρου», 380.000 έτη μετά τη μεγάλη έκρηξη, όπως τη λαμβάνουν οι διάφοροι δορυφόροι.

ασκείται, επομένως η μάζα και συγκεκριμένα η πυκνότητά του θα καθορίσει το μέλλον του Σύμπαντος.

Η εφαρμογή της «Γενικής Θεωρίας της Σχετικότητας» στα πλαίσια της Κοσμολογίας δίνει τρία πιθανά πρότυπα για το μέλλον του Σύμπαντος, τα οποία προκύπτουν από τις λύσεις των εξισώσεων πεδίου. Τα τρία αυτά πρότυπα είναι:

- το επίπεδο, • το κλειστό ή σφαιρικό και • το ανοιχτό ή υπερβολικό Σύμπαν.

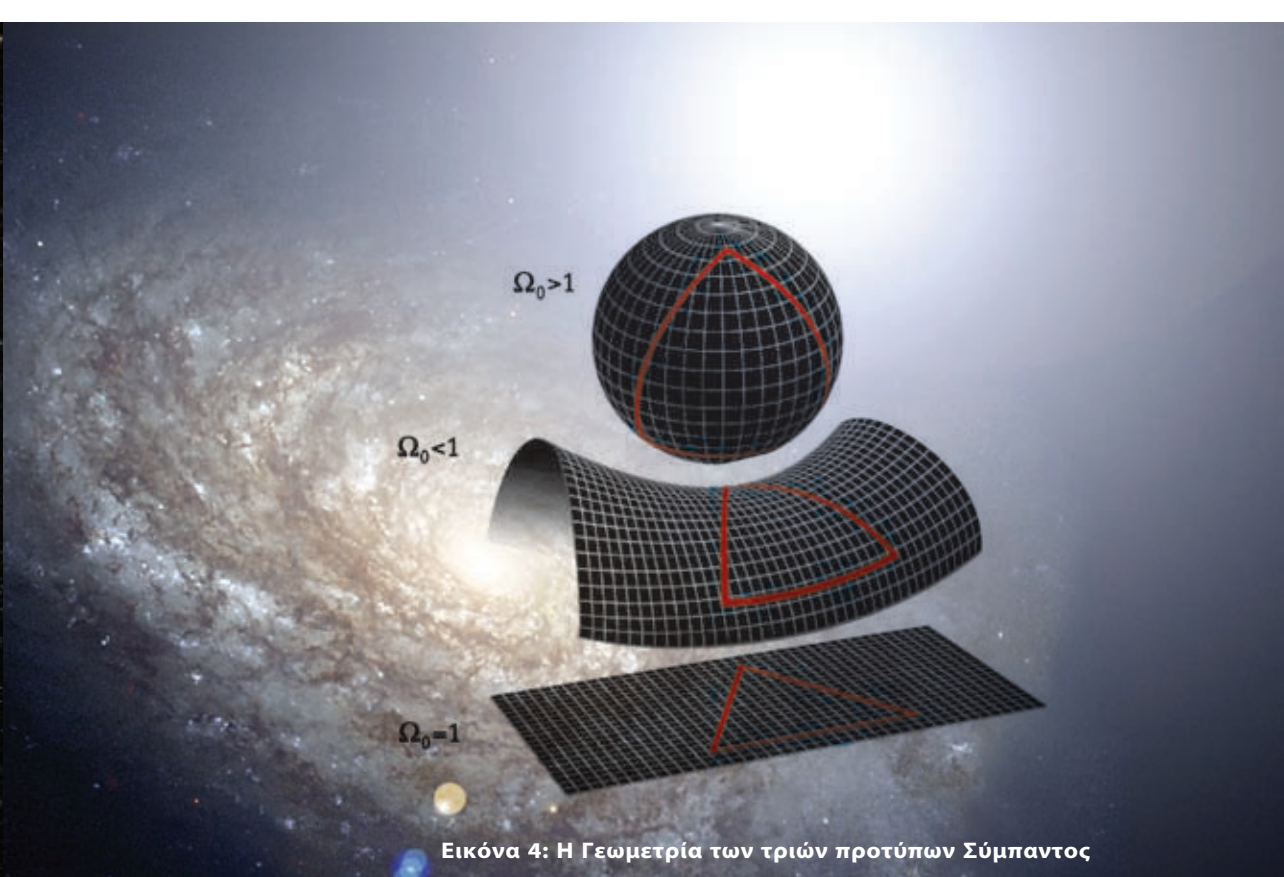
Η διάκριση των τριών αυτών προτύπων γίνεται με βάση τη μέση πυκνότητα της ύλης και την επιβράδυνση του ρυθμού διαστολής.

Συγκεκριμένα, για οποιαδήποτε κατανομή ύλης, άρα και για το Σύμπαν, υπάρχει μια πυκνότητα, η λεγόμενη *κρίσιμη πυκνότητα της ύλης* (critical density), για την οποία η κινητική ενέργεια του Σύμπαντος είναι, σε κάθε χρονική στιγμή, ίση και αντίθετη της δυναμικής βαρυτικής ενέργειάς του.¹⁰

Για την ευκολότερη κατανόηση των παρακάτω, ας θεωρήσουμε τον λόγο $\Omega = \rho / \rho_c$ (όπου ρ η πυκνότητα του Σύμπαντος και όπου ρ_c η κρίσιμη πυκνότητα).

Αν η πυκνότητα του Σύμπαντος σε κάποια χρονική στιγμή θα έφθανε να ήταν ίση με την κρίσιμη ($\Omega=1$), τότε θα συνέχιζε να είναι ίση με την κρίσιμη επ' άπειρον. Ο ρυθμός διαστολής θα ελαττωνόταν συνεχώς, έως ότου μηδενισθεί σε άπειρο χρόνο. Στην περίπτωση αυτή λέμε ότι το Σύμπαν είναι επίπεδο (flat). Στη γεωμε-

¹⁰Η κρίσιμη πυκνότητα δίνεται από τη σχέση: $\rho_c = 3H^2/8\pi G$ όπου H είναι η παράμετρος Hubble, η οποία εκφράζει την ταχύτητα διαστολής του Σύμπαντος με σημερινή τιμή $H_0 = 73 \text{ km/sec/Mpc}$, ενώ G είναι η παγκόσμια σταθερά της βαρύτητας. Η σημερινή τιμή της κρίσιμης πυκνότητας ύλης υπολογίζεται ότι είναι: $\rho_c = 5 \times 10^{-30} \text{ gr/cm}^3$.



Εικόνα 4: Η Γεωμετρία των τριών προτύπων Σύμπαντος

τρία ενός επιπέδου Σύμπαντος, το άθροισμα των γωνιών ενός τριγώνου ισούται ακριβώς με 2 ορθές γωνίες. (Σχήμα 3 στην Εικόνα 4).

Αν η πυκνότητα του Σύμπαντος είναι μεγαλύτερη της κρίσιμης ($\Omega > 1$), τότε ο ρυθμός διαστολής θα μηδενισθεί σε πεπερασμένο χρόνο, οι βαρυτικές δυνάμεις θα υπερσχύσουν και θα επακολουθήσει συστολή. Τελικά το Σύμπαν θα καταρρεύσει σε ένα σημείο άπειρης πυκνότητας. (Big Crunch). Στην περίπτωση αυτή λέμε ότι το Σύμπαν είναι κλειστό (closed) και έχει θετική καμπυλότητα. Η γεωμετρία του κλειστού Σύμπαντος είναι σφαιρική και το άθροισμα των γωνιών ενός τριγώνου είναι μεγαλύτερο από 2 ορθές. (Σχήμα 1 στην Εικόνα 4).

Τέλος, αν η πυκνότητα είναι μικρότερη της κρίσιμης ($\Omega < 1$), τότε η ορμή από τη Μεγάλη Έκρηξη θα υπερσχύσει των βαρυτικών δυνάμεων και το Σύμπαν θα συνεχίσει να διαστέλλεται για πάντα. Στην περίπτωση αυτή, το Σύμπαν είναι υπερβολικό και έχει αρνητική καμπυλότητα. Στη γεωμετρία του υπερβολικού Σύμπαντος, το άθροισμα των γωνιών ενός τριγώνου είναι μικρότερο από 2 ορθές. (Σχήμα 2 στην Εικόνα 4).

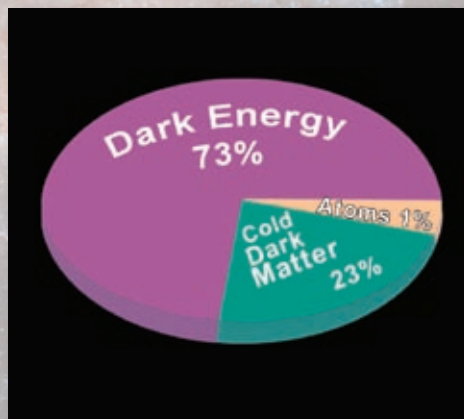
Πιο πάνω αναφέραμε ότι η μάζα και συγκεκριμένα η πυκνότητα του Σύμπαντος καθορίζει το μέλλον του. Πρόσφατες όμως παρατηρήσεις έδειξαν ότι το μεγαλύτερο μέρος της μάζας του Σύμπαντος δεν είναι άμεσα παρατηρήσιμο!

Η ορατή ύλη αποτελεί μόνο το 4% της συνολικής ύλης του Σύμπαντος.

Ένα 23% αποτελείται από «Σκοτεινή Ύλη», (μη βαρυονική ύλη, η προέλευσή της δεν έχει ακόμη πλήρως καθοριστεί) την οποία δεν μπορούμε να την παρατηρήσουμε, αφού δεν εκπέμπει ούτε απορροφά ακτινοβολία, αλλά αποτελείται από σωματίδια που αλληλεπιδρούν βαρυτικά μεταξύ τους και με τη γνωστή βαρυονική ύλη. Η σκοτεινή



Εικόνα 5: Η σκοτεινή ύλη εμφανίζεται, σε αυτή την εικόνα ενός σμήνους γαλαξιών, ως φωτοστέφανο σε μπλε χρώμα, ενώ η ορατή ύλη χρωματίστηκε κόκκινη.



Εικόνα 6: Κατανομή ύλης και ενέργειας στο Σύμπαν

ύλη πρέπει να είναι ηλεκτρικά ουδέτερη, αλλιώς θα είχε ανιχνευτεί, μπορεί όμως να συμμετέχει στις ασθενείς αλληλεπιδράσεις και να διαπερνά χωρίς δυσκολία μέσα από πυκνή ύλη. Οι επιστήμονες εικάζουν ότι βρίσκεται παντού στο Σύμπαν με μεγαλύτερη όμως συγκέντρωση στην «άλω» (φωτοστέφανο) των γαλαξιών. (Εικόνα 5).

Η πιο εμφανής ένδειξη υπάρξεως της σκοτεινής ύλης παρατηρείται κατά την περιστροφική κίνηση των σπειροειδών γαλαξιών (γύρω από το κέντρο τους) της οποίας η ταχύτητα είναι πολύ πιο μεγάλη από ό,τι θα αναμενόταν με βάση την ορατή βαρυονική ύλη προς την οποία θα έπρεπε να είναι ανάλογη. Σύμφωνα με την αναλογία αυτή η μάζα του Γαλαξία μας θα έπρεπε να είναι κατά πολύ μεγαλύτερη για να παραμείνει ευσταθής και να μην διασπασθεί η συνοχή του από τις φυγόκεντρες δυνάμεις που αναπτύσσονται.

Η ελλείπουσα αυτή μάζα πρέπει να είναι 10 φορές περισσότερη από την παρατηρούμενη ορατή ύλη του Γαλαξία. Η θεωρία της σφαιρικής άλως με την σκοτεινή ύλη αρκεί για να εξηγηθεί η σταθερότητα του Γαλαξία.

Το επιπλέον αυτό ποσοστό ύλης θα έπρεπε να κάνει τη ζυγαριά να κλίνει προς την πλευρά του μοντέλου του κλειστού σφαιρικού Σύμπαντος. Υπάρχει όμως και ένα άλλο ακόμη πιο μυστηριώδες συστατικό του Σύμπαντος που ονομάζεται «Σκοτεινή Ενέργεια» που επηρεάζει την εξέλιξή του. Αυτή αποτελεί το υπόλοιπο 73% και δε συμπυκνώνεται τοπικά, όπως συμπυκνώνεται η ύλη εξαιτίας της βαρύτητάς της, αλλά είναι ομοιόμορφα κατανεμημένη σε ολόκληρο το Σύμπαν, επηρεάζοντας τη συνολική διαστολή του. Η σκοτεινή ενέργεια (αντιθέτου φύσεως από την ενέργεια που προέρχεται από τις ελκτικές δυνάμεις των βαρυτικών πεδίων) προκαλεί απωστικές δυνάμεις μεταξύ των πολύ απομακρυσμένων δομών του Σύμπαντος (γαλαξίες). Μάλιστα οι απωστικές αυτές δυνάμεις είναι τόσο μεγαλύτερες όσο μεγαλύτερη είναι και η απόστασή τους. Αυτές, λοιπόν, οι δυνάμεις είναι πολύ μεγαλύτερες από τις ελκτικές δυνάμεις μεταξύ των γαλαξιών, με

αποτέλεσμα το Σύμπαν να διαστέλλεται με ολοένα και μεγαλύτερη ταχύτητα. Η διαστολή αυτή του Σύμπαντος αναμενόταν από τη θεωρία της Μεγάλης Έκρηξης, αυτό που δεν αναμενόταν είναι η τόσο ραγδαίως επιταχυνόμενη διαστολή του.

Στο σχήμα της Εικόνας 7 φαίνονται σε γράφημα τα πιθανά σενάρια διαστολής του Σύμπαντος. Στον κατακόρυφο άξονα απεικονίζεται το σχετικό μέγεθος του Σύμπαντος, ενώ στον οριζόντιο απεικονίζεται ο χρόνος σε δισεκατομμύρια έτη.

Στο γράφημα αναπαριστώνονται τέσσερις διαφορετικές καμπύλες για τη διαστολή του Σύμπαντος, κάθε χρώμα για διαφορετική τιμή του λόγου Ω , όπως φαίνεται στο σχετικό υπόμνημα.

Η πορτοκαλί καμπύλη αναπαριστά ένα κλειστό, υψηλής πυκνότητας Σύμπαν (εδώ είναι $\Omega=5>1$). Σύμφωνα με αυτό το πρότυπο, το Σύμπαν διαστέλλεται για μερικά δισεκατομμύρια έτη, κατόπιν η διαστολή σταματά, μετά αντιστρέφεται και συστελλόμενο καταρρέει υπό την επίδραση της βαρύτητας, για να φθάσει τελικά στο σημείο της μεγάλης σύνθλιψης στο οποίο όλη η μάζα του έχει καταρρεύσει σε ένα σημείο μηδενικών διαστάσεων, με άπειρη πυκνότητα. (Big Crunch)

Η πράσινη καμπύλη αναπαριστά ένα επίπεδο, κρίσιμης πυκνότητας Σύμπαν (εδώ είναι $\Omega=1$). Σ' αυτό η ταχύτητα διαστολής συνεχώς μειώνεται, χωρίς όμως να μηδενίζεται ποτέ (η ταχύτητα διαστολής μηδενίζεται θεωρητικά στο άπειρο) και η καμπύλη τείνει να γίνει όλο και πιο οριζόντια και ευθεία.

Η μπλε καμπύλη αναπαριστά ένα ανοιχτό, χαμηλής πυκνότητας Σύμπαν ($\Omega=0,3$), του οποίου η ταχύτητα διαστολής συνεχώς μειώνεται, αλλά όχι με τον ρυθμό του προηγούμενου προτύπου, διότι η βαρυτική έλξη δεν είναι τόσο δυνατή.

Τέλος, η κόκκινη καμπύλη ($\Omega_m=0,3$ αλλά με λόγο σκοτεινής ενέργειας $\Omega_v=0,7$) αναπαριστά ένα ανοιχτό υπερβολικό Σύμπαν, ένα κλάσμα της ύλης του οποίου έχει την μορφή «σκοτεινής ενέργειας» (Dark Energy), η οποία ευθύνεται για την επιτάχυνση της διαστολής του.

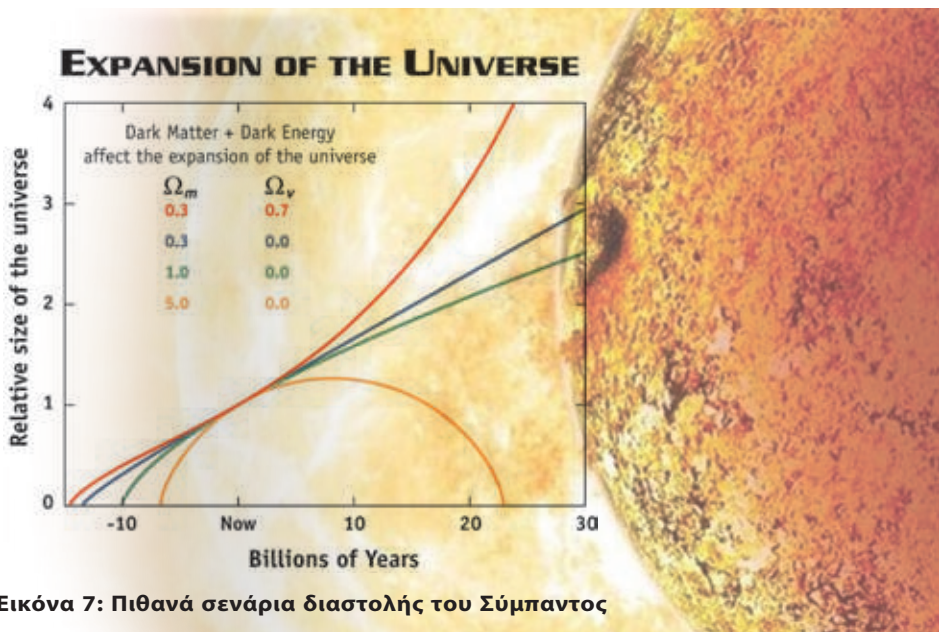
Για να κατανοήσουμε καλύτερα τη γεωμετρία του Σύμπαντος, δηλαδή τι σημαίνει όταν αναφερόμαστε σε αρνητική ή θετική καμπυλότητα, θα αναλύσουμε τα σχήματα της εικόνας 8.

Ας υποθέσουμε ότι ο «εξωγήινος» του επιπέδου σχήματος εξαπολύει από τα δύο όπλα του δύο παράλληλες ακτίνες φωτός. Αυτές θα συνεχίσουν επ' άπειρον να διατηρούν την παραλληλία τους.

Στο σχήμα που αναπαριστά το κλειστό Σύμπαν, αν ο «εξωγήινος» εξαπολύσει δύο παράλληλες ακτίνες, τότε αυτές θα καταλήξουν κάποια στιγμή συγκλίνουσες στο σημείο απ' όπου εκπέμφθηκαν, χωρίς οι ίδιες να καμπυλωθούν! Αυτό οφείλεται στη θετική καμπυλότητα του χώρου που οδηγεί τις παράλληλες ακτίνες σε συγκλίνουσα πορεία.

Στην περίπτωση του ανοιχτού υπερβολοειδούς Σύμπαντος οι παράλληλες ακτίνες αποκλίνουν, δίχως να καμπυλώνονται οι ίδιες (το φως μεταδίδεται ευθύγραμμα), αλλά, εξαιτίας της αρνητικής καμπυλότητας του χώρου, θα συνεχίσουν να αποκλίνουν επ' άπειρον.

Οποιοδήποτε πρότυπο και αν ισχύει για το Σύμπαν, είτε αυτό είναι κλειστό είτε ανοικτό, θα ήταν λάθος αν θεωρούσαμε κάποιον γαλαξία ως το κέντρο της διαστολής του, (συνήθως λανθασμένα θεωρούμε τον Γαλαξία μας ως κέντρο του



Εικόνα 7: Πιθανά σενάρια διαστολής του Σύμπαντος

Σύμπαντος), διότι ουσιαστικά δεν υφίσταται τέτοιο σημείο.

Ένα απλό ανάλογο του Σύμπαντος και της διαστολής του είναι αυτό ενός μπαλονιού. Αν σημειώσουμε διάφορα σημεία πάνω στο μπαλόνι, τότε, ενώ θα φουσκώνουμε το μπαλόνι, τα σημεία θα απομακρύνονται μεταξύ τους, χωρίς κάποια να πλησιάζουν σε κάποια άλλα. Όλα τα σημεία απομακρύνονται από όλα. Ο χώρος είναι η διδιάστατη επιφάνεια του μπαλονιού, η οποία είναι μεν πεπερασμένη, χωρίς όμως πέρατα. Έτσι, το κάθε σημείο έχει την αίσθηση ότι περιβάλλεται από όλα τα άλλα και ότι αποτελεί το κέντρο· εντύπωση ασφαλώς λανθασμένη. Επομένως δεν υπάρχει κέντρο της επιφάνειας, αφού το εσωτερικό του μπαλονιού (αλλά και το εξωτερικό του) δεν ανήκει στην επιφάνεια. Αν τώρα θεωρήσουμε τη διδιάστατη επιφάνεια του μπαλονιού ως το Σύμπαν και τα ζωγραφισμένα σημεία ως γαλαξίες, τότε το φούσκωμα του μπαλονιού μπορεί να θεωρηθεί ότι απεικονίζει τη διαστολή του Σύμπαντος και η απομάκρυνση των σημείων την απομάκρυνση των γαλαξιών κατά τη διαστολή του. Ουσιαστικά όμως δεν είναι οι γαλαξίες που απομακρύνονται μεταξύ τους, αλλά ο χώρος είναι αυτός που «ξεχειλώνει».

Συνοψίζοντας, λοιπόν, μπορούμε να πούμε ότι υπάρχουν δύο δυνατότητες για την εξέλιξη του Σύμπαντος. Το ανοικτό υπερβολικό και το επίπεδο Σύμπαν εξελίσσονται κατά ένα μη αντιστρεπτό τρόπο· θα διαστέλλονται, δηλαδή, επ' άπειρον. Αν το Σύμπαν είναι κλειστό, η εξέλιξή του θα είναι αντιστρεπτή: αφού, δηλαδή, το Σύμπαν φθάσει στις μέγιστες διαστάσεις του, θα αρχίσει, υπό την επίδραση του βαρυτικού πεδίου του, να συστέλλεται και τελικά θα καταρρεύσει μέσα στην ίδια την ύλη προς μια δεύτερη ανωμαλία, όμοια με την αρχική, από την οποία θεωρείται ότι προήλθε. Προοδευτικά, όλοι οι γαλαξίες θα σχηματίσουν μια τεράστια ενιαία μάζα, η ακτινοβολία θα γίνει κυρίαρχη και η ύλη θα διασπασθεί στις πλέον στοιχειώδεις μορφές της. Η τελική κατάρρευση

Εικόνα 8: Η συμπεριφορά παράλληλης δέσμης φωτονίων ανάλογα με τη γεωμετρία του Σύμπαντος



(μεγάλη σύνθλιψη) θα συμβεί όπως και η αρχική έκρηξη κατά τη δημιουργία, μόνο που τώρα θα φαίνεται να γίνεται κατά την αντίστροφη φορά του χρόνου.¹¹

Ένα ανοικτό θέμα έρευνας στο πλαίσιο της σύγχρονης κοσμολογίας είναι το λεγόμενο «Νεαρό Σύμπαν» και ό,τι συνέβη στο πρώτο πολύ μικρό κλάσμα του πρώτου δευτερολέπτου μετά τη Μεγάλη Έκρηξη.

Συγκεκριμένα από την Αρχή της Δημιουργίας και μέχρι το 10^{-43}sec , η επιστήμη είναι «τυφλή»,¹² διότι στο χρονικό εκείνο διάστημα η καμπυλότητα, η πυκνότητα και η θερμοκρασία του Σύμπαντος ήταν άπειρη και επομένως τα Μαθηματικά της Γενικής Θεωρίας της Σχετικότητας (ΓΘΣ) αδυνατούν να περιγράψουν το πρώιμο Σύμπαν.

Τη χρονική στιγμή 10^{-43}sec (Χρόνος Planck), οι διαστάσεις του Σύμπαντος είναι 10^{-33}cm (Μήκος Planck), η πυκνότητα είναι 10^{32}gr/cm^3 (Πυκνότητα Planck) και η θερμοκρασία του φθάνει στους 10^{93}K (Θερμοκρασία Planck). Παρατηρούμε ότι οι τιμές των χαρακτηριστικών του Σύμπαντος τη στιγμή εκείνη είναι απείρως μεγάλες και φθάνουν στο άπειρο τη χρονική στιγμή της Μεγάλης Έκρηξης. Έτσι πριν το σημείο 10^{-43}sec , οι εξισώσεις πεδίου της ΓΘΣ, που συνδέουν τη γεωμετρία (δηλαδή την καμπυλότητα) του τετραδιάστατου χωροχρόνου¹³ με την κατανομή της ύλης σ' αυτόν, προβλέπουν την ύπαρξη μιας «ανωμαλίας» του χωροχρόνου, στην οποία η πυκνότητα και η καμπυλότητά του απειρίζονται. Η ανωμαλία αυτή είναι η «μαθηματική περιγραφή» της Μεγάλης Έκρηξης.

Επειδή, όπως αναφέραμε παραπάνω, τα μαθηματικά της ΓΘΣ αδυνατούν να περιγράψουν την ανωμαλία αυτή, είναι απαραίτητη μια ενοποιημένη θεωρία που

¹¹Από τα διαθέσιμα παρατηρησιακά δεδομένα προκύπτει ότι η παρατηρούμενη σήμερα πυκνότητα της ορατής ύλης (δηλαδή, αυτής που ακτινοβολεί ηλεκτρομαγνητική ενέργεια) είναι σαφώς μικρότερη από την κρίσιμη. Το συμπέρασμα αυτό δεν αλλάζει ακόμη και αν συνυπολογίσουμε στην ολική πυκνότητα του Σύμπαντος και την «σκοτεινή ύλη», η φύση της οποίας είναι σήμερα άγνωστη, αλλά τα βαρυτικά αποτελέσματά της στην ορατή ύλη είναι παρατηρήσιμα. Επομένως, η περίπτωση του κλειστού Σύμπαντος δε θεωρείται πιθανή.

¹²Πρέπει να σημειωθεί ότι στο χρονικό διάστημα από 10^{-43}sec μέχρι το 380.000 έτη οι πληροφορίες που έχουμε δεν προέρχονται απ' ευθείας από την παρατήρηση αλλά από τα Μαθηματικά της ΓΘΣ, διότι, όπως έχουμε πει, η ακτινοβολία πριν ήταν δεσμευμένη με την ύλη και δεν μετέφερε πληροφορίες.

¹³Τρεις διαστάσεις για τον χώρο και μία για τον χρόνο.

να συνδέει τις δομές μεγάλης κλίμακος στο Σύμπαν με τις δομές του μικρόκοσμου και τα στοιχειώδη σωματίδια, με κεντρικό πυλώνα την ενοποίηση των τεσσάρων γνωστών δυνάμεων στη φύση.¹⁴

Με άλλα λόγια, για να μπορέσουμε να περιγράψουμε τα πρώτα στάδια του Σύμπαντος, θα πρέπει να συνδυάσουμε τη Γενική Θεωρία της Σχετικότητας, ως γεωμετρική θεωρία βαρύτητας, με την Κβαντική Θεωρία, η οποία είναι απαραίτητη για την περιγραφή του πολύ μικρότερων τότε διαστάσεων Σύμπαντος.

Μία τέτοια θεωρία («Θεωρία των Πάντων» όπως έχει ονομαστεί) δεν έχει ακόμη βρεθεί, είναι όμως αντικείμενο έρευνας της σύγχρονης Κοσμολογίας. Πολλά ερευνητικά προγράμματα πάνω στη Γη (υπόγειο εργαστήριο CERN στα Γαλλοελβετικά σύνορα), αλλά και υπερσύγχρονοι δορυφόροι που έχουν εκτοξευθεί στο διάστημα (δορυφόρος Planck που βρίσκεται σε τροχιά 1.500.000 km μεταξύ Γης-Ηλίου), είναι προσανατολισμένα προς αυτή την κατεύθυνση έρευνας.

Επαναπροσδιορίζοντας τον ορισμό της Κοσμολογίας καταλήγουμε ότι είναι κλάδος της Αστροφυσικής, με επεκτάσεις και σε άλλες επιστήμες (Μαθηματικά Φυσική, Χημεία, αλλά και Φιλοσοφία). Είναι μια σύγχρονη επιστήμη που μελετά τη δομή του Σύμπαντος σε μεγάλη κλίμακα, την προέλευσή του, τα στάδια της εξέλιξής του και την κατάληξη που θα έχει.

Μελετώντας την, φθάνουμε στις άκρες του Σύμπαντος, στο τελικό όριο. Φθάνοντας σε τόσο βαθιά επίπεδα γνώσεως, αποκαλύφθηκε η αλήθεια ότι η Γη, ο μικρός πλανήτης που μας φιλοξενεί, δεν αποτελεί το προνομιούχο σημείο, το κέντρο του κόσμου, που κατά το παρελθόν πιστεύαμε! Από το κέντρο του κόσμου μάθαμε ότι δεν είμαστε παρά ο τρίτος πλανήτης (και μάλιστα ένας από τους μικρότερους) του Ηλιακού μας συστήματος, το οποίο πάλι δεν κατέχει κάποια ιδιαίτερη θέση στην αγκαλιά του Γαλαξία μας στην οποία παρατηρήσαμε ότι αναπαύεται, μαζί με άλλους 200.000.000.000 Αστέρες ή αστρικά συστήματα. Αλλά και ο ίδιος ο Γαλαξίας μας δεν είναι τίποτε παραπάνω από ένας συνηθισμένος σπειροειδής γαλαξίας, από τους δισεκατομμύρια που υπάρχουν στο Σύμπαν. Ακόμη και το σμήνος μέσα στο οποίο βρίσκεται ο Γαλαξίας μας, το ταπεινό σμήνος της Παρθένου, είναι ένα από τα εκατομμύρια σμήνη που βλέπουμε σήμερα με τα τηλεσκόπιά μας.

Όλα αυτά θα πρέπει να μας κάνουν ταπεινούς και όχι υπερόπτες, να μας κάνουν να σκεφθούμε ότι *«όσο αυξάνει η ακτή της γνώσης, μεγαλώνει και το νησί της άγνοιάς μας!!!»*

Βέβαια από την άλλη μπορούμε να δούμε και ένα αισιόδοξο μήνυμα της γνωστής θεωρίας της «Ανθρωπικής Αρχής», που η σύγχρονη Κοσμολογία έφερε στο φως. Σύμφωνα με την αρχή αυτή, το ποσό ύλης και ενέργειας που περιέχει το Σύμπαν, καθώς και οι τιμές των φυσικών σταθερών είναι οι συγκεκριμένες, ώστε να υπάρξουν οι συνθήκες δημιουργίας ζωής. Με άλλα λόγια το Σύμπαν δημιουργήθηκε έτσι ώστε να υπάρξουμε εμείς για να το μελετούμε!

Πράγματι αν το Σύμπαν περιείχε μικρότερο ποσό συνολικής υλο-ενέργειας, τότε θα διαστελλόταν με ταχύτερο ρυθμό και η βαρύτητα δεν θα ήταν σε θέση

¹⁴Οι τέσσερις γνωστές δυνάμεις στη φύση είναι: Βαρυτικές, Ηλεκτρομαγνητικές, Ισχυρές Πυρηνικές, Ασθενείς Πυρηνικές.

να νικήσει τη διαστολή σε μικρότερες κλίμακες, ώστε να δημιουργηθούν πυκνώματα ύλης, από τα οποία προήλθαν οι αστέρες και γαλαξίες που με τη σειρά τους δημιούργησαν τη ζωή! Αντίθετα αν το Σύμπαν περιείχε μεγαλύτερο ποσό υλο-ενέργειας, τότε θα διαστελλόταν βραδύτερα, ώστε γρήγορα θα είχε συσταλεί σε μια υπέρθερμη θάλασσα-σούπα σωματιδίων και ακτινοβολίας, πριν προλάβουν να σχηματιστούν οι γαλαξίες, τα άστρα, η ζωή!

Τέλος, αν η τιμή μίας μόνο σταθεράς, π.χ. η ενέργεια σύνδεσης πρωτονίων στον πυρήνα, ήταν έστω και ελάχιστα διαφορετική, δεν θα είχαν σχηματιστεί οι πυρήνες, τα άτομα, τα μόρια για να σχηματίσουν με τη σειρά τους τη γνωστή ύλη από την οποία αποτελούνται οι δομές του Σύμπαντος και η ζωή.

Και στις τρεις περιπτώσεις δε θα είχαμε δημιουργηθεί εμείς οι άνθρωποι. Οι περισσότερες από αυτές τις τιμές θα αντιστοιχούσαν σε κάποιο Σύμπαν που ίσως και να ήταν πολύ πιο όμορφο, δε θα περιείχε όμως κανένα ον ικανό να θαυμάσει αυτή την ομορφιά.

Και εδώ βρίσκεται το αισιόδοξο μήνυμα της Ανθρωπικής Αρχής: ότι ο Άνθρωπος είναι το σημαντικότερο δημιούργημα, διότι χωρίς αυτόν το Σύμπαν δεν θα είχε λόγο ύπαρξης, αφού δεν θα υπήρχε κανένας για να το παρατηρήσει! Με άλλα λόγια: «ο Δημιουργός, έφτιαξε τον Κόσμο ειδικά για τον άνθρωπο!!!»¹⁵

Άραγε ο άνθρωπος είναι άξιος γι' αυτήν την τιμή που του έκανε ο Δημιουργός; Για να αποδειχθούμε άξιοι αυτής της τιμής θα πρέπει να συνδυάσουμε την ταπεινοφροσύνη με την αισιοδοξία. Πρέπει να αναλογιστούμε το πόσο μικροί είμαστε, κοιτάζοντας την απεραντοσύνη του Σύμπαντος, αλλά και να πιστέψουμε πόσο μεγάλοι μπορούμε να γίνουμε, αφού γι' αυτό είμαστε προορισμένοι! Μόνον τότε θα εκπληρώσουμε την αποστολή μας στο μεγάλο μας ταξίδι, που είναι και ο τελικός σκοπός της Δημιουργίας του Σύμπαντος!!!

¹⁵Ως εμεγαλύνθη τα έργα σου, Κύριε πάντα εν σοφία εποίησας! (Ακολουθία του εσπερινού (Ψαλμός ργ').

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ☞ Hartle, James B., *Gravity: An Introduction to Einstein's General Relativity*.
- ☞ Hawking, Stephen, *Το χρονικό του Χρόνου*.
- ☞ Kokkotas, Kostas, *Cosmology*, January 25, 2011.
- ☞ Sean M. Carroll, *Space time and Geometry: An Introduction to General Relativity*.
- ☞ Sagan, Carl – I.S. Sklovski, *Το Σύμπαν*.
- ☞ Αυγολούπη, Σταύρου, *Αρχή και Τέλος (Η Ιστορία του Σύμπαντος)*.
- ☞ Εγκόλπιο του Αναγνώστου: Ακολουθία του εσπερινού (Ψαλμός ργ').
- ☞ Σειραδάκη, Ιωάννη, *Κοσμολογία* (Σημειώσεις για τους Φοιτητές του ΑΠΘ).
- ☞ Σπύρου, Νικολάου, *Εισαγωγή στη Γενική Θεωρία της Σχετικότητας*.

ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ

- ☞ www.physics4u.gr: Το Διαστελλόμενο Σύμπαν και η Γεωμετρία του
- ☞ www.physics4u.gr: Η Σκοτεινή Ενέργεια
- ☞ <http://el.wikipedia.org>: Η Σκοτεινή Ύλη