

Author: Μάρως Κ.Παπαθανασίου

Title: Αρίσταρχος ο Σάμιος

Abstract: Στοιχεία απο το έργο του Αρίσταρχου του Σάμιου και την καθαρά μαθηματική-γεωμετρική μέθοδο που χρησιμοποιούσε

Creator: HDML

ΑΡΙΣΤΑΡΧΟΣ Ο ΣΑΜΙΟΣ

Μάρως Κ. Παπαθανασίου
Διδάκτορας Μαθηματικών

Επίς μεγαλύτερες φυσιογνωμίες της αρχαίας ελληνικής έπιστήμης συγκαταλέγεται και ο αστρονόμος 'Αρίσταρχος ο Σάμιος που διατύπωσε καθαρά την ηλιοκεντρική ιδέα για το σύστημα του κόσμου.

Η αρχαία παράδοση δεν διασώζει τις χρονολογίες γεννήσεως και θανάτου του 'Αριστάρχου. Τις προσδιορίζουμε όμως προσεγγιστικά με βάση τα ακόλουθα δεδομένα:

1) 'Ο 'Αέτιος, αστρονόμος και φιλόσοφος του Α' ή Β' αιώνα π.Χ. γράφει " 'Αρίσταρχος ο Σάμιος μαθηματικός ακουστής (= μαθητής) Στράτωνος" (του Λαμψακηνοῦ) [7, 313 b 16-17], για τον οποίο Στράτων γνωρίζει ότι ανέλαβε τη διεύθυνση της Περιπατητικής σχολής περί το 280 π.Χ. και τη διατήρησε επί 18 χρόνια. 'Επομένως ο 'Αρίσταρχος μαθήτευσε κοντά του στο διάστημα 288-270 π.Χ.

2) 'Ο Πτολεμαῖος αναφέρει "τὴν ὑπὸ 'Αριστάρχου τετηρημένην θερινὴν τροπὴν, τῷ $\bar{\nu}$ ἔτει λήγοντι τῆς πρώτης κατὰ Κάλιππον περιόδου [Μαθηματ. Συντ. III 2, (16, τομ. I, σ.162 και 163)]. Πρόκειται για τὴν παρατήρηση του θερινου ἡλιοστασιου του ἔτους 280 π.Χ. ἀπὸ τὸν 'Αρίσταρχο.

3) 'Ο 'Αρχιμήδης αναφέρεται στὸν 'Αρίσταρχο και τὴν ηλιοκεντρική ιδέα του για τὸ σύστημα του κόσμου στὸ ἔργο του

"Ψαμμίτης", τό ὁποῖο ἔγραψε πρὶν τό 216 π.Χ.

Μέ αὐτά τά στοιχεῖα ὡς δεδομένα οἱ περισσότεροι ἐρευνητές ἀποδέχονται ὅτι τά ὄρια ζωῆς τοῦ Ἀριστάρχου κυμαίνονται στό διάστημα 310-230 π.Χ.

Σχετικά μέ τήν προσωπικότητα τοῦ Ἀριστάρχου καί τίς ἐφευρέσεις του κάνει λόγο ὁ ρωμαῖος ἀρχιτέκτων τοῦ Α' π.Χ. αἱ. Vitruvius στό ἔργο του "Περὶ ἀρχιτεκτονικῆς". Συγκεκριμένα γράφει ὅτι ὑπάρχουν ἄτομα προικισμένα ἀπό τή φύση μέ τόση ἐπινοητικότητα, ὀξύνοια καί μνήμη, ὥστε νά κατέχουν τή γεωμετρία, τήν ἀστρονομία, τή μουσική καί τίς ἄλλες ἐπιστῆμες· αὐτοί θεωροῦνται μαθηματικοί. Τέτοια πρόσωπα ἐμφανίζονται σπάνια, ὅπως ἦσαν ὁ Ἀρίσταρχος ὁ Σάμιος, οἱ Ταραντῖνοι Φιλόλαος καί Ἀρχύτας, ὁ Ἀπολλώνιος ὁ Περγαῖος, ὁ Ἐρατοσθένης ὁ Κυρηναῖος, οἱ Συρακόσιοι Ἀρχιμήδης καί Σκοπίνας, οἱ ὁποῖοι κληροδότησαν στούς μεταγενεστέρους πολλά ὄργανα μηχανικά καί γνωμονικά, γιά τήν ἐφεύρεση καί ἐρμηνεῖα τῶν ὁποίων χρησιμοποίησαν φυσικούς νόμους καί μαθηματικά¹.

Ἡ γνωμονική ἐφεύρεση τοῦ Ἀριστάρχου ἦταν ἡ "σκιάση" (βελτιωμένη μορφή τοῦ ἡλιακοῦ ὠρολογίου)· ἐφεῦρε ἐπίσης τόν "δίσκο" ἐπί ἐπιπέδου ἐπιφανείας². Ἡ βελτίωση τοῦ ἡλιακοῦ ὠρολογίου ἔγκειται στή χρησιμοποίηση ἑνός κοίλου ἡμισφαιρίου σάν βάση μέ ἕνα ὀβελίσκο στηριγμένο κάθετα στό μέσον του. Στήν ἐπιφάνεια τοῦ ἡμισφαιρίου ὑπῆρχαν κατάλληλα χαραγμένες γραμμές, ὥστε ἀπό τή σκιά τοῦ ὀβελίσκου πού ἔπεφτε ἐπάνω τους νά ὑπολογίζονται ἀμέσως ἡ στιγμή τῆς ἀληθοῦς μεσημβρίας, τό γεωγραφικό πλάτος τοῦ τόπου, ἡ λόξωση τῆς ἐκλειπτικῆς, ἡ ἀπόκλιση τοῦ ἡλίου γιά κάθε ἡμέρα, οἱ ἡμέρες τῶν ἰσημεριῶν καί τῶν ἡλιοστασιῶν.

Ἀπό τόν Ἀέτιο πάλι γνωρίζουμε ὀρισμένες ἀπόψεις τοῦ Ἀριστάρχου σχετικά μέ τήν ὀπτική. Συγκεκριμένα λέει ὅτι "φῶς εἶναι τό χρῶμα τοῖς ὑποκειμένοις ἐπιπίπτον", ὅτι "τά ἐν τῷ σκοτῷ χρῶματα χροάν οὐκ ἔχειν" καί γιά τήν ὄραση γενικά ὅτι εἶναι "σχήματα συνδιατυποῦντά πως αὐτοῖς τόν ἀέρα" [7·313 b 16 & 12, 401 b1].

Α. ΠΕΡΙ ΜΕΓΕΘΩΝ ΚΑΙ ΑΠΟΣΤΗΜΑΤΩΝ ΗΛΙΟΥ ΚΑΙ ΣΕΛΗΝΗΣ

α' Γενικά, εκδόσεις

Τό πόσο δεινός μαθηματικός ήταν ὁ Ἀρίσταρχος ἀποδεικνύεται ἀπό τό μόνο σωζόμενο ἔργο του "Περί μεγεθῶν καί ἀποστημάτων ἡλίου καί σελήνης" (τοῦ 250 π.Χ. περίπου), ὅπου χρησιμοποιεῖ καθαρά γεωμετρικές μεθόδους γιά τόν ὑπολογισμό τους.

Ὁ λόγος γιά τόν ὁποῖο σώθηκε αὐτό τό ἔργο εἶναι ὅτι ἀποτελοῦσε μία ἀπό τίς πραγματείες πού συνεκτιθέμενες περιέχονταν στό βιβλίον "Μικρός ἀστρονομούμενος", βοηθητικό γιά τή μελέτη καί κατανόηση τῆς Μαθηματικῆς Συντάξεως τοῦ Πτολεμαίου. Ὅπως φαίνεται ἀπό τίς παραπομπές τοῦ Πάππου τοῦ Ἀλεξανδρέως [Συναγωγή, βιβλ. VI (ἐκδ. Hultsch, σ.474,554)], ὁ Μικρός ἀστρονομούμενος περιλάμβανε τά ἀκόλουθα ἔργα: 1) Αὐτολύκου "Περί κινουμένης σφαίρας", 2) Εὐκλείδου "Ὀπτικά", "Φαινόμενα", 3) Θεοδοσίου "Σφαιρικά", "Περί ἡμερῶν καί νυκτῶν", 4) Ἀριστάρχου "Περί μεγεθῶν καί ἀποστημάτων ἡλίου καί σελήνης". Σύμφωνα μέ ἄλλες ἐνδείξεις πού ἐπισήμαναν οἱ Heiberg καί Вјѡгнѡ³, περιλάμβανε ἀκόμη τά ἑξῆς: 5) Αὐτολύκου "Περί ἐπιτολῶν καί δύσεων τῶν ἀστέρων", 6) Θεοδοσίου "Περί οἰκήσεων", 7) Ὑψικλέους "Ἀναφορικός" καί 8) Μενελάου "Σφαιρικά" [20, 317-20]. Ἀντίθετα ὁ Neugebauer θεωρεῖ ὅτι οὐδέποτε ὑπῆρξε ὁ "Μικρός ἀστρονομούμενος" [26, 769].

Χειρόγραφα τοῦ ἔργου τοῦ Ἀριστάρχου "Περί μεγεθῶν καί ἀποστημάτων ἡλίου καί σελήνης" ὑπάρχουν τόσο στήν ἑλληνική, ὅσο καί στήν ἀραβική, βρίσκονται δέ στίς βιβλιοθηκῆς Βατικανοῦ, Βενετίας, Μιλάνου, Βιέννης καί Παρισίων. Τό ἀρχαιότερο εἶναι ὁ Codex Vaticanus Graecus n. 204 τοῦ 10ου αἰ. (Χειρόγρ. 1: Ἡ σελίδα 110^v).

Οἱ πρῶτες ἐκδόσεις τοῦ ἔργου ἔγιναν στά 1488, 1498 καί 1503 στή Βενετία ἀπό τόν Γεώργιο Βάλλα καί τό 1572 στό Pisa (Ἰταλία) ἀπό τόν Commandinus. Καί στίς τέσσερις περιπτώσεις πρόκειται γιά τή λατινική μετάφραση τοῦ κειμένου.

Ἡ πρώτη ἔκδοση τοῦ ἑλληνικοῦ κειμένου ἔγινε στήν Ὁξφόρδη τό 1688 ἀπό τόν Johannes Wallis, ἡ δεύτερη τό 1810 στό

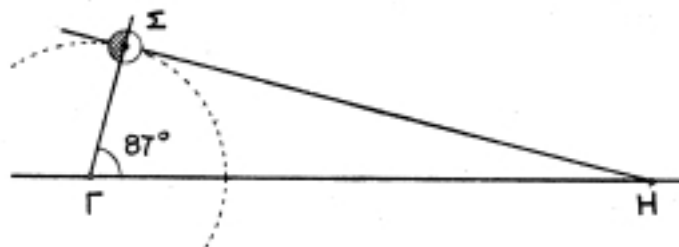
Παρίσι από τον Fortia d' Urban και η τρίτη τό 1856 από τον E. Nizze. Η νεώτερη ξένη έκδοση, με βάση την αρχική του Wallis, περιλαμβάνεται στο βιβλίο του Th. Heath "Aristarchus of Samos, the ancient Copernicus" (Oxford 1913, 1959, 1966), όπου υπάρχει και η αγγλική μετάφραση. Στην Ελλάδα τό κείμενο έξεδόθη για πρώτη φορά τό 1980 από τον διακεκριμένο ιστορικό των έπιστημών E. Σταμάτη (με βάση την τελευταία έκδοση του βιβλίου του Heath), συνοδευόμενο από νεοελληνική μετάφραση πού έκανε ο ίδιος.

β' Υποθέσεις και θεωρήματα

Στήν αρχή του έργου του ο Άρίσταρχος θέτει 6 υποθέσεις ως αξιώματα και κατόπιν αποδεικνύει 18 θεωρήματα.

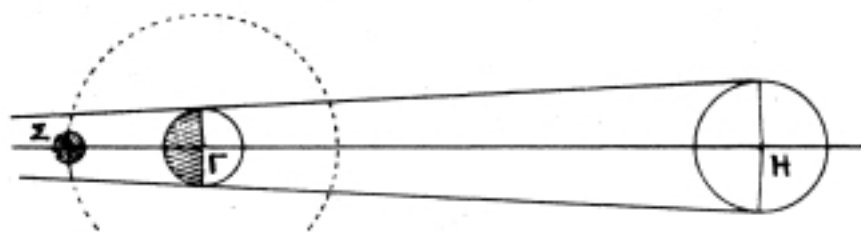
Οι 6 υποθέσεις είναι οι ακόλουθες:

- Y1) Τήν σελήνην παρά του ήλιου τό φως λαμβάνειν.
 Y2) Τήν γήν σημείου τε και κέντρου λόγον έχειν πρός τήν τής σελήνης σφαίραν.
 Y3) "Όταν η σελήνη διχοτόμος ήμίν φαίνεται (= όταν φωτίζεται κατά τό ήμισυ), νεύειν είς τήν ήμετέραν όψιν τόν διορίζοντα τό τε σκιερόν και τό λαμπρόν τής σελήνης μέγιστον κύκλον (= κύκλος φωτισμού).
 Y4) "Όταν η σελήνη διχοτόμος ήμίν φαίνεται, τότε αύτήν απέχειν του ήλιου έλασσον τεταρτημορίου τφ του τεταρτημορίου τριακοστφ (δηλαδή $90^\circ - \frac{90^\circ}{30} = 87^\circ$) (Σχ. 1).



Σχ. 1. (Υπόθεση 4)

- Y5) Τό τής σκιάς πλάτος σεληνών είναι δύο (Σχ. 2).



Σχ. 2 (Υπόθεση 5)

Υ6) Τήν σελήνην ὑποτείνειν ὑπό πεντεκαιδέκατον μέρος ζφδί-
ου (δηλαδή ἡ φαινομένη διάμετρος τῆς σελήνης ἰσοῦται μέ
 $\frac{30^{\circ}}{15} = 2^{\circ}$).

Ἄπό τά 18 θεωρήματα πού ἀκολουθοῦν, τά 6 πρῶτα ἀναφέ-
ρονται στόν κύκλο φωτισμοῦ τῆς σελήνης, πού χωρίζει τό φω-
τισμένο ἀπό τό σκιερό μέρος τῆς, καί σέ ἐλεύθερη ἀπόδοση εἶ-
ναι τά ἑξῆς:

- θ1) Δύο ἴσες σφαῖρες περιλαμβάνει ὁ αὐτός κύλινδρος, ἀνισες
δέ ὁ αὐτός κῶνος πού ἔχει τήν κορυφή πρὸς τή μικρότερη
σφαῖρα καί ἡ εὐθεῖα πού διέρχεται ἀπό τά κέντρα τους
εἶναι κάθετος ἐπί καθένα ἀπό τοὺς κύκλους κατὰ τοὺς ὀ-
ποίους ἐφάπτεται ἡ ἐπιφάνεια τοῦ κυλίνδρου ἢ τοῦ κῶνου
πρὸς τίς σφαῖρες.
- θ2) Ἐάν σφαῖρα φωτίζεται ἀπό μεγαλύτερη σφαῖρα, θά φωτισθῇ
μέρος τῆς μεγαλύτερο ἀπό ἡμισφαίριο.
- θ3) Ὁ κύκλος φωτισμοῦ τῆς σελήνης εἶναι ἐλάχιστος, ὅταν ὁ
κῶνος πού περιλαμβάνει τόν ἥλιο καί τή σελήνη ἔχη κορυ-
φή τό μάτι μας.
- θ4) Ὁ κύκλος φωτισμοῦ τῆς σελήνης δέν ἔχει αἰσθητή διαφορά
ἀπό τόν μέγιστο κύκλο τῆς σελήνης.
- θ5) Ὅταν ὁ κύκλος φωτισμοῦ διχοτομῇ τή σελήνη, τότε ὁ μέ-
γιστος κύκλος ὁ παράλληλος πρὸς τόν κύκλο φωτισμοῦ δι-
έρχεται ἀπό τό μάτι μας (δηλ. ὁ παράλληλος μέγιστος κύ-

κλος καί τό μάτι μας βρίσκονται στό ίδιο επίπεδο).

- θ6) Ἡ σελήνη κινεῖται κάτωθεν τοῦ ἡλίου καί όταν εἶναι φωτισμένη κατά τό ἡμισυ ἀπέχει ἀπό τόν ἥλιο λιγώτερο ἀπό 90° .

Στά ὑπόλοιπα 12 θεωρήματα ἀποδεικνύονται οἱ σχέσεις μεγεθῶν καί ἀποστάσεων πού ἔχουν ὁ ἥλιος καί ἡ σελήνη ὡς πρός τή γῆ. Ἄν D = ἀπόσταση, d = διάμετρος, V = ὄγκος, D' = ἀπόσταση τοῦ κέντρου τῆς σελήνης ἀπό τό μάτι μας, d_ϕ = διάμετρος τοῦ κύκλου φωτισμοῦ τῆς σελήνης, H = ἥλιος, Γ = γῆ, Σ = σελήνη, τότε τά θεωρήματα ἔχουν ὡς ἑξῆς:

$$\theta 7) \quad 18 < \frac{D_{\Gamma H}}{D_{\Gamma \Sigma}} < 20$$

- θ8) Σέ ὀλική ἐκλειψη ἡλίου ὁ αὐτός κῶνος μέ κορυφή τό μάτι μας περιλαμβάνει καί τόν ἥλιο καί τή σελήνη (δηλαδή $d_{\phi \text{ φαινομ. H}} = d_{\phi \text{ φαινομ. \Sigma}}$) (Σχ. 3).



Σχ. 3 (θεώρημα 8)

$$\theta 9) \quad 18 < \frac{d_H}{d_\Sigma} < 20$$

$$\theta 10) \quad 5832 < \frac{V_H}{V_\Sigma} < 8000$$

$$\theta 11) \quad \frac{1}{30} < \frac{d_\Sigma}{D'} < \frac{2}{45}$$

$$\theta 12) \quad d_\phi < d_\Sigma \quad \text{καί} \quad \frac{d_\phi}{d_\Sigma} > \frac{89}{90}$$

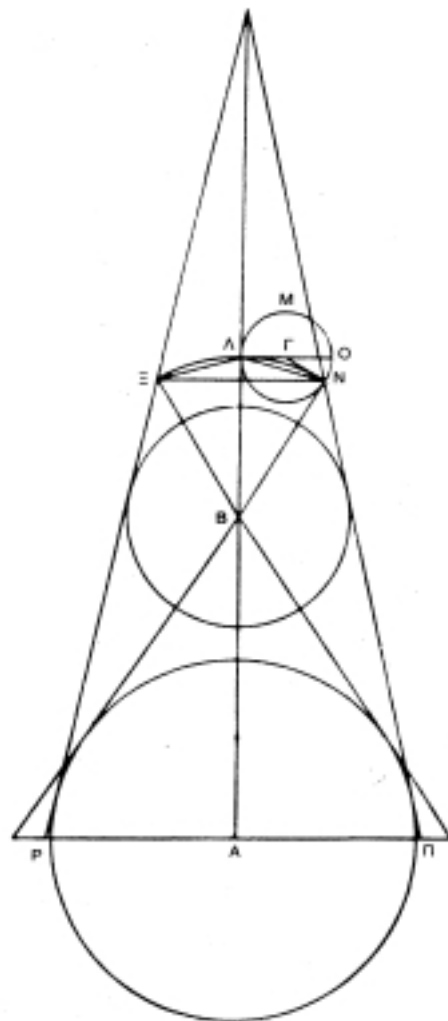
θ13) Ἡ ὑποτείνουσα εὐθεῖα (EN) ὑπό τὴν ἀποκοπτομένη ἀπὸ τὴν περιφέρεια τοῦ κύκλου στή σκιά τῆς γῆς, ὅπου κινούνται τὰ ἄκρα τῆς διαμέτρου τοῦ κύκλου φωτισμοῦ τῆς σελήνης, πληροῦ τίς σχέσεις:

$$EN < 2d_z \quad \frac{EN}{d_z} > \frac{88}{45}$$

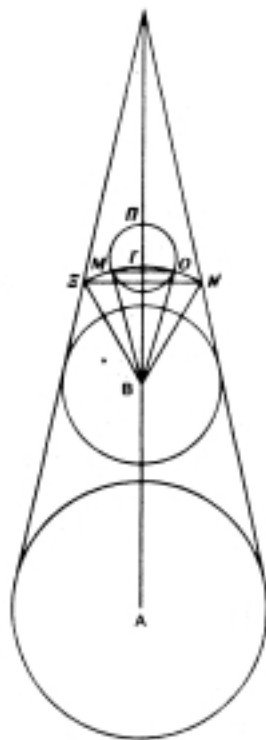
$$EN < \frac{1}{9} d_H \quad \frac{EN}{d_H} > \frac{22}{225}$$

$$\frac{EN}{PP} > \frac{979}{10125}, \text{ ὅπου } PP = \eta$$

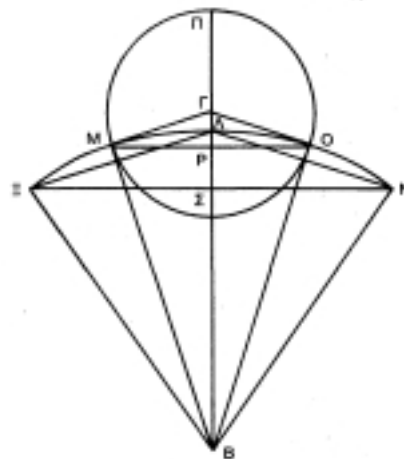
κάθετος πού ἀγεται ἀπὸ τὸ κέντρο τοῦ ἡλίου πρὸς τὸν ἀξονα καί συναντᾶ τίς πλευρές τοῦ κώνου (Σχ. 4).



Σχ. 4 (θεώρημα 13) A, B, Γ εἶναι τὰ κέντρα ἡλίου, γῆς καὶ σελήνης ἀντιστοίχως.



Σχ. 5 (θεώρημα 14) A, B, Γ εἶναι τὰ κέντρα ἡλίου, γῆς καὶ σελήνης ἀντιστοίχως.



θ14) 'Ο λόγος τῆς ἀπό τό κέντρο τῆς γῆς πρὸς τό κέντρο τῆς σελήνης ἐπιζευγνυμένης εὐθείας (ΒΓ) πρὸς τὴν εὐθεῖα πού ἀποκόπτει στὸν ἄξονα μέχρι τό κέντρο τῆς σελήνης ἢ ὑποτείνουσα εὐθεῖα ὑπὸ τὴν σκιά τῆς γῆς (ΓΣ), εἶναι μεγαλύτερος ἀπὸ 675 (Σχ. 5).

$$\theta 15) \frac{19}{3} < \frac{d_H}{d_r} < \frac{43}{6}$$

$$\theta 16) \frac{6859}{27} < \frac{v_H}{v_r} < \frac{79507}{216}$$

$$\theta 17) \frac{108}{43} < \frac{d_r}{d_x} < \frac{60}{19}$$

$$\theta 18) \frac{1259712}{79507} < \frac{v_r}{v_x} < \frac{216000}{6859}$$

γ' Σχόλια καὶ ἀξιολόγηση τοῦ ἔργου

Σχετικὰ μὲ τὶς 6 ὑποθέσεις παρατηρεῖ κανεὶς τὰ ἀκόλουθα:

'Η Υ1 δέν ἀποτελεῖ ἀνακάλυψη τοῦ 'Αριστάρχου. Λέγεται ὅτι πρῶτος ὁ θαλῆς διατύπωσε τὴν ἀποψη ὅτι ἡ σελήνη φωτίζεται ἀπὸ τὸν ἥλιο. Τό [ἴδιο ὑποστήριξαν καὶ οἱ Πυθαγόρας, Παρμενίδης, Ἐμπεδοκλῆς, Ἀναξαγόρας, Μητρόδωρος καὶ οἱ Ὀρφικοί [34, 54]. Ἀντίθετα οἱ Ἀναξίμανδρος, Ξενοφάνης καὶ ἀργότερα ὁ Ἀριστοτέλης τὴ θεωροῦσαν αὐτόφωτη. Ὁ Ἀρίσταρχος ὅμως ἔδωσε τὴν ὀρθὴ ἐρμηνεία τῶν φάσεων τῆς, τὴν ὁποία ἐκθέτει ὁ Vitruvius καὶ προλογίζοντας γράφει: "Ὁ Ἀρίσταρχος ὁ Σάμιος μὲ τὴ δυναμικὴ διάνοιά του ἀφησε διαφορὲς μελέτες περὶ αὐτῆς (τῆς σελήνης) γιατί δέν τοῦ διέφυγε ὅτι ἡ σελήνη δέν ἔχει δικό της φῶς, ἀλλὰ εἶναι ὡς καθρέπτης καὶ ἀπὸ τὴν ὀρμὴ (δύναμη) τοῦ ἡλίου δέχεται τὴ λαμπρότητά (της)"⁴.

'Η Υ2 δέν ἐτέθη μὲ τὴν αὐστηρὴ ἔννοια τῆς μαθηματικῆς ἀναλογίας, ὁπότε θὰ εἶχαμε ἓνα λόγο μὲ μηδέν στὸν ἀριθμητὴ, ἀφοῦ τό σημεῖο δέν ἔχει διαστάσεις. Ἀπλῶς σημαίνει ὅτι οἱ διαστάσεις τῆς γῆς εἶναι ἀμελητέες ὡς πρὸς τό μέγεθος τῆς τροχιάς πού διαγράφει γύρω τῆς ἡ σελήνη. Ἀντίστοιχη πρὸς αὐτὴν πρόταση θὰ συναντήσουμε ἀργότερα στὰ σχετικὰ μὲ τὶς

διαστάσεις του ηλιοκεντρικού συστήματος.

Ἡ Υ3 ἔχει τὴν ἴδια σημασία μὲ τὸ Θ5.

Ἡ Υ4 εἶναι λανθασμένη γιατί δίνει τιμὴ 87° στὴν ἀποχὴ τῆς σελήνης (= γωνιακὴ ἀπόσταση ἡλίου-σελήνης, ὁρωμένων ἀπὸ τὴ γῆ), ὅταν ὁ κύκλος φωτισμοῦ διχοτομῆ τὴ σελήνη. Ἡ σωστὴ τιμὴ εἶναι $89^\circ 51'$, δηλ. ἡ γωνία διαφέρει μόνο κατὰ $9'$ ἀπὸ τὴν ὀρθή. Ἡ λανθασμένη τιμὴ τῶν 87° ἀποτελεῖ καὶ τὴν αἰτία γιὰ τὶς ἐσφαλμένες ἐκτιμήσεις τοῦ Ἀριστάρχου σχετικὰ μὲ τὰ μεγέθη τοῦ ἡλίου καὶ τῆς σελήνης καὶ μὲ τὶς ἀποστάσεις τους ἀπὸ τὴ γῆ. Κατὰ τὸν O. Neugebauer, ἡ μέθοδος τοῦ Ἀριστάρχου νὰ χρησιμοποιήσῃ τὴν ἀποχὴ γιὰ τὸν προσδιορισμὸ τῆς στιγμῆς τῆς διχοτομίας δὲν ἦταν καθόλου πρακτικὴ, ἀφοῦ ἡ σελήνη διατρέχει τόξο 1° σὲ 2 περίπου ὥρες· ἡ τιμὴ δὲ τῆς ἀποχῆς $\alpha=87^\circ$ πρέπει νὰ ἦταν καθαρὰ φανταστικὴ, δηλ. νὰ μὴ προέρχεται ἀπὸ παρατήρηση [26, 642].

Ἡ Υ5 ἰσχύει μὲ τὴν ἔννοια ὅτι τότε ὑπέθεταν κυκλικὲς τὶς τροχιὰς τῶν οὐρανίων σωμάτων καὶ συνεπῶς οἱ ἀποστάσεις γῆς-ἡλίου καὶ γῆς-σελήνης ἦσαν σταθερὲς.

Ἡ Υ6 ἀποτελεῖ τὴ δεύτερη ἐσφαλμένη ὑπόθεση πού ὠδήγησε σὲ λανθασμένα συμπεράσματα. Ἡ φαινομένη διάμετρος τῆς σελήνης δὲν εἶναι 2° , ἀλλὰ περίπου $30'$. Ὁ O. Neugebauer θεωρεῖ ὅτι ἡ τιμὴ τῶν 2° δὲν ἀνταποκρίνεται σὲ ἀποτέλεσμα ἀμέσου παρατηρήσεως λόγῳ τῆς Υ5 καὶ τοῦ ὅτι σὲ ὀλικὴν ἔκλειψη σελήνης θὰ εἶχαμε αὔξηση τῆς ἀποχῆς κατὰ 6° περίπου καὶ διάρκεια 12 ὥρες ἀπὸ τὴν πρώτη ὡς τὴν τελευταία ἐπαφὴ [26, 642]. Φαίνεται ὅμως ὅτι ἀργότερα ὁ Ἀρίσταρχος ὑπολόγισε βάσει παρατηρήσεων τὴ σωστὴ τιμὴ τῆς φαινομένης διαμέτρου τοῦ ἡλίου (καὶ κατὰ συνέπεια καὶ τῆς σελήνης, ἀφοῦ κατὰ τὸ $\Theta 8 \ d_{\text{φαινομ. Η}} = d_{\text{φαινομ. Σ}}$), γιατί ὁ Ἀρχιμήδης ἀναφέρει σαφῶς "Ἀριστάρχου μὲν εὕρηκτος τοῦ κύκλου τῶν ζφδίων τὸν ἄλιον φαινόμενον ὡς τὸ εἰκοστόν καὶ ἑπτακοσιοστόν" [Ψαμμίτης I, 10 (3,184)], δηλ. $\frac{360^\circ}{720} = 30'$.

Ὅσον ἀφορᾷ στὰ θεωρήματα, παρέρχομαι τὰ 6 πρῶτα πού ἀναφέρονται κυρίως στὸν κύκλο φωτισμοῦ τῆς σελήνης.

Τὸ Θ7 λέει ὅτι ἡ ἀπόσταση γῆς-ἡλίου εἶναι περίπου 19πλάσια

της απόστασεως γης-σελήνης. Στην πραγματικότητα $\frac{D_{rH}}{D_{rZ}} = 390$, τιμή 20 φορές μεγαλύτερη από εκείνη που υπολόγισε ὁ Ἄρισταρχος.

Τό ζῆλο ἰσχύει καί γιά τή θ_9 , ὅπου $\frac{d_H}{d_Z} = 19$ κατά τόν Ἄρισταρχο, ἐνῶ στήν πραγματικότητα $\frac{d_H}{d_Z} = 400$.

Τά σφάλματα γίνονται ἐμφανέστερα στήν περίπτωση τῶν ὀγκῶν. Ἔτσι, κατά τό θ_{10} ἔχουμε $\frac{V_H}{V_Z} = 6916$ ἀντί τοῦ πραγματικού $\frac{V_H}{V_Z} = 64.000.000$.

$$\text{Κατά τό } \theta_{11} \quad \frac{D'}{d_Z} = 24,25, \text{ ἀντί τοῦ } \frac{D'}{d_Z} = 110$$

$$\text{Κατά τό } \theta_{15} \quad \frac{d_H}{d_r} = 6,75, \text{ ἀντί τοῦ } \frac{d_H}{d_r} = 109,3$$

$$\text{Κατά τό } \theta_{16} \quad \frac{V_H}{V_r} = 311, \text{ ἀντί τοῦ } \frac{V_H}{V_r} = 1.306.000$$

$$\text{Κατά τό } \theta_{17} \quad \frac{d_r}{d_Z} = 2,84, \text{ ἀντί τοῦ } \frac{d_r}{d_Z} = 3,7$$

$$\text{Κατά τό } \theta_{18} \quad \frac{V_r}{V_Z} = 23,66, \text{ ἀντί τοῦ } \frac{V_r}{V_Z} = 50$$

Μετά ἀπό αὐτές τίς ἐσφαλμένες ἐκτιμήσεις, θά ἀναρωτηθῆ ἴσως κανεῖς, πού βρίσκεται ἡ ἀξία τοῦ ἔργου τοῦ Ἄριστάρχου. Ἡ ἀξία του λοιπόν ἐγκείται στήν καθαρά μαθηματική (γεωμετρική) μέθοδο πού χρησιμοποίησε γιά τήν ἐπίλυση ἀστρονομικῶν προβλημάτων, καί ὄχι στήν ἀκρίβεια τῶν ἀριθμητικῶν τιμῶν πού ἔθεσε κατά τήν ἐπίλυση. Ὁ Ο. Neugebauer μάλιστα θεωρεῖ ὅτι ὀλόκληρη ἡ πραγματεία τοῦ Ἄριστάρχου ἔχει καθαρά μαθηματικό χαρακτήρα καί ὅτι τά λανθασμένα ἀριθμητικά δεδομένα πού χρησιμοποίησε ($\alpha=87^\circ$ καί $d_{\phi\text{οινομ.}\Sigma}=2^\circ$) εἶναι ἀπλῶς κάποιες βολικές γιά τούς ὑπολογισμούς του παράμετροι, ἀσχετες μέ τά δεδομένα τῶν παρατηρήσεων. Γι'αὐτό παραλληλίζει τήν πραγματεία αὐτή μέ τόν Ψαμμίτη τοῦ Ἀρχιμήδους ὡς πρός τόν μαθηματικό τρόπο συγγραφῆς της [26, 643].

Ὁ Ἄρισταρχος εἶναι ὁ πρῶτος πού βρῆκε καί χρησιμοποίησε γεωμετρικές μεθόδους προσεγγίσεως τῶν ἡμιτόνων μικρῶν γωνιῶν. Δόγω ἐλλείψεως τριγωνομετρίας ἐκφράζει τίς γωνίες ὡς

κλάσματα ὀρθῶν καί λόγους τῶν πλευρῶν τῶν τριγῶνων, καθορίζοντας τὰ ὄρια μέσα στα ὁποῖα βρίσκονται οἱ πραγματικές τιμές. Π.χ. τό θ_7 θά μπορούσε νά γραφῆ τριγωνομετρικά ὡς $\frac{1}{18} > \eta\mu 3^\circ > \frac{1}{20}$. Ὅπως παρατήρησε καί ὁ Zd. Kopal, μολονότι οἱ Ἕλληνες ἦσαν τότε ἐξοικειωμένοι μέ τούς ἀρρήτους ἀριθμούς, οὐδέποτε τούς χρησιμοποίησαν σέ ἀστρονομικούς ὑπολογισμούς. Ἐτσι ὁ Ἀρίσταρχος χρησιμοποιεῖ ρητά κλάσματα καί ἐκφράζει τὰ ἀποτελέσματα σέ κλάσματα μικρότερα ἢ μεγαλύτερα τῆς ἐπιθυμητῆς ποσότητος, πρᾶγμα πού ἀπαιτεῖ μεγάλη μαθηματική ἐπιδεξιότητα [23, 11]. Γενικά, τόσο ὁ Ἀρίσταρχος, ὅσο καί ὁ Ἀρχιμήδης χρησιμοποιοῦν στούς ὑπολογισμούς τους τήν ἀνισότητα $\frac{\eta\mu\alpha}{\eta\mu\beta} < \frac{\alpha}{\beta} < \frac{\epsilon\phi\alpha}{\epsilon\phi\beta}$, ὅπου $\beta < \alpha$ ὀξεῖες γωνίες. Προφανῶς δέν ὑπῆρχαν τότε ἀριθμητικοί πίνακες γιά τίς τριγωνομετρικές συναρτήσεις [26, 771-5]. Αὐτό ἐγινε πολύ ἀργότερα μέ τούς πίνακες χορδῶν τοῦ Ἰππάρχου καί τοῦ Πτολεμαίου.

Ἀπό τίς ἀριθμητικές τιμές πού βρῆκε ὁ Ἀρίσταρχος, μερικές βελτιώθηκαν ἀπό μεταγενεστέρους του ἀστρονόμους, ὅπως φαίνεται ἀπό τόν πίνακα πού ἀκολουθεῖ [20, 350]. Οἱ τιμές δίδονται μέ μονάδα τῆ μέση \bar{d}_r .

	Μέση $D_{r\tau}$	\bar{d}_τ	Μέση $D_{r\eta}$	\bar{d}_η
Κατά Ἀρίσταρχο	$9\frac{1}{2}$	$\frac{9}{25} = 0,36$	180	$6\frac{3}{4}$
" Ἰππάρχο	$33\frac{2}{3}$	$\frac{1}{3} = 0,33$	1245	$12\frac{1}{3}$
" Ποσειδώνιο	$26\frac{1}{5}$	$\frac{3}{19} = 0,157$	6545	$39\frac{1}{4}$
" Πτολεμαῖο	$29\frac{1}{2}$	$\frac{5}{17} = 0,29$	605	$5\frac{1}{2}$
Πραγματική τιμή	30,2	0,27	11726	109,3

Β' ΤΡΟΠΙΚΟ ΕΤΟΣ ΚΑΙ ΚΟΣΜΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ

Ἐνα ἄλλο πρόβλημα πού ἀπασχόλησε τόν Ἀρίσταρχο εἶναι ἡ διάρκεια τοῦ τροπικοῦ ἔτους. Ἐνδειξη γι' αὐτό ἀποτελεῖ ἡ παρατήρησή του γιά τή θερινή τροπή τοῦ 280 π.Χ. Ὁ Ἀρίσταρχος ὑπολόγισε τό τροπικό ἔτος σέ $365\frac{1}{4}$ κ' ἔβ' ἡμέρες (Co-

dex Vaticanus Graecus n. 191 fol. 170^V) ἢ $365\frac{1}{4}$ ἡμέρες (Codex Vaticanus Graecus n. 381 fol. 163^V). Ἐπί πλέον ὁ Censorinus ἀποδίδει στὸν Ἀρίσταρχο α) μιὰ κοσμικὴ περίοδο 2484 ἐτῶν καὶ β) τὴν ἀποψη ὅτι στὸ ἔτος τοῦ Καλίππου τῶν $365\frac{1}{4}$ ἡμ. πρέπει νὰ προστεθῆ $\frac{1}{1623}$ ἡμ.⁵.

Κατὰ τὸν P. Tannery τὰ 2484 ἔτη εἶναι λάθος ἐκ παραδρομῆς τοῦ σωστοῦ 2434 ἔτη (δηλ. τὸ 3 ἔγινε 8), πού ἔχουν σχέση μέ τὴ χαλδαϊκὴ περίοδο τοῦ σάρου [Γέμινος, Εἰσαγ. εἰς Θαυνομ. XV Πτολεμ. Σύντ. IV, 2]. Ἡ περίοδος αὐτὴ ἦταν ἴση πρὸς $6585\frac{1}{3}$ ἡμ. καὶ περιλάμβανε 223 συνοδικούς, 239 ἀνωμαλιακούς, 242 δρακόντειους καὶ 241 ἀστρικούς μῆνες, σὺν $10^{\circ}\frac{2}{3}$ πού διέτρεχε ὁ ἥλιος στὸ διάστημα τῶν 18 ἀστρικών ἐτῶν. Τὸ τρίπλασιο αὐτῆς τῆς περιόδου ὀνομαζόταν "ἔξελιγμός" καὶ συνεπῶς ἦταν ἴσος πρὸς 19756 ἡμέρες πού περιλάμβαναν 669 συνοδικούς, 717 ἀνωμαλιακούς, 726 δρακόντειους καὶ 723 ἀστρικούς μῆνες, σὺν 32° πού διέτρεξε ὁ ἥλιος στὸ διάστημα τῶν 54 ἀστρικών ἐτῶν [4, (c. XVIII) 200].

Ἐπομένως τὸ ἀστρικό ἔτος εἶναι:

$$\frac{19756}{54 + \frac{32}{360}} = \frac{19756}{54 + \frac{4}{45}} = \frac{45 \cdot 19756}{2434} = \frac{889020}{2434} = 365\frac{1}{4} + \frac{3}{4868}$$

Ἀλλὰ $\frac{4868}{3} = 1623 - \frac{1}{3}$ καὶ ἀντικαθιστώντας τὸ συμπληρωματικό κλάσμα μέ $\frac{1}{1623}$ ὁ Ἀρίσταρχος κατὰ ἑλληνικὴ συνήθεια παρέλειψε ὡς ἀμελητέο τὸ κλάσμα μέ ἀριθμητὴ τὴ μονάδα

$$\frac{1}{1623 \cdot 4868} = \frac{1}{7900764}.$$

Ἐπί πλέον ὁ Ἀρίσταρχος πολλαπλασίασε τὴν περίοδο τοῦ ἔξελιγμοῦ μέ τὸ 45 γιὰ νὰ ἐξαφανίσῃ τὰ κλάσματα. Ἐτσι ἡ περίοδος 889020 ἡμερῶν περιλάμβανε 2434 ἡλιακὰ ἔτη, 30105 συνοδικούς καὶ 32539 ἀστρικούς μῆνες, 274 περιφορὲς τοῦ περιγείου, 131 περιφορὲς τῶν συνδέσμων (32265 ἀνωμαλιακούς καὶ 32670 δρακόντειους μῆνες).

Ἐτσι ἀποδεικνύει ὁ P. Tannery ὅτι τὸ "μεγάλον ἔτος" τοῦ Ἀριστάρχου ἐξάγεται ἀπὸ τὸν "ἔξελιγμόν". θεωρεῖ ὅμως ἀπίθα-

νο νά πίστευε ὁ Ἄριστάρχος ὅτι ἔτσι ἐλάμβανε συγχρόνως καί μιὰ περίοδο πού ἀποτελοῦσε ἀκέραιο πολλαπλάσιο τῶν χρόνων περιφορᾶς τῶν 5 πλανητῶν [33, 346-7].

Ὅσον ἀφορᾷ στή διάρκεια τοῦ ἔτους, ὁ P. Tannery θεωρεῖ ὅτι ἡ προσθήκη τοῦ $\frac{1}{1623}$ ἡμ. στίς $365\frac{1}{4}$ ἡμ. δέν ἔχει ἀξία. Ὁ λόγος εἶναι ὅτι ἡ χαλδαϊκὴ περίοδος τοῦ σάου ὑπολογίσθηκε ἀπὸ παρατηρήσεις τῶν ἐκλείψεων ἴση πρὸς $6585\frac{1}{3}$ ἡμ. Ἐπειδὴ δέ οἱ Χαλδαῖοι δέν διέθεταν αὐστηρὴ μαθηματικὴ θεωρία γιὰ τὴν κίνηση τοῦ ἡλίου, ὁ ὑπολογισμὸς τῶν $10^0\frac{2}{3}$ κατὰ τίς ὁποῖες κινήθηκε ὁ ἡλιος σ' αὐτὸ τὸ διάστημα, πρέπει νά ἔγινε μὲ μιὰν ἀπλὴ ἀφαίρεση:

$$6585\frac{1}{3} - 6574\frac{1}{2} \left(= 18 \text{ ἔτη} \times 365\frac{1}{4} \text{ ἡμ.} \right) = 10\frac{1}{2} \frac{1}{3} \text{ ἡμ.} = (\text{πολλαπλασιάζοντας ἐπὶ } \frac{360}{365\frac{1}{4}}) 10^0\frac{2}{3} \frac{1}{91} \approx 10^0\frac{2}{3}, \text{ θεωρώντας τὸ } \frac{1}{91}$$

ὡς ἀμελητέο. Ἐτσι ἡ χαλδαϊκὴ περίοδος ὑποθέτει ἀστρικό ἔτος ἴσο πρὸς $365\frac{1}{4}$ ἡμ. καί δέν χρειαζόταν ἡ διόρθωση τοῦ Ἄριστάρχου.

Ἐπὶ πλέον, ἐπειδὴ ὁ "ἔξελιγμός" παρουσιάζει κάποιες μικρὲς διαφορὲς ὡς πρὸς τὰ ἀκέραια πολλαπλάσια τῶν μηνῶν πού περιλαμβάνει, ὅταν πολλαπλασιάζεται ἐπὶ 45 οἱ διαφορὲς μεγάλωνουν αἰσθητὰ μὲ ἀποτέλεσμα ἡ περίοδος τοῦ Ἄριστάρχου νά περιλαμβάνη 32264 (ὄχι 32265) ἀνωμαλιακοὺς μῆνες καί 275 (ὄχι 274) περιφορὲς τοῦ περιγείου [33, 349-50].

Τέλος, γιὰ τὸ κατὰ πόσον τὸ "μεγάλον ἔτος" τοῦ Ἄριστάρχου σχετίζεται μὲ τοὺς χρόνους περιφορᾶς τῶν 5 πλανητῶν, ὁ P. Tannery συμπεραίνει ὅτι αὐτὸ εἶναι μόνον ἀστρικός σεληνοηλιακὸς κύκλος καί παραθέτει στοιχεῖα γιὰ τὰ αὐθαίρετα "μεγάλα ἔτη" ἄλλων ἀρχαίων ἀστρονόμων [33, 362-6].

Γ' ΗΛΙΟΚΕΝΤΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

α' Μαρτυρίες ἀρχαίων συγγραφέων

Ἡ σπουδαιότερη ὁμως προσφορά τοῦ Ἄριστάρχου στήν ἐπιστήμη εἶναι ἡ σαφὴς διατύπωση τῆς ἡλιοκεντρικῆς ἰδέας γιὰ τὸ σύστημα τοῦ κόσμου, ὅπως αὐτὴ σώζεται ἀποσπασματικὰ σὲ ἐδάφια συγγραμμάτων ἀρχαίων ἐπιστημόνων καί φιλοσόφων.

Ἡ σαφέστερη μαρτυρία προέρχεται ἀπὸ τὸν Ἀρχιμήδη, ὁ ὁποῖος ἀντιπαραθέτει συγχρόνως καὶ τίς κοσμολογικὲς ἀντιλήψεις τοῦ Ἀριστάρχου σχετικὰ μὲ τίς διαστάσεις τοῦ σύμπαντος, ὡς πρὸς ἐκεῖνες τῶν ἄλλων ἀστρονόμων τοῦ καιροῦ του:

"Γνωρίζεις δὲ ὅτι ἀπὸ τοὺς πλείστους ἀστρονόμους καλεῖται κόσμος ἢ σφαῖρα πού κέντρο τῆς μὲν εἶναι τὸ κέντρο τῆς γῆς, ἡ δὲ ἀκτίνα τῆς ἰσοῦται πρὸς τὴν εὐθεῖα τὴν μεταξὺ τοῦ κέντρου τοῦ ἡλίου καὶ τοῦ κέντρου τῆς γῆς· γιατί ἔχεις ἤδη διαβάσει αὐτὰ στίς γραπτές ἀποδείξεις τῶν ἀστρονόμων. Ὁ Ἀρίσταρχος δὲ ὁ Σάμιος δημοσίευσε κάποιες θεωρίες, στίς ὁποῖες ἀπὸ τὰ ὑπάρχοντα στοιχεῖα συνάγεται ὅτι ὁ κόσμος εἶναι πολὺ μεγαλύτερος ἀπὸ τὸν προαναφερθέντα. Γιατί ὑποθέτει ὅτι ἀπὸ τοὺς ἀστέρες οἱ μὲν ἀπλανεῖς καὶ ὁ ἥλιος μένουν ἀκίνητοι, ἡ δὲ γῆ περιφέρεται περὶ τὸν ἥλιο κατὰ κυκλικὴ τροχιά, ὁ ὁποῖος βρίσκεται στὸ μέσο τῆς τροχιάς, τὴν δὲ σφαῖρα τῶν ἀπλανῶν ἀστέρων κειμένην περὶ τὸ αὐτὸ κέντρο ὅπως ἡ ἥλιος, ὅτι εἶναι τόσο μεγάλη σὲ μέγεθος, ὥστε ὁ κύκλος κατὰ τὸν ὁποῖο ὑποθέτει ὅτι ἡ γῆ περιφέρεται, ἔχει τέτοια ἀναλογία πρὸς τὴν ἀπόσταση τῶν ἀπλανῶν, ὁποῖαν ἔχει τὸ κέντρο τῆς σφαίρας πρὸς τὴν ἐπιφάνεια"⁶ (Χειρόγρ. 2).

Ἐνῶ λοιπὸν τὸ κοσμολογικὸ πρότυπο τῆς πλειονότητος τῶν ἀστρονόμων ἦταν γεωκεντρικὸ καὶ μὲ ἀκτίνα ἴση πρὸς τὴν ἀπόσταση τῶν κέντρων γῆς καὶ ἡλίου, ἡ Ἀρίσταρχος εἰσηγήθηκε εἶνα ἡλιοκεντρικὸ πρότυπο μὲ διαστάσεις πού νὰ πληροῦν τὴν ἐξῆς ἀναλογία:

$$\frac{d_{\text{τροχιάς γῆς}}}{d_{\text{σφαίρας ἀπλανῶν}}} = \frac{\text{κέντρο σφαίρας}}{\text{ἐπιφάνεια σφαίρας}}$$

Ἀπὸ μαθηματικῆς πλευρᾶς βέβαια εἶναι προφανές ὅτι τοῦτο εἶναι ἀδύνατο· γιατί τὸ κέντρο τῆς σφαίρας δὲν ἔχει μέγεθος, οὔτε πρέπει νὰ θεωρήσουμε ὅτι ἔχει κανένα λόγο πρὸς τὴν ἐπιφάνεια τῆς σφαίρας"⁶, ὅπως παρατηρεῖ ὁ Ἀρχιμήδης. Γι' αὐτὸ καὶ ὁ ἴδιος στὴ συνέχεια δίνει μιὰν αὐθαίρετη ἐρμηνεία⁶ γιὰ τὸ τί ἐννοοῦσε ὁ Ἀρίσταρχος, πού ἐκφράζεται μὲ τὴν ἀναλογία:

$$\frac{d_{\gamma\eta\varsigma}}{d_{\kappa\omicron\varsigma\mu\omicron\upsilon}} = \frac{d_{\tau\rho\chi\lambda\omicron\varsigma \gamma\eta\varsigma}}{d_{\sigma\phi\alpha\iota\tau\omicron\varsigma \acute{\alpha}\pi\lambda\alpha\upsilon\omega\upsilon\omicron\upsilon}}$$

Στήν πραγματικότητα όμως ο Ἀρίσταρχος δέν διατύπωσε μιάν αύστηρή μαθηματική ἀναλογία. Ἀπλῶς ἤθελε νά ἐκφράση πόσο πολύ μακριά βρίσκονται οἱ ἀπλανεῖς ἀστέρες καί τό ἔκανε μέ μιá παρομοίωση χρησιμοποιώντας βέβαια τήν οἰκεία του μαθηματικήν ὀρολογία (πρὸς τήν Υ2 καί τὰ σχετικά μέ αὐτήν σχόλια). Αὐτό δέ ἦταν κάτι ἀπολύτως ἀναγκαῖο, ἀφοῦ ἔπρεπε νά συμβιβάσῃ τή φαινομενική ἀκίνησιá τῶν ἀπλανῶν ἀστέρων μέ τήν κίνηση τῆς γῆς.

Ὁ Ἀρίσταρχος δέν ἦταν ὁ μόνος πού χρησιμοποίησε αὐτή τήν παρομοίωση. Ὁ Εὐκλείδης στή "Φαινόμενα" ἀποδεικνύει ὡς πρῶτο θεώρημα ὅτι "ἡ γῆ ἐν μέσῳ τῷ κόσμῳ ἐστὶ καί κέντρου τᾶ-Εἰν ἀπέχει πρὸς τόν κόσμον" [8, 10]. Ὁ Πτολεμαῖος ἐπίσης γράφει ὅτι "ὅλη ἡ γῆ σημείου καί κέντρου λόγον ἔχει, πρὸς αἴσθησιν, πρὸς τήν τοῦ ἡλίου σφαῖραν" [Μαθ. Σύντ. I 5 (16, τομ. I, σ.74)]. Ὁ Γέμινος ἀναφέρει ὅτι "ἡ γάρ σύμπασα γῆ κέντρου λόγον ἔχει πρὸς τήν τῶν ἀπλανῶν <ἀστέρων> σφαῖρα" [Εἰσαγ. εἰς τὰ φαινόμενα. 18.16 (4, 186)]. Κατά τόν Κλεομήδη "ἡ γῆ...οὐ μόνον πρὸς τό σύμπαν τοῦ κόσμου μέγεθος σημείου λόγον ἐπέχουσα διὰ πολλῶν ἐλέγχεται, ἀλλά καί πρὸς τό ἡλιακόν ὕψος, οὗ κατὰ πολύ μείζων ἐστὶν ἡ περιέχουσα τὰ ἀπλανῆ τῶν ἀστρῶν σφαῖρα" [Κυκλική θεωρία μετεώρων, Α, ια' (10,102)].

Πρέπει νά τονισθῇ ἀκόμη, ὅτι ἡ θεώρηση τῆς γῆς ὡς κέντρου τῆς οὐρανίου σφαίρας δέν συνδέεται ἀμεσα μέ τό ποιό σύστημα τοῦ κόσμου (γεωκεντρικό ἢ ἡλιοκεντρικό) ὑποστήριζαν οἱ ἀρχαῖοι ἀστρονόμοι. Γιατί καί σήμερα ἔτσι νοοῦμε τή σχέση γῆς καί οὐρανίου σφαίρας στή σφαιρική ἀστρονομία.

Ἐκτός ἀπό τόν Ἀρχιμήδη, καί ὁ Πλούταρχος ἀναφέρει σαφῶς τήν ἡλιοκεντρική ἰδέα τοῦ Ἀριστάρχου: "Ἀρίσταρχος τόν ἥλιον ἵστησι μετὰ τῶν ἀπλανῶν, τήν δέ γῆν κινεῖ περί τόν ἡλιακόν κύκλον καί κατὰ τὰς ταύτης ἐγκλίσεις σκιάζεσθαι τόν δίσκον" [Περὶ τῶν ἀρεσκόντων τοῖς φιλοσόφοις II, ΚΔ' (7,355a)].

β' Πρόδρομοι τῆς ἡλιοκεντρικῆς ιδέας

Ὅπως δὴποτε ὁ Ἀρίσταρχος δέν ἦταν ὁ πρῶτος πού σκέφθηκε νά ἐκτοπίση τή γῆ ἀπό τό κέντρο τοῦ τότε νοουμένου σύμπαντος καί νά τῆς δώση περιστροφική καί μεταβατική κίνηση.

Στά σωζώμενα ὀρφικά κείμενα ὑπάρχουν ἀποσπάσματα ὅπου φαίνεται ἡ ἡλιοκεντρική ἰδέα [34' 39-41,57-60]. Ἐνδεικτικά παραθέτω τά ἑξῆς: α) Γιά τήν περιστροφή τῆς γῆς ἕνα ἀπόσπασμα πού λέει γιά τόν μαθητή τοῦ Ὀρφέως Μουσαῖο ὅτι "γνώριζε τήν πορεία τοῦ ἀστρου καί τήν κίνηση τῆς (οὐρανίου)σφαίρας γύρω ἀπό τή γῆ, καθῶς αὐτή (ἡ γῆ) στρογγυλή οὖσα περιστρέφεται σέ ἴσον χρόνο περί τόν ἀξονά της"⁷. β) Γιά τήν ἡγεμονική θέση τοῦ Ἡλίου στό σύμπαν: Στόν ὀρφικό ὕμνο του ὁ "Ἡλιος ἀποκαλεῖται "κοσμοκράτωρ" καί "δεσπότης τοῦ κόσμου" [11, "Ὑμν. (7'11,16)], ὁ δέ Ἀπόλλων-ἥλιος στόν δικό του θεωρεῖται ὅτι κατέχει τή σφραγίδα μέ τήν ὁποία ἀποτύπωσε τή δημιουργία τοῦ σύμπαντος: "παντός ἔχεις κόσμου σφρηγίδα τυπῶτιν" [11, "Ὑμν.(33,26)]. Αὐτός δέ ὁ "Ἡλιος ἔλκει τήν ἐναρμόνια τροχιά τοῦ κόσμου "κόσμου τόν ἐναρμόνιον δρόμον ἔλκων" [11, "Ὑμν. (7,9)], πού συνεπάγεται καί τήν ὑπόθεση τῆς περιφορᾶς τῶν ἄλλων μελῶν τοῦ πλανητικοῦ συστήματος γύρω του.

Ἀπό τοὺς Ἴωνες φιλοσόφους ὁ Ἀναξίμανδρος τόν ΣΤ'π.Χ. αἰ. πρέσβευε "ὅτι ἐστὶν ἡ γῆ μετέωρος καί κινεῖται περί τό τοῦ κόσμου μέσον" [θέων. Συμυρναίου Περὶ τῶν κατὰ τό μαθηματικόν χρησίμων εἰς τήν Πλάτωνος ἀνάγνωσιν, ed. Hiller, Lipsiae 1878, p. 198].

Ἀπό τήν ἄλλη πλευρά "οἱ περί τήν Ἰταλίαν, καλούμενοι δέ Πυθαγόρειοι λέγουσιν" ἐπί μὲν γάρ τοῦ μέσου πῦρ εἶναι φασί, τήν δέ γῆν ἐν τῶν ἀστρων οὖσαν, κύκλῳ φερομένην περί τό μέσον νύκτα τε καί ἡμέραν ποιεῖν" [Ἀριστοτέλους Περὶ οὐρανοῦ Β' 13, 293 a 20 (2, 216)].

"Ὅσο γιά τόν Πλάτωνα, αὐτός παραδέχεται τήν "γῆν... ἰλλομένην (= περιστρεφόμενην) δέ περί τόν διά παντός πόλον τεταμένον (= τόν ἀξονα τοῦ κόσμου), φύλακα καί δημιουργόν νυκτός τε καί ἡμέρας ἐμηχανήσατο..." [Πλάτωνος Τίμαιος 40 Α-Γ]. Δηλαδή ὑποθέτει περιστροφικήν κίνηση τῆς γῆς μέ τήν ὁποία

αίτιολογεί και τό φαινόμενο του ήμερονυκτίου. Μέ βάση τά συμφραζόμενα όμως, ο Πλούταρχος αναρωτιέται μήπως τυχόν ο Πλάτων "κινούσε τή γή όπως ακριβώς τόν ήλιο και τή σελήνη και τούς πέντε πλανήτες... και έπρεπε νά μή θεωρη ότι συνεχεται (μέ τόν άξονα) και μένει ακίνητη, αλλά νά τήν νοή ότι περιστρέφεται και προχωρεί, όπως πρέσβευαν άργότερα ο Άρίσταρχος και ο Σέλευκος, ο μέν μόνον υποθέτων τουτο, ο δέ Σέλευκος και αποδεικνύοντάς το"⁸. Άνεξάρτητα όμως από τό ποιές ακριβώς ήσαν τότε οι ιδέες του Πλάτωνος, ο θεόφραστος γράφει ότι ο Πλάτων γεννώντας μετάνοιωσε πού είχε αποδώσει στη γή τή μέση θέση του σύμπαντος ενώ δέν τής έπρεπε⁸.

γ' Σύγχρονοι και μεταγενέστεροι όπαδοί και πολέμιοι τής ήλιοκεντρικής ιδέας

Είναι άξιοσημείωτο, ότι οι πρόδρομοι τής ήλιοκεντρικής ιδέας και ο ίδιος ο Άρίσταρχος συγκαταλέγονται στις κατά καιρούς σπουδαιότερες προσωπικότητες τής ελληνικής αρχαιότητας. Η ήλιοκεντρική ιδέα όμως ούτε διαδόθηκε εύρύτερα στο κοινό, ούτε έγινε αποδεκτή από τους επιστήμονες τους συγχρόνους του Άριστάρχου, οι όποιοι τήν αντιμετώπισαν σαν ένα κοσμολογικό πρότυπο τής εποχής τους, νεωτεριστικό βέβαια, αλλά τίποτα παραπάνω. Πιθανόν ο κόσμος νά άδιαφόρησε συνηθισμένος νά άκούη τόν άπόηχο πολλών και διαφορετικών φιλοσοφικών άπόψεων και μαθηματικών θεωριών. Όπως όμως συμβαίνει πάντοτε, βρέθηκε κάποιος πού θεώρησε υποχρέωσή του νά υπερασπισθί τις πατροπαράδοτες κοινές αντιλήψεις από τήν εισαγωγή και εύρεία διάδοση τέτοιων "καινών δαιμονίων": Ο Κλεάνθης (331-232 π.Χ.), στωϊκός φιλόσοφος, πού νόμιζε ότι έπρεπε νά κατηγορησθί για άσέβεια τόν Άρίσταρχο, μέ τή δικαιολογία ότι "κινεί τήν έστία του κόσμου (= τή γή), γιατί προσπαθούσε ο άνθρωπος νά σώση τά φαινόμενα, υποθέτοντας ότι ή γή κινείται κατά κύκλο λοξό (= έκλειπτική) ενώ συγχρόνως στρέφεται περί τόν άξονά της"⁹.

Δυστυχώς άγνοούμε αν πράγματι δικάστηκε ο Άρίσταρχος. Όπως όμως κι αν έχη τό πράγμα, φαίνεται ότι ή θεωρία του

βρήκε ελάχιστους οπαδούς και ανάμεσα στους μεταγενεστέρους. Από αυτούς σπουδαιότεροι ήταν ο μαθηματικός Σέλευκος (Α' ή Β' π.Χ. αί.) και ο φιλόσοφος αυτοκράτωρ Ίουλιανός (Δ' αί.), που είχε ανατραφεί με τό πνεύμα της αρχαιοελληνικής παιδείας και ο οποίος φαίνεται να γνώριζε και να αποδεχόταν την ηλιοκεντρική ιδέα αφού γράφει: "οἷτε γάρ πλάνητες εὐδηλον ὅτι περί αὐτόν τόν ἥλιον χορεύοντες μέτρον ἔχουσι τῆς κινήσεως" [Oratio XI [IV] (Εἰς τόν βασιλέα Ἡλίου) 146 d (9,121)].

Τά μεγαλύτερα κτυπήματα κατά τῆς ἡλιοκεντρικῆς ιδέας ἔδωσαν ὁ Ἀριστοτέλης ὡς φιλόσοφος καί ὁ Πτολεμαῖος ὡς μαθηματικός καί ἀστρονόμος, πού ὑπῆρξαν γεωκεντριστες. Οἱ ἀπόψεις τους μέ τή σφραγίδα τῆς αὐθεντίας τους γαλούχησαν πνευματικά ἐπί 17 αἰῶνες τήν Εὐρώπη. Μόλις στίς ἀρχές τοῦ ΙΕΤ' αἰ. ὁ Πολωνός μοναχός Κοπέρνικος ἔσπασε τή μεσαιωνική γεωκεντρική παράδοση μέ τήν ἔκδοση τοῦ ἔργου του "De revolutionibus orbium coelestium" (1543), ὅπου εἰσηγεῖται τό ἡλιοκεντρικό σύστημα τοῦ κόσμου.

δ' Κοπέρνικος καί Ἀρίσταρχος

Ο Κοπέρνικος εἶχε σπουδάσει θεολογία, μαθηματικά καί ἰατρική, γνώριζε δέ πολύ καλά λατινικά καί ἀρχαῖα ἑλληνικά. Ἀπό τή μελέτη τῶν αρχαιοελληνικῶν συγγραμμάτων ἔμαθε γιά τήν ἡλιοκεντρική ιδέα τοῦ Ἀριστάρχου. Ἔτσι ἐμπνεύσθηκε τή θεωρία του, τήν ὁποία προσπάθησε νά διατυπώσῃ ἔχοντας ὡς πρότυπο τή Μαθηματική Σύνταξη τοῦ Πτολεμαίου καί φιλοδοξώντας νά ἐλαττώσῃ τόν ἀριθμό τῶν ἀναγκαίων ἐπικύκλων ἀπό 80 - πού ἰσχυριζόταν ὅτι εἶχε χρησιμοποιήσει ὁ Πτολεμαῖος - σέ 34 μόνον. Ὅπως ὁμως ἀπέδειξε ὁ Peuerbach (ΙΕ' αἰ.), τό Πτολεμαϊκό σύστημα χρησιμοποιοῦσε μόνο 40 ἐπικύκλους. Εἶναι γνωστό ἀκόμη, ὅτι παρά τούς ἰσχυρισμούς του στά τέλη τοῦ προλόγου τοῦ Commentarioli ὁ Κοπέρνικος ἠύξησε τόν ἀριθμό τῶν ἐπικύκλων σέ 48 [24, 194-5], γιά νά μπορέσῃ νά δίδῃ μέ σφάλμα 10' τίς παρατηρούμενες θέσεις τῶν πλανητῶν. Αὐτό ἦταν ἀποτέλεσμα τῆς πυθαγορείου ἀντιλήψεώς του, ὅτι οἱ πλανῆτες πρέπει νά κινοῦνται ὁμαλῶς σέ κυκλικές τροχιές [23,22].

Ὁ Κοπέρνικος, θέλοντας νά στηρίξη τό ἔργο του χωρίς νά κατηγορηθῆ ἄμεσα ὡς νεωτερίζων, ἀναφέρει ὅτι ἔψαξε καί ἀνέγνωσε ὅσα μπορούσε συγγράμματα ἀρχαίων φιλοσόφων, γιά νά δῆ μήπως ὑπῆρχε καί κάποια ἄλλη ἐρμηνεῖα τῆς κινήσεως τῶν ἀστέρων ἐκτός ἀπό αὐτή πού δέχονται οἱ ἐπαγγελματίες μαθηματικοί. Παραδέχεται δέ ὅτι βρῆκε στόν Κικέρωνα καί τόν Πλούταρχο τίς ἀπόψεις τοῦ Ἰκέτα, τῶν Πυθαγορείων Φιλόλαου καί Ἐκφάντου, καθώς καί τοῦ Ἡρακλείδου τοῦ Ποντικοῦ¹⁰. Τά πρόσωπα ὅμως πού ἀναφέρει δέν εἶχαν διατυπώσει σαφῶς τήν ἡλιοκεντρική ἰδέα, ἡ ὁποία φαινόταν ἔτσι ὡς ἀνακάλυψη δική του.

Ἡ ἀλήθεια ὅμως εἶναι πολύ διαφορετική. Ὁ Κοπέρνικος ἀνέφερε ἀρχικά στό χειρόγραφο του τήν ἀποψη τοῦ Ἀριστάρχου ὅτι ἡ γῆ κινεῖται: "Εἶναι πιστευτό νά λέμε ὅτι καί γιά παρόμοιες αἰτίες ὁ Φιλόλαος εἶχε τή γνώμη ὅτι ἡ γῆ κινεῖται, τό ὁποῖο μερικοί λένε ὅτι πρέσβευε ὁ Ἀρίσταρχος ὁ Σάμιος"¹¹. Μετά ὅμως διέγραψε αὐτή τήν παράγραφο, καταλαβαίνοντας ὅτι διαφορετικά δέν θά μπορούσε νά διεκδικήσῃ τήν πρωτοτυπία τῆς ἡλιοκεντρικῆς θεωρίας. Ἔτσι τό βιβλίον κυκλοφόρησε χωρίς τήν παραπομπή στόν Ἀρίσταρχο καί ἔκτοτε ὁ κόσμος ἀναφερόταν στό "Κοπερνίκειο" σύστημα.

Ἡ διαγραφείσα παράγραφος τοῦ χειρογράφου ὑπάρχει μόνο στήν ἔκδοση τοῦ 1873 καί στή νεώτερη τοῦ 1972 [6, fol.11^v] (Χειρόγρ. 3).

Μία ἐντελῶς δική του ἀποψη σχετικά μέ τό ἀπό πού ἐμπνεύσθηκε ὁ Κοπέρνικος τή θεωρία του, παρουσίασε ὁ γνωστός φιλόσοφος καί μαθηματικός Karl Popper στό ἔργο του "Περί τῆς ἐπιστήμης καί τῆς μεταφυσικῆς" (Κεφ. Ὁ Κάντ καί ἡ λογική τῆς ἐμπειρίας). Ἀφοῦ ἀναφέρει ὅτι ὁ Κοπέρνικος εἶχε δάσκαλο τόν πλατωνιστή Novara ἰσχυρίζεται ὅτι ἡ ἡλιοκεντρική ἰδέα του ἦταν "νέα ἐρμηνεῖα παλαιῶν καί πολύ γνωστῶν γεγονότων πού τά περιέβαλε μέ ἡμιθρησκευτικό πλατωνικό καί νεοπλατωνικό φῶς. Ἡ κυρία ἰδέα μπορεῖ νά ἀνευρεθῆ στό ἔκτο βιβλίον τῆς Πολιτείας τοῦ Πλάτωνος¹², ὅπου λέγεται ὅτι ὁ ἥλιος ἐπιτελεῖ τό ἴδιο ἔργο στόν κόσμο τῶν ὁρατῶν ἰδεῶν. Κατά συνέπεια ὁ ἥλιος εἶναι κάτι τό ἀνώτατο στήν ἱεραρχία τῶν αἰ-

dicimus aut centri et declinationis annas revolutiones
 propemodum esse aequales: quoniam si admissum id esset, oporteret
 æthiopia, solstitialiaq; puncta, ac totam semper obligatam
 sub stellarum fixarum sphaera haudquam prorsum: sed cum mo-
 dera sit differentia, non nisi cum tpe grandævis patefacta est:
 a ptolemaeo qd ad nos usq; partem prope xxi: quibus illa
 iam anticipant. Quia ob causam crediderunt aliq; stellarum emq;
 fixarum sphaera moveri: quibus idcirco nomina sphaera superioru
 placuit: quæ dū nō sufficeret, nūc recentiores decima supradūnt
 modum tamē frōt assenti: quæ peramus ex motu terre nos
 conjecturos. Quo tamē principio et hypothese utemur i
 demonstrationibus aliorū. ~~Est futurum Salu. Iamq; motum~~
~~immobilitate quæq; terre demonstrari posse. in ceteris vero~~
~~causis minus congruit. Cæcubata est hinc similitudo quæ~~
 causa philolaum mobilitate terre prorsus: quod etiā nonnulli
 Aristarchum famū ferunt in eadē fuisse sententia. non illa
 ratione moti: quā allegat reprobatq; Aristoteles. Sed cum
 talia sint: quæ nisi acri ingenio et diligentia distinxerit cō-
 phendi nō possent: latuisse tunc plurimq; philosophos: et fu-
 isse admodum paucos: qui eo tpe sideriorum motū callent
 ratione: a platone nō taceat. At si philolao vel cuius
 pythagorico intellecta fuerint: verisimile tamē est ad po-
 posteros nō profudisse. Equat em̄ pythagoreos; obstinata
 nō tradere his lris: nec pander omnibus arcana phiæ
 Sed amicorum dūtaxat et propinquoꝝ fidei committere
 ac per manus tradere. Cuius rei monumentum extat
 Lyfides ad Hipparchū epta: quā ob memoradas sententias
 et ut appareat: quā preciosam penes se habuerit phiām
 placuit hinc inferre: atq; hinc primo libro p ipam in-
 ponere finē. Est ergo exemplum epta: quod e greco
 verbum hoc modo. ~~Lyfide Hipparcho Salutē~~
 Post excessum pythagore: nunquam mihi persuasisse futurū
 ut secretis discipulorū eius divulgeretur. Postq; autē
 præter spem, tamē naufragio facto aliis aho delati
 discipulūq; iunius, pui tamē est diuineri illius pcep-
 torum memisse: neq; committare phiā bona, us q; neg
 animi purificationē somnauerūt. Non em̄ derit ad
 porrigere omnibus: quæ tantis laboribus sumus conse-
 cuti. Quæadmodū nra. Elusimay deniq; arana pro-
 phanis hominibus licet patefacere: potest em̄ in qui

σθητών δυντων μέσα στο φυσικό κόσμο... 'Ο μόνος κατάλληλος χώρος για ένα τόσο τιμώμενο άστρο ήτο τό κέντρο του σύμπαντος. "Ετσι ή γή έπρεπε νά περιστρέφεται γύρω από τόν ήλιο. Αύτή λοιπόν ή πλατωνική ιδέα αποτελεί τό ιστορικό υπόβαθρο τής επαναστάσεως του Κοπερνίκου. Δέν αρχίζει μέ παρατηρήσεις, αλλά μέ μιá θρησκευτική ή μυθική ιδέα" [28, 369].

'Ο καθηγητής Κ. Βουδούρης δέν συμφωνεί σ'αυτό μέ τόν Κ. Popper, γιατί είναι γνωστό ότι ο Κοπέρνικος γνώριζε τίς ιδέες του 'Αριστάρχου και θά έπρεπε άκόμη νά δεχθοϋμε, ότι όσα παρατηρεί ο Popper για τόν Κοπέρνικο ισχύουν αναλογικά και για τόν 'Αρίσταρχο [28, 390].

Νομίζω ότι από καθαρά φιλοσοφική άποψη ή παρατήρηση του Κ. Βουδούρη είναι σωστή. Πρέπει όμως νά τονισθί ότι ο Κοπέρνικος οϋδέποτε υπήρξε μεγάλος μαθηματικός ή άστρονόμος [24, Copernicus] και έζησε σέ μιάν έποχή άρρωστημένου θρησκευτικού φανατισμού τής Δύσεως ('Ιερά 'Εξέτασις), πού άντλούσε τή δύναμή του από τήν 'Αριστοτελική λογική, τήν Πτολεμαϊκή άστρονομία και τήν άνθρωπο-γεωκεντρική χριστιανική κοσμοθεωρία. Γι'αυτό στο έργο του Κοπερνίκου διακρίνονται οι διαφορετικές τάσεις τίς όποτες προκαλοϋσαν στήν ψυχή και τή νόσή του οι θεολογικές, φιλοσοφικές και μαθηματικές γνώσεις του.

'Αντίθετα ο 'Αρίσταρχος ήταν σπουδαίος μαθηματικός και έζησε σέ περίοδο άκμής των έλληνικών μαθηματικών και άπαλλαγής τους από μυθικές προκαταλήψεις. 'Η ιδιότητά του αύτή θά του επέτρεψε νά σκεφθί λογικά τό ήλιοκεντρικό σύστημα, άφοϋ είχε υπολογίσει - έστω λανθασμένα - τίς διαστάσεις ήλιου και σελήνης ως πρός τή γή, καθώς επίσης τίς άποστάσεις ήλιου, σελήνης και σφαίρας των άπλανών από τή γή, και είχε συνειδητοποιήσει πόσο άμελητέες είναι οι διαστάσεις τής γής.

'Ο Ο. Neugebauer βέβαια επικρίνει τόν 'Αρίσταρχο ότι άπέτυχε νά αναπτύξει τό ήλιοκεντρικό σύστημα σέ πλανητική θεωρία πού νά έπιτρέπη σύγκριση μέ τίς παρατηρήσεις. Πάνω σ' αυτό ο Zδ. Kopal παρατηρεί τά έξής: α) Τά 9/10 των αρχαίων έπιστημονικών έργων έχουν χαθί, όποτε άγνοοϋμε άν κάτι τέτοιο είχε ήδη γίνει, έστω και άν δέν υπάρχουν μαρτυρίες στα

σωζόμενα κείμενα. β) Ἐστὼ ὅτι ὁ Ἀρίσταρχος ἢ ὁ Ἰππάρχος τὸ ἀνέπτυσαν. Τὸ ἀποτέλεσμα θὰ ἦταν ὅτι τὸ ἡλιοκεντρικὸ σύστημα - ἂν καὶ ἀπλούστερο - δὲν θὰ μπορούσε νὰ ἀναπαραστήσῃ καλύτερα ἀπὸ τὸ γεωκεντρικὸ τίς φαινόμενες θέσεις τῶν πλανητῶν, γιὰ τίς ὁποῖες θὰ εἶχαμε σφάλμα μερικές μοῖρες! Αὐτὸ μπορεῖ νὰ τὸ παρερχόταν ὁ Ἀρίσταρχος ὡς μαθηματικὸς καὶ φιλόσοφος, ὅχι ὅμως καὶ ὁ Ἰππάρχος, ὁ μεγαλύτερος παρατηρητὴς τῆς ἐλληνιστικῆς ἐποχῆς. Γι' αὐτὸ μπορούμε νὰ ἰσχυρισθοῦμε ὅτι παρὰ τὴ μαθηματικὴ ἀπλότητά του, τὸ ἡλιοκεντρικὸ σύστημα τοῦ κόσμου εἰμεινε στὴν ἀφάνεια τόσον καιρὸ, γιὰτὶ ἀπέτυχε νὰ "σώσῃ τὰ φαινόμενα" μέσα στὰ ὄρια τῶν σφαλμάτων παρατηρήσεως τῆς ἀπλῆς - μέ γυμνὸ μάτι - ἀστρονομίας. Αὐτὸ δὲ ὀφειλόταν στὴν Πυθαγόρειο παράδοση, ὅτι τὰ οὐράνια σώματα πρέπει νὰ κινοῦνται ὁμαλῶς ἐπὶ κυκλικῶν τροχιῶν [23,19-20].

Νομίζω ὅτι ἡ πυθαγόρεια ἀντίληψη περὶ κυκλικῶν τροχιῶν ἦταν καὶ ἡ μόνη παράδοση πού ἐπέδρασε στὸν Ἀρίσταρχο. Ἄν θὰ τὴν ὀνομάσῃ κανεὶς μυθικὴ, θρησκευτικὴ ἢ ἐπιστημονικὴ ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὸ πῶς κρίνει τὴν προσφορά τοῦ Πυθαγόρου καὶ τῆς σχολῆς του. Ἄς μὴ ξεχνοῦμε ὅμως ὅτι στὸν Πυθαγόρα ἡ ἀριθμητικὴ, ἡ γεωμετρία, ἡ ἀστρονομία καὶ ἡ μουσικὴ δὲν ξεχώριζαν μεταξύ τους, ἀλλ' ὅλες μαζί ἀποτελοῦσαν ἓνα σύστημα θεωρήσεως τοῦ κόσμου, ἓνα κοσμολογικὸ πρότυπο, τοῦ ὁποῖου οἱ ἀδυναμίες φάνηκαν μέ τὴν ἀνακάλυψη τῶν ἀρρήτων ἀριθμῶν [27α καὶ 27β]. Τὸ πυθαγόρειο ὅμως πρότυπο δὲν ἐπέδρασε μόνον στὸν Ἀρίσταρχο ἢ ἐπιρροή του διατηρήθηκε ἀμείωτη ἐπὶ 20 αἰῶνες καὶ ἔληξε μέ τὴν ἀνακάλυψη τῶν νόμων κινήσεως τῶν πλανητῶν ἀπὸ τὸν Kepler (ΙΣΤ' αἰ.). Μέσα σ' αὐτὸ τὸ διαχρονικὸ πλαίσιο, ἡ ἡλιοκεντρικὴ ἰδέα τοῦ Ἀριστάρχου - ἐμπνευσμένη ἀπὸ τίς μαθηματικὲς ἐκτιμήσεις του γιὰ τίς διαστάσεις τῶν οὐρανίων σωμάτων ἀπὸ τὴ γῆ - φαίνεται ἀκόμη πιὸ πρωτοποριακὴ.

ΠΑΡΑΠΟΜΠΕΣ

- 1 Quibus vero natura tantum tribuit sollertiae, acuminis, memoriae, ut possint geometriam, astrologiam, musicem ceterasque disciplinas ... efficiuntur mathematici... Hi autem inveniuntur raro, ut aliquando fuerunt Aristarchus Samius, Philolaus et Archytas Tarentini, Apollonius Pergaeus, Eratosthenes Cyrenaeus, Archimedes et Scopinas ab Syracusis, qui multas res organicas, gnomonicas numero naturalibusque rationibus inventas atque explicatas posteris reliquerunt [Vitruvius, De architectura, lib. I, c. 17 (17, t.I, p.22)].
- 2 Scaphen sive hemisphaerium dicitur (invenisse) Aristarchus Samius, idem etiam discum in planitia [Vitruvius, De architectura, lib. IX, c.VIII,1 (17,t.II,p.254)].
- 3 Heiberg, Literaturgeschichtliche Studien über Euklid, 1882, p. 152. Björnbo, Studien über Menelaos' Sphärik, Abhandlungen zur Geschichte der mathematischen Wissenschaften, Heft XIV, 1902, pp. 4,51,55.
- 4 Uti autem Aristarchus Samius mathematicus vigore magno rationes varietatis disciplinis de eadem reliquit exponam. Non enim latet lunam suam propriumque non habere lumen, sed esse uti speculum et ab solis impetu recipere splendorem [Vitruvius, De architectura, lib. IX, c. II, 3 (17, t.II, p. 228)].
- 5 Hunc Aristarchus putavit annorum vertentium CCCCLXXXIII [5, (c.18,11) 39]. Philolaus annum naturalem dies habere prodidit CCCLXIII et dimidiatum, Aphrodisius CCCLXV et partem diei octavam, Callippus autem CCCLXV et Aristarchus

Sanius tantumdem et praeterea diei partem MDCXXIII [5, (c. 19,2)40].

- 6 Κατέχεις δέ, διότι καλεῖται κόσμος ὑπό μὲν τῶν πλείστων ἀστρολόγων ἅ σφαῖρα, ἃς ἐστὶ κέντρον μὲν τὸ τᾶς γᾶς κέντρον, ἃ δὲ ἐκ τοῦ κέντρου ἴσα τᾷ εὐθείᾳ τᾷ μεταξὺ τοῦ κέντρου τοῦ ἀλίου καὶ τοῦ κέντρου τᾶς γᾶς· ταῦτα γὰρ ἐν ταῖς γραφομέναις παρὰ τῶν ἀστρολόγων δείξεσι διάκουσας. Ἄρισταρχος δὲ ὁ Σάμιος ὑποθεσίων τινῶν ἐξέδωκεν γραφάς, ἐν αἷς ἐκ τῶν ὑποκειμένων συμβαίνει τὸν κόσμον πολλαπλάσιον εἶμεν τοῦ νῦν εἰρημένου. ὑποτίθεται γὰρ τὰ μὲν ἀπλανέα τῶν ἀστρῶν καὶ τὸν ἄλιον μένειν ἀκίνητον, τὰν δὲ γᾶν περιφέρεσθαι περὶ τὸν ἄλιον κατὰ κύκλου περιφέρειαν, ὅς ἐστὶν ἐν μέσῳ τῷ δρόμῳ κείμενος, τὰν δὲ τῶν ἀπλανέων ἀστρῶν σφαῖραν περὶ τὸ αὐτὸ κέντρον τῷ ἀλίῳ κειμένην τῷ μεγέθει ταλικάυταν εἶμεν, ὥστε τὸν κύκλον, καθ'ὃν τὰν γᾶν ὑποτίθεται περιφέρεσθαι, τοιαύταν ἔχειν ἀναλογίαν ποτὶ τὰν τῶν ἀπλανέων ἀποστασίαν, οἷαν ἔχει τὸ κέντρον τᾶς σφαίρας ποτὶ τὰν ἐπιφάνειαν. Τοῦτο γ' εὐδηλον ὡς ἀδύνατόν ἐστιν· ἐπεὶ γὰρ τὸ τᾶς σφαίρας κέντρον οὐδὲν ἔχει μέγεθος, οὐδέ λόγον ἔχειν οὐδένα ποτὶ τὰν ἐπιφάνειαν τᾶς σφαίρας ὑπολαπτόν αὐτό. ἐκδεκτέον δὲ τὸν Ἄρισταρχον διανοεῖσθαι τόδε· ἐπειδὴ τὰν γᾶν ὑπολαμβάνομεν ὡσπερ εἶμεν τὸ κέντρον τοῦ κόσμου, ὃν ἔχει λόγον ἅ γὰ ποτὶ τὸν ὑφ'ἀμῶν εἰρημένον κόσμον, τοῦτον ἔχειν τὸν λόγον τὰν σφαῖραν, ἐν ᾗ ἐστὶν ὁ κύκλος, καθ'ὃν τὰν γᾶν ὑποτίθεται περιφέρεσθαι, ποτὶ τὰν τῶν ἀπλανέων ἀστρῶν σφαῖραν· τὰς γὰρ ἀποδείξιαι τῶν φαινομένων οὕτως ὑποκειμένῳ ἐναρμόζει, καὶ μάλιστα φαίνεται τὸ μέγεθος τᾶς σφαίρας, ἐν ᾗ ποιεῖται τὰν γᾶν κινουμένην, ἴσον ὑποτίθεσθαι τῷ ὑφ'ἀμῶν εἰρημένῳ κόσμῳ [Ἀρχιμήδους Ψαμμίτης I 4-6 (3,180-2)] (Χειρόγρ. 2).

- 7 Ἴδρις γὰρ ἔην ἀστροιο πορείης καὶ σφαίρης κίνημ' ἀμφὶ χθόνα ὡς περιτέλλει κυκλοτερῆς, ἐν ἴσῳ τε κατὰ σφέτερον κνώδακα [11, Fr. 247 v. 24-6, p. 261-2].

- 8 Πότερον οὕτως ἐκίνει τὴν γῆν, ὡσπερ ἥλιον καὶ σελήνην

- καί τούς πέντε πλάνητας... καί ἔδει τήν γῆν... μή μεμηχανησθαι συνεχομένην καί μένουσαν, ἀλλά στρεφομένην καί ἀνειλουμένην νοεῖν, ὡς ὕστερον Ἀρίσταρχος καί Σέλευκος ἀπεδείκνυσαν, ὁ μὲν ὑποτιθέμενος μόνον ὁ δέ Σέλευκος καί ἀποφαινόμενος; θεόφραστος δέ καί προσιστορεῖ τῷ Πλάτῳ πρεσβυτέρῳ γενομένῳ μεταμέλειν, ὡς οὐ προσήκουσαν ἀποδόντι τῇ γῆ τήν μέσην χώραν τοῦ παντός [Πλουτάρχου Πλατωνικά ζητήματα Η1 (15, vol. XIII₁, 76-8)].
- 9 Μόνον ὁ τάν, μή κρίσιν ἡμῖν ἀσεβείας ἐπαγγείλης, ὡς περ Ἀρίσταρχον φέτο δεῖν κλεάνθης τόν Σάμιον ἀσεβείας προσκαλεῖσθαι τούς Ἑλληνας, ὡς κινουῦντα τοῦ κόσμου τήν ἐστίαν, ὅτι τά φαινόμενα σφῆζειν ἀνὴρ ἐπειράτο, μένειν τόν οὐρανόν ὑποτιθέμενος, ἐξελίττεσθαι δέ κατὰ λοξόν κύκλον τήν γῆν, ἀμα περί τόν αὐτῆς ἀξονα δινουμένην [Πλουτάρχου Περί τοῦ ἐμφαινόμενου προσώπου τῷ κύκλῳ τῆς σελήνης, 923A (15, vol. XII, p. 54)].
- 10 Οἱ μὲν ἄλλοι μένειν τήν γῆν, φιλόλαος δέ ὁ Πυθαγόρειος κύκλῳ περιφέρεσθαι περί τό πῦρ κατὰ κύκλον λοξόν ὁμοιοτρόπως ἡλίῳ καί σελήνῃ. Ἡρακλείδης ὁ Ποντικός καί Ἐκφαντος ὁ Πυθαγόρειος κινουσι μὲν τήν γῆν, οὐ μὴν γε μεταβατικῶς, ἀλλά τρεπτικῶς, τροχοῦ δίκην ἐνηξονισμένην, ἀπό δυσμῶν ἐπ' ἀνατολάς περί τό ἴδιον αὐτῆς κέντρον [Πλουτάρχου Περί τῶν ἀρεσκόντων τοῖς φιλοσόφοις III, 13 (7, 378a5)].
- 11 Credibile est hisce similibusque causis Philolaum mobilitatem terrae sensisse, quod etiam nonnulli Aristarchum Samium ferunt in eadem fuisse sententia [Copernicus, De revolutionibus (6, fol. 11^V)] (Χειρόγρ. 3).
- 12 Τό πλατωνικό κείμενο πού ὑπαινίσσεται ὁ Κ. Πορπερ εἶναι τό Πολιτείας VI 508a-509d καί ἰδιαίτερα τά ἐδάφια:
 Τίνα οὖν ἔχεις αἰτιάσασθαι τῶν ἐν οὐρανῷ θεῶν τούτου κύριον, οὗ ἡμῖν τό φῶς ὄψιν τε ποιεῖ ὄραν ὅτι κάλλιστα καί τά ὁρώμενα ὁρᾶσθαι; - Ὅνπερ καί σύ, ἔφη, καί οἱ ἄλλοι τόν ἥλιον γάρ δηλον ὅτι ἐρωτᾷς [508a 4-7].

Τόν ἥλιον τοῖς ὀρωμένοις οὐ μόνον οἶμαι τήν τοῦ ὀρα-
σθαι δύναμιν παρέχειν φήσεις, ἀλλά καί τήν γένεσιν καί ἀδ-
ξην καί τροφήν, οὐ γένεσιν αὐτόν ὄντα [509b 2-5].

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Α' Κείμενα

1. Ἀριστάρχου τοῦ Σαμίου, Περὶ μεγεθῶν καί ἀποστημάτων ἡ-
λίου καί σελήνης, ἔκδ. Ε. Σταμάτη, Ἀθήναι 1980.
2. Ἀριστοτέλους, Περὶ οὐρανοῦ, Loeb 1939/1960
3. Ἀρχιμήδους, Ἄπαντα, ἔκδ. Ε. Σταμάτη, τόμ. 2, ΤΕΕ 1973
4. Γεμίνου, Εἰσαγωγή εἰς τὰ φαινόμενα, ed. Manitius, Teub-
ner 1898
5. Censorinus, De die natali liber, ed. Hultsch, Leipzig
1867
6. Copernicus' On the revolutions (the manuscript), Com-
plete works vol. I, Polish scien. Publ. 1972
7. Doxographi Graeci, ed. Diels, Reimeri 1879
8. Εὐκλείδου, Φαινόμενα, ed. Menge, Teubner 1916
9. Ἰουλιανοῦ αὐτοκράτορος, Oeuvres complètes, t. II₂, Budé
1964
10. Κλεομήδους, Κυκλικῆς θεωρίας μετεώρων βιβλία δύο, ed.
Ziegler, Teubner 1891
11. Orphica, ed. G. Hermannus, Fritsch, Lipsiae 1805
12. Orphicorum Fragmenta, ed. O. Kern, Weidmann 1922
13. Πάππου τοῦ Ἀλεξανδρέως, Συναγωγή, ed. Hultsch
14. Πλάτωνος, Opera, vol. IV, Oxford Un. Pr. 1902/1978
15. Πλουτάρχου, Ἠθικά, Loeb, vols XII (1957/1968)-XIII₁
(1976)
16. Πτολεμαίου, Μαθηματικὴ σύνταξις, ed. Halma, t. I, Paris
1813

17. Vitruvius, *De architectura*, vols I-II, Loeb 1934/1970.

B' Βοηθήματα

18. Ἀντωνιάδη Ε., Ἡλιοκεντρικόν σύστημα, Μεγ. Ἑλλ. Ἐγκυκλοπαιδεία.
19. Ἀντωνιάδη Ε., Κοπέρνικος, Μεγ. Ἑλλ. Ἐγκυκλοπαιδεία.
20. Heath Th., *Aristarchus of Samos, the ancient Copernicus*, Oxford 1913/1959.
21. Heath Th., *Greek astronomy*, Oxford 1932.
22. Hultsch F., *Aristarchos von Samos*, Pauly-Wissowa Real Encycl. der class. Altertums., 1896.
23. Kopal Zd., *Aristarchus of Samos and the model of the Solar system*, 1976 (Ὁμιλία στό Ἰδρυμα Εὐγενίδου).
24. Köstler A., *Sleepwalkers, A history of man's changing vision of the universe*, 1959/Penguin 1977.
25. Mau J., *Aristarchos von Samos*, Der kleine Pauly.
26. Neugebauer O., *A history of ancient mathematical astronomy*, vols I-III, Springer 1976.
27. Παπαθανασίου Μ., Κοσμολογικάί καί κοσμογονικάί ἀντιλήψεις εἰς τήν Ἑλλάδα κατά τήν Β' χιλιετηρίδα π.Χ., διδακτ. διατριβή, Ἀθήναι 1978.
- 27α. Παπαθανασίου Μ., Πυθαγόρας ὁ Σάμιος- Ἡ συμβολή του στήν εξέλιξη τῆς μαθηματικῆς σκέψεως, Δ' Διεθνές συνέπσιο Αἰγαίου, Σάμος 21-27/8/1978.
- 27β. Παπαθανασίου Μ., Une notion de continuité dans l'ancienne pensée parabolique grecque, Journées Pythagoriciennes, Athènes-Salonique, 8-14/9/1978.
28. Popper K., Περὶ τῆς ἐπιστήμης καί τῆς μεταφυσικῆς, εἰς Κ. Βουδούρη *Μεταφυσική*, Ἀθήναι 1980, σ. 365-392.
29. Sarton G., *A history of science*, vols I-II, 1952/Norton 1970.

30. Stahl W., Aristarchus of Samos, Dictionary of scientific biography, Scribner's, N. York.
31. Σταμάτη Ε., Τό ηλιοκεντρικόν σύστημα τῶν ἀρχαίων ἐλλήνων, Ἀνακ. εἰς Ἀκαδ. Ἀθηνῶν (11/3/71), ΠΑΑ 1971, σ. 393-412.
32. Tannery P., Scholies sur Aristarque de Samos (1887), Mémoires scientifiques, ed. Heiberg et Zeuthen, tome II, 1912, p. 332-344.
33. Tannery P., La grande année d' Aristarque de Samos (1888), Mémoires scientifiques, tome II, 1912, p. 345-366.
34. Χασάπη Κ., Ἡ ἐλληνική ἀστρονομία τῆς Β' χιλιετηρίδος π.Χ. κατά τοὺς Ὀρφικοὺς ὕμνους, διδακτ. διατριβή, Ἀθῆναι 1967.