



Κοσμολογία: Η Επιστήμη της Γένεσης και Εξέλιξης του Σύμπαντος

Δρ. Μανώλης Πλειώνης, Νοέμβριος 2003

ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑΣ ΚΑΙ ΑΣΤΡΟΦΥΣΙΚΗΣ, ΕΑΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΔΡΟΜΗ
2. Η ΘΕΩΡΙΑ ΤΗΣ ΜΕΓΑΛΗΣ ΕΚΡΗΞΗΣ
3. ΑΛΛΕΣ ΚΟΣΜΟΛΟΓΙΚΕΣ ΘΕΩΡΙΕΣ
4. ΤΑ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΣΥΜΠΑΝΤΟΣ
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ
6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Η Κοσμολογία παρόλο που προσπαθεί να δώσει απάντηση σε θεμελιώδη ερωτήματα που έθεσε ο άνθρωπος από την αυγή του πολιτισμού, είναι μια σχετικά νέα επιστήμη, που θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως επιστήμη του 20^{ου} αιώνα. Το ερώτημα **"Πώς δημιουργήθηκε το Σύμπαν και ο Άνθρωπος;"** -στο οποίο μέχρι πρόσφατα η απάντηση αναζητιόταν μόνο στο χώρο της Φιλοσοφίας και της Θρησκείας- άπτεται πλέον της Επιστήμης και των μεθοδολογιών της. Η ιστορική διαδρομή που διάνυσε η ανθρώπινη νόηση για να φτάσει στο σημείο να μελετά με αυστηρά επιστημονικές μεθόδους την ίδια τη γένεση και εξέλιξη του Σύμπαντος είναι πολύ μακρά και έχει περάσει μέσα από δαιδαλώδεις λαβύρινθους αναζήτησης. Μόνο στις αρχές του 20^{ου} αιώνα με την ανάπτυξη της φασματοσκοπίας, των μεγάλων τηλεσκοπίων αλλά και με την θεμελίωση της Γενικής Θεωρίας της Σχετικότητας, η Κοσμολογία κατέκτησε την θέση της, περίοπτη μάλιστα, ανάμεσα στις σύγχρονες επιστήμες.



1. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΔΡΟΜΗ

Κάνοντας μια μικρή ιστορική διαδρομή των κοσμολογικών αντιλήψεων μέσα στους αιώνες, δεν μπορούμε παρά να σταματήσουμε στην αρχαία Ελλάδα και να θαυμάσουμε τις φιλοσοφικές αναζητήσεις και τα συμπεράσματα στα οποία κατέληξαν οι πρόγονοί μας παρατηρώντας τη Φύση. Οι αρχαίοι Έλληνες στοχαστές, ιδιαίτερα οι Ίωνες, ήταν οι πρώτοι στην ιστορία του ανθρώπινου πολιτισμού που απορρίπτοντας τις μυστικιστικές δοξασίες και τις μυθολογικές διηγήσεις και ερμηνείες περί της γένεσης του κόσμου -διηγήσεις που κυριαρχούν στους λαμπρούς πολιτισμούς της Ανατολής- αποπειράθηκαν να εξηγήσουν το Σύμπαν στη βάση των Φυσικών επιστημών. Πολλές φορές προσέγγισαν με εκπληκτική διορατικότητα σύγχρονες επιστημονικές αλήθειες, που για να τις κατακτήσει η ανθρωπότητα χρειάστηκε η συσσώρευση γνώσης δεκάδων αιώνων.

Ο **Πυθαγόρας** (572~495 πΧ) δεινός μαθηματικός και μία από τις πιο γνωστές προσωπικότητες της αρχαιότητας πίστευε ότι οι αριθμοί αποτελούν την βάση των πάντων και απέδιδε σε αυτούς μυστικιστικές δυνάμεις. Στον Πυθαγόρα αποδίδεται η διαπίστωση ότι η γη και τα άλλα κοσμικά σώματα είναι σφαιρικά ενώ είναι άγνωστο το πώς κατέληξε σε αυτή την άποψη αν και εικάζεται ότι οι λόγοι ήταν καθαρά αισθητικοί, λόγω της τελειότητας του σφαιρικού σχήματος. Επίσης η κίνηση των πλανητών αντίθετα προς την φαινόμενη περιστροφική κίνηση της σφαίρας των απλανών πέριξ της γης πρώτα διαπιστώνεται από τον Πυθαγόρα. Παρότι ο ίδιος πίστευε στο γεωκεντρικό σύστημα, αυτές του οι διαπιστώσεις οδήγησαν τους ύστερους Πυθαγόρειους (πρώτος ο Φιλόλαος) στο να διατυπώσουν ένα κοσμολογικό σύστημα στο οποίο η γη δεν βρίσκεται πλέον στο κέντρο του Σύμπαντος αλλά περιστρέφεται, μαζί με τον ήλιο και τους άλλους πλανήτες, γύρω από ένα κοινό κέντρο, το Κεντρικό Πυρ.

Δύο περίπου αιώνες αργότερα και δεκαοκτώ περίπου αιώνες πριν τον Κοπέρνικο, ο **Αρίσταρχος ο Σάμιος** προτείνει το Ηλιοκεντρικό σύστημα: **"υποτίθεται γάρ τὰ απλανέα των άστρων καί τόν ήλιον μένειν ακίνητον, τάν δέ γαν περιφέρεσθαι περί τόν ήλιον κατά κύκλου περιφέρειαν, ός έστιν έν μέσω τώ δρόμω κείμενος"**. Αυτή του η θέση δεν έγινε αποδεκτή από το φιλοσοφικό κατεστημένο της εποχής που αποδεχόταν άκριτα την κυρίαρχη Αριστοτελική φιλοσοφική θεώρηση σύμφωνα με την οποία η Γη, η κατοικία Θεών και ανθρώπων, ήταν το κέντρο του Σύμπαντος (δες σχετικό άρθρο των **Κοσμικών Διαδρομών**). Ο **Ηράκλειτος ο Εφέσιος** (~500 πΧ), ο πατέρας της Διαλεκτικής κατά πολλούς, βασίζεται στον κόσμο των αισθήσεων και γίνεται ο φιλόσοφος του γίνεσθαι, της διαρκούς εξέλιξης και της αδιάκοπης μεταβολής της Φύσης. Είναι χαρακτηριστική η θέση του: **πυρός τε ανταμοιβή τὰ πάντα καί πύρ δέ πάντων**, που διαισθητικά προσεγγίζει την ταυτότητα ύλης και ενέργειας μέσω της μετατροπής του ενός στο άλλο. Αντίθετα ο **Παρμενίδης** (~480 πΧ), ο ιδρυτής της φιλοσοφικής σχολής της Ελέας στη Σικελία, ξεπερνά τον κόσμο του ορατού και των αισθήσεων σαν την μόνη πραγματικότητα και προβάλλει το άφθαρτο, αιώνιο και αμετάβλητο Ον που αντιπαραβάλλεται στο προϊόν των αισθήσεων, στον κόσμο των φαινομένων που αποτελούν τις δοξασίες. Παρόλο που η φιλοσοφία του Παρμενίδη είναι σε αντιδιαστολή με τις φιλοσοφίες του γίνεσθαι, θα μπορούσε ίσως ο κόσμος των δοξασιών να ειπωθεί σαν το σύνολο των ανθρωπίνων ερμηνειών της Φύσης, που αποτελούν το σύνολο της ανθρώπινης γνώσης, με την οποία ο Άνθρωπος προσπαθεί να προσεγγίσει την απόλυτη Αλήθεια (το Ον του Παρμενίδη), Άλλες εξαιρετικά ενδιαφέρουσες θέσεις του Παρμενίδη είναι περί της σφαιρικότητας της Γης και περί του ότι δεν υπάρχει γένεση από το Τίποτα ούτε φθορά που να καταλήγει στο Τίποτα, θέση που θυμίζει την αρχή διατήρησης της ενέργειας.

Ο **Εμπεδοκλής** (492-435 πΧ) από τον Ακράγαντα της Σικελίας, φιλόσοφος, μελετητής της Φύσης, γιατρός και ποιητής αναζητεί και αυτός σαν τον Παρμενίδη το Ον αλλά χωρίς να αγνοεί τον κόσμο των αισθήσεων που μέσω αυτού το αναζητεί. Το βρίσκει τελικά στα τέσσερα στοιχεία: γη, νερό, φωτιά και αέρα. Χαρακτηριστικό της σκέψης του Εμπεδοκλή είναι η σύνθεση μέσω των αντιθετικών αλλά κινητήριων δυνάμεων της αγάπης και της διχόνοιας. Ιδιαίτερως διορατική είναι η άποψη του ότι το φως διαδίδεται και μάλιστα με πεπερασμένη ταχύτητα σε αντίθεση με τον Αριστοτέλη που πίστευε ότι το φως ήταν αποτέλεσμα μιας ποιοτικής και στιγμιαίας αλλαγής του περιβάλλοντος. Ο **Αναξαγόρας ο Κλαζομένιος** (500-428 πΧ), προσωπικός φίλος του Περικλή, πίστευε ότι το Σύμπαν υπήρχε πάντοτε, στην αρχή σε χαώδη και άτακτη κατάσταση που σταδιακά, με την επέμβαση του Κοσμικού "Νου" και με την στροβιλώδη κίνηση που επέβαλε, άρχισε να επέρχεται η αρμονία που παρατηρείται στην Φύση. Ο Αναξαγόρας ήταν ο πρώτος που θεώρησε την Σελήνη σαν ετερόφωτο σώμα, φωτιζόμενο από τον Ήλιο και εξήγησε σωστά τις εκλείψεις της Σελήνης. Θα ήταν μεγάλη παράληψη αν δεν αναφερόταν το όνομα του μεγάλου φιλοσόφου **Δημόκριτου** (~460 πΧ) από την Ιωνική αποικία Άβδηρα της Θράκης που με την ανεπανάληπτα διορατική ατομική του θεωρία (αλλά και του **Λεύκιππου**) έγινε ο πρόδρομος της σύγχρονης ατομικής θεωρίας.

Εδώ τελειώνουμε αυτή την σύντομη και ατελή παράθεση ορισμένων μόνον από τους αρχαίους Έλληνες στοχαστές που έχουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον από την σκοπιά της σύγχρονης κοσμολογίας.



2. Η ΘΕΩΡΙΑ ΤΗΣ ΜΕΓΑΛΗΣ ΕΚΡΗΞΗΣ

Θεωρητική πρόβλεψη της Γενικής Θεωρίας της Σχετικότητας (ΓΘΣ) του **Αϊνστάιν** είναι το δυναμικά εξελισσόμενο σύμπαν (διαστελλόμενο ή συστέλλόμενο), παρόλο που ο ίδιος ο Αϊνστάιν πίστευε σε ένα στατικό Σύμπαν. Εξαιτίας αυτής της πίστης έχασε την ευκαιρία να διατυπώσει αυτός τη γενική λύση των εξισώσεων πεδίου, λύση που βρήκε πρώτος ο **Friedman**, ένας νεαρός Ρώσος μετεωρολόγος το 1922 και που απέδειξε ότι στην γενική τους μορφή, οι λύσεις των εξισώσεων της ΓΘΣ προβλέπουν διαστολή του Σύμπαντος, γεγονός που αργότερα, το 1929, αποδείχτηκε πειραματικά από τον **Hubble**. Δυστυχώς, ο Friedman δεν πρόλαβε να δει την επιβεβαίωση των απόψεων του, μιας και σκοτώθηκε σε μια μετεωρολογική αποστολή με αερόστατο. Ο ίδιος ο Αϊνστάιν λόγω της πίστης του σε ένα σταθερό και χρονικά μη μεταβαλλόμενο σύμπαν και παρότι οι λύσεις των εξισώσεων του προέβλεπαν ακριβώς ένα τέτοιο, δυναμικά εξελισσόμενο, σύμπαν, είχε τοποθετήσει αυθαίρετα στις εξισώσεις του μια σταθερά (επνομαζόμενη Κοσμολογική σταθερά) η οποία είχε την απωστική ιδιότητα να εξισορροπεί την δύναμη της βαρύτητας, και έτσι να στατικοποιεί το Σύμπαν. Η σύγχρονη μορφή της θεωρίας της "Μεγάλης Έκρηξης" θεμελιώθηκε από τους **Gamow, Herman & Alpher**, και υποστηρίζει ότι το Σύμπαν "γεννήθηκε" με μία έκρηξη από μία αρχική κατάσταση υψηλότατης πυκνότητας και θερμοκρασίας, η οποία δημιούργησε τον ίδιο τον Χώρο και τον Χρόνο. Στην συνέχεια το Σύμπαν άρχισε να διαστέλλεται και να ψύχεται και με την πάροδο του χρόνου και κάτω από την επίδραση της βαρύτητας, οι αρχικά μικρές διαταραχές στην πυκνότητα της ύλης δημιούργησαν τα δομικά στοιχεία του γνωστού μας Σύμπαντος, τους γαλαξίες και τα άστρα (δες σχήμα 1).

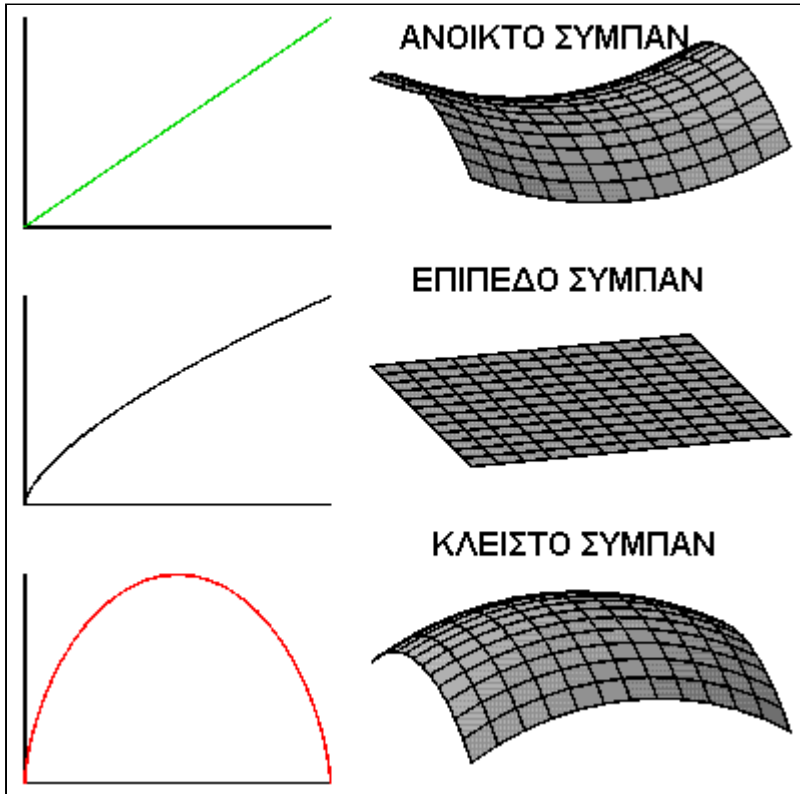
ΣΧΗΜΑ 1. Σχηματική εξέλιξη της διαστολής του Σύμπαντος από την αρχική έκρηξη (αριστερά) μέχρι την δημιουργία γαλαξιών και άστρων (δεξιά).



Λύνοντας τις εξισώσεις πεδίου του Αϊνστάιν, χρησιμοποιώντας την απαραίτητη μετρική του διαστελλόμενου χώρου, βρέθηκε ότι η μελλοντική εξέλιξη του Σύμπαντος εξαρτάται από το συνολικό ποσό της ύλης και της ενέργειας που περιέχει (δες σχήμα 2). Στην πιο απλή μορφή αυτών των λύσεων, αυτή χωρίς την ύπαρξη της Κοσμολογικής σταθεράς, έχουμε τις εξής δυνατές περιπτώσεις: Αν το Σύμπαν περιέχει **μικρό ποσό ύλης** τότε θα διαστέλλεται επ' άπειρον (**Ανοικτό Σύμπαν**) και ότι η γεωμετρία που το διέπει είναι υπερβολική (στις δύο διαστάσεις το ανάλογο σχήμα θα ήταν αυτό μιας σέλας αλόγου). Αν περιέχει **μεγάλο ποσό ύλης** τότε το Σύμπαν θα αρχίσει να συστέλλεται μετά από κάποιο χρονικό διάστημα (**Κλειστό Σύμπαν**) και η γεωμετρία που το διέπει είναι σφαιρική. Αν περιέχει ένα συγκεκριμένο **κρίσιμο ποσό** (το σύνορο μεταξύ των δύο παραπάνω περιπτώσεων) τότε η γεωμετρία είναι η Ευκλείδεια (**Επίπεδο Σύμπαν**). Με την προσθήκη της κοσμολογικής σταθεράς αυτή η αντιστοιχία μεταξύ ύλης και γεωμετρίας παύει να ισχύει και είναι δυνατόν το Σύμπαν να περιέχει μικρό ποσό ύλης αλλά η γεωμετρία που το διέπει να είναι η Ευκλείδεια. Αυτό μπορεί να συμβεί επειδή η Κοσμολογική σταθερά λειτουργεί σαν εν δυνάμει ύλη, η οποία συμπληρώνει κατά κάποιο τρόπο το απαραίτητο ποσό ύλης ώστε το Σύμπαν να είναι επίπεδο.

Από προσεκτικές αστρονομικές παρατηρήσεις έχει βρεθεί ότι το Σύμπαν διαστέλλεται με ρυθμό πολύ κοντά στην κρίσιμη τιμή, γεγονός που χρειάζεται εξήγηση μιας και γνωρίζουμε από τις λύσεις των εξισώσεων του Αϊνστάιν, ότι εάν το Σύμπαν δεν ξεκινούσε την διαστολή του με ακριβώς αυτό τον ρυθμό τότε με την πάροδο του χρόνου θα απέκλινε όλο και περισσότερο από αυτόν και σήμερα θα μετρούσαμε εντελώς διαφορετικό ρυθμό διαστολής. Γιατί λοιπόν ξεκίνησε το Σύμπαν από μια τόσο ειδική αρχική κατάσταση;

Μία απάντηση βρίσκεται στο ίδιο το γεγονός της ύπαρξης των κοσμικών δομών (αστέρων, γαλαξιών και εμάς των ιδίων). Εάν το Σύμπαν διαστελλόταν με ρυθμό πολύ μεγαλύτερο της κρίσιμης τιμής τότε η βαρύτητα που ασκείται συνολικά στο Σύμπαν, από την εμπειροχόμενη εντός αυτού ύλης και ενέργειας, δεν θα ήταν σε θέση να αντιστρέψει τη διαστολή σε συστολή ούτε στις περιοχές υψηλής πυκνότητας. Κατ'επέκταση δεν θα είχαν γεννηθεί τα άστρα, στον πυρήνα των οποίων δημιουργούνται τα συστατικά στοιχεία από τα οποία είναι φτιαγμένα τα έμβια όντα (οξυγόνο, υδρογόνο, άνθρακας κλπ) και η εξέλιξη των οποίων τελικά τροφοδοτεί, με αυτά τα στοιχεία, το Σύμπαν. Αντίστοιχα, εάν το Σύμπαν διαστελλόταν με ρυθμό σημαντικά βραδύτερο της κρίσιμης τιμής τότε πάλι πριν προλάβουν να δημιουργηθούν τα άστρα, το Σύμπαν θα είχε ξανασυσταλλεί σε μία υπέρθερμη θάλασσα ακτινοβολίας. **Επομένως, το γεγονός της ύπαρξης μας προϋποθέτει ότι το Σύμπαν διαστέλλεται περίπου με τον ρυθμό που μετράμε.**



ΣΧΗΜΑ 2. Στο δεξιό μέρος του σχήματος, μπορούμε να δούμε σχηματικά τις διαφορετικές γεωμετρίες του Σύμπαντος, ενώ στο αριστερό μέρος φαίνεται πάλι σχηματικά η αντίστοιχη εξέλιξη στον χρόνο της ακτίνας του Σύμπαντος.

Η **πιο πρόσφατη θεώρηση** για το πραγματικό Σύμπαν, θεώρηση που βασίζεται σε πολύ ενδιαφέρουσες αστρονομικές παρατηρήσεις μακρινών υπερκαινοφανών αστέρων αλλά και σε παρατηρήσεις της στατιστικής κατανομής των γαλαξιών σε μεγάλες συμπαντικές κλίμακες, υποστηρίζει την ύπαρξη της Κοσμολογικής σταθεράς και το επίπεδο Σύμπαν. Σε αυτή την θεώρηση το σύμπαν δεν διαστέλλεται με σταθερό ρυθμό αλλά με επιταχυνόμενο, αφού πρώτα έχει περάσει από την αρχική επιβραδυνόμενη φάση. Μεγάλο πλήθος αστρονομικών παρατηρήσεων συνάδουν σε αυτή την θεώρηση (σε μελλοντικό άρθρο θα παρουσιάσουμε και θα αναπτύξουμε όλες αυτές τις μεθοδολογίες).

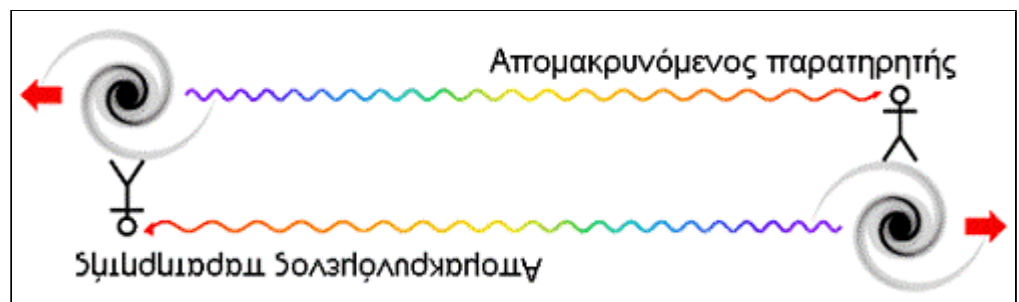
Τα **κύρια στοιχεία** που υποστηρίζουν την ορθότητα του γενικού πλαισίου της θεωρίας της Μεγάλης Έκρηξης είναι:

- (α) Διαστολή Σύμπαντος
- (β) Η ακτινοβολία μικροκυμάτων
- (γ) Η γένεση και τα ποσοστά των ελαφρών χημικών στοιχείων.

(α) Διαστολή Σύμπαντος

Μία από τις σημαντικότερες ανακαλύψεις που βοήθησαν στην θεμελίωση της σύγχρονης κοσμολογίας είναι η διαστολή του Σύμπαντος. Πρώτος ο **Hubble** το 1929 με παρατηρήσεις δικές του αλλά και του **Shipher** από το 1914, ανακάλυψε ότι **το φάσμα του φωτός των γαλαξιών είναι μετατοπισμένο προς το ερυθρό**, που σύμφωνα με το φαινόμενο Doppler σημαίνει ότι οι γαλαξίες απομακρύνονται από τον παρατηρητή και επιπλέον ότι η ταχύτητα απομάκρυνσης των γαλαξιών είναι τόσο μεγαλύτερη όσο πιο μακριά βρίσκονται οι γαλαξίες. Η διαπίστωση αυτή ονομάστηκε **νόμος του Hubble**, και η σταθερά της αναλογίας ονομάστηκε **σταθερά του Hubble**.

ΣΧΗΜΑ 3. Σε αυτή την εικόνα φαίνεται σχηματικά ένα κύμα όπως το "βλέπει" ένας κινούμενος παρατηρητής. Το κύμα φωτός ξεκινά, ας πούμε στο ιώδες (όπως φαίνεται στο σχήμα) και το λαμβάνει ο απομακρυνόμενος παρατηρητής στο ερυθρό τμήμα του φάσματος.



Η μετάθεση του φάσματος ενός γαλαξία προς το ερυθρό βρίσκεται συνήθως από την μετατόπιση γραμμών απορρόφησης κάποιων στοιχείων σε σχέση με τις αντίστοιχες γραμμές στα γήινα εργαστήρια. Η ερμηνεία Doppler της ερυθρής μετάθεσης δεν είναι η μοναδική. Έχουν προταθεί και άλλες ερμηνείες όπως αυτή σύμφωνα με την οποία το φως διασπάται σε φωτόνια

χαμηλότερης ενέργειας (πιο ερυθρά) με πιθανότητα διάσπασης ανάλογη του μήκους κύματος του φωτονίου. Άλλη πιθανή ερμηνεία της ερυθρής μετάθεσης είναι η απώλεια ενέργειας των φωτονίων που προέρχονται από μακρινούς γαλαξίες λόγω των διαδοχικών συγκρούσεων τους με μεσοαστρικά ηλεκτρόνια ή και φωτόνια. Καμία από αυτές τις ερμηνείες δεν επιβεβαιώθηκε πειραματικά και συνεπώς η μοναδική ερμηνεία η οποία είναι συμβατή με όλες τις μέχρι σήμερα παρατηρήσεις και πειράματα είναι αυτή που συνήθως αναφέρεται σαν ερμηνεία Doppler. Ανεξάρτητα δε από τις παρατηρήσεις, αυτή η ερμηνεία συμβαδίζει απόλυτα με τις απαιτήσεις της ΓΘΣ για ένα μη στατικό Σύμπαν, πρόβλεψη που έγινε πριν καν παρατηρηθούν οι ερυθρές μεταθέσεις των γαλαξιών και που αποτελεί μεγάλη επιτυχία της ΓΘΣ.

Τελικά τι εννοούμε όταν λέμε ότι το Σύμπαν διαστέλλεται; Μήπως σημαίνει ότι βρισκόμαστε στο κέντρο του Σύμπαντος ;

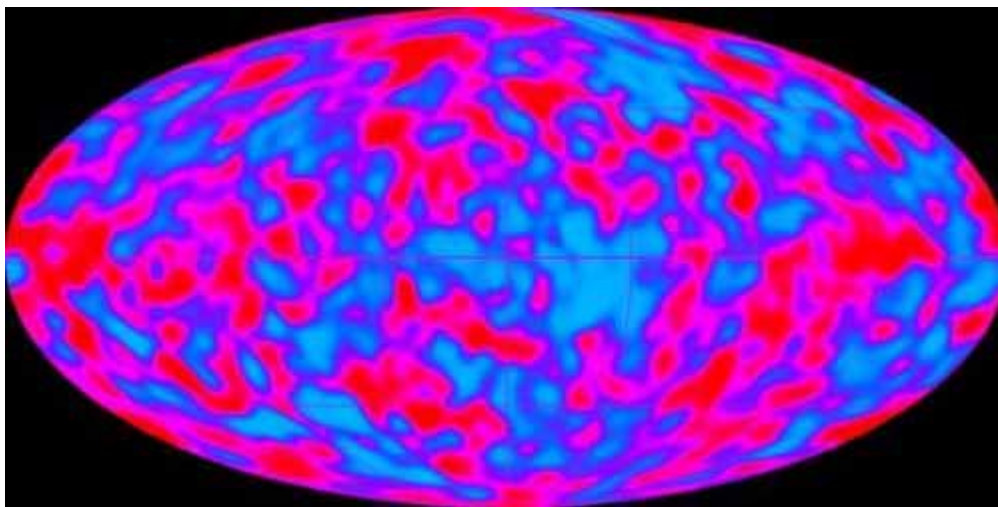
Κατηγορηματικά ΟΧΙ !

Ο κάθε γαλαξίας απομακρύνεται από κάθε άλλο γαλαξία με ταχύτητα ανάλογη της απόστασης τους. Σκεφθείτε το ως εξής: Βρισκόμαστε στον γαλαξία Α βλέπουμε όλους τους άλλους γαλαξίες να απομακρύνονται. Εάν μεταφερθούμε νοητά στον γαλαξία Β πρέπει να κάνουμε διανυσματική αφαίρεση έτσι ώστε στο σύστημα αναφοράς του να βρισκόμαστε σε ηρεμία. Διαπιστώνουμε τώρα ότι ο γαλαξίας Α απομακρύνεται από εμάς (Β) με την ίδια ταχύτητα που απομακρυνόταν ο Β όταν βρισκόμασταν στον γαλαξία Α (δες σχήμα 3).

Ο υπολογισμός της **σταθεράς του Hubble** είναι εξαιρετικά μεγάλης σημασίας, έχει άμεση σχέση με την ηλικία του Σύμπαντος και ο υπολογισμός της τιμής της αποτελεί στις μέρες μας αντικείμενο έντονης ερευνητικής δραστηριότητας. Εφόσον το Σύμπαν διαστέλλεται, ο ίδιος ο ρυθμός διαστολής μας δίνει το ανώτερο όριο της ηλικίας του (και είναι ανώτερο όριο λόγω του γεγονότος ότι στα κλασσικά Κοσμολογικά μοντέλα, ο ρυθμός διαστολής επιβραδύνεται λόγω του ίδιου του βαρυτικού πεδίου που παράγεται από την ύλη που περιέχει το Σύμπαν). Ο πρόσφατος υπολογισμός της σταθεράς του Hubble, με την χρήση παρατηρήσεων μακρινών υπερκαινοφανών αστέρων με το διαστημικό τηλεσκόπιο, έδωσε τιμή γύρω στα **14 δισεκατομμύρια χρόνια**.

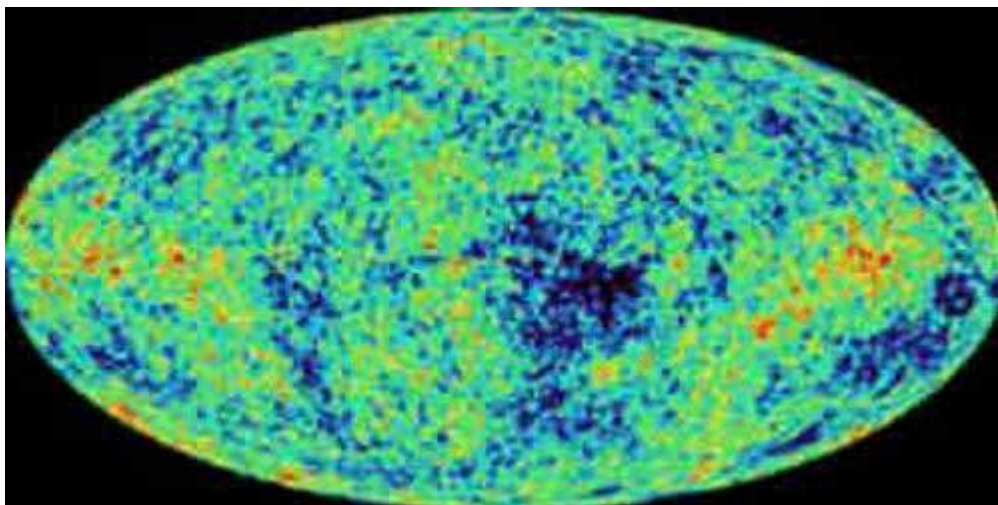
(β) Η ακτινοβολία μικροκυμάτων

Μία από τις σημαντικότερες ανακαλύψεις του δεύτερου μισού του αιώνα μας, ανακάλυψη που ουσιαστικά επιβεβαίωσε την θεωρία της "Μεγάλης Έκρηξης" και έδωσε στους **Penzias** και **Wilson** το βραβείο Νόμπελ το 1965, είναι η ύπαρξη μιας διάχυτης ακτινοβολίας μικροκυμάτων που είναι αποτέλεσμα της υπέρπυκνης και υπέρθερμης κατάστασης του πρώιμου Σύμπαντος. Σε αυτήν την κατάσταση, η ακτινοβολία και η ύλη ήταν συζευγμένες λόγω των ελεύθερων ηλεκτρονίων που δρούσαν σαν ανακλαστήρες της ακτινοβολίας. Όταν η θερμοκρασία του Σύμπαντος έπεσε περίπου στους 3000 βαθμούς Kelvin (380000 χρόνια μετά την "Μεγάλη Έκρηξη"), τα ηλεκτρόνια απορροφήθηκαν από τους πυρήνες και έτσι η ακτινοβολία ελεύθερα διεχύθη στο Σύμπαν. Αυτή η θεωρία προβλέπει ότι λόγω της διαστολής του Σύμπαντος η θερμοκρασία της ακτινοβολίας αυτής ελαττώνεται και πρέπει να είναι σήμερα 2.7 βαθμοί Kelvin καθώς και ότι το φάσμα της ακτινοβολίας πρέπει να έχει την μορφή φάσματος θερμικής προέλευσης. Και οι δύο προβλέψεις επιβεβαιώθηκαν περίτρανα και με την μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια στις αρχές της δεκαετίας του '90 από τα παρατηρησιακά δεδομένα του δορυφορικού παρατηρητηρίου **COBE** της NASA (<http://space.gsfc.nasa.gov/astro/cobe/>). Ο δορυφόρος αυτός ουσιαστικά φωτογράφησε το Σύμπαν όταν είχε ηλικία μόλις 2/100000 της σημερινής του ηλικίας (δες σχήμα 4).



ΕΙΚΟΝΑ 4. Οι διαταραχές θερμοκρασίας της ακτινοβολίας μικροκυμάτων από τις παρατηρήσεις του δορυφόρου COBE. Ουσιαστικά αποτυπώνουν το Σύμπαν όταν είχε ηλικία μόλις 380000 έτη (2/100000 περίπου της σημερινής του ηλικίας).

Βρέθηκε ότι πράγματι ο ρυθμός διαστολής του Σύμπαντος είναι αυτός της κρίσιμης τιμής, πράγμα που υποδηλώνει ότι η Γεωμετρία του Σύμπαντος είναι η **Ευκλείδεια**.



ΕΙΚΟΝΑ 5. Η εικόνα του Σύμπαντος, στην ακτινοβολία μικροκυμάτων, όπως την φωτογράφησε ο δορυφόρος WMAP. Οι κόκκινες και οι μπλε περιοχές αντιστοιχούν στις θερμότερες και στις ψυχρότερες περιοχές του Σύμπαντος αντίστοιχα. Οι διαφορές της θερμοκρασίας είναι μόνον της τάξης του 1 εκατομμυριοστού του βαθμού. Ο δορυφόρος WMAP είναι προϊόν συνεργασίας του Goddard Space Flight Center της NASA και του Πανεπιστημίου του Princeton.

Επιπλέον, με τις πρόσφατες ακριβείς μετρήσεις των διαταραχών θερμοκρασίας της ακτινοβολίας μικροκυμάτων, που έγιναν με

το πείραμα **BOOMERanG**, που διεξήχθη στην Ανταρκτική πάνω σε ένα αερόστατο, και με τον δορυφόρο **WMAP** (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe) της NASA (<http://map.gsfc.nasa.gov/>), αποκαλύπτεται όλη η ιστορία και το μέλλον του Σύμπαντος. Οι εικόνες του Σύμπαντος που λήφθηκαν από τον δορυφόρο WMAP δίνουν εξαιρετικά πολύτιμες κοσμολογικές πληροφορίες για την ιστορία και την δομή του Σύμπαντος. Η κατανομή των διακυμάνσεων της θερμοκρασίας της ακτινοβολίας μικροκυμάτων μας δίνει πληροφορίες για την γεωμετρία, την ηλικία του Σύμπαντος αλλά και από τι ύλη αποτελείται. Αυτή την στιγμή, ο δορυφόρος WMAP βρίσκεται 1.5 εκατομμύρια χιλιόμετρα μακριά από την Γη αφού ολοκλήρωσε τις πρώτες παρατηρήσεις όλου του ουρανού μέσα σε 12 μήνες.

(γ) Η γένεση και τα ποσοστά των ελαφρών χημικών στοιχείων

Στην υπέρπυκνη και υπέρθερμη κατάσταση του πρώιμου Σύμπαντος τα πρωτόνια και νετρόνια, που είναι τα στοιχειώδη σωματίδια από τα οποία αποτελούνται οι πυρήνες των ατόμων όλων των στοιχείων της φύσης, όντας μη συζευγμένα σε άτομα, δημιουργούν τους πυρήνες των ελαφρύτερων στοιχείων της ύλης (Υδρογόνου, Ήλιου, Δευτέριου, Λίθιου). Οι συγκεκριμένες αρχικές αναλογίες αυτών των στοιχείων εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες μεταξύ των οποίων είναι ο ρυθμός διαστολής του Σύμπαντος δηλαδή ο ρυθμός ψύξης του, ο λόγος πρωτονίων νετρονίων κ.α. Η θεωρία του "Μεγάλης Έκρηξης" προβλέπει συγκεκριμένες αναλογίες των ελαφρών αυτών στοιχείων, πρόβλεψη που και αυτή έχει επιβεβαιωθεί από τις παρατηρήσεις.

Τελειώνοντας αυτή την σύντομη παρουσίαση των βασικών στοιχείων της σύγχρονης Κοσμολογίας, επισημαίνω ότι παρόλο που γνωρίζουμε ίσως πιο πολλά για την ιστορία του Σύμπαντος από ότι, παραδείγματος χάριν, για την πρώιμη ιστορία του Ανθρώπου ή για την λειτουργία του ανθρώπινου νου, απέχουμε ακόμη από το να γνωρίζουμε με ακρίβεια την μελλοντική εξέλιξη του Σύμπαντος. Αναμένουμε ότι μέσα στα επόμενα 10 χρόνια, με τα διαστημικά πειράματα **MAP** της NASA και **Planck** της Ευρωπαϊκής Διαστημικής Εταιρίας (<http://astro.estec.esa.nl/Planck/>), θα δώσουμε οριστικές απαντήσεις στα κύρια Κοσμολογικά ερωτήματα.



3. ΑΛΛΕΣ ΚΟΣΜΟΛΟΓΙΚΕΣ ΘΕΩΡΙΕΣ

Είναι ενδιαφέρον το γεγονός ότι τα διαφορετικά μοντέλα του διαστελλόμενου Σύμπαντος προκύπτουν όχι μόνον

ξεκινώντας από την Γενική Θεωρία της Σχετικότητας αλλά και στην Νευτώνεια Φυσική με τον νόμο της παγκόσμιας έλξης, αρκεί να υποθέσουμε κάποια αρχική έκρηξη. Τα δε συμπεράσματα αυτής της προσέγγισης είναι πανομοιότυπα με αυτά της ΓΘΣ (στην περίπτωση των πιο γενικών μοντέλων). Η σημαντικότερη άλλη Κοσμολογική θεωρία διατυπώθηκε το 1948 και είναι αυτή της **Σταθεράς Κατάστασης** των **Hoyle, Bondi & Gold**. Αυτή η θεωρία υποστηρίζει ότι το Σύμπαν είναι άπειρο, παντού και πάντοτε το ίδιο (στατιστικά), δηλαδή παραμένει αμετάβλητο στο χρόνο, με την μέση πυκνότητα της ύλης να είναι σταθερή. Η διαστολή και σε αυτό το μοντέλο είναι κατά κάποιο τρόπο επιβεβλημένη επειδή σε ένα άπειρο και στατικό Σύμπαν τα φυσικά συστήματα θα έφταναν πολύ σύντομα σε θερμοδυναμική ισορροπία (κάτι που δεν παρατηρείται φυσικά). Το σημαντικότερο πρόβλημα αυτής της θεωρίας είναι ότι υποχρεώνει το Σύμπαν να παράγει νέα ύλη **από το μηδέν!** Η θεωρία αυτή, πέραν της διαστολής του Σύμπαντος που την δέχεται, απέτυχε εκεί που η θεωρία της Μεγάλης έκρηξης πέτυχε. Δηλαδή, αυτή η θεωρία

- δεν μπορεί να εξηγήσει την ακτινοβολία μικροκυμάτων
- δεν μπορεί να εξηγήσει την δημιουργία αλλά και τα παρατηρούμενα στο Σύμπαν ποσά ελαφρών στοιχείων (αφού δεν υπήρξε σε αυτή τη θεωρία αρχική υπέρθερμη κατάσταση απαραίτητη προϋπόθεση για την πυρηνογένεση),
- και τέλος η γένεση ύλης εκ του μηδενός είναι μια αυθαίρετη παραδοχή που δεν βασίζεται σε κανένα παρατηρησιακό δεδομένο.

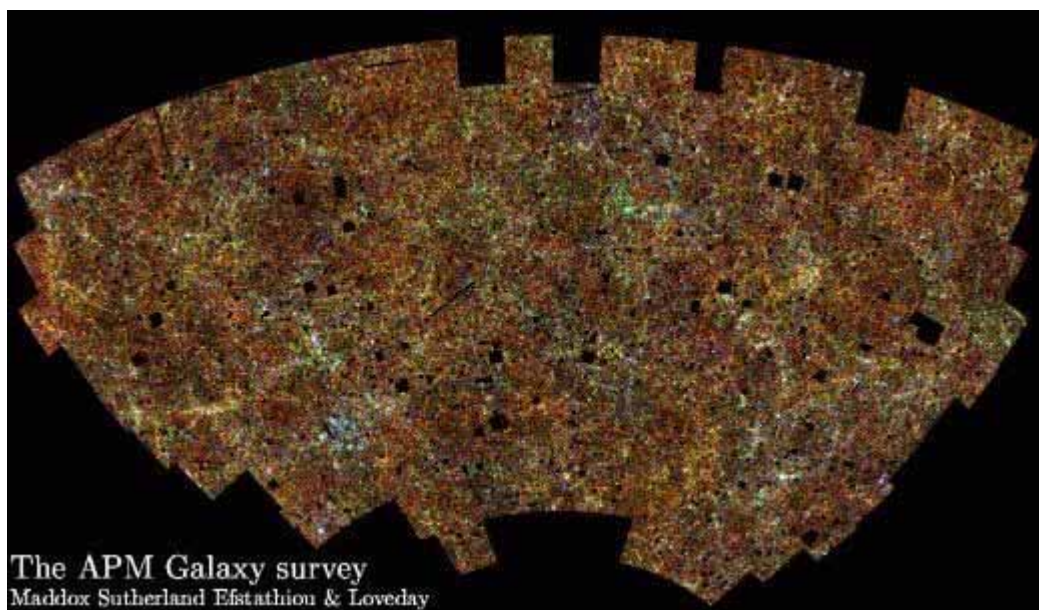


4. ΤΑ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΣΥΜΠΑΝΤΟΣ

Η ύλη στο Σύμπαν είναι οργανωμένη με δομές σε διαφορετικές κλίμακες. Στις μικρότερες κλίμακες βρίσκονται τα **αστέρια** και τα **πλανητικά συστήματα** (δες κύριο άρθρο του Μαρτίου), σε μεγαλύτερες κλίμακες βρίσκονται οι **γαλαξίες** που αποτελούνται από δισεκατομμύρια αστέρια, αέριο, σκόνη και σκοτεινή ύλη και σε ακόμα μεγαλύτερες κλίμακες βρίσκονται **μεγάλες ομάδες γαλαξιών** που ονομάζονται σμήνη γαλαξιών και αποτελούνται συνήθως από εκατοντάδες έως και χιλιάδες γαλαξίες. Ο όγκος που καλύπτει κάθε σμήνος γαλαξιών έχει διάμετρο περίπου τα 10.000.000 έτη φωτός (συγκρίνεται αυτό το μέγεθος με αυτό του γαλαξία μας που είναι περίπου 150.000 έτη φωτός). Τα σμήνη γαλαξιών αντίστοιχα βρίσκονται και αυτά σε ομάδες, μικρές ή μεγάλες, που ονομάζονται υπερσμήνη γαλαξιών και έχουν έκταση περίπου 100.000.00 έως και 200.000.000 έτη φωτός, είναι δηλαδή πάνω από εκατό φορές μεγαλύτερα από τα σμήνη γαλαξιών. Τα υπερσμήνη γαλαξιών έχουν σχήματα διάφορα, αλλά το κυρίαρχο είναι αυτό των νημάτων (μονοδιάστατο) ή της εκτεταμένης επιφάνειας (δισδιάστατο).

Σαν **σκοτεινή ύλη** αναφέρεται η ύλη που δεν εκπέμπει πρωτογενή ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και γίνεται γνωστή η ύπαρξη της από τις βαρυτικές της επιπτώσεις. Παραδείγματος χάριν στους **σπειροειδείς γαλαξίες** παρατηρήθηκε ότι η ταχύτητα περιστροφής τους γύρω από το κέντρο τους είναι πολύ μεγαλύτερη από ότι αναμένεται από το βαρυτικό πεδίο που παράγουν τα αστέρια (η φωτεινή δηλαδή ύλη) που περιέχουν. Επίσης παρατηρείται ότι αυτή η ταχύτητα παραμένει σχεδόν σταθερή σε μεγάλες αποστάσεις από το κέντρο τους και χρησιμοποιώντας την εξίσωση της φυγόκεντρου δύναμης επί ενός αστέρος μάζας βρισκόμενου σε κάποια απόσταση από το κέντρο του γαλαξία και την κεντρομόλο δύναμη, βρίσκουμε ότι θα πρέπει να περιέχει μεγάλα ποσά ύλης που αλληλεπιδρά μόνον βαρυτικά, δηλαδή σκοτεινή ύλη. Επίσης η παρατηρούμενη φωτεινή μάζα των σμηνών γαλαξιών (που υπολογίζεται σαν το άθροισμα των μαζών των περιεχόντων γαλαξιών, σκόνης και αερίων) είναι πολύ μικρότερη από αυτήν που χρειάζονται τα **σμήνη γαλαξιών** για να παραμείνουν δυναμικά ευσταθή.

Η εικόνα 6 παρουσιάζει την ισο-επιφανειακή δισδιάστατη προβολή της κατανομής 4.000.000 γαλαξιών του Νοτίου ημισφαιρίου (με όριο φαινόμενης λαμπρότητας 21) που παρατηρήθηκαν από αστεροσκοπείο της Αυστραλίας.



ΕΙΚΟΝΑ 6. Η προβολή στο νότιο ημισφαίριο της ουράνιου σφαίρας της κατανομής 4.000.000 γαλαξιών που παρατηρήθηκαν από αστεροσκοπείο της Αυστραλίας και μελετήθηκαν στο Παν/μιο Cambridge του Ηνωμένου Βασιλείου.

Τα παρατηρησιακά δεδομένα είναι από ψηφιοποιημένες φωτογραφικές πλάκες του τηλεσκοπίου Schmidt της Αυστραλίας. Η ψηφιοποίηση έχει γίνει με το Automatic Plate Measuring facility του Παν/μίου του Cambridge, που λειτουργεί με έναν σαρωτή ακτίνων Laser.

Παρατηρώντας τις φωτογραφίες αυτές μπορείτε να δείτε ότι οι γαλαξίες δεν είναι κατανομημένοι τυχαία αλλά σε μικρές ή μεγάλες ομάδες διαφόρων σχημάτων. Η μελέτη της κατανομής των γαλαξιών στο Σύμπαν είναι ένα ενδιαφέρον αλλά περίπλοκο θέμα, που χρησιμοποιεί μεθοδολογίες που βασίζονται σε διαφορετικές επιστήμες όπως τα **εφαρμοσμένα μαθηματικά** (στατιστική, τοπολογία, διαφορική γεωμετρία, σφαιρική αρμονική ανάλυση, ανάλυση Fourier κλπ), **φυσική** (βαρύτητα, θερμοδυναμική, ηλεκτρομαγνητισμό, σχετικότητα, ρευστοδυναμική, κλπ) αλλά πάνω απ'όλα την **παρατηρησιακή αστρονομία και αστροφυσική**, που είναι βασική προϋπόθεση για την συλλογή και ερμηνεία των απαραίτητων δεδομένων. Πέραν του κοσμογραφικού ενδιαφέροντος η μελέτη της κατανομής των γαλαξιών στο Σύμπαν έχει και ιδιαίτερο κοσμολογικό ενδιαφέρον μιας και διαφορετικά μοντέλα δομής & εξέλιξης του Σύμπαντος προβλέπουν και διαφορετική κατανομή της ύλης στις μεγάλες κοσμικές εκτάσεις.



5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συμπερασματικά από τις πιο πρόσφατες παρατηρήσεις του **WMAP**, τις μελέτες της κατανομής των γαλαξιών και των σμηνών γαλαξιών στο Σύμπαν και τον υπολογισμό της σταθεράς του **Hubble**, αποδεικνύετε ότι **το Σύμπαν είναι Ευκλείδειο**, και **έχει ηλικία 13.7 δισεκατομμυρίων χρόνων** (με περιθώριο σφάλματος μόλις 1%). Η σύσταση του είναι εντυπωσιακή: **μόλις το 4% της μάζας του αποτελείται από βαρυόνια** (δηλαδή την ύλη από την οποία είναι φτιαγμένη η Γη και εμείς οι ίδιοι). **Το 23% αποτελείται από σκοτεινή ύλη** (άγνωστα μέχρι στιγμής σωματίδια που αλληλεπιδρούν μόνο βαρυτικά με την γνωστή μας ύλη), ενώ **το υπόλοιπο 73% σχετίζεται με την ενέργεια του κενού** (την λεγόμενη **Κοσμολογική Σταθερά**). Τα παραπάνω αποτελέσματα σημαίνουν ότι **το Σύμπαν θα συνεχίσει να διαστέλλεται για πάντα και μάλιστα με επιταχυνόμενο ρυθμό**.



6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Introduction to Cosmology, J.V.Narlikar, Cambridge Univ. Press, 1993
- The First Three Minutes: A Modern View of the Origin of the Universe, David Weinberg, BasicBooks
- Η Απαρχή του Σύμπαντος, John Barrow, Εκδ. Κάτοπτρο, 1995
- Perspectives in Astrophysical Cosmology, Martin Rees, Cambridge Univ. Press, 1995
- The Quest for the Cosmological Parameters, Manolis Plionis, Springer Lecture Notes in Physics Vol. 592, p.147, eds. Cotsakis & Papantonopoulos, 2002