

Δημήτριος Ρωσσικόπουλος

Μέτρον Γεωμετρικόν

Η ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΗΣ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗΣ



ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΖΗΤΗ

Κάθε γνήσιο αντίτυπο φέρει την υπογραφή του συγγραφέα

Με το συγγραφέα επικοινωνείτε:
e-mail: rossi@topo.auth.gr

Εικόνα εξωφύλλου: από το βιβλίο *Geometrei: von kunstlichen Messen*, του Jacob Kobel. Τοπογράφος μετράει με τη βαθμονομημένη ράβδο.

ISBN 960-456-009-3

© Copyright, 2006, Δημήτρης Ρωσσικόπουλος, Εκδόσεις ΖΗΤΗ

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 συγγραφέα ή 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.



**Φωτοστοιχειοθεσία
Εκτύπωση**

Π. ΖΗΤΗ & ΣΙΑ ΟΕ
18ο χλμ Θεσ/νίκης-Περαίας
Τ.Θ. 4171 • Περαία Θεσσαλονίκης • Τ.Κ. 570 19
Τηλ.: 2392.072.222 - Fax: 2392.072.229
e-mail: info@ziti.gr

Βιβλιοπωλείο

ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΖΗΤΗ
Αρμενοπούλου 27 • 546 35 Θεσσαλονίκη
Τηλ. 2310.203.720, Fax 2310.211.305
e-mail: sales@ziti.gr

www.ziti.gr

Πρόλογος

Η γνώση και κατανόηση του γήινου χώρου που μας περιβάλλει είναι μια πολύ παλιά ιστορία του πολιτισμού, που συνδέεται όχι μόνο με τις άμεσες πρακτικές ανάγκες επιβίωσης του Ανθρώπου και τις φιλοδοξίες διεύρυνσης της επιρροής του και της επιβολής της ισχύος του στο *γεωχώρο*, αλλά και με τις ευρύτερες κοσμολογικές υπαρξιακές αναζητήσεις του. Η γνώση και η κατανόηση αυτή γίνεται, ήδη από τους πολύ πρώτους πολιτισμούς, μέσα από μια διαδικασία εικονικής και γραφικής αναπαράστασης του γήινου χώρου που μας περιβάλλει, της λεγόμενης *απεικόνισής* του. Το γράφειν την γην είχε διπλή έννοια στην ελληνική αρχαιότητα. Σήμαινε τη λεκτική γεωγραφική περιγραφή αλλά και τη δια γραφήματος περιγραφή. Στο θαυμαστό λοιπόν, σχεδόν μαγικό, κόσμο της απεικόνισης του γεωχώρου, με την οποία προσλαμβάνουμε ό,τι αισθανόμαστε ως «πραγματικότητα», η *παρατήρηση* μεγεθών που μας διδάσκει η Γεωμετρία ήταν ένα μεγάλο βήμα της ανθρώπινης περιέργειας για το γεωχώρο και της περιπέτειας προς τη γνώση του. Την παρατήρηση γρήγορα ενίσχυσε και πλούτισε η *μέτρηση*, αυτή η υλική δικαίωση της Γεωμετρίας, που ενέπλεξε στις διαδικασίες της το όργανο, το εργαλείο δηλαδή με το οποίο ο Άνθρωπος μέτρησε, μετράει και θα μετράει το χώρο του. Τι όμως μέτρησε, μετράει και θα μετράει για να προσλάβει και να κυριαρχήσει στο περιβάλλον του; Μέτρησε, μετράει και θα μετράει τα μεγέθη εκείνα που οδηγούν στην διατύπωση των διαφορών μεταξύ του «πραγματικού» όπως το *αισθάνεται*, και αυτού που *εννοεί* ως «πραγματικό». Αυτού που προσομοιάζει και προσεγγίζει τον υπαρκτό γεωχώρο. Με άλλα λόγια, με τη μέτρηση ο Άνθρωπος οικοδόμησε τη διαδικασία της *σύγκρισης* του αισθητού περιβάλλοντος με το νοητό του περιβάλλον, ώστε από τη σύγκριση αυτή να μπορέσει τελικά να περιγράψει και να απεικονίσει, όσο το δυνατόν καλύτερα, τον υπαρκτό γήινο χώρο που τον περιβάλλει, για να τον προσλάβει και να τον αντιληφθεί και έτσι να τον κατακτήσει και να αντλήσει από αυτόν ό,τι του χρειάζεται για να προχωρήσει και να βελτιώσει τη ζωή του!

Οι μέθοδοι και οι διαδικασίες της απεικόνισης με μετρήσεις και κατάλληλα γι' αυτό όργανα, ξέφυγαν πολύ νωρίς από την αποκλειστική εφαρμογή τους στην επιφάνεια της γης και συνδέθηκαν με το έναστρο στερέωμα. Από την εφαρμογή της γεωμετρίας μέχρι τη σύνδεση του κυρτού της γήινης επιφάνειας με το κοίλο, προς τον άνθρωπο, της ουράνιας σφαίρας, που του επέτρεψε να προσδιορίσει τη θέση του και την πορεία του στο γεωχώρο, η γνωστική απόσταση που διανύθηκε ήταν και μεγάλη και μικρή. Και αυτό έγινε με τη βοήθεια των ενόργανων μετρήσεων, για την περιγραφή και την απεικόνιση των επίγειων «πραγμάτων». Με την αριστοτέλεια *εμπράγματη γεωμετρία*, τη γεωδαισία, την αστρονομία, την ανάπτυ-

Ευάγγελος Λιβιεράτος

Καθηγητής ΑΠΘ,
Πρόεδρος Εθνικού Κέντρου Χαρτών
και Χαρτογραφικής Κληρονομιάς
- Εθνική Χαρτοθήκη

ξη των εργαλείων μέτρησης, των οργάνων, αλλά και την αέναν *κινητικότητα* των ανθρώπων πάνω στη γήινη επιφάνεια, αναπτύχθηκε και εξελίχτηκε ένα ευρύ σύνολο μεθόδων και τεχνικών που θα το ονομάζαμε σήμερα *επιστήμη και τεχνολογία της αποτύπωσης και της απεικόνισης του γεωχώρου*. Με πολύ αργό ρυθμό, κατά την πρώτη φάση των είκοσι αιώνων, από την ελληνική περίοδο μέχρι τον 15^ο αιώνα της καμπής, με πολύ ταχύτερο κατά τη δεύτερη, των αμέσως επόμενων τεσσάρων αιώνων, μέχρι τη μεγάλη απογείωση της τρίτης φάσης του 20^{ου} αιώνα και ιδιαίτερα του τελευταίου τετάρτου του!

Η μεγαλειώδης ιστορία της εξέλιξης της επιστήμης και τεχνολογίας της αποτύπωσης και της απεικόνισης του γεωχώρου, κατά το σύνολό της αλλά και κατά τα κεφάλαια και τις παραγράφους της, τις παραπομπές και τις υποσημειώσεις της, αν και ιδιαίτερα συναρπαστική, όταν γράφεται καλά, δεν είναι δυστυχώς ευρύτερα γνωστή και διαδεδομένη στην ελληνική βιβλιογραφία. Αντίθετα, η σχετική με το αντικείμενό μας ξενόγλωσση βιβλιογραφική σκηνή είναι μακράν πλουσιότερη απευθυνόμενη όχι μόνο στο υποψιασμένο και προετοιμασμένο αναγνωστικό κοινό αλλά και στον ευρύτερο “βιβλιοτραφή” ή “βιβλιοστραφή” πληθυσμό. Ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια, γράφεται σε ξένη γλώσσα, όλο και περισσότερο, όχι μόνο ιστορία αλλά και λογοτεχνία (κάποια μεταφράζεται και στα ελληνικά) με θέμα, αφηγηρία, αναφορά, απόηχο ή ατμόσφαιρα την αποτύπωση και την απεικόνιση της γης.

Το βιβλίο του συναδέλφου Δημήτρη Ρωσσικόπουλου, καθηγητή της τοπογραφικής επιστήμης στο πανεπιστήμιο της Θεσσαλονίκης, σ’ αυτήν τη σύγχρονη διεθνή βιβλιογραφική τάση ανήκει και στη συμπλήρωση αυτού του κενού στην ελληνική βιβλιογραφία προσβλέπει. Εξιστορεί και περιγράφει συνθετικά, περισσότερο με έναν τρόπο αφηγηματικό και έντονα εικονογραφικό, παρά με εκείνον της ανιαρής, για το ευρύ κοινό, ακαδημαϊκής εσωστρέφειας (που καθυστερεί και περιορίζει τελικά τη διάδοση της γνώσης), τα σπουδαιότερα από τα μεγάλα κεφάλαια της συμβολής των μετρήσεων και των κατάλληλων γι’ αυτό οργάνων στην ιστορία της αποτύπωσης και της απεικόνισης του γεωχώρου, καλύπτοντας την πιο μακροχρόνια αλλά και πιο μυστηριακή και γοητευτική περίοδο της πρώτης φάσης της. Εκείνης που έχει ως αφηγηρία τις δοκιμές της εμπράγματος γεωμετρίας των πρώτων παραποτάμιων πολιτισμών της εγγύς Ασίας των Ινδιών και της Αιγύπτου. Και συνεχίζει ύστερα με το θαύμα της ελληνικής προώθησης και της κορύφωσης των σχεδόν έξι αιώνων συμβολής, με τη σχολή της Μιλήτου στην αρχή και της Αλεξανδρείας στο τέλος, έως τη βυζαντινή «παλινόρθωσή» της. Περνώντας από τους λαμπρούς, αλλά ακόμη άγνωστους σε μας, αραβικούς και κινεζικούς σταθμούς και αμέσως μετά στην ευρωπαϊκή Αναγέννηση και στις ανατροπές που θα επιφέρει η ωκεάνια διεύρυνση της οικουμένης προς Δυσμάς, για να ξανασημαντηθεί η Ανατολή, απ’ τα δυτικά τώρα, και να κλείσει έτσι η ανοικτή μέχρι τότε περίμετρος της υδρογείου. Αλλά και ενός μέρους της δεύτερης φάσης, της «νέας εποχής», όταν πια η επιστήμη και η τεχνολογία θα συμπυκνώσει δραματικά τους χρόνους της εξέλιξης στις διαδικασίες αποτύπωσης και απεικόνισης του γεωχώρου, στην πλήρη τώρα περίμετρο της οικουμένης! Ονόματα γνωστά μας, που έπαιξαν το ρόλο τους στις διαδικασίες αυτές, θα μας γίνουν ακόμα πιο γνωστά μέσα από τις συμμετοχές και τις δράσεις τους σε σημαντικά βήματα της εξέλιξης. Αλλά και πρόσωπα άγνωστα στους πολλούς, μερικά άγνωστα και στους «ειδικούς», θα μας γίνουν γνωστά και τελικά οικεία για τα επιτεύγματα και τη συμβολή τους στην αποτύπωση του γήινου περιβάλλοντός μας, έτσι ώστε να μας συνοδεύουν οι απεικονίσεις του σε όλο και μεγαλύτερη λεπτομέρεια, με όλο και μεγαλύτερη ακρί-

βεια και αξιοπιστία. Από τα κοινωνικά, οικονομικά και πολιτικά συμφραζόμενα, που συνοδεύουν σε κρίσιμες στιγμές τη διήγηση, κατανοούμε ότι, τελικά, η μεγάλη υπόθεση της αποτύπωσης και απεικόνισης του γεωχώρου, ευρύτερου και εγγύτερου, δεν ήταν μόνο μια τεχνολογία *en passant* στο παρασκήνιο της ιστορίας. Ένα ζήτημα δηλαδή, που δεν θα άξιζε να γνωρίζει και να εκτιμά το ευρύ κοινό (ιδιαίτερα στη χώρα μας) λόγω του “τετριμμένου”, τάχα, των χρήσεών της. Αλλά ήταν, αντίθετα, ένα από τα σπουδαιότερα παγκόσμια συστατικά, σχεδόν μια παγκόσμια “σταθερά”, στην εξέλιξη των κοινωνιών και των συσχετισμών των δυνάμεων εξουσίας που την καθόριζαν, κυρίως από την πρώιμη νεώτερη εποχή και έπειτα, με κορύφωση την περίοδο της διαμόρφωσης των εθνικών κρατών και της μεγάλης, τώρα πια, κινητικότητας ανά την υδρόγειο. Αλλά και των νέων αγορών και των αποικιοκρατικών επιβολών και ρυθμίσεων που ακολούθησαν.

Μέσα από τα δώδεκα κεφάλαια του βιβλίου, αναδεικνύονται κυρίως τα όργανα των μετρήσεων για την αποτύπωση της γης, για τον εντοπισμό των θέσεων στην επιφάνειά της (του στίγματος) και των πορειών στο γεωχώρο (των διευθύνσεων). Από τη *διόπτρα* και τον *αστρολάβο*, τους *τετράντες* και τις *ράβδους* μέχρι το *θεοδόλιχο*, το *τηλεσκόπιο* και τα *ρολόγια*, ονόματα –λέξεις όχι μόνο της τεχνολογίας αλλά και της ποίησης, μαζί με πλήθος άλλων οργάνων εξίσου πρωτεύοντων αλλά και βοηθητικών, όμως ομοίως σημαντικών, με ονόματα–λέξεις επίσης της τεχνολογίας αλλά και της ποίησης, η εξιστόρηση πλέκεται, εμπλέκεται και διαπλέκεται με μύθους, γεγονότα, πολιτισμούς, επιτεύγματα, ανακαλύψεις, εφευρέσεις, εργαλεία και μηχανές, περιπέτειες, ανταγωνισμούς και αντιδικίες, περιγήσεις και πλοηγήσεις, επινοήσεις, θριάμβους και απογοητεύσεις, με διαμάχες και αμφισβητήσεις. Αλλά και με πολλά, πάρα πολλά, πρόσωπα που ήταν τελικά εκείνα που πρωταγωνίστησαν στην πλούσια, σύνθετη και πυκνή ιστορία των αποτυπώσεων και που εδώ αναδεικνύονται με αξιοσημείωτη υπομονή και επιμονή από τον συγγραφέα, υπογραμμίζοντας συστηματικά το ρόλο και τη συμβολή τους. Ο σεβασμός στα πρόσωπα, τα περισσότερα άγνωστα στο ευρύ κοινό, η καταγραφή, ανάδειξη και προβολή τους είναι τελικά ή συνδετική ύλη της όλης ιστορίας που διατρέχει το βιβλίο και εικονογραφείται πλουσιοπάροχα, ενισχύοντας έτσι την οικειότητα της εξιστόρησης. Γύρω από τα ονόματα των προσώπων περιστρέφονται οι εποχές, οι πολιτισμοί, οι επιστήμες και οι τεχνολογίες της αποτύπωσης του γήινου χώρου που μας περιβάλλει δίνοντας τελικά στο *Μέτρον Γεωμετρικόν* μια πολύ ανθρώπινη και διαχρονική διάσταση και ένα περιεχόμενο, πολύ πιο πέρα από τις μηχανές και τα εργαλεία εφαρμογής της αιώνιας γεωμετρίας στη γη, τον ουρανό και τη θάλασσα!



Πρόλογος του συγγραφέα

Ο πρώτος σημαντικός σταθμός στην ιστορία του πολιτισμού ήταν όταν ο άνθρωπος έγινε γεωργός. Τότε δημιούργησε τους πρώτους οικισμούς και άρχισε να μετρά. Μετρούσε για τις ανάγκες της φορολογίας και για να κτιστούν οι κατοικίες των βασιλιάδων, μετρούσε για να διασφαλίσει την περιουσία του και για να μοιράσει τη γη, μετρούσε για να διαμορφώσει τους χώρους λατρείας. Έτσι αρχίζει η ιστορία που παρουσιάζεται στις 280 περίπου σελίδες αυτού του βιβλίου. Είναι η ιστορία των οργάνων και των μεθόδων των επιστημών της αποτύπωσης του γήινου χώρου. Ράβδοι, δίοπτρες, χωροβάτες, αστρολάβοι, πυξίδες, τετράντες, τηλεσκόπια, ρολόγια και θεοδόλχοι σ' ένα ταξίδι από την Αίγυπτο, τη Μεσοποταμία, την Ελλάδα, την Κίνα, το Βυζάντιο, τους Άραβες και την Ευρώπη του Μεσαίωνα μέχρι την Ευρώπη του Διαφωτισμού. Γεωδαισία, Τοπογραφία, Χαρτογραφία, επιστήμες με στενούς δεσμούς με τη Γεωμετρία, την Αστρονομία, και τη Ναυσιπλοΐα, όπως μπορεί κανείς να δει καθώς καταγράφεται η ιστορία τους παράλληλα με την ιστορία της εξέλιξης των οργάνων και των συστημάτων μέτρησης, μέσα από τις κοινωνικές, πολιτικές και οικονομικές συνθήκες της κάθε εποχής.

Περίπου 250 σχήματα συνοδεύουν και συμπληρώνουν τα σχήματα του βιβλίου. Εκτός από μερικά που έχουν σχεδιαστεί ειδικά για το βιβλίο αυτό, οι υπόλοιπες εικόνες προέρχονται από εκδόσεις που αναφέρονται στη βιβλιογραφία και από τις ιστοσελίδες <http://www.geo-anse.com>, <http://www.photolib.noaa.gov> και www.landsurveyor.us. Ειδικότερα, οι εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν κυκλοφόρησαν στις εκδόσεις των εκδοτικών οίκων και υπηρεσιών: Cambridge University Press, Harvard University, Oxford University Press, The Johns Hopkins University Press, The Pennsylvania State University Press, The University of Chicago Press, University of the Oklahoma Press, Phaidon-Christie's, George Philip Ltd., Garland Publishing, Horwood, Charles Scribner's sons, Kulturgeschichte, Adolf M. Hakkert Publisher, Praeger, Thames and Hudson Ltd, Krieger Publishing Company, Carben Surveying Reprints, Landmark Enterprises, Wellington House, Verlag Chmielorz GmbH., Firefly Books, Landmark Enterprises, Walker & Company, Dumbarton Oaks Research Library and Collection, Vade-Mecum Press, Εθνική Χαρτοθήκη, Αρχαιολογία & Τέχνες, Επτά ημέρες (Η Καθημερινή της Κυριακής), Ταμείο Αρχαιολογικών Πόρων και Απαλλοτριώσεων του Υπουργείου Πολιτισμού.

Οι αποδόσεις των αρχαίων ελληνικών κειμένων, όταν δεν αναφέρεται αλλιώς, έγιναν από τον συγγραφέα. Τα αρχαία κείμενα μέχρι και το 600 μ.Χ. προέρχονται κυρίως από την ηλεκτρονική βάση δεδομένων Thesaurus Linguae Graecae (Θησαυρός της Ελληνικής Γλώσσας) του Πανεπιστημίου της Καλιφόρνια, άδεια χρήσης της οποίας διαθέτει το σύνολο της πανεπιστημιακής κοινότητας του Α.Π.Θ.

Δημήτρης Ρωσσικόπουλος
Καθηγητής ΑΠΘ



Θερμές ευχαριστίες οφείλονται στον πρόεδρο του Εθνικού Κέντρου Χαρτών και Χαρτογραφικής Κληρονομιάς – Εθνική Χαρτοθήκη καθηγητή Ευάγγελο Λιβιεράτο για τις υποδείξεις, την κριτική του και την κάθε είδους βοήθειά του στο στάδιο της προετοιμασίας του βιβλίου. Σημαντική ήταν η συμβολή και των συνεργατών του στην τελική επεξεργασία, ιδιαίτερα των κυριών Ελπίδας Δανιήλ, για την ψηφιακή επεξεργασία της έκδοσης και Μαρίας Παζαρλή, για τις προσπάθειές της να βελτιώσει γλωσσικά τα κείμενα. Η σύζυγος μου Φωτεινή Παππά και τα παιδιά μου Στέλλα, Νάσος και Γεωργία, μου συμπαραστάθηκαν καθ' όλη τη δύσκολη περίοδο της συγγραφής του βιβλίου. Τους ευχαριστώ όλους θερμά καθώς και την Πελαγία Ζήτη και τους συνεργάτες της για την πολύ επιμελημένη εκτύπωση του τόμου.

*Το βιβλίο αφιερώνεται στη μνήμη του πατέρα μου,
που έλεγε πως δεν μπορεί κανείς να ισχυρισθεί
ότι γνωρίζει την επιστήμη του αν δεν μελετήσει και την ιστορία της.*

1. Έτσι λένε δημιουργήθηκε η πρώτη γεωμετρία	
Οι πρώτες μαρτυρίες	15
Οι αρπεδονάπτες της Αιγύπτου	20
Η Μεσοποταμία	26
Τα όργανα και οι μέθοδοι	27
Από τις κυκλικές πορείες του ουρανού στο βιβλίο της θαλασσονήσου.	
Οι χωρογράφοι του ουρανού και της γης	30
Ο γνώμων	39
2. Το έργο των ελλήνων γεωδαιτών	
Οι μαρτυρίες και τα έργα	41
Το μετρικό σύστημα και η γραφή των αριθμών	44
Η Αρχαϊκή περίοδος. Τα πρωικά χρόνια της ελληνικής επιστήμης	47
Το Ευπαλίνειο όρυγμα	52
Η κλασική περίοδος. Η χρυσή εποχή της ελληνικής σκέψης	55
Η Ελληνιστική περίοδος. Από την Αθήνα στην Αλεξάνδρεια	62
3. Περί διόπτρας. Το πρώτο εγχειρίδιο τοπογραφίας	
Γιατί η πραγματεία αυτή είναι χρήσιμη	75
Διόπτρα, ο πρόδρομος του Θεοδόλιχου	76
Τα προβλήματα	81
Το οδόμετρο	85
Ο υπολογισμός της απόστασης Αλεξάνδρειας-Ρώμης	88
4. Οι Ρωμαίοι αγρομέτρες	
Από τους Έλληνες και τους Ετρούσκους στους Ρωμαίους	89
Το μετρικό σύστημα των Ρωμαίων	94
Το σύστημα διανομής κατά centurie	95
Τα κείμενα	97
Τα όργανα	103
5. Βυζάντιο, Άραβες, Ευρώπη. Το μεγάλο ταξίδι της γνώσης	
Από τη Ρώμη στην Κωνσταντινούπολη	107
Η “γεωδαισία” στο Βυζάντιο	112
Ο Οίκος της Σοφίας και η μέτρηση της γης	122
Η τοπογραφία στην Ευρώπη του μεσαίωνα	126
6. Ο αστρολάβος	
Από τον Ίππαρχο και τους Έλληνες και Άραβες αστρολόγους,	
στους τοπογράφους του μεσαίωνα	135
7. Τα μαθηματικά της γης, του ουρανού και των ωκεανών	
Αναγέννηση. Η σημαντικότερη περίοδος	
στην εξέλιξη των επιστημών της αποτύπωσης	143

Η διαχείριση της γης και η τοπογραφία	146
Η στρατιωτική τοπογραφία	153
Η Χαρτογραφία	157
Η ναυσιπλοΐα	162

8. Τετράντες, ράβδοι και θεοδόλικοι

Τα πρώτα εργαστήρια οργάνων	169
Ο εγκάρσιος πίκυς και η ράβδος οπισθοσκόπευσης	174
Το τετραγωνιόμετρο	177
Ο τετράντας	180
Ο Βερνιέρος	183
Η πυξίδα	185
Η μέτρηση των αποστάσεων και τα ορθόγωνα	191
Τα όργανα τριγωνισμού	194
Από τον αστρολάβο στον θεοδόλικο	200
Τα όργανα χωροστάθμησης	206

9. Το τηλεσκόπιο

Παρατηρώντας με τον αυλό	211
Το τηλεσκόπιο. Μια ιστορία με πολύ μυστήριο	214
Μετρώντας με το τηλεσκόπιο	219

10. Από τον πρώτο τριγωνισμό στη Νευτώνεια Γεωδαισία

Οι Επιστημονικές Ακαδημίες και Ενώσεις	223
Η υψομετρία των ορέων	229
Ο Snell και ο Picard εγκαινιάζουν τη σύγχρονη Γεωδαισία	230
Το σχήμα της γης	234
Οι μετρήσεις της βαρύτητας	240
Το δημοκρατικό μέτρο	245

11. Το μήκος, τα ρολόγια και η τέχνη της διαίρεσης του κύκλου

Τα εργαστήρια οργάνων τον 18ο αι.	253
Το πρόβλημα του μήκους	257
Οι μηχανές βαθμονόμησης	262
Τα συστήματα ανάγνωσης των δίσκων	266
Ο σύγχρονος θεοδόλικος και ο χωροβάτης	266

12. Επίλογος

Τα όργανα του Διαφωτισμού στην αρχή της σύγχρονης εποχής	275
--	-----

Βιβλιογραφία	285
--------------------	-----

Ευρέριο όρων	289
--------------------	-----

1

Έτσι λένε δημιουργήθηκε η πρώτη γεωμετρία...

Λένε ότι αυτός ο Βασιλιάς (ο Σέσωστρις) μοίρασε τη χώρα σε όλους τους Αιγυπτίους δίνοντας στον καθένα έναν ίσο τετράγωνο κλήρο για τον οποίο θα πληρώνει ετήσιο φόρο και με αυτό τον τρόπο δημιούργησε εισοδήματα. Και όποιος έχανε από πλημμύρα μέρος της γης του, πήγαινε στον Βασιλιά και έλεγε τι είχε συμβεί. Τότε ο Βασιλιάς έστελνε ανθρώπους που εξέταζαν και μετρούσαν το τμήμα κατά το οποίο μειώθηκε η γη, ώστε να πληρώνει αναλογικά μικρότερο φόρο από εκείνον που αρχικά του είχε επιβληθεί. Έτσι νομίζω βρέθηκε η γεωμετρία και ήλθε στην Ελλάδα.

Ηρόδοτος, ΙΣΤΟΡΙΑΙ, II 109

Οι πρώτες μαρτυρίες

Το αρχαιότερο γραπτό κείμενο για την Πρώτη Γεωμετρία ανήκει στον Ηρόδοτο, όπου περιγράφεται πως ο βασιλιάς Ραμσής ο δεύτερος (γνωστός στους Έλληνες ως Σέσωστρις) κάνει αναδασμό και μοιράζει τη γη στους γεωργούς. Την ίδια αναφορά στην Αίγυπτο, επηρεασμένος ίσως από τον Ηρόδοτο, κάνει και ο Ήρων ο Αλεξανδρεύς (Γεωμετρικά, *Ήρωνος ἀρχή τῶν γεωμετρομένων*)

Καθώς μας διδάσκει η παλιά προφορική παράδοση, οι περισσότεροι των ανθρώπων ασχολούνταν με τη μέτρηση και τη διανομή της γης και γι' αυτό ονομάστηκε γεωμετρία. Ο τρόπος δε μέτρησης επινοήθηκε από τους Αιγυπτίους επειδή με την άνοδο της στάθμης του Νείλου πολλά τμήματα γης που φαίνονταν πριν, γίνονταν αφανή και ακόμη, μετά την αποχώρηση των υδάτων δεν ήταν δυνατόν να αναγνωρίσει ο καθένας τα δικά του. Γι' αυτό οι Αιγύπτιοι επινόησαν αυτή τη μέτρηση, άλλοτε με το ονομαζόμενο σχοινίο, άλλοτε με την κάλαμο και άλλοτε με άλλα μέτρα.

Τον ορισμό αυτόν ο Ήρων τον επαναλαμβάνει και στο έργο του, *Γεωδαισία* απ' όπου σώζονται ελάχιστα αποσπάσματα. Πολύ αργότερα ο Στράβων στα *Γεωγραφικά* του γράφει:

Χρειάστηκε ακριβής και λεπτομερής διαίρεση, επειδή γίνονταν συνεχείς διασαλεύσεις των συνόρων που δημιουργούσε ο Νείλος πλημμυρίζοντας, αφαιρώντας τμήματα, προσθέτοντας, αλλάζοντας τα σχήματα και εξαφανίζοντας τα όρια των ιδιοκτησιών. Ήταν ανάγκη να μετρούνται πάλι και πάλι. Έτσι λένε δημιουργήθηκε η γεωμετρία, όπως η αριθμητική και η λογιστική από τους Φοίνικες για τις ανάγκες του εμπορίου.

Το άγαλμα του ιερέα Πα-εν-χορ, από την Άβυδο, που βρίσκεται τώρα στο μουσείο του Καΐρου. Ο ιερέας παρουσιάζεται σε μια θέση ικεσίας να κρατά μία κουλούρα μετρητικού σχοινιού, η άκρη του οποίου καταλήγει στο κεφάλι ενός κριού, δείχνοντας ότι ήταν ανώτερος υπάλληλος του ναού του Άμμωνα.



Και ο Πρόκλος, τον 5^ο αι. μ. Χ.:

Επειδή, για να εξετάσουμε την παρούσα περίοδο πρέπει να ξεκινήσουμε από τις απαρχές των τεχνών και των επιστημών, θα αρχίσουμε λέγοντας ότι πολλοί αναφέρουν πως η γεωμετρία επινοήθηκε πρώτα από τους Αιγυπτίους και ότι γεννήθηκε από τις μετρήσεις της γης. Τους ήταν δε αυτές (οι μετρήσεις) απαραίτητες εξαιτίας της ανόδου του Νείλου, που εξαφάνιζε τα όρια του καθενός.

Σύμφωνα με όσα αναφέρονται στον Τίμαιο του Πλάτωνα, οι Αιγύπτιοι ομολόγησαν στον Σόλωνα ότι πήραν τον πολιτισμό τους από τους Αθηναίους, πριν από τον κατακλυσμό του Δευκαλίωνα. Αυτό φαίνεται να το αποδέχεται και ο Διόδωρος ο Σικελιώτης: Όσα λοιπόν ο Ηρόδοτος και μερικοί που ασχολούνται με την ιστορία των Αιγυπτίων έγραψαν, επειδή προτιμούν να παραδοξολογούν και να πλάθουν μύθους αντί να γράφουν την αλήθεια, ας τα αντιπαρέλθουμε.

Στα παραπάνω κείμενα του Ηρόδοτου, του Ήρωνος, του Στράβωνα, του Πρόκλου και άλλων ελλήνων συγγραφέων, όπως του Αριστοτέλη και του Εύδημου του Ρόδιου, με τον όρο γεωμετρία υπονοείται η στοιχειώδης και πρακτική γεωμετρία, η *μέτρηση της γης* όπως αντανακλά η ίδια η λέξη (γεω-μετρείν), που ασκούσε το αιγυπτιακό ιερατείο για την εξυπηρέτηση μόνο πρακτικών αναγκών του μηχανικού, του αρχιτέκτονα, αλλά κυρίως του μετρητή της γης, του *αρπεδονάπτη* σύμφωνα με τον ελληνικό όρο, που η πρώτη του χρήση αποδίδεται στον Δημόκριτο (αρπεδόνη + άπτω, αυτός που τεντώνει το σχοινί).

Τα όργανα που ήταν απαραίτητα για τη μέτρηση των γαιών στα αρχικά στάδια του ανθρώπινου πολιτισμού ήταν βεβαίως πολύ απλά στη μορφή τους: ένα σχοινί ή μια ράβδος ορισμένου μήκους. Οι μετρήσεις γίνονταν με τη βοήθεια μονάδων που προέρχονταν από μέρη του ανθρώπινου σώματος, όπως ο βραχίονας, το

πόδι, το βήμα κλπ. Τα χωράφια που μετριόταν δεν καταλάμβαναν μεγάλες εκτάσεις, αλλά ανήκαν στις γεωργικές κοινότητες που εγκαθίστανται στις εύφορες περιοχές, όπως η προσχωματική πεδιάδα μιας μεγάλης κοιλάδας ποταμών όπου η ανάγκη να βρεθούν, να οριοθετηθούν και να μετρηθούν οι ιδιοκτησίες θα γινόταν αισθητή πολύ πιο σύντομα. Στις κοιλάδες του Νείλου και του Ευφράτη αναπτύχθηκαν οι πιο αρχαίοι πολιτισμοί και οι ομαλές πεδιάδες τους προσφέρονταν στην ανάπτυξη απλών τεχνικών μέτρησης. Από τα πρώτα αυτά όργανα έχουν επιζήσει λίγα, ίσως εξαιτίας της απλότητάς τους, γιατί κατασκευάζονταν εύκολα και γίνονταν εύκολα η αντικατάστασή τους μόλις χαλούσαν ή χάνονταν, η αξία τους ήταν μικρή και κατασκευάζονταν από υλικά που δεν άντεχαν στο χρόνο.

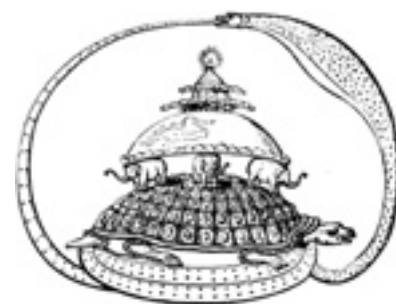
Την απαρχή όμως των μαθηματικών με αυτή τη μορφή της πρώτης γεωμετρίας που αναπτύχθηκε στην Αίγυπτο και στη Μεσοποταμία και των απλών υπολογισμών που ανέπτυξαν οι Φοίνικες για τις ανάγκες του εμπορίου, την διεκδικούν κι άλλοι λαοί: αυτοί που κατοίκησαν στις όχθες του ιερού Γάγγη και του Ινδού ποταμού και λίγο πιο ανατολικά, οι κάτοικοι της εύφορης κοιλάδας μεταξύ των ποταμών Γιανγκ-Τσε και του Χουάνγκ-Χο (Κίτρινου ποταμού).

Οι πολιτισμοί της Αιγύπτου και της Μεσοποταμίας, αν και είναι πιθανότατα πολύ παλαιότεροι απ' ό,τι των Κινέζων, έχουν να επιδείξουν πιο αυθεντικά ιστορικά ευρήματα, ίσως εξαιτίας της αντοχής στο χρόνο των υλικών πάνω στα οποία γράφτηκαν. Τα λίγα ευρήματα από την Αρχαία Κίνα που μαρτυρούν για τις μεθόδους και τα όργανα της πρώτης γεωμετρίας, είναι πολύ πιο πρόσφατα απ' ό,τι αναφέρουν οι κινεζικές παραδόσεις. Ξεκινώντας όμως από αυτές τις παραδόσεις, αν και τα πρώτα μαθηματικά κείμενα χρονολογούνται μόλις τον 2^ο αι. π.Χ., θα ασχοληθούμε στο κεφάλαιο αυτό, πριν από την αρχαϊκή και κλασική Ελλάδα, και με την κινεζική ιστορία των γεωδαιτικών επιστημών, η οποία στην πραγματικότητα αρχίζει κατά την περίοδο των επαφών της Κίνας με τα έθνη που δέχθηκαν τις επιρροές του ελληνικού πολιτισμού στα χρόνια της εποποιίας του Μεγάλου Αλεξάνδρου.

Ακόμα πιο αβέβαιη είναι η χρονολόγηση των πρώτων μαθηματικών επιτευγμάτων των Ινδών. Τα αρχαιότερα ντοκουμέντα είναι οι *Ιερές Βέδες*, που γράφτηκαν κατά την εγχώρια παράδοση την περίοδο 1500-500 π.Χ., με θρησκευτικό και τελετουργικό περιεχόμενο. Στοιχεία σχετικά με την ιστορία των μαθηματικών περιέχουν τα παραρτήματα των Βεδών, που είναι γνωστά με το όνομα *Βεδάγκα*. Αυτά είναι έμμετρα κείμενα, γνωστά ως *σούτρες*, και ταξινομούνται σε έξι τομείς: φωνητική, γραμματική, ετυμολογία, στιχουργική, αστρονομία και τελετουργική. Η Βεδάγκα της αστρονομίας ονομάζεται *Τζιοτισσούτρα* και των τελετουργικών κανόνων *Καλπασούτρα*.

Η *Σουλβασούτρα* (ο κανόνας της χορδής) ασχολείται με την κατασκευή βωμών (το μέγεθος, το σχήμα και τον προσανατολισμό τους) και αποτελεί συμπλήρωμα της Καλπασούτρας, που γράφτηκε πιθανότατα κατά την περίοδο 200-400 μ.Χ. Αναφέρεται ικανός αριθμός πυθαγορείων τριάδων, εκτός της 3, 4, 5 και φαίνεται ότι χρησιμοποιούν τα ορθογώνια τρίγωνα στις μετρήσεις των γαιών, όπως οι Αιγύπτιοι αρπεδονάπτες.

Η Σουλβασούτρα δεν ασκεί καμία επίδραση στη μετέπειτα εξέλιξη των μαθηματικών γενικότερα, μια και δεν αναφέρεται από τους επόμενους συγγραφείς. Τα γνωστότερα ονόματα από τους Ινδούς μαθηματικούς συγγραφείς είναι: Αριαμπχάτα (έζησε μεταξύ του 5^{ου} και 6^{ου} αι. μ.Χ.), Μπραχμαγκούπτα (6^{ος} αι.), Μπασκάρα (12^{ος} αι.). Το έργο τους είναι επηρεασμένο από τα ελληνικά μαθηματικά και την ελληνική αστρονομία, που πέρασε μέσω της Περσίας από την Αλεξάνδρεια στη Βορειοδυτική Ινδία. Στον Μπραχμαγκούπτα αποδίδεται το *Σιντχάντα*, ένα σύγγραμμα αστρονομίας με βαθύτατες ελληνικές επιδράσεις, το πρώτο ίσως



Η ινδουιστική εικόνα του κόσμου: Η γη στηρίζεται σε έξι ελέφαντες· τους ελέφαντες σηκώνει μια χελώνα που πατάει στη ράχη ενός φιδιού.

Ανάγλυφο μάρμαρο, ο βασιλιάς Μαρντούκ παραδίδει στον Δήμαρχο της Βαβυλώνας Μπελ-αχιριμπα γη “ἐξ αἰεί”. Στο πίσω μέρος περιγράφονται το μέγεθος και τα όρια της γης. Ο βασιλιάς σφράγισε τη δωρεά ενώπιον μαρτύρων. Οι καταπατητές και οι πλαστογράφοι των τίτλων τιμωρούνταν με την βαρυτέραν των ποινών.



Καὶ ἠγόρασα παρὰ τοῦ Ἀναμεήλ, υἱοῦ τοῦ θεοῦ μου, τὸν ἀγρὸν τὸν ἐν Ἀναθώβ, καὶ ἐξύγισα πρὸς αὐτὸν τὰ χρήματα, δεκαεπτὰ σίκλους ἀργυρίου. Καὶ ἔγραψα τὸ συμφωνητικόν, καὶ ἐσφράγισα, καὶ ἔβαλον μάρτυρας, καὶ ἐξύγισα τὰ χρήματα ἐν τῇ πλάστιγγι. Καὶ ἔδωκα τὸ συμφωνητικὸ τῆς ἀγορᾶς εἰς τὸν Βαροῦχ τὸν υἱὸν τοῦ Νηρίου ... Οὕτω λέγει ὁ Κύριος τῶν δυνάμεων, ὁ Θεὸς τοῦ Ἰσραὴλ. Λάβε τὰ συμφωνητικὰ ταῦτα, τὸ συμφωνητικὸ τοῦτο τῆς ἀγορᾶς καὶ τὸ ἐσφραγισμένον, καὶ τὸ συμφωνητικὸ τοῦτο τὸ ἀνοικτόν. Καὶ θές αὐτὰ εἰς ἀγγεῖον πήλινον, διὰ να διαμένωσιν ἡμέρας πολλὰς. Διότι οὕτω λέγει ὁ Κύριος τῶν δυνάμεων, ὁ Θεὸς τοῦ Ἰσραὴλ. Οἰκίαι καὶ ἀγροί, καὶ ἄμπελοι θέλουσιν ἀποκτηθῇ πάλιν ἐν ταύτῃ τῇ γῇ.

ΙΕΡΕΜΙΑΣ, Κεφ. λβ

κείμενο που μεταφράσθηκε στα αραβικά και έγινε γνωστό με το όνομα *Σιντχίντ*. Στις σελίδες του εμφανίζεται η δεκαδική αριθμογραφία θέσης, το “ινδικό” σύστημα αρίθμησης που χρησιμοποιούμε μέχρι σήμερα, η παλαιότερη περιγραφή του οποίου βρίσκεται σε μια λατινική μετάφραση με τίτλο *Algoritmi de numero Indorum*, ενός συγγράμματος αριθμητικής του διακεκριμένου άραβα μαθηματικού Μουχάμεντ ιμπν Μούσα αλ Κουαρίζμι.

Η ινδική πατρότητα του αριθμητικού μας συστήματος αμφισβητείται σήμερα από επιφανείς ιστορικούς των επιστημών και αποδίδεται σε νεοπυθαγορείους Έλληνες, μάλλον της Αλεξάνδρειας, από τους οποίους έγιναν γνωστά στους Πέρσες, που με τη σειρά τους τα δίδαξαν στους Ινδούς πριν από την επικράτηση των Αράβων. Την αφορμή για τις αμφισβητήσεις αυτές έδωσε ίσως η αναφορά του τελευταίου Ρωμαίου διανοητή, του Βοήθιου, που μιλά στην τελευταία σελίδα της *Γεωμετρίας* του για ελληνική επινόηση των αριθμών.

Ο πρώτος όμως πολιτισμός στην Ευρώπη με γραφή και εφαρμογές των θετικών επιστημών είναι ο Μινωικός πολιτισμός, που αναπτύχθηκε απέναντι από τις εκβολές του Νείλου και σε απόσταση 500 περίπου χιλιομέτρων, στη μινωική Κρήτη. Οι Μίνωες αδικούνται από τους ερευνητές της ιστορίας των επιστημών, ίσως κάτω από το μεγαλείο της ελληνικής επιστήμης του 6^{ου} αι. π.Χ. και μετά, αν και από τα κείμενα των γραπτών πινακίδων και τα αρχιτεκτονικά τους δημιουργήματα προκύπτει ότι 20 αιώνες π.Χ. γνώριζαν και εφάρμοζαν τις αρχές των μαθηματικών και της γεωμετρίας. Είχαν γνώσεις μηχανικής, υδραυλικής, αστρονομίας, χρήσιμες για τη ναυσιπλοΐα και τη γεωργία, εμπειρία στα εγγειοβελτιωτικά έργα και αρκετά προηγμένη τεχνολογία στα αποχετευτικά έργα, όπως δείχνει το περίπλοκο και άριστα σχεδιασμένο δίκτυο αποχέτευσης της Κνωσού.



Ινδοί αστρονόμοι παρατηρούν τα αστέρια με θεοδόλιχο και συμβουλεύονται το Σιντχάντα, σύγγραμμα αστρονομίας με ελληνικές επιδράσεις.

Παράσταση των κοσμολογικών
αντιλήψεων των Αιγυπτίων:
Η Νουντ, η θεά του ουρανού με το
σώμα της κυρτωμένο πάνω από το
δίδυμο αδελφό της, τον θεό της γης
Γκεμπ. Τα λυγισμένα του γόνατα και
οι αγκώνες συμβολίζουν τις κοιλά-
δες και τους λόφους. Μεταξύ τους
πλέει η λέμβος του θεού ήλιου. Τη
νύχτα, το γεμάτο άστρα σώμα της
Νούντ κατεβαίνει προς τον Γκεμπ
και δημιουργεί το σκοτάδι.



Αυτά προϋποθέτουν και προηγμένα συστήματα μέτρησης. Οι ειδικές μελέτες που έγιναν στα ανάκτορα έδειξαν την ύπαρξη ενός συγκεκριμένου συστήματος μέτρησης, η μονάδα του οποίου πρέπει να ήταν ανάλογη με τον πόδα. Ο μινωικός πους θα πρέπει να ισοδυναμούσε με 30.36 εκατοστά και οι υποδιαίρεσεις του ακολουθούσαν μάλλον το εξαδικό σύστημα.

Οι αρπεδονάπτες της Αιγύπτου

Στις τρεις χιλιετίες που κράτησε ο πολιτισμός των Αιγυπτίων έχουμε ελάχιστες ενδείξεις για τη μαθηματική τους επιστήμη. Οι δυο κύριες πηγές μας είναι οι πάπυροι του Ριντ και της Μόσχας. Υπάρχουν επίσης λιγοστά άλλα ντοκουμέντα, όπως οι πάπυροι της Kahum, του Michigan, του Akhmin, μια μαθηματική περγαμνή και απεικονίσεις σε τάφους και ναούς με πράξεις που απαιτούσαν μαθηματικές γνώσεις, για εφαρμογές όμως στις καθημερινές ασχολίες. Ο πάπυρος του Ριντ γράφτηκε γύρω στα 1600 π.Χ. από κάποιον Αχμή, ένα γραφέα που εξηγεί ότι αντιγράφει ένα πρωτότυπο κείμενο, γραμμένο δυο αιώνες παλαιότερα. Αποτελούσε μάλλον ένα εγχειρίδιο για την εκπαίδευση των γραφέων και των κρατικών υπαλλήλων. Περιλαμβάνει 87 προβλήματα και τις λύσεις τους, τα περισσότερα από τα οποία είναι υπολογισμοί, όπως το μοίρασμα ενός αριθμού καρβελιών σε ένα δεδομένο πλήθος ανθρώπων, καθώς και γεωμετρικά προβλήματα, όπως μία μέθοδος υπολογισμού του εμβαδού ενός ορθογωνίου τριγώνου. Αξιοσημείωτο είναι το πρόβλημα υπολογισμού σιταποθήκης με τη χρήση του αριθμού “π”, η τιμή του οποίου δίνεται με πολύ μεγάλη ακρίβεια. Ο πάπυρος της Μόσχας περιέχει περίπου τα ίδια πράγματα, αλλά περιλαμβάνει και υπολογισμούς του όγκου κόλουμερης πυραμίδας με τετραγωνική βάση και της επιφάνειας ενός ημικυκλικού δίσκου.

Η Μεγάλη Πυραμίδα του Χέοπος στη Γκίζα κτίστηκε γύρω στα 2700 π.Χ., σύμφωνα με μια αναφορά του Ηρόδοτου, με μήκος περίπου 230 και ύψος περίπου 146 μέτρα. Το σχεδόν τέλειο τετραγωνικό σχήμα της (η μέγιστη απόκλιση των πλευρών είναι της τάξης των δύο εκατοστών), ο ακριβής προσανατολισμός της (τρία πρώτα λεπτά της μοίρας απόκλιση βορειοδυτικά) και η οριζοντίωση



της βάσης της, επιβεβαιώνουν την τοπογραφική κατάρτιση των κατασκευαστών της. Ενδιαφέροντα στοιχεία υπάρχουν και στις διαστάσεις αυτής της πυραμίδας:

- ♦ Η περίμετρός της (921,46 μέτρα) διαιρούμενη με το διπλάσιο του ύψους της (293,46) δίνει την τιμή 3,14, αριθμό πολύ κοντά στο “π”.
- ♦ Ανάμεσα στα μεγέθη της πυραμίδας και της γης υπάρχει σχέση κλίμακας 1: 43200. Το ύψος της πυραμίδας πολλαπλασιασμένο με το 43200 δίνει 6338736 μέτρα, περίπου τη μέση ακτίνα της γης, ενώ η περίμετρος της βάσης, πολλαπλασιασμένη με τον ίδιο αριθμό δίνει 39807072 μέτρα, περίπου την περίμετρο της γης στον Ισημερινό.

Το παλαιότερο αρχείο μετρήσεων βρίσκεται χαραγμένο στην πέτρα του Παλέρμο, αρχαία αιγυπτιακή πέτρα από μαύρο διορίτη που χαράχθηκε προς το τέλος της 5ης δυναστείας (2565-2420 π.Χ.), αρχείο των βασιλικών χρονικών του παλαιού βασιλείου. Η πέτρα είναι μόνο ένα μικρό κομμάτι μιας μεγάλης πλάκας. Είναι ένας ιερογλυφικός κατάλογος των βασιλιάδων της αρχαίας Αιγύπτου, με τα βασιλικά έτη και τα γεγονότα και με πληροφορίες όπως το ύψος της πλημμύρας του Νείλου στα διάφορα έτη, κατάλογο της βασιλικής περιουσίας, γη, κοπάδια, χρυσός κλπ. Μια τέτοια καταγραφή της βασιλικής ιδιοκτησίας που γίνονταν κάθε δύο χρόνια σε όλη τη χώρα από τους ανώτερους κρατικούς υπαλλήλους, θα περιελάμβανε και τοπογραφικές μετρήσεις και θα πρέπει να ήταν σημαντική, αφού όλα τα σημαντικά γεγονότα της βασιλείας χρονολογούνταν σε σχέση με αυτήν την καταγραφή.

Λίγο παλιότερα (γύρω στα 3000 π.Χ.) είναι και τα στοιχεία της εγγραφής της ιδιοκτησίας ενός σημαντικού ανώτερου υπαλλήλου, του Methen, που έζησε την εποχή της τρίτης δυναστείας, καταγράφηκε στους τοίχους του τάφου του στη Saqqara, όπου δηλώνεται ότι όλα του ανήκουν έχουν καταχωρηθεί στο βασιλικό αρχείο ή το ληξιαρχείο. Αυτή την εποχή επομένως πρέπει να υπάρχει μια αναπτυγμένη μέθοδος μέτρησης των γαιών και υπολογισμού των εμβαδών των ιδιοκτησιών, ενώ η εγγραφή των γαιών και των μετρήσεων γινόταν ιδιαίτερα οργανωμένα. Αν και δεν βρέθηκαν σχετικά τοπογραφικά διαγράμματα, υπάρχουν ακριβείς κτηματολογικές καταγραφές και υπάλληλοι που ασχολούνται με τις καταχωρήσεις των τίτλων.

Δύο άτομα, με ένα δεύτερο σχοινί, τυλιγμένο στον ώμο τους, μετρούν το σπαρμένο χωράφι, ώστε να υπολογίσουν τη σοδειά και το ποσοστό που θα πάει στον κύριό τους. Τρεις γραφείς που ανήκουν στην ίδια διοίκηση, δύο μπροστά και ένας πίσω, ελέγχουν το τεντωμένο σχοινί, ένας ηλικιωμένος που περπατά με τη βοήθεια ενός νέου αγοριού και μ ένα ραβδί, ποσοποιεί τα όρια. Στην άκρη δεξιά, ο ιδιοκτήτης του χωραφιού, που ακολουθείται από τη σύζυγό του, πλησιάζει τους μετρητές και τους γραφείς του κτηματολογίου. Ο ίδιος κρατά στο χέρι του “Arussa el-qarm” (νύφη από σιτάρι), το σύμβολο των πρώτων καρπών της σοδειάς, όταν το σιτάρι είναι ακόμα πράσινο, ενώ η γυναίκα του φόρμα με φαγητό και μια φραντζόλα ψωμί. Μια τελετουργική προσφορά ή μια χειρονομία για να εξασφαλίσει την εύνοια των κρατικών υπαλλήλων.



Εικόνα από τον τάφο του Djoserkaseneb, της εποχής του Tuthmosis IV (1401-1391): Ο ιδιοκτήτης του τάφου φαίνεται στο κέντρο φέρνοντας έγγραφα στο ένα χέρι, και την προσωπική του ράβδο στο άλλο. Φορά μια μακριά, διαφανή φούστα και άσπρα σανδάλια. Στο υπόβαθρο, ο καλλιτέχνης έχει ζωγραφίσει τα ώριμα στάχυα πολύ ψηλά, μια και στους τάφους απεικονίζεται πάντα ασυνήθιστα μεγάλη σοδειά. Τέσσερις εργάτες αποτυπώνουν τη γη και μετρούν τη συγκομιδή.



Ένας άλλος τάφος στη Saqqara, κάποιου σημαντικού προσώπου που ονομαζόταν Mes, μας παρέχει εξαιρετικού ενδιαφέροντος πληροφορίες. Ορισμένα εδάφη κοντά στη Μέμφιδα, που ο Φαραώ Amosis (1580 π.Χ.) είχε παραχωρήσει σε έναν πρόγονο του Mes που ονομαζόταν Neshi, διεκδικήθηκαν από κάποιον Khay ως ιδιοκτησία του. Ακολούθησε δίκη όπου ο Khay παρουσίασε ψεύτικους τίτλους ιδιοκτησίας, για τους οποίους η Nubnofret, η μητέρα του Mes, επικαλέσθηκε τα στοιχεία των επίσημων καταλόγων: *“ας φέρουν τους κατάλόγους του Δημόσιου Ταμείου, αυτοί που περιέχουν το τμήμα του σιτοβολώνα του Φαραώ”*. Από το δικαστήριο στάλθηκε επιτροπή για να ελέγξει τα σχετικά αποσπάσματα του ληξιαρχείου, αλλά ο Khay, με τη βοήθεια των πλαστογραφημένων αντιγράφων, κέρδισε αρχικά την υπόθεση. Την έχασε όμως στην έφεση, όταν εξετάστηκαν και τα στοιχεία των γειτονικών ιδιοκτησιών.

Η γη ήταν πολύτιμη και οι διαφωνίες για τα όρια των αγρών συνηθισμένες. Τα στοιχεία από τα αρχεία ιδιοκτησιών του ληξιαρχείου, που μπορούσε κανείς να επικαλεσθεί σε μια υπόθεση αμφισβήτησης γης, ανέτρεχαν εκατοντάδες χρόνια πίσω. Η ποινή για τον ένοχο παραποίησης ορίων ήταν κόψιμο αυτιών και υποδούλωση. Καθώς όλη η γη ανήκε στο Φαραώ, οι καλλιεργητές της πλήρωναν μέρος της συγκομιδής τους σε φόρους.

Αναπαράσταση μέτρησης χωραφιού παρουσιάζεται στους τοίχους του τάφου κάποιου Menna, επόπτη γης και μετρητή των πέτρινων ορίων του ιερού του θεού Άμμωνα. Ο τάφος βρίσκεται στο νεκροταφείο Sheikh Abd EL Qurna, στις Θήβες. Η σκηνή που απεικονίζεται παρουσιάζει δύο μετρητές (αρπεδονάπτες με τον ελληνικό όρο) να μετρούν χωράφι δημητριακών με ένα μακρύ σχοινί χωρισμένο σε διαστήματα με κόμβους ή σημάδια που φαίνονται να είναι περίπου 4 ή 5 πήχεις στο μήκος. Καθένας μετρητής φέρνει επίσης ένα εφεδρικό σχοινί κουλουριασμένο γύρω από τον ώμο του. Μαζί μ' αυτούς περπατούν τρεις ανώτεροι υπάλληλοι, οι οποίοι φέρνουν τα γραφικά υλικά και ελέγχουν την τάση του σχοινιού. Συνοδεύονται από μικρά αγόρια που κουβαλούν γραφικά υλικά και μια τσάντα, όπου βρίσκονται πιθανώς έγγραφα και σχέδια που αναφέρονται στην ιδιοκτησία. Ένας ηλικιωμένος με ένα αγόρι συνοδεύουν επίσης τους μετρητές, και ένας αγρότης με τη γυναίκα του κουβαλά ένα καρβέλι ψωμί και μια δέσμη με πράσινα στάχυα.

Μια παρόμοια σκηνή απεικονίζεται στους τοίχους ενός άλλου τάφου που ανήκει σε κάποιον Amenhotep, επίσης στο Sheikh Abd EL Qurna, όπου φαίνεται ότι το σχοινί καταλήγει στο κεφάλι ενός κριού. Το ίδιο κεφάλι κριού παρουσιάζεται





επίσης στο άγαλμα του ιερέα Pa-en-hor, από την Άβυδο, που βρίσκεται τώρα στο μουσείο του Καΐρου. Ο ιερέας αυτός παρουσιάζεται σε μια θέση ικεσίας να κρατά μία κουλούρα μετρητικού σχοινιού, σε κάθε άκρη του οποίου υπάρχει το κεφάλι ενός κριού, δείχνοντας ότι ήταν ανώτερος υπάλληλος του ναού του Άμμωνα.

Η πλούσια συλλογή των παπύρων που χρονολογούνται από τους ελληνιστικούς και τους ρωμαϊκούς χρόνους και έχουν βρεθεί στο Fayum και σε άλλες περιοχές της Αιγύπτου, παρέχουν πολύτιμες και ενδιαφέρουσες πληροφορίες σχετικά με τη μέτρηση των γαιών, την εγγραφή τους σε κτηματολογικούς καταλόγους, την ποιότητά τους και πολλά άλλα κτηματολογικά θέματα. Παρόμοια έγγραφα, που χρονολογούνται μεταξύ του 120-111 π.Χ. βρέθηκαν και στο χωριό Kerkeosiris, κοντά στο Debtunis.

Από τους αρχαίους χρόνους η οριοθέτηση των επαρχιών ήταν πράξη μεγάλης σπουδαιότητας και τα ορόσημα που λαξεύτηκαν στους απότομους βράχους διατηρούνται σε πολλές περιπτώσεις μέχρι σήμερα. Ο δέκατος όγδοος βασιλιάς της δυναστείας των Ikhnaton (14^{ος} αι. π.Χ.) ίδρυσε τέτοια ορόσημα γύρω από την κοιλάδα του Νείλου προκειμένου να οριοθετηθεί η περιοχή της νέας πρωτεύουσας. Η θέση δεκατεσσάρων οροσίων από αυτά είναι γνωστή, ένδεκα στη ανατολική πλευρά του ποταμού και τρία στη δυτική. Σε επιγραφή η

Ο πάπυρος του Τορίνου, χρονολογείται το 1300 και απεικονίζει μια περιοχή μεταλλείων κοντά στο Umm Fawakhir, μεταξύ του Νείλου και της Ερυθράς Θάλασσας. Από τα πρώτα παραδείγματα στην ιστορία της χαρτογραφίας, χρησιμοποιείται το χρώμα για να διαφοροποιήσει τα διάφορα μεταλλεύματα από το βράχο. Ο χάρτης θεωρείται ότι συντάχθηκε για την επίλυση μιας νομικής διαφωνίας, επομένως πρέπει να βασίζεται σε μετρήσεις.

Κάτω: Το πρότυπο του βασιλικού πήχου (7 παλάμες ή 28 δάκτυλοι), φτιαγμένο από μαύρο γρανίτη. Το χρησιμοποιούσαν για τον έλεγχο των βασιλικών έργων καθώς και για τη βαθμονόμηση όλων των μετρητικών ράβδων.



Ο βαβυλωνιακός χάρτης του κόσμου, χαραγμένος σε πήλινη πινακίδα, 5^{ου} αι. π.Χ. Στον εσωτερικό κύκλο αναπαρίσταται το βασίλειο της Βαβυλώνας και στην κυκλική ταινία αναφέρονται οι Ωκεανοί.



Αστικός χάρτης της πόλης της Βαβυλώνας, χαραγμένος σε πήλινη πινακίδα, όπου φαίνεται το ιερό του Marduk και ο ιερός δρόμος που ακολουθούσαν οι πομπές προς το ιερό.



περιοχή ορίζεται ως εξής: “από το νότιο σημάδι μέχρι το βόρειο σημάδι στο βουνό ανατολικά της (πόλης) Akhetaton η απόσταση που μετριέται ανέρχεται σε 6 iter 1 khet 1/2 khet 1/4 khet και 4 πήχεις. Επιπλέον από το νότιο σημάδι μέχρι το βόρειο σημάδι στο βουνό δυτικά της Akhetaton η απόσταση που μετριέται ανέρχεται σε 6 iter 1 khet 1/2 khet 1/4 khet και 4 πήχεις. Η περιοχή μέσα σε αυτά τα τέσσερα σημάδια ..., αυτή ανήκει στον πατέρα μου Aton ...”. Οι αποστάσεις αυτές μετρήθηκαν το 1909 με τη βοήθεια αλυσίδας τριγώνων και βρέθηκαν ότι είναι 15075 και 15021 μέτρα αντίστοιχα. Η ακρίβεια για τόσο μεγάλες αποστάσεις είναι αξιοθαύμαστη, έχοντας ως όργανα μόνο τα μετρητικά σκοινιά, τις ράβδους (γνώμονες), τα νήματα της στάθμης και το merkhet.

Η κυριότερη μονάδα μήκους των Αιγυπτίων ήταν ο βασιλικός πήχυς (μεχ, 0,524 μέτρα) και βασική του υποδιαίρεση ο δάκτυλος (ζεβό, 0,0187 μέτρα). Με βάση το δάκτυλο υπολογίζονται τα εξής μέτρα: η παλάμη (4 δάκτυλοι), το χέρι (5



Διάγραμμα αγροτικής έκτασης σε πήλινη πινακίδα, περιοχής έξω από την πόλη Sippar. Αποτυπώνεται το περίπλοκο σύστημα καναλιών άρδευσης της γης.

δάκτυλοι), μικρή σπιθαμή (12 δάκτυλοι), μεγάλη σπιθαμή (14 δάκτυλοι), τσερ (16 δάκτυλοι), μικρός πήχυς (14 δάκτυλοι), μεχ (βασιλικός πήχυς, 28 δάκτυλοι), κχετ (ή σχοινία, 100 βασιλικοί πήχεις), ατέρ (12000 βασιλικοί πήχεις).

Αν και οι Αιγύπτιοι δεν διατύπωσαν καμιά θεωρία, ούτε άφησαν σημαντικά κείμενα, μπορούμε να πούμε ότι η προσφορά τους στη Γεωμετρία ήταν σημαντική. Τελειώνοντας την αναφορά μας σ' αυτούς, θα πρέπει να αναφερθούμε σε ένα σημαντικό περιστατικό που διηγείται ο Ηρόδοτος και που συνέβη κατά τη βασιλεία του Φαραώ Νεκώ (609-593). Φοινικικά καράβια, κατά παραγγελία του Νεκώ, ξεκίνησαν από την Αίγυπτο και έκαναν δύο χιλιάδες χρόνια πριν από τον Bartholomeo Dias και τον Vasco da Gama τον περίπλου της Αφρικής. Απέδειξαν έτσι την ύπαρξη του Νότιου Ωκεανού, όπως απεικονίζεται στους πρώτους ιωνικούς χάρτες:

Οι φοίνικες ξεκίνησαν από την Αίγυπτο και διασχίζοντας την Ερυθρά θάλασσα έπλευσαν στον Νότιο Ωκεανό. Όταν έφθασε το φθινόπωρο βγήκαν στην ακτή, όπου και αν βρίσκεται αυτή και, αφού έσπειραν μια μεγάλη έκταση γης με καλαμπόκι, περίμεναν να φטרώσει και να είναι έτοιμο να κοπεί. Θα ξεκινούσαν πάλι το θαλάσσιο ταξίδι τους μετά τη συγκομιδή. Και έτσι πέρασαν από τις Ηράκλειες Στήλες και γύρισαν με το καλό πίσω στην πατρίδα τους. Κατά την επιστροφή τους δίλωσαν - εγώ από την πλευρά μου δεν το πιστεύω, αλλά άλλοι ίσως ναι- πως πλέοντας γύρω από την Λιβύη είχαν τον ήλιο στα δεξιά τους. Μ' αυτόν τον τρόπο ανακαλύφθηκε για πρώτη φορά όλη η έκταση της Λιβύης.

6

Ο αστρολάβος

*Από τον Ίππαρχο και τους Έλληνες και Άραβες
αστρολόγους, στους τοπογράφους του μεσαίωνα*

Το διασημότερο όργανο στην ιστορία των οργάνων μέτρησης είναι ίσως ο (επίπεδος) αστρολάβος όργανο που χρησιμοποιήθηκε έως και τον 17^ο αι. Η αρχή της κατασκευής του ανάγεται στον Ίππαρχο, σύμφωνα με τη μαρτυρία του Συνέσιου Κυρήνης και βασίζεται στο ανάλημμα, τη στερεογραφική προβολή, την απεικόνιση σφαίρας πάνω σε επίπεδο κατά τέτοιο τρόπο ώστε να διατηρούνται οι γωνίες και οι αναλογίες των μηκών.

... σφαιρικής επιφανείας ἐξάπλωσις, ταυτότητα λόγων ἐν ἑτερότητι τῶν σχημάτων τηρουῖσαν. ... Πρῶτος τὴν ἔθεσεν ὁ Ἰπάρχος ὁ παμπάλαιος καὶ συνεπλήρωσεν ὁ Πτολεμαῖος. Ἡμεῖς δὲ ἐξυφρήναμεν τέ ἄχρι τῶν κρασπέδων αὐτό καὶ ἐτελειώσαμεν, εἰς τοῦτο δὲ περιέχοντο δέκα ἑξ ἄστέρες, οὓς μόνους Ἰπάρχος μετατεθεὶς ἐγκατέρταξεν τῶν ὀργάνων.

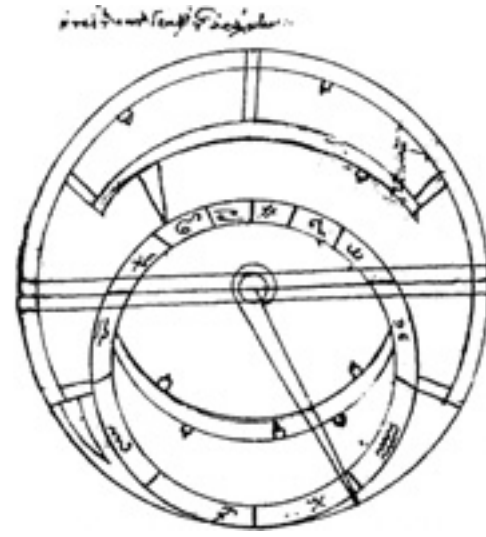
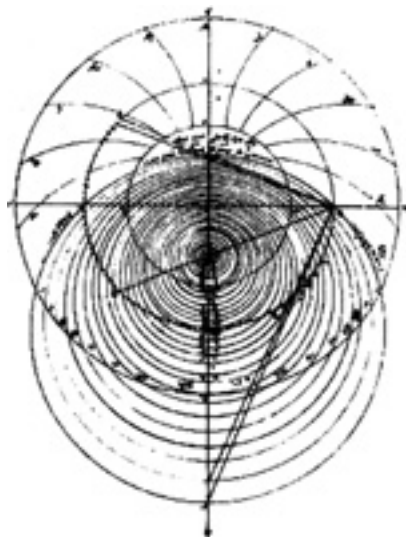
Σύμφωνα με τον Συνέσιο ο Πτολεμαῖος χρησιμοποίησε την προβολή των 16 αστερων, που κατασκεύασε ο Ίππαρχος ως εξάρτημα της κλεψύδρας, οργάνου μέτρησης του χρόνου τη νύχτα. Βασικό όργανο μέτρησης του χρόνου η κλεψύδρα, αναφέρεται πρώτα από τον Εμπεδοκλή και τον Αναξαγόρα ως ένα δοχείο με τρύπες στον πυθμένα. Με μορφή κλεψύδρας ο Πλάτων κατασκεύασε ένα νυχτερινό ωρολόγιο χρησιμοποιώντας υδραυλικό σιφώνιο. Στη συνέχεια ο Κτησίβιος και ο Αρχιμήδης κατασκεύασαν ωρολόγια με ιδιοφυείς και πολύπλοκους υδραυλικούς μηχανισμούς. Από την ολοκλήρωσή τους με την στερεογραφική προβολή της ουράνιας σφαίρας, που αποδίδεται στον Ίππαρχο ή στον Απολλώνιο τον Περγαίο, προκύπτει το αναφορικό ρολόι και ο αστρολάβος.

Εάν η καινοτομία του Ίππαρχου ήταν να χρησιμοποιηθεί η στερεογραφική προβολή για να απεικονίσει τα δέκα ἑξ ἄστέρια, των οποίων οι ώρες της ανατολής και της δύσης ήταν καταγεγραμμένες, το όργανό του, που σε συνδυασμό με την κλεψύδρα δίνει τον χρόνο τη νύχτα, ήταν ίσως το αναφορικό ρολόι ή ο πρόδρομός του που περιγράφεται από τον Βιτρούβιο έναν αιώνα αργότερα.

Ο πυρήνας αυτού του οργάνου ήταν ένας χάρτης των αστεριών στη στερεογραφική προβολή, κεντρωμένος στο βόρειο ουράνιο πόλο και χαραγμένος σ' έναν χάλκινο δίσκο. Ο ήλιος αντιπροσωπευόταν από έναν κινητό δείκτη τοποθετημένο στην εκλειπτική και συγχρόνως σε σωστή θέση σχετικά με τους αστερισμούς. Αυ-



Ιωάννη Καματηρού, *Περὶ τῆς τοῦ ἀστρολάβου χρήσεως*. Θεόδωρου Μελιτηνιώτη, *Ἀστρονομικὴ Τριβίβλος*. Νικηφόρου Γρηγορά, *Περὶ κατασκευῆς ἀστρολάβου*.

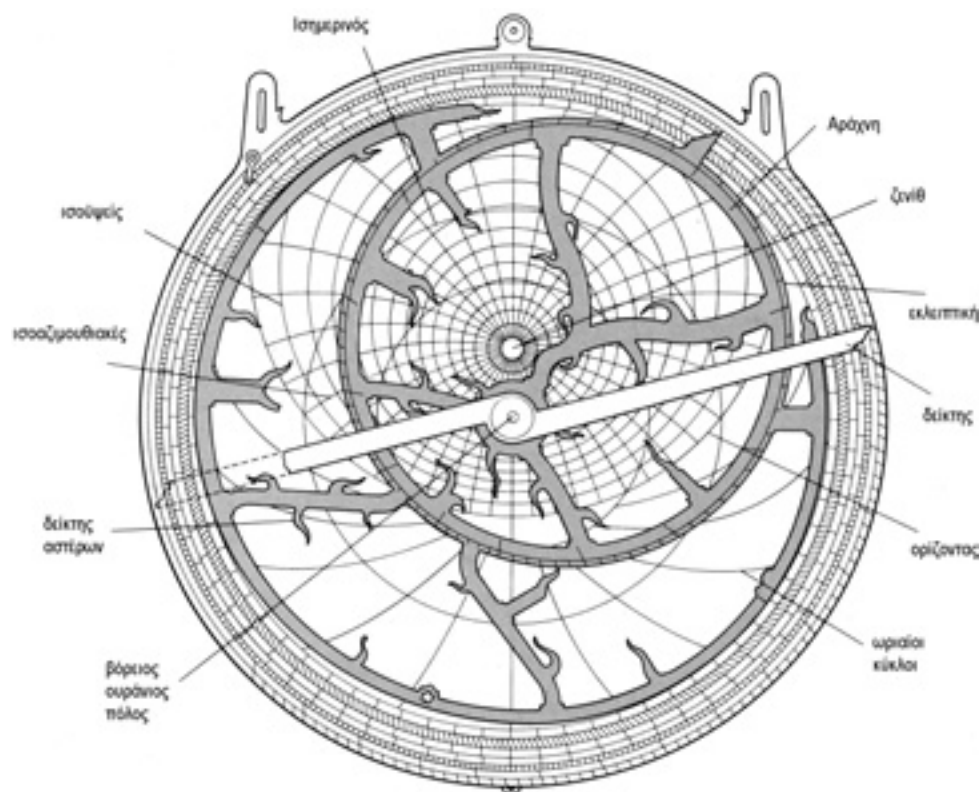


τός ο δίσκος περιστρεφόταν με τη βοήθεια της δύναμης του νερού. Στο μπροστινό μέρος υπήρχε επίσης χαραγμένη η στερεογραφική προβολή ενός καννάβου, που αναπαριστούσε το ουράνιο σύστημα συντεταγμένων, καθώς και η γραμμή του ορίζοντα, όπως φαίνονται στο τόπο που ήταν εγκαταστημένο το ρολόι. Ο δείκτης πάνω στις γραμμές αυτές αναπαριστούσε τη θέση του ήλιου στον ουρανό και έδινε την ώρα, ακόμα και τη νύχτα.

Το αναφορικό ρολόι έχει πολλά κοινά με τον αστρολάβο, και τα φορητά ηλιακά ρολόγια που χρησιμοποιούν τη στερεογραφική προβολή, καθώς και με κάποιο ωροσκοπικό όργανο που περιγράφει ο Πτολεμαίος στο *Planisphaerium*, μια πραγματεία (ίσως το χαμένο έργο του *Ἀπλωσις Επιφανείας*) που διασώθηκε μόνο σε μια λατινική μετάφραση προερχόμενη από αραβική.

Μια εκδοχή για το ωροσκοπικό αυτό όργανο είναι ότι πρόκειται για τον επίπεδο αστρολάβο. Μια άλλη εκδοχή, η πιο πιθανή, είναι ότι πρόκειται για ένα ενδιάμεσο όργανο, που προέκυψε από την εξέλιξη του αναφορικού ρολογιού. Το σύστημα συντεταγμένων χαραχτηκε σε σταθερό δίσκο και μπροστά του υπήρχε ένα περιστρέψιμο δικτυωτό πλέγμα (η αράχνη, όπως αναφέρεται στο *Planisphaerium* της οποίας η επινόηση αποδίδεται στον Εύδοξο τον Κνίδιο), διαμορφώνοντας έναν χάρτη των επιλεγμένων αστεριών (που φέρονται στους δείκτες) και του εκλειπτικού κύκλου. Ο σταθερός δίσκος ήταν το επιπεδοσφαίριο, η θεωρία του οποίου περιγράφηκε από τον Πτολεμαίο στην ομώνυμη πραγματεία και το ωροσκοπικό όργανο του επιπεδοσφαιρίου δεν ήταν πιθανώς ένα όργανο παρατήρησης, αλλά ένα είδος υπολογιστή που έπρεπε να τροφοδοτηθεί με τις γωνίες ύψους του ήλιου και των αστεριών.

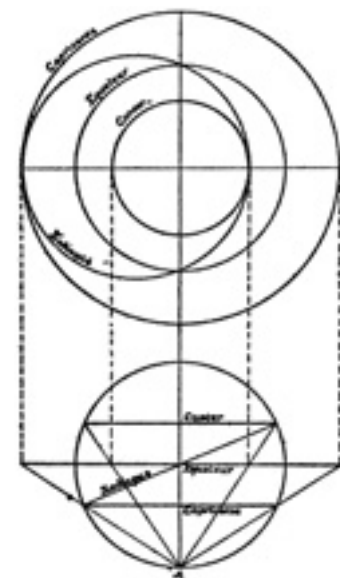
Στο τέλος του 4^{ου} αιώνα, ο αστρολάβος έχει τη μορφή που πρόκειται να διατηρήσει για την επόμενη χιλιετία, εφοδιασμένος με τη μήτρα, το τύμπανο και την αράχνη. Το τύμπανο είναι ένας μπρούτζινος δίσκος που φέρει τη στερεογραφική προβολή, χαραγμένος με γραμμές που αναπαριστούν τους μεσημβρινούς, τους παραλλήλους και τον ορίζοντα του παρατηρητή και αναφέρεται σε ένα συγκεκριμένο κλίμα, με τη δυνατότητα να αλλάζει και να προσαρμόζεται σε άλλα κλίματα. Η αράχνη είναι ένας άλλος δίσκος κομμένος προσεκτικά, έτσι που να παρουσιάζει έναν περιστρεφόμενο χάρτη του ουρανού όπου οι θέσεις των αστεριών σημειώνονται με καμπυλωμένους δείκτες. Οι δύο δίσκοι επικάθονται σε έναν τρίτο δίσκο, τη μήτρα, που διαθέτει κλίμακα με ώρες, λεπτά και δευτερόλεπτα στην



Τα μέρη του αστρολάβου

περιφέρειά του και περιστρέφονται γύρω από έναν κοινό άξονα που παριστάνει τον άξονα του κόσμου. Η λειτουργία του οργάνου γίνεται κατά τέτοιο τρόπο, ώστε όταν περιστρέφεται ο δίσκος του ουράνιου χάρτη να δείχνει τη θέση οποιουδήποτε σημείου του ουρανού ως προς τη θέση του παρατηρητή. Ταυτόχρονα ο παρατηρητής έχει την εικόνα του κόσμου και την άμεση γραφική λύση διάφορων αστρονομικών προβλημάτων, όπως είναι η ανατολή και η δύση του ηλίου σε ορισμένο τόπο ή ορισμένη εποχή του έτους κλπ. Στο πίσω μέρος του ο αστρολάβος φέρει βαθμολογημένους κύκλους και σκόπευτρο για τη μέτρηση γωνιών. Σχετικά με το εξωτερικό όριο του οργάνου, στον Αστρολάβο του Πτολεμαίου, σ' αυτόν που περιγράφει ο Συνέσιος, και ίσως σε όλους τους βυζαντινούς αστρολάβους, τα εξωτερικά όρια φθάνουν μέχρι τον Ανταρκτικό κύκλο της ουράνιας σφαίρας, το νοτιότερο όριο των αστεριών που είναι ορατά από τον κατοικήσιμο κόσμο. Στα πιο πρόσφατα όργανα, από τον 10^ο αι. και μετά, τα όρια μέτρησης είναι πιο περιορισμένα, φθάνουν μέχρι τον τροπικό του Αιγόκερου, με αποτέλεσμα το όργανο να μη μπορεί να παρουσιάσει τα αστέρια του νότιου ημισφαιρίου όταν ο παρατηρητής βρίσκεται στη βόρεια εύκρατη ζώνη της γης.

Μια πραγματεία για το όργανο γράφτηκε από τον Θέωνα της Αλεξάνδρειας. Η πραγματεία αυτή δεν σώζεται, αναφέρεται όμως από άραβες συγγραφείς ότι ο αστρολάβος του Θέωνα είχε όλα τα χαρακτηριστικά του σύγχρονου οργάνου. Και ο Συνέσιος ο Κυρηναίος στον *Πρός Παιόνιον υπέρ του δώρου αστρολαβίου λόγον* περιγράφει αργυρό αστρολάβο, που κατασκεύασε με την καθοδήγηση της διδασκάλου του Υπατίας, κόρης του Θέωνα. Η παλαιότερη όμως και πλήρης περιγραφή του αστρολάβου με οδηγίες κατασκευής του, δίνεται από τον βυζαντινό λόγιο τον Ιωάννη τον Φιλόπονο το 530 περίπου. Αυτή η εργασία, πιθανώς να βασίζεται σε σημειώσεις παραδόσεων από *φωνής Αμμωνείου*, βασισμένες τελικά στη χαμένη πραγματεία του Θέωνα.



Η αρχή της στερεογραφικής προβολής. Ο όρος “στερεογραφική προβολή” αναφέρεται για πρώτη φορά στο βιβλίο του Ιησουίτη Francois d'Aguillon, *Opticorum Libri VI*, που τυπώθηκε το 1613 στην Αμβέρσα. Ο d'Aguillon μελέτησε εμπεριστατωμένα τη στερεογραφική προβολή και διατύπωσε τις χαρακτηριστικές της ιδιότητες. Εξέτασε και την ειδική περίπτωση της εφαρμογής στη χαρτογραφία.



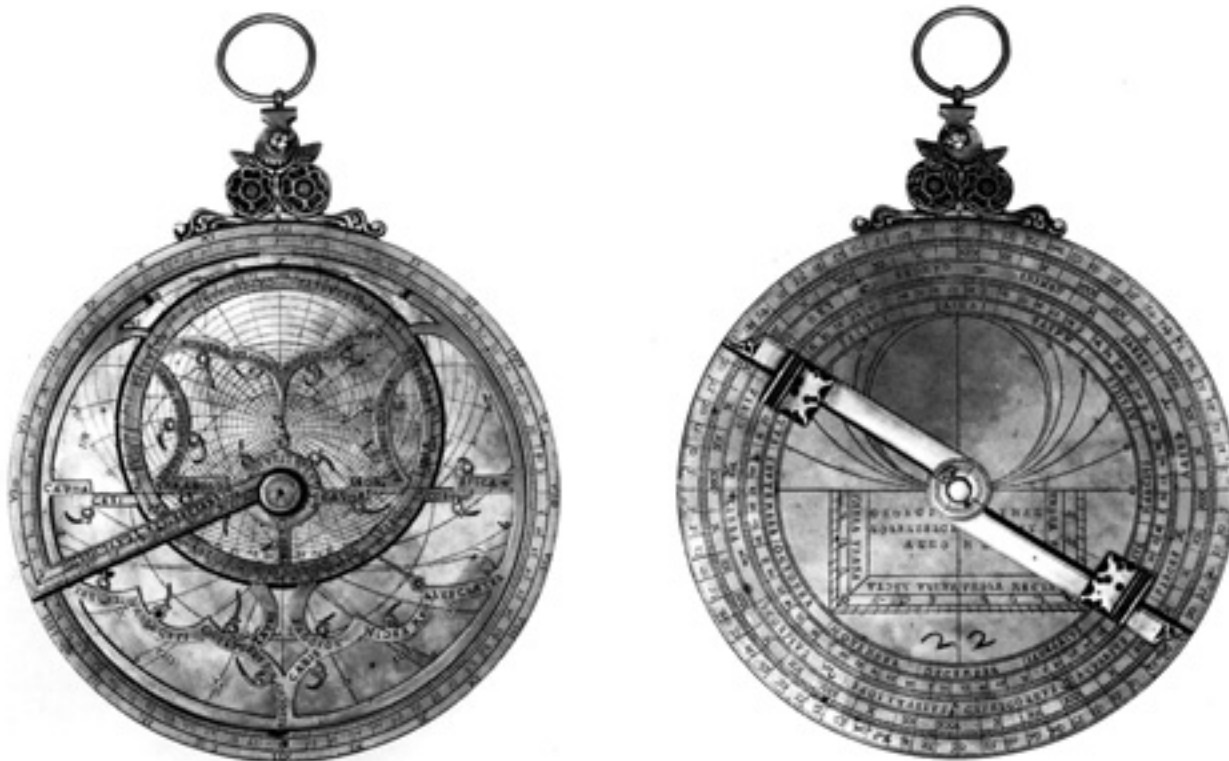
Περσικός αστρολάβος του 1790:
τέσσερα τύμπανα (το καθένα αναφέ-
ρεται σε ένα συγκεκριμένο κλίμα), η
μήτρα, η αράχνη
και η διάταξη σκόπευσης.

Μια χρήσιμη παρατήρηση για αυτόν που θέλει να παρακολουθήσει την εξέλιξη του οργάνου αφορά στην ιστορία του ονόματός του. Για τον Πτολεμαίο και τον Πρόκλο, αστρολάβος είναι το σφαιρικό όργανο. Ο Θέωνας ονομάζει το επίπεδο όργανο μικρό αστρολάβο και ο Φιλόπονος απλά αστρολάβο, όπως όλοι οι μετέπειτα συγγραφείς, μέχρι τον 16^ο αι., όταν πια το όργανο αρχίζει να χάνει τη δημοτικότητά του.

Έχουν σωθεί 15 βυζαντινές πραγματείες για τον επίπεδο αστρολάβο (Θεόδωρος Μετοχίτης, Ιωάννης Καματερός, Νικηφόρος Γρηγοράς, Ισαάκ Αργυρός, Βαρλαάμ κ.ά. ανώνυμες) και μία περί σφαιρικού. Από αυτές οι 13 γράφτηκαν κατά την παλαιολόγεια περίοδο. Δυστυχώς παρά την πλούσια αυτή παράδοση, μόνο ένας αστρολάβος σώζεται, βρέθηκε στη Brescia και κατασκευάστηκε το 1062 για τον πέρση Σέργιο, ο οποίος έφερε τους βυζαντινούς τίτλους πρωτοσπαθάριος και ύπατος.

Το όργανο υιοθετήθηκε από τους Άραβες και χρησιμοποιήθηκε στην αστρονομία, την αστρολογία (για τον προσδιορισμό της θέσης των πλανητών στον ουρανό σε συνδυασμό με ειδικούς πίνακες), για την εύρεση των χρόνων των πέντε καθημερινών προσευχών, στη γεωδαισία (π.χ. για τον προσδιορισμό του γεωγραφικού πλάτους ή την εύρεση της διεύθυνσης προς τη Μέκκα) και σε απλά τοπογραφικά προβλήματα (για τη μέτρηση γωνιών, αντί της διόπτρας).

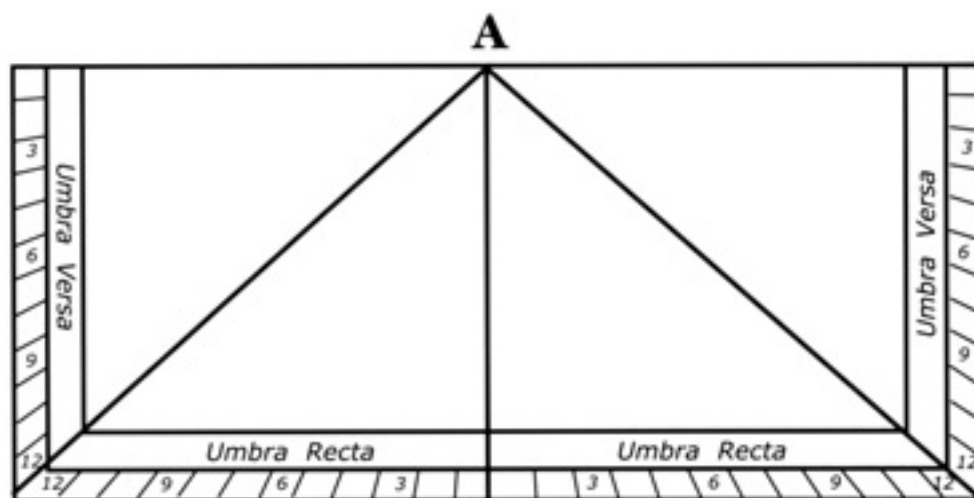
Οι Άραβες γνώρισαν τον ελληνικό αστρολάβο στην πόλη Harran της Συρίας, το σημαντικότερο κέντρο για τη διάδοση της ελληνιστικής γνώσης κατά τον έβδομο αιώνα. Ως πρώτος άραβας κατασκευαστής αστρολάβου φέρεται να είναι ο Αλ-Φαζαρί, ο οποίος εργάστηκε υπό την προστασία του χαλίφη αλ-Μασούρ και πέ-



θανε το 777. Η λατινική μετάφραση της πραγματείας του Μεσαχαλλάχ, ενός Εβραίου αιγυπτιακής καταγωγής που έζησε τον 8^ο αι., έγινε το δημοφιλέστερο κείμενο περί αστρολάβου στη μεσαιωνική Ευρώπη. Η πραγματεία του Μεσαχαλλάχ μεταφράστηκε στα λατινικά το 1140 από τον Johannes Hispalensis. Μια άλλη λατινική μετάφραση έγινε τον δέκατο τρίτο αιώνα από τον Γκεράρδο της Κρεμόνας. Οι μεταφράσεις αυτές αποτέλεσαν τη βάση πολλών εργασιών, όπως του ραβίνου Ben Ezra στην Ισπανία, του Chaucer στην Αγγλία και ενός ιρλανδικού κειμένου αγνώστου συγγραφέως.

Πολλά άλλα αραβικά κείμενα αυτής την περίοδο είναι γνωστά, όπως του αλ-Φαργκανί, του κατασκευαστή αλ-Μερβαρούντι και του διάσημου μαθητή του Αλί ιμν' Ισα, του γνωστού με το ψευδώνυμο αλ-Αστρολαμπί. Ο αλ Χουατιζμί δη-

Οι δυο όψεις νεότερου αστρολάβου, κατασκευασμένου το 1532 στη Νυρεμβέργη από τον George Hartmann. Το μπροστινό μέρος του αστρολάβου όπου φαίνεται η αράχνη με δείκτες 27 αστέρων και με τον κύκλο της εκλειπτικής βαθμονομημένο ανά 1 μοίρα, και ο κανόνας σκόπευσης που περιστρέφεται πάνω σε κλίμακες βαθμών και ωρών. Κάτω από την αράχνη βρίσκεται ο δίσκος των γεωγραφικών πλατών. Στην πίσω πλευρά του αστρολάβου, βαθμονομημένοι κύκλοι και ημερολογιακοί δείκτες, γραμμές για την εύρεση της ώρας από τη γωνία ύψους του ήλιου, το σκιοτετράγωνο και ένα περιστρεφόμενο σύστημα σκόπευσης.



Το σκιοτετράγωνο, χαραγμένο σχήμα στο πίσω μέρος του αστρολάβου για τη μέτρηση αποστάσεων και υψομετρικών διαφορών. Αποτελεί μια διάταξη για την εύρεση της εφαιπομένης για (ζενίθιες) γωνίες μικρότερες των 45° στην κλίμακα umbra recta και της συνεφαπτομένης για γωνίες μεγαλύτερες των 45° στην κλίμακα umbra versa. Το σημαντικότερο τμήμα, για τις τοπογραφικές εφαρμογές, του αστρολάβου, του τετραγωνιόμετρου και του τετράντα.

Μέτρηση της απόστασης ή της υψομετρικής διαφοράς μεταξύ του παρατηρητή και του πύργου με αστρολάβο. Ο παρατηρητής σκοπεύει την κορυφή του πύργου με τη σκοπευτική διάταξη του πίσω μέρους του αστρολάβου. Αν a είναι η ανάγνωση στην κλίμακα *umbra recta* και η κλίμακα είναι βαθμονομημένη ως το 12, τότε ο λόγος ύψος προς απόσταση είναι $12/a$. Αν η ζενίθια γωνία είναι μεγαλύτερη των 45° και a η ανάγνωση στην κλίμακα *umbra versa*, ο λόγος ύψος προς απόσταση είναι $a/12$.



μοσίευσε μια συλλογή προβλημάτων σχετικών με τη χρήση του αστρολάβου. Κατά τη διάρκεια των επόμενων εκατόν πενήντα ετών, της χρυσής περιόδου της αραβικής σκέψης, οι βελτιώσεις συνέχισαν να εμφανίζονται. Η πιο εξέχουσα προσωπικότητα αυτής της περιόδου ήταν ο Πέρσης αλ-Μπιρούνι (973-1048), ο οποίος άφησε στην πραγματεία του *Kitab fi'l-isti* μια πλήρη περιγραφή του αστρολάβου. Σημαντική συνεισφορά στην εξέλιξη και χρήση του αστρολάβου αποτέλεσαν τα κείμενα και οι πίνακες προβολής του αστρονόμου και μαθηματικού αλ-Ζαργκανί (1029-1087). Το έργο του αλ-Ζαργκανί μεταφράστηκε στα λατινικά από τον William Anglicus το 1231. Υπάρχει επίσης μια ισπανική μετάφραση του 13^{ου} αι., την εποχή της ηγεμονίας του Αλφόνσου Χ.

Ο αστρολάβος εισήχθη στην Ευρώπη ίσως ταυτόχρονα από τους Άραβες και από τους Έλληνες του Βυζαντίου. Η πρώτη περιγραφή της χρήσης του αστρολάβου στην Ευρώπη σε τοπογραφικές εφαρμογές ανήκει στον Gerbert. Στην πραγματεία του *Astrolabii Sententiae* (δεύτερο μισό του 10^{ου} αι.) περιγράφει τα πολυάριθμα προβλήματα που επιλύονται με τη βοήθεια του σκιοτετραγώνου του αστρολάβου. Αν και δεν υπάρχει περιγραφή του οργάνου, από τις λύσεις των προβλημάτων μπορούμε να υποθέσουμε ότι ο αστρολάβος του Gerbert ήταν μια απλουστευμένη μορφή του οργάνου, ειδικά προσαρμοσμένη στις το-



Δύο πορτογαλικοί ναυτικοί αστρολάβοι του 1605 και 1616 αντίστοιχα. Βρέθηκαν στο πλοίο *Nuestra Senora de Atocha*, που βυθίστηκε το 1622 στις ακτές της Φλόριντας. Ο παρατηρητής, για να μετρήσει το ύψος του ήλιου, κρατούσε τον αστρολάβο κατακόρυφα με τέτοιο τρόπο, ώστε η σκιά του ενός άκρου του κανόνα σκόπευσης να πέφτει πάνω στο άλλο.

πογραφικές και γεωδαιτικές εφαρμογές. Η πλήρης περιγραφή του οργάνου δίνεται στο σύγγραμμα *De mensura astrolabii* του Hermann Contractus, στα μέσα περίπου του 11^{ου} αι. Εκατό χρόνια αργότερα, ο Hugo Physicus έγραψε το *Practica Geometriae* του. Και οι δύο αυτοί οι συγγραφείς φαίνεται να βασίζονται στην εργασία του Gerbert.

Κατά τη διάρκεια των μεγάλων γεωγραφικών ανακαλύψεων, προς το τέλος του 15^{ου} αι., βρίσκουμε τον αστρολάβο να χρησιμοποιείται στα σκάφη για τον καθορισμό του γεωγραφικού πλάτους με την αναγνώριση του πολικού αστέρα ή με τη μέτρηση των γωνιών ύψους του ήλιου κατά τη μεσημβρία. Ο απλουστευμένος ναυτικός αστρολάβος, χωρίς τους δίσκους του, αποτέλεσε το σημαντικότερο όργανο πλοήγησης μέχρι τον 18^ο αι. που αντικαταστάθηκε, όπως και άλλα όργανα ναυσιπλοΐας, από τον εξάντα. Τα δείγματα ναυτικού αστρολάβου που σώζονται σήμερα είναι πολύ σπάνια και αυτό αποδίδεται στο γεγονός ότι *στερήθηκε των διακοσμητικών σχεδίων που έδωσαν στον αστρονομικό και τοπογραφικό αστρολάβο μια υψηλή καλλιτεχνική αξία και όταν εκτοπίστηκε ως όργανο πλοήγησης, πέρασε από τα καταστήματα των ναυτικών οργάνων στους φούρνους τήξης των εργαστηρίων.*



Μέτρηση του ύψους με τετράντες και αστρολάβους.
 Πάνω δεξιά: εικόνα από το βιβλίο του Johannes Stoeffler, *An Explanation of the Construction and Use of the Astrolabe* (Εξήγηση της κατασκευής και χρήσης του αστρολάβου, 1513). Η θέση του αστρολάβου και του ματιού του παρατηρητή βρίσκεται εκεί όπου η σκόπευση προς τον ήλιο περνάει από την άκρη του πύργου. Τότε η τρίτη κορυφή του ορθογώνιου τριγώνου είναι η άκρη της σκιάς του πύργου. Από τη γωνία της κορυφής αυτής και το γνωστό μήκος της σκιάς προκύπτει το ύψος του πύργου. Παρόμοια είναι η μέθοδος μέτρησης του βάθους του πηγαδιού στην κάτω αριστερή εικόνα από το ίδιο βιβλίο. Από τις δύο εικόνες κάτω δεξιά, η πρώτη είναι από ένα αντίγραφο του 1568 της *Κοσμογραφίας* του Πέτρου Απαινού και δεύτερη από το βιβλίο του Stoeffler. Εφαρμόζεται η πιο προηγμένη τεχνική του τριγωνισμού, με τετράντες και αστρολάβους αντίστοιχα, όπου εκτός από το ύψος, υπολογίζεται και η οριζόντια απόσταση.

