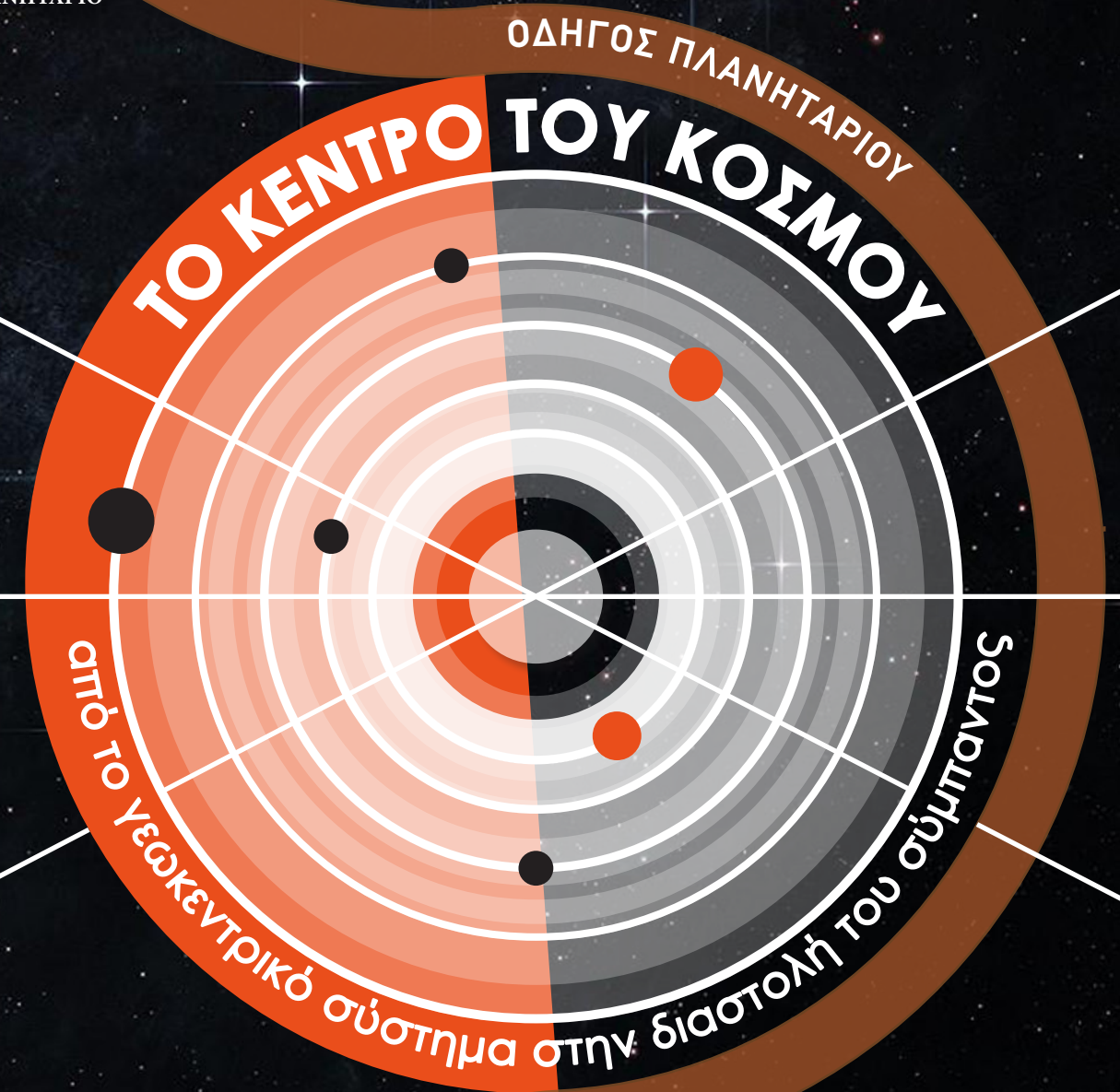




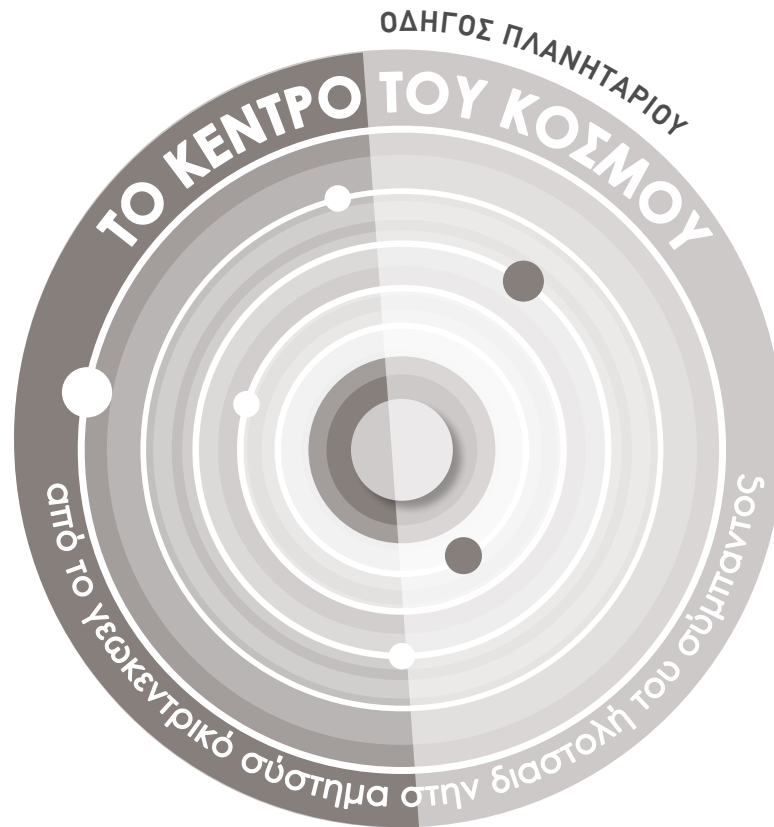
ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ
ΝΕΟ ΨΗΦΙΑΚΟ ΠΛΑΝΗΤΑΡΙΟ

Υπάρχει άραγε κέντρο στο Σύμπαν; Και, αν ναι, πού θα μπορούσε να βρίσκεται; Η προσπάθεια να απαντηθεί αυτό το ερώτημα χάνεται στα βάθη των αιώνων. Χιλιάδες χρόνια πριν, οι αρχαίοι λαοί του κόσμου 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. Ελάτε να ανακαλύψουμε την απάντηση!





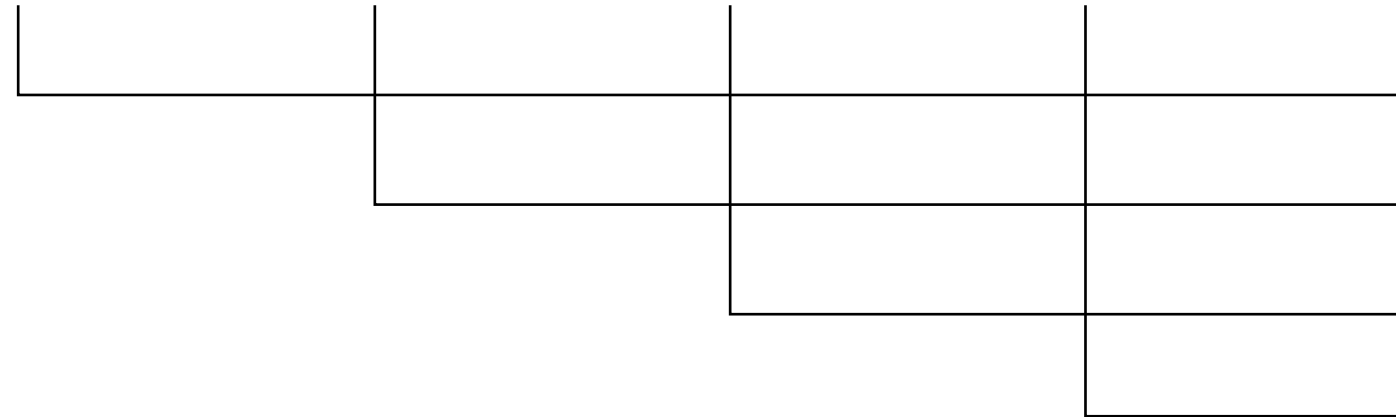
ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ
ΝΕΟ ΨΗΦΙΑΚΟ ΠΛΑΝΗΤΑΡΙΟ



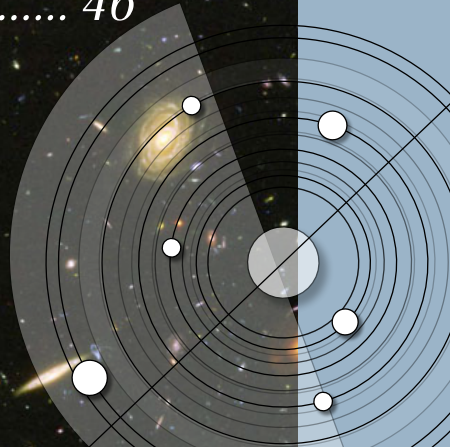
ΑΛΕΞΗ Α. ΔΕΛΗΒΟΡΙΑ
Αστρονόμου Ευγενιδείου Πλανηταρίου

ΑΘΗΝΑ 2018

Περιεχόμενα



Πρόλογος.....	4
1. Εισαγωγή: Το Γεωκεντρικό Σύστημα του Κόσμου.....	6
2. Το Ηλιοκεντρικό Σύστημα του Κόσμου.....	14
3. Το Σύμπαν - νησί και η Μεγάλη Διαμάχη.....	24
4. Η Διαστολή του Σύμπαντος.....	32
Βιβλιογραφία.....	44
Συντελεστές Παράστασης.....	46



Πρόλογος

Το Νέο Ψηφιακό Πλανητάριο του Ιδρύματος Ευγενίδου, ένα από τα μεγαλύτερα και καλύτερα εξοπλισμένα ψηφιακά πλανητάρια στον κόσμο, συμβάλλει στην επιστημονική εκπαίδευση του κοινού της χώρας μας με πολλούς τρόπους, πρωτίστως όμως με τις ψηφιακές του παραγωγές. Από την έναρξη της λειτουργίας του το 2003, χρησιμοποιεί όλες τις δημιουργικές και τεχνικές δυνατότητες που παρέχουν τα σύγχρονα οπτικοακουστικά μέσα και οι νέες τεχνολογίες, τις οποίες συνδυάζει, προκειμένου να αφηγηθεί τα επιτεύγματα και την ιστορία της επιστήμης μ' έναν συναρπαστικό τρόπο. Μέσα από τις παραστάσεις του Πλανηταρίου, το ευρύ κοινό ενημερώνεται για τα επιτεύγματα της επιστήμης, τις νέες τεχνολογικές εξελίξεις και διαφωτίζεται σχετικά με τη φύση της επιστημονικής έρευνας.

Ένα από τα πιο ενδιαφέροντα ερωτήματα που απασχόλησαν τον άνθρωπο διαχρονικά αφορά στην ύπαρξη ή όχι ενός κέντρου στο Σύμπαν, καθώς και στην θέση του πλανήτη μας σε σχέση μ' αυτό. Η προσπάθεια να απαντηθεί αυτό το ερώτημα χάνεται στα βάθη των αιώνων. Από την αρχαία Βαβυλώνα στην αρχαία Ελλάδα και από το Ηλιοκεντρικό σύστημα του Κοπέρνικου στην διαστολή του Σύμπαντος, η παράσταση του Νέου Ψηφιακού Πλανηταρίου με τίτλο «Το Κέντρο του Κόσμου: Από το Γεωκεντρικό Σύστημα στην Διαστολή του Σύμπαντος» εξιστορεί την συναρπαστική εξέλιξη των ιδεών μας για την θέση της Γης και κατά συνέπεια του ανθρώπου στο Σύμπαν.

Ο Οδηγός αρχίζει με τις πρώτες θεωρήσεις του Γεωκεντρικού συστήματος, που επικράτησαν από την αρχαιότητα μέχρι τον 16^ο αιώνα περίπου, με την Γη ακίνητη στο κέντρο του κόσμου και όλα τα ουράνια σώματα να περιφέρονται γύρω της. Στην συνέχεια, παρουσιάζεται η επαναστατική για την εποχή της μετάβαση στην θεωρία του Ηλιοκεντρικού συστήματος, η οποία υλοποιήθηκε κυρίως χάρη στις μελέτες του Κοπέρνικου, του Κέπλερ και του Γαλιλαίου.

Από τότε και σχεδόν μέχρι το πρώτο τέταρτο του 20^{ου} αιώνα, οι περισσότεροι επιστήμονες θεωρούσαν ότι ο Γαλαξίας μας είναι ο μοναδικός που υπάρχει στο Σύμπαν. Κατά συνέπεια, στο τρίτο κεφάλαιο του Οδηγού, παρουσιάζεται με συντομία το πώς εντέλει διαπιστώσαμε ότι η θεώρηση αυτή είναι εσφαλμένη. Σ' αυτό το πλαίσιο, γίνεται αναφορά στο αναπάντητο

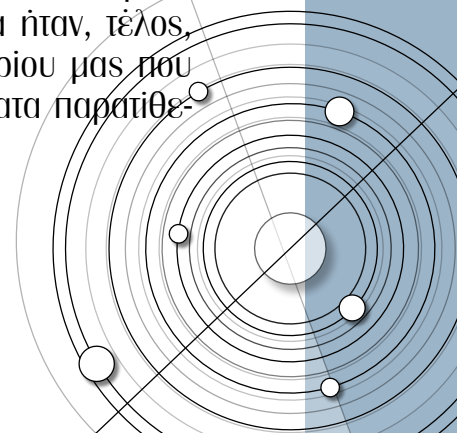
για πολλά χρόνια ερώτημα που αφορούσε στην φύση των σπειροειδών νεφελωμάτων, καθώς και στην επιστημονική διαμάχη μεταξύ των Heber Curtis και Harlow Shapley, ενώ το κεφάλαιο κλείνει με αναφορά στον Edwin Hubble, τον πρώτο που απέδειξε με την παρατήρηση την ύπαρξη και άλλων γαλαξιών.

Στο τελευταίο κεφάλαιο του Οδηγού παρουσιάζονται αρχικά οι θεωρητικές μελέτες, βασισμένες στην Γενική Θεωρία της Σχετικότητας, σύμφωνα με τις οποίες το Σύμπαν δεν είναι στατικό, αιώνιο και αμετάβλητο, όπως θεωρούσαν οι περισσότεροι επιστήμονες περιλαμβανομένου και του Αϊνστάιν ακόμη και 100 χρόνια πριν, αλλά δυναμικό. Ακολούθως, παρουσιάζονται οι παρατηρήσεις του Edwin Hubble, του πρώτου που απέδειξε οριστικά με την παρατήρηση ότι το Σύμπαν διαστέλλεται. Το κεφάλαιο αυτό ολοκληρώνεται με μία σύντομη εξήγηση του τι σημαίνει αυτή η διαστολή, καθώς και τι συνέπειες έχει αναφορικά με την ύπαρξη ή όχι κέντρου στο Σύμπαν.

Θεωρούμε ότι τα θέματα που έχουμε συμπεριλάβει σε αυτόν τον Οδηγό, καθώς και η σχετική βιβλιογραφία που παρατίθεται, συμπληρώνουν με τον καλύτερο δυνατό τρόπο όλα όσα παρουσιάζονται στην παράσταση και ευελπιστούμε ότι θα αποτελέσει χρήσιμο βοήθημα για τον κάθε ενδιαφερόμενο. Ο συγκεκριμένος Οδηγός Παράστασης, καθώς και όλοι οι προηγούμενοι, έχουν αναρτηθεί στην ιστοσελίδα του Ευγενιδείου Πλανηταρίου, στην Ενότητα «Παραστάσεις», ελεύθερα διαθέσιμοι για το κοινό και τους εκπαιδευτικούς.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον Αλέξη Δεληβοριά, αστροφυσικό του Ευγενιδείου Πλανηταρίου, για τη συγγραφή του παρόντος Οδηγού, καθώς και όλους τους συναδέλφους της Ομάδας Εκδόσεων του Ιδρύματος Ευγενίδου για την επιμέλειά του. Θα ήταν, τέλος, παράλειψη αν δεν ευχαριστούσα και όλους τους συνεργάτες του Πλανηταρίου μας που συμμετείχαν στη δημιουργία της νέας παράστασης και των οποίων τα ονόματα παρατίθενται στην τελευταία σελίδα του παρόντος Οδηγού.

*Δρ. Μάνος Κισώνας
Διευθυντής Ευγενιδείου Πλανηταρίου*

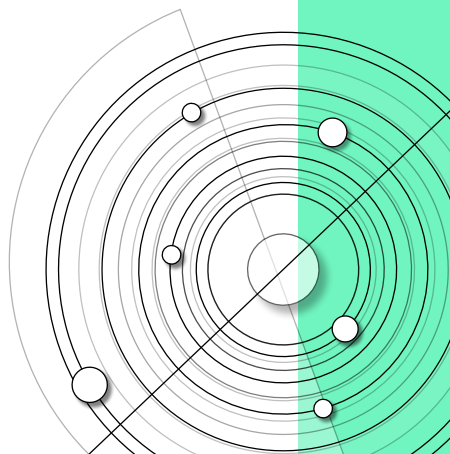


Εισαγωγή: Το Γεωκεντρικό Σύστημα του Κόσμου

1

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 λάμπσεις των μετεώρων που χάνονταν στον ορίζοντα ή την απειλητική, όπως νόμιζε, έλευση κάποιου κομήτη. Σταδιακά, με τις πρώτες αυτές απλές παρατηρήσεις, διαπίστωσε ότι κάποιες από τις φαινομενικά τυχαίες μεταβολές στο ουράνιο στερέωμα είναι εντέλει περιοδικές.

Ο κομήτης Ison (φωτογρ. NASA/MSFC/Aaron Kingery).



Το δέος των αρχαίων λαών για το άγνωστο και το ανεξήγητο αποτυπώθηκε από την πρώτη κιόλας στιγμή στην θεοποίηση πλανητών και άστρων, στις δεισιδαιμόνες προκαταλήψεις τους για την υποτιθέμενη επιρροή που τα ουράνια σώματα ασκούσαν στους ίδιους, στα μελλούμενα και στις θρησκευτικές ιεροτελεστίες τους. Για την πρώτη «απελευθέρωση» των ουράνιων φαινομένων από τις θρησκευτικές και δεισιδαιμόνες αντιλήψεις του παρελθόντος, η ανθρωπότητα θα έπρεπε να περιμένει την έλευση των προσωκρατικών φυσικών φιλοσόφων της αρχαίας Ελλάδας, των πρώτων που προσπάθησαν να τα ερμηνεύσουν με τρόπο ορθολογικό.

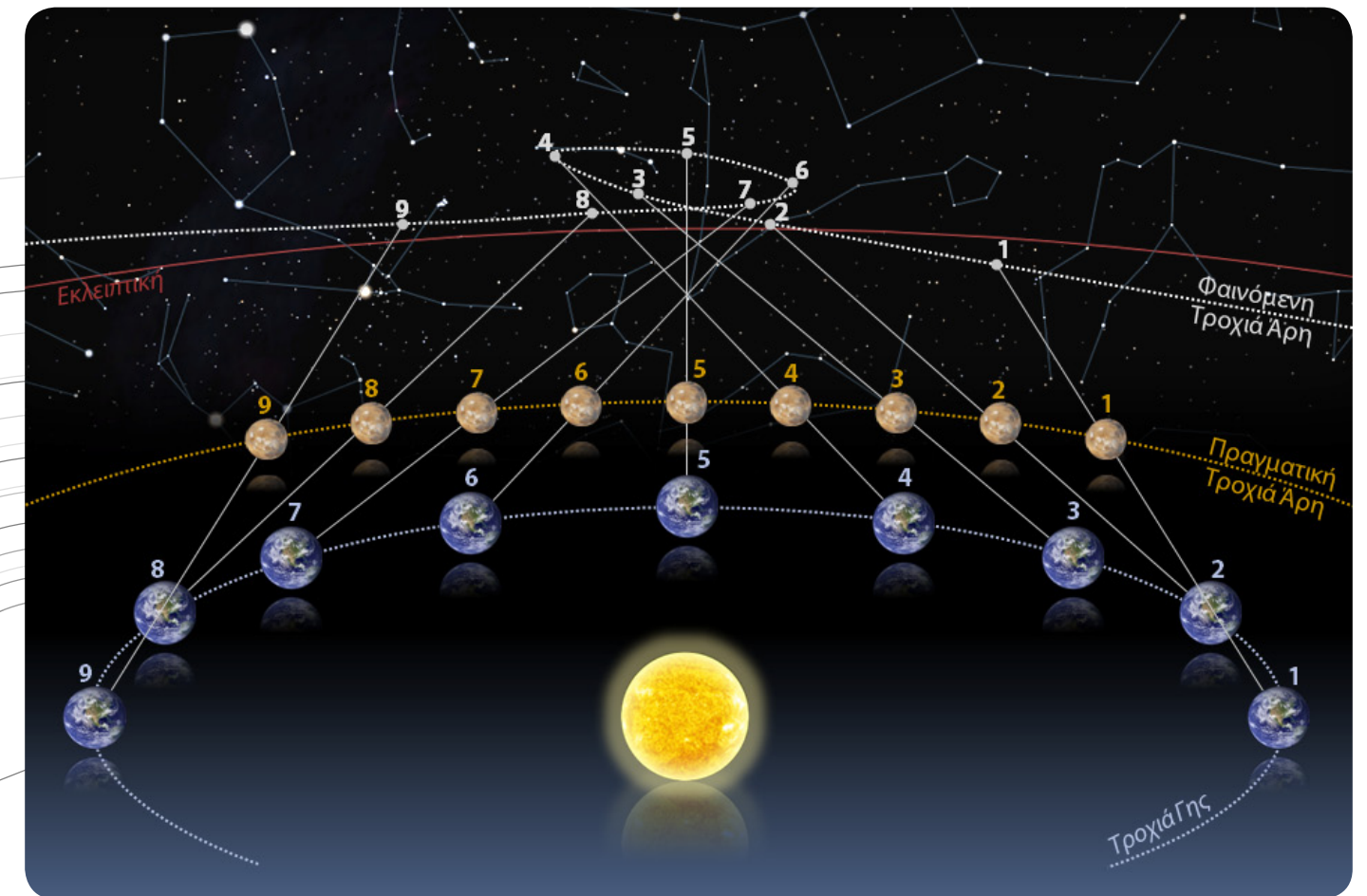
Ωστόσο, η καταγραφή της περιοδικότητας αυτής, από την αέναη εναλλαγή της μέρας με την νύχτα και της μίας εποχής με την άλλη, μέχρι τις φάσεις της Σελήνης, οδήγησε στα πρώτα ημερολόγια. Αργότερα, οι αρχαίοι λαοί έμαθαν να χρησιμοποιούν τους αστερισμούς για τον προσανατολισμό τους, δίνοντας έτσι μεγάλη ώθηση στην ναυσιπλοΐα, το εμπόριο και την εξερεύνηση. Οι παρατηρήσεις αυτές, που βασίζονταν στην καθημερινή εμπειρία και την κοινή λογική, εδραΐωσαν από νωρίς την πεποίθηση ότι η Γη βρίσκεται στο κέντρο του Κόσμου. Πραγματικά, ακόμη και τα μακρινά άστρα φαίνεται ότι κινούνται πάνω σε παράλληλες κυκλικές τροχιές γύρω από τον πλανήτη μας στην διάρκεια της νύχτας, ενώ κατά την διάρκεια του έτους οι αστερισμοί φαίνεται ότι «μεταναστεύουν» αργά προς τα δυτικά, για να επανέλθουν στην ίδια περίπου θέση που καταλάμβαναν στον ουρανό, έναν χρόνο αργότερα.

Φυσικά, οι αστερισμοί, αυτές οι αστρικές ομάδες, οι οποίες αποτελούνται κυρίως από τα λαμπρότερα άστρα μίας περιοχής του ουρανού, δεν είναι παρά μία αυθαίρετη προσπάθεια χαρτογράφησης του ουρανού με σχήματα και εικόνες, συχνά παρμένες από τη μυθολογία του κάθε λαού, ώστε να είναι πιο αναγνωρίσιμος και οικείος. Επειδή, όμως, είναι αδύνατο να αντιληφθούμε την προοπτική του «βάθους» στον νυχτερινό ουρανό με γυμνό μάτι, είναι αδύνατο να αντιληφθούμε την κατανομή των άστρων στον τρισδιάστατο χώρο. Γι' αυτό και μας φαίνεται ότι τα άστρα κατανέμονται σε μία δισδιάστατη επιφάνεια και ότι ισάπεχουν από την Γη. Επομένως, όταν βλέπουμε τον έναστρο ουρανό, μας φαίνεται ότι στεκόμαστε ακίνητοι στο κέντρο ενός τεράστιου, κοίλου και σφαιρικού θόλου, στην εσωτερική επιφάνεια του οποίου είναι «στερωμένα» όλα τα άστρα του ουρανού. Η καθημερινή μας εμπειρία, που βασίζεται σ' αυτό που βλέπουν τα μάτια μας, και η κοινή λογική μας οδηγούν έτσι στο συμπέρασμα ότι οι κυκλικές πορείες των άστρων από τα ανατολικά προς τα δυτικά στην διάρκεια του 24ώρου οφείλονται στο γεγονός ότι η ίδια η ουράνια σφαίρα περιστρέφεται γύρω από την ακίνητη Γη, συμπαρασύροντας και τα άστρα που είναι «στερωμένα» πάνω της.

Εκτός, όμως, από τις κινήσεις του Ήλιου, της Σελήνης, των άστρων και των αστερισμών, οι αρχαίοι παρατηρητές είχαν ανακαλύψει και πέντε ακόμη «περιπλανώμενα άστρα», τα οποία φαίνεται ότι ακολουθούν μία πιο «ιδιόμορφη» πορεία ανάμεσα στα υπόλοιπα άστρα του ουρανού. Πρόκειται

για τους γνωστούς κατά την αρχαιότητα πλανήτες, δηλαδή τον Ερμή, την Αφροδίτη, τον Άρη, τον Δία και τον Κρόνο. Πραγματικά, κάποιες φορές, οι πλανήτες αυτοί φαίνεται να αλλάζουν κατεύθυνση και να κινούνται ανάδρομα, προτού επιστρέψουν στην αρχική τους πορεία. Αυτά τα πέντε «περιπλανώμενα άστρα» ήταν γνωστά κατά την αρχαιότητα ως «πλάνητες αστέρες».

Γνωρίζουμε, φυσικά, ότι οι πλανήτες περιφέρονται γύρω από τον Ήλιο και ότι η ανάδρομη πορεία τους δεν είναι παρά μία ψευδαισθηση που οφείλεται στο γεγονός ότι τους παρατηρούμε από έναν πλανήτη που κι αυτός περιφέρεται γύρω από τον Ήλιο. Γνωρίζουμε, ακόμη, ότι οι κυκλικές πορείες των άστρων στην διάρκεια του 24ώρου είναι μία ακόμη ψευδαισθηση, που οφείλεται στην



Όπως τον παρατηρούμε από την Γη, ο Άρης μοιάζει να κινείται προς τα πίσω, προτού επιστρέψει στην αρχική του πορεία. Αυτό, όμως, δεν είναι παρά μία ψευδαισθηση (Socrates Linardos, CC BY-SA 4.0).

24ωρη περιστροφή της Γης γύρω από τον άξονά της, προς την αντίθετη όμως κατεύθυνση απ' αυτήν που μας φαίνεται ότι κινούνται τα άστρα. Γνωρίζουμε, τέλος, 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 σ' εμάς γνώση. Γι' αυτό και θεωρούσαν ότι η φαινομενική κίνηση των ουράνιων σωμάτων είναι πραγματική. Θεωρούσαν, δηλαδή, ότι όλα τα ουράνια σώματα όντως περιφέρονται γύρω από την Γη μας, η οποία βρίσκεται στο κέντρο του Κόσμου ακίνητη. Με κάποιες παραλλαγές, αυτή η **Γεωκεντρική** θεώρηση του Κόσμου επικράτησε για περισσότερες από δύο χιλιετίες.

Οι πρώτοι, ίσως, συστηματικοί παρατηρητές του έναστρου ουρανού και οι πρώτοι που αναγνώρισαν την περιοδικότητα των αστρονομικών φαινομένων, καταγράφοντας τις κινήσεις των άστρων και των πλανητών, τις ηλιακές και σεληνιακές εκλείψεις και συντάσσοντας τους πρώτους αστρικούς καταλόγους, ήταν οι Σουμέριοι και αργότερα οι Βαβυλώνιοι. Χιλιάδες χρόνια πριν, οι Βαβυλώνιοι είχαν ήδη ομαδοποιήσει τα λαμπρότερα άστρα του ουρανού σε αστερισμούς, είχαν διαιρέσει τον κύκλο σε 360 μοίρες και κατέγραφαν προσεκτικά την πορεία του Ήλιου και της Σελήνης κατά μήκος του Ζωδιακού κύκλου. Με τις γνώσεις τους αυτές και με την βοήθεια των αρχείων τους, οι Βαβυλώνιοι ιερείς μπορούσαν με σχετική ακρίβεια να προβλέπουν ακόμη και εκλείψεις. Οι παρατηρήσεις τους αυτές, ωστόσο, δεν είχαν ως αφετηρία την επιθυμία τους να κατανοήσουν την φύση των πραγμάτων. Πήγα-

ζαν, αντιθέτως, από την πίστη τους ότι τα ουράνια σώματα σχετίζονται με τους θεούς τους και ότι οι κινήσεις των ουράνιων σωμάτων καθορίζουν την ανθρώπινη μοίρα.

Η αστρολογία, δηλαδή η πίστη στην υποτιθέμενη επιρροή που τα ουράνια σώματα ασκούν στην ζωή των ανθρώπων, αλλά και η προσπάθεια να προβλεφθεί αυτή η επιρροή, αναπτύχθηκε απ' όλους τους αρχαίους πολιτισμούς. Καλλιεργώντας την άγνοια και τους φόβους των αρχαίων λαών και υποδαυλίζοντας τις δεισιδαιμονίες προκαταλήψεις τους, η κάστα των ιερέων-αστρολόγων απέκτησε έτσι τεράστια δύναμη. Προσφέροντας μία αυταπάτη ελέγχου σ' έναν απρόβλεπτο κόσμο, η αστρολογία επηρέαζε τις αποφάσεις των ηγεμόνων για πολλούς αιώνες. Πραγματικά, οι προκαταλήψεις αυτές κυριάρχησαν μέχρι και τον 17^ο αιώνα, όταν πια η πρόοδος της αστρονομίας υπονόμεισε τα σαθρά τους θεμέλια. Όμως, παρόλο που η αστρολογία δεν έχει καμία απολύτως επιστημονική βάση, πολλοί εξακολουθούν να πιστεύουν στις προβλέψεις της ακόμη και σήμερα.

Ένας άλλος πολιτισμός που κατέγραφε τις ουράνιες κινήσεις ήταν αυτός της αρχαίας Αιγύπτου. Και εδώ, όμως, οι παρατηρήσεις των Αιγυπτίων ιερέων σχετίζονταν πρωτίστως με την λατρεία των θεών τους, με την πίστη τους στη μετά θάνατον ζωή και με τους κοσμογονικούς τους μύθους και πολύ λιγότερο με την επιθυμία τους να ερμηνεύσουν την κίνηση των ουράνιων σωμάτων με τρόπο ορθολογικό. Σ' αυτούς, ωστόσο, οφείλουμε, μεταξύ άλλων, την επινόηση του ηλιακού ημερολογίου και την διαίρεση του έτους σε 365 ημέρες. Σε αυτήν την συστη-

ματική παρατήρηση του έναστρου ουρανού, και για τους λόγους που αναφέραμε, επιδίδονταν οι λαοί όλων των μεγάλων πολιτισμών της Αρχαιότητας.

Κι όμως, 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. Η αρχή έγινε με τους προσωκρατικούς φυσικούς φιλοσόφους, στα παράλια της Μικράς Ασίας. Στην περιοχή δηλαδή που, χάρη στην κοινωνική και πολιτική ελευθερία, στην επαφή με διαφορετικούς πολιτισμούς και λαούς και στη μεγάλη οικονομική ανάπτυξη πραγματοποιήθηκε η πρώτη προσπά-



Ηλιακή έκλειψη (φωτόγρ. NASA/Aubrey Gemignani).

θεια του ανθρώπου να ερμηνεύσει τον κόσμο και τα φυσικά φαινόμενα με ορθολογικό τρόπο.

Καθ' όλη τη διάρκεια του 6^{ου} και 5^{ου} αιώνα π.Χ., αρχικά σε πόλεις της Μικράς Ασίας, όπως η Μίλητος, η Έφεσος και η Κολοφώνα και αργότερα στις ελληνικές αποικίες της Σικελίας και της κάτω Ιταλίας, οι προσωκρατικοί φυσικοί φιλόσοφοι ήταν οι πρώτοι που προσπάθησαν να δώσουν μία ορθολογική και επιστημονική, για τα μέτρα της εποχής τους, ερμη-

νεία του Κόσμου και των φυσικών φαινομένων. Τα επιτεύγματα των αρχαίων Ελλήνων κορυφώθηκαν στη διάρκεια της Κλασικής Περιόδου. Ήταν μία εποχή που τα Γράμματα, οι Τέχνες, η Φιλοσοφία και οι Επιστήμες καλλιεργήθηκαν σε τέτοιο βαθμό, που κυριολεκτικά διαμόρφωσαν τα ίδια τα θεμέλια του Δυτικού Πολιτισμού. Αργότερα, στην διάρκεια των ελληνιστικών χρόνων, τα μαθηματικά και η αστρονομία θα γνωρίσουν πρωτοφανή ανάπτυξη χάρη στο έργο του Αρχιμήδη, του Ευκλείδη, του

Ερατοσθένη, του Ιππάρχου και του Πτολεμαίου.

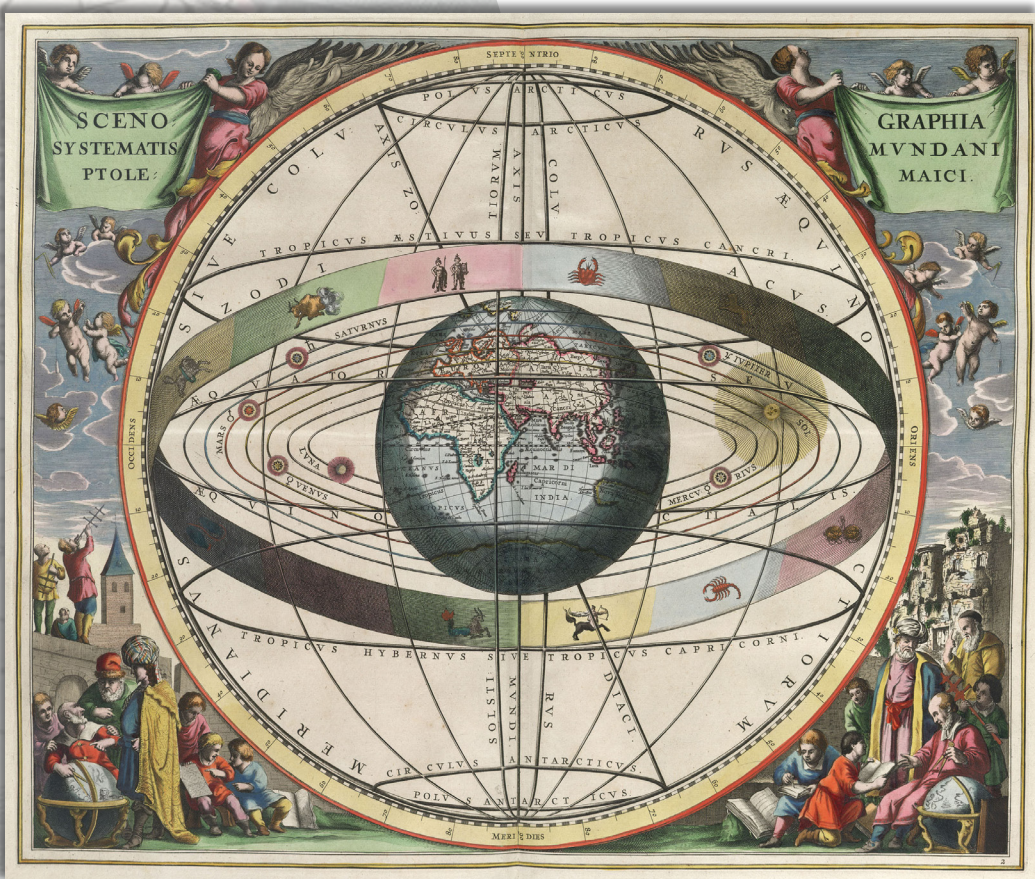
Παρολ' αυτά, οι αρχαίοι μελετητές, που εξακολουθούσαν να πιστεύουν στην Γεωκεντρική θεώρηση του Κόσμου, ανέπτυσαν όλο και πιο πολύπλοκα κοσμολογικά συστήματα, προκειμένου να εξηγήσουν την ανάδρομη πορεία των πλανητών. Ένας απ' αυτούς ήταν ο **Εύδοξος**, που έζησε τον 4^ο π.Χ. αιώνα. Ενσωματώνοντας το Πλατωνικό ιδεώδες της ομαλής κυκλικής κίνησης, το σύστημα του Ευδόξου αποτελούνταν από ένα πλέγμα 27 ομόκεντρων σφαιρών, συνδεδεμένων μεταξύ τους, που περιστρέφονταν ομαλά γύρω από την ακίνητη Γη, τρεις σφαίρες για τον Ήλιο, τρεις για την Σελήνη, τέσσερις για καθέναν από τους πέντε γνωστούς πλανήτες και μία τελευταία για τους απλανείς αστέρες. Απ' ό,τι φαίνεται μάλιστα, η σύνθεση των κινήσεων των σφαιρών αναπαρήγαγε ικανοποιητικά αρκετές από τις τότε γνωστές φαινόμενες ουράνιες κινήσεις.

Η προσπάθεια να ερμηνευθεί η ανάδρομη πορεία των πλανητών στο πλαίσιο του Γεωκεντρικού συστήματος κορυφώθηκε τον 2^ο μ.Χ. αιώνα, χάρη στον **Κλαύδιο Πτολεμαίο** (100-170 μ.Χ.), ο οποίος υποστήριζε ότι η κίνηση των πλανητών είναι συνισταμένη δύο επμέρους κυκλικών κινήσεων. Σύμφωνα με το Πτολεμαϊκό σύστημα, δηλαδή, 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, που πίστευε σε μία Ηλιοκεντρική θεώρηση του Σύμπαντος, το **Γεωκεντρικό Σύστημα του Κόσμου**, όπως αναπτύχθηκε από τον Πτολεμαίο, κυριάρχησε μέχρι και τον 16^ο-17^ο αιώνα, όταν άρχισε να

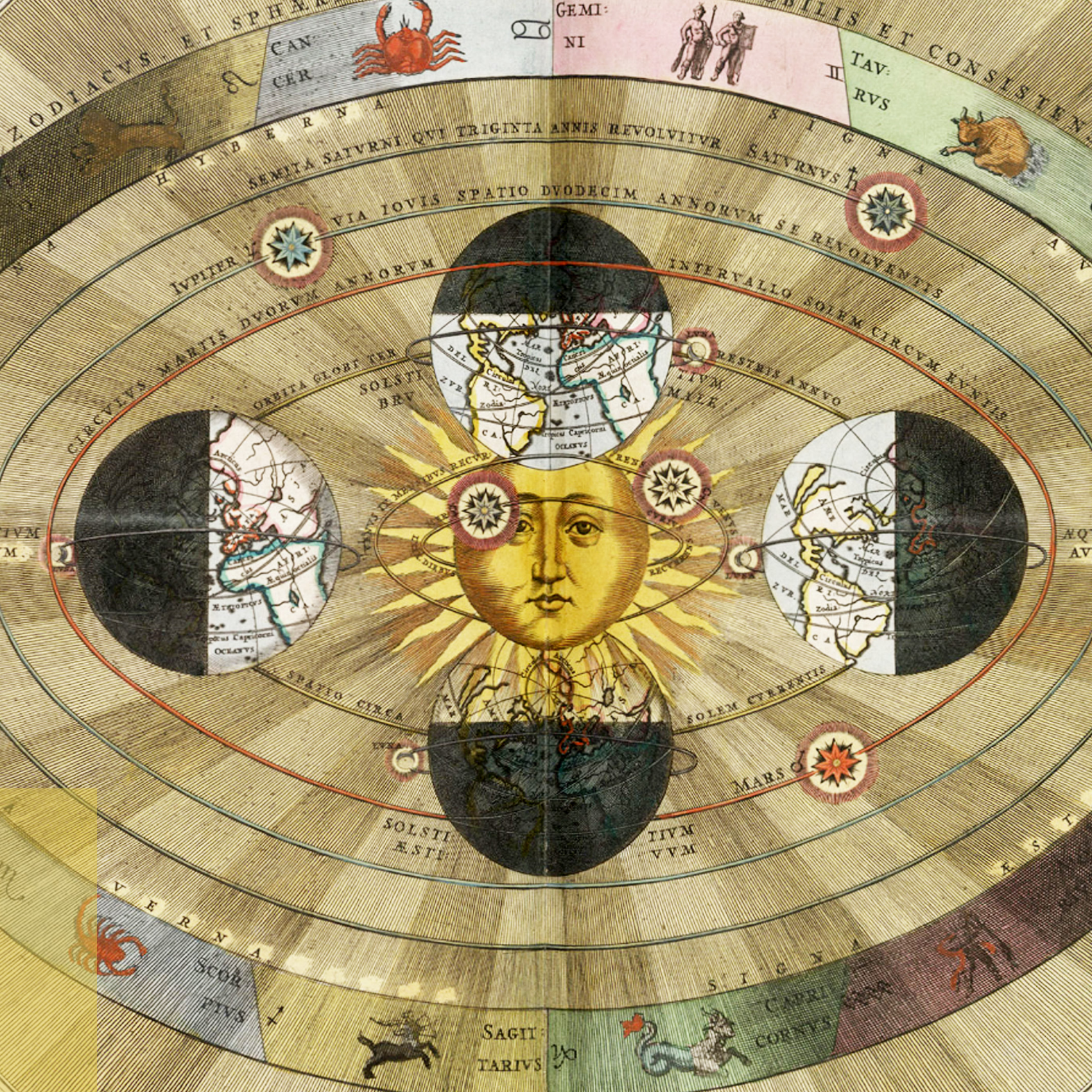
υποστηρίζεται η θέση ότι το κέντρο του Κόσμου δεν βρίσκεται στην Γη, αλλά στον Ήλιο, ενώ ο πλανήτης μας περιφέρεται γύρω του, όπως δηλαδή και οι άλλοι πλανήτες. Η πρώτη «εκθρόνιση» του πλανήτη μας από την περίοπτη θέση του στο κέντρο του Κόσμου ήταν γεγονός.

Έκτοτε μάθαμε πολλά και όσα ανακαλύπταμε απομάκρυναν όλο και πιο πολύ την Γη, και κατά συνέπεια τον άνθρωπο, από το κέντρο του Κόσμου. Με την αυγή του 20^{ου} αιώνα και την ραγδαία ανάπτυξη των επιστημών και της τεχνολογίας διαπιστώσαμε ότι εντέλει ούτε ο Γαλαξίας μας κατέχει προνομιακή θέση στο Σύμπαν. Ανακαλύψαμε, δηλαδή, ότι ο Γαλαξίας μας είναι ένας μόνο από τους αναρίθμητους γαλαξίες του Σύμπαντος. Και το ίδιο το Σύμπαν δεν είναι στατικό, αιώνιο και αμετάβλητο, όπως νομίζαμε μόλις 100 χρόνια πριν, αλλά αντιθέτως διαστέλλεται, καθώς ο χώρος μεταξύ των γαλαξιών του «εξεχειλώνει» διαρκώς.

Στο επόμενο κεφάλαιο, επομένως, θα εστιάσουμε στην εξέλιξη των ιδεών που οδήγησαν στην κατάρρευση του Γεωκεντρικού και στην επικράτηση του Ηλιοκεντρικού συστήματος. Στα δύο τελευταία κεφάλαια, τέλος, θα παρουσιάσουμε ορισμένες από τις σημαντικότερες ανακαλύψεις που υλοποιήθηκαν στην διάρκεια του 20^{ου} αιώνα, μέσα από τις οποίες διαπιστώσαμε αρχικά την ύπαρξη και άλλων γαλαξιών και λίγο αργότερα την διαστολή του ίδιου του Σύμπαντος. Οι ανακαλύψεις αυτές απομάκρυναν οριστικά την Γη, το Ηλιακό σύστημα, τον Γαλαξία και εμάς τους ίδιους από το κέντρο του Σύμπαντος και μας έδειξαν ότι εντέλει το ίδιο το Σύμπαν δεν έχει καν κέντρο!



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

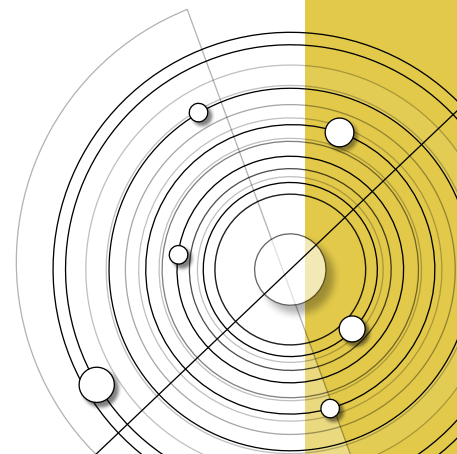


Το Ηλιοκεντρικό Σύστημα του Κόσμου



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. Με το τέλος, όμως, της Αναγέννησης, η Αριστοτελική και Πτολεμαϊκή θεώρηση του φυσικού Κόσμου, που είχαν υιοθετηθεί από την Ρωμαιοκαθολική Εκκλησία και είχαν εντέλει ενσωματωθεί στο «αλάθητο» δόγμα της, άρχισαν να αμφισβητούνται όλο και πιο πολύ, στην διάρκεια μιας περιόδου που έχει μείνει γνωστή ως η πρώτη Επιστημονική Επανάσταση.

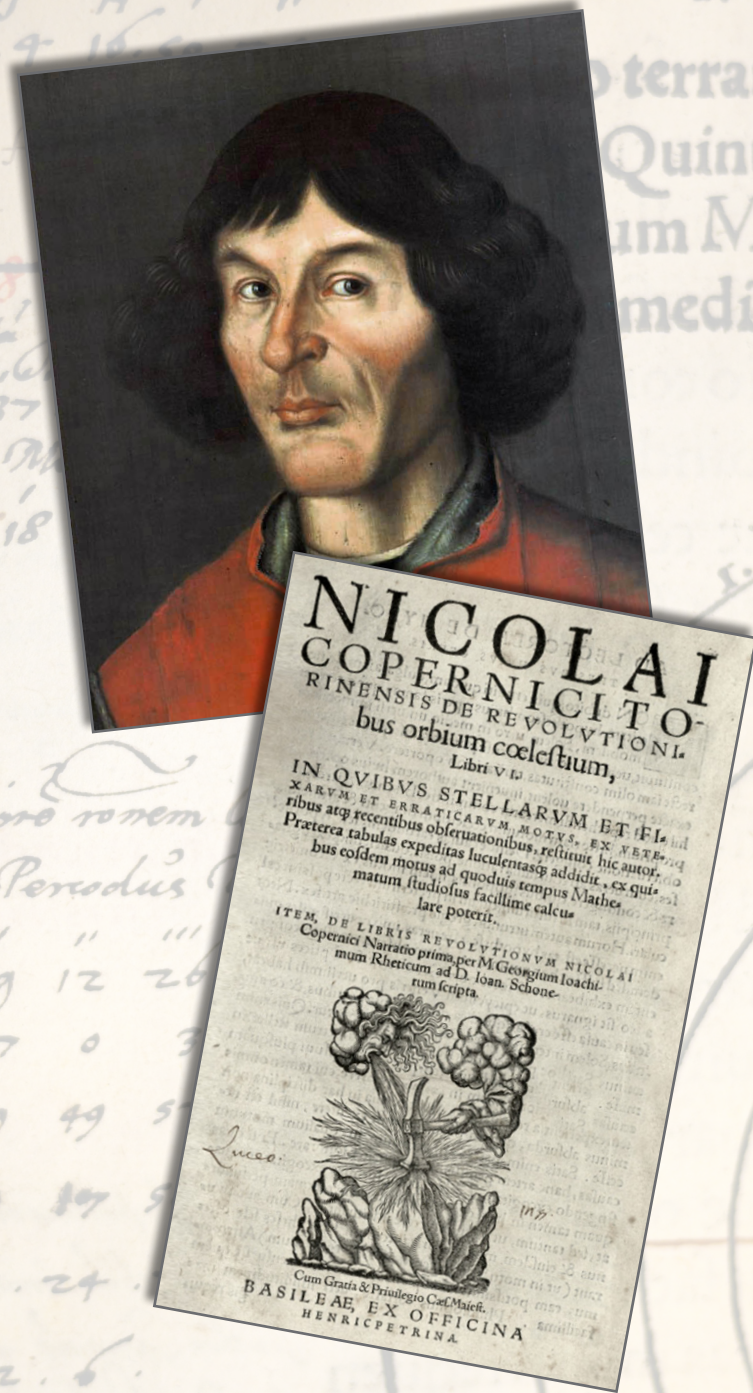
Το Κοπερνίκειο σύστημα όπως απεικονίστηκε στον Harmonia Macrocosmica, τον αστρονομικό Άτλαντα του Γερμανού χαρτογράφου Andreas Cellarius (1596-1665).



Η απαρχή της Επιστημονικής Επανάστασης μπορεί να προσδιοριστεί χρονικά με την δημοσίευση των πρώτων έργων που αμφισβήτησαν με ριζοσπαστικό τρόπο 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 το 1543, την χρονιά του θανάτου του.

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.

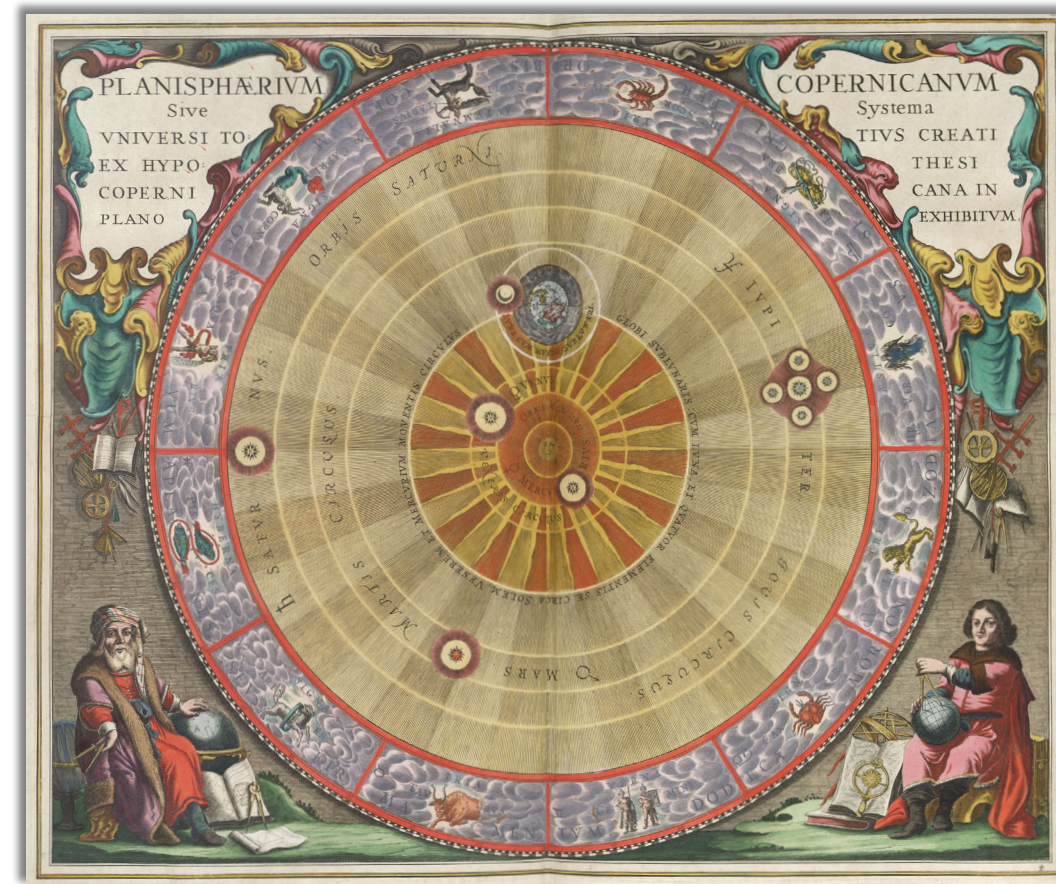
Επειδή, όμως, στην πραγματικότητα οι πλανήτες δεν εκτελούν ομαλή κυκλική κίνηση γύρω από τον Ήλιο, το σύστημα του Κοπέρνικου δεν εξάλειψε την ανάγκη για επικυκλους. Ωστόσο, στο πλαίσιο του Ηλιοκεντρικού συστήματος, το μυστήριο της ανάδρομης πορείας των πλανητών επιλύεται, εάν αναλογιστούμε ότι οι παράξενοι βρόχοι τους, όπως τους βλέπουμε από την Γη, δεν είναι παρά το αποτέλεσμα της κίνησης του πλανήτη μας, σε συνδυασμό με την κίνηση και των άλλων πλανητών γύρω από τον Ήλιο.



Ο Νικόλαος Κοπέρνικος και η σελίδα τίτλου του *De Revolutionibus*, σε έκδοση του 1566.

Η Ηλιοκεντρική θεωρία του Κοπέρνικου δεν συνάντησε την άμεση αποδοχή των στοχαστών που τον ακολούθησαν. Ο Δανός αστρονόμος **Τύχωνας Μπράχε** (1546-1601), για παράδειγμα, απέρριπτε το Ηλιοκεντρικό σύστημα, επειδή ερχόταν σε αντίθεση με τα γραπτά της Βίβλου. Υποστήριζε, αντίθετα, ένα γεω-ηλιοκεντρικό σύστημα, σύμφωνα με το οποίο οι 5 γνωστοί τότε πλανήτες περιφέρονται γύρω από τον Ήλιο, ενώ ο Ήλιος και η Σελήνη περιφέρονται γύρω από τη Γη, περιβαλλό-

μενοι από το σταθερό, αιώνιο και αμετάβλητο ουράνιο στερέωμα. Με αυτά τα δεδομένα, αποτελεί ίσως ειρωνεία το γεγονός ότι με τις παρατηρήσεις του συνέβαλε αποφασιστικά στην κατάρριψη του Γεωκεντρικού συστήματος. Στο βιβλίο του *De Nova Stella* (Περί του Νέου Άστρου), για παράδειγμα, στο οποίο περιέγραφε την Ξαφνική εμφάνιση και διατήρηση για αρκετούς μήνες στο ουράνιο στερέωμα ενός «νέου» υπέρλαμπρου άστρου (γνωρίζουμε σήμερα ότι το άστρο αυτό ήταν μία σουπερ-

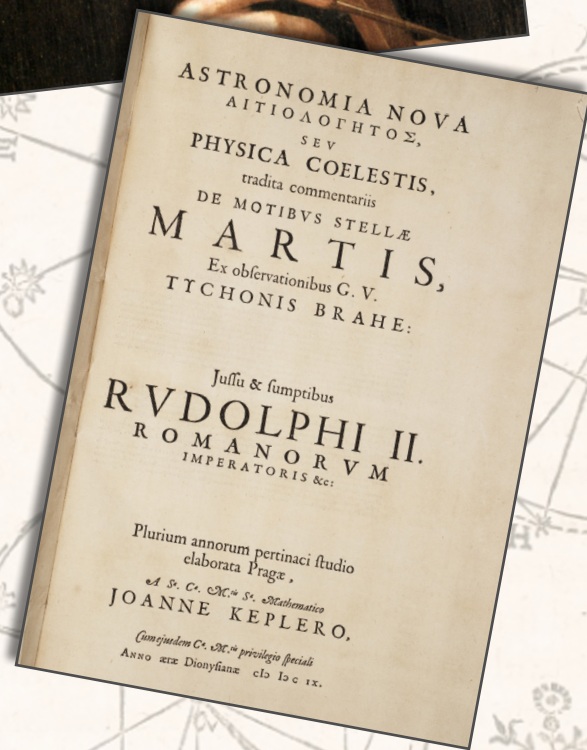


Το σύστημα του Κοπέρνικου, σύμφωνα με τους αστρικούς χάρτες του Cellarius.

νόβα), ο Μπράχε αποδεικνυε ότι το άστρο αυτό ήταν πολύ μακρύτερα από τη Σελήνη και τους άλλους πλανήτες, και κατά συνέπεια ότι η ουράνια σφαίρα δεν ήταν αιώνια, αμετάβλητη και για πάντα τέλεια, όπως θεωρούσαν ο Αριστοτέλης και ο Πτολεμαίος. Επιπλέον, σε αντίθεση με τον Κοπέρνικο, ο Μπράχε ήταν δεινός παρατηρητής του έναστρου ουρανού και κατέγραφε για χρόνια και με εκπληκτική για την εποχή τους ακρίβεια τις θέσεις των πλανητών. Σ' αυτές τις παρατηρήσεις βασίστηκε ο Γερμανός μαθηματικός και αστρονόμος **Γιοχάνες Κέπλερ** (1571-1630), προκειμένου να θεμελιώσει τους τρεις νόμους που περιγράφουν την κίνηση των πλανητών γύρω από τον Ήλιο.

Βαθιά θρησκευόμενος ο ίδιος, αλλά και ένθερμος υποστηρικτής του Κοπερνίκειου συστήματος, ο Κέπλερ μαθήτευσε δίπλα στον Μπράχε το 1600. Υπό την επίβλεψή του, μάλιστα, προσπάθησε αρχικά να προσδιορίσει την τροχιά του πλανήτη Άρν. Έναν χρόνο αργότερα, ο Μπράχε πέθανε και τα πολύτιμα δεδομένα του πέρασαν στα χέρια του Κέπλερ, που συνέχισε την προσπάθειά του να ανακαλύψει το είδος της τροχιάς που ακολουθούν οι πλανήτες. Και εντέλει την βρήκε: οι τροχιές των πλανητών έπρεπε να είναι ελλειπτικές! Αυτή η φαινομενικά μικρή αλλαγή στην θεώρηση των πραγμάτων απομάκρυνε οριστικά την ανάγκη των επικύκλων.

Σύμφωνα με τον Κέπλερ, λοιπόν, οι πλανήτες κινούνται σε ελλειπτικές τροχιές γύρω από τον Ήλιο και ο Ήλιος βρίσκεται στην μία από τις δύο εστίες των ελλείψεων που διαγράφουν. Αυτός είναι



Ο Γιοχάνες Κέπλερ και η σελίδα τίτλου του *Astronomia Nova*, σε έκδοση του 1609.

ο **Πρώτος Νόμος του Κέπλερ**. Χρησιμοποιώντας τις παρατηρήσεις του Μπράχε, ο Κέπλερ έκανε μια ακόμη σημαντική ανακάλυψη: Ένας πλανήτης δεν κινείται με την ίδια σταθερή ταχύτητα στην ελλειπτική του τροχιά, αλλά όσο πλησιάζει προς την εστία στην οποία βρίσκεται ο Ήλιος, η ταχύτητά του αυξάνει. Ειδικότερα, η νοπή ευθεία που ενώνει τον κάθε πλανήτη με τον Ήλιο διαγράφει σε ίσους χρόνους περιοχές με ίσα εμβαδά. Αυτός είναι ο **Δεύτερος Νόμος του Κέπλερ**.

Τα πρώτα του αυτά συμπεράσματα, που κωδικοποιήθηκαν στους δύο πρώτους νόμους του, περιγράφονται στο βιβλίο *Astronomia Nova* (Νέα Αστρονομία), που δημοσιεύθηκε το 1609. Περίπου 10 χρόνια αργότερα, με τη δημοσίευση του *Harmonices Mundi* (Αρμονίες του Κόσμου), ο Κέπλερ διατυπώνει και τον **Τρίτο Νόμο**, σύμφωνα με τον οποίο ο λόγος του τετραγώνου της περιόδου περιφοράς του κάθε πλανήτη προς τον κύβο του μήκους του μεγάλου ημιάξονα της έλλειψης που διαγράφει είναι σταθερός. Αυτό σημαίνει ότι κάθε πλανήτης που κινείται σε μεγαλύτερη τροχιά γύρω από τον Ήλιο, περιφέρεται γύρω του με μικρότερη ταχύτητα. Κατορθώνοντας να τοποθετήσει τα δεδομένα για τις θέσεις των πλανητών πάνω σε ελλειπτικές τροχιές, ο Κέπλερ προσέδωσε μαθηματική αξιοπιστία στην Κοπερνίκεια θεώρηση. Ένθερμος υποστηρικτής της βαθύτερης μαθηματικής αρμονίας του Σύμπαντος, μία άκρως πυθαγόρεια αντίληψη, ο Κέπλερ δεν μπορεί παρά να ένιωθε ενθουσιασμένος με τις μαθηματικές σχέσεις στις οποίες κατέληξε. Οι **Νόμοι του Κέπλερ**, ωστόσο, ήταν καθαρά εμπειρικοί, δηλαδή είχαν διατυπω-

θει με βάση την παρατήρηση και μόνον, χωρίς καμία θεωρητική ερμηνεία.

Παρόλο που το Ηλιοκεντρικό σύστημα του Κόσμου ήταν αναμφίβολα απλούστερο και «κομφότερο» από το Γεωκεντρικό και παρόλο που ο Κέπλερ είχε ταιριάζει τις τροχιές των γνωστών τότε πλανητών στα δεδομένα του Μπράχε, η ευρύτερη αποδοχή του καθυστέρησε αρκετά. Εκείνη την εποχή, ωστόσο, με την εφεύρεση του τηλεσκοπίου άλλαξε για πάντα ο τρόπος που βλέπαμε τον Κόσμο. Η νέα αυτή εφεύρεση εξαπλώθηκε γρήγορα στην Ευρώπη και δεκάδες τηλεσκόπια άρχισαν να κατασκευάζονται στην Γερμανία, την Γαλλία και την Ιταλία. Σε λίγους μήνες, τα νέα έφτασαν μέχρι την Πάδοβα και τον αστρονόμο **Γαλιλαίο Γαλιλέι** (1564-1642), ο οποίος κατόρθωσε να κατασκευάσει αρκετά ισχυρότερα τηλεσκόπια απ' αυτά που κυκλοφορούσαν τότε στην πατρίδα του. Συνειδητοποιώντας άμεσα



Ο Γαλιλαίος.

τις δυνατότητες του νέου αυτού επιστημονικού οργάνου, ο Γαλιλαίος 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 των 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 πλανή-

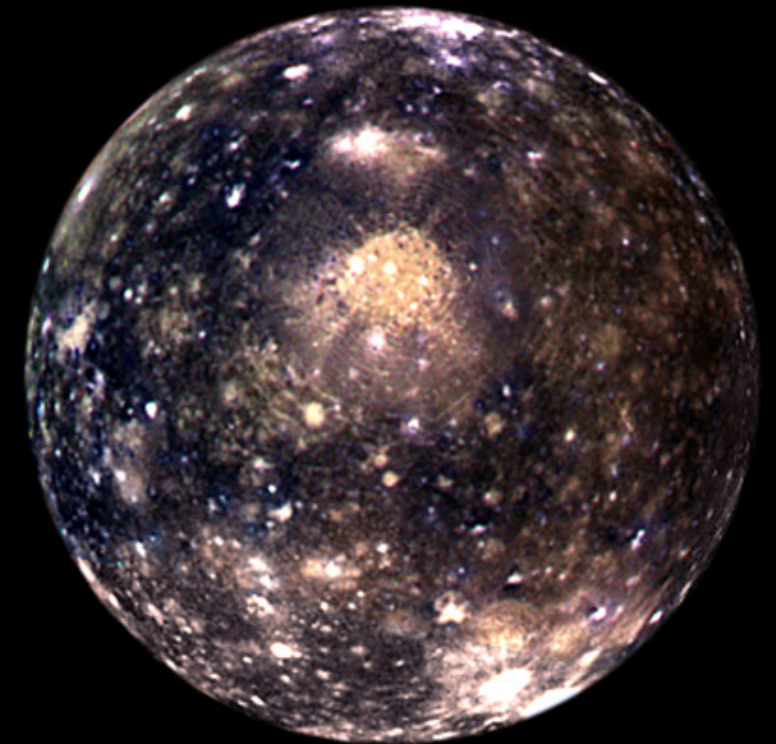
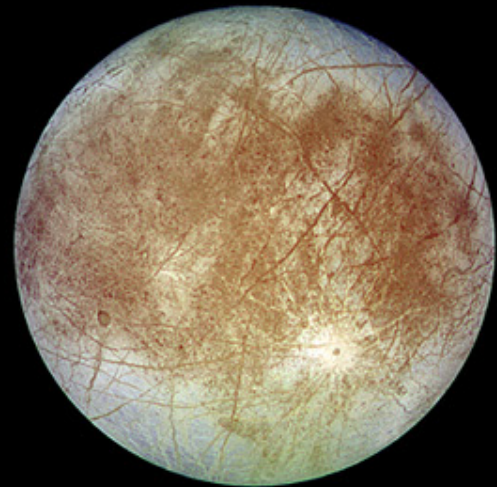
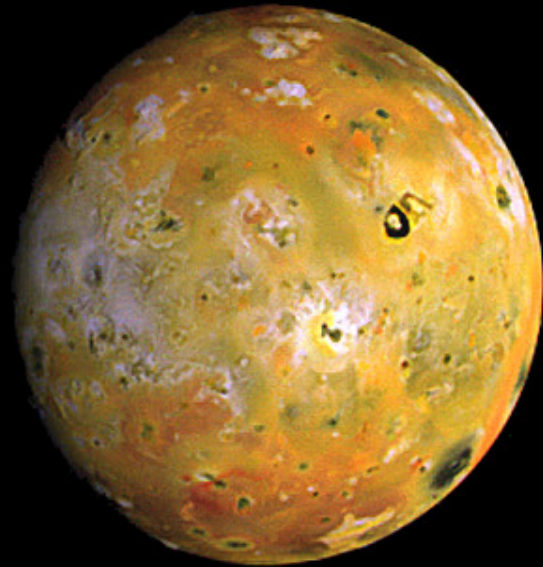
τη. Συνεχίζοντας τις μελέτες του, ο Γαλιλαίος παρατηρεί τις φάσεις της Αφροδίτης και διαπιστώνει ότι κι αυτές ταιριάζουν καλύτερα στο Ηλιοκεντρικό σύστημα, αρκεί να θεωρηθεί ότι ο πλανήτης αυτός βρίσκεται πλησιέστερα στον Ήλιο απ' όσο η Γη.

Παρόλο που, σε αντίθεση με την κοινή αντίληψη, ο Γαλιλαίος δεν έριχνε αντικείμενα από τον κεκλιμένο πύργο της Πίζας, είτε με αντίστοιχα πειράματα που πραγματοποίησε στο εργαστήριό του, είτε με *νοητικά* πειράματα, κατέρριψε και την άλλη δισχιλιετή Αριστοτελική θεώρηση, ότι δηλαδή τα βαρύτε-

ρα αντικείμενα πέφτουν ταχύτερα από τα ελαφρύτερα. Έχοντας φτάσει πολύ κοντά στην διατύπωση του **Αξιώματος της Αδράνειας** (το οποίο διατυπώθηκε με μεγαλύτερη σαφήνεια, αρχικά από τον Καρτέσιο και αργότερα από τον Νεύτωνα, ο οποίος το ενσωμάτωσε στον Πρώτο Νόμο του), και έχοντας διατυπώσει την **Αρχή της Σχετικότητας**, σύμφωνα με την οποία οι νόμοι της φυσικής είναι οι ίδιοι για κάθε σύστημα, το οποίο κινείται με σταθερή ταχύτητα σε ευθεία γραμμή, η συνεισφορά του Γαλιλαίου στην εξέλιξη των θεωριών της Μηχανικής από τον Νεύτωνα, αλλά και της **Ειδικής Θεωρίας**

της Σχετικότητας από τον Αϊνστάιν υπήρξε ανεκτίμητη. Ανεξάρτητα, όμως, από τις ανακαλύψεις του αυτές, η παρατήρηση και το πείραμα ανάγονται από τον Γαλιλαίο σε καθοριστικούς παράγοντες της επιστημονικής διερεύνησης των φυσικών φαινομένων. Με τη στάση του αυτή, σε συνδυασμό με την πεποίθησή του ότι οι φυσικοί νόμοι, το βιβλίο της Φύσης, όπως έλεγε, «γράφεται» με τη γλώσσα των μαθηματικών, ο Γαλιλαίος συνέβαλε καθοριστικά στη γέννηση της σύγχρονης επιστήμης.

Καθ' όλη την διάρκεια της περιόδου αυτής, η



Οι δορυφόροι του Γαλιλαίου *Ιώ*, *Ευρώπη*, *Γανυμήδης* και *Καλλιστώ* (φωτογρ. NASA).

αντίδραση της Καθολικής Εκκλησίας στις νέες επιστημονικές ανακαλύψεις, που ανέτρεπαν την αριστοτέλεια θεώρηση και τις διδασχές των Γραφών, παραμένει ισχυρή. Είναι χαρακτηριστικό ότι το 1616, την χρονιά που η Καθολική Εκκλησία απαγόρευσε το βιβλίο του Κοπέρνικου, η Ιερά Εξέταση απαγόρευσε και στον Γαλιλαίο να υποστηρίξει δημόσια την θέση ότι η Γη κινείται γύρω από τον Ήλιο. Το 1632, όμως, όταν δημοσιεύθηκε το βιβλίο του *Διάλογος Περί των Δύο Κύριων Συστημάτων του Κόσμου*, η αντίδραση της Εκκλησίας κορυφώθηκε.

Η δημοσίευση του *Διαλόγου* του Γαλιλαίου προκάλεσε μεγάλη αναστάτωση, καθώς ήταν γραμμένος στα ιταλικά και όχι στα λατινικά, και ως εκ τούτου θα μπορούσε να διαβαστεί όχι μόνο από τους λόγιους και τους μελετητές αλλά και από τον λαό. Κυρίως όμως επειδή σε αυτόν ο Γαλιλαίος υπερασπιζόταν με σαρκασμό, σε βάρος της Εκκλησίας και του Πάπα, τις απαγορευμένες αρχές του Κοπέρνικου και υποστήριζε ευθαρσώς ότι το Ηλιοκεντρικό σύστημα δεν ήταν υπόθεση αλλά η αλήθεια. Στην περίφημη δίκη του Γαλιλαίου που ακολούθησε, η Ιερά Εξέταση τον εξανάγκασε να απαρνηθεί τις απόψεις του και να αποκηρύξει δημόσια τη θεωρία ότι η Γη κινείται γύρω από τον Ήλιο. Σε μεγάλη ηλικία και αντιμετωπίζοντας σοβαρά προβλήματα υγείας, ο Γαλιλαίος δεν είχε το σθένος να υπερασπιστεί τις απόψεις του. Σύμφωνα με τον θρύλο, ωστόσο, όταν ο Γαλιλαίος αναγκάστηκε ενώπιον της Ιεράς Εξέτασης να αποκηρύξει τη θεωρία ότι η Γη κινείται γύρω από τον Ήλιο, ψιθύρισε

στον εαυτό του «*και όμως κινείται*», φράση που πιθανότατα δεν είπε ποτέ, αλλά που συμβολίζει έκτοτε τη δύναμη του κριτικού πνεύματος και του ορθολογισμού ενάντια στον σκοταδισμό και την εκκλησιαστική αυθεντία.

Το ποτάμι, όμως, δεν γύριζε πια πίσω. 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 διατύπωση της Ηλιοκεντρικής θεωρίας του Κόσμου από τον Κοπέρνικο, οι λεπτομερείς παρατηρήσεις του Μπράχε, οι Τρεις Νόμοι του Κέπλερ που διέπουν την κίνηση των πλανητών γύρω από τον Ήλιο, οι παρατηρήσεις με τηλεσκόπιο, τα πειράματα και οι μελέτες που πραγματοποίησε ο Γαλιλαίος είχαν κλονίσει συθέμελα την Αριστοτέλεια φυσική φιλοσοφία και το Πτολεμαϊκό σύστημα του Κόσμου.

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 έχουν ιδιαίτερη ή ξεχωριστή θέση στο Σύμπαν, έχει μείνει γνωστή ως η **Αρχή του Κοπέρνικου**. Φυσικά, η μετατόπιση αυτή συντελέστηκε με αργά και επίπονα βήματα και, όπως θα δούμε στην συνέχεια, οδήγησε στην διαπίστωση ότι ούτε το Ηλιακό σύστημα βρίσκεται στο κέντρο του Γαλαξία μας, ούτε ο Γαλαξίας μας βρίσκεται στο κέντρο του Σύμπαντος.



DIALOGO
DI
GALILEO GALILEI LINCEO
MATEMATICO SOPRAORDINARIO
DELLO STUDIO DI PISA.
E Filosofo, e Matematico primario del
SERENISSIMO
GR.DVCA DI TOSCANA.

*Due ne i congressi di quattro giornate si discorre
sopra i due*

**MASSIMI SISTEMI DEL MONDO
TOLEMAICO, E COPERNICANO;**

*Proponendo indeterminatamente le ragioni Filosofiche, e Naturali
tanto per l'una, quanto per l'altra parte.*



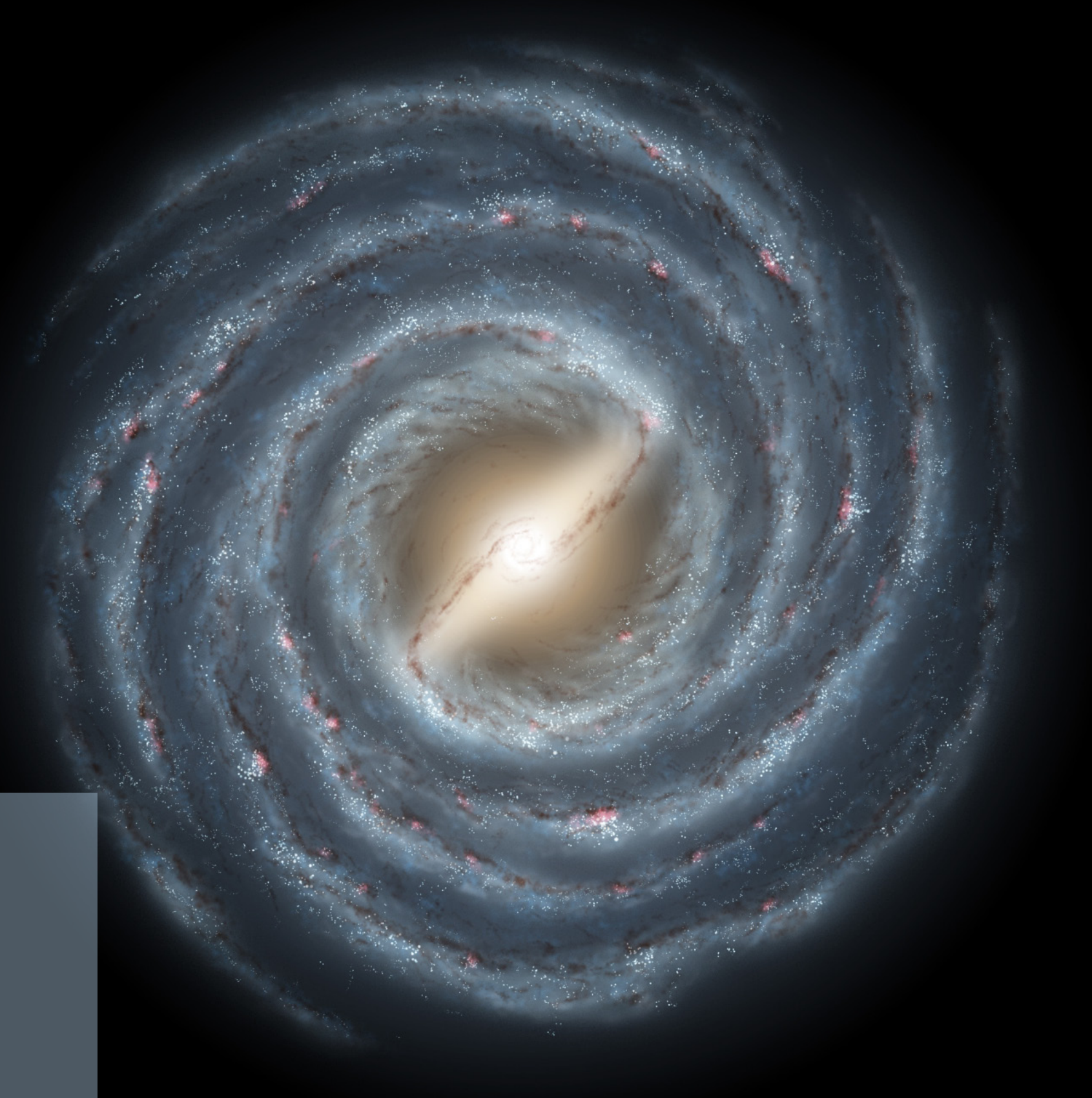
CON PRI

VILEGI.

IN FIRENZA, Per Gio:Batista Landini MDCXXXII.

CON LICENZA DE' SUPERIORI.

Σελίδα τίτλου του βιβλίου «*Διάλογος περί των δύο κύριων συστημάτων του κόσμου*».

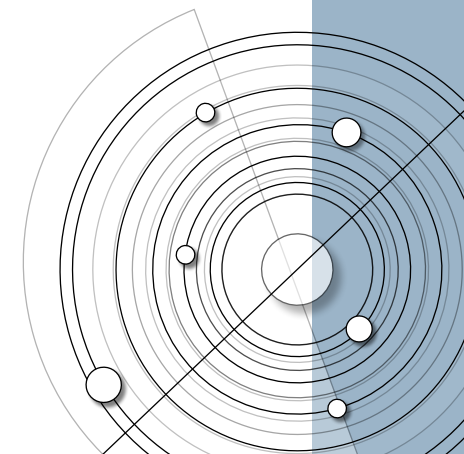


Το Σύμπαν-νησί και η Μεγάλη Διαμάχη

3

Παρά την αντίδραση της Εκκλησίας, το Γεωκεντρικό σύστημα του Κόσμου, που για δύο και πλέον χιλιετίες ήταν το κοινά αποδεκτό κοσμοειδώλο, καταρρέει. Ο Ήλιος αντικαθιστά τη Γη στο κέντρο του Κόσμου και η ηλιοκεντρική θεωρία καθιερώνεται χάρη στον Κοπέρνικο, τον Κέπλερ και τον Γαλιλαίο. Κανένας τους, ωστόσο, 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.

*Καλλιτεχνική απεικόνιση του Γαλαξία μας
[φωτογρ. NASA/JPL-Caltech/R. Hurt (SSC/Caltech)].*



Στηριζόμενος στους ώμους των γιγάντων που προηγήθηκαν και αναπτύσσοντας τα νέα μαθηματικά εργαλεία που του ήταν απαραίτητα για τη μαθηματική διατύπωση των θεωριών του,¹ ο Άγγλος φυσικός και μαθηματικός **Ισαάκ Νεύτωνας** (1643-1727) διατύπωσε την πρώτη σύγχρονη φυσική θεωρία. Στις *Μαθηματικές Αρχές της Φυσικής Φιλοσοφίας* (*Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*, έργο ευρύτατα γνωστό απλά ως *Principia*), ένα από τα κορυφαία επιστημονικά συγγράμματα όλων των εποχών, που εκδόθηκε το 1687, ο Νεύτωνας περιγράφει την βαρύτητα και τους τρεις νόμους που διέπουν την κίνηση των σωμάτων, κατορθώνοντας παράλληλα μέσα από αυτήν την θεώρηση να καταλήξει στους εμπειρικούς Νόμους του Κέπλερ, που περιγράφουν την κίνηση των πλανητών. Ο Νεύτωνας, 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 1750, έναν σχεδόν αιώνα μετά την δημοσίευση του μνημειώδους έργου του Νεύτωνα, ο Άγγλος αστρονόμος **Thomas Wright** (1711-1786) ήταν από τους πρώτους που θεώρησαν σωστά ότι ο Γαλαξίας μας απαρτίζεται από μυριάδες άστρα, τα οποία συγκρατούνται από βαρυτικές δυνάμεις και περιφέρονται γύρω από ένα γαλαξιακό κέντρο, όπως περίπου οι πλανήτες γύρω από τον Ήλιο. Από τότε, ωστόσο, και σχεδόν μέχρι το πρώτο τέταρτο του 20^{ου} 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). Έχοντας μελετήσει το έργο του Wright, ο Kant υποστήριζε το 1755 την πολλαπλότητα των «σμπάντων-νησιών», θεωρούσε δηλαδή ότι το Σύμπαν εμπεριέχει και άλλους γαλαξίες εκτός από τον δικό μας.

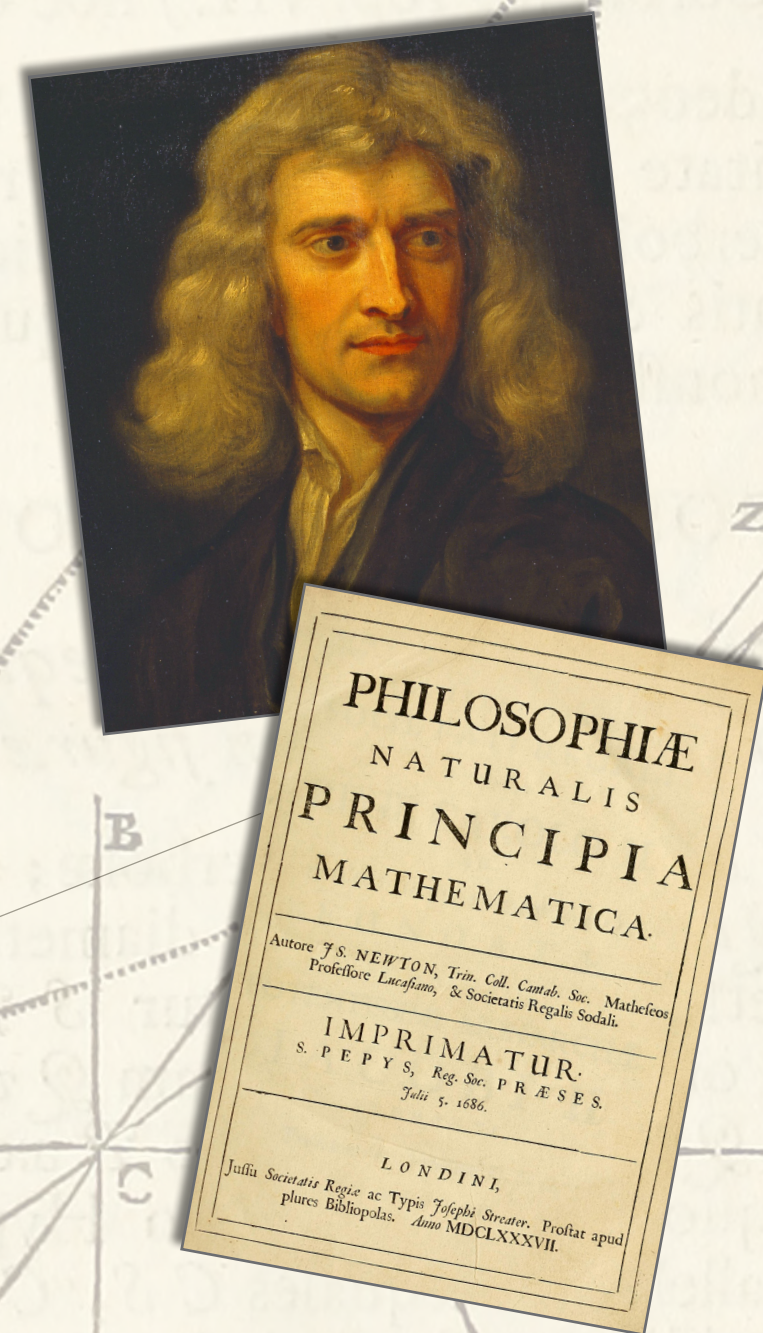
Είναι ενδιαφέρον να σημειώσουμε εδώ ότι, τόσο η σύγχρονη κοσμολογική θεώρηση για την πολλαπλότητα των γαλαξιών στο Σύμπαν, όσο και η σύγχρονη θεωρία που περιγράφει τη γένεση και την εξέλιξη του Ηλιακού συστήματος, έχουν τις ρίζες τους στην σκέψη του Kant. Πραγματικά, σύμφωνα με την πρωτοποριακή για την εποχή της «νεφελοειδή υπόθεση», που αναπτύχθηκε περαιτέρω από τον Γάλλο μαθηματικό και αστρονόμο **Pierre-Simon Laplace** (1749-1827), ο Kant θεωρούσε ότι το Ηλιακό μας σύστημα σχηματίστηκε μέσα από την βαρυτική κατάρρευση ενός τεράστιου νέφους αερίων και σκόνης, ενώ υποστήριζε σωστά ότι ο ίδιος φυσικός μηχανισμός αποτελεί την γενεσιουργό αιτία και των άλλων άστρων και πλανητών. Με άλλα

λόγια υποστήριζε ότι το Ηλιακό μας σύστημα δεν είναι το μοναδικό στον Κόσμο, όπως εξάλλου και ο Γαλαξίας μας δεν είναι ο μοναδικός στο Σύμπαν.

Εάν, όμως, ο Kant είχε ουσιαστικά δίκιο ως προς την πολλαπλότητα των πλανητικών συστημάτων εντός του Γαλαξία μας, ποια ήταν η θέση του Ηλιακού μας συστήματος σ' αυτόν και πού ήταν άραγε το κέντρο του Κόσμου; Με το τέλος του 18^{ου} αιώνα, ο Άγγλος αστρονόμος **William Herschel** (1738-1822) μετατόπισε το κοσμικό κέντρο στον πυρήνα του Γαλαξία μας, εκεί δηλαδή ακριβώς που θεωρούσε ότι βρίσκεται και το Ηλιακό μας σύστημα. Το κέντρο του Κόσμου θα παρέμενε εκεί μέχρι περίπου το 1920.

Ήδη από τα μέσα του 18^{ου} αιώνα, ωστόσο, είχαν αρχίσει να ανακαλύπτονται κάποιοι δυσδιάκριτοι νεφελώδεις σχηματισμοί, η φύση των οποίων θα παρέμενε αδιευκρίνιστη για αρκετά ακόμη χρόνια. Το 1845, μάλιστα, ο Ιρλανδός αστρονόμος **William Parsons** (1800-1867), χρησιμοποιώντας το μεγαλύτερο τηλεσκόπιο της εποχής του, που ο ίδιος είχε κατασκευάσει, απέδειξε ότι πολλά απ' αυτά τα νεφελώματα έχουν σπειροειδή δομή, με χαρακτηριστικότερα ίσως παραδείγματα τα νεφελώματα της Δίνης και της Ανδρομέδας.

Από εκείνη την εποχή και σχεδόν μέχρι το πρώτο τέταρτο του 20^{ου} αιώνα, δύο αστρονομικά προβλήματα, που όπως αποδείχτηκε σχετίζονταν μεταξύ τους, παρέμεναν άλυτα. Το πρώτο αφορούσε στην φύση των σπειροειδών νεφελωμάτων: ήταν άραγε αέρια νέφη ή αστρικά σμήνη εντός του Γαλαξία



Πορτραίτο του Ισαάκ Νεύτωνα και σελίδα τίτλου των *Μαθηματικών Αρχών της Φυσικής Φιλοσοφίας*.

¹Αναφερόμαστε στον διαφορικό λογισμό, ο οποίος αναπτύχθηκε τόσο από τον Νεύτωνα, όσο και από τον Γερμανό μαθηματικό και φιλόσοφο Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716).



*Ο William Parsons και ο Λεβιάθαν του Parsonstown,
το μεγαλύτερο τηλεσκόπιο της εποχής του.*

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.

Το πρώτο σημαντικό βήμα για την απάντηση αυτών των ερωτημάτων έγινε το 1917, όταν ο Αμερικανός αστρονόμος **Heber Curtis** (1872–1942) ανακάλυψε στο νεφέλωμα της Ανδρομέδας μια αστρική έκρηξη νόβα. «Χτενίζοντας» τις δημοσιευμένες φωτογραφίες του νεφέλωματος, ο Curtis ανακάλυψε αρκετές ακόμη τέτοιες εκρήξεις και διαπίστωσε ότι όλες τους ήταν πολύ πιο αμυδρές από αντίστοιχες εκρήξεις εντός του Γαλαξία μας. Εκτίμησε έτσι ότι το νεφέλωμα της Ανδρομέδας 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, όπως αυτό της Ανδρομέδας, είναι κι αυτά γαλαξίες, συγκρίσιμοι σε μέγεθος με τον Γαλαξία μας, αλλά σε μεγάλες αποστάσεις απ' αυτόν.

Όσον αφορά στην θέση του Ηλιακού μας συστήματος, ο Curtis υποστήριζε ότι αυτό βρίσκεται στο κέντρο περίπου του Γαλαξία μας. Έχοντας, ωστόσο, υιοθετήσει την Καντιανή εικασία για την ύπαρξη και άλλων γαλαξιών, ο Curtis ήταν από τους πρώτους που αμφισβήτησαν, έστω και εμμέσως, την θεώρηση ότι ο Γαλαξίας μας κατέχει κεντρική θέση στο Σύμπαν. Αντιθέτως, ο Αμερικανός αστρονόμος **Harlow Shapley** (1885–1972) θεωρούσε



Ο Γαλαξίας της Ανδρομέδας (φωτογρ. © Robert Gendler).

ότι ο Ήλιος βρισκόταν περίπου 30.000 έτη φωτός μακριά από το κέντρο του Γαλαξία μας, ο οποίος όμως ήταν ο μοναδικός μεγάλος γαλαξίας που υπάρχει στο Σύμπαν. Στις 26 Απριλίου 1920, οι δύο αυτοί αστρονόμοι αντιπαρατέθηκαν 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. Παρόλο που, όπως αποδείχτηκε αργότερα, και οι δύο αστρονόμοι είχαν δίκιο σε κάποιες από τις θέσεις τους και έσφαλλαν σε κάποιες άλλες, εκείνος που απ' ό,τι φαίνεται κέρδισε τις εντυπώσεις πρέπει να ήταν ο Shapley.

Η επιστημονική, ωστόσο, διαμάχη για την μοναδικότητα του Γαλαξία μας, σε αντιδιαστολή με την ύπαρξη και άλλων γαλαξιών σ' ένα πολύ μεγαλύτερο Σύμπαν, 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, ο Hubble άρχισε να εργάζεται στο αστεροσκοπείο Wilson της Καλιφόρνιας το 1919, όπου είχε μόλις εγκατασταθεί το τηλεσκόπιο Hooker, το μεγαλύτερο και ισχυρότερο τηλεσκόπιο της εποχής του. Εκτός αυτού, ήταν εξίσου τυχερός να έχει στην διάθεσή του τις πρωτοποριακές μελέτες της Αμερικανής αστρονόμου **Henrietta Leavitt** (1868–1921), η

οποία είχε αναπτύξει μία νέα τεχνική υπολογισμού αστρονομικών αποστάσεων, με την βοήθεια άστρων περιοδικά μεταβλητής λαμπρότητας, που ονομάζονται **Κηφείδες**. Αν και η συνεισφορά της Leavitt στην πρόοδο της αστρονομίας δεν αναγνωρίστηκε παρά αρκετά αργότερα, η ανακάλυψή της αυτή συνέβαλε σημαντικά στην προσπάθεια του Hubble να υπολογίσει τις αποστάσεις των σπειροειδών νεφελωμάτων.

Χρησιμοποιώντας για τις αστρονομικές του παρατηρήσεις το τηλεσκόπιο Hooker και υπολογίζοντας τις αποστάσεις των σπειροειδών νεφελωμάτων με την μέθοδο της Leavitt, ο Hubble έδωσε τέλος στην επιστημονική διαμάχη για την ύπαρξη ή όχι και άλλων γαλαξιών. Ο Hubble υπολόγισε αρχικά την απόσταση της Ανδρομέδας, με την βοήθεια ενός Κηφείδα που είχε εντοπίσει νωρίτερα σ' αυτό το νεφέλωμα, αποδεικνύοντας ότι αυτή είναι μεγαλύτερη ακόμη κι από το μέγιστο εύρος του Γαλαξία μας που ήταν αποδεκτό εκείνη την εποχή. Με άλλα λόγια, απέδειξε ότι η Ανδρομέδα βρίσκεται πολύ μακριά μας, ώστε να θεωρείται ότι αποτελεί μέρος του Γαλαξία μας, και ότι στην πραγματικότητα το νεφέλωμα αυτό είναι ένας διακριτός γαλαξίας. Επαναλαμβάνοντας τις μετρήσεις αυτές και σε άλλα νεφελώματα, ο Hubble απέδειξε ότι κι αυτά είναι εντέλει ανεξάρτητοι γαλαξίες, σε μεγάλες αποστάσεις από τον Γαλαξία μας. Με την ανακάλυψή του αυτή, που ανακοινώθηκε το 1924, ο Hubble απέδειξε οριστικά την ύπαρξη και άλλων γαλαξιών και έθεσε τις βάσεις για μία ακόμη αλλαγή παραδείγματος, όσον αφορά στον τρόπο που βλέπουμε την θέση μας στο Σύμπαν.

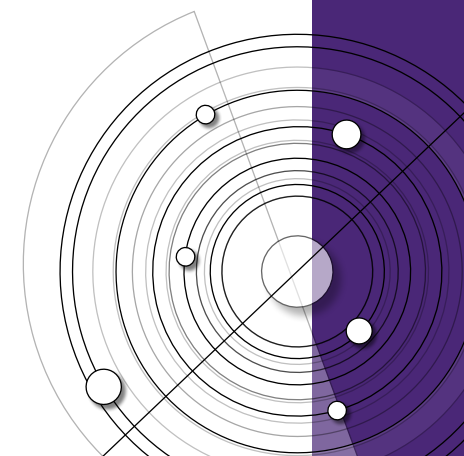
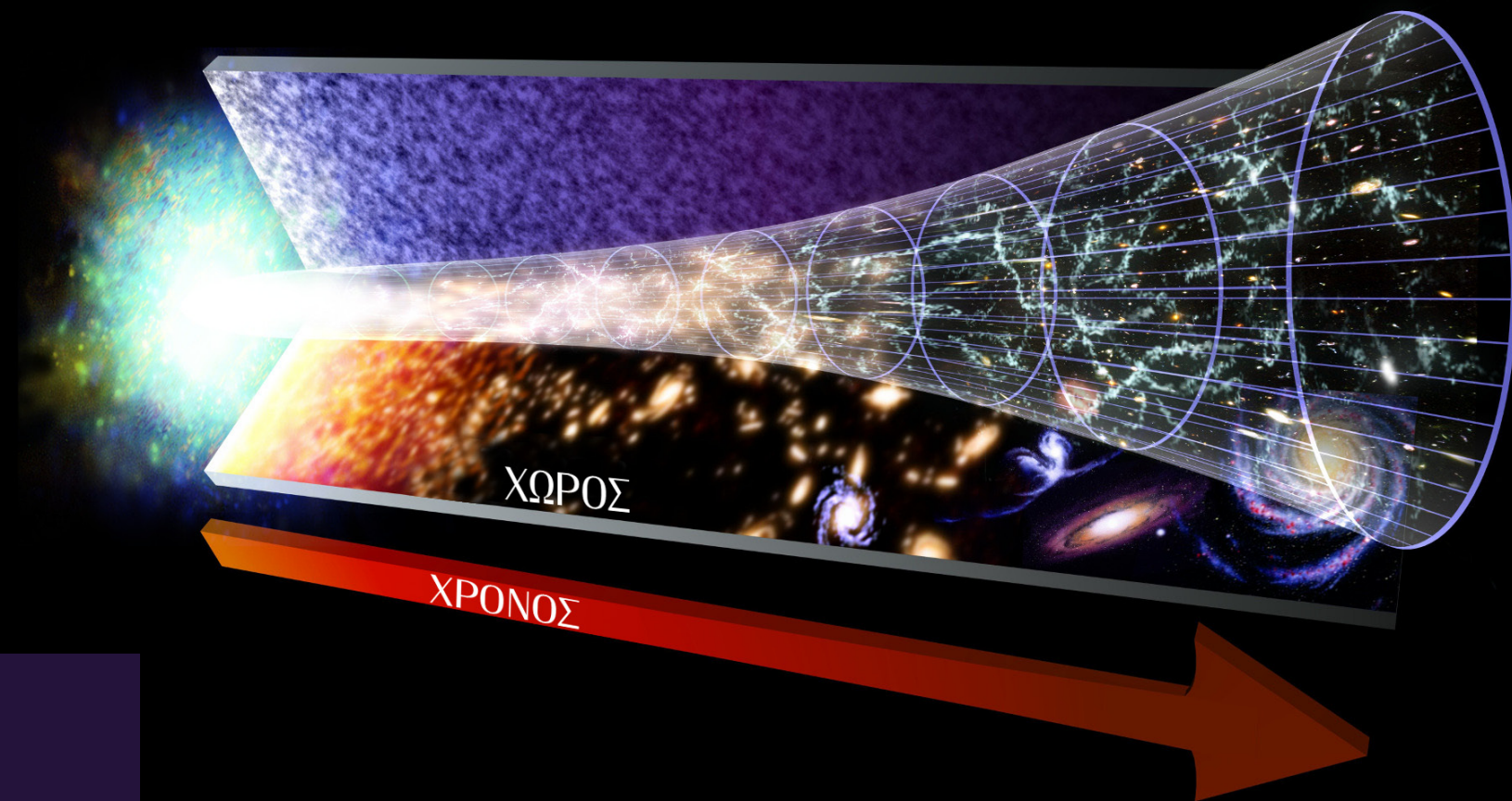


Ο Αμερικανός αστρονόμος Edwin Hubble (φωτογρ. NASA & ESA).

Η Διαστολή του Σύμπαντος

Μέχρι το πρώτο τέταρτο του 20^{ου} αιώνα οι περισσότεροι επιστήμονες θεωρούσαν ότι το Σύμπαν είναι στατικό, αιώνιο και αμετάβλητο. Ακόμη και ο Αϊνστάιν! Μέσα από μια σκληρή και επίπονη διανοητική προσπάθεια, που διήρκεσε 10 χρόνια, ο σπουδαίος αυτός θεωρητικός φυσικός είχε διατυπώσει το 1915 μια νέα, επαναστατική θεωρία για την βαρύτητα: την **Γενική Θεωρία της Σχετικότητας (ΓΘΣ)**. Ακόμη κι αυτός, όμως, απέρριπτε τότε την έννοια της κοσμολογικής εξέλιξης. Μέσα σε λίγα χρόνια, ωστόσο, αρχικά ένας Ρώσος μαθηματικός και αργότερα ένας Βέλγος αστρονόμος και ιερέας, ανακάλυψαν λύσεις των εξισώσεων της ΓΘΣ, σύμφωνα με τις οποίες το Σύμπαν είναι δυναμικό, έχει πεπερασμένη ηλικία και διαστέλλεται.

*Καλλιτεχνική απεικόνιση της διαστολής του Σύμπαντος
(NASA, Goddard Space Flight Center).*



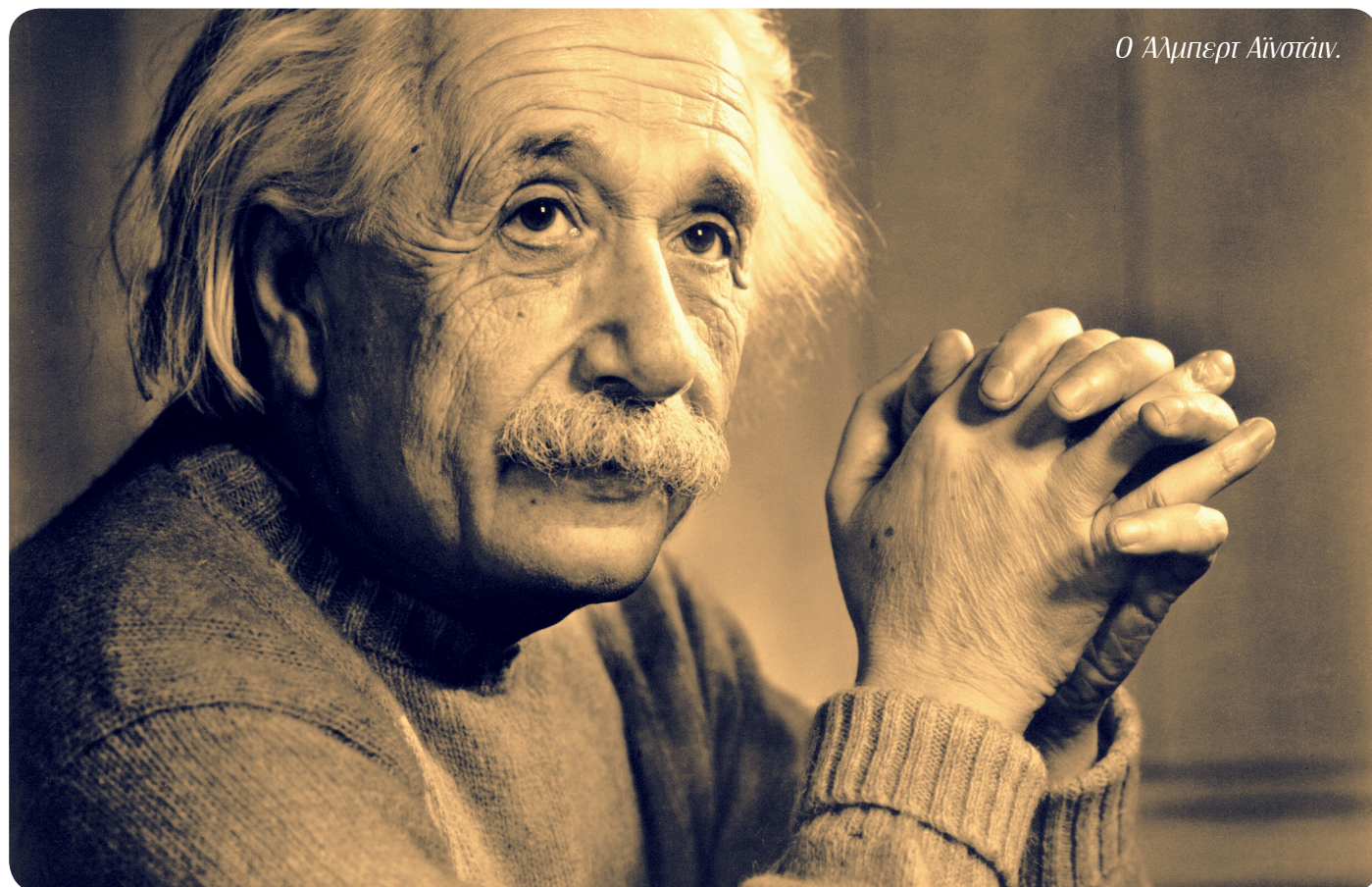
Η Γενική Θεωρία της Σχετικότητας, το πανίσχυρο θεωρητικό εργαλείο που μας κληροδότησε ο **Άλμπερτ Αϊνστάιν** (1879–1955), άνοιξε νέους και ανεξερεύνητους έως τότε δρόμους, που άλλαξαν ριζικά την αντίληψή μας για το Σύμπαν και για την θέση μας σ' αυτό, δίνοντας το έναυσμα για μία επιστημονική επανάσταση, ο απόηχος της οποίας κρατά μέχρι σήμερα. Χωρίς να υπεισέλθουμε σε περισσότερες λεπτομέρειες, η ΓΘΣ διαφέρει ουσιαστικά από την Νευτώνεια θεωρηση για την βαρύτητα, τον χώρο και τον χρόνο

σε δύο κείρια σημεία. Για τον Νεύτωνα, δηλαδή, η βαρύτητα είναι μία μυστηριώδης ελκτική δύναμη που δρα ακαριαία από απόσταση, ενώ ο χώρος και ο χρόνος, απόλυτοι, αμετάβλητοι, ανεξάρτητοι μεταξύ τους και ίδιοι για όλους, απλά καθορίζουν το «σκηνικό» μέσα στο οποίο κινούνται τα ουράνια σώματα και υλοποιούνται τα φυσικά φαινόμενα, χωρίς όμως να τα επηρεάζουν.

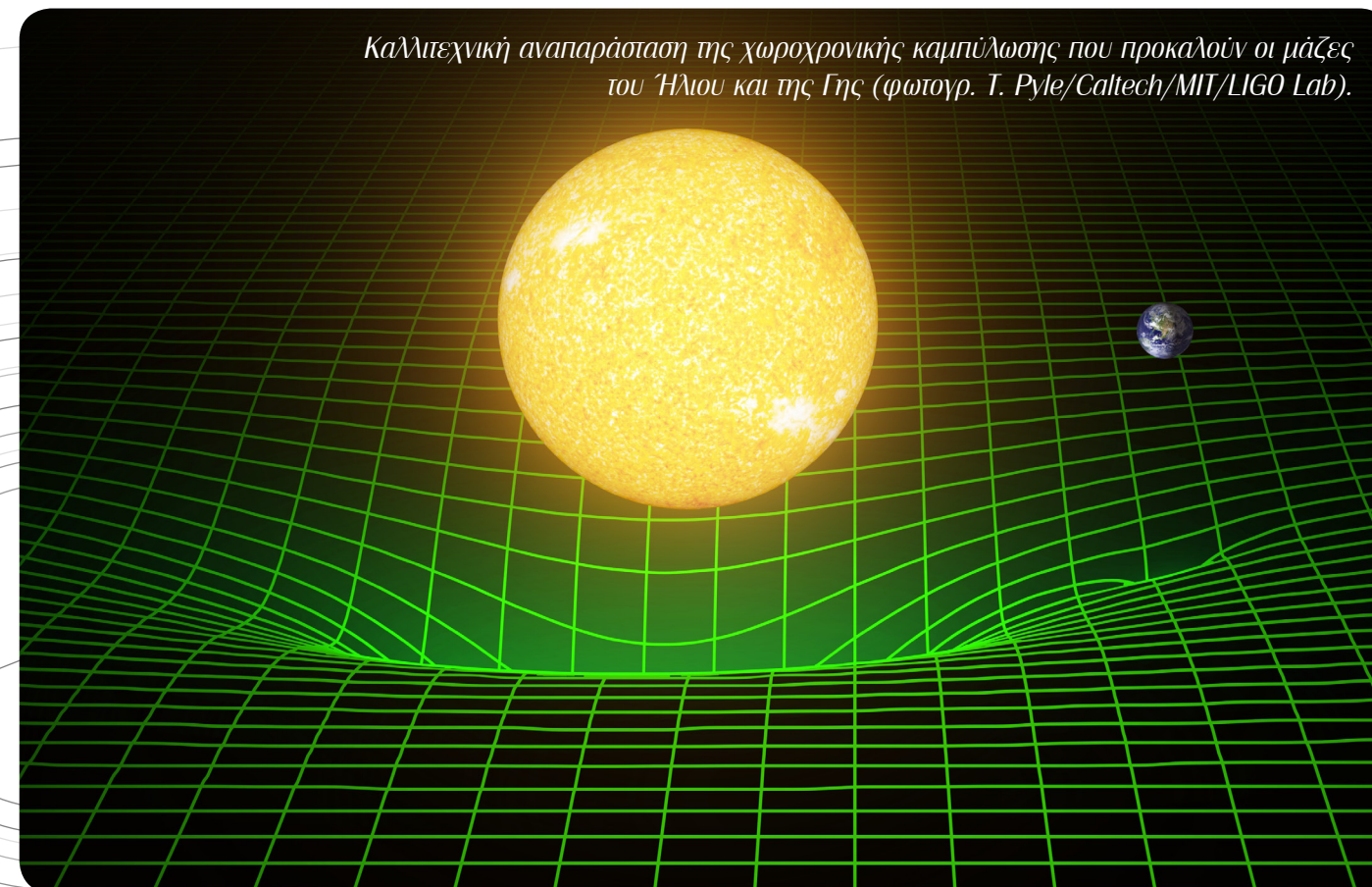
Ο Αϊνστάιν, αντιθέτως, «αναβαθμίζει» τον χώρο και τον χρόνο σ' έναν ενοποιημένο, δυναμικό και τε-

τραδιάστατο **χωροχρόνο** και περιγράφει την βαρύτητα ως την στρέβλωση που προκαλεί σ' αυτόν η παρουσία της ύλης. Σύμφωνα με την ΓΘΣ, δηλαδή, όσο μεγαλύτερη είναι η μάζα ενός σώματος, τόσο μεγαλύτερη είναι και 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. Όπως το έθεσε αρκετά χρόνια αργότερα ο φυσι-

κός **John Wheeler** (1911–2008), «*η ύλη υπαγορεύει στον χωροχρόνο πώς θα καμπυλωθεί και ο βαθμός καμπύλωσης του χωροχρόνου υπαγορεύει στην ύλη πώς θα κινηθεί*». Οι πλανήτες, για παράδειγμα, που σχηματίζουν τα δικά τους μικρότερα «βαθουλώματα» στον χωροχρόνο, κινούνται σε ελλειπτικές τροχιές, διότι «εξαναγκάζονται» να ακολουθήσουν την συντομότερη οδό που είναι δυνατή να υπάρξει γύρω από την πολύ μεγαλύτερη στρέβλωση στον χωροχρόνο, την οποία προκαλεί η πολύ μεγαλύτερη μάζα του Ήλιου.



Ο Άλμπερτ Αϊνστάιν.



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

Όλες οι εκπληκτικές προβλέψεις της ΓΘΣ, από την καμπύλωση του φωτός έως τις μαύρες τρύπες, και από την διαστολή του Σύμπαντος μέχρι τα βαρυτικά κύματα, έχουν επιβεβαιωθεί επανειλημμένα και με εντυπωσιακή ακρίβεια. Ωστόσο, μέσα στο γενικότερο κλίμα απόρριψης της κοσμολογικής εξέλιξης που επικρατούσε στις αρχές του 20^{ου} αιώνα, ακόμη και ο Αϊνστάιν ήταν αδύνατο να μείνει ανεπηρέαστος. Θεωρώντας και ο ίδιος 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 παράξενη ιδιότητα να «εξουδετερώνει» την επίδραση της βαρύτητας που έτεινε να συρρικνώσει το Σύμπαν, ώστε να οδηγεί σε ένα Σύμπαν στατικό.

Το πρόβλημα, ωστόσο, με το στατικό Σύμπαν του Αϊνστάιν ήταν ότι εντέλει ήταν ασταθές. Οποιαδήποτε ανεπαίσθητη 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. Με άλλα λόγια, το πρόβλημα με το στατικό μοντέλο του Αϊνστάιν είναι ανάλογο περίπου μ' αυτό ενός μολυβιού που ισορροπεί στην μύτη του: η παραμικρή ώθηση θα το εξανάγκασε να πέσει. Αδυνατώντας να αντιληφθεί εγκαίρως την εγγενή αστάθεια του κοσμο-

λογικού του μοντέλου, ο Αϊνστάιν έχασε έτσι την ευκαιρία να προβλέψει πρώτος την διαστολή του Σύμπαντος, μέσα από την ίδια του την θεωρία.

Οι εξισώσεις του Αϊνστάιν είναι ιδιαίτερα δύσκολο να επιλυθούν αναλυτικά επακριβώς, εκτός και εάν υιοθετηθούν ορισμένες απλουστευτικές παραδοχές για τον τρόπο με τον οποίο η ύλη κατανέμεται στο Σύμπαν. Η πλέον εύλογη απ' αυτές αποτελεί επέκταση της Αρχής του Κοπέρνικου, στην οποία αναφερθήκαμε σε προηγούμενο κεφάλαιο, και σύμφωνα με την οποία δεν κατέχουμε «προνομιακή» θέση στο Σύμπαν. Στην γλώσσα των κοσμολόγων η αρχή αυτή μετονομάζεται σε **Κοσμολογικό Αξίωμα** και ορίζει ότι σε πολύ μεγάλες κλίμακες το Σύμπαν είναι ομοιογενές και ισότροπο. Αυτό σημαίνει ότι οποιοσδήποτε άλλος παρατηρητής σε οποιονδήποτε άλλον γαλαξία θα έβλεπε την ίδια περίπου κατανομή της ύλης σε μεγάλες κλίμακες που βλέπουμε και εμείς, σε οποιαδήποτε περιοχή του Σύμπαντος κι αν εστίαζε και προς οποιαδήποτε κατεύθυνση κι αν παρατηρούσε.

Υιοθετώντας το Κοσμολογικό Αξίωμα και την αναλλοiotτητα των φυσικών νόμων στον χώρο και τον χρόνο, ο Ρώσος μαθηματικός **Alexander Friedman** (1888-1925) ανακάλυψε το 1922 και το 1924 λύσεις των εξισώσεων του Αϊνστάιν, οι οποίες αντιστοιχούν σε μη στατικά σύμπαντα. Ανεξάρτητα από τον Friedman, ο Βέλγος αστρονόμος και ιερέας **Georges Lemaître** (1894-1966) θα καταλήξει το 1927 στο ίδιο περίπου συμπέρασμα, ενώ 4 χρόνια αργότερα θα προτείνει ότι το Σύ-

μπαν 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, λοιπόν, με την ΘΜΕ, το Σύμπαν έχει πεπερασμένη ηλικία, η αρχική του κατάσταση ήταν υπέρθερμη, ενώ έκτοτε διαστέλλεται και ψύχεται συνεχώς. Οι τρεις αυτές θεμελιώδεις προβλέψεις επαληθεύτηκαν μέσα από συγκεκριμένες αστρονομικές παρατηρήσεις, οι οποίες έκτοτε επιβεβαιώνονται διαρκώς με όλο και μεγαλύτερη ακρίβεια. Χρονικά, η πρώτη, τεκμηριωμένη με την αστρονομική παρατήρηση, απόδειξη ότι το Σύμπαν όντως διαστέλλεται, ανακαλύφθηκε το 1929 από τον Hubble. Δυστυχώς, η σημαντική συνεισφορά ενός άλλου αστρονόμου, του **Vesto Slipher** (1875-1969), ο οποίος υπολόγισε τις μετατοπίσεις προς το ερυθρό δεκάδων γαλαξιών, δεν αναγνωρίζεται όσο πρέπει, ακόμη και σήμερα. Τι είναι, όμως, η **ερυθρά μετατόπιση** και πώς σχετίζεται με την ταχύτητα ενός γαλαξία;

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 αερίων σ' έναν γαλαξία απορροφούν συγκεκριμένα μήκη κύματος από το φως του, ανάλογα με τα χημικά στοιχεία και τις ενώσεις που εμπεριέχουν, το φάσμα του περιλαμβάνει και κάποιες σκοτεινές γραμμές, οι οποίες ονομάζονται **γραμμές απορρόφησης**. Οι γραμμές αυτές είναι χαρακτηριστικές για κάθε χημικό στοιχείο,

αποτελούν δηλαδή το «δακτυλικό αποτύπωμα» του στοιχείου αυτού. Γι' αυτό και η μελέτη των γραμμών απορρόφησης ενός άστρου, για παράδειγμα, μας δίνει πληροφορίες για την χημική του σύσταση. Εκτός αυτού, όμως, εάν το άστρο απομακρύνεται ή μας πλησιάζει κατά μήκος της ευθείας που το παρατηρούμε, το «μοτίβο» των φασματικών γραμμών που εμπεριέχει, μετατοπίζεται σε διαφορετικά μήκη κύματος σε σχέση με το «μοτίβο»



Ο Vesto Slipher.

των φασματικών γραμμών που δίνουν τα στοιχεία αυτά στο εργαστήριο.

Τι σημαίνει, όμως, αυτή η μετατόπιση; Θα έχετε ίσως 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 σ' εμάς «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. Παρατηρώντας αυτή την αλλαγή στην οξύτητα του ήχου, μπορούμε να διαπιστώσουμε εάν το ασθενοφόρο πλησιάζει ή απομακρύνεται από εμάς. Εκτός αυτού, μετρώντας τον ρυθμό μεταβολής της συχνότητας του ήχου, μπορούμε να υπολογίσουμε την ταχύτητα του ασθενοφόρου. Η συχνότητα, δηλαδή, του ήχου που αντιλαμβανόμαστε σε κάθε περίπτωση είναι διαφορετική απ' αυτήν που εκπέμπει η σειρήνα του ασθενοφόρου και αντιλαμβάνεται ο

οδηγός του και εξαρτάται από το εάν το ασθενοφόρο μάς πλησιάζει ή απομακρύνεται. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται **φαινόμενο Doppler**.

Τηρουμένων των αναλογιών, το φως συμπεριφέρεται με παρόμοιο τρόπο.² Όταν, δηλαδή, ένας γαλαξίας απομακρύνεται, το φως του «ξεχειλώνει» σε μεγαλύτερα μήκη κύματος. Επειδή στο ορατό τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος τα μεγαλύτερα μήκη κύματος αντιστοιχούν στο κόκκινο χρώμα, λέμε τότε ότι το φως του γαλαξία έχει μετατοπιστεί προς το ερυθρό. Όταν, αντιθέτως, μάς πλησιάζει, το φως του μετατοπίζεται προς το κυανό. Όπως και με την περίπτωση του ασθενοφόρου, ωστόσο, η μέτρηση της μετατόπισης αυτής μας βοηθά να υπολογίσουμε την ταχύτητά του (ακριβέστερα, την ακτινική του ταχύτητα, δηλαδή την συνιστώσα της ταχύτητας του γαλαξία πάνω στην νοτιή ευθεία που μας ενώνει με το κέντρο του).

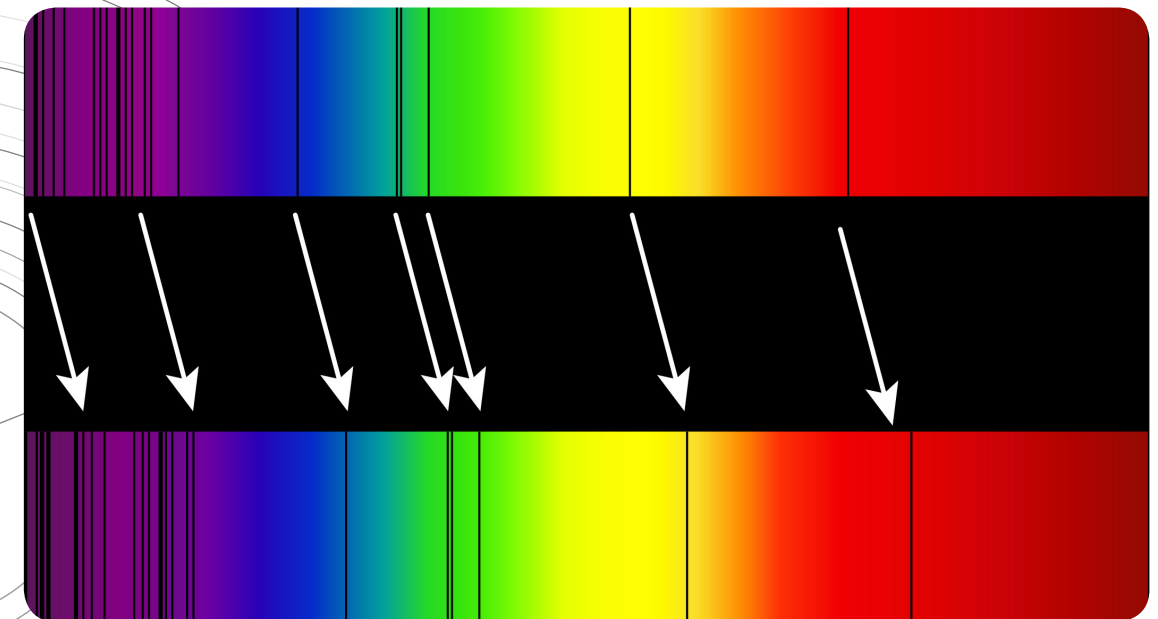
Εφαρμόζοντας την μέθοδο που μόλις περιγράψαμε, ο Slipher υπολόγισε από το 1912 μέχρι το 1925 τις μετατοπίσεις των φασματικών γραμμών και τις ακτινικές ταχύτητες πολλών σπειροειδών

νεφελωμάτων (υπενθυμίζουμε ότι τότε δεν είχε ακόμη ανακαλυφθεί ότι τα σπειροειδή νεφελώματα είναι διακριτοί γαλαξίες), διαπιστώνοντας ότι τα περισσότερα από αυτά απομακρύνονται από εμάς, και μάλιστα με μεγάλες ταχύτητες. Χρησιμοποιώντας τις μετρήσεις του Slipher και τις αντίστοιχες μετρήσεις για άλλους γαλαξίες του **Milton Humason** (1891–1972), συναδέλφου του στο αστεροσκοπείο Wilson, και υπολογίζοντας ο ίδιος τις αποστάσεις των γαλαξιών, 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. Αυτή ήταν η πρώτη, τεκμηριωμένη με την παρατήρηση, απόδειξη ότι το Σύμπαν διαστέλλεται. Οι θεωρητικές μελέτες των Friedman και Lemaitre, σύμφωνα με τις οποίες το Σύμπαν είχε μία αρχή και έκτοτε διαστέλλεται και ψύχεται διαρκώς, επιβεβαιώθηκαν και λίγο αργότερα ο ίδιος ο Αϊνστάιν αναγκάστηκε να παραδεχτεί ότι η επιμονή του σ' ένα στατικό σύμπαν ήταν η μεγαλύτερη γκάφα της ζωής του. Τι σημαίνει, όμως, όταν λέμε ότι το Σύμπαν διαστέλλεται;

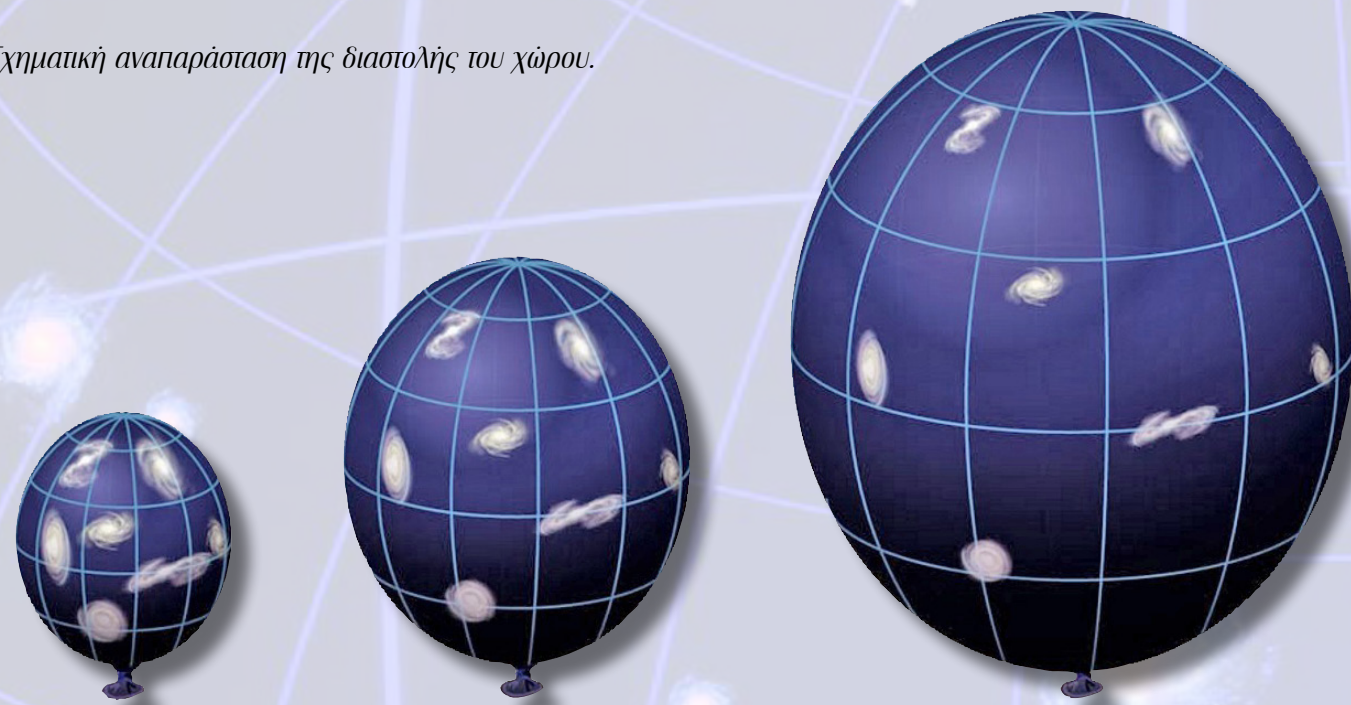
Παρόλο που μας φαίνεται ότι οι γαλαξίες απομακρύνονται από εμάς επειδή κινούνται μέσα στον χώρο, στην πραγματικότητα ο ίδιος ο χώρος είναι αυτός που «ξεχειλώνει», έτσι ώστε η σχετική τους

² Για ουράνια σώματα που βρίσκονται σε μικρές σχετικά αποστάσεις, η μετατόπιση των φασματικών τους γραμμών οφείλεται στο φαινόμενο Doppler, όπως περίπου το περιγράψαμε, δηλαδή στην παρατηρούμενη μεταβολή στο μήκος κύματος της ακτινοβολίας τους, που προκαλείται από την σχετική τους κίνηση, κατά μήκος της ευθείας που τα παρατηρούμε. Σ' αυτήν την περίπτωση, το μήκος κύματος της ακτινοβολίας μίας φωτεινής πηγής εξαρτάται από την κίνησή της την στιγμή ακριβώς που εκλύει την ακτινοβολία που ανιχνεύουμε. Σε κοσμολογικές αποστάσεις, ωστόσο, η μετατόπιση προς το ερυθρό δεν οφείλεται σ' αυτό το κινηματικό φαινόμενο Doppler. Με άλλα λόγια, στην κοσμολογική μετατόπιση προς το ερυθρό, που μας ενδιαφέρει εδώ, το μήκος κύματος της ακτινοβολίας ενός γαλαξία επιμηκύνεται, καθώς το φως του διασχίζει τον διαστελλόμενο χώρο. Η κοσμολογική μετατόπιση προς το ερυθρό, δηλαδή, δεν οφείλεται τόσο στην κίνηση του γαλαξία μέσα στον χώρο, όσο στην διαστολή του ίδιου του χώρου.



Προσομοίωση της μετατόπισης προς το ερυθρό του γαλαξιακού υπερσμήνου Bode 11 (κάτω), σε σχέση με το φάσμα του Ήλιου (πάνω).

Σχηματική αναπαράσταση της διαστολής του χώρου.



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. Υπ' αυτήν την έννοια, λοιπόν, όχι μόνο δεν βρισκόμαστε στο κέντρο του Σύμπαντος, αλλά το ίδιο το Σύμπαν δεν έχει ούτε κέντρο, 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 δισδιάστατη 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. Ας υποθέσουμε, τώρα, ότι κάθε γαλαξίας του μπαλονιού «φιλοξενεί» κι από έναν παρατηρητή, που καταγράφει τον τρόπο με τον οποίο απομακρύνονται οι γαλαξίες που τον περιβάλλουν. Κάθε τέτοιος πα-

ρατηρητής θα θεωρούσε ότι παραμένει ακίνητος και ότι οι άλλοι γαλαξίες είναι αυτοί που απομακρύνονται. Θα έβλεπε ακόμα ότι οι πλησιέστεροι προς αυτόν γαλαξίες απομακρύνονται με μικρότερες ταχύτητες σε σχέση με αυτούς που βρίσκονται πιο μακριά. Βλέπουμε, δηλαδή, ότι οι αποστάσεις μεταξύ των γαλαξιών μεγαλώνουν, χωρίς οι ίδιοι να μετατοπίζονται σε σχέση με το ελαστικό μέσο. Μ' αυτόν περίπου τον τρόπο «απομακρύνονται» και οι γαλαξίες στον διαστελλόμενο τρισδιάστατο χώρο του Σύμπαντος: δεν «διασχίζουν» τον χώρο, αλλά απομακρύνονται ο ένας από τον άλλον, διότι ο μεταξύ τους χώρος διαστέλλεται.

Εάν, όμως, ο χώρος διαστέλλεται, γιατί παρατηρούνται γαλαξιακές συγκρούσεις; Γιατί οι αποστάσεις των πλανητών από τον Ήλιο δεν διευρύνονται;

Γιατί εντέλει τα ίδια τα άτομα δεν διογκώνονται ώσπου να διαχωριστούν τα ηλεκτρόνια από τους πυρήνες τους; Η απάντηση είναι σχετικά απλή και εξαρτάται από το εάν οι όποιες δυνάμεις ασκούνται σε τοπικό επίπεδο εξαναγκάζουν τα διάφορα σώματα να έλκονται μεταξύ τους περισσότερο απ' όσο η διαστολή του Σύμπαντος εξαναγκάζει τον μεταξύ τους χώρο να ξεχειλώνει. Για παράδειγμα, οι γαλαξιακές συγκρούσεις παρατηρούνται μόνο εκεί όπου τοπικά η μεταξύ τους βαρυτική έλξη υπερσχύει της κοσμικής διαστολής. Επιπλέον, κάθε δομή και κάθε «συμπαγές» σώμα, είτε αυτό είναι γαλαξίας, είτε άστρο είτε πλανήτης είτε άνθρωπος, διατηρεί την «συνοχή» του, επειδή οι βαρυτικές και άλλες αλληλεπιδράσεις που επικρατούν σε τοπικό επίπεδο είναι ισχυρότερες της διαστολής του χώρου.



Όταν η βαρυτική έλξη μεταξύ γειτονικών γαλαξιών υπερσχύει της κοσμικής διαστολής, οι γαλαξίες συγκρούονται και εντέλει συγχωνεύονται (φωτογρ. ESA/Hubble & NASA).

Έκτοτε, η υπέρθερμη απαρχή του Σύμπαντος και η διαρκής διαστολή του επιβεβαιώθηκαν με όλο και μεγαλύτερη ακρίβεια.³ Η NASA, μάλιστα, προκειμένου να τιμήσει τον αστρονόμο που πρώτος απέδειξε την διαστολή του Σύμπαντος, έθεσε το 1990 σε τροχιά ένα διαστημικό τηλεσκόπιο που φέρει το όνομά του. Η συνεισφορά του διαστημικού τηλεσκοπίου Hubble στην διεύρυνση των επιστημονικών μας γνώσεων για το Σύμπαν υπήρξε καταλυτική. Με την βοήθειά του, κατορθώσαμε να απαντήσουμε σε ορισμένα από τα πιο θεμελιώδη ερωτήματα για τον χώρο, τον χρόνο και την δομή του Σύμπαντος. Παράλληλα, όμως, αποκαλύψαμε και την ύπαρξη νέων αιγιμάτων.

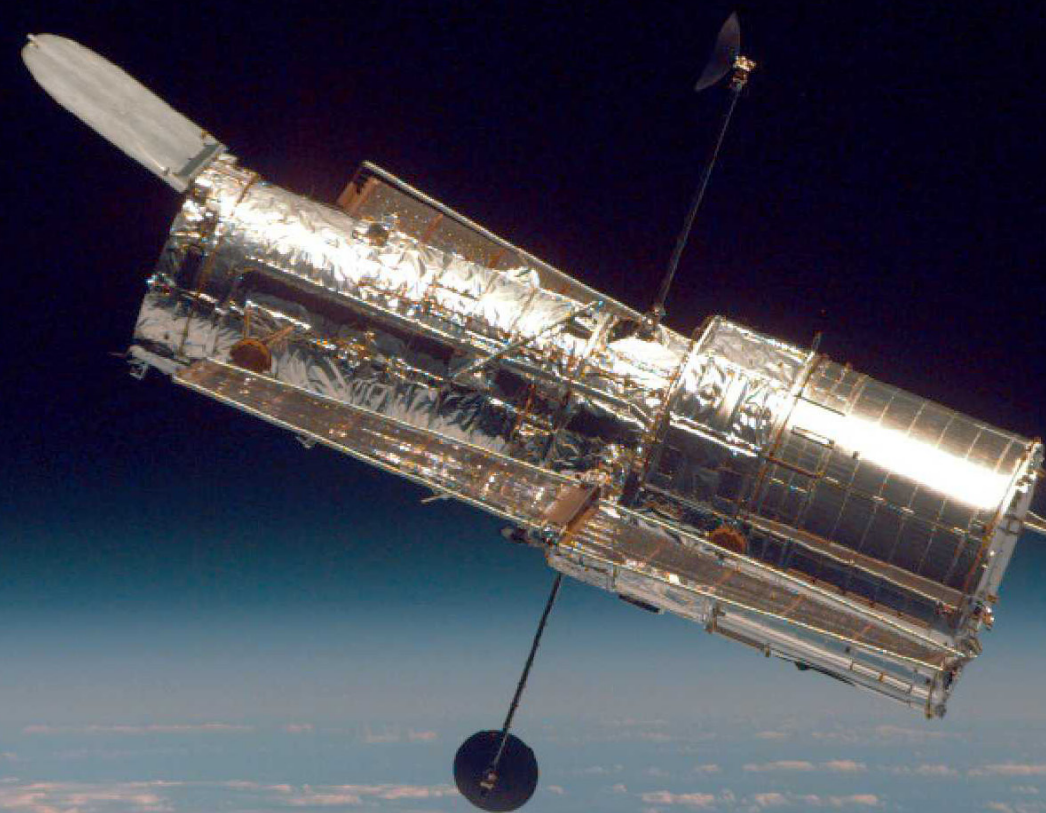
Κορυφαίο, ίσως, ανάμεσα σ' αυτά είναι η ανακάλυψη το 1998 ότι η διαστολή του Σύμπαντος δεν επιβραδύνεται όπως νομίζαμε μέχρι τότε, αλλά επιταχύνεται διαρκώς. Η προσπάθειά μας να απαντήσουμε και σ' αυτά τα αιγίγματα θα συνεχιστεί φυσικά και στο μέλλον. Ως έναν βαθμό, ωστόσο, η μακρά και επίπονη προσπάθειά

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^{ου} 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 μας 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 δεδομένη την ύπαρξη αναρίθμητων άλλων πλανητών, θα ήταν εγωκεντρικό να επιμένουμε ότι ο δικός μας πλανήτης είναι ο μοναδικός στον οποίο έχει εμφανιστεί η ζωή.

³ Εκτός από τις παρατηρήσεις του Hubble, η ανακάλυψη της Κοσμικής Ακτινοβολίας Υποβάθρου (ΚΑΥ) αποτέλεσε μία εξίσου σημαντική απόδειξη της υπέρθερμης απαρχής και της διαρκούς διαστολής του Σύμπαντος. Περισσότερες πληροφορίες για την ΚΑΥ μπορείτε να αντλήσετε από το άρθρο [Η αρχέγονη πυρηνοσύνθεση και η κοσμική ακτινοβολία υποβάθρου](#). Η διαστολή Hubble, η αρχέγονη πυρηνοσύνθεση και η ΚΑΥ αποτελούν τους τρεις παρατηρησιακούς πυλώνες πάνω στους οποίους θεμελιώθηκε η ΘΜΕ, ως το κυρίαρχο μοντέλο που περιγράφει την εξέλιξη του Σύμπαντος.



Το διαστημικό τηλεσκόπιο Hubble (φωτογρ. NASA/STScI).

Βιβλιογραφία

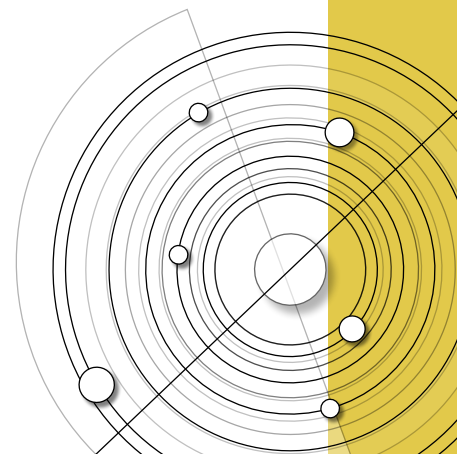
- Bardi, Jason Socrates, *Ο πόλεμος των μαθηματικών: Νεύτωνας ≠ Λάμπνις*, Τραυλός, 2009.
- Ferguson, Kitty, *Τίχο-Κέπλερ: οι θησαυροί της αστρονομίας*, Τραυλός, 2009.
- Galilei, Galileo, *Dialogues concerning two new sciences*, Dover, 1967.
- Gingerich, Owen, *Στα ίχνη του Κοπέρνικου: το βιβλίο που δεν διάβασε κανείς*, Τραυλός, 2004.
- Gribbin, John, *Galaxies: a very short introduction*, Oxford University Press, 2008.
- Hawking, S. W., *Στους ώμους γιγάντων*, Τραυλός, 2006.
- Hogan, Craig J., *Το μικρό βιβλίο της μεγάλης έκρηξης: ένα αλφαβητάρι για το Big Bang*, Αλεξάνδρεια, 2008.
- Numbers, Ronald L., *Newton's apple and other myths about science*, Harvard University Press, 2015.
- Nussbaumer, Harry, *Discovering the expanding universe*, Cambridge, 2009.
- Repcheck, Jack, *Copernicus secret: how the scientific revolution began*, Simon & Schuster, c2007.
- Schilling, Govert, *Eyes on the skies: 400 years of telescopic discovery*, Wiley/VCH, c2009.
- Stoyan, Ronald, *Atlas of the Messier objects: highlights of the deep sky*, Cambridge University Press, 2008.
- Tyson, Neil deGrasse, *Astrophysics for people in a hurry*, W.W.Norton & Company, 2017.

Ηλεκτρονικές Πηγές

- <http://www.universeadventure.org/>
- <http://galileo.rice.edu/>
- <http://www.phy.olemiss.edu/~luca/astrophysics/resources.html>
- [Γαλιλαίος: Η Μάχη στην Αυγή της Σύγχρονης Επιστήμης](#)
- [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 σπουδαιότεροι αστρονόμοι](#) (2011)



Συντελεστές παράστασης

αφήγηση
ΓΙΑΝΝΗΣ ΣΙΔΕΡΑΔΗΣ

narration
ARIS GERONTAKIS

σκηνοθετική επιμέλεια
ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΣΙΜΟΠΟΥΛΟΣ

επιστημονική επιμέλεια & κείμενο αφήγησης
ΑΛΕΞΗΣ ΔΕΛΗΒΟΡΙΑΣ

μουσική & sound design
ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ Κ. ΚΑΤΣΑΡΗΣ

διεύθυνση παραγωγής
ΜΑΝΟΣ ΚΙΤΣΩΝΑΣ

σύμβουλος παραγωγής
ΔΙΟΝΥΣΙΟΣ Π. ΣΙΜΟΠΟΥΛΟΣ

διεύθυνση φωτογραφίας & post-processing
(insta360 pro) ΗΛΙΑΣ ΜΠΑΛΑΝΤΑΣ

time-lapse photography
ΛΟΥΚΑΣ ΧΑΨΗΣ

post-production video & title animation
ΓΙΑΝΝΗΣ ΒΑΜΒΑΚΑΣ

graphic design
ΕΥΓΕΝΙΑ ΣΤΑΒΑΡΗ,
ΧΡΥΣΑΝΘΗ ΒΑΣΟΠΟΥΛΟΥ

τεχνικοί πλανηταρίου
ΦΙΛΙΠΠΟΣ ΛΟΥΒΑΡΗΣ,
ΧΡΗΣΤΟΣ ΧΡΗΣΤΟΓΙΩΡΓΟΣ

computer graphics & 3d animation services
ΥΑΦΚΑ,

ADLER PLANETARIUM,
CALIFORNIA ACADEMY OF SCIENCES,
CASPER PLANETARIUM,
CREATIVE PLANET,

DANIEL M. SOREF PLANETARIUM,
ESO IMAGES,

EVANS & SUTHERLAND,
FULLDOMELAB IMMERSIVE MEDIA,
HUBBLE SPACE TELESCOPE IMAGES,
LIVE COMPANY LTD.,

MELBOURNE PLANETARIUM,
MIRAGE 3D STUDIO,
SPITZ CREATIVE MEDIA

fulldome & post-production video services
ΕΥΓΕΝΙΔΕΙΟ ΠΛΑΝΗΤΑΡΙΟ

post-production audio services
STARGAZER AUDIO

παραγωγή
ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ
© 2018

