



ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ  
ΝΕΟ ΨΗΦΙΑΚΟ ΠΛΑΝΗΤΑΡΙΟ

ΣΥΝΟΠΤΙΚΟΣ ΟΔΗΓΟΣ ΓΙΑ ΜΑΘΗΤΕΣ

# ΤΟ ΚΕΝΤΡΟ ΤΟΥ ΚΟΣΜΟΥ

από το γεωκεντρικό σύστημα στην διαστολή του σύμπαντος

Υπάρχει άραγε κέντρο στο Σύμπαν και, αν ναι, πού μπορεί να βρίσκεται; Η προσπάθεια να απαντηθεί αυτό το ερώτημα χάνεται στα βάθη των αιώνων. Χιλιάδες χρόνια πριν, οι αρχαίοι λαοί θεωρούσαν ότι το κέντρο του Κόσμου βρίσκεται στην Γη και ότι όλα τα ουράνια σώματα περιφέρονται γύρω της. Αυτή η Γεωκεντρική θεώρηση του Κόσμου, που επικράτησε για τουλάχιστον δύο χιλιετίες, αποδείχτηκε εσφαλμένη. Από την αρχαία Βαβυλώνα στην αρχαία Ελλάδα και από το Ηλιοκεντρικό σύστημα του Κοπέρνικου στην διαστολή του Σύμπαντος, η παράσταση αυτή εξιστορεί την συναρπαστική εξέλιξη των ιδεών μας για την θέση της Γης και κατά συνέπεια του ανθρώπου στο Σύμπαν.

ΑΛΕΞΗ Α. ΔΕΛΗΒΟΡΙΑ  
Αστρονόμου Ευγενιδείου Πλανηταρίου

## Ο έναστρος ουρανός

Ο άνθρωπος πάντα αισθανόταν δέος μπροστά στο μυστήριο του έναστρου ουρανού. Ζώντας για αιώνες κάτω από τον ανοικτό ουράνιο θόλο, έβλεπε τα άστρα να ανατέλλουν και να δύουν όπως ο Ήλιος, και την όψη της Σελήνης να αλλάζει διαρκώς. Σπανιότερα, έβλεπε τις φευγαλέες λάμπεις των μετεώρων που χάνονταν στον ορίζοντα ή την απειλητική, όπως νόμιζε, έλευση κάποιου κομήτη. Οι παρατηρήσεις αυτές, που βασίζονταν στην καθημερινή του εμπειρία και την κοινή λογική, εδραίωναν από νωρίς την πεποίθηση ότι η Γη βρίσκεται στο κέντρο του Κόσμου. Πραγματικά, ακόμη και τα μακρινά άστρα φαίνεται ότι κινούνται σε παράλληλες κυκλικές τροχιές γύρω από τον πλανήτη μας στην διάρκεια της νύχτας, ενώ στην διάρκεια του έτους οι αστερισμοί φαίνεται ότι «μεταναστεύουν» αργά προς τα δυτικά, για να επανέλθουν στην ίδια θέση που καταλάμβαναν στον ουρανό, έναν χρόνο αργότερα. Σ' αυτήν την συστηματική παρατήρηση του έναστρου ουρανού επιδίονταν οι λαοί όλων των πολιτισμών της Αρχαιότητας. Οι παρατηρήσεις τους αυτές, ωστόσο, δεν είχαν ως αφετηρία την επιθυμία τους να κατανοήσουν την φύση των πραγμάτων. Αντιθέτως, πήγαζαν από την πίστη τους ότι τα ουράνια σώματα σχετίζονται με τους θεούς τους και ότι οι κινήσεις των ουράνιων σωμάτων καθορίζουν την ανθρώπινη μοίρα. Οι πρώτοι που προσπάθησαν να απελευθερώσουν την μελέτη των ουράνιων φαινομένων από τις θρησκευτικές αντιλήψεις των αρχαίων λαών και τις αστρολογικές δοξασίες, οι πρώτοι που προσπάθησαν να αναζητήσουν φυσικές ερμηνείες για τα φυσικά φαινόμενα ήταν οι αρχαίοι Έλληνες.

## Το γεωκεντρικό σύστημα του κόσμου

Γνωρίζουμε, φυσικά, ότι οι κυκλικές πορείες των άστρων γύρω από την Γη προς τα δυτικά αντικατοπτρίζουν την 24ωρη περιστροφή της Γης γύρω από τον άξονά της, προς την αντίθετη όμως κατεύθυνση, απ' αυτήν που μας φαίνεται ότι κινούνται τα άστρα. Γνωρίζουμε, ακόμη, ότι η ετήσια μετατόπιση των αστερισμών στον ουρανό αντικατοπτρίζει την ετήσια περιφορά του πλανήτη μας γύρω από τον Ήλιο. Οι αρχαίοι λαοί, ωστόσο, δεν είχαν κάνει κτήμα τους αυτήν την τόσο προφανή σε μάς γνώση. Γι' αυτό και θεωρούσαν ότι η φαινομενική κίνηση

των ουράνιων σωμάτων είναι πραγματική και ότι τα ουράνια σώματα όντως περιφέρονται γύρω από την Γη μας, η οποία βρίσκεται στο κέντρο του Κόσμου ακίνητη. Ο **Κλαύδιος Πτολεμαίος** (100–170 μ.Χ.), για παράδειγμα, υποστήριζε ότι οι πλανήτες διαγράφουν μικρές κυκλικές τροχιές, τους **επίκυκλους**, τα κέντρα των οποίων κινούνται κι αυτά σε κυκλικές τροχιές γύρω από τη Γη. Με εξαίρεση τον **Αρίσταρχο τον Σάμιο** (310–230 π.Χ.), που υποστήριζε ότι ο Ήλιος βρίσκεται στο κέντρο του Κόσμου, το **Γεωκεντρικό Σύστημα του Κόσμου**, όπως αναπτύχθηκε από τον Πτολεμαίο, κυριάρχησε μέχρι και τον 16<sup>ο</sup>–17<sup>ο</sup> αιώνα.

## Η επιστημονική επανάσταση

Κατά τον Μεσαίωνα η επιστημονική διερεύνηση των φυσικών φαινομένων, ο ορθολογισμός και η υγιής αμφισβήτηση των παγιωμένων και αδιαμφισβήτητων κοσμοθεωρήσεων του παρελθόντος υποχωρούν μπροστά στην εκκλησιαστική αυθεντία. Προς το τέλος, όμως, της



Το Πτολεμαϊκό σύστημα όπως απεικονίστηκε στο *Harmonia Macrocosmica*, τον αστρονομικό Άτλαντα του Γερμανού χαρτογράφου *Andreas Cellarius* (1596–1665).

Αναγέννησης, η Αριστοτελική και Πτολεμαϊκή θεώρηση του φυσικού Κόσμου, που είχαν υιοθετηθεί από την Ρωμαιοκαθολική Εκκλησία και είχαν εν πολλοίς ενσωματωθεί στο «αλάθητο» δόγμα της, άρχισαν να αμφισβητούνται όλο και πιο πολύ, στην διάρκεια μίας περιόδου που έχει μείνει γνωστή ως η πρώτη **Επιστημονική Επανάσταση**. Η απαρχή της Επιστημονικής Επανάστασης μπορεί να προσδιοριστεί χρονικά με την δημοσίευση των πρώτων έργων που αμφισβήτησαν προηγούμενες αυθεντίες και παγιωμένες αντιλήψεις. Ένα από αυτά ήταν το *Revolutionibus Orbium Coelestium* (Περί της Περιφοράς των Ουράνιων Σφαιρών), του Πολωνού ιερέα και μαθηματικού **Νικόλαου Κοπέρνικου** (1473-1543), που δημοσιεύθηκε την χρονιά του θανάτου του.

## Το Ηλιοκεντρικό σύστημα του Κόσμου

Αναβιώνοντας το ξεχασμένο για αιώνες Ηλιοκεντρικό σύστημα του Αρίσταρχου, ο Κοπέρνικος θεώρησε ότι ο Ήλιος βρίσκεται στο κέντρο του Κόσμου και ότι η Γη είναι απλά ένας ακόμη πλανήτης που, όπως και οι άλλοι, περιφέρεται σε κυκλική τροχιά γύρω του. Απομακρύνοντας την Γη και κατά συνέπεια τον άνθρωπο από την προνομιακή τους θέση στο κέντρο του Κόσμου, ο Κοπέρνικος σηματοδότησε μία από τις μεγαλύτερες «αλλαγές παραδείγματος» στην ιστορία, επηρεάζοντας καθοριστικά την μετέπειτα εξέλιξη των ιδεών στις επιστήμες. Η Ηλιοκεντρική θεωρία του Κοπέρνικου δεν συνάντησε την άμεση αποδοχή των στοχαστών που τον ακολούθησαν. Στις αρχές, ωστόσο, του 17<sup>ου</sup> αιώνα, ο Γερμανός αστρονόμος **Γιοχάνες Κέπλερ** (1571-1630), βασισμένος στις παρατηρήσεις του Δανού αστρονόμου **Τύχωνα Μπράχε** (1546-1601) για τις θέσεις των πλανητών, διατύπωσε τους τρεις νόμους που περιγράφουν την κίνησή τους γύρω από τον Ήλιο. Όπως απέδειξε, οι πλανήτες δεν διαγράφουν τέλειους κύκλους, αλλά κινούνται σε ελλειπτικές τροχιές γύρω του διαγράφοντας εμβαδά ανάλογα του χρόνου κίνησής τους. Κατορθώνοντας να τοποθετήσει τα δεδομένα για τις θέσεις των πλανητών πάνω σε ελλειπτικές τροχιές, ο Κέπλερ προσέδωσε μαθηματική αξιοπιστία στην Κοπερνίκεια θεώρηση. Οι νόμοι του Κέπλερ, ωστόσο, ήταν καθαρά εμπειρικοί, δηλαδή είχαν διατυπωθεί με βάση την παρατήρηση και μόνον, χωρίς καμία θεωρητική ερμηνεία.

## Ο Γαλιλαίος και το τηλεσκόπιο

Στις αρχές του 17<sup>ου</sup> αιώνα, η εφεύρεση του τηλεσκοπίου άλλαξε οριστικά τον τρόπο που βλέπαμε τον Κόσμο. Συνειδητοποιώντας άμεσα τις δυνατότητες του νέου επιστημονικού οργάνου, ο Ιταλός αστρονόμος **Γαλιλαίος Γαλιλέι** (1564-1642) είναι ο πρώτος που ανάγει την παρατήρηση με τηλεσκόπιο σε καθοριστικό παράγοντα της αστρονομικής έρευνας. Έτσι, το 1610, χρονιά-ορόσημο στην ιστορία της Αστρονομίας, ο Γαλιλαίος στρέφει το τηλεσκόπιό του προς τον έναστρο ουρανό, ανακαλύπτοντας μεταξύ άλλων και τους 4 μεγαλύτερους δορυφόρους του Δία, δηλαδή τα πρώτα ουράνια σώματα που, αποδεδειγμένα πλέον, δεν περιφέρονται γύρω από τη Γη, αλλά γύρω από έναν άλλο πλανήτη. Με τις παρατηρήσεις του αυτές, ο Γαλιλαίος επέφερε ισχυρό πλήγμα στην Γεωκεντρική θεώρηση. Εκτός αυτού, όμως, η αναγνώριση από τον Γαλιλαίο της σημασίας που έχει η παρατήρηση και το πείραμα στην διερεύνηση των φυσικών φαινομένων, σε συνδυασμό με την πεποίθησή του ότι το βιβλίο της Φύσης, όπως έλεγε, «γράφεται» με τη γλώσσα των μαθηματικών, συνέβαλαν καθοριστικά στη γέννηση της σύγχρονης επιστήμης. Το 1616, ωστόσο, η Καθολική Εκκλησία απαγόρευσε το βιβλίο του Κοπέρνικου, ενώ η Ιερά Εξέταση απαγόρευσε στον Γαλιλαίο να υποστηρίζει δημόσια το Ηλιοκεντρικό σύστημα. Το 1632, μάλιστα, η Ιερά Εξέταση τον εξανάγκασε να απαρνηθεί τις απόψεις του



Ο Γαλιλαίος

και να αποκηρύξει δημόσια τη θεωρία ότι η Γη κινείται γύρω από τον Ήλιο. Το ποτάμι, όμως, δεν γύριζε πια πίσω.

## Η Αρχή του Κοπέρνικου

Στηριζόμενοι στους ώμους των γιγάντων που προηγήθηκαν, κάθε νέα γενιά επιστημόνων θα «έβλεπε» και λίγο μακρύτερα από την προηγούμενη, διευρύνοντας όλο και πιο πολύ τις γνώσεις μας για το Σύμπαν. Η Ηλιοκεντρική θεωρία του Κοπέρνικου, οι παρατηρήσεις του Μπράχε, οι νόμοι του Κέπλερ, οι παρατηρήσεις με τηλεσκόπιο και τα πειράματα που πραγματοποίησε ο Γαλιλαίος είχαν κλονίσει συθέμελα την Αριστοτέλεια φυσική φιλοσοφία και το Πτολεμαϊκό σύστημα του Κόσμου. Έτσι, με τις ανακαλύψεις της Αναγεννησιακής αστρονομίας, η γεωκεντρική θεώρηση έχασε και τα τελευταία της ερείσματα. Η πρώτη αυτή μετατόπιση του κοσμικού κέντρου από την Γη στον Ήλιο, δηλαδή το πρώτο βήμα προς μία νέα αντίληψη, σύμφωνα με την οποία η Γη και συνεπώς ο άνθρωπος δεν κατέχουν «προνομιακή» θέση στο Σύμπαν, έχει μείνει γνωστή ως η **Αρχή του Κοπέρνικου**.

## Το Νευτώνειο Σύμπαν

Η πρώτη «εκθρόνιση» του πλανήτη μας από την περίοπτη θέση του στο κέντρο του Κόσμου ήταν γεγονός. Ωστόσο, παρόλο που ο Κοπέρνικος, ο Κέπλερ και ο Γαλιλαίος καθιέρωσαν με τις μελέτες τους την Ηλιοκεντρική θεωρία, κανένας τους δεν είχε προσφέρει μία ερμηνεία ως προς το γιατί κινούνται οι πλανήτες και τι είναι αυτό που τους συγκρατεί στις ελλειπτικές τους τροχιές. Για την πρώτη, επιστημονικά τεκμηριωμένη, προσπάθεια να απαντηθούν αυτά τα ερωτήματα θα έπρεπε να περιμένουμε την διάνοια του Νεύτωνα. Αναπτύσσοντας τα νέα μαθηματικά εργαλεία που του ήταν απαραίτητα για τη μαθηματική διατύπωση των θεωριών του, ο **Ισαάκ Νεύτωνα** (1643-1727) διατύπωσε την πρώτη σύγχρονη φυσική θεωρία. Στις «Μαθηματικές Αρχές της Φυσικής Φιλοσοφίας», ένα από τα κορυφαία επιστημονικά συγγράμματα όλων των εποχών, ο Νεύτωνα περιγράφει την βαρύτητα και τους τρεις νόμους που διέπουν την κίνηση των σωμάτων, κατορθώνοντας παράλληλα μέσα από αυτή την θεώρηση να καταλήξει στους εμπειρικούς νόμους του Κέπλερ, που περιγράφουν την κίνηση

των πλανητών. Ο Νεύτωνα, δηλαδή, είναι ο πρώτος επιστήμονας που αποδεικνύει ότι η κίνηση των σωμάτων στη Γη και των ουράνιων σωμάτων στο Σύμπαν περιγράφονται από τους ίδιους φυσικούς νόμους. Ποια ήταν, όμως, η θέση της Γης σ' αυτό το Σύμπαν;

## Το Σύμπαν - Νησί

Το 1750, ο Άγγλος αστρονόμος **Thomas Wright** (1711-1786) ήταν από τους πρώτους που θεώρησαν σωστά ότι ο Γαλαξίας μας απαρτίζεται από μυριάδες άστρα, τα οποία συγκροτούνται από βαρυτικές δυνάμεις και περιφέρονται γύρω από ένα γαλαξιακό κέντρο, όπως περίπου οι πλανήτες γύρω από τον Ήλιο. Από τότε και σχεδόν μέχρι το πρώτο τέταρτο του 20<sup>ου</sup> αιώνα, οι περισσότεροι επιστήμονες πίστευαν ότι ο Γαλαξίας μας είναι ο μοναδικός που υπάρχει στο Σύμπαν: ένα και μοναδικό «σύμπαν-νησί», όπως επικράτησε να λέγεται, περιβαλλόμενο από τον απέραντο ωκεανό του Διαστήματος. Σημαντική εξαίρεση σ' αυτόν τον κανόνα αποτέλεσε ο σπουδαίος Γερμανός φιλόσοφος **Immanuel Kant** (1724-1804), ο οποίος υποστήριζε ότι το Σύμπαν εμπεριέχει και άλλους γαλαξίες εκτός από τον δικό μας.

## Τα σπειροειδή νεφελώματα

Ήδη από τα μέσα του 18<sup>ου</sup> αιώνα, ωστόσο, είχαν αρχίσει να ανακαλύπτονται κάποια δυσδιάκριτα νεφελώματα, η φύση των οποίων παρέμεινε αδιευκρίνιστη για πολλά ακόμη χρόνια. Το 1845, μάλιστα, ο Ιρλανδός αστρονόμος **William Parsons** (1800-1867), χρησιμοποιώντας το μεγαλύτερο τότε τηλεσκόπιο του κόσμου που ο ίδιος είχε κατασκευάσει, απέδειξε ότι πολλά απ' αυτά έχουν σπειροειδή δομή, με χαρακτηριστικότερο ίσως παράδειγμα το νεφέλωμα της Ανδρομέδας. Από τότε και σχεδόν μέχρι το πρώτο τέταρτο του 20<sup>ου</sup> αιώνα, δύο αστρονομικά προβλήματα παρέμεναν άλυτα. Το πρώτο αφορούσε στην φύση των σπειροειδών νεφελωμάτων: ήταν άραγε αέρια νέφη ή αστρικά σμήνη εντός του Γαλαξία μας ή μήπως ήταν κι αυτά σύμπαντα-νησιά, δηλαδή γαλαξίες όπως ο δικός μας; Το δεύτερο πρόβλημα αφορούσε στο μέγεθος του Σύμπαντος και στην θέση μας σ' αυτό.



## Η Μεγάλη Διαμάχη

Το πρώτο σημαντικό βήμα για την απάντηση αυτών των ερωτημάτων έγινε το 1917, όταν ο Αμερικανός αστρονόμος **Heber Curtis** (1872–1942) ανακάλυψε ότι οι αστρικές εκρήξεις νόβα που είχαν εντοπιστεί στο νεφέλωμα της Ανδρομέδας ήταν πιο αμυδρές από αντίστοιχες εκρήξεις εντός του Γαλαξία μας. Εκτίμησε έτσι ότι το νεφέλωμα αυτό ήταν τόσο μακριά μας, ώστε δεν θα μπορούσε να ανήκει στον Γαλαξία μας. Ο Curtis, δηλαδή, θεωρούσε ότι ο Γαλαξίας μας δεν είναι ο μοναδικός που υπάρχει στο Σύμπαν και ότι τα σπειροειδή νεφελώματα είναι κι αυτά γαλαξίες, παρόμοιοι με τον Γαλαξία μας, αλλά σε μεγάλες αποστάσεις απ' αυτόν. Αντιθέτως, ο συνάδελφός του **Harlow Shapley** (1885–1972) θεωρούσε ότι ο Γαλαξίας μας είναι ο μοναδικός μεγάλος γαλαξίας που υπάρχει στο Σύμπαν. Στις 26 Απριλίου 1920, οι δύο αυτοί αστρονόμοι αντιπαράτεθηκαν δημόσια σε μία επιστημονική διαμάχη που έλαβε χώρα στο Μουσείο Φυσικής Ιστορίας Smithsonian στην Ουάσιγκτον. Κεντρικά σημεία της διαμάχης αυτής, που έκτοτε έχει μείνει γνωστή ως η **Μεγάλη Διαμάχη**, ήταν η θέση του Ηλιακού μας συστήματος στον Γαλαξία, η φύση και η απόσταση των σπειροειδών νεφελωμάτων και το μέγεθος του Σύμπαντος. Απ' ό,τι φαίνεται εκείνος που κέρδισε τις εντυπώσεις της διαμάχης πρέπει να ήταν ο Shapley.

## Η ύπαρξη και άλλων γαλαξιών επιβεβαιώνεται

Η επιστημονική αντιπαράθεση για την ύπαρξη ή μη και άλλων γαλαξιών μπορούσε να λήξει μόνο με την βοήθεια ισχυρότερων τηλεσκοπίων, αλλά και νέων μεθόδων υπολογισμού αστρονομικών αποστάσεων. Ο Αμερικανός αστρονόμος **Edwin Hubble** (1889–1953) ήταν αρκετά τυχερός, ώστε να έχει στην διάθεσή του και τα δύο. Πραγματικά, από το 1919 ο Hubble εργαζόταν στο αστροσκοπείο Wilson

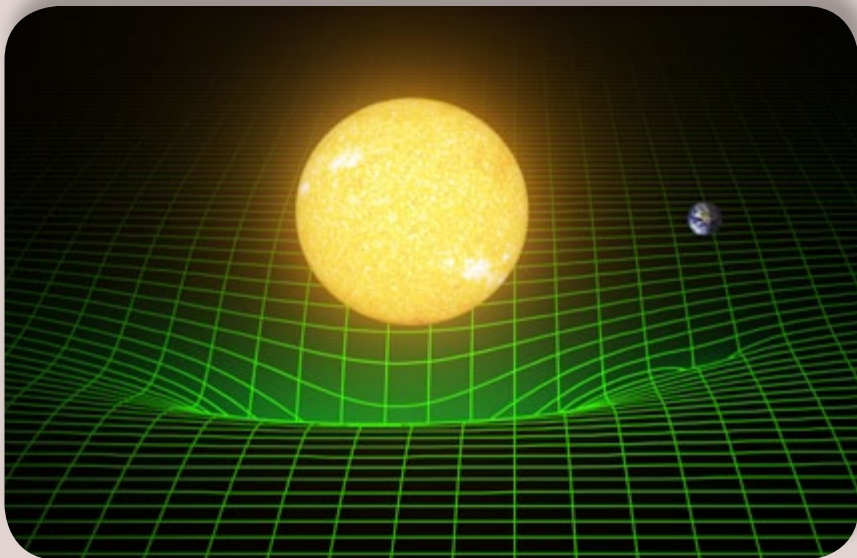
της Καλιφόρνιας, όπου είχε εγκατασταθεί το τηλεσκόπιο Hooker, το ισχυρότερο της εποχής του. Εκτός αυτού, είχε στην διάθεσή του τις πρωτοποριακές μελέτες της **Henrietta Leavitt** (1868–1921), η οποία είχε αναπτύξει μία νέα τεχνική υπολογισμού αποστάσεων, χρησιμοποιώντας άστρα περιοδικά μεταβλητής λαμπρότητας, που ονομάζονται **Κηφείδες**. Με την βοήθειά τους, ο Hubble απέδειξε το 1924 ότι η Ανδρομέδα, καθώς και αρκετά ακόμη σπειροειδή νεφελώματα, είναι στην πραγματικότητα ανεξάρτητοι γαλαξίες, σε μεγάλες αποστάσεις από τον δικό μας. Άρχισε έτσι να γίνεται συνειδητό ότι το Σύμπαν είναι πολύ μεγαλύτερο και ότι εμπεριέχει πολλά περισσότερα απ' όσα νομίζαμε έως τότε.



## Ο Αϊνστάιν και η Γενική Θεωρία της Σχετικότητας

Μέχρι το πρώτο τέταρτο του 20<sup>ου</sup> αιώνα οι περισσότεροι επιστήμονες θεωρούσαν ότι το Σύμπαν είναι στατικό, αιώνιο και αμετάβλητο. Ακόμη και ο **Άλμπερτ Αϊνστάιν** (1879–1955)! Μέσα από μία επίπονη διανοητική προσπάθεια, που διήρκεσε 10 χρόνια, ο σπουδαίος αυτός θεωρητικός φυσικός είχε διατυπώσει το 1915 μία νέα, επαναστατική θεωρία για την βαρύτητα: την **Γενική Θεωρία της Σχετικότητας** (ΓΘΣ). Η ΓΘΣ άνοιγε ανεξερεύνητους έως τότε δρόμους, που άλλαξαν ριζικά την αντίληψή μας για το Σύμπαν, δίνοντας το έναυσμα για μία επιστημονική επανάσταση, ο απόηχος της οποίας κρατά μέχρι σήμερα. Σε αντίθεση με τον Νεύτωνα που θεωρούσε ότι η βαρύτητα είναι μία μυστηριώδης ελκτική δύναμη που δρα ακαριαία από απόσταση, ο Αϊνστάιν «αναβαθμίζει» τον χώρο και τον χρόνο σ' έναν ενοποιημένο, δυναμικό και τετραδιάστατο **χωροχρόνο** και περιγράφει την βαρύτητα ως την στρέβλωση που προκαλεί σ' αυτόν η παρουσία της ύλης. Με άλλα λόγια, όσο μεγαλύτερη είναι η μάζα ενός σώματος, τόσο μεγαλύτερη

τερη είναι η παραμόρφωση που προκαλεί στον χωροχρόνο και τόσο ισχυρότερη είναι η βαρύτητα. Υπ' αυτήν την έννοια, λοιπόν, η βαρύτητα δεν οφείλεται σε μία μυστηριώδη δύναμη που διαδίδεται στον χωροχρόνο, αλλά είναι χαρακτηριστική ιδιότητα του ίδιου του χωροχρόνου. Έκτοτε, όλες οι εκπληκτικές προβλέψεις της ΓΘΣ, από την καμπύλωση του φωτός έως τις μαύρες τρύπες και τα βαρυτικά κύματα, έχουν επιβεβαιωθεί με μεγάλη ακρίβεια.



Καλλιτεχνική αναπαράσταση της χωροχρονικής καμπύλωσης που προκαλούν οι μάζες του Ήλιου και της Γης (φωτογρ. T. Pyle/Caltech/MIT/LIGO Lab).

## Το στατικό Σύμπαν του Αϊνστάιν

Ακόμη κι αυτός, όμως, απέρριπτε τότε την έννοια της κοσμολογικής εξέλιξης. Θεωρώντας ότι το Σύμπαν είναι στατικό και συνειδητοποιώντας ότι η επίλυση των εξισώσεων της ΓΘΣ οδηγεί σε λύσεις που αντιστοιχούν είτε σε ένα διαστελλόμενο είτε σε ένα συστελλόμενο Σύμπαν, ο Αϊνστάιν προσπάθησε να τις «ακυρώσει», εισάγοντας στις εξισώσεις του έναν ακόμη όρο, γνωστό σήμερα ως **κοσμολογική σταθερά**. Η σταθερά αυτή αντιπροσωπεύει μία μορφή ενέργειας, με την ιδιότητα να «εξουδετερώνει» την επίδραση της βαρύτητας που έτεινε

να συρρικνώσει το Σύμπαν, ώστε να οδηγή σε ένα Σύμπαν στατικό. Το πρόβλημα, ωστόσο, με το στατικό σύμπαν του Αϊνστάιν ήταν ότι εντέλει ήταν ασταθές. Οποιαδήποτε διακύμανση στην ομοιόμορφη κατανομή της ύλης που περιέχει, θα κατέστρεφε την ισορροπία μεταξύ της ελκτικής φύσης της βαρύτητας και της απωστικής φύσης της κοσμολογικής σταθεράς, οδηγώντας το άμεσα είτε στην διαστολή είτε στην κατάρρευσή του. Το πρόβλημα, δηλαδή, με το στατικό μοντέλο του Αϊνστάιν είναι ανάλογο μ' αυτό ενός μολυβιού που ισορροπεί στην μύτη του: η παραμικρή ώθηση θα το εξανάγκαζε να πέσει. Αδυνατώντας να αντιληφθεί εγκαίρως την εγγενή αστάθεια του κοσμολογικού του μοντέλου, ο Αϊνστάιν έχασε έτσι την ευκαιρία να προβλέψει πρώτος την διαστολή του Σύμπαντος, μέσα από την ίδια του την θεωρία.

## Η θεωρία της Μεγάλης Έκρηξης

Προκειμένου να βρεθούν ακριβείς λύσεις των εξισώσεων της ΓΘΣ, πρέπει να υιοθετηθούν κάποιες παραδοχές για την κατανομή της ύλης στο Σύμπαν. Η πλέον εύλογη απ' αυτές είναι το **Κοσμολογικό Αξίωμα**, που αποτελεί επέκταση της Αρχής του Κοπέρνικου, σύμφωνα με το οποίο το Σύμπαν σε μεγάλες κλίμακες είναι ομοιογενές και ισότροπο. Δηλαδή, οποιοσδήποτε παρατηρητής σε οποιονδήποτε γαλαξία βλέπει την ίδια κατανομή της ύλης που βλέπουμε και εμείς, σε οποιαδήποτε περιοχή του Σύμπαντος κι αν εστιάζει και προς οποιαδήποτε κατεύθυνση και αν παρατηρεί. Υιοθετώντας το αξίωμα αυτό και θεωρώντας ότι οι φυσικοί νόμοι παραμένουν αναλλοίωτοι στον χώρο και τον χρόνο, ο Ρώσος μαθηματικός **Alexander Friedman** (1888–1925) ανακάλυψε το 1922 και το 1924 λύσεις των εξισώσεων της ΓΘΣ, οι οποίες αντιστοιχούν σε μη στατικά σύμπαντα. Ανεξάρτητα από τον Friedman, ο Βέλγος αστρονόμος και ιερέας **Georges Lemaitre** (1894–1966) κατέληξε το 1927 στο ίδιο συμπέρασμα, προτείνοντας 4 χρόνια αργότερα ότι το Σύμπαν προήλθε από ένα υπέρπυκνο και υπέρθερμο «αρχέγονο άτομο» ενέργειας. Οι θεωρητικές βάσεις πάνω στις οποίες θεμελιώθηκε η **θεωρία της Μεγάλης Έκρηξης** (ΘΜΕ) είχαν πλέον τεθεί. Σύμφωνα με την ΘΜΕ, το Σύμπαν γεννήθηκε πριν από περίπου 14 δισ. χρόνια από μία υπέρθερμη αρχική κατάσταση, ενώ έκτοτε διαστέλλεται με επιβραδυνόμενο ρυθμό και ψύχεται διαρκώς.



## Το φαινόμενο Doppler

Μ' έναν φασματογράφο μπορούμε να αναλύσουμε το φως ενός γαλαξία στο **φάσμα** του, δηλαδή στα συστατικά του χρώματα, καθένα απ' τα οποία έχει διαφορετικό μήκος κύματος. Επειδή, όμως, τα νέφη σκόνης και αέριων σ' έναν γαλαξία απορροφούν συγκεκριμένα μήκη κύματος από το φως του (ανάλογα με τα ηχητικά στοιχεία και τις ενώσεις που εμπεριέχουν), το φάσμα του περιλαμβάνει και κάποιες σκοτεινές γραμμές, οι οποίες ονομάζονται **γραμμές απορρόφησης**. Εκτός αυτού, εάν ένας γαλαξίας απομακρύνεται ή μας πλησιάζει κατά μήκος της ευθείας που τον παρατηρούμε, το «μοτίβο» των φασματικών του γραμμών μετατοπίζεται σε διαφορετικά μήκη κύματος σε σχέση με το «μοτίβο» των φασματικών γραμμών που δίνουν τα στοιχεία αυτά στο εργαστήριο. Τι σημαίνει αυτή η μετατόπιση; Θα έχετε παρατηρήσει ότι ο ήχος της σειρήνας ενός ασθενοφόρου ακούγεται πιο οξύς όταν αυτό μάς πλησιάζει, παρά όταν απομακρύνεται. Αυτό συμβαίνει γιατί αρχικά τα ηχητικά κύματα φτάνουν «συμπιεσμένα», δηλαδή με μικρότερο μήκος κύματος και μεγαλύτερη συχνότητα, και έτσι αντιλαμβανόμαστε έναν πιο οξύ ήχο. Όταν, όμως, το ασθενοφόρο απομακρύνεται, τα ηχητικά κύματα πίσω του «ξεχειλώνουν», φτάνουν δηλαδή σ' εμάς με μεγαλύτερο μήκος κύματος και μικρότερη συχνότητα, γι' αυτό και ακούμε έναν πιο βαθύ ήχο. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται **φαινόμενο Doppler** και με την βοήθειά του μπορούμε να υπολογίσουμε την ταχύτητα του ασθενοφόρου.

## Η ερυθρά μετατόπιση και ο νόμος του Hubble

Το φως συμπεριφέρεται με παρόμοιο τρόπο. Όταν, δηλαδή, ένας γαλαξίας απομακρύνεται, το ορατό φως του «ξεχειλώνει» σε μεγαλύτερα μήκη κύματος, τα οποία αντιστοιχούν στο κόκκινο χρώμα. Γι' αυτό και λέμε τότε ότι το φως του γαλαξία έχει μετατοπιστεί προς το ερυθρό. Όταν, αντιθέτως, μας πλησιάζει, το φως του μετατοπίζεται προς το κυανό. Όπως και με την περίπτωση του ασθενοφόρου, η μετατόπιση αυτή μας βοηθά να υπολογίσουμε την ταχύτητα του γαλαξία (ακριβέστερα, την ακτινική του ταχύτητα, δηλαδή την συνιστώσα της ταχύτητάς του πάνω στην νοτιή ευθεία που μάς ενώνει με το κέντρο

του). Σε κοσμολογικές αποστάσεις, ωστόσο, η ερυθρά μετατόπιση δεν οφείλεται τόσο στην κίνηση ενός γαλαξία μέσα στον χώρο, όσο στην διαστολή του ίδιου του χώρου. Με την μέθοδο αυτή, ο Αμερικανός αστρονόμος **Vesto Slipher** (1875–1969) υπολόγισε από το 1912 μέχρι το 1925 τις ακτινικές ταχύτητες πολλών γαλαξίων, διαπιστώνοντας ότι οι πιο πολλοί απομακρύνονται από εμάς. Χρησιμοποιώντας τις μετρήσεις αυτές και υπολογίζοντας ο ίδιος τις αποστάσεις των γαλαξίων, των οποίων γνώριζε τις ακτινικές ταχύτητες, ο Hubble διαπίστωσε ότι όσο πιο μακριά βρίσκεται ένας γαλαξίας, τόσο μεγαλύτερη είναι η μετατόπισή του προς το ερυθρό και τόσο ταχύτερα απομακρύνεται. Σύμφωνα, δηλαδή, με την μελέτη του Hubble που δημοσιεύθηκε το 1929, οι γαλαξίες απομακρύνονται από εμάς με ταχύτητες ανάλογες της απόστασής τους από εμάς. Αυτή ήταν η πρώτη, τεκμηριωμένη με την παρατήρηση, απόδειξη ότι το Σύμπαν διαστέλλεται (εξίσου σημαντική απόδειξη της υπέρθερμης απαρχής και της διαρκούς διαστολής του αποτελεί η Κοσμική Ακτινοβολία Υποβάθρου, [δείτε εδώ](#)). Οι θεωρητικές μελέτες των Friedman και Lemaitre επιβεβαιώθηκαν και ο ίδιος ο Αϊνστάιν αναγκάστηκε να παραδεχτεί ότι η επιμονή του σ' ένα στατικό σύμπαν ήταν η μεγαλύτερη γκάφα της ζωής του.

## Η διαστολή του Σύμπαντος

Τι σημαίνει, όμως, όταν λέμε ότι το Σύμπαν διαστέλλεται; Παρόλο που μας φαίνεται ότι οι γαλαξίες απομακρύνονται από εμάς επειδή κινούνται μέσα στον χώρο, στην πραγματικότητα ο ίδιος ο χώρος είναι αυτός που «ξεχειλώνει», έτσι ώστε η σχετική τους απόσταση από εμάς να μεγαλώνει διαρκώς. Οι γαλαξίες, δηλαδή, δεν απομακρύνονται ο ένας από τον άλλον επειδή «διασχίζουν» τον χώρο, αλλά διότι ο μεταξύ τους χώρος διευρύνεται συνεχώς. Βλέποντας τους γαλαξίες να απομακρύνονται από εμάς, μπορεί κάποιος να σκεφτεί ότι όντως βρισκόμαστε στο κέντρο του Κόσμου. Όμως όχι, δεν κατέχουμε προνομιακή θέση στο διαστελλόμενο Σύμπαν, αφού σε οποιονδήποτε άλλο γαλαξία κι αν βρισκόμασταν θα βλέπαμε τους υπόλοιπους γαλαξίες να απομακρύνονται και θα θεωρούσαμε ότι ο γαλαξίας αυτός βρίσκεται στο κέντρο του Σύμπαντος. Γι' αυτή την έννοια, λοιπόν, όχι μόνο δεν βρισκόμαστε στο κέντρο του Σύμπαντος, αλλά το ίδιο το Σύμπαν δεν έχει ούτε κέ-



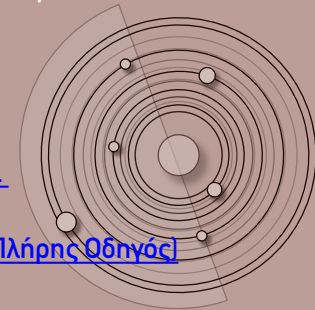
ντρο, ούτε όμως υπάρχει τίποτε έξω από αυτό. Ένας κλασικός τρόπος να οπτικοποιήσουμε την διαστολή του τρισδιάστατου χώρου είναι να «σκεφτούμε» σε δύο διαστάσεις, προσομοιάζοντας τον τρισδιάστατο χώρο με την διδιάστατη ελαστική επιφάνεια ενός μπαλονιού, πάνω στην οποία έχουμε σχεδιάσει μικρούς γαλαξίες. Βλέπουμε ότι όσο περισσότερο φουσκώνουμε το μπαλόνι, τόσο περισσότερο απομακρύνεται ο ένας γαλαξίας από τον άλλον. Αυτό, όμως, δεν συμβαίνει επειδή οι γαλαξίες μετατοπίζονται πάνω στην ελαστική επιφάνεια, αλλά επειδή αυτή «ξεχειλώνει», διευρύνοντας την μεταξύ τους απόσταση.

## Επίλογος

Έκτοτε, η υπέρθερμη απαρχή του Σύμπαντος και η διαρκής διαστολή του επιβεβαιώθηκαν με όλο και μεγαλύτερη ακρίβεια. Η NASA, μάλιστα, προκειμένου να τιμήσει τον αστρονόμο που πρώτος απέδειξε την διαστολή του Σύμπαντος, έθεσε το 1990 σε τροχιά το **διαστημικό τηλεσκόπιο Hubble**, που συνέβαλε σημαντικά στην διεύρυνση των γνώσεών μας για το Σύμπαν, αναδεικνύοντας όμως και νέα ερωτήματα. Η προσπάθειά μας να απαντήσουμε και σ' αυτά θα συνεχιστεί φυσικά και στο μέλλον. Ως έναν βαθμό, ωστόσο, η μακραίωνη και επίπονη προσπάθειά μας να κατανοήσουμε την θέση μας στο Σύμπαν μοιάζει να ολοκληρώνεται. Η συνεχής «εκτόπιση» του ανθρώπου από το κέντρο του Κόσμου, που ξεκίνησε με την απόρριψη του Γεωκεντρικού και του Ηλιοκεντρικού συστήματος, συνεχίστηκε και στην διάρκεια του 20<sup>ου</sup> αιώνα. Αρχικά, όταν ανακαλύψαμε ότι υπάρχουν και άλλοι γαλαξίες εκτός από τον δικό μας και λίγο αργότερα, όταν διαπιστώσαμε ότι το ίδιο το Σύμπαν διαστέλλεται. Η εκπληκτική αυτή ανακάλυψη μάς έδειξε ότι, όχι μόνο δεν βρισκόμαστε στο κέντρο του Σύμπαντος, αλλά ότι εντέλει το Σύμπαν δεν έχει καν κέντρο! Άλλωστε, με αναρίθμητους άλλους γαλαξίες, θα ήταν εγωκεντρικό να επιμένουμε ότι κατέχουμε προνομιακή θέση στο Σύμπαν. Όπως και με αναρίθμητους άλλους πλανήτες, θα ήταν εγωκεντρικό να επιμένουμε ότι ο δικός μας πλανήτης είναι ο μοναδικός στον οποίο έχει εμφανιστεί η ζωή.

## Περαισότερες πληροφορίες:

- <http://www.universeadventure.org/>
- <http://galileo.rice.edu/sci/kepler.html>
- [Αναζητώντας το Κέντρο του Κόσμου \(Πλήρης Οδηγός\)](#)
- [Το Καθιερωμένο Πρότυπο της Κοσμολογίας: Τα Πρώτα Βήματα](#)
- [Η Διαστολή του Σύμπαντος και το Παράδοξο του Olbers](#)
- [Η αρχέγονη πυρηνοσύνθεση και η κοσμική ακτινοβολία υποβάθρου](#)
- [Τα Εκατοστά Γενέθλια της Γενικής Θεωρίας της Σχετικότητας](#)



## Ντοκιμαντέρ Ιδρύματος Ευγενίδου:

- [Νεύτων: Η Δύναμη του Θεού \(2016\)](#)
- [Γαλιλαίος: Η Μάχη στην Αυγή της Σύγχρονης Επιστήμης \(2013\)](#)
- [Κοπέρνικος, Μπράχε, Κέπλερ: Τρεις σπουδαίοι αστρονόμοι \(2011\)](#)





Λεωφ. Συγγρού 387 - 17564 Π. Φάληρο, τηλ. 210 9469600, fax: 210 9430171,  
e-mail: public@eef.edu.gr, <http://www.eef.edu.gr>