

# Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΚΟΣΜΟΛΟΓΙΚΩΝ ΙΔΕΩΝ ΚΑΙ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΣΤΗΝ ΑΡΧΑΙΑ ΕΛΛΑΔΑ

Αντωνίου Δ. Πινότση

Department of Astrophysics, Astronomy and Mechanics, Faculty of Physics,  
University of Athens, Panepistimiopolis, 157 84 Zographos, Athens, Greece

## Περίληψη

Στην εργασία αυτήν πραγματευόμαστε την εξέλιξη των Κοσμολογικών ιδεών και μαθηματικών μοντέλων που αναπτύχθηκαν στην αρχαία Ελλάδα. Αφού κάνουμε μια σύντομη αναδρομή στους προϊστορικούς χρόνους, επικεντρώνουμε το ενδιαφέρον μας στην χρονική περίοδο μεταξύ του 6<sup>ου</sup> π.Χ. και 2<sup>ου</sup> μ.Χ. αιώνα. Στο διάστημα αυτό αναπτύχθηκαν δύο εκ διαμέτρου αντίθετες κοσμολογικές θεωρίες, το Γεωκεντρικό και το Ηλιοκεντρικό σύστημα. Επίσης, δίδουμε έμφαση στα γεωμετρικά μοντέλα των επικύκλων και των έκκεντρων κύκλων, τα οποία χρησιμοποίησαν οι μεγάλοι φιλόσοφοι, αστρονόμοι και μαθηματικοί της Αρχαιότητας Ηρακλείδης, Απολλώνιος, Ίππαρχος και Πτολεμαίος, για να ερμηνεύσουν τα ουράνια φαινόμενα. Από την μελέτη των αρχαίων κειμένων φαίνεται ότι η μεγαλοφυής σύλληψη της Ηλιοκεντρικής θεωρίας του Αρίσταρχου του Σάμιου ήταν μία ρηξικέλευθη θεωρία. Αυτή υπήρξε προϊόν μιας μακρόχρονης πνευματικής διεργασίας, κατά τη διάρκεια της οποίας παρουσιάστηκαν οι πρόδρομοι του Αρίσταρχου του Σάμιου.

## 1. Εισαγωγή

Τα θεμελιώδη ουράνια φαινόμενα διέγειραν, από πολύ νωρίς, την περιέργεια και κίνησαν το ενδιαφέρον των ανθρώπων. Πιθανολογείται ότι μόλις πριν 10.000 με 5000 χρόνια π.Χ. οι τότε φιλόσοφοι αναρωτήθηκαν και σκέφτηκαν για τα διάφορα φαινόμενα που συνέβαιναν γύρω τους. Τότε δεν είχε γεννηθεί ακόμη η επιστημονική σκέψη κι έτσι, για να ερμηνεύσουν τα διάφορα φαινόμενα, κατέφευγαν σε μύθους αναμειγμένους με διάφορες θρησκευτικές δοξασίες και προσωπικές εικασίες, που αντιπροσώπευαν τον

πολιτισμό της χώρας τους και την εποχή τους. Αυτές αλληλεπιδρούσαν με τον πραγματικό Κόσμο και κατ' αυτόν τον τρόπο εμπλουτίζετο η γνώση και η εμπειρία των φιλοσόφων και κατ' επέκταση άλλαζε ο τρόπος σκέψης των για την μελέτη-ερμηνεία των φυσικών φαινομένων. Έτσι, η ανθρώπινη σκέψη βημάτιζε αργά-αργά προς την επιστημονική σκέψη και την επιστήμη της Αστρονομίας. Είναι όμως δύσκολο να προσδιορίσουμε πότε ακριβώς συνέβη αυτό (Πινότσης 1989, σ.6).

Η εξέλιξη των ιδεών για τον Κόσμο στον Ελληνικό πολιτισμό άρχισε το 600 π.Χ. περίπου, με τον αρχηγό της Σχολής της Μιλήτου Θαλή το Μιλήσιο και έφθασε μέχρι το 400 μ. Χ. περίπου. Στο διάστημα αυτό η αρχαία επιστήμη αναπτύχθηκε συστηματικά και έφθασε στο πιο υψηλό σημείο εξέλιξής της. Οι αρχαίοι Έλληνες αστρονόμοι, μαθηματικοί και φιλόσοφοι προσπάθησαν, διατυπώνοντας διάφορες κοσμολογικές ιδέες, θεωρίες, καθώς και μαθηματικά μοντέλα να ερμηνεύσουν τα παρατηρούμενα ουράνια φαινόμενα.

Στην εργασία αυτήν, η οποία στηρίζεται σ' ένα τμήμα προγενέστερης εργασίας μας (Πινότσης 1993, 1998), πραγματευόμαστε την εξέλιξη των Κοσμολογικών ιδεών και μαθηματικών μοντέλων, που αναπτύχθηκαν στο πλαίσιο της Γεωκεντρικής και της Ηλιοκεντρικής θεώρησης.

## 2. Η Εξέλιξη των Κοσμολογικών Θεωριών

### 2.1 Ορφικά

Από την προϊστορική περίοδο οι Έλληνες ανέπτυξαν αξιοπρόσεκτες απόψεις για τον τότε γνωστό Κόσμο. Ήδη, γύρω στον 15<sup>ο</sup> π.Χ. αιώνα ο Ορφείας και οι μαθητές του δίδασκαν ενδιαφέρουσες απόψεις-πληροφορίες. Στα Ορφικά (Kern, O.: *Orphycorum fragmenta*, Berolini 1922; Hermann, G.: *Orphica*, Lipsise 1805), τα οποία αποδίδονται στον Ορφέα και τους μαθητές του, βρίσκουμε τις εξής θεωρήσεις (Χασάπης 45-48, σ.86-88, 1967): α) Η Γη είναι σφαιρική, β) βρίσκεται στο κέντρο της ουράνιας σφαίρας, γ) η Γη περιστρέφεται γύρω από τον άξονά της, δ) η ουράνια σφαίρα περιστρέφεται γύρω από τον άξονα του Κόσμου, ο οποίος συμπίπτει με τον άξονα περιστροφής της Γης, ε) η περιστροφή της Γης και της ουράνιας σφαίρας είναι ισόχρονες και στ) ο Ήλιος έχει μία ημερήσια και μία ετήσια κίνηση κατά μήκος της εκλειπτικής (σ.68).

### 2.2 Αναξίμανδρος

Ο Αναξίμανδρος (611-546 π.Χ.) εισήγαγε, σύμφωνα με ορισμένους

συγγραφείς, καινοφανείς ιδέες όσον αφορά τη Γη και τα άλλα ουράνια σώματα και γι' αυτό δύναται να θεωρηθεί ως ο πρόδρομος των θεωριών των Πυθαγορείων και του Αρίσταρχου του Σάμιου. Έτσι, σύμφωνα με τον Θέωνα τον Σμυρναίο στο έργο του *Περί Αστρολογίας* αναφέρει ότι, «σύμφωνα με όσα εξιστορεί ο Εύδημος (350-290 π.Χ) στο σύγγραμμά του *Ιστορία της Αστρονομίας* ο Οίνοπίδης βρήκε πρώτος τον ζωδιακό κύκλο και τη διάρκεια του μεγάλου έτους (ενιαυτού)... Ο Αναξίμανδρος πρώτος θεώρησε ότι η Γη είναι μετέωρη και κινείται γύρω από το μέσον (κέντρο) του Κόσμου». Δηλαδή πρώτος δεχόταν ότι η Γη κινείται<sup>1</sup>. Επίσης, ο Διογένης Λαέρτιος αναφέρει ότι, «ο Αναξίμανδρος, ο οποίος δέχεται ως πρωταρχικό στοιχείο το Άπειρο, θεωρούσε ότι η Γη είναι σφαιροειδής και βρίσκεται στο μέσον του Κόσμου, η δε Σελήνη είναι ετερόφωτη και φωτίζεται από τον Ήλιο»<sup>2</sup>. Ακόμη αναφέρει ότι ο Αναξίμανδρος ήταν ο πρώτος χαρτογράφος της οικουμένης. Κατά πληροφορία του Πλουτάρχου (Περί Αρεσ. Φιλ. Γ,ΙΑ΄) «ο Αναξίμανδρος λέγει ότι η Γη μοιάζει με πέτρινο κίονα»...

Τις πληροφορίες αυτές πρέπει να υιοθετήσουμε με κάποια επιφύλαξη, επειδή προέρχονται από δευτερεύουσες πηγές. Να σημειώσουμε ότι ο Εύδημος ο Ρόδιος ήταν ένας από τους δύο υποψήφιους για τη διεύθυνση του Λυκείου μετά τον θάνατο του Αριστοτέλη (Pinotsis, 2001). Ακόμη ότι αφενός έζησε πολύ κοντύτερα στην εποχή του Αναξίμανδρου απ' ό τι ο Διογένης ο Λαέρτιος (4<sup>ος</sup> αιώνας μ.Χ) και αφετέρου έγραψε μεταξύ των άλλων την *Ιστορία της Αστρονομίας* και την *Ιστορία των Μαθηματικών*. Στα συγγράμματα αυτά περιέχονταν όλες οι γνώσεις της αστρονομίας και των μαθηματικών μέχρι την εποχή του. Ο Διογένης ο Λαέρτιος όμως δεν έγραψε κάποιο ειδικό σύγγραμμα στα μαθηματικά ή την αστρονομία, αλλά γενικότερου ενδιαφέροντος, τους *Βίους Φιλοσόφων*.

### 2.3 Πυθαγόρας ο Σάμιος

Ο Πυθαγόρας ο Σάμιος (580 – 490 π.Χ) είναι ο τρίτος πνευματικός γίγαντας του αρχαίου Ελληνικού πνεύματος μαζί με τον Πλάτωνα και τον Αριστοτέλη. Ο Πυθαγόρας δεν άφησε κανένα γραπτό κείμενο κι έτσι είναι δύσκολο να διακρίνουμε με βεβαιότητα τις αστρονομικές απόψεις του από

<sup>1</sup> (Πλατωνικοί Φιλόσοφοι, σ. 198), (Pinotsis 2001, σ.242). Εύδημος ιστορεί εν ταίς αστρολογίαις ότι Οίνοπίδης εύρε πρώτος τήν του ζωδιακού διάζωσιν και τήν του μεγάλου ενιαυτού περίστασιν..., Αναξίμανδρος δέ ότι έστιν ή γη μετέωρος και κινείται περι τὸ του κόσμου μέσον.

<sup>2</sup> (2,1). Μέσην τε τήν γῆν κείσθαι, κέντρου τάξιν επέχουσαν, οὔσαν σφαιροειδῆ τήν τε σελήνην ψευδοφαῆ, καὶ ἀπὸ Ἡλίου φωτίζεσθαι...

εκείνες των μαθητών του, επειδή οι πληροφορίες μας προέρχονται από δευτερογενείς πηγές. Θεωρούσε ότι ουσία πάντων των όντων και φαινομένων και αρχή είναι οι αριθμοί. Δίδασκε ότι η Γη, η Σελήνη, ο Ήλιος, οι 5 γνωστοί τότε πλανήτες Ερμής, Αφροδίτη, Άρης, Ζεός, Κρόνος και οι απλανείς αστέρες είναι σφαιρικοί και ότι η Γη παραμένει ακίνητη στο μέσον (κέντρο) του Κόσμου. (Λέγεται ότι την ιδέα της σφαιρικότητας της Γης και των άλλων ουράνιων σωμάτων συνέλαβε μελετώντας τις φάσεις της Σελήνης). Σύμφωνα με ορισμένες πηγές (Heath Arist, σ.51), αλλά υπάρχει αμφισβήτηση, θεωρείται ότι πρώτος ανακάλυψε πως οι φαινόμενες κινήσεις του Ήλιου και των πλανητών δύνανται να αναλυθούν σε δύο ομαλές κυκλικές κινήσεις. Η ουράνια σφαίρα και μαζί της ο Ήλιος, η Σελήνη, και οι πλανήτες έχουν μία ημερήσια περιστροφή κατά την ανάδρομη φορά, από ανατολάς προς δυσμάς, γύρω από τον άξονα που διέρχεται από το κέντρο της Γης, ενώ ταυτόχρονα έχουν και μία άλλη ανεξάρτητη κίνηση γύρω από τον ίδιο άξονα, αλλά κατά την αντίθετη φορά (ορθή φορά), δηλαδή από δυσμάς προς ανατολάς. Αν και δεν είναι απολύτως εξακριβωμένες οι αστρονομικές ιδέες του Πυθαγόρα (Dicks 1970, σ.86), εντούτοις μπορούμε να τον θεωρήσουμε ως τον εισηγητή, τον πατέρα της Γεωκεντρικής θεώρησης. Οι ιδέες του επηρέασαν και τους Πλάτωνα, Αριστοτέλη, Εύδοξο τον Κνίδιο, Ίππαρχο τον Ρόδιο, Ποσειδώνιο το Ρόδιο (Πινότσης 2000, σ.391) και Κλαύδιο Πτολεμαίο, οι οποίοι συνέβαλαν στη βελτίωση και ανάπτυξη της θεωρίας αυτής.

#### 2.4 Φιλόλαος ο Πυθαγόρειος

Όμως, στο τέλος του 5<sup>ου</sup> αιώνα π.Χ. ο Φιλόλαος, ένας από τους σημαντικότερους Πυθαγόρειους φιλοσόφους, διατύπωσε την άποψη ότι η Γη, ο Ήλιος, η Σελήνη και οι πέντε πλανήτες περιφέρονται γύρω από το **Κεντρικόν Πῦρ**, το οποίο ονομάζει **Έστία**, από δυσμάς προς ανατολάς. Συνεπώς στο κέντρο του Κόσμου αντί της Γης τοποθετεί το Κεντρικό Πῦρ. Ο Πλούταρχος αναφέρει ότι:<sup>3</sup> «Ο Φιλόλαος ο Πυθαγόρειος ισχυρίζεται ότι το μεν Πῦρ το οποίο βρίσκεται στο μέσον του Κόσμου είναι πρώτον, διότι αυτό είναι η έστία του Σύμπαντος, δεύτερη δε είναι η Αντίχθονα, τρίτη δε η

<sup>3</sup> (Περί Αρεσκ. Φιλ. Γ΄, 11, 13). Φιλόλαος ο Πυθαγόρειος τὸ μεν Πῦρ μέσον, τοῦτο γὰρ εἶναι τοῦ παντός έστίαν, δευτέραν δὲ τὴν αντίχθονα, τρίτην δὲ τὴν οἰκοῦμεν Γῆν ἐξ ἐναντίας κειμένην τε καὶ συμπεριφερομένην τῇ αντίχθονι: παρ' ὃ καὶ μὴ ὀραῖσθαι ὑπὸ τῶν ἐν τῆδε τοῦς ἐν ἐκείνῃ... Οἱ μὲν ἄλλοι μένειν τὴν Γῆν. Φιλόλαος δὲ ὁ Πυθαγόρειος τὴν Γῆν κύκλω περιφέρεισθαι περὶ τὸ Πῦρ κατὰ κύκλον λοξὸν ὁμοιοτρόπως ἡλίω καὶ σελήνῃ. Ἡρακλείδης ὁ Ποντικός...

οικουμένη Γη, η οποία βρίσκεται απέναντη από την Αντίχθονα, και η οποία (Γη) περιφέρεται μαζί με την Αντίχθονα γύρω από το μέσον του Κόσμου. Γι' αυτό δεν φαίνονται από τους κατοίκους της Γης εκείνοι που κατοικούν στην αντίχθονα... οι μεν άλλοι (φιλόσοφοι) θεωρούν ότι η Γη είναι ακίνητη (στο κέντρο του Κόσμου). Ο Φιλόλαος όμως ο Πυθαγόρειος θεωρεί ότι η Γη περιφέρεται σε κυκλική τροχιά γύρω από το κεντρικό Πυρ, η οποία είναι λοξή, όπως ακριβώς του Ήλιου και της Σελήνης. Ο Ηρακλείδης ο Ποντικός... Το ίδιο αναφέρουν ο Αέτιος (III,11,3), ο Στοβαίος (Ecl. I,28) και ο Πλούταρχος (Βίοι παράλ. Νομάς, XI) που αναφέρουμε στην παράγραφο 2.6.

Θα πρέπει να αναφέρουμε ότι ο Σιμπλίκιος θεωρεί τον Φιλόλαο ως τον πρώτο εισηγητή της Ηλιοκεντρικής θεωρίας. Γράφει μεταξύ άλλων:<sup>4</sup> Εικάζουμε ότι ο Φιλόλαος υπονοεί τον Ήλιο (Πινότσης 1998, σ.99). Αυτό συνάγεται αν μελετήσουμε ολόκληρο το προηγούμενο απόσπασμα του Σιμπλίκιου και ιδίως την τελευταία παράγραφο που λέει ότι: «εκείνοι που υιοθετούν την πιο γνήσια απ' αυτές θεωρία αποκαλούν κεντρικό πυρ τη δημιουργική δύναμη που, εκπορευομένη από το μέσον, ζωογονεί ολόκληρη τη Γη και θερμαίνει εκ νέου το τμήμα της Γης που έχει ψυχθεί (κατά τη νύχτα)». Εκείνο όμως το ουράνιο σώμα που έχει αυτές τις ιδιότητες είναι ο Ήλιος. Όπως είναι γνωστό, από την αρχαιότητα γνώριζαν (πίστευαν) ότι αυτός που θερμαίνει, φωτίζει και ζωογονεί τη Γη είναι ο Ήλιος, για τον οποίο έγραφαν και ύμνους. Ένας απ' αυτούς, ο μεγάλος στωϊκός φιλόσοφος και αστρονόμος, ο Ποσειδώνιος ο Ρόδιος (135-51 π.Χ.) θεωρούσε τον Ήλιο ως κέντρο των πλανητών, του οποίου η θερμογόνα πνοή, **το πνεύμα**, ξεχύνεται στον Κόσμο και τον γεμίζει (Πινότσης 2000, σ.391). Ακόμη, από τους προϊστορικούς χρόνους, στα Ορφικά (Χασάπης 1967, σ.68,71), συναντάμε τις ιδέες του Ηλιοκεντρισμού, αφού στους ύμνους του Ορφέα αναφέρονται οι λέξεις κλειδιά «Κοσμοκράτωρ Ήλιος» για τον χαρακτηρισμό του Ήλιου ως «Κοσμοκράτορα» (8,11) και «Δεσπότη του Κόσμου» (8,16) και η τροχιά του

<sup>4</sup> Καὶ ὁ Ἀρχιμήδης ταύτης τῆς δόξης γέγονε (II, 13, 229β). Ἐν μὲν τῷ μέσῳ τοῦ παντὸς πῦρ εἶναι φασι, περὶ δὲ τὸ μέσον τὴν ἀντίχθονα φέρεσθαι φασι γῆν οὖσαν καὶ αὐτὴν ἀντίχθονα δὲ καλουμένην διὰ τὸ ἐξ ἐναντίας τῆδε τῆ Γῆ εἶναι, μετὰ δὲ τὴν ἀντίχθονα ἢ γῆ ἢδε φερομένη καὶ αὐτὴ περὶ τὸ μέσον, μετὰ δὲ τὴν γῆν ἢ σελήνη... τὴν δὲ γῆν ὡς ἐν τῶν ἀστρῶν οὖσαν κινουμένην περὶ τὸ μέσον κατὰ τὴν πρὸς τὸν ἥλιον σχέσιν νύκτα καὶ ἡμέραν ποιεῖν... ἡμέραν μὲν γὰρ ποιεῖ τὸ πρὸς τῷ ἡλίῳ μέρος καταλαμπομένη... οἱ δὲ γνησιώτερον αὐτῶν μετασχόντες πῦρ μὲν ἐν τῷ μέσῳ λέγουσι τὴν δημιουργικὴν δύναμιν τὴν ἐκ μέσου πάσαν τὴν γῆν ζωογονοῦσαν καὶ τὸ ἀπεψυγμένον αὐτῆς ἀναθαλοῦσαν.

ως «πυρίδρομος». Επίσης, στο στοίχο (34,26) διευκρινίζει περισσότερο την ηγετική θέση του Ήλιου και ότι έχει την σφραγίδα δια της οποίας «ετυπώθη ο Κόσμος». Την ίδια άποψη εκφράζει και ο Ε. Αντωνιάδης, ότι δηλαδή ο Φιλόλαος υπονοεί τον Ήλιο (Πινότσης 1998, σ.99).

Όπως αναφέρουμε στην επόμενη παράγραφο, κάτι ανάλογο αναφέρει για τον Φιλόλαο και ο Αριστοτέλης στο σύγγραμμά του *Περί Ουρανού* (XIII,293α,18). Έτσι, η πρωτότυπη αυτή επινόηση του Φιλόλαου δημιούργησε ένα ρήγμα στην επιστημονική σκέψη της εποχής εκείνης.

### 2.5 Ικέτας - Έκφαντος

Κατά τον 5ο και 4ο αιώνα π.Χ., δύο άλλοι Πυθαγόρειοι από τις Συρακούσες, ο Ικέτας και ο μαθητής του Έκφαντος, τροποποιώντας το σύστημα του Φιλόλαου, δίδασκαν ότι η Γη περιστρέφεται γύρω από τον άξονά της από δυσμάς προς ανατολάς (κατά την ορθή φορά). Έτσι εξήγησαν την ημερήσια περιστροφή της ουράνιας σφαίρας και συνεπώς την εναλλαγή της ημέρας και της νύχτας. Ο Αριστοτέλης στο σύγγραμμα του *Περί Ουρανού* αναφέρει:<sup>5</sup> «ως προς τη θέση (της Γης) δεν έχουν όλοι την ίδια γνώμη, αλλά ενώ οι περισσότεροι λένε ότι βρίσκεται στο κέντρο (του Σύμπαντος), οι Ιταλιώτες (σοφοί), οι αποκαλούμενοι Πυθαγόρειοι, λένε το αντίθετο. Λένε, δηλαδή, ότι στο κέντρο υπάρχει το πυρ, ενώ η Γη, όντας ένα από τα άστρα και περιστρεφόμενη γύρω από το κέντρο, δημιουργεί τη νύχτα και την ημέρα.. Αλλά και πολλοί άλλοι πιστεύουν μαζί με εκείνους ότι δεν πρέπει να θεωρούμε πώς η Γη ευρίσκεται στο κέντρο του Κόσμου... ώστε μ'αυτήν τη συλλογιστική δεν νομίζουν ότι η Γη κείται στο κέντρο της ουράνιας σφαίρας, αλλά μάλλον εκεί βρίσκεται το πυρ... Μερικοί δε λένε ότι η Γη και κατέχουσα το κέντρο, ταλαντώνεται και κινείται γύρω από τον άξονα του Σύ-

<sup>5</sup> (XIII, 293α, 18). Περί μὲν οὖν τῆς θέσεως (τῆς Γῆς) οὐ τὴν αὐτὴν ἅπαντες ἔχουσι δόξαν, ἀλλὰ τῶν πλείστων ἐπὶ τοῦ μέσου κεῖσθαι λεγόντων,... ἐναντίως οἱ περὶ τὴν Ἰταλίαν, καλούμενοι δὲ Πυθαγόρειοι λέγουσιν: ἐπὶ μὲν γὰρ τοῦ μέσου πῦρ εἶναι φασί, τὴν δὲ γῆν, ἐν τῶν ἀστρῶν οὖσαν, κύκλῳ φερομένην περὶ τὸ μέσον νύκτα τε καὶ ἡμέραν ποιεῖν... Πολλοῖς δ' ἂν καὶ ἑτέροις συνδόξειε μὴ δεῖν τῇ γῆ τὴν τοῦ μέσου χώραν ἀποδιδόναι... ὥστ' ἐκ τούτων ἀναλογιζόμενοι οὐκ οἴονται ἐπὶ τοῦ μέσου τῆς σφαίρας κεῖσθαι αὐτήν, ἀλλὰ μάλλον τὸ πῦρ... (293b, 30, σ.71) Ἔνιοι δὲ καὶ κειμένην ἐπὶ τοῦ κέντρου φασὶν αὐτὴν ἴλλεσθαι καὶ κινεῖσθαι περὶ τὸν διὰ παντὸς τεταμένον πόλον, ὥσπερ ἐν τῇ Τιμαίῳ γέγραπται.. Καὶ συνεχίζει πιο κάτω (XIV, 296α, 25): Καθάπερ γὰρ εἵπομεν, οἱ μὲν αὐτὴν ἐν τῶν ἀστρῶν εἶναι ποιῶσιν, οἱ δ' ἐπὶ τοῦ μέσου θέντες ἴλλεσθαι καὶ κινεῖσθαι φασὶ περὶ τὸν πόλον μέσον.

μπαντος, όπως αναφέρεται στον Τιμαίο... Όπως κιόλας είπαμε, οι μιν την χαρακτηρίζουν σαν ένα από τα άστρα, ενώ οι άλλοι τη θέλουν να βρίσκεται στο κέντρο του Σύμπαντος, να περιδινείται (στροβιλίζεται) και να κινείται γύρω από τον κεντρικό άξονά της». Υπάρχει μία περικοπή του Διογένη Λαέρτιου που αναφέρει:<sup>6</sup> «[ο Φιλόλαος] πίστευε ότι όλα γίνονται από ανάγκη και με αρμονία, και ότι πρώτος βρήκε πως η Γη κινείται κυκλικά. Άλλοι όμως το αποδίδουν στον Ικέτα το Συρακούσιο.

### 2.6 Πλάτων

Ο Πλάτων (428-347 π.Χ) όμως, ο οποίος επισκέφτηκε επανειλημμένα την Πυθαγόρειο Σχολή κατά τη διάρκεια των ταξιδιών του στην Μεγάλη Ελλάδα, επανήλθε στις αντιλήψεις του Πυθαγόρα. Τις κοσμολογικές – κοσμογονικές ιδέες του τις αναπτύσσει στον Τιμαίο. Σύμφωνα με την Κοσμολογία του, ο Ήλιος, η Σελήνη, οι πέντε πλανήτες και οι αστέρες περιστρέφονται σε κυκλικές τροχιές γύρω από τη Γη, η οποία βρίσκεται στο κέντρο του Κόσμου. Θα σταχυολογίσουμε ορισμένες μόνο περικοπές από τον Τιμαίο<sup>7</sup> : «Ο χρόνος, λοιπόν, γεννήθηκε μαζί (συγχρόνως) με τον ουρανό για να εξαφανισθούν μαζί (συγχρόνως) – αν (όταν) κάποτε εξαφανισθούν (επέλθει η καταστροφή τους) – αφού δημιουργήθηκαν συγχρόνως και σύμφωνα με το πρότυπο της αιώνιας ουσίας, για να είναι όσον το δυνατό ομοιότερος με αυτήν κατά την ικανότητα. Διότι το μιν πρότυπο είναι όν αιωνίως (υπάρχει στην αιωνιότητα), ενώ αντίθετα ο χρόνος, από την αρχή μέχρι το τέλος, υπήρχε, υπάρχει και θα υπάρχει. Από τέτοιους συλλογισμούς, λοιπόν, και τέτοια σχέδια του Θεού όσον αφορά την γένεση του χρόνου δημιουργήθηκαν ο Ήλιος, η Σελήνη και τα άλλα πέντε άστρα, που ονομάζονται πλανήτες, για να προσδιορισθούν και να διατηρηθούν οι αριθμοί του χρόνου» (Τιμαίος 38b,c).

Στην περικοπή αυτή ο Πλάτων λέγει ότι ο χρόνος γεννήθηκε συγχρόνως

<sup>6</sup> (8,85). Δοκεῖ δ' αὐτῷ πάντα ἀνάγκη καὶ ἁρμονία γίγνεσθαι καὶ τὴν γῆν κινεῖσθαι κατὰ κύκλον πρῶτον εὐρεῖν (εννοεῖ το Φιλόλαο) οἱ δ' Ἰκέταν τὸν Συρακούσιόν φασι.

<sup>7</sup> Χρόνος δ' οὖν μετ' οὐρανοῦ γέγονεν, ἵνα ἅμα γεννηθέντες ἅμα καὶ λυθῶσιν, ἂν ποτε λύσις τις αὐτῶν γίγηται, καὶ κατὰ τὸ παράδειγμα τῆς διαιωνίας φύσεως, ἴν' ὡς ὁμοιότατος αὐτῷ κατὰ δύναμιν ἦ. Τὸ μὲν γάρ δὴ παράδειγμα πάντα αἰῶνά ἐστιν ὄν, ὁ δ' αὖ διά τέλους τον ἅπαντα χρόνον γεγονώς τε καὶ ὦν καὶ ἐσόμενος. Ἐξ οὖν λόγου καὶ διανοίας θεοῦ τοιαύτης πρὸς χρόνου γένεσιν, ἵνα γεννηθῆ χρόνος, ἥλιος καὶ σελήνη καὶ πέντε ἄλλα ἄστρα, ἐπίκλην ἔχοντα πλανητά, εἰς διορισμὸν καὶ φυλακὴν ἀριθμῶν χρόνου γέγονεν.

με την δημιουργία του Σύμπαντος και θα εξαφανισθεί συγχρόνως με το τέλος του Σύμπαντος. Ομιλεί για το ότι ο χρόνος ζωής του Σύμπαντος είναι πεπερασμένος και κατά την περίοδο αυτή ο χρόνος υπήρχε, υπάρχει και θα υπάρχει, σε αντίθεση με το αιώνιο όν, τον Θεόν, που είναι ο δημιουργός του Σύμπαντος. Ο χρόνος, δηλαδή, γεννήθηκε μαζί με την ύλη και το χώρο και μαζί θα εξαφανισθούν. Ο Πλάτων, λοιπόν, είναι ο πρώτος που συνέλαβε και εισήγαγε την έννοια του χωρόχρονου σε συνάρτηση με την ύπαρξη της ύλης, που χρησιμοποίησε ο Einstein στη Γενική Θεωρία της Σχετικότητας και χρησιμοποιείται στις σχετικιστικές κοσμολογίες. Οι κοσμολογικές απόψεις του Πλάτωνα συνάδουν με την κοσμολογία της Μεγάλης Έκρηξης, ενώ είναι αντίθετες με την κοσμολογία των Gold, Bondi και Hoyle της Συνεχούς Δημιουργίας, του Dirac κ.λ.π.

Σύμφωνα με τον Σιμπλίκιο (*Σχόλ. Ουραν. Αριστ.*, εκδ. Heiberg, σ.488,493) ο Πλάτων πίστευε ότι οι φαινόμενες κινήσεις των πλανητών μπορούσαν να περιγραφούν από τη σύνθεση ομαλών κυκλικών κινήσεων και ότι είναι έργο των Γεωμετρών να τις ανακαλύψουν. Αναφέρει στον Τίμαιο (40a,b): «Στα θεία όντα (πλανήτες) ο Θεός έδωσε δύο αντίθετες κινήσεις. Η μία είναι ομοιόμορφη και γίνεται πάντοτε στον ίδιο τόπο (χώρο), επειδή ο Θεός έχει την ίδια σκέψη (άποψη) για τα ίδια αντικείμενα, ενώ η άλλη κίνηση γίνεται προς τα εμπρός που υπακούει στην περιστροφή της αναλλοίωτης και αμετάβλητης ουσίας». Και συνεχίζει:<sup>8</sup> «την δέ γη, η οποία είναι η τροφός μας, την περιστρεφόμενη γύρω από τον άξονα του Κόσμου, φύλακα και δημιουργό της νύκτας και της ημέρας, τη δημιούργησε πρώτη και πρεσβυτάτην από τους θεούς, όσοι έγιναν εντός του ουρανού». Από την πρόταση αυτή φαίνεται ότι ο Πλάτων εδέχετο την ημερήσια κίνηση της Γης γύρω από τον άξονά της. Όπως αναφέραμε στην προηγούμενη παράγραφο, κάτι ανάλογο αναφέρει και ο Αριστοτέλης στο σύγγραμμά του *Περί Ουρανού* (293b). Όμως, σε άλλα μέρη του διαλόγου στον Τίμαιο φαίνεται ότι ο Πλάτων θεωρούσε την Γη ακίνητη στο κέντρο του Κόσμου και ότι την ημερήσια κίνηση την απέδιδε στην περιστροφή της ουράνιας σφαίρας.

Μέχρι την εποχή του Πλάτωνα είχε συσσωρευθεί ένας μεγάλος όγκος παρατηρησιακών δεδομένων, τα οποία έπρεπε να χρησιμοποιηθούν ώστε να διατυπωθεί ένα μαθηματικό μοντέλο το οποίο θα έδιδε τη θεωρητική ερμηνεία τους. Αυτό ακριβώς φαίνεται ότι το κατανόησε ο Πλάτων, ο οποίος, όπως σχολιάζει ο Σιμπλίκιος (II, 12), διείδε την ανάγκη να χρησιμοποιη-

<sup>8</sup> γῆν δὲ τροφὸν μὲν ἡμετέρα, ἰλλουμένην δὲ περὶ τὸν διὰ παντὸς πόλον τεταμένον, φύλακα καὶ δημιουργὸν νυκτὸς τε καὶ ἡμέρας ἐμηχανήσατο, πρώτην καὶ πρεσβυτάτην θεῶν ὅσοι ἐντὸς οὐρανοῦ γεγόνασι. (Τιμαίος 40c).



θούν τα μαθηματικά από τους αστρονόμους, για να ερμηνευθούν τα ουράνια φαινόμενα. Έτσι, συνέλαβε τη φαινή ιδέα να παροτρύνει τους αστρονόμους (μαθητές του) να επικεντρώσουν τις προσπάθειές τους στη θεωρητική πλευρά του κοσμολογικού προβλήματος. Να μελετήσουν δηλαδή τις μαθηματικές σχέσεις που βρίσκονται πίσω από τα παρατηρούμενα ουράνια φαινόμενα και να προτείνουν έτσι μαθηματικά μοντέλα, τα οποία θα αναπαριστούσαν και θα εξηγούσαν τις κινήσεις των ουράνιων σωμάτων, θα έσωζαν δηλαδή τα φαινόμενα.

Ο Εύδοξος ο Κνίδιος ήταν ο πρώτος που ανταποκρίθηκε στη σύσταση αυτή του Δασκάλου του και διατύπωσε ένα μαθηματικό μοντέλο για την ερμηνεία του τότε γνωστού Κόσμου, τη θεωρία των *Ομόκεντρων Σφαιρών*. Έτσι ο Πλάτων, **για να σώσει τα φαινόμενα**, υιοθέτησε το σύστημα των *Ομόκεντρων Σφαιρών* του Ευδόξου. Η μεγάλη, όμως, συνεισφορά του Πλάτωνα ήταν ότι έδωσε μεγάλη ώθηση στην ανάπτυξη διαφόρων κλάδων των μαθηματικών και ιδίως της γεωμετρίας.

Βέβαια, υπάρχουν κάποιες νύξεις (ενδείξεις), όπως αυτές του Πλουτάρχου, ότι ο Πλάτων στο τέλος της ζωής του δεν ήταν ικανοποιημένος με την κεντρική θέση της Γης στην ουράνια σφαίρα.<sup>9</sup> «Ο Θεόφραστος αναφέρει επιπροσθέτως ότι ο Πλάτων στα γηρατιά του μετάνιωσε που απέδιδε στη Γη την κεντρική θέση του Κόσμου χωρίς να της ταιριάζει...αλλά το Σύμπαν, του οποίου το μέσον οι Πυθαγόρειοι νομίζουν ότι αποτελείται από Πύρ, και το οποίον καλούν Εστία και μονάδα. Για δε τη Γη λένε ότι ούτε ακίνητη είναι ούτε ότι βρίσκεται στο μέσο (κέντρο) της τροχιάς, αλλά ότι διαγράφει κυκλική τροχιά γύρω από το πύρ... Αυτά, λένε, εδέχτο (υιοθέτησε) και ο Πλάτων στα γηρατιά του για τη γη, ότι κείται σε άλλο μέρος» (δηλαδή όχι στο κέντρο του Κόσμου)..

### 2.7 Εύδοξος ο Κνίδιος

Ο ευφυής μαθηματικός και αστρονόμος Εύδοξος ο Κνίδιος (408-355 π.Χ.) υποστήριξε, όπως και ο δάσκαλός του ο Πλάτων, την ακινησία της Γης. Παρακινούμενος από τον Πλάτωνα, επινόησε το πρώτο μαθηματικό –

<sup>9</sup> (*Πλάτ. Ζητήμ. Η', 1; Βίοι παράλ., Νουμάς XI*). Θεόφραστος δὲ καὶ προσιστορεῖ τῶν Πλάτωνι πρεσβυτέρῳ γενομένῳ μεταμέλλειν, ὡς οὐ προσήκουσαν ἀποδόντι τῇ γῆ τὴν μέσῃν χώραν τοῦ παντός...ἀλλὰ τοῦ σύμπαντος κόσμου, οὐ μέσον οἱ Πυθαγορικοὶ τὸ πῦρ ἰδρῦσθαι νομίζουσι καὶ τοῦτο Ἐστίαν καλοῦσι καὶ μονάδα: τὴν δὲ γῆν οὔτε ἀκίνητον οὔτε ἐν μέσῳ τῆς περιφορᾶς οὔσαν, ἀλλὰ κύκλῳ περὶ τὸ πῦρ αἰωρουμένην... Ταῦτα δὲ καὶ Πλάτωνά φασι πρεσβύτην γενόμενον διανενοεῖσθαι περὶ τῆς γῆς ὡς ἐν ἑτέρῃ χώρᾳ καθεστῶσης.

γεωμετρικό Κοσμολογικό μοντέλο. Για να εξηγήσει τις φαινόμενες από τη Γή κινήσεις των ουρανίων σωμάτων (τις ανωμαλίες των τροχιών τους) διατύπωσε τη θεωρία των *Ομόκεντρων Σφαιρών*, την οποία περιέγραφε στο σύγγραμμά του *Περί Ταχών* (ταχυτήτων). Το έργο αυτό έχει απωλεσθεί. Αναφορές στη θεωρία του βρίσκουμε στο σύγγραμμα του Αριστοτέλη *Μετά τα Φυσικά* (XI, 8) και λεπτομερέστερη περιγραφή στο σύγγραμμα του Σιμπλίκιου *Σχόλια εις περί Ουρανού του Αριστοτέλους* (II, 12, κυρίως 221α), ο οποίος άντλησε τις πληροφορίες του, μέσω του φιλόσοφου Σωσιγένη, από τον Εύδημο το Ρόδιο. Οι γεωμετρικές λεπτομέρειες της θεωρίας αυτής δεν αναφέρονται στις αρχαίες αυτές πηγές και γι' αυτό οι Apelt, Ideler και κυρίως ο Schiaparelli προσπάθησαν με εργασίες τους να εξηγήσουν τις βασικές γεωμετρικές αρχές του συστήματος του Ευδόξου. Οι Heath (1913,1981), Dreyer (1953) και Dicks (1970) στηρίζονται στις εργασίες αυτές (κυρίως του Schiaparelli) για να περιγράψουν στα συγγράμματά τους τη θεωρία του Ευδόξου.

Για να εξηγήσει ο Ευδόξος τις φαινόμενες κινήσεις της Σελήνης, του Ήλιου και των 5 πλανητών αντικατέστησε τις κυκλικές τροχιές που είχαν διατυπωθεί πριν απ' αυτόν με ένα σύνολο από 27 περιστρεφόμενες ομόκεντρες σφαίρες, οι οποίες αποτελούσαν 8 υποσύνολα σφαιρών, από 3 για τη Σελήνη και τον Ήλιο, 4 για κάθε πλανήτη και 1 για τους απλανείς αστέρες. Οι βασικές αρχές του συστήματός του ήταν οι εξής :

1) Οι σφαίρες δεν ήταν αντιληπτές από τις αισθήσεις των ανθρώπων και στο κοινό κέντρο τους βρισκόταν η ακίνητη σφαιρική Γή.

2) Περιστρέφονταν ανεξάρτητα η μία από την άλλη με δική της σταθερή γωνιακή ταχύτητα (ομαλή κυκλική κίνηση) η κάθε μία γύρω από τον άξονά της, ο οποίος διερχόταν από τη Γη (το κέντρο της Γης).

3) Τα δύο άκρα –οι πόλοι του άξονα περιστροφής κάθε σφαίρας ενός υποσυνόλου σφαιρών ήταν σταθερά στερεωμένοι στην εσωτερική επιφάνεια της αμέσως προηγούμενης της σφαίρας. Συνεπώς, κάθε σφαίρα ενός υποσυνόλου συμμετείχε στις κινήσεις των προηγούμενων σφαιρών –των σφαιρών που την περιέβαλλαν. Έτσι, η ερμηνεία – περιγραφή της κινήσεως κάθε ουράνιου σώματος επιτυγχάνετο με τον κατάλληλο συνδυασμό των κινήσεων των σφαιρών. Παρατηρούμε, λοιπόν, ότι ο Ευδόξος είχε αντιληφθεί την αρχή της *ανεξαρτησίας –της επαλληλίας των κινήσεων*. Τις ιδέες αυτές όμως συναντήσαμε και στις απόψεις του Πλάτωνα στον *Τίμαιο*.

Σύμφωνα με τη θεωρία αυτή, η εξώτατη σφαίρα, στην οποίαν βρίσκονταν οι απλανείς αστέρες, περιστρεφόταν από ανατολές προς δυσμάς γύρω από τον άξονά της, ο οποίος διερχόταν από τους πόλους του Κόσμου. Ήταν δηλαδή κάθετος στο επίπεδο του ουράνιου ισημερινού. Η περίοδος περι-

στροφής της σφαίρας ήταν 24 ώρες και συνεπώς παρίστανε την ημερήσια κίνηση του ουρανού. Την ίδια ακριβώς κίνηση εκτελούσε η πρώτη – εξωτερική – σφαίρα κάθε υποσυνόλου σφαιρών, η οποία περιέγραφε – παρίστανε την ημερήσια κίνηση της Σελήνης, του Ήλιου και κάθε πλανήτη.

Στο υποσύνολο της Σελήνης, η δεύτερη σφαίρα περιστρεφόταν κατ'αντίθετη φορά από την πρώτη, απο δυσμίας προς ανατολάς, γύρω από τον άξονά της ο οποίος ήταν κάθετος στο μέσο επίπεδο του ζωδιακού. Έτσι, ο ισημερινός της δεύτερης σφαίρας ήταν ουσιαστικά η εκλειπτική. Η ομόκεντρη αυτή σφαίρα περιέγραφε την κατά μήκος κίνηση της Σελήνης στον ζωδιακό κύκλο, δηλαδή την μηνιαία κίνησή της χωρίς όμως αυτό να διατυπώνεται με σαφήνεια στα αρχαία κείμενα. Την ίδια ακριβώς λειτουργία εκτελούσε η δεύτερη σφαίρα κάθε υποσυνόλου σφαιρών, δηλαδή για τον Ήλιο και τους 5 πλανήτες, με διαφορετική όμως περίοδο για κάθε περίπτωση.

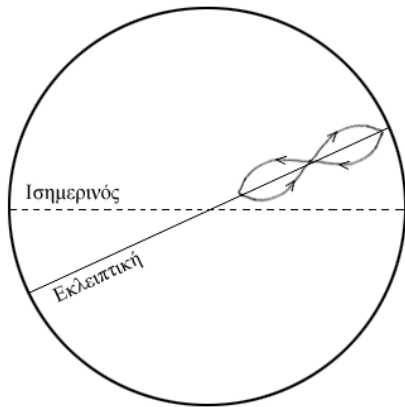
Η τρίτη σφαίρα, στον ισημερινό της οποίας βρισκόταν η Σελήνη, περιστρεφόταν κατά την ίδια φορά με την πρώτη, δηλαδή από ανατολάς προς δυσμίας, με μικρή γωνιακή ταχύτητα, γύρω από τον άξονά της, ο οποίος ήταν κεκλιμένος ως προς τον άξονα του ζωδιακού, δηλαδή τον άξονα της δεύτερης σφαίρας. Η σφαίρα αυτή είχε σκοπό να εξηγήσει την παλινδρομική κίνηση κατά πλάτος (εκατέρωθεν της εκλειπτικής) της Σελήνης. Είναι πιθανό να παρίστανε τις μεταβολές της απόκλισής της. Σύμφωνα με τα προηγούμενα, η σφαίρα αυτή συμμετείχε στις κινήσεις των δύο σφαιρών που την περιέβαλλαν. Δεν είναι γνωστό με βεβαιότητα ποια ακριβώς γωνιακή ταχύτητα υιοθέτησε ο Εύδοξος για τη δεύτερη και την τρίτη σφαίρα καθώς και ποια ήταν η κλίση του άξονα περιστροφής της τρίτης σφαίρας. Επίσης, η κίνηση της τρίτης σφαίρας πιθανώς να περιέγραφε μια από τις ανωμαλίες της Σελήνης, την αναδρομή των συνδέσμων η οποία έχει περίοδο 18,6 ετών. Για τις αβεβαιότητες αυτές έχουν διατυπωθεί αντίθετες απόψεις από νεότερους συγγραφείς.

Για να εξηγήσει τη φαινόμενη κίνηση του Ήλιου ο Εύδοξος θεώρησε ένα ανάλογο μηχανισμό με εκείνο της Σελήνης. Έτσι οι δύο πρώτες σφαίρες εκτελούσαν τις αντίστοιχες λειτουργίες με τις δύο πρώτες σφαίρες της Σελήνης, μόνο που η περιστροφή τώρα της δεύτερης σφαίρας ήταν αρκετά βραδεία, με περίοδο ένα έτος. Η εσωτερική – τρίτη – σφαίρα περιστρεφόταν, όπως και η δεύτερη, από δυσμίας προς ανατολάς γύρω από τον άξονά της, ο οποίος είχε μικρή κλίση ως προς τον άξονα της δεύτερης σφαίρας. Η σφαίρα αυτή περιστρεφόταν βραδύτερα από την δεύτερη και είχε σκοπό να ερμηνεύσει την κατά πλάτος κίνηση – απόκλιση από την εκλειπτική – την οποία νόμιζε ο Εύδοξος ότι είχε ο Ήλιος. Η θεωρία αυτή ήταν εσφαλμένη,

αφού δεν μπορούσε να ερμηνεύσει τις παρατηρούμενες κινήσεις, για παράδειγμα δεν μπορούσε να εξηγήσει τα ηλιοστάσια.

Στην φαινόμενη κίνησή τους οι πλανήτες, εκτός από την κατά πλάτος παρέκλιση τους, παρουσιάζουν στάσεις ή στηριγμούς και οπισθοδρομήσεις. Για να υπερκεράσει ο Εύδοξος τη δυσκολία αυτή υιοθέτησε μία επί πλέον σφαίρα για κάθε πλανήτη. Η δεύτερη σφαίρα, η οποία περιστρεφόταν κατά την ορθή φορά με περίοδο ίση με την αστρική ή ζωδιακή περίοδο του πλανήτη, παρίστανε την κίνησή του επί του επιπέδου της εκλειπτικής. Η τρίτη σφαίρα περιστρεφόταν γύρω από τον άξονά της, ο οποίος είχε τους πόλους του σταθερά προσηλωμένους επί της εκλειπτικής, δηλαδή επί του ισημερινού της δεύτερης σφαίρας. Τα σημεία στα οποία ήταν στερεωμένοι οι δύο πόλοι ήταν διαφορετικά για κάθε πλανήτη, τα ίδια όμως για τον Ερμή και την Αφροδίτη. Η περιστροφή γινόταν από δυσμάς προς ανατολώς σε χρόνο ίσο με την περίοδο της συνοδικής περιστροφής κάθε πλανήτη. Τέλος η τέταρτη σφαίρα, στον ισημερινό της οποίας βρισκόταν ο πλανήτης, περιστρεφόταν με περίοδο ίση με εκείνη της τρίτης σφαίρας, αλλά κατά την αντίθετη φορά. Ο άξονας περιστροφής της παρουσίαζε κλίση με τον άξονα της τρίτης σφαίρας, η οποία όμως ήταν διαφορετική για κάθε πλανήτη. Η σύνθεση των κινήσεων των δύο τελευταίων σφαιρών κάθε πλανήτη ερμήνευε (περιέγραφε) αφενός τις στάσεις (στηριγμούς) και τις οπισθοδρομήσεις και αφετέρου τις κατά πλάτος παρεκλίσεις του πλανήτη. Η συνισταμένη αυτή κίνηση είχε ως αποτέλεσμα ο πλανήτης να εκτελεί ταλάντωση, διαγράφοντας μία καμπύλη σχήματος 8, η οποία βρισκόταν κατά μήκος του ζωδιακού-εκλειπτικής και εδιχοτομείτο απ' αυτήν. Η καμπύλη αυτή ονομάστηκε από τον Εύδοξο **Ιπποπέδη** και είναι γνωστή και ως **λιμνίσκος** (Σχήμα 1).

Σύμφωνα με τη θεωρία του Ευδόξου, η απόσταση κάθε πλανήτη, η φαινόμενη διάμετρος και η λαμπρότητα έπρεπε να παραμένουν σταθερές, εφόσον το ουράνιο σώμα κινείται σε κυκλική τροχιά γύρω από τη Γη. Όμως η φαινόμενη διάμετρος της Σελήνης καθώς και η φαινόμενη λαμπρότητα των πλανητών Άρη, Ερμή και Αφροδίτης μεταβάλλονταν, γεγονός που δηλώνει ότι η απόστασή τους από τη Γη μεταβαλλόταν. Έτσι οι ομόκεντρες σφαίρες του Ευδόξου δεν μπορούσαν να εξηγήσουν τα παρατηρούμενα αυτά φαινόμενα.



**Σχήμα 1:** Η συνισταμένη κίνηση της τρίτης και τέταρτης σφαίρας, η Ιπποπέδη του Ευδόξου του Κνίδιου.

Το πρόβλημα αυτό έγινε γρήγορα αντιληπτό. Ο πρώτος που δοκίμασε να υπερκεράσει τις δυσκολίες αυτές ήταν ο Αυτόλυκος ο Πριηνεύς ή της Πιτάνης, χωρίς όμως να το πετύχει (Dicks σ.306).

### 2.8 Κάλλιππος

Το μοντέλο του Ευδόξου υιοθέτησε και επεξέτεινε ο μαθητής του αστρονόμος Κάλλιππος (370-300π.Χ). Ο Αριστοτέλης στο σύγγραμμά του *Μετά τα Φυσικά* (XI,8, 1073b) αναφέρει συνοπτικά ότι ο Κάλλιππος, για να προσεγγίσει καλύτερα τις φαινόμενες θέσεις των πλανητών, της Σελήνης και του Ήλιου, πρόσθεσε από δύο άναστρες σφαίρες στη Σελήνη και τον Ήλιο και από μία στους πλανήτες Ερμή, Αφροδίτη και Άρη. Για τους πλανήτες Δία και Κρόνο διατήρησε τις σφαίρες του Ευδόξου. Έτσι αύξησε τις σφαίρες του Ευδόξου από 26 (27) σε 33 (34).

### 2.9 Αριστοτέλης

Τις ίδιες αντιλήψεις -θεωρίες- υποστήριξε και ο Αριστοτέλης (384-322 π.Χ.) στο σύγγραμμά του *Περί Ούρανού* (κυρίως I,5,6,7, II,8,9,11,13,14). Αποδεχόταν, μεταξύ των άλλων, ότι το Σύμπαν είναι σφαιρικό, επίσης ότι η Γη είναι σφαιρική και ότι τα ουράνια σώματα κινούνται γύρω της σε ομαλές κυκλικές τροχιές. Αφού αναπτύσσει διάφορα επιχειρήματα, καταλήγει στο συμπέρασμα ότι είναι ανάγκη η Γη να παραμένει ακίνητη στο μέσον του Κόσμου.<sup>10</sup> Μάλιστα ο Αριστοτέλης υιοθέτησε το κοσμολογικό μοντέλο του

<sup>10</sup> Φανερόν τοίνυν ὅτι ἀνάγκη ἐπὶ τοῦ μέσου εἶναι τὴν γῆν καὶ ἀκίνητον, διὰ τὰς εἰρημένας αἰτίας, καὶ διότι τὰ βία ῥιπτούμενα ἄνω βάρη κατὰ στάθμην

Ευδόξου το οποίο όμως τροποποίησε. Υιοθέτησε 56 ομόκεντρες σφαίρες αντί 26, που είχε προτείνει ο Εύδοξος. Στους αριθμούς αυτούς δεν έχει προστεθεί η σφαίρα των απλανών (Μετά Φυσ. XI,8,1073b-1074a).

Υπάρχουν πληροφορίες, όπως αυτή του Σιμπλίκιου (σ.504,505), ότι ο Αριστοτέλης, τα τελευταία χρόνια πριν πεθάνει, αμφέβαλλε για τη θεωρία του Ευδόξου, επειδή δεν ήταν εντελώς ικανοποιημένος απ' αυτήν όσον αφορά την επάρκειά της να σώσει τα φαινόμενα. Όπως μας πληροφορεί ο Θέων ο Σμυρναίος (σ. 189, Teubner) ο Αριστοτέλης είχε προείπει την ιδέα της εκκεντρότητας για τις τροχιές των πλανητών.<sup>11</sup> Η μαρτυρία αυτή του Θέωνα συνάδει με αυτήν του Σιμπλίκιου, επειδή οι έκκεντροι κύκλοι ερμηνεύουν τις μεταβολές των αποστάσεων και της λαμπρότητας των ουράνιων σωμάτων. Όμως η ιδέα των επικύκλων και των έκκεντρων κύκλων δε θα πρέπει να ήταν γνωστή μέχρι την εποχή εκείνη, γιατί θα έπρεπε τότε να είχε συζητηθεί στην Ακαδημία του Πλάτωνα ή τουλάχιστον θα υπήρχε κάποια σχετική αναφορά από τον Πλάτωνα, τον Αριστοτέλη ή κάποιον άλλο μαθητή ή εταίρο του Πλάτωνα. Βέβαια υπάρχει ένα απόσπασμα του Γέμινου του Ρόδιου, στο βιβλίο του *Εισαγωγή στα φαινόμενα* (βιβλ. I, παρ. 19, εδ. 21; Πινότσης 1998, σ.111), από το οποίο μπορεί κάποιος, αν δεν το διαβάσει πολύ προσεκτικά, να νομίσει πως οι Πυθαγόρειοι ήταν οι πρώτοι που εφεύραν τους έκκεντρους κύκλους και τους επικύκλους, αλλά κάτι τέτοιο δεν φαίνεται να ισχύει (Πινότσης 1998).

### 2.10 Ηρακλείδης ο Ποντικός

Ένας σύγχρονος του Αριστοτέλη και εταίρος της Ακαδημίας ήταν ο μαθητής του Πλάτωνα και διάσημος φιλόσοφος Ηρακλείδης ο Ποντικός ή Πόντιος (388-315 π.Χ.), ο οποίος διακρινόταν για την ευρύτητα του πνεύματός του. Ονομαζόταν και παραδοξολόγος (Διογ. Λαέρ., 8,72) για τις παράξενες αλλά και καινοφανείς ιδέες του κι έτσι η παρουσία του ήταν αρκετή για να αναπτυχθεί ο αντίλογος στην Ακαδημία τον Πλάτωνα. Η παραδοξολογία του οφειλόταν κατά ένα ποσοστό στις δύο μεγάλες πνευματικές επιδράσεις που δέχθηκε, αφενός από τους Πυθαγόρειους και αφετέρου από τον Πλάτωνα (Πινότσης 1998, σ.112). Αν και είχε γράψει πάρα πολλά συγγράμματα σε διάφορα θέματα, κανένα από αυτά δεν διασώθηκε, παρά μόνο αποσπά-

---

πάλιν φέρεται εις ταὐτὸ... Ὅτι μὲν οὖν οὔτε κινεῖται οὔτ' ἐκτὸς κεῖται τοῦ μέσου, φανερὸν ἐκ τούτων... (XIV, 296b, 22).

<sup>11</sup> Τὰ πλανητὰ τῇ ἐκείνων ἀπλῆ μὲν, διὰ δὲ τοὺς τύπους ἀνισοταχεῖ φορᾶ κατὰ συμβεβηκὸς φαίνεται ποικίλως ἤδη κινεῖσθαι καὶ γράφειν τινὰς κύκλους ἐκκέντρους.

σματα ορισμένων έργων του.

Αντικρούοντας τη θεωρία του Ευδόξου, καθώς και τις αντιλήψεις του Πλάτωνα και του Αριστοτέλη, διατύπωσε μία εν μέρει Ηλιοκεντρική θεωρία. Μαρτυρίες για το σύστημά του βρίσκουμε στο νεοπλατωνικό φιλόσοφο Χαλκίδιο, ο οποίος μετάφρασε στα Λατινικά τον Τίμαιο του Πλάτωνα, στον Vitruvius, στον Martianus Capella και στον Κικέρωνα. Σύμφωνα με την ευφυή και πρωτότυπη θεωρία του (Heath Arist., σ.255-260), ο Ερμής και η Αφροδίτη -οι εσωτερικοί πλανήτες- οι οποίοι φαίνονταν άλλοτε να προηγούνται και άλλοτε να έπονται του Ήλιου, περιστρέφονται σε κυκλικές τροχιές γύρω από τον Ήλιο, ο οποίος βρίσκεται στο κέντρο τους, με σταθερές αλλά διαφορετικές γωνιακές ταχύτητες (τους επικύκλους). Ταυτόχρονα ο Ήλιος διαγράφει την περιφέρεια ενός κύκλου με κέντρο τη Γη (φέρων κύκλος), σε χρονικό διάστημα ενός έτους και κατά την ορθή φορά (σχήμα 3). Εξήγησε έτσι πρώτος τις φαινόμενες κινήσεις των δύο πλανητών. Συνεπώς μπορούμε να πούμε ότι ουσιαστικά ο Ηρακλείδης ήταν ο εφευρέτης του συστήματος των επικύκλων. Επίσης ο Πτολεμαίος, όπως εξηγήσαμε στην παράγραφο 3.2, επηρεάστηκε από τη θεωρία αυτή του Ηρακλείδη.

Ακόμη υιοθέτησε την άποψη ότι η ημερήσια περιστροφή της ουράνιας σφαίρας από ανατολάς προς δυσμάς γύρω από τη Γη οφείλεται στην περιστροφή της Γης γύρω από τον άξονά της, από δυσμάς προς ανατολάς, που είναι ο άξονας του Κόσμου, δηλαδή κάτι ανάλογο μ' αυτό που είχαν διατυπώσει οι Πυθαγόρειοι Έκφαντος και Ικέτας. Ο Πλούταρχος, όπως προαναφέραμε, αναφέρει σχετικά:<sup>12</sup> «Οι μεν άλλοι (φιλόσοφοι) θεωρούν ότι η Γη είναι ακίνητη (στο κέντρο του Κόσμου). Ο Φιλόλαος όμως ο Πυθαγόρειος... Ο Ηρακλείδης ο Ποντικός και ο Έκφαντος ο Πυθαγόρειος θεωρούν ότι η Γη κινείται, όχι όμως σε τροχιά μεταβατικώς (μεταφορικώς), αλλά ότι περιστρέφεται γύρω από τον άξονά της, από δυσμάς προς ανατολάς, όπως ένας τροχός γύρω από τον άξονά του». Ανάλογες μαρτυρίες συναντούμε στον Πρόκλο και σε μερικές περικοπές του Σιμπλίκιου:<sup>13</sup> «για το ότι υπάρχουν μερικοί, μεταξύ των οποίων ο Ηρακλείδης ο Ποντικός και ο Αρίσταρχος, οι

<sup>12</sup> (Περί Αρεσ. Φιλ., Γ,13).. οί μεν άλλοι μένειν τήν Γήν. Φιλόλαος δέ ο Πυθαγόρειος τήν Γήν... Ηρακλείδης ο Ποντικός και Έκφαντος ο Πυθαγόρειος κινούσι μεν τήν Γήν, οὐ μὴν γε μεταβατικῶς, ἀλλὰ τρεπτικῶς, τροχοῦ δίκη ἐνηξονισμένην, ἀπὸ δυσμῶν ἐπ' ἀνατολάς περὶ τὸ ἴδιον αὐτῆς κέντρον.

<sup>13</sup> (Βιβ. 13, κεφ. 13,14). Διὰ τὸ γεγονέναι τινὰς, ὧν Ἡρακλείδης ὁ Ποντικός ἦν καὶ Ἀρίσταρχος, νομίζεσθαι σώζεσθαι τὰ φαινόμενα τοῦ μεν οὐρανοῦ καὶ τῶν ἄστρον ἡρεμούντων τῆς δὲ γῆς περὶ τοὺς τοῦ ἰσημερινοῦ πόλους ἀπὸ δυσμῶν κινουμένης ἐκάστης ἡμέρας ἐπικίνησιν..

οποίοι πιστεύουν ότι σώζουν τα φαινόμενα αν θεωρήσουν τον ουρανό και τα άστρα ακίνητα, και ότι η Γη περιστρέφεται γύρω από τους πόλους του ισημερινού, από δυσμάς προς ανατολάς, μία περιστροφή κάθε ημέρα».

### 2.11 Αρίσταρχος ο Σάμιος

Ο μεγάλος αστρονόμος και μαθηματικός Αρίσταρχος ο Σάμιος (310-230 π.Χ), πνεύμα ανήσυχο και σπινθηροβόλο, προχώρησε ακόμη περισσότερο και διατύπωσε ένα διαφορετικό κοσμολογικό μοντέλο, την Ηλιοκεντρική θεωρία. Στο σύστημα αυτό απορριπτόταν η ιδέα της ακινησίας της Γης, αφού ο Ήλιος είναι αυτός που παρέμενε ακίνητος στο κέντρο του Κόσμου. Γύρω απ'αυτόν κινούνταν σε κυκλικές τροχιές οι πλανήτες και η Γη, η οποία συγχρόνως περιστρεφόταν γύρω από τον άξονά της. Έτσι, η φαινόμενη κίνηση κάθε πλανήτη ήταν συνδυασμός της κίνησης της Γης και της δικής του γύρω από τον Ήλιο. Ακόμη, οι απλανείς αστέρες ήταν ακίνητοι.

Από το σύγγραμμα του Αρχιμήδη (287-212 π.Χ) πληροφορούμαστε ότι:<sup>14</sup> «Ο Αρίσταρχος ο Σάμιος δημοσίευσε μερικές θεωρίες (γραφές), εκ των οποίων συνάγει ότι ο Κόσμος είναι πολύ μεγαλύτερος από ό,τι έχει λεχθεί ότι είναι. Υποθέτει ότι οι μεν απλανείς αστέρες και ο Ήλιος μένουν ακίνητοι, η δε Γη περιφέρεται κατά περιφέρειαν κύκλου γύρω από τον Ήλιο, ο οποίος βρίσκεται στο κέντρο της τροχιάς της Γης, η δε σφαίρα των απλανών αστερών, η οποία έχει το ίδιο κέντρο με τον Ήλιο, είναι τόσο μεγάλη, ώστε ο κύκλος τον οποίο διαγράφει η Γη κατά την περιφορά της (εννοεί την ακτίνα του κύκλου) να έχει τέτοια αναλογία ως προς την απόσταση των απλανών, όσην έχει το κέντρο της σφαίρας προς την επιφάνειά της». Από την πιο πάνω αναλογία προκύπτει ότι ο Αρίσταρχος είχε συλλάβει την έννοια του μεγέθους του σφαιρικού Σύμπαντος. Θεώρησε το χώρο που καταλαμβάνει η τροχιά της Γης και κατ' επέκταση το πλανητικό σύστημα ως σημείο σε σχέση με το χώρο-διαστάσεις του Σύμπαντος, δηλαδή αυτό που σήμερα υιοθετούμε.

<sup>14</sup> *Ψαμμίτης* (I, 4-6, Heiberg, Lipsiae 1913) . Αρίσταρχος δὲ ὁ Σάμιος ὑποθεσίῳν τινῶν ἐξέδωκεν γραφὰς ἐν αἷς ἐκ τῶν ὑποκειμένων συμβαίνει τὸν κόσμον πολλαπλάσιον εἶμεν τοῦ νῦν εἰρημένου: ὑποτίθεται γὰρ τὰ μὲν ἀπλανέα τῶν ἄστρον καὶ τὸν ἄλιον μένειν ἀκίνητον, τὰν δὲ γὰν περιφέρεσθαι περὶ τὸν ἄλιον κατὰ κύκλου περιφέρειαν, ὅς ἐστιν ἐν μέσῳ τῷ δρόμῳ κείμενος, τὰν δὲ τῶν ἀπλανέων ἄστρον σφαῖραν περὶ τὸ αὐτὸ κέντρον τῷ ἀλίῳ κείμεναν τῷ μεγέθει τηλικαύταν εἶμεν, ὥστε τὸν κύκλον, καθ' ὃν τὰν γὰν ὑποτίθεται περιφέρεσθαι, τοιαύτην ἔχειν ἀναλογίαν ποτὶ τὰν τῶν ἀπλανέων ἀποστασίαν, οὕτω ἔχει τὸ κέντρον τῆς σφαίρας ποτὶ τὰν ἐπιφάνειαν.



Ο Πλούταρχος γράφει:<sup>15</sup> «Ο Αρίσταρχος διατύπωσε τη θεωρία ότι, ο Ήλιος και οι απλανείς μένουν ακίνητοι, η δε Γη κινείται γύρω από τον Ήλιο και ότι κατά τη διάρκεια των εγκλίσεων της γίνεται έκλειψη του ηλιακού δίσκου». Επίσης, σε άλλο σύγγραμμά του (Πλατ. Ζητήμ. Η,1), που αναφέρουμε στην επόμενη παράγραφο, αναφέρεται στη θεωρία του Αρίσταρχου. Ακόμη, αναφορές στη θεωρία του Αρίσταρχου συναντούμε στα έργα των Αέτιου, Vitruvius, Σέξτου του Εμπειρικού και του Κικέρωνα.

Ο ιστορικός των μαθηματικών Loria (Πινότσης 1998) γράφει: «Έπειτα απ' αυτόν (εννοεί το Φιλόλαο τον Πυθαγόρειο), το κίνημα προς την κατεύθυνση ταύτην ετονώθη κατά τρόπο εντυπωσιακόν, ώστε κατά την εποχήν του Πλάτωνος οι Έλληνες είχαν προχωρήσει τόσον πολύ, ώστε πολύ ολίγος δρόμος υπελείπετο εις αυτούς δια να γίνουν κύριοι της γενικής εννοίας της Ηλιοκεντρικής κινήσεως των πλανητών. Και είναι προς δόξα τους ότι κατόρθωσαν, έπειτα από πολύ σύντομο χρονικό διάστημα, να διανύσουν και το τελευταίο τούτο στάδιο της οδού. Η μεγάλη τιμή για το αξιοσημείωτον τούτο επίτευγμα επεφυλασσόταν σ' ένα μαθηματικό, σύγχρονο του Αρχιμήδη, τον Αρίσταρχο τον Σάμιον, τον Κοπέρνικο της αρχαιότητας».

Επίσης ο Loria (Πινότσης 1998) γράφει σε άλλο σημείο: «Το σύστημα (του Αρίσταρχου) που ωνομάσθη αργότερα Κοπερνίκειον, εγκατελείφθη, δια τούτο, πολύ γρήγορα, δια να γίνη δεκτόν το σύστημα των έκκεντρων κύκλων και επικύκλων, προίον, ως εικάζεται, της φαντασίας του εκ Πέργης Απολλώνιου. Το τελευταίον παρουσιάζετο προσφορώτερον εις την αναπαράστασιν των ουρανίων φαινομένων καί εις την κατάστρωσιν των σχετικών υπολογισμών, εσέβετο δε απολύτως την θεμελιώδη αρχήν όλων των αστρονομικών συστημάτων που επροτάθησαν από του Πυθαγόρου μέχρι του Κοπέρνικου, δηλαδή να μη θίγεται δι' αυτών παντάπασι το κάλλος και η απλότης της δημιουργίας».

Η θεωρία αυτή του Αρίσταρχου άλλαζε το σύνολο της ανθρώπινης σκέψης της εποχής εκείνης και άνοιγε νέους ορίζοντες στην επιστήμη, αλλά όμως δεν καρποφόρησε αμέσως. Οι επαναστατικές ιδέες του Φιλόλαου, του Ηρακλείδη και του Αρίσταρχου έμειναν στην αφάνεια μέχρι την εποχή του Κοπέρνικου. Στην επικράτηση της Ηλιοκεντρικής θεωρίας συνέβαλαν αφενός η ανακάλυψη και χρησιμοποίηση του τηλεσκοπίου από τον Γαλιλαίο το 1610 και ιδιαίτερα η ανακάλυψη της αποπλάνησης του φωτός και οι παραλλάξεις, και αφετέρου η ανακάλυψη το 1686 του νόμου της παγκόσμιας έλ-

<sup>15</sup> (Περί. Αρεσ. Φιλ., Β, ΚΔ). Αρίσταρχος τὸν ἥλιον ἴσθησι μετὰ τῶν ἀπλανῶν, τὴν δὲ γῆν κινεῖ περὶ τὸν ἡλιακὸν κύκλον καὶ κατὰ τὰς ταύτης ἐγκλίσεις σκιαζέσθαι τὸν δίσκον.

ξης του Νεύτωνα, ο οποίος απέδειξε τους τρεις εμπειρικούς νόμους του Kepler.

### 2.12 Σέλευκος

Μετά τον Αρίσταρχο το Σάμιο, ο Σέλευκος (2ος π.Χ. αιώνας), σύγχρονος του Ιπάρχου, αστρονόμος, μαθηματικός και γεωγράφος, ήταν αυτός που υποστήριξε με θέρμη τις θεωρίες του Αρίσταρχου. Ο Πλούταρχος αναφέρει:<sup>16</sup> «Αλλά να φαντάζεται (τη Γη) ότι περιστρέφεται και προχωρεί όπως αργότερα έδειξαν (πρέσβευαν) ο Αρίσταρχος και ο Σέλευκος». Το ίδιο προκύπτει κι από τα γραπτά του Σέξτου του Εμπειρικού. Αλλά και σε άλλο σύγγραμμα ο Πλούταρχος αναφέρει ότι ο Σέλευκος ακολουθεί τις θεωρίες του Αρίσταρχου:<sup>17</sup> «Ο Σέλευκος ο μαθηματικός, κινών και αυτός τη Γη, υποστηρίζει ότι εξαιτίας της περιστροφής και της κινήσεώς της εμποδίζει την περιστροφή της Σελήνης».

Έτσι, μέχρι την εποχή του Ιπάρχου (190-120π.Χ.) είχαν αναπτυχθεί και διατυπωθεί δύο συστήματα (θεωρίες). Το Γεωκεντρικό και το Ηλιοκεντρικό. Οι δύο αυτές θεωρίες ήταν εκ διαμέτρου αντίθετες, αφού αναδύονταν από δύο διαφορετικές και αντίθετες αντιλήψεις για τον τότε γνωστό Κόσμο.

### 3. Η Θεωρία των Επικύκλων και των Έκκεντρων Κύκλων

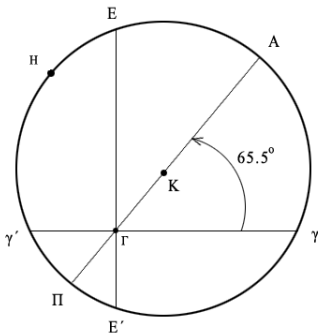
Οι ιδέες -θεωρίες- των επικύκλων και των έκκεντρων κύκλων φαίνεται ότι παρουσιάστηκαν το πρώτο κατά την εποχή του Εύδοξου του Κνίδιου και μάλιστα μετά τη διατύπωση της θεωρίας του (των ομόκεντρων σφαιρών) και εξελίχτηκαν (γενικεύτηκαν) κατά τον 3ο και 2ο π.Χ. αιώνα.

1) Σύμφωνα με τη θεωρία των έκκεντρων κύκλων, ένα ουράνιο σώμα, Η, κινείται (κατά την ορθή φορά) με σταθερή γωνιακή ταχύτητα (ομαλή κυκλική κίνηση) στην περιφέρεια ενός κύκλου με κέντρο Κ και ακτίνα  $R = KA$ , ενώ η Γη, ο παρατηρητής Γ, τοποθετείται (βρίσκεται) σε απόσταση  $KΓ = eR$  από το κέντρο του κύκλου. Το  $e$  είναι η εκκεντρότητα του έκκεντρου κύκλου, ο οποίος εξηγεί τη φαινόμενη τροχιά του σώματος. Έτσι ο παρατηρητής βλέπει το ουράνιο σώμα να κινείται αφενός σε διαφορετική απόσταση απ' αυτόν, πράγμα που εξηγεί τις μεταβολές της λαμπρότητάς του, και αφετέρου με διαφορετική γωνιακή ταχύτητα σε κάθε σημείο του έκκε-

<sup>16</sup> (Πλατ. Ζητήμ. Η,1).. αλλά [τὴν γῆν] στρεφομένην καὶ ἀνειλουμένην νοεῖν ὡς ὕστερον Ἀρίσταρχος καὶ Σέλευκος ἀπεδείκνυσαν...

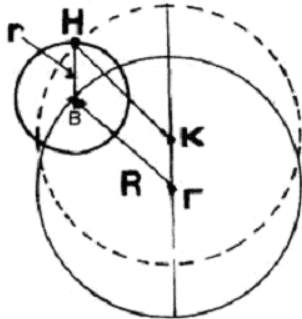
<sup>17</sup> (Περὶ Ἀρεσ. Φιλ., Γ, ΙΖ). Σέλευκος ὁ μαθηματικὸς, κινῶν καὶ οὗτος τὴν γῆν, ἀντικόπτειν αὐτῆς τῆ δίνῃ φησὶ καὶ τῆ κινήσει τὴν περιστροφὴν τῆς σελήνης.

ντρου. Ειδικότερα, βλέπει το σώμα να έχει μικρότερη γωνιακή ταχύτητα γύρω από το Απόγειο, Α, και μεγαλύτερη στην περιοχή του Περιγείου, Π (Σχήμα 2). Ουσιαστικά η κίνηση αυτή είναι ισοδύναμη σε πρώτη προσέγγιση με την κίνηση ενός ουράνιου σώματος σε ελλειπτική τροχιά, της οποίας τη μία εστία κατέχει η Γη. Η εκκεντρότητα της κίνησης είναι, από τη θεωρία της έλλειψης,  $e = ΚΓ/ΚΑ$ .



**Σχήμα 2:** Η έκκεντρη κίνηση την οποία διαγράφει ένα ουράνιο σώμα Η. Η Γη τοποθετείται στο σημείο Γ, ενώ η απόστασή της από το κέντρο του κύκλου, Κ, διαιρεμένη με την ακτίνα ΚΑ ισούται με την εκκεντρότητα της έκκεντρης κινήσεως,  $e = ΚΓ/ΚΑ$ . Στην περίπτωση που το Η είναι ο Ήλιος, τα σημεία Ε, Ε' παριστάνουν το θερινό και χειμερινό ηλιοστάσιο, ενώ τα σημεία γ, γ' το εαρινό και φθινοπωρινό ισημερινό σημείο, αντίστοιχα. Α είναι το Απόγειο και Π το Περιγείο της έκκεντρης κινήσεως.

II) Η κίνηση στο σύστημα των επικύκλων είναι επίσης μια κίνηση ανάλογου είδους με την προηγούμενη και μάλιστα αποτελεί μια καλύτερη τεχνική. Γενικά, στην περίπτωση αυτή, ένα ουράνιο σώμα, Η, κινείται με σταθερή γωνιακή ταχύτητα  $\omega_2$  στην περιφέρεια ενός κύκλου ακτίνας  $r$ , του επικύκλου, είτε κατά την ορθή είτε κατά την ανάδρομη φορά. Το κέντρο του επικύκλου, Β, κινείται, κατά σύμβαση, κατά την ορθή φορά, επίσης με σταθερή γωνιακή ταχύτητα  $\omega_1$  (συνήθως διαφορετική από την  $\omega_2$ ) στην περιφέρεια ενός μεγαλύτερου κύκλου ακτίνας  $R$ , του φέροντος κύκλου, ο οποίος έχει ως κέντρο του τη Γη, Γ. Το επίπεδο του επικύκλου είναι δυνατό να σχηματίζει μια γωνία με το επίπεδο του φέροντος κύκλου. Η σύνθετη αυτή κίνηση, σύνθεση δύο απλών αρμονικών ταλαντώσεων (Πινότσης 2002, παρ.7.2), ονομάζεται επικυκλική κίνηση. Αυτή είναι δυνατόν να είναι ισοδύναμη με την κίνηση σ' έναν έκκεντρο κύκλο. Γενικά, εφόσον οι δύο γωνιακές συχνότητες συνδυάζονται κατάλληλα (ο λόγος τους πρέπει να είναι ρητός αριθμός) τότε η σύνθετη κίνηση είναι μία έλλειψη (ή μία ελικοειδής καμπύλη κ.λπ.). Η εκκεντρότητα τότε της φαινόμενης τροχιάς του σώματος δίδεται από το λόγο των ακτίνων των δύο κύκλων,  $e = r/R$  (σχήμα 3).



**Σχήμα 3:** Η επικυκλική κίνηση που διαγράφει ένα ουράνιο σώμα, H. Το H διαγράφει τον επίκυκλο με κέντρο το B, το οποίο κινείται στο φέροντα κύκλο ακτίνας  $R = \Gamma B$ . Αν H είναι ο Ήλιος τότε η επικυκλική κίνηση είναι ισοδύναμη με τον έκκεντρο κύκλο (στικτός κύκλος) με κέντρο το K και ακτίνα KH. Η απόσταση της Γης, Γ, από το κέντρο K ισούται με την ακτίνα του επίκυκλου, r (BH). Έτσι η εκκεντρότητα της φαινόμενης τροχιάς του H είναι  $e = K\Gamma/R = r/R$ .

Δεν γνωρίζουμε όμως με βεβαιότητα ποιος είναι ο εφευρέτης του συστήματος των επικύκλων και των έκκεντρων κύκλων και ιδιαίτερα της σύνθετης θεωρίας των πλανητών. Ορισμένοι ιστορικοί προσπάθησαν να προσδιορίσουν τον εφευρέτη ή τους εφευρέτες της θεωρίας αυτής, όπως ο Ιταλός αστρονόμος Schiaparelli, ο Heath, ο P. Tannery, οι οποίοι μελέτησαν τα αντίστοιχα εδάφια των συγγραμμάτων πολλών αρχαίων συγγραφέων. Έτσι, έχουν διατυπωθεί διάφορες απόψεις από νεότερους συγγραφείς, οι οποίες σε κάποιο βαθμό συγκλίνουν. Σύμφωνα μ' αυτές (Πινότσης 1998, σ.113) φαίνεται ότι ο πρώτος που εφάρμοσε τους επικύκλους ήταν ο Ηρακλείδης, όπως αναφέραμε στην παράγραφο 2.10, ενώ τους έκκεντρους κύκλους ο μεγάλος γεωμέτρης Απολλώνιος ο Περγαίος (265 π.Χ.-190 π.Χ.).

Ο Απολλώνιος μελέτησε τη θεωρία των έκκεντρων κύκλων και απέδειξε ότι ισχύει μόνο για τους τρεις ανώτερους πλανήτες Άρη, Δία και Κρόνο, εφόσον ερμήνευε σε κάποιο βαθμό τις φαινόμενες κινήσεις τους, ενώ στους κατώτερους πλανήτες δεν εφαρμόζόταν. Επίσης μελέτησε τις περιπτώσεις ισοδυναμίας μεταξύ των επικύκλων και των έκκεντρων κύκλων. Φαίνεται λοιπόν ότι ο Απολλώνιος ήταν ο πρώτος που εισήγαγε τους έκκεντρους κύκλους. Αυτό συνάδει και με το γεγονός ότι ο Απολλώνιος είναι ο πατέρας των κωνικών τομών (έγραψε σχετική πραγματεία) αφού, όπως προαναφέραμε, η κίνηση σε έκκεντρο κύκλο είναι σε πρώτη προσέγγιση κίνηση σε μία έλλειψη, όπου τη μία από τις εστίες της κατέχει η Γη και με εκκεντρότητα  $e = K\Gamma/KA$  (Σχήμα 2).

Τα γεωμετρικά μοντέλα των επικύκλων και των έκκεντρων κύκλων έφεραν μία καινοτομία στο Γεωκεντρικό σύστημα και άνοιξαν νέους δρόμους για τη μαθηματική ερμηνεία του. Εφευρέθησαν και επεκράτησαν επειδή εδიაτηρείτο η βαθιά ριζωμένη πεποίθηση ότι η Γη είναι ακίνητη στο μέσον του Κόσμου και ότι οι τροχιές των ουράνιων σωμάτων ήταν ομαλές κυκλικές κινήσεις. Προσέφεραν έτσι την πρώτη ικανοποιητική εξήγηση των

φαινόμενων τροχιών των πλανητών πριν από την διατύπωση της θεωρίας του Αρίσταρχου του Σάμιου. Αυτός θα πρέπει να ήταν και ο λόγος που ο Απολλώνιος εισήγαγε τους έκκεντρους κύκλους και τους εφάρμοσε μαζί με τους επικύκλους στους πλανήτες, αντί να θεωρήσει ότι τα ουράνια σώματα διαγράφουν ελλειπτικές τροχιές.

Από ορισμένους αρχαίους συγγραφείς και σύγχρονους ιστορικούς αρμόδιαστε την πληροφορία ότι η ιδέα-θεωρία του Ηρακλείδη εφαρμόστηκε και στους τρεις ανώτερους πλανήτες κι έτσι στην Αρχαιότητα αναπτύχθηκε ένα σύστημα, παρόμοιο με εκείνο που έγινε γνωστό τον 15<sup>ο</sup> αιώνα ως σύστημα του Tycho Brahe. Σύμφωνα με αυτό οι πέντε πλανήτες κινούνται σε επικύκλους ή έκκεντρους κύκλους γύρω από τον Ήλιο, ο οποίος ταυτόχρονα κινείται γύρω από τη Γη. Ο εφευρέτης του συστήματος αυτού δεν είναι με βεβαιότητα γνωστός. Είναι όμως πολύ πιθανό η πατρότητα του συστήματος αυτού να ανήκει στον Απολλώνιο, χωρίς βέβαια να αποκλείεται και η περίπτωση να ανήκει σε κάποιον άλλο σύγχρονο ή προγενέστερό του, που έζησε στο διάστημα μεταξύ του Ηρακλείδη και του Απολλωνίου (Πινότσης 1998). Πάντως το πρόβλημα αυτό είναι ακόμη υπό συζήτηση. Η ανάπτυξη του ευφύεστατου αυτού συστήματος παρ'ότι διατηρούσε την ακινησία της Γης στο μέσον του Κόσμου και τις ομαλές κυκλικές κινήσεις, εντούτοις ήταν ένα ακόμη βήμα προς την εξέλιξη των κοσμολογικών ιδεών και γεωμετρικών μοντέλων.

### **3.1 Η υιοθέτηση του Γεωκεντρικού συστήματος από τον Ίππαρχο το Ρόδιο**

Κατά τον επόμενο αιώνα ο Ίππαρχος, για λόγους που αναλύσαμε σε προγενέστερη εργασία μας (Πινότσης 1993,1998), υιοθέτησε τη Γεωκεντρική θεωρία και απέρριψε την Ηλιοκεντρική. Μάλιστα, για να εξηγήσει με μαθηματικά μοντέλα το Γεωκεντρικό σύστημα, χρησιμοποίησε για τους πλανήτες και κυρίως για τον Ήλιο και τη Σελήνη, στην αρχή τη θεωρία του έκκεντρου κύκλου και μετά τη θεωρία των επικύκλων, την οποία μάλιστα διεκδικούσε ως δική του (Θέων Σμυρ. Lipsiae σ.188; Martin σ.300; Πινότσης 1998). Για τη θεωρία των επικύκλων ο Ίππαρχος έλεγε ότι ήταν προτιμότερη από εκείνη των έκκεντρων κύκλων, επειδή τα ουράνια σώματα κινούνται συμμετρικά ως προς το κέντρο του Κόσμου, τη Γη. Ο Ίππαρχος, για να ερμηνεύσει τη φαινόμενη τροχιά του Ήλιου, χρησιμοποίησε τις παρατηρήσεις που είχε στη διάθεσή του. Γνώριζε ότι οι τέσσερις εποχές του έτους ήταν άνισες, δηλαδή τα τόξα Εγ, γΕ', Ε'γ' Εγ' ήταν άνισα (σχήμα 2). Η ανισότητα αυτή τον οδήγησε να διατυπώσει δύο θεωρίες για την κίνηση του Ήλιου:

1) Στη διάρκεια ενός τροπικού έτους ο Ήλιος,  $H$ , διαγράφει, με σταθερή γωνιακή ταχύτητα, έναν κύκλο γύρω από τη  $\Gamma\eta$  με ακτίνα  $R = KA$  και με κέντρο  $K$ , το οποίο βρίσκεται σε απόσταση  $K\Gamma = eR$  από τον παρατηρητή  $\Gamma$  (από τη  $\Gamma\eta$ ), όπου  $e$  είναι η εκκεντρότητα της τροχιάς (σχήμα 2).

2) Στο χρονικό διάστημα του τροπικού έτους ο Ήλιος,  $H$ , κινείται σ' έναν επίκυκλο με ακτίνα  $r = eR$  από ανατολάς προς δυσμάς. Το κέντρο  $B$  του επίκυκλου διαγράφει κατά την αυτήν περίοδο με τον επίκυκλο, αλλά κατά την αντίθετη φορά, έναν άλλο κύκλο, τον φέροντα κύκλο, με ακτίνα  $R$  και κέντρο  $\Gamma$  τη  $\Gamma\eta$  (σχήμα 3).

Απέδειξε ότι οι δύο αυτές θεωρίες είναι ισοδύναμες, δηλαδή η κίνηση σ' έναν επίκυκλο είναι ταυτόσημη με την κίνηση κατά μήκος ενός έκκεντρου κύκλου. Κάθε μία από τις δύο αυτές θεωρίες μπορούσε να ερμηνεύσει (προσδιορίσει) αρκετά καλά τη φαινόμενη κίνηση του Ήλιου και μάλιστα με ένα σφάλμα της τάξεως του ενός λεπτού του τόξου περίπου (Dreyer 1953, σ.163). Το σφάλμα αυτό ήταν τόσο μικρό, ώστε ήταν αποδεκτό για 1700 χρόνια. Βέβαια, όπως έχουμε προαναφέρει, ο Απολλώνιος φέρεται ως ο πρώτος που επιχειρήσει να αποδείξει την ισοδυναμία των δύο κινήσεων για ορισμένους πλανήτες. Όπως αναφέρει ο Πτολεμαίος (Μαθ. Σύν. Γ, 4; Πινότης 1998), ο Ίππαρχος είχε τη σωστή ιδέα να επιλέξει την πρώτη υπόθεση, ότι δηλαδή η τροχιά του Ήλιου ήταν έκκεντρος κύκλος. Για να ερμηνεύσει τις διαφορές στα μήκη των εποχών του έτους τοποθέτησε το κέντρο του έκκεντρου κύκλου προς τη διεύθυνση του τόξου μεταξύ της εαρινής ισημερίας,  $\gamma$ , και του θερινού ηλιοστασίου,  $E$ , δηλαδή προς τη διεύθυνση του Απογείου,  $A$ , και επέλεξε τις κατάλληλες τιμές για την εκκεντρότητα,  $e$ , και το μήκος του Απογείου (Crowe 1990, σ.41). Ο Ίππαρχος μίλησε πρώτος για το Απόγειο και το Περίγειο,  $\Pi$ , της τροχιάς του Ήλιου και βρήκε ότι η εκκεντρότητα της τροχιάς του είναι  $e = 1/24 = 0.0416$ , μια τιμή αρκετά καλή, αφού η σημερινή τιμή είναι  $e = 0.0167$  περίπου. Επίσης βρήκε ότι το μήκος του Απογείου, δηλαδή το τόξο από την εαρινή ισημερία μέχρι το  $A$ , είναι  $A = 65^\circ 30'$ , επίσης μια τιμή αρκετά καλή. Έτσι εξήγησε την ανισότητα των τεσσάρων εποχών του έτους, αφού ο Ήλιος εκινείται με διαφορετική γωνιακή ταχύτητα κατά μήκος του έκκεντρου κύκλου (πιο αργά κοντά στο Απόγειο και πιο γρήγορα στην περιοχή του Περιγείου). Επίσης απέδειξε ότι η τροχιά του Ήλιου συνέπιπτε με την Εκλειπτική, ενώ προγενέστεροί του αστρονόμοι θεωρούσαν ότι ήταν κεκλιμένη ως προς αυτήν. Επομένως, σε πρώτη προσέγγιση η θεωρία του Ίπάρχου ισοδυναμούσε με τους δύο πρώτους νόμους του Kepler.

Όσον αφορά την τροχιά της Σελήνης, ο Ίππαρχος γνώριζε ότι η κίνησή της είναι πιο πολύπλοκη απ' αυτήν του Ήλιου και περιέχει πολλές ανωμα-

λίες.

Στην αρχή θεώρησε ότι η φαινόμενη τροχιά της Σελήνης μπορούσε να παρασταθεί από έναν έκκεντρο κύκλο. Έτσι υπολόγισε την πρώτη ανωμαλία της σεληνιακής τροχιάς (η οποία είναι σε πρώτη προσέγγιση έλλειψη), την εκκεντρότητα και τη βρήκε ίση με  $e = 0.0875$ . Η τιμή αυτή είναι πάρα πολύ καλή, αφού η σημερινή τιμή είναι  $e = 0.055$ .

Ο Ίππαρχος (Πτολεμαίος Μαθ. Συντ. Ε', 7; Πινότσης 1998) παρατήρησε ότι η σεληνιακή τροχιά φαίνεται ως ένας μέγιστος κύκλος στην ουράνια σφαίρα και ότι βρίσκεται ολόκληρη μέσα στη ζώνη των ζωδίων. Μάλιστα υπολόγισε ότι η κλίση της τροχιάς της Σελήνης ως προς την Εκλειπτική είναι  $5^\circ$  και επομένως η μεγαλύτερη απόκλιση της είναι  $23^\circ 51' + 5^\circ = 28^\circ 51' = 28^\circ,85$  περίπου. Την εποχή του Ιπάρχου η λόξωση της Εκλειπτικής δεν ήταν  $23^\circ 27'$ , που είναι σήμερα, αλλά είχε υπολογισθεί από τον Ερατοσθένη σε  $23^\circ 51'$  περίπου αντί της πραγματικής τιμής που ήταν τότε  $23^\circ 43'$  (Pinot-sis υπό δημοσ). Επίσης, γνώριζε ότι η γραμμή των ασπίδων μετατοπιζόταν κατά την ορθή φορά και εκτελούσε μία πλήρη περιστροφή σε διάστημα 9 ετών περίπου. Σήμερα γνωρίζουμε ότι η περιστροφή της γραμμής των ασπίδων επί του επιπέδου της σεληνιακής τροχιάς και με περίοδο 8,85 έτη, όπως και οι άλλες ανωμαλίες που παρουσιάζει η κίνηση της Σελήνης, οφείλονται στις παρελκτικές δυνάμεις που ασκούνται σ' αυτήν. Αντελήφθη, λοιπόν, ότι η θεωρία του έκκεντρο κύκλου ήταν ανεπαρκής για να εξηγήσει τις παρατηρήσεις του, δηλαδή να εξηγήσει τις άλλες ανωμαλίες της σεληνιακής τροχιάς, και γι' αυτό οδηγήθηκε στη σκέψη να εφαρμόσει τη θεωρία του επικύκλου. Έτσι, χρησιμοποιώντας τους επικύκλους προσδιόρισε τη δεύτερη ανωμαλία της τροχιάς της Σελήνης, η οποία οφείλεται στην παλινδρομική κίνηση της γραμμής των ασπίδων γύρω από την εκάστοτε μέση θέση της, ένεκα της οποίας η Σελήνη μετατοπίζεται εκατέρωθεν της μέσης θέσεως της μέχρι  $1^\circ,25$  πλάτος και με περίοδο ίση με τον χρόνο μεταξύ δύο διαβάσεων του Ήλιου από τη γραμμή των ασπίδων της σεληνιακής τροχιάς. Η ανωμαλία (κίνηση) αυτή οφείλεται στην αλλαγή της εκκεντρότητας της τροχιάς της, η οποία παίρνει τη μεγαλύτερη τιμή της όταν ο Ήλιος διέρχεται από τη γραμμή των ασπίδων της σεληνιακής τροχιάς και την ελάχιστη όταν είναι κάθετος σ' αυτή.

Ο Ίππαρχος, λοιπόν, υιοθέτησε ότι η Σελήνη περιστρέφεται κατά την ανάδρομη φορά σ' έναν επίκυκλο, το κέντρο του οποίου κινείται κατά την ορθή φορά γύρω από τη Γη, δηλαδή στο φέροντα κύκλο, ο οποίος συμπίπτει με την Εκλειπτική. Έτσι, ο επίκυκλος σχηματίζει γωνία  $5^\circ$  με το επίπεδο του φέροντος κύκλου κι επομένως ο επίκυκλος τέμνεται με την Εκλειπτική κατά γωνία  $5^\circ$ , έτσι ώστε οι σύνδεσμοι (δεσμοί) να μετακινούνται κατά την

ανάδρομη φορά και να εκτελούν μία πλήρη περιστροφή γύρω από τον άξονα της Εκλειπτικής σε διάστημα  $18 \frac{2}{3} = 18,6$  έτη. Η ανωμαλία αυτή είναι η «αναδρομή των συνδέσμων». Ο Ίππαρχος υπολόγισε το μήκος της ακτίνας  $r$  του σεληνιακού επικύκλου, καθώς και τη θέση του Απογείου. Χρησιμοποίησε για τις ακτίνες του φέροντος κύκλου και του επικύκλου τις τιμές  $R = 60$  και  $r = 5 \frac{1}{4}$  αντίστοιχα, οπότε  $e = 5 \frac{1}{4} : 60 = 0.0875$ . Οι γωνιακές ταχύτητες του φέροντος κύκλου,  $\omega_1 = 13^\circ 10' 35''$  ανά ημέρα, και του επικύκλου,  $\omega_2 = 13^\circ 3' 54''$  ανά ημέρα, δεν συνέπιπταν εντελώς λόγω της κινήσεως κατά την ορθή φορά της γραμμής των αψίδων σε 9 έτη περίπου. Έτσι η διαφορά αυτή των γωνιακών ταχυτήτων δικαιολογεί το Δρακόντειο ή Συνδεσμικό μήνα.

Βέβαια, με τα απλά και πενιχρά όργανα που είχε στη διάθεσή του δεν ήταν δυνατό να προσδιορίσει και ερμηνεύσει όλες τις ανωμαλίες της κινήσεως του δορυφόρου μας, οι οποίες εξηγήθηκαν μόνο μετά την ανακάλυψη του τηλεσκοπίου και του νόμου της βαρύτητας του Νεύτωνα. Παρ' όλα αυτά, οι εκτιμήσεις του και τα στοιχεία που έδωσε για τη Σελήνη, καθώς και η θεωρία που διατύπωσε για να ερμηνεύσει μερικές από τις ανωμαλίες της τροχιάς της, είναι αξιοθαύμαστα.

Όσον αφορά τη μελέτη της κινήσεως των 5 γνωστών πλανητών ο Ίππαρχος υπέθεσε ότι ο κάθε πλανήτης εκινείτο στην περιφέρεια ενός μικρού κύκλου, του επικύκλου, το κέντρο του οποίου περιφερόταν κατά μήκος της περιφέρειας άλλου, μεγαλύτερου κύκλου, γύρω από τη Γη. Έτσι ο Ίππαρχος έθεσε τις πρώτες βάσεις της θεωρίας των πλανητών. Δεν είχε όμως στη διάθεσή του επαρκείς και ακριβείς παρατηρήσεις, οι οποίες θα τον βοηθούσαν να μορφώσει μια πλανητική θεωρία. Τις ιδέες του αυτές ανέλαβε να τις διαμορφώσει και να τις τελειοποιήσει ο σπουδαίος Έλληνας αστρονόμος Κλαύδιος Πτολεμαίος.

### 3.2 Κλαύδιος Πτολεμαίος

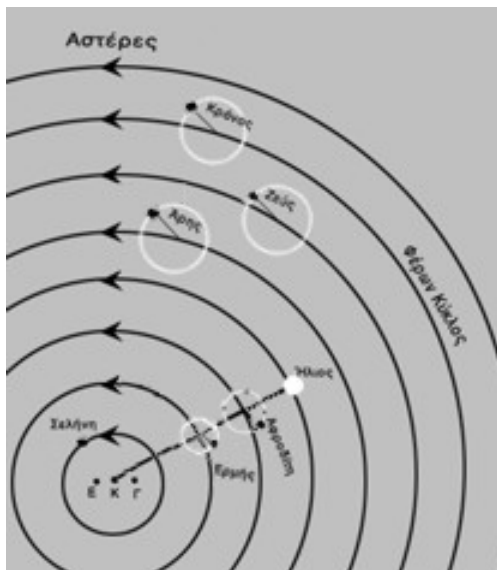
Ο Κλαύδιος Πτολεμαίος (ακμή 140 μ.Χ.) υιοθέτησε το Γεωκεντρικό σύστημα. Στο πλαίσιο αυτό, βασιζόμενος στις ιδέες και τις θεωρίες των Ηρακλείδη, Απολλώνιου και κυρίως του Ιπάρχου, δηλαδή στις θεωρίες των επικύκλων και των έκκεντρων κύκλων, διατύπωσε το Κοσμολογικό μοντέλο του. Ο Πτολεμαίος, για να παρακάμψει τις διάφορες ατέλειες της Γεωκεντρικής θεωρίας, στηρίχτηκε στο μαθηματικό μοντέλο του Ίππαρχου, το οποίο τροποποίησε και επεξέτεινε στις κινήσεις των πλανητών. Το σύστημα αυτό ονομάστηκε *Πτολεμαϊκό Σύστημα*. Όλες τις λεπτομέρειες του συστήματός του ο Πτολεμαίος τις αναφέρει στο περιώνυμο σύγγραμμά του *Μεγάλη Μαθηματική Σύνταξη* ή *Μεγίστη (Αλμαγέστη)*, το οποίο αποτελείται από



13 τόμους. Το σύγγραμμα αυτό συνετέλεσε ώστε να μεταλαμπαδευτούν όλες οι γνώσεις των αρχαίων Ελλήνων αστρονόμων στους Άραβες και τη Δύση.

Όπως τα προγενέστερα μαθηματικά κοσμολογικά μοντέλα, έτσι και το Πτολεμαϊκό σύστημα στηριζόταν στη σύνθεση ομαλών κυκλικών κινήσεων –ταλαντώσεων, οι οποίες προέκυπταν από τον συνδυασμό των επικύκλων και των έκκεντρων κύκλων. Το σύστημα αυτό ερμήνευε αλλά και προέλεγε τις φαινόμενες θέσεις της Σελήνης, του Ήλιου και των πλανητών.

Σύμφωνα μ'αυτό, κάθε πλανήτης περιστρεφόταν γύρω από τη Γη εκτελώντας ταυτόχρονα δύο ομαλές κυκλικές κινήσεις. Εκινείτο, δηλαδή, σ'έναν κύκλο, τον επίκυκλο, το κέντρο του οποίου εκινείτο στην περιφέρεια ενός μεγαλύτερου κύκλου, του φέροντος κύκλου, από δυσμάς προς ανατολάς. Κάθε πλανήτης είχε τον δικό του φέροντα κύκλο, το κέντρο, Κ, του οποίου δεν συνέπιπτε με τη Γη, αλλά ήταν έξω απ'αυτήν. Συνεπώς, κάθε φέρον κύκλος ήταν ένας έκκεντρος κύκλος. Οι έκκεντροι κύκλοι αύξαναν το μέγεθός τους (την ακτίνα τους) από την Σελήνη προς τους Ερμή, Αφροδίτη, Ήλιο, Άρη, Δία και Κρόνο (σχήμα 4). Επίσης, ο Πτολεμαίος θεώρησε ότι η σταθερή γωνιακή ταχύτητα με την οποία εκινείτο ο επίκυκλος κάθε πλανήτη επί της περιφέρειας του φέροντος κύκλου έπρεπε να μετράται όχι από το κέντρο του φέροντος κύκλου ούτε από τη Γη, αλλά από ένα τρίτο σημείο, Ε (equant point). Το σημείο αυτό, ετοποθετείτο στο αντιδιαμετρικό σημείο από τη Γη, ούτως ώστε το κέντρο του φέροντος κύκλου να βρίσκεται στο μέσον της απόστασης ΓΕ. Οι ανάδρομες, λοιπόν, κινήσεις των Άρη, Δία και Κρόνου εξηγούνταν εύκολα και με αρκετή ακρίβεια.



**Σχήμα 4:** Το κοσμολογικό μοντέλο του Κλαύδιου Πτολεμαίου.

Όσον αφορά τους εσωτερικούς πλανήτες, Ερμή και Αφροδίτη, αυτοί ουδέποτε απομακρύνονται από τον Ήλιο πέραν από  $25^\circ$  περίπου για τον Ερμή και  $48^\circ$  περίπου για την Αφροδίτη. Γι' αυτό το λόγο ο Πτολεμαίος θεώρησε ότι τα κέντρα των επικύκλων των δύο πλανητών, που έχουν διαφορετικές ακτίνες, βρίσκονται πάντοτε επί της ίδιας ευθείας που ενώνει τη Γη με τον Ήλιο καθώς τα κέντρα των επικύκλων τους κινούνται γύρω από τον αντίστοιχο φέροντα κύκλο. Η συνισταμένη κίνηση που εκτελούν τότε οι δύο πλανήτες είναι ισοδύναμη με εκείνη της θεωρίας του Ηρακλείδη για τον Ερμή και την Αφροδίτη. Αυτό συνάγεται από το γεγονός ότι: α) τα κέντρα των επικύκλων των δύο πλανητών προβάλλονται πάντοτε στο κέντρο του Ήλιου και β) καθώς οι δύο πλανήτες περιστρέφονται στους επικύκλους τους, με γωνιακές ταχύτητες που μπορούσαν να διευθετούνται έτσι ώστε να περιγράφονται όσον το δυνατό καλύτερα οι φαινόμενες θέσεις τους, οι τροχιές τους προβάλλονται στην ουράνια σφαίρα με αποτέλεσμα ο κάθε πλανήτης να φαίνεται άλλοτε στη μία πλευρά και άλλοτε στην άλλη του ηλιακού δίσκου. Εικάζουμε, λοιπόν, ότι ο Πτολεμαίος εμπνεύστηκε το σύστημα αυτό από τη θεωρία του Ηρακλείδη του Ποντικού.

Η Σελήνη και ο Ήλιος εκινούνται γύρω από τη Γη στην περιφέρεια του δικού τους έκκεντρου κύκλου, από δυσμάς προς ανατολάς με περίοδο ένα μήνα για την Σελήνη και ένα έτος για τον Ήλιο. Ο Πτολεμαίος θεώρησε ότι η Σελήνη και ο Ήλιος δεν χρειάζονταν επικύκλους, σε αντίθεση με τις ιδέες του Ιπάρχου, επειδή η κίνησή τους γίνεται πάντοτε κατά την ορθή φορά. Ταυτόχρονα όμως συμμετείχαν στην ημερήσια κίνησή τους.

Για τις κινήσεις των απλανών αστέρων ο Πτολεμαίος υιοθέτησε ότι οι αστέρες βρίσκονται προσηλωμένοι σε μία σφαίρα η οποία περιέβαλλε τους φέροντας κύκλους όλων των πλανητών. Η περιστροφή της σφαίρας αυτής γύρω από τη Γη σε 24 ώρες προκαλούσε τις ανατολές και τις δύσεις των αστέρων.

Χρησιμοποιώντας ο Πτολεμαίος τις παρατηρήσεις που είχαν συλλεγεί μέχρι των ημερών του μπορούσε να βελτιώνει συνεχώς το σύστημά του ώστε οι προρρήσεις του να συμφωνούν με τις μελλοντικές φαινόμενες θέσεις των πλανητών. Οι ακτίνες των δύο κύκλων, του φέροντος και του επίκυκλου, καθώς και ο προσανατολισμός, αλλά και οι γωνιακές ταχύτητες περιστροφής του πλανήτη στον επίκυκλο και του κέντρου του επίκυκλου στον φέροντα κύκλο μπορούσαν να τροποποιούνται και να συνδυάζονται κατάλληλα ώστε η συνισταμένη κίνηση του πλανήτη να ταιριάζει αρκετά καλά με τις φαινόμενες θέσεις του. Έτσι, το Πτολεμαϊκό σύστημα ήταν ικανό να προλέγει τις μελλοντικές θέσεις των πλανητών. Συνεπώς, το σύστημα του Πτολεμαίου ήταν ένα αρκετά ευέλικτο σύστημα και γι' αυτό επεκράτησε ως

το μόνο πλανητικό σύστημα για 1400 χρόνια μετά από τον Πτολεμαίο, μέχρις ότου ο Κοπέρνικος, μελετώντας τους αρχαίους Έλληνες και Λατίνους συγγραφείς, επανέφερε από την αφάνεια και θεμελίωσε το Ηλιοκεντρικό σύστημα του Αρίσταρχου – το Αριστάρχειο Κοσμολογικό μοντέλο. Η πρώτη απόδειξη του Ηλιοκεντρικού συστήματος έγινε από τον Γαλιλαίο το 1610, με την ανακάλυψη του τηλεσκοπίου του. Στη συνέχεια ο Κέπλερ, έχοντας στη διάθεσή του πάρα πολλές παρατηρήσεις, ανακάλυψε και διατύπωσε μαθηματικά τους τρεις νόμους της κίνησης των πλανητών γύρω από τον Ήλιο. Τέλος ο Νεύτων, μετά τη διατύπωση του νόμου της παγκόσμιας έλξης το 1686, απέδειξε θεωρητικά τους τρεις νόμους του Κέπλερ.

### Επίλογος

Από τη μελέτη των κειμένων αρχαίων Ελλήνων και Λατίνων συγγραφέων φαίνεται ότι η Ηλιοκεντρική θεωρία του Αρίσταρχου του Σάμιου ήταν μία ρηξικέλευθη θεωρία, η οποία άνοιγε νέους ορίζοντες όχι μόνο στην αστρονομία αλλά γενικά στην ανθρώπινη σκέψη. Αυτή υπήρξε προϊόν μιας μακρόχρονης πνευματικής διεργασίας κατά τη διάρκεια της οποίας επήλθε η ζύμωση και η άνθηση ιδεών. Η πολυσχιδής πνευματική δραστηριότητα των αρχαίων Ελλήνων, μέσα σ' ένα δημοκρατικό περιβάλλον, με ελεύθερη σκέψη και άρθρωση λόγου, είχε σαν αποτέλεσμα να παρουσιαστούν οι πρόδρομοι του Αρίσταρχου του Σάμιου.

Ήταν όμως η αυθεντία και το επιστημονικό κύρος των Πλάτωνα, Αριστοτέλη, Ιππάρχου καθώς και του Πτολεμαίου που συνέβαλαν μαζί με άλλους παράγοντες (Πινότσης 1993,1998) ώστε να επικρατήσει το Πτολεμαϊκό Γεωκεντρικό σύστημα μέχρι την εποχή του Κοπέρνικου. Ο τελευταίος, μελετώντας με εμβρίθεια τους αρχαίους Έλληνες και Λατίνους συγγραφείς, πληροφορήθηκε τις ιδέες των Πυθαγορείων, του Ηρακλείδη του Ποντικού και κυρίως την Ηλιοκεντρική θεωρία του Αρίσταρχου του Σάμιου, την οποία ανέσυρε από την αφάνεια στο φως της δημοσιότητας.

### Abstract

In this work we study the development of cosmological ideas and mathematical models developed in ancient Greece. After making a review of the prehistoric years, we focus on the period between 6<sup>th</sup> century B.C. and 2<sup>nd</sup> century A.D. and examine the two diametrically opposite cosmological theories, of the geocentric and heliocentric system, which were then developed. Furthermore, we analyze the models of epicycles and eccentric circles, used by great philosophers, mathematicians and astronomers of Antiquity such as Herakleides, Apollonius, Hipparchus and Ptolemy, while at-

tempting to explain the celestial phenomena. From the study of ancient texts we explain why the heliocentric theory of Aristarchus of Samos was not only a revolutionary theory, but also a product of the long-lasting intellectual activity of his predecessors.

The eminent intellects of Plato, Aristotle, Hipparchos as well as Ptolemy along with other factors (Pinotsis 1993, 1998) resulted in the theory of geocentric system becoming the dominant cosmological model until the era of Copernicus. The latter, after studying ancient Greek writers, learned about the ideas of the Pythagorean School, Herakleides of Pontus and the heliocentric theory of Aristarchus of Samos and brought it to public light.

### **Βιβλιογραφία**

Αντωνιάδη, Ε.: Ηλιοκεντρικό Σύστημα & Κοπέρνικος, Μεγ. Ελλ. Εγκ., Αθήνα 1926.

Αριστοτέλη: Περί Ουρανού, μετάφ. Π. Παναγιώτου εκ. Ν. Σύνορα, Αθήνα 1989..

Αριστοτέλη: Μετά τα Φυσικά, εκδ. Κάκτος.

Crowe, M.: Theories of the World from Antiquity to the Copernican Revolution, Dover Public., INC 1990.

Dicks, D.R.: Early Greek Astronomy to Aristotle, Thames and Hudson ed., London, 1970.

Διογένης Λαέρτιου: Βίοι φιλοσόφων, Par Paul Moreaux, Paris 1965

Dreyer, J.L.E.: A History of Astronomy from Thales to Kepler, 2nd ed. Dover publ, Inc. 1953.

Heath, T.L.: Aristarchus of Samos, Oxford, 1913, Dover Publicat., INC, 1981.

Θέωνος Σμυρναίου,: Πλατωνικοί Φιλόσοφοι, Edu Hiller, Teubneri Lipsiae, 1878.

Κωτσάκη, Δ.: Οι πρωτοπόροι της επιστήμης και η γένεσις του κόσμου, Αθήναι 1976.

Κωτσάκη, Δ.: Το Φυσικό Κοσμοείδωλο της Κλασικής Ελλάδος, Αθήναι 1984.

Πινότση, Α.: Αστρονομία II- Κοσμολογία, Αθήνα 1989..

Πινότση, Α.: Γιατί υιοθέτησε ο Ίππαρχος ο Ρόδιος το Γεωκεντρικό σύστημα, Δ. Χρον., ΙΕ, Ρόδος, 1993,1998.

Πινότση, Α.: Η συμβολή του Ποσειδώνιου του Ρόδιο στην Αστρονομία και τη Μηχανική, Δ. Χρον., ΙΖ, Ρόδος, 1993,2000.

Πινότση, Α.: Μαθηματική Εισαγωγή στη Θεωρητική Μηχανική, εκδ. Αθ. Σταμούλη, Αθήνα 2000,2002

Pinotsis, A.D.: Rhodian Astronomers of the 4<sup>th</sup> and 3<sup>rd</sup> Century B.C., in 4<sup>th</sup> Astron. Confer., Samos 1999, Proceed., ed. J. Seimenis, Rhodes 2001.

Pinotsi, A.D.: The evolution of the methods for the measurement of the Earth's size and the significance and errors of Eratosthenes' method, υπό δημ.

Πλάτων: Τίμαιος., εκδ. Κάκτος.

Πλουτάρχου: Πλατωνικά Ζητήματα, εκδ. Κάκτος.

Πλουτάρχου: Περί Αρεσκόντων Φιλοσόφοις Φυσι. Δογμάτων, εκ. Κάκτος.

Sarton, G.: A History of Science, vol. 2, New York 1970.

Σιμπλίκιου: Σχόλια εις το περί Ουρανού του Αριστοτέλους, Heiberg, Leipzig 1887.

Σταμάτη, Ε.: Το Ηλιοκεντρικό Σύστημα των Αρχαίων Ελλήνων, πρακ. Ακαδ. Αθηνών, Αθήνα 1971.

Σταμάτη, Ε.: Αριστάρχου του Σαμίου, Περί Μεγεθών και Αποστημάτων Ηλίου και Σελήνης, Αθήνα 1980.

Χασάπη, Κ.: Τα Ορφικά, Η Ελλην Αστρονομία την Β' χιλιετηρίδος π.Χ., εκδ. Ήλιου, Αθήνα 1967.