

Δημήτριος Ρωσικόπουλος

3.

Ταξίδια με χάρτες σε τόπους και ουτοπίες

Το Γεωγραφικό Μήκος

*Ιστορίες με αστέρια,
μεσημβρινούς & χάρτες*



ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΖΗΤΗ

Ταξίδια με χάρτες σε τόπους και ουτοπίες
Διεύθυνση σειράς: Ευάγγελος Λιβιεράτος

Το βιβλίο του Δ. Ρωσσικόπουλου *Το Γεωγραφικό Μήκος. Ιστορίες με αστέρια, μεσημβρινούς & χάρτες*, το τρίτο στη σειρά *Ταξίδια με χάρτες σε τόπους και ουτοπίες* των Εκδόσεων Ζήτη, φωτοστοιχειοθετήθηκε εκτυπώθηκε και βιβλιοδετήθηκε στις εγκαταστάσεις **Π. ΖΗΤΗ & ΣΙΑ ΟΕ**, στο 18ο χλμ Θεσσαλονίκης-Περαίας, Τ.Θ. 4171, Περαία Θεσσαλονίκης, Τ.Κ. 570 19 (τηλ.: 23920-72.222 - fax: 23920-72.229, e-mail: info@ziti.gr) τον Οκτώβριο του 2009.

Η Μαρία Παζαρλή έκανε τις τυπογραφικές διορθώσεις στο κείμενο.

Η κεντρική διάθεση γίνεται από το βιβλιοπωλείο των **ΕΚΔΟΣΕΩΝ ΖΗΤΗ**, Αρμενοπούλου 27, 546 35 Θεσσαλονίκη (τηλ.: 2310-203.720, fax: 2310-211.305, e-mail: sales@ziti.gr). Αποθήκη Αθηνών (χονδρική πώληση) Ασκληπιού 60, 114 71 Αθήνα (τηλ.-fax: 210-3816.650, e-mail: athina@ziti.gr). Για on-line παραγγελίες στο ηλεκτρονικό βιβλιοπωλείο www.ziti.gr.

Εικόνα εξωφύλλου: Ο Amerigo Vespucci στην Αμερική, χαρακτηριστικό του Giovanni Stradano (1589).

ISBN 978-960-456-175-9

© Copyright: Δ. Ρωσσικόπουλος, Εκδόσεις Ζήτη, Οκτώβριος 2009, Θεσσαλονίκη

Το παρόν έργο πνευματικής ιδιοκτησίας προστατεύεται κατά τις διατάξεις του ελληνικού νόμου (Ν.2121/1993 όπως έχει τροποποιηθεί και ισχύει σήμερα) και τις διεθνείς συμβάσεις περί πνευματικής ιδιοκτησίας. Απαγορεύεται απολύτως η άνευ γραπτής άδειας του εκδότη κατά οποιοδήποτε τρόπο ή μέσο αντιγραφή, φωτοανατύπωση και εν γένει αναπαραγωγή, εκμίσθωση ή δανεισμός, μετάφραση, διασκευή, αναμετάδοση στο κοινό σε οποιαδήποτε μορφή (ηλεκτρονική, μηχανική ή άλλη) και η εν γένει εκμετάλλευση του συνόλου ή μέρους του έργου

Ρολόγια νερού, άμμου, ηλιακά ρολόγια ακουμπισμένα στα τοιχώματα, αλλά κυρίως μηχανικά ρολόγια, τακτοποιημένα σε διάφορα ράφια και κιβώτια, ρολόγια που κινούνταν από την αργή κάθοδο βαρών και αντίβαρων, από τροχούς που δάγκωναν άλλους τροχούς, κι αυτοί με τη σειρά τους άλλους, ώσπου ο τελευταίος δάγκωνε τους δυο ανόμοιους δίσκους μιας κάθετης ράβδου, βάζοντάς την να διαγράψει δυο ημικύκλια σε αντίθετες διευθύνσεις, έτσι ώστε μ' αυτό το απρεπές λίκνισμά της κινούσε σαν εκκρεμές μια οριζόντια μπάρα συνδεδεμένη στο ανώτερο άκρο της. Ρολόγια με ελατήρια, όπου ένας αυλακωτός κώνος ξετύλιγε μια αλυσιδίτσα τραβηγμένη από την περιστροφική κίνηση ενός κυλίνδρου που την έπαιρνε κρίκο κρίκο. ... Τι δουλειά είχαν τόσα ρολόγια σ' ένα καράβι με ρότα σε θάλασσες όπου το πρωί και το βράδυ ορίζονται απ' την πορεία του Ήλιου και δεν χρειάζεται να ξέρεις τίποτ' άλλο;

Ουμπέρτο Έκο, *Το νησί της προηγούμενης ημέρας*
(Μετ. Έφη Καλλιφατίδη)

*Στη Στέλλα, το Νάσο και την Γεωργία,
που ορίζουν το δικό μου στίγμα.*

Περιεχόμενα

Πρόλογος	7
Το μήκος και το πλάτος της οικουμένης των Ελλήνων	11
Ρότες, προσανατολισμοί και αστέρια	35
Με τους τρόπους της Σελήνης	67
Τα φεγγάρια του Δία και η νέα χαρτογραφία	77
Παρατηρώντας τα φεγγάρια του Δία με το τηλεσκόπιο	97
Η επιτροπή του γεωγραφικού μήκους	107
Το εκκρεμές, η βαρύτητα και η Σελήνη	115
Η θεωρία της Σελήνης	123
Το έπαθλο	139
Επίλογος	147
Βιβλιογραφία	151

Πρόλογος

Τον Νοέμβριο του 1993 πεντακόσιοι περίπου άνθρωποι παρακολούθησαν το “Συμπόσιο του Μήκους” στο Κέμπριτζ της Μασαχουσέτης, ένα διεθνές συνέδριο για την ιστορία της εύρεσης του γεωγραφικού μήκους στα ωκεάνια ταξίδια. Ένας από τους οργανωτές του συνεδρίου κατά την εναρκτήρια ομιλία του έβγαλε από την τσέπη του ένα μικρό υπολογιστή παλάμης, πάτησε ένα πλήκτρο και εμφανίστηκαν στην οθόνη του τρεις αριθμοί: το μήκος, το πλάτος και το υψόμετρο της θέσης του. Με αυτήν την απλή πράξη ήθελε να δείξει πώς η επιστήμη και η τεχνολογία περιόρισαν το πρόβλημα του μήκους σε ένα μικρό “μαύρο κουτί”, που έδωσε την ακριβή απάντηση σε μια μικρή οθόνη, μέσα σε λίγα δευτερόλεπτα.

Το πρόβλημα του μήκους, που κάποτε ήταν η μεγαλύτερη πρόκληση που αντιμετώπισαν κυρίως τα κράτη με ναυτιλία, υπήρξε κορυφαίο στην ιστορία των επιστημών και άσκησε τεράστια επίδραση στην πρόοδο του δυτικού πολιτισμού, καθώς η λύση του επηρέασε και δρομολόγησε και πολλά άλλα επιστημονικά και τεχνολογικά επιτεύγματα. Είναι επομένως ένα θέμα ιδιαίτερου ιστορικού ενδιαφέροντος και ως τέτοιο αποτέλεσε πηγή έμπνευσης για τη σύγχρονη βιβλιογραφία, όχι μόνο της ιστορίας αλλά και της λογοτεχνίας, κυρίως στο είδος αυτό της επιστημονικής και μαθηματικής μυθοπλασίας που αναπτύχθηκε τα τελευταία χρόνια. Το σύνολο σχεδόν των συγγραφέων φαίνεται γοητευμένο από την τελική λύση στην υπόθεση του μήκους και με αυτήν ασχολείται στα έργα του: ένας ταπεινός και χαρισματικός άνθρωπος, ωρολογοποιός στο επάγγελμα, “τόλμησε” να πιστέψει σε μια μηχανική λύση και να κατασκευάσει το ρολόι που μετέφερε το χρόνο στα θαλάσσια ταξί-

δια. Και η ταπεινότητά του προκάλεσε το επιστημονικό κατεστημένο της εποχής. Οι λέξεις “κατεστημένο”, “μηχανοραφίες”, “διαπλοκή”, γοήτευαν και θα γοητεύουν πάντοτε τους συγγραφείς και το βιβλιοφιλο κοινό. Όμως οι ανταγωνισμοί, οι αντιδικίες, οι διαμάχες και οι αμφισβητήσεις είναι πολλές φορές στοιχεία της ιστορίας των επιστημών και δεν έχουν να κάνουν τόσο με την ταπεινότητα του χαρισματικού ωρολογοποιού. Ο ωρολογοποιός Harrison, ως ένας κρίκος και αυτός της ιστορίας, βρέθηκε στο επίκεντρο ανταγωνισμών, συγκρούσεων και διεθνών δολοπλοκιών, μαζί με ατρόμητους κακοποιούς και τυχοδιώκτες, ήρωες ναυτικούς, φιλόδοξους πολιτικούς, χαρισματικούς κατασκευαστές οργάνων και μεγάλους επιστήμονες.

Αξίζει λοιπόν να διηγηθούμε την ιστορία του μήκους από μια πιο αυστηρή μαθηματική σκοπιά, γιατί αυτή είναι και η πραγματική διάστασή της. Η ιστορία του μήκους είναι μια συλλογή ιστοριών και μύθων για τη ναυσιπλοΐα, τη χαρτογραφία και τη γεωδαισία, πρώτα απ’ όλα όμως είναι μια μαθηματική ιστορία. Και σε όλη αυτή τη λογοτεχνική βιβλιογραφία που αναπτύχθηκε τα τελευταία χρόνια σχεδόν αγνοείται, ίσως γιατί θεωρείται καλά γνωστό, ότι η σφαιρική Γη με το πλέγμα των νοητών κύκλων του πλάτους και του μήκους επινοήθηκε από τους έλληνες μαθηματικούς, γεωδαίτες και χαρτογράφους.

Ο Ίππαρχος ήταν αυτός που επινόησε το πλέγμα των γεωγραφικών συντεταγμένων και το κατέστησε εργαλείο για τη μέτρηση των αποστάσεων και των αζιμούθιων μεταξύ των διαφόρων τόπων στην επιφάνεια της Γης. Πρώτος κατανόησε πως ορίζοντας κανείς το γεωγραφικό πλάτος του με τη μέτρηση του ύψους του πολικού αστέρα επάνω από τον ορίζοντα και το γεωγραφικό μήκος του μετρώντας τη διαφορά ώρας ως προς έναν πρώτο μεσημβρινό, μπορεί να καθορίσει τη θέση του ακριβώς πάνω στη Γη χωρίς να χρειασθεί να διασχίσει τεράστιες αποστάσεις πάνω από δύσβατα και απάτητα βουνά και αφιλόξενες θάλασσες.

Ο Νίκος Καστάνης, καθηγητής της Ιστορίας των Μαθηματικών και της Μαθηματικής Εκπαίδευσης στο Αριστοτέλειο Πανεπιστή-

μιο Θεσσαλονίκης, προκάλεσε τη συγγραφή αυτού του βιβλίου όταν με κάλεσε, προτείνοντας μάλιστα και το θέμα, να πάρω μέρος στη σειρά των διαλέξεων που οργάνωσε στη Θεσσαλονίκη η ομάδα “Θαλής + Φίλοι”. Ευχαριστώ πολύ και τον Ευάγγελο Λιβιεράτο, καθηγητή της Γεωδαισίας και της Χαρτογραφίας, που διάβασε το κείμενο της ομιλίας μου και το επέλεξε ως θέμα του νέου βιβλίου στη σειρά “Ταξίδια με χάρτες σε τόπους και ουτοπίες”, που επιμελείται ο ίδιος και εκδίδει σε συνεργασία με τις εκδόσεις Ζήτη.



Το μήκος και το πλάτος της οικουμένης των Ελλήνων

Το γεωγραφικό πλάτος και μήκος αποτελούν το σύστημα των γεωγραφικών συντεταγμένων, ένα ζευγάρι αριθμών, με τη βοήθεια του οποίου μπορεί να καθορισθεί και να περιγραφεί η θέση ενός τόπου στην επιφάνεια της Γης. Γεωγραφικό πλάτος λέγεται η απόσταση πάνω στη γήινη σφαίρα ενός τόπου από τον ισημερινό, βόρεια ή νότια από αυτόν. Μετριέται σε μοίρες και αντιστοιχεί σε μια γωνία στο κέντρο της Γης που υπολογίζεται πάνω στο επίπεδο του μεσημβρινού, από τον ισημερινό προς τους πόλους. Γεωγραφικό μήκος είναι η απόσταση πάνω στη γήινη σφαίρα του τόπου από έναν μεσημβρινό, ο οποίος επιλέγεται ως η αρχή μέτρησης των μηκών ανατολικά ή δυτικά από τον τόπο. Ο μεσημβρινός-αρχή των μηκών λέγεται πρώτος (ή μηδενικός) μεσημβρινός. Μετριέται σε μοίρες και είναι το μήκος του τόξου πάνω στον ισημερινό που σχηματίζεται από τον πρώτο μεσημβρινό και το μεσημβρινό του τόπου¹. Οι δύο αυτές γεωγραφικές συντεταγμένες βασίζονται στο σχήμα της Γης και ως όροι χρησιμοποιήθηκαν για πρώτη φορά για να περιγράψουν την οικουμένη των Ελλήνων. Στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν ως εργαλείο, δημιουργήματα των ελλήνων αστρονόμων, γεωδαιτών, γεωγράφων και χαρτογράφων, για την αναπαράσταση του γήινου χώρου και του ουρανού.

1. Ο μεσημβρινός είναι ένας κύκλος που διέρχεται από τους πόλους της Γης και από το ζηνίθ του τόπου. Σε οποιονδήποτε τόπο, όταν ο Ήλιος περνάει από τον μεσημβρινό του είναι μεσημέρι. Η περιφέρεια του μέγιστου κύκλου που ισαπέχει από τους δύο πόλους καλείται ισημερινός. Όταν ο Ήλιος συναντά τον ισημερινό γίνεται ίση η ημέρα με τη νύχτα.

Ο πρώτος που αναφέρεται ότι κατασκεύασε χάρτη της οικουμένης είναι ο Αναξίμανδρος, φιλόσοφος και ταξιδευτής από τη Μίλητο και πιθανότατα ο αρχηγός της αποστολής που ίδρυσε την αποικία της Απολλωνίας. Η Μίλητος, με τις 90 περίπου αποικίες της, ήταν μεγάλο εμπορικό κέντρο και τα εμπορεύματά της ταξίδευαν από τις ακτές της Μαύρης Θάλασσας μέχρι το Δέλτα του Νείλου και από τη Μεσοποταμία, την κοιτίδα του Βαβυλωνιακού πολιτισμού, μέχρι τα άκρα της Μεσογείου. Στον χάρτη αυτόν η Ελλάδα βρίσκεται στο κέντρο, η ξηρά περικλείει την εσωτερική θάλασσα, μέρος της οποίας είναι η Μεσόγειος, ενώ περιβάλλεται από την εξωτερική θάλασσα, τον Ωκεανό. Η αφετηρία και ο προσανατολισμός του χάρτη ήταν μια επανάσταση της εποχής εκείνης και είναι λογικό να τα συνδέσουμε με παρατηρήσεις του Ήλιου, μια και ο Αναξίμανδρος θεωρείται ότι δίδαξε στους Έλληνες το γνώμονα και το ηλιακό ρολόι².

Ο Αναξίμανδρος πίστευε ότι η Γη έχει σχήμα κυλινδρικό με ύψος κυλίνδρου ίσο προς το ένα τρίτο της διαμέτρου του με μια ελαφρά κοίλη πάνω επιφάνεια όπου κατοικούν οι άνθρωποι και ότι ο πεπλατυσμένος αυτός κύλινδρος είναι τοποθετημένος στο κέντρο μιας τεράστιας σφαίρας, στην εσωτερική επιφάνεια της οποίας βρίσκονται οι αστέρες, που φαίνονται να περιστρέφονται γύρω από τον πόλο του ουράνιου θόλου. Σύμφωνα όμως με τον Διογένη το Λαέρτιο, το σχήμα της Γης είναι σφαιροειδές με πολλές ανωμαλίες που προέρχονται “*ἐκ τοῦ ὕδατος καὶ πυρὸς καὶ σεισμῶν καὶ ἀναφουσημάτων καὶ ἄλλων τοιούτων*”. Ο μαθητής του Αναξίμανδρου Αναξιμένης διαφοροποιείται ως προς την εικόνα του σύμπαντος και την παρουσιάζει όχι σφαιρική, αλλά ημισφαιρική, ενώ επιστρέφει στην αντίληψη ότι η Γη είναι μια αβαθής σκάφη που αιωρείται στον αέρα.

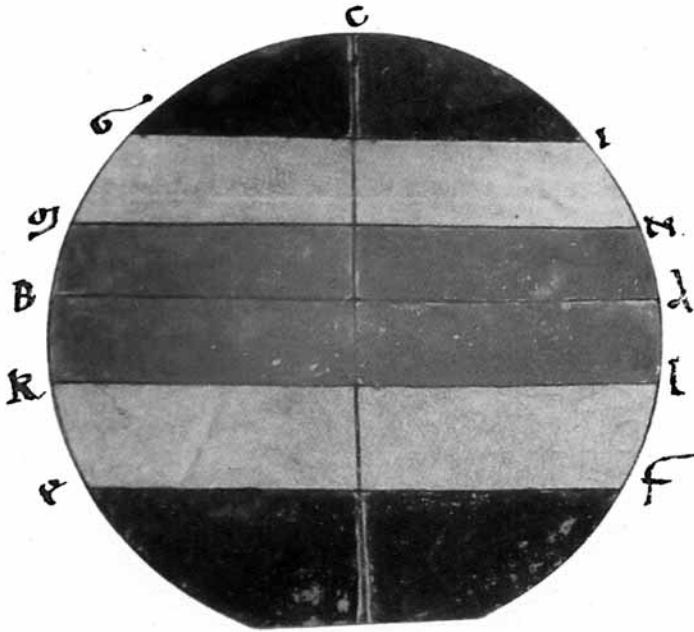
2. Το αρχαιότερο επιστημονικό όργανο μέτρησης και ίσως το μοναδικό πριν από τον 3ο αιώνα π.Χ., είναι ο γνώμονας, ένας στύλος στηριζόμενος κατακόρυφα σε οριζόντιο έδαφος. Η σκιά του αναπαριστά την πορεία του Ήλιου και χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό της διάρκειας της ημέρας, των εποχών και του έτους, για τον προσδιορισμό των ισημεριών και των σημείων του ορίζοντα, για την εκτίμηση του ύψους της εκλειπτικής και του γεωγραφικού πλάτους, για τον υπολογισμό αποστάσεων και υψών καθώς και για τη χάραξη ευθυγραμμίων και ορθών γωνιών. Πολύ ενδιαφέρον το βιβλίο του Robert Casati, *Η ανακάλυψη της σκιάς* (Εκδόσεις του Εικοστού Πρώτου, 2004).

Στα 499 π.Χ., μας πληροφορεί ο Ηρόδοτος, ο τύραννος της Μιλήτου Αρισταγόρας πήγε στη Σπάρτη για να ζητήσει βοήθεια και είχε μαζί του “ένα χάλκινο πίνακα όπου ήταν χαραγμένη η περιφέρεια όλης της Γης και όλες οι θάλασσες και όλοι οι ποταμοί”. Πρόκειται πιθανώς για τον χάρτη που κατασκεύασε ο Εκαταίος ο Μιλήσιος, βασισμένος στα ταξίδια του και στις πληροφορίες των ναυτικών και των εμπόρων. Τους χάρτες της εποχής αυτής, που αναπαριστούν έναν κυκλικό κόσμο, τους ειρωνεύτηκε ο Ηρόδοτος γιατί είχε στη διάθεσή του νέες γνώσεις: “Με πιάνουν όμως τα γέλια όταν βλέπω ότι πολλοί ως τώρα σχεδιάζουν χάρτες της Γης και όμως κανένας τους δεν εξήγησε λογικά τη μορφή του κόσμου”.

Η κοσμική αντίληψη των Ιώνων κυριάρχησε μέχρι τα χρόνια του Πυθαγόρα του Σάμιου, ο οποίος δίδαξε ότι η Γη είναι ένα σφαιρικό σώμα με κέντρο σταθερό, ότι είναι κατοικήσιμη και στο άλλο ημισφαίριο, εκτός από αυτό που βρίσκεται η Μεγάλη Ελλάδα και ότι οι πλανήτες κινούνται από δυτικά προς τα ανατολικά. Το κοσμικό αυτό σύστημα θεωρήθηκε ικανοποιητικό και υιοθετήθηκε από τον Πλάτωνα, όπως αναφέρεται στον *Τίμαιο*, μέχρι τον μεσαίωνα, όπως παρουσιάζεται από τον Δάντη στη *Θεία Κωμωδία*, για να καταρρεύσει τελικά αφού αμφισβητήθηκε από τις αποδείξεις του Κοπέρνικου, του Tycho Brahe και του Kepler.

Οπαδός της ιδέας της σφαιρικής Γης, σταθερής στο κέντρο ομόκεντρων σφαιρών που αναπαριστούν το σύμπαν, ήταν και ο Παρμενίδης ο Ελεάτης, επηρεασμένος πιθανώς από την πυθαγόρεια διδασκαλία. Διαίρεσε τη Γη σε πέντε ζώνες, τα *κλίματα*, ανάλογα με την κλίση των ακτίνων του Ήλιου: τις δύο πολύ κρύες πολικές ζώνες στον βορρά και στον νότο, την κεντρική ισημερινή άνυδρη ζώνη και μεταξύ αυτών τις δύο κατοικήσιμες εύκρατες. Ήταν αδύνατο να περάσει κανείς από τη μία εύκρατη ζώνη στην άλλη επειδή δεν μπορούσε να επιζήσει στην ισημερινή. Στη βόρεια εύκρατη ζώνη βρίσκεται η *οικουμένη* των Ελλήνων.

Τα επόμενα χρόνια οι εξελίξεις προχώρησαν ραγδαία και οι επιστήμες εμπλουτίστηκαν με τα μαθηματικά. Ο Φιλόλαος, πυθαγόρειος και σύγχρονος του Σωκράτη, περιέγραψε τη Γη να κάνει μία πλήρη



Οι πέντε ζώνες, ανάλογα με την κλίση των ακτίνων του Ήλιου, τα κλίματα. Στη μέση γύρω από τον ισημερινό η κεντρική ισημερινή άνυδρη ζώνη. Στον βορρά και τον νότο, δύο πολύ κρύες πολικές ζώνες. Μεταξύ αυτών ήταν οι δύο κατοικήσιμες εύκρατες ζώνες, αλλά ήταν αδύνατο να περάσει κανείς από τη μία εύκρατη ζώνη στην άλλη επειδή δεν μπορούσε να επιζήσει στην ισημερινή. Στη βόρεια εύκρατη ζώνη βρίσκεται η οικουμένη των Ελλήνων.

στροφή σε 24 ώρες γύρω από μια “κεντρική φωτιά”. Ο Ήλιος, η Σελήνη και οι πλανήτες περιστρέφονται επίσης γύρω από τη φωτιά αυτή, που είναι αόρατη γιατί βρίσκεται στην ακατοίκητη πλευρά της Γης. Για να φέρει τα σώματα που περιφέρονται γύρω από την κεντρική φωτιά στον απόκρυφο αριθμό δέκα, ο Φιλόλαος αξίωσε την ύπαρξη της “αντί-γης”, που παραμένει αόρατη γιατί κινείται ακριβώς όπως η Γη. Το σύστημα αυτό εξηγεί την καθημερινή κίνηση του Ήλιου και

των άστρων και εξασφαλίζει μια μέγιστης σπουδαιότητας για τους Έλληνες γεωμετρική αρμονία.

Το γεωκεντρικό σύστημα του Φιλολάου υιοθετήθηκε από τον Ηρακλείδη τον Πόντιο κατά τον 4ο αιώνα, ο οποίος του έδωσε μια γεωμετρική απλότητα, θεωρώντας ότι η κεντρική φωτιά βρίσκεται μέσα στη Γη και ότι η Γη κάνει μια περιστροφή γύρω από τον άξονά της σε 24 ώρες. Ο Ηρακλείδης προχώρησε ακόμα παραπέρα υποστηρίζοντας ότι καθώς ο Ήλιος περιστρέφεται γύρω από τη Γη, ο Ερμής και η Αφροδίτη περιστρέφονται γύρω από αυτόν. Η θεώρηση αυτή δεν έγινε αποδεκτή από τους Έλληνες γιατί ήλθε σε αντίθεση με τις θρησκευτικές πεποιθήσεις της εποχής εκείνης. Αναφέρεται όμως από πολλούς αρχαίους συγγραφείς, καλλιεργήθηκε αργότερα ακόμη περισσότερο από τον Αρίσταρχο το Σάμιο και έφθασε στον Κοπέρνικο, περίπου χίλια οχτακόσια χρόνια αργότερα.

Ένας από τους διαδόχους και συνεχιστές του Πυθαγόρα ήταν ο Οινοπίδης ο Χίος που διδάξε πρώτος την κατασκευή καθέτου σε ευθεία από σημείο εκτός αυτής, καθώς και την κατασκευή γωνίας δοθέντος μεγέθους από μια δεδομένη πλευρά και κορυφή. Σύγχρονος του Οινοπίδη ήταν ο Ιπποκράτης ο Χίος, στον οποίο αποδίδεται το πρώτο βιβλίο γεωμετρίας. Το όνομά του ταυτίζεται με δύο από τα διασημότερα προβλήματα της ιστορίας των μαθηματικών: τον “διπλασιασμό του κύβου” και το “τετραγωνισμό του κύκλου”. Ο διπλασιασμός του κύβου ή “Δήλιον πρόβλημα” προέκυψε όταν ρωτήθηκε το μαντείο των Δελφών από τους κατοίκους της Δήλου σχετικά με το τι έπρεπε να κάνουν ώστε να απαλλαγούν από το λοιμό που μάστιζε το νησί. Δόθηκε τότε η απάντηση ότι έπρεπε να διπλασιάσουν έναν κυβικό βωμό. Το πρόβλημα έγινε ευρύτερα γνωστό όταν σε μια αρχαία τραγωδία εμφανίστηκε ο Μίνωας ο βασιλεύς της Κρήτης να θρηνολογεί, επειδή το κενοτάφιο που προοριζόταν για το γιο του Γλαύκο ήταν πολύ μικρό και απαιτούσε να διπλασιασθεί, διατηρώντας όμως το κυβικό σχήμα του.

Τα δύο αυτά διάσημα προβλήματα της αρχαιότητας αναγνωρίστηκαν από νωρίς ως κεντρικά στην ανάπτυξη των ελληνικών μαθηματικών. Οι έλληνες μαθηματικοί του τετάρτου αιώνα π.Χ. εισήγαγαν τις

καμπύλες ανώτερου βαθμού ως βοηθητικά εργαλεία στη λύση τους.³ Μέχρι το τέλος του τέταρτου αιώνα, η μαθηματική μελέτη των καμπύλων αυτών καθαυτών, ειδικά των κωνικών τομών που είχαν την αφετηρία τους στη θεωρία των ηλιακών ωρολογίων, είχαν γίνει ο πυρήνας των ελληνικών μαθηματικών. Οι εργασίες των δύο μαθηματικών που έφθασαν τη μείζονα αυτή επιστήμη της αρχαιότητας στο κορύφωμά τους, του Αρχιμήδη και του Απολλώνιου, αναφέρονται κυρίως στα προβλήματα τα σχετικά με τις καμπύλες των κωνικών τομών. Η θεωρία τους άγγιξε ένα υψηλό σημείο τελειότητας και έγινε γρήγορα αντιληπτή η σημασία της για την επίλυση αλγεβρικών εξισώσεων.⁴

Τελευταίος των Πυθαγορείων θεωρείται ο Αρχύτας ο Ταραντίνος (428-365 π. Χ.), αστρονόμος και μηχανικός, του οποίου το τέλος σε νανάγιο στην Αδριατική θάλασσα μνημονεύει στους στίχους του ο Οράτιος τον αποκαλεί μετρητή της Γης, της θάλασσας και της αναρίθμητης άμμου. Επιφανείς μαθητές της Ακαδημίας του Πλάτωνα, του αποδίδουν τις *περί γῆς* φιλοσοφικές αντιλήψεις της Ακαδημίας και του ιδίου του Πλάτωνα. Από τους στίχους του Οράτιου φαίνεται ότι ασχολήθηκε με τη μέτρηση της περιμέτρου της Γης και ο χαρακτη-

3. Οι πρώτες αποδείξεις των κανόνων για την εύρεση εμβαδών και όγκων αναπτύχθηκαν από τον Εύδοξο τον Κνίδιο γύρω στα 367 π.Χ. Ένα περίπου αιώνα αργότερα ο Αρχιμήδης ανέπτυξε και εκμεταλλεύτηκε τη μέθοδο των προσεγγίσεων του Ευδόξου. Η μέθοδος αυτή, που τον 17ο αι. ονομάστηκε μέθοδος της εξαντλήσεως, αποτέλεσε τον πρόδρομο του ολοκληρωτικού λογισμού.

4. Η σχέση μεταξύ των μαθηματικών και του προβλήματος του γεωγραφικού μήκους στα μεγάλα ταξίδια φωτίζεται σε όλες τις σημαντικές πτυχές της με το παράδειγμα των Ελληνικών Μαθηματικών που έφερε σε μια διάλεξή του ο μαθηματικός Bruce Chandler, καθηγητής του City University της Νέας Υόρκης: Οι καμπύλες του Αρχιμήδη και του Απολλώνιου έγιναν οι καμπύλες του κόσμου στην εργασία του Kepler, οι καμπύλες της κίνησης των σωμάτων στην εργασία του Γαλιλαίου και το κύριο αντικείμενο μελέτης στην αναλυτική γεωμετρία του Descartes. Χωρίς τους νόμους των ελλειπτικών τροχιών των πλανητών του Kepler, χωρίς τη μελέτη της κίνησης των γήινων σωμάτων του Γαλιλαίου και χωρίς τη ενοποίηση όλων αυτών των ιδεών στις *Αρχές* του Νεύτωνα, δεν θα είχε υπάρξει καμία ακριβής σεληνιακή θεωρία και καμία δυνατότητα εύρεσης του γεωγραφικού μήκους στα ωκεάνεια ταξίδια με τα αστρονομικά μέσα. Χωρίς το ενδιαφέρον για τις ιδιότητες των καμπύλων στο δέκατο έβδομο αιώνα, το *Horologium Oscillatorium* του Huygens δεν θα είχε επίσης γραφεί.

ρισμός “μετρητής της άπειρης άμμου” θυμίζει το σύγγραμμα “Ψαμμίτης” του Αρχιμήδη, όπου ο μεγάλος μαθηματικός και εφευρέτης ασχολείται με πολύ μεγάλους αριθμούς, τέτοιας τάξης ώστε να αριθμούν τους κόκκους της άμμου που περιέχονται σε σφαίρα ίδιου μεγέθους με τη Γη.

Σύγχρονος του Σωκράτη και του Αριστοφάνη, ο Μέτων ο Αθηναίος, εισήγαγε την περίοδο των 19 ετών, τον κύκλο του Μέτωνος, ώστε να υπολογίσει τη διάρκεια του έτους σε 365 μέρες, 6 ώρες, 18 λεπτά και 56 δευτερόλεπτα. Κατασκεύασε ηλιακό ρολόι που εγκατέστησε στην Πνύκα και ένα ημερολόγιο σε μαρμάρινη πλάκα που εγκατέστησε στον Κολωνό και στο οποίο αναγράφονταν αστρονομικές και μετεωρολογικές πληροφορίες για κάθε ένα από τα 19 έτη.

Τον 5ο και 4ο αιώνα ο Πλάτων και ο Αριστοτέλης ήταν ικανοποιημένοι με το μοντέλο της σφαιρικής Γης, κυρίως επειδή θεωρούσαν τη σφαίρα ως το πιο τέλει απ’ όλα τα στερεά. Η Γη είναι το κέντρο του σύμπαντος επειδή αυτός είναι ο φυσικός της χώρος. Δεν περιστρέφεται, επειδή η περιστροφή αρμόζει περισσότερο στην ουράνια σφαίρα. Ο Πλάτων θεωρούσε έναν πεπερασμένο σφαιρικό κόσμο με το εξωτερικό στερέωμα να περιστρέφεται μια φορά σε 24 ώρες και οι πλανήτες με θεϊκή λαμπρότητα, να περιστρέφονται σε αντίθετη διεύθυνση σε κυκλικές τροχιές. Γνώριζε όμως ότι αυτό το ανιμιστικό και υπεραπλοποιημένο σύστημα δεν κάλυπτε τις ακανόνιστες κινήσεις των πλανητών όπως καταγράφονταν από τις αστρονομικές παρατηρήσεις και πρότεινε το περίφημο πρόβλημα της εύρεσης ενός συστήματος “σώζοντος τα φαινόμενα”.

Τη μεγαλειώδη στη σύλληψή της λύση έδωσε ο Εύδοξος ο Κνίδιος, με το αξιόλογο σύστημα των ομόκεντρων σφαιρών. Τέσσερεις σφαίρες αντιστοιχούν σε κάθε πλανήτη και για τον Ήλιο τρεις. Η συνισταμένη κίνηση των τεσσάρων σφαιρών αντιστοιχεί στην κίνηση του πλανήτη. Το σύστημα ήταν ένα αριστούργημα της εφαρμοσμένης γεωμετρίας, αν και ο Εύδοξος το θεωρούσε ένα απλό μαθηματικό εργαλείο. Το πλανητικό αυτό σύστημα βελτιώθηκε από τον μαθητή του Εύδοξου τον Κάλιππο και αργότερα από τον Αριστοτέλη, τον τελευταίο υποστηρικτή αυτής της άποψης.

Από το 340 π.Χ. ο Αριστοτέλης στο σύγγραμμά του “περί ουρανού” υποστήριζε την πεποίθησή του για τη σφαιρικότητα της Γης με δύο επιχειρήματα: Το πρώτο βασιζόταν στο κυκλικό σχήμα που έχει η σκιά της Γης πάνω στη Σελήνη κατά την έκλειψη της. Το δεύτερο στην παρατήρηση των ελλήνων ταξιδιωτών ότι ο πολικός αστέρας φαίνεται χαμηλότερα στο στερέωμα όταν κάποιος βρίσκεται στις νο-



Η γήινη σφαίρα και η οικουμένη, φιλοτεχνημένη στη Φλωρεντία το 1465, από λατινικό χειρόγραφο της Γεωγραφίας του Πτολεμαίου. Τη νέα αυτή χαρτογραφική αντίληψη του επιμήκους σχήματος της κατοικημένης Γης που καταλαμβάνει σχεδόν όλη την επιφάνεια της σφαίρας την εισήγαγε ο Αριστοτέλης.

τιότερες περιοχές της Γης και ψηλότερα όταν βρίσκεται βορειότερα. Αναφέρει μάλιστα ότι από τη διαφορά των φαινομένων θέσεων του πολικού αστέρα στην Ελλάδα και την Αίγυπτο, οι μαθηματικοί της εποχής του υπολόγισαν το μήκος της περιμέτρου της Γης σε 400.000 στάδια περίπου.

Ο Αριστοτέλης εισήγαγε και τη νέα χαρτογραφική αντίληψη όπου το σχήμα της κατοικημένης Γης είναι επίμηκες και καταλαμβάνει σχεδόν όλη την επιφάνεια της σφαίρας. Οι χάρτες που αναπαριστούν κυκλική την οικουμένη, βασισμένοι στα σχήματα του Αναξιμανδρου και του Εκαταίου, φαίνεται ότι εξακολουθούν να κυκλοφορούν στην εποχή του, αν και από τον 5ο αι. ο Δημόκριτος και ο Εύδοξος ο Κνίδιος κατασκεύασαν χάρτες αναπαριστώντας την οικουμένη ως έλλειψη. Ο Αριστοτέλης στα Μετεωρολογικά του, που τοποθετούνται περίπου στο 334 π.Χ., αντιμετωπίζει τους χάρτες αυτούς με σκωπτικό τρόπο, όπως παλαιότερα και ο Ηρόδοτος. Στο επίμηκες αυτό σχήμα και πιθανότατα στον Αριστοτέλη οφείλονται οι όροι *μήκος* και *πλάτος*, που αρχικά όριζαν τις διαστάσεις της οικουμένης.

Η πραγματική όμως τομή στη χαρτογραφία επρόκειτο να γίνει με την εκστρατεία του Μεγάλου Αλεξάνδρου, όπου οι μηχανικοί του και οι μαθητές του Αριστοτέλη με πρώτο τον Δικαίαρχο δημιούργησαν νέα γεωμετρικά πλαίσια που οδήγησαν στον ακριβέστερο προσδιορισμό των γεωγραφικών θέσεων. Δύο ορθογώνιοι άξονες διηρημένοι σε στάδια με αρχή τη Ρόδο, υλοποιούσαν το σύστημα αναφοράς του χάρτη του Δικαίαρχου. Ο άξονας στη διεύθυνση του μήκους, μια παράλληλη γραμμή προς τον Ισημερινό, διερχόταν από τη Ρόδο και τις στήλες του Ηρακλή ενώνοντας τους τόπους με την ίδια διάρκεια της μεγαλύτερης μέρας και ονομαζόταν *διάφραγμα*. Ο χάρτης του Δικαίαρχου εγκαινίασε το σύστημα των ορθογωνίων συντεταγμένων, που χρησιμοποιήθηκε και από τον Ερατοσθένη μέχρι και τον Ίππαρχο. Οι θέσεις και οι αποστάσεις διαφόρων τόπων στην επιφάνεια της Γης προσδιορίζονταν *κατά πλάτος* και *κατά μήκος* και μετριόνταν σε στάδια.

Το πλάτος ενός τόπου μπορεί να υπολογισθεί από τις μετρήσεις της γωνίας ύψους του ουράνιου πόλου και των αστέρων που μεσου-

ρανούσαν πάνω από τον ορίζοντα και από τις μετρήσεις της σκιάς του Ήλιου με τη βοήθεια του γνώμονα. Πιο βολικές είναι οι μετρήσεις των γωνιών ύψους του Ήλιου το απόγευμα των ισημεριών, οπότε οι ακτίνες του Ήλιου είναι παράλληλες με τη διεύθυνση του ισημερινού. Ο Πυθέας ο Μασσαλιώτης πρώτος χρησιμοποίησε τον γνώμονα για να προσδιορίσει τις θέσεις της Μασσαλίας και των διαφόρων πόλεων που πέρασε⁵ στους περίπλοές του. Δεν είναι βέβαιο αν είχε κατανοήσει τη σχέση του πλάτους ενός τόπου και της γωνίας ύψους του Ήλιου. Ούτε αν σκοπός του ήταν ο προσδιορισμός της θέσης των πόλεων ή η μέτρηση των μεταξύ τους αποστάσεων ή ο προσδιορισμός της γήινης περιμέτρου. Οι μετρήσεις του όμως απέκτησαν ανεκτίμητη αξία για τον Δικαίαρχο, τον Ερατοσθένη και τον Ίππαρχο που ακολούθησαν. Την ίδια εποχή, μετρήσεις με γνώμονα έκανε και ο Φίλων ο Γεωγράφος στην Ερυθρά Θάλασσα και κατά μήκος του Νείλου.

Οι γραμμές του πλάτους και του μήκους ως πλέγμα στο οποίο ορίζονται οι συντεταγμένες σημείων, εμφανίστηκαν για πρώτη φορά στους χάρτες του Ερατοσθένη, διευθυντή της βιβλιοθήκης της Αλεξάνδρειας και φίλου του Αρχιμήδη, με τον οποίο αλληλογραφούσε. Ως βιβλιοθηκάριος στην αλεξανδρινή μεγαλούπολη της εποχής είχε στη διάθεσή του το σύνολο των τότε γνωστών επιστημονικών κειμένων και ήταν ο πρώτος που περιγράφει και χρησιμοποιεί επιστημονικές μεθόδους μετρήσεων για τον καθορισμό του μεγέθους της Γης.⁶

5. Η διχοτόμος της γωνίας μεταξύ δύο σκιών του γνώμονα ίσου μήκους όριζε τον μεσημβρινό, ενώ ο λόγος του μήκους της μεσημεριανής σκιάς κατά την ισημερία προς το μήκος του γνώμονα είναι η εφαπτομένη της γωνίας που αργότερα ονομάστηκε γεωγραφικό πλάτος.

6. Η ιδέα του μεγέθους της Γης απασχόλησε τους Έλληνες από πολύ νωρίς. Στις Νεφέλες ο Αριστοφάνης έδωσε τον ορισμό της γεωμετρίας ως της επιστήμης που ασχολείται με τη μέτρηση όλης της Γης. Ο Οράτιος αποκάλυψε τον Αρχύτα μετρητή της Γης και της θάλασσας. Ο Αριστοτέλης έδωσε την πρώτη τιμή για τη γήινη περίμετρο, 400.000 στάδια, αναφέροντας ότι υπολογίστηκε από μαθηματικούς χωρίς να τους κατονομάζει, πιθανολογείται ωστόσο ότι είναι ο Εύδοξος ο Κνίδιος και οι μαθητές του. Η επόμενη τιμή, 300.000 στάδια, δόθηκε από τον Αρχιμήδη στο έργο του Ψαμμίτης και αποδίδεται στον Δικαίαρχο τον Μεσσήνιο ή κατ' άλλους στον Αρίσταρχο τον Σάμιο. Ακολούθησε η αυστηρότερη μέτρηση του Ερατοσθένη και αργότερα του Ποσειδώνιου. Στο χρονικό της μέτρησης της Γης από τον Ερατοσθένη αναφέρεται το μυθιστόρημα του Denis Guedj, *Τα αστέρια της Βερενίκης* (εκδόσεις Ψυχογιός, 2005).

Για να κατασκευάσει όμως τον χάρτη του δε χρησιμοποίησε συντεταγμένες, αλλά επινόησε το σύστημα των *σφραγίδων* η *πλινθίων*. Σχεδίασε το περίγραμμα και τον χάρτη ενός τόπου σύμφωνα με τις περιγραφές των βηματιστών, του Φίλωνα, του Πυθέα και όλων των προγενεστέρων περιηγητών και το τοποθέτησε στον χάρτη του.

Το σύστημα προβολής που χρησιμοποίησε ο Ερατοσθένης και ο τρόπος ταξιθέτησης των διαφόρων τόπων στον χάρτη του, δέχθηκε την κριτική του Ίππαρχου από τη Νίκαια, του θεμελιωτή της αστρονομίας και της τριγωνομετρίας. Ο Ίππαρχος πρότεινε να διαιρεθεί ο μεσημβρινός σε 360 μοίρες και καθόρισε σε 700 στάδια το μήκος μιας μοίρας στον μεσημβρινό, με βάση τις μετρήσεις του Ερατοσθένη. Επιπλέον, υπολόγισε το γεωγραφικό πλάτος διαφόρων τοποθεσιών, δίνοντας τη δυνατότητα της δημιουργίας ενός σωστού χάρτη στο μέτρο που τα σημεία μπορούσαν να τοποθετηθούν το ένα από το άλλο σε μια σχέση βορρά-νότου. Το πρόβλημα του προσδιορισμού του μήκους όμως, όπως άρχισε να διαφαίνεται, είναι το δυσκολότερο και θα παραμείνει τελικά άλυτο για άλλους 18 περίπου αιώνες. Ο Ίππαρχος ανέφερε ότι η διαφορά του μήκους δύο τόπων δεν μπορεί να βρεθεί με κανέναν άλλο τρόπο, παρά μόνο με τις τοπικές χρονικές διαφορές που υπολογίζονται από τις εκλείψεις της Σελήνης και ότι, γενικότερα, οι θέσεις των τόπων πρέπει να βρίσκονται με τη βοήθεια της αστρονομίας. Για παράδειγμα, η έκλειψη της Σελήνης στις 20 Σεπτεμβρίου του 331 π.Χ. συνέβη έντεκα μέρες πριν από τη μάχη στα Άβδηρα, όπου ο Μέγας Αλέξανδρος νίκησε το Δαρείο Γ', τον βασιλιά της Περσίας. Οι ιστορικοί του Αλέξανδρου αναφέρουν ότι η έκλειψη συνέβη την πέμπτη ώρα, ενώ στην Καρθάγη της Βόρειας Αφρικής, την ιστορική πόλη της Καρχηδόνας, η ίδια έκλειψη καταγράφηκε τη δεύτερη ώρα. Αυτές οι τρεις ώρες διαφορά αντιστοιχούν σε διαφορά γεωγραφικού μήκους 45 μοιρών.⁷ Ο Ίππαρχος όρισε τη μαθηματική έννοια του μήκους συνδέοντάς τη με τον χρόνο. Το μήκος και ο χρόνος είναι έννοιες αναπόσπαστα δεμένες με την περιστροφή της Γης

7. Ο Πτολεμαίος σχολιάζει την ιστορική αυτή έκλειψη και δίνει τη διαφορά μήκους για τις δύο πόλεις ίση με 45° και 10'.

γύρω από τον άξονά της, καθώς σε 24 ώρες η Γη πραγματοποιεί μια πλήρη περιστροφή 360 μοιρών. Επομένως, μέσα σε μια ώρα η Γη περιστρέφεται κατά 15 μοίρες και η διαφορά μιας ώρας μεταξύ δύο τόπων αντιστοιχεί σε διαφορά μήκους 15 μοιρών. Για να αυξήσει την ακρίβεια των γωνιακών μετρήσεων κατασκεύασε βαθμολογημένα (μετρητικά με κλίμακα ανάγνωσης) όργανα· για την ανάλυση των παρατηρήσεών του επινόησε και θεμελίωσε την τριγωνομετρία· για να περιγράψει τον φυσικό κόσμο χρησιμοποίησε απλά γεωμετρικά πρότυπα. Ο Άρατος στα *Φαινόμενα* αναφέρει ότι ο Ίππαρχος είχε υπολογίσει τη διαφορά μεταξύ της ηλιακής και της αστρικής ημέρας (το διάστημα μεταξύ δύο διαδοχικών επιστροφών ενός απλανούς αστέρος στον μεσημβρινό) και είχε συντάξει έναν κατάλογο 44 αστέρων με ορθή αναφορά ανά 15 μοίρες, έτσι ώστε τουλάχιστον ένα να βρίσκεται στον μεσημβρινό στην αρχή κάθε αστρικής ώρας, για να προσδιορίζει την ώρα στη διάρκεια της νύχτας.

Ο Μαρίνος ο Τύριος, σύμφωνα με τις αναφορές του Πτολεμαίου, είχε κατασκευάσει πρώτος ναυτικό χάρτη με μήκη και πλάτη και καθιέρωσε ως πρώτο μεσημβρινό εκείνον που διέρχεται από τις νήσους των Μακάρων (Καναρίους Νήσους). Επέλεξε τον μεσημβρινό των Μακάρων ως μεσημβρινό αναφοράς των γεωγραφικών μηκών, επειδή αυτά τα νησιά ήταν το δυτικότερο μέρος του τότε γνωστού κόσμου.⁸

Οι Έλληνες πριν από το Μαρίνο καθόριζαν συνήθως το γεωγραφικό πλάτος μιας θέσης ως τη διάρκεια της ημέρας του θερινού ηλιοστασίου. Όπως αναφέρει ο Γέμινος στην *Εισαγωγή στα φαινόμενα*, η Ρόδος ανήκει στο κλίμα των δεκατεσεράμιση ωρών. Ένας άλλος τρόπος ορισμού του γεωγραφικού πλάτους ήταν ως προς τα μήκη των ισημερινών σκιών. Τα γεωγραφικά μήκη ορίζονταν συχνά ως χρονική διαφορά από την Αλεξάνδρεια. Στα σχετικά εγχειρίδια, που άρχισαν να κυκλοφορούν όλο και συστηματικότερα, οι θέσεις των

8. Σύμφωνα με τον Νικόλαο Φωτεινό (Marin De Tyr, Grand géographe Crec et dessinateur de la carte marine actuelle. Athènes 1960), ο φλαμανδός χαρτογράφος Gerard de Cremer ή Gerardus ή Μερκάτωρ, σφετερίσθηκε την προβολή του Μαρίνου και την εφάρμοσε το 1559 στον παγκόσμιο χάρτη του, που από τότε καθιερώθηκε ως μερκατορική προβολή.

διαφόρων τόπων δίνονταν με τις αποστάσεις τους ή τους χρόνους ταξιδιού τους. Και ενώ υπάρχουν παραδείγματα των προηγούμενων χρήσεων των γεωγραφικών πλατών και των γεωγραφικών μηκών σε μοίρες, φαίνεται ότι αυτή η χρήση δεν γινόταν συστηματικά έως ότου η *Γεωγραφική Ύφήγησις* του Κλαύδιου Πτολεμαίου, τον 2^ο αι. μ.Χ. καθιέρωσε τη διάδοση αυτής της προσέγγισης.

Με το πρόβλημα του μήκους και του πλάτους είναι συνδεδεμένο και το πρόβλημα της μέτρησης των αποστάσεων των τόπων μεταξύ τους, καθώς και το μήκος της περιμέτρου της Γης. Τα γεωγραφικά μήκη υπολογίζονται σε στάδια από τα οδοιπορικά και τις θαλάσσιες διαδρομές (περίπλοες). Στο σύγγραμμά του *Περί Διόπτρας*, ο Ήρων ο Αλεξανδρεύς ασχολήθηκε και με τη μέτρηση των μεγάλων αποστάσεων. Περιέγραψε το οδόμετρο, όργανο τοποθετημένο σε τροχήλατο όχημα, που μετρά των αριθμό των στροφών τροχού γνωστής διαμέτρου μετατρέποντάς το σε μονάδες μήκους. Εκτός από το χερσαίο οδόμετρο, στο ίδιο σύγγραμμα περιέγραψε και το θαλάσσιο παρόμοιο όργανο, το δρομόμετρο, όπου ένας πτερυγιοφόρος τροχός έχει αντικαταστήσει τον τροχό του οχήματος. Πριν από τον Ήωνα όμως έχουμε περιγραφή του οδόμετρου και από το Βιτρούβιο και από άλλους συγγραφείς που το αποδίδουν ως εφεύρεση στον Αρχιμήδη. Κατασκευάστηκε πιθανότατα το 240 π.Χ. από τον μεγάλο μηχανικό, με σκοπό τις εργασίες μετρικής σήμανσης της Αππίας οδού.

Το οδόμετρο του Ήωνα είναι τεχνολογικά πιο κομψό από αυτό που περιγράφει ο Βιτρούβιος. Η αρχική κίνηση μεταδίδεται μέσω μιας ακίδας στην πλήμνη του τροχού του οχήματος, η οποία προωθεί ένα δίσκο που φέρνει οκτώ πύρους, από έναν πύρο ανά περιστροφή. Από κει και μετά η κίνηση μεταδίδεται σε μια σειρά κοχλιών και γρανάζιών. Οι άξονες που φέρνουν τους κοχλίες και τα γρανάζια είναι διαδοχικά κάθετοι και οριζόντιοι και καταλήγουν σε δείκτες πάνω σε βαθμολογημένους δίσκους στο πάνω μέρος και στα πλαϊνά του κιβωτίου που περικλείει όλο αυτό το σύστημα.

Παρόμοιο είναι και το θαλάσσιο δρομόμετρο που περιγράφει στο τέλος του συγγράμματός του ο Ήωνας, όπου ένας πτερυγιοφόρος τροχός, προσαρμοσμένος στο εξωτερικό του πλοίου, αντικαθιστά τον

τροχό του οχήματος. Η κίνηση μεταδίδεται σε ένα βαθμολογημένο δίσκο μέσω ενός συστήματος οδοντωτών τροχών, παρόμοιο με το οδόμετρο. Η θέση του στο κείμενο (αμέσως μετά την περιγραφή ενός ανυψωτικού μηχανισμού, του βαρούλκου, που δεν έχει σχέση με τη διοπτρική) και ο διαφορετικός τρόπος γραφής κάνει τους μελετητές των έργων του αλεξανδρινού μηχανικού να πιστεύουν ότι το κομμάτι αυτό δεν είναι του Ήρωνα, αλλά κάποιου μεταγενέστερου αντιγραφέα.⁹

Αμέσως μετά την περιγραφή του οδόμετρου στο έργο του *Περί Διόπτρας*, ο Ήρων αναλύει μια τεχνική μέτρησης-υπολογισμού της απόστασης μεταξύ της Αλεξάνδρειας και της Ρώμης, χρησιμοποιώντας τη διαφορά χρόνου μιας έκλειψης που καταγράφηκε ταυτόχρονα στους δύο τόπους για τον ενδιαμέσο υπολογισμό του γεωγραφικού μήκους. Στο διάστημα των 300 χρόνων που μεσολαβεί από τον Ίππαρχο έως τον Πτολεμαίο, είναι η μοναδική αναφορά υπολογισμού του γεωγραφικού μήκους με την αστρονομική αυτή μέθοδο.

Έστω ότι χρειάζεται να μετρηθεί η ευθεία απόσταση μεταξύ Ρώμης και Αλεξάνδρειας, δηλαδή η απόσταση επάνω σε μέγιστο κύκλο περιφέρειας της Γης, λαμβάνοντας υπόψη μας πως η περίμετρος της Γης είναι 252.000 στάδια, όπως τη μέτρησε με πολύ μεγαλύτερη ακρίβεια από όλους τους άλλους ο Ερατοσθένης, που ασχολήθηκε με το θέμα αυτό, στο βιβλίο του με τον τίτλο “περί της αναμετρήσεως της Γης”. Παρατηρείται λοιπόν η ίδια έκλειψη Σελήνης και στη Ρώμη και στην Αλεξάνδρεια. Και αν η έκλειψη αυτή περιλαμβάνεται σε αυτές που έχουν καταγραφεί, θα χρησιμοποιήσουμε αυτή. Αν όχι, τότε μπορούμε να αποφασίσουμε εμείς οι ίδιοι κάνοντας την παρατήρηση, μια και εκλείψεις Σελήνης γίνονται κάθε 5 με 6 μήνες.

9. Το δρομόμετρο αυτό παρουσίασε το 1667, την εποχή που μια ακριβής μέθοδος προσδιορισμού του μήκους ήταν στις προτεραιότητες της Βασιλικής Ακαδημίας των Επιστημών, ένας ανώνυμος γερμανός εφευρέτης στον Λουδοβίκο τον 14ο, δηλώνοντας ότι είχε βρει μια ιδανική και τέλεια λύση. Ο βασιλιάς του χορήγησε αμέσως ένα δίπλωμα ευρεσιτεχνίας και του πλήρωσε 60.000 livres σε μετρητά. Η επιτροπή που μελέτησε τη συσκευή εγκωμίασε την ευστροφία του εφευρέτη, στην έκθεσή της όμως προς το βασιλιά περιέγραψε τις επιδράσεις των παλιρροιών και των θαλάσσιων ρευμάτων στην αξιοπιστία της.

Στη συνέχεια ο Ήρων επιλύει το πρόβλημα με τη χρήση μεσημβρινών, του αναλήμματος της Ρώμης¹⁰, παρατηρήσεων με γνώμονα, ημερήσιους κύκλους κ.ά. και υπολογίζει σε 20 μοίρες το τόξο του μέγιστου κύκλου, που ορίζεται από τις δυο πόλεις. Θεωρώντας, σύμφωνα με τον Ερατοσθένη, ότι 1 μοίρα αντιστοιχεί σε 700 στάδια (ή, πιο σωστά, σύμφωνα με τον Ίππαρχο που πρότεινε να διαιρεθεί ο μεσημβρινός σε 360° και καθόρισε σύμφωνα με τις μετρήσεις του Ερατοσθένη το μήκος μιας μοίρας σε 700 στάδια), η απόσταση Αλεξάνδρειας-Ρώμης υπολογίζεται σε 14.000 στάδια. Εξαιτίας όμως των κενών που υπάρχουν στο αρχαίο κείμενο και των διάφορων επεμβάσεων των αντιγραφών, δεν μπορούμε να έχουμε μια σαφή εικόνα για την ακριβή μέθοδο υπολογισμού που χρησιμοποιήθηκε.

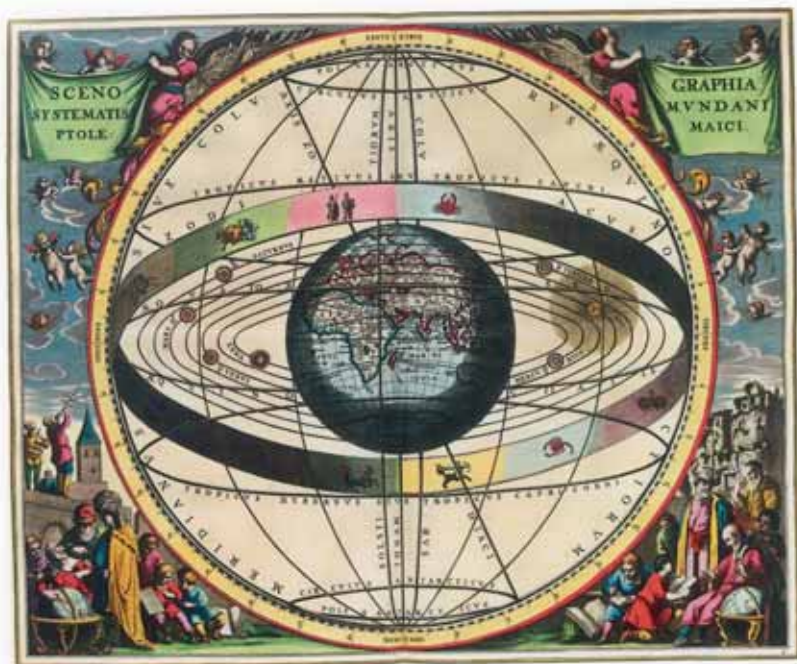
Ο Πτολεμαίος είχε την ίδια άποψη με τον Ίππαρχο, θεωρώντας ότι αυτά που προκύπτουν από την εφαρμογή αστρονομικών μεθόδων, πρέπει να προτιμώνται από τις αφηγήσεις των ταξιδιωτών. Το πιο διαδεδομένο έργο του Πτολεμαίου, η *Γεωγραφική Υφήγησις* σε οκτώ βιβλία, αποτελεί την αρχή της προβολικής χαρτογραφίας. Εκεί καταγράφεται για πρώτη φορά το γεωγραφικό μήκος και πλάτος οκτώ χιλιάδων περίπου τόπων της τότε γνωστής οικουμένης. Τα γεωγραφικά μήκη υπολογίζονται με αρχή τις Μακάρους Νήσους και τα γεωγραφικά πλάτη από τον ισημερινό. Όμως τελικά και ο Πτολεμαίος δεν μπόρεσε να αποφύγει τις αβέβαιες αφηγήσεις των ταξιδιωτών και τις εξίσου αβέβαιες μετρήσεις των αποστάσεων από τους βηματιστές και τα οδόμετρα. Οι διαφορές των τιμών του μήκους στη γεωγραφία του Πτολεμαίου από τις αντίστοιχες σημερινές φτάνουν μέχρι και τις 30 μοίρες στην περιοχή της Μεσογείου, ενώ στο πλάτος δεν υπερβαίνουν τις τρεις μοίρες.¹¹

10. Ανάλημα είναι το αποτύπωμα των θέσεων του Ήλιου όπως διαγράφεται από τις θέσεις σε συγκεκριμένη ώρα της ημέρας από έναν τόπο καθ' όλο το έτος. Δίνει παραστατικά την τροχιά του Ήλιου για διάστημα ενός έτους κάθε ώρα. Εδώ υπονοείται το ηλιακό ρολόι που φέρει χαραγμένο σε στερεογραφική προβολή τον χάρτη του ουρανού με το ανάλημα για κάθε ώρα και τη θέση των αστεριών, όπως παρατηρούνται από τη Ρώμη.

11. Σχετικά με το θέμα αυτό και γενικότερα με την ιστορία της χαρτογραφίας βλ. το βιβλίο του Ε. Λιβιεράτου, *25 Αιώνες Χαρτογραφίας και Χαρτών. Μια περιήγηση από τους Ίωνες στον Πτολεμαίο και το Ρήγα* (Εκδόσεις Ζήτη, 2007).

... Η απόσταση, που βρίσκεται μέσω μιας παρατήρησης των άστρων, δείχνει με ακρίβεια όλα αυτά τα πράγματα και επιπλέον δείχνει τι μέρος της περιφέρειας τέμνουν με τη σειρά τους οι παράλληλοι κύκλοι και οι μεσημβρινοί που διέρχονται από τα διάφορα μέρη. Με άλλα λόγια, τι μέρος της περιφέρειας των παραλλήλων κύκλων και του ισημερινού τέμνουν οι μεσημβρινοί ή τι μέρος των μεσημβρινών τέμνουν οι παράλληλοι κύκλοι και ο ισημερινός. Μετά από αυτό, μπορούμε εύκολα να δούμε πόσο διάστημα υπάρχει ανάμεσα στα δύο μέρη πάνω στη περιφέρεια του μεγάλου κύκλου που διέρχεται από αυτά και γύρω από τη Γη. Ο σταδιασμός αυτός, μετά από προσεχτικούς υπολογισμούς, δεν απαιτεί τη περιγραφή των ταξιδιών στα διάφορα μέρη της Γης. Διότι, αρκεί να υποθέσουμε ότι η περίμετρος της Γης διαιρείται σε όσα μέρη θέλουμε και ότι κάποια από αυτά τα μέρη περιέχονται σε αποστάσεις που παρατηρήθηκαν στους μεγάλους κύκλους που πλαισιώνουν τη Γη. Διαιρώντας ολόκληρη την περίμετρο της Γης ή οποιοδήποτε μέρος αυτής, που έχει παρατηρηθεί από τις μετρήσεις μας και είναι γνωστές ως σταδιασμοί, αποτελεί μια όχι και τόσο πειστική μέθοδο ...

Από τα διασημότερα έργα της αρχαιότητας είναι και η *Μαθηματική Σύνταξις* του Κλαύδιου Πτολεμαίου, που αργότερα ονομάστηκε Μεγάλη Σύνταξη ή Μεγίστη και με το όνομα Αλμαγέστα (από τα αραβικά) κυριάρχησε για αιώνες, κατέχοντας μέχρι σήμερα ιδιαίτερη ιστορική σπουδαιότητα. Το έργο, όπως τα Στοιχεία του Ευκλείδη και τα Αριθμητικά του Διόφαντου, διαιρείται σε 13 βιβλία. Το βιβλίο Α' περιλαμβάνει τις απαραίτητες προκαταρκτικές γνώσεις με βάση τη γεωκεντρική θεωρία. Το βιβλίο Β' περιλαμβάνει τη διαίρεση της ουράνιας σφαίρας σε ζώνες και περιγράφει τη φαινόμενη κίνηση των αστέρων. Στο βιβλίο Γ' δίνεται η διάρκεια του έτους και η ηλιακή θεωρία, ενώ η διάρκεια των μηνών και η σεληνιακή θεωρία δίνεται στο βιβλίο Δ'. Το βιβλίο Ε' ασχολείται με την περιγραφή και την κατασκευή του Αστρολάβου, του σημαντικότερου οργάνου των αστροσκοπειών μέχρι τα χρόνια του Tycho Brahe (1546-1601). Το βιβλίο ΣΤ' ασχολείται με τα φαινόμενα των "συζυγιών" και "αντιζυγιών" του Ήλιου και της Σελήνης και με τις εκλείψεις. Τα δύο επόμενα βιβλία



Ο κόσμος, όπως περιγράφεται στη Μεγίστη του Πτολεμαίου, εικόνα του Andreas Cellarius από τον άτλαντα του ουρανού Harmonia Macrocosmia. Τις γραμμές των εκλειπτικών συντεταγμένων, του ουράνιου μήκους και πλάτους, τις εισήγαγε για τον ορισμό της θέσης των αστεριών πιθανότατα ο Ίππαρχος, συστηματικά όμως τις χρησιμοποίησαν ο Τιμόχαρις και ο Αρίστυλλος από τον 3^ο π.Χ.

είναι αφιερωμένα στους απλανείς αστέρες, όπου δίνονται οι εκλειπτικές συντεταγμένες, τα πλάτη και τα μήκη, τα μεγέθη 1000 περίπου αστεριών, καθώς και η σημαντική ανακάλυψη του Ίππαρχου, η “μετάπτωση των ισημεριών”. Τα τελευταία βιβλία είναι αφιερωμένα το καθένα σε ένα πλανήτη, τον Ερμή, την Αφροδίτη, τον Άρη, το Δία και τον Κρόνο, χρησιμοποιώντας και εδώ τις εκλειπτικές συντεταγμένες για τον προσδιορισμό της θέσης τους. Σύμφωνα με τις αναφορές του Πτολεμαίου, ο Τιμόχαρις και ο Αρίστυλλος, από τον 3^ο αι. π.Χ. χρησι-

μποιούσαν συστηματικά τις εκλειπτικές συντεταγμένες, με αρχή του πλάτους την εκλειπτική και αρχή του μήκους τον κύκλο πλάτους του εαρινού ισημερινού σημείου, που ταυτίζεται με την αρχή του ζωδίου του Κριού¹². Για το μήκος δίνεται το ζώδιο μέσα στο οποίο βρίσκονται ο αστέρας και η γωνία σε βαθμούς και πρώτα λεπτά τόξου μεταξύ του πρώτου κύκλου του ζωδίου και του κύκλου του αστέρος.

Οι εκλειπτικές συντεταγμένες είναι αντίστοιχες των γεωγραφικών, με το επίπεδο της εκλειπτικής να αντικαθιστά το επίπεδο του ισημερινού. Το ουράνιο πλάτος είναι η απόσταση του άστρου από την εκλειπτική, ενώ το μήκος ορίζεται πάνω στην εκλειπτική με αρχή την εαρινή ισημερία που ταυτίζεται με την αρχή του ζωδίου του Κριού. Στα σχόλια του για τα φαινόμενα του Άρατου ο Ίππαρχος χρησιμοποιεί και τις ουρανογραφικές συντεταγμένες, την ορθή αναφορά και την απόκλιση του αστέρος, αντίστοιχα του μήκους και του πλάτους, όπου ως βασικοί κύκλοι λαμβάνονται ο ουράνιος ισημερινός και ο ωριαίος κύκλος του εαρινού ισημερινού σημείου. Τόσο οι εκλειπτικές όσο και οι ουρανογραφικές συντεταγμένες ενός αστέρος είναι ανεξάρτητες του τόπου όπου γίνονται οι παρατηρήσεις, αλλά και του χρόνου.

Στα κείμενά του ο Πτολεμαίος περιγράφει επτά όργανα μέτρησης γωνιών: τη *διόπτρα* (του Ίππαρχου), τον *επίπεδο αστρολάβο*, τον *σφαιρικό αστρολάβο* για τη μέτρηση των εκλειπτικών συντεταγμένων των αστερών, τον *παραλλακτικό κανόνα* και τον *τετράντα* για τη μέ-

12. Εκλειπτική είναι το επίπεδο που ορίζει ο μεγάλος κύκλος της ουράνιας σφαίρας που γράφει ο Ήλιος στην ετήσια κίνησή του. Η κάθετος στην εκλειπτική διάμετρος της ουράνιας σφαίρας λέγεται άξονας της εκλειπτικής και ορίζει το βόρειο και νότιο πόλο της σφαίρας. Οι μέγιστοι κύκλοι που διέρχονται από τους πόλους της ουράνιας σφαίρας λέγονται κύκλοι πλάτους. Η σφαιρική ζώνη της οποίας οι βάσεις είναι παράλληλοι προς την εκλειπτική και κείνται οκτώ μοίρες πάνω και κάτω από αυτήν, λέγεται ζωδιακός. Οι δώδεκα κύκλοι πλάτους που απέχουν μεταξύ τους κατά τριάντα μοίρες και από αυτούς ο πρώτος περνάει από το εαρινό ισημερινό σημείο, χωρίζουν τον ζωδιακό σε δώδεκα ίσα τμήματα που καλούνται ζώδια. Τα ζώδια κατά την ορθή φορά και με αρχή το εαρινό ισημερινό σημείο είναι: Κριός, Ταύρος, Δίδυμοι, Καρκίνος, Λέων, Παρθένος, Ζυγός, Σκορπιός, Τοξότης, Αιγόκερως, Υδροχόος και Ιχθύες.

τρηση κατακόρυφων γωνιών και την παράλλαξη της Σελήνης¹³, τον *ισημερινό κύκλο* για τον προσδιορισμό του χρόνου των ισημεριών και τον *μεσημβρινό ή τροπικό κύκλο* για τον προσδιορισμό του ύψους του Ήλιου κατά τη μεσουράνηση. Από τα γωνιομετρικά αυτά όργανα επινοήθηκαν και κατασκευάστηκαν από τον Πτολεμαίο ο *σφαιρικός αστρολάβος* και ο *παραλλακτικός κανόνας*, ενώ τα υπόλοιπα είχαν ήδη χρησιμοποιηθεί από τον Ίππαρχο και τους έλληνες αστρονόμους του 3ου π.Χ. αιώνα¹⁴.

... Με τη χρήση αυτών των οργάνων μπορεί να εντοπιστεί πολύ εύκολα η θέση του μεσημβρινού οπουδήποτε και ανά πάσα στιγμή και από αυτόν να βρεθούν οι αποστάσεις με βεβαιότητα που έχουν διανυθεί στα ταξίδια. Αλλά ακόμα και όταν αυτό έχει ολοκληρωθεί, ο σταδιασμός δεν μας δίνει σίγουρη πληροφορία, διότι τα ταξίδια σπανίως διέγραφαν ευθύγραμμη πορεία. Επειδή υπήρχαν πολλές αποκλίσεις τόσο στα επί ξηράς όσο και στα θαλάσσια ταξίδια, είναι απαραίτητο να υπολογίσουμε, όσον αναφορά ένα ταξίδι στην ξηρά, τη φύση και την έκταση της εκτροπής και πόσο αποκλίνει από την ευθύγραμμη πορεία και να αφαιρέσουμε μετά μια ποσότητα από τον αριθμό των σταδίων ώστε να μετατρέψουμε την πορεία σε ευθύγραμμη.

Ο αλεξανδρινοί Ήρων και Πτολεμαίος υπήρξαν οι τελευταίοι μεγάλοι των ελλήνων μαθηματικών. Και όπως λέει ο Loria στην ιστορία του

13. Η παράλλαξη του Ήλιου ή της Σελήνης ορίζεται ως η διαφορά στη διεύθυνση του ουράνιου σώματος όπως φαίνεται από τον παρατηρητή και από το κέντρο της Γης. Η παράλλαξη της Σελήνης προσδιορίστηκε για πρώτη φορά από τον Ίππαρχο. Οι αστέρες είναι πολύ μακρινοί και οι σκοπεύσεις τους από οποιοδήποτε σημείο της Γης θεωρούνται παράλληλες μεταξύ τους. Παράλλαξη αστέρος ονομάζεται η διαφορά στη θέση του αστέρος όπως φαίνεται από την Γη και τον Ήλιο.

14. Αν και το πτολεμαϊκό σύστημα για την περιγραφή του κόσμου άρχισε να καταρρέει όταν ο Γαλιλαίος έστρεψε το τηλεσκόπιο στον ουρανό, η πτολεμαϊκή παράδοση στην κατασκευή οργάνων κυριάρχησε μέχρι τα χρόνια του Tycho Brahe και αργότερα. Τα όργανα αυτά κατασκευάζονταν ακριβώς όπως περιγράφονται στη Μεγίστη, από μέταλλο όμως και φιλοτεχνημένα έτσι ώστε να θεωρούνται εικαστικά αριστουργήματα ή ορισμένα εξελίσσονταν: προέκυψε έτσι ο εγκάρσιος πήχης, ο μεσημβρινός τετράντας, ο εξάντας κλπ. Η πτολεμαϊκή παράδοση άρχισε τον 7ο αι., όταν οι Άραβες ήλθαν σε επαφή με τον ελληνικό πολιτισμό.



Χάρτης της Οικουμένης
που κοσμούσε τον πτολεμαϊκό κώδικα της μονής Βατοπαιδίου.



Στα περιθώρια είναι σημειωμένες οι γεωγραφικές συντεταγμένες των μεσημβρινών και παραλλήλων και στο αριστερό άκρο σχόλια που αναφέρονται στα “κλίματα”. Περιμετρικά εικονίζονται οι κεφαλές των δέκα ανέμων.



Ο Πτολεμαίος με το αριστερό του χέρι δείχνει τα αστέρια, ενώ στο δεξί κρατά τον εγκάρσιο πήχυ, για τη μέτρηση του ύψους του πολικού αστέρα.

[Χαρακτικό του 1584 με τίτλο CLAVDE PTOLEMEE PELVSIEN του Andre Thevet. Βρίσκεται στο “Les vais potraits et vies des homes illustres” στο Παρίσι].

“με το τέλος των ανδρών αυτών αρχίζει η περίοδος της παρακμής που χαρακτηρίζεται από ανααιμικούς μόνο σχολιαστές”. Η περίοδος αυτή διήρκεσε πολλούς αιώνες και μόλις προς το τέλος του 15^{ου} αι. όταν άρχισαν τα ταξίδια στους άγνωστους ωκεανούς και όταν χρειάστηκε να χαρτογραφηθούν οι αποικίες της ευρωπαϊκής Δύσης, προέκυψαν επιτακτικές οι πολιτικές, οικονομικές και στρατιωτικές απαιτήσεις που οδήγησαν στην τελική λύση του προβλήματος του γεωγραφικού μήκους.

Το χαρακτηριστικότερο ίσως παράδειγμα που δείχνει την επείγουσα ανάγκη που προέκυψε για μια μέθοδο υπολογισμού του γεωγραφικού μήκους είναι ο ορισμός του περίφημου “παπικού” μεσημβρινού “εκατό λεύγες από τις Αζόρες”: Στις 4 Μαΐου του 1493, λίγο μετά από την επιστροφή του Κολόμβου στην Ισπανία από το πρώτο του ταξίδι, ο πάπας Αλέξανδρος ΣΤ΄ εξέδωσε το διάταγμα της οροθεσίας του Νέου Κόσμου για να επιλύσει τη διαφωνία μεταξύ της Ισπανίας και της Πορτογαλίας, των δύο μεγαλύτερων ανταγωνιστών για την κυριαρχία στους νέους κόσμους, σύροντας τη γραμμή του μεσημβρινού εκατό λεύγες (περίπου 450 χιλιόμετρα) από τις Αζόρες, πάνω σε ένα διάγραμμα του Δυτικού Ωκεανού. Στην Ισπανία όρισε όλα τα εδάφη που υπήρχαν και δεν ανήκαν σε οποιοδήποτε άλλον χριστιανό ηγεμόνα ή που θα ανακαλύπτονταν δυτικά της γραμμής, και στην Πορτογαλία τα εδάφη ανατολικά. Ο όρος όμως “100 λεύγες δυτικά των Αζορών” δεν είχε κανένα νόημα, όπως και οι γραμμές οροθεσίας όλων των άλλων μεσημβρινών στο Νέο Κόσμο που ορίζονταν με αναφορά κάποιο μεσημβρινό στην Ευρώπη, επειδή κανένας δεν μπορούσε να χαράξει τους μεσημβρινούς αυτούς.

