

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟΥ ΜΗΚΟΥΣ
ΜΕ ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ Η ΜΕ ΤΗΝ
ΜΕΘΟΔΟ ΤΗΣ ΣΕΛΗΝΗΣ»**

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΣΠΟΥΔΑΣΤΩΝ: 1) ΜΙΧΑΛΟΠΟΥΛΟΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ
2) ΒΑΓΓΕΛΑΚΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ
3) ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΣΑΡΑΝΤΟΠΟΥΛΟΣ ΑΝΔΡΕΑΣ

ΠΑΤΡΑ - 2013

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Σκοπός της παρούσας Πτυχιακής εργασίας είναι η περιγραφή της εύρεσης του γεωγραφικού μήκους και πλάτους της Γης.

Εμείς ως φοιτητές του τμήματος «Πολιτικών Έργων Υποδομής» αποφασίσαμε, μαζί με τον καθηγητή μας Σαραντόπουλο Ανδρέα , να ενασχοληθούμε με μία από αυτές τις θεωρίες, η οποία να αφορά τον κλάδο μας, στο τομέα της Τοπογραφίας. Η εν λόγω περιγραφή που κάνουμε αφορά την ιστορική εξέλιξη , τα όργανα υπολογισμού καθώς και τους ανθρώπους που συντέλεσαν για αυτό.

Σε αυτό το σημείο θέλουμε να ευχαριστήσουμε θερμά τον καθηγητή και επόπτη μας, τον κύριο Σαραντόπουλο Ανδρέα, διότι μέσω του ιδίου και του θέματος της πτυχιακής που μας έδωσε να αναπτύξουμε, καταλάβαμε την σπουδαιότητα και την χρησιμότητα της επιστήμης της Τοπογραφίας σε καθημερινά αλλά και εξεζητημένα θέματα.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της Πτυχιακής εργασίας είναι η αναφορά και η περιγραφή των ιστορικών γεγονότων, της εξελικτικής διαδικασίας για την εύρεση του γεωγραφικού μήκους και πλάτους της Γης. Ακόμα παρουσιάζουμε τις μεθόδους, τα όργανα και τους ανθρώπους που συνετέλεσαν σε αυτή την διαδικασία.

Μαζί με τον καθηγητή μας, συλλέξαμε όλα τα απαραίτητα στοιχεία για την ανωτέρω περιγραφή όπως:

- Χάρτες – τριγωνισμός - γεωμετρία
- Προσανατολισμός
- Όργανα μέτρησης
- Ιστορική εξέλιξη
- Μέθοδοι υπολογισμού
- Προβολικά συστήματα

Τα ανωτέρω περιγράφονται και αναλύονται, με παραδείγματα (βλέπε παράρτημα) και πηγές από άρθρα.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	2
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	3
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	4
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	6
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	6
1.2 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΜΗΚΟΣ ΚΑΙ ΠΛΑΤΟΣ	7
1.3 ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ	15
1.4 ΤΟ ΝΑΥΤΙΚΟ ΧΡΟΝΟΜΕΤΡΟ	18
1.5 ΤΡΙΓΩΝΟΜΕΤΡΙΑ ΚΑΙ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΑ.....	22
1.6 ΧΑΡΤΕΣ.....	33
1.6 ΠΡΟΒΟΛΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ.....	55
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ	64
2.1 ΜΕΘΟΔΟ ΣΕΛΗΝΗΣ - ΙΣΤΟΡΙΑ	64
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	70
3.1 Ο ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΑΝΤΙΚΥΘΗΡΩΝ	70
3.2 ΑΣΤΡΟΛΑΒΟΣ.....	77
3.3 ΑΠΌ ΤΟΝ ΑΣΤΡΟΛΑΒΟ ΣΤΟ ΘΕΟΔΟΛΙΧΟ	79
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	84
1. ΕΥΡΕΣΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ ΕΝΟΣ ΣΗΜΕΙΟΥ ΣΕ ΧΑΡΤΗ	84
2. Εφαρμογή εύρεσης σημείων στο τοπογραφικό χάρτη περιοχής Χορτιάτη	88

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	94
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	96

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα του ανθρώπου είναι ο εντοπισμός της θέσης του καθώς και η πορεία που πρέπει να χαράξει με σκοπό να φτάσει στον προορισμό του.

Όπως θα δείτε και παρακάτω αυτή η ανησυχία παρουσιάζεται κατά την αρχαιότητα και μέχρι τις μέρες μας έχει δεχτεί τεράστια εξέλιξη. Ποιος δεν έχει σήμερα κινητή συσκευή τηλεφώνου με εφαρμογή GPS.

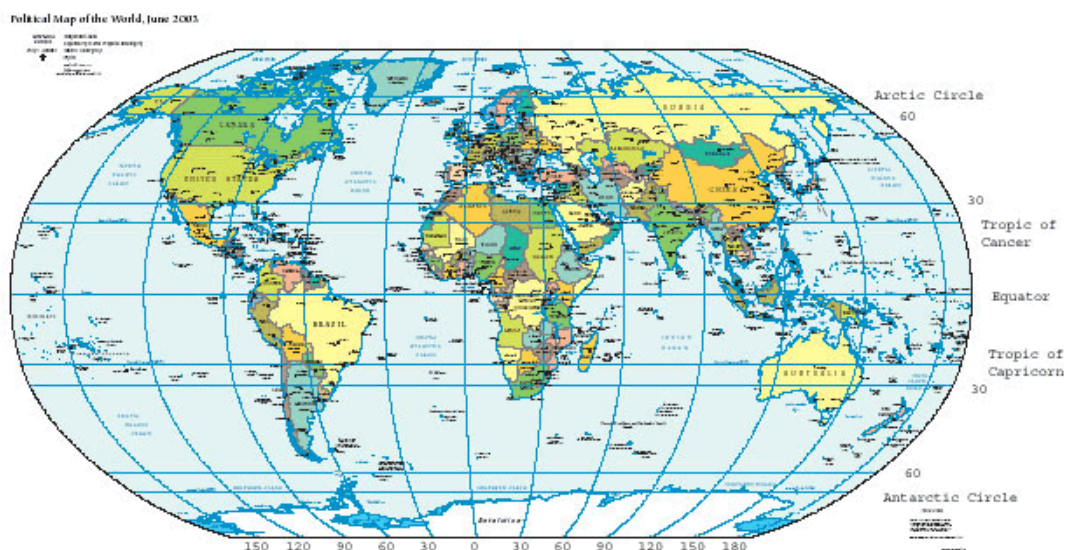
Αυτή η ανάγκη του ανθρώπου τον οδήγησε κατά την διάρκεια της ιστορίας σε μεγάλες ανακαλύψεις, παρακάτω σας παρουσιάζουμε όλα τα γεγονότα, τους ανθρώπους και τις μεθόδους που πραγματοποιήθηκαν.

1.2 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΜΗΚΟΣ ΚΑΙ ΠΛΑΤΟΣ

Το γεωγραφικό μήκος (longitude) είναι ένα από τα δύο μεγέθη των γεωγραφικών συντεταγμένων με τα οποία προσδιορίζεται η θέση των διαφόρων τόπων (εκτός των πόλων) και πλοίων στην επιφάνεια της γης και "κατά προβολή" η θέση των αεροσκαφών υπεράνω αυτής. Συμβολίζεται στην ελληνική με το γράμμα (λ) εκ της αγγλικής l (long).

Η μέτρηση του γεωγραφικού μήκους έχει οριστεί κατά σύμβαση να μετριέται από τον Μεσημβρινό που διέρχεται από το Αστεροσκοπείο του Γκρίνουιτς στην Μεγάλη Βρετανία καλούμενος πρώτος μεσημβρινός ή αριθμητικά $000^{\circ} 00' 00''$

- Το γεωγραφικό μήκος αποδίδεται σε μοίρες, πρώτα και δεύτερα της μοίρας ή και ως δεκαδικός αριθμός επί των προηγουμένων. Οι μοίρες του γεωγραφικού μήκους προς αποφυγή λάθους αποδίδονται πάντα με τριψήφιο αριθμό από 000° - 180° Α (Ανατολικό), ή 000° - 180° Δ (Δυτικό) και στην αγγλική E (East) or W (West) αντίστοιχα.
- Ιδιαίτερη προσοχή στην αναφορά γεωγραφικού στίγματος: πρώτα δίνεται το γεωγραφικό πλάτος και στη συνέχεια το "γεωγραφικό μήκος", π.χ. $\lambda: 005^{\circ} 25' 45''$ Α ή $165^{\circ} 00' 25''$ Δ



Εικόνα 1. Παγκόσμιος χάρτης.

Γεωγραφικό πλάτος (*latitude*) (φ) ενός σημείου που βρίσκεται στην επιφάνεια της γης είναι η γωνία που σχηματίζει η κατακόρυφος του τόπου με το επίπεδο του ισημερινού.

Το γεωγραφικό πλάτος χαρακτηρίζεται Βόρειο Β (North N) ή Νότιο Ν (South S) ανάλογα σε ποιο ημισφαίριο βρίσκεται το σημείο. Σημεία του ίδιου ημισφαιρίου έχουν *ομώνυμα* πλάτη (same names) σε αντίθεση με σημείο διαφορετικού ημισφαιρίου που έχουν *ετερώνυμα* πλάτη (contrary names). (Αυτό λαμβάνεται σοβαρά υπ' όψη στους υπολογισμούς).

Το γεωγραφικό πλάτος μετράται σε μοίρες και υποδιαιρέσεις αυτών, πρώτα και δεύτερα από 0° - 90° Β ή 0° - 90° Ν (αρχής γενομένης της μέτρησης από τον ισημερινό του οποίου το γεωγραφικό πλάτος είναι 0°).

- *Παράδειγμα:* Γεωγραφικό πλάτος $\varphi = 10^\circ 15' 30''$ B ή αγγλικά latitude = $10^\circ 15' 30''$ N.
(*Σημείωση: Ιδιαίτερη προσοχή, το ελληνικό N δηλώνει το Νότιο ενώ το αγγλικό N (North) δηλώνει το Βόρειο. Στην αναφορά στίγματος πρώτα δίδεται ή ζητείται το πλάτος φ .*)

Οι περιφέρειες των μέγιστων κύκλων που περιέχουν τον άξονα της γης (άρα και τους πόλους) καλούνται γήινοι Μεσημβρινοί (Meridians, μερίντιανς) και επομένως είναι κάθετοι στον ισημερινό.

Από κάθε σημείο της επιφάνειας της γης διέρχεται ένας και μόνο ένας γήινος μεσημβρινός, άπειροι επομένως και οι μεσημβρινοί της γης. Ο μεσημβρινός που διέρχεται από το αστεροσκοπείο του Γρήνουϊτς ονομάζεται πρώτος μεσημβρινός ή μεσημβρινός του Greenwich.

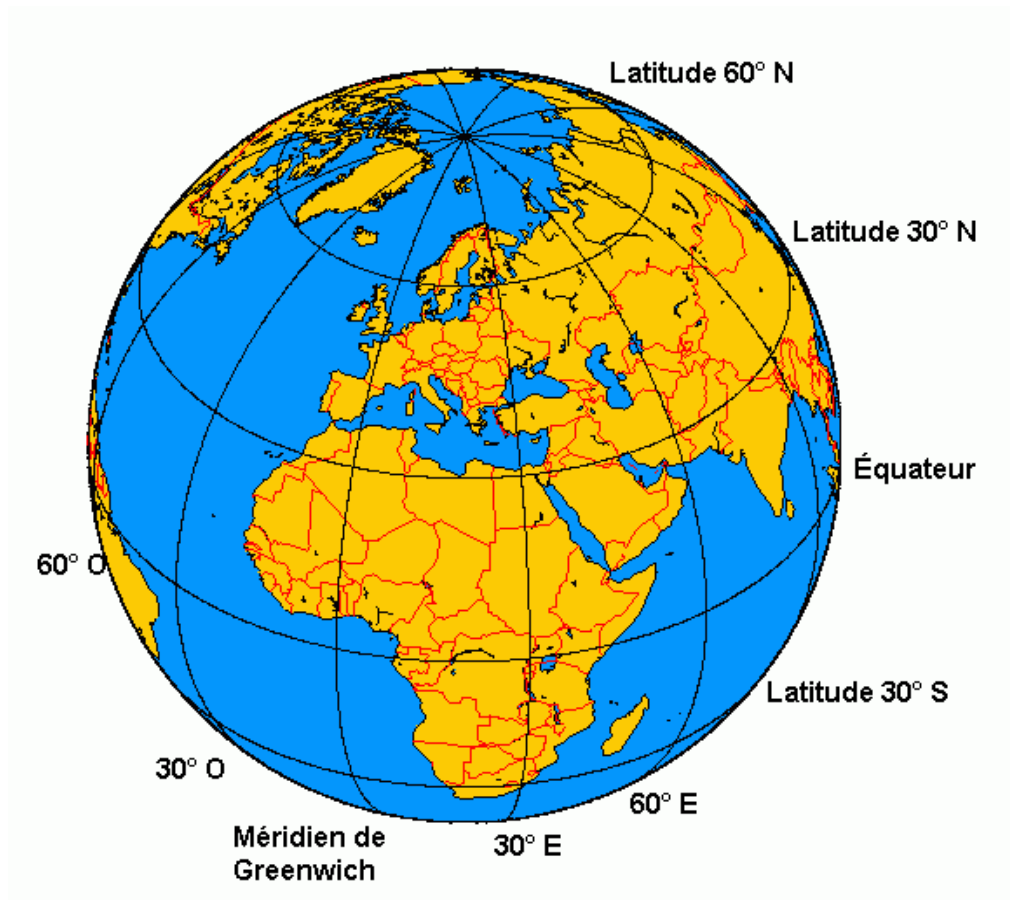
Ο πρώτος μεσημβρινός χωρίζει τη γη σε δύο ημισφαίρια το δεξιό αυτού, με την Ασία καλούμενο Ανατολικό και το άλλο αριστερό αυτού, με τον ατλαντικό και τις ΗΠΑ, Δυτικό ημισφαίριο.



Εικόνα 2. Ο πρώτος μεσημβρινός στο αστεροσκοπείο του Γρήνουϊτς

Ο γήινος μεσημβρινός ενός τόπου χρησιμεύει για τον προσδιορισμό του καλούμενου γεωγραφικού μήκους όπου και εκφράζεται ως απόσταση σε μοίρες από τον θεωρούμενο κατά συνθήκη πρώτο μεσημβρινό. Όλα τα ουράνια σώματα Ήλιος, Σελήνη, Αστέρες, λόγω της φαινόμενης περιστροφής της ουράνιας σφαίρας, διέρχονται δύο φορές το 24ωρο από τον μεσημβρινό του τόπου, δηλαδή μία φορά πάνω από τον ορίζοντα και μία φορά κάτω απ' αυτόν.

- Οι διαβάσεις αυτές λέγονται μεσημβρινές ή μεσουρανήσεις. Η μεν πρώτη λέγεται άνω μεσουράνηση ή άνω διάβαση του συγκεκριμένου ουράνιου σώματος η δε δεύτερη κάτω μεσουράνηση ή κάτω διάβαση ομοίως. Ειδικότερα η άνω διάβαση του Ηλίου ονομάζεται μεσημβρία, ενώ η κάτω μεσονύκτιο. Η τελευταία λαμβάνεται ως αρχή της πολιτικής ημέρας ενώ αντίθετα η μεσουράνηση ή μεσημβρία (πάντα για τον Ήλιο) λαμβάνεται ως αρχή της αστρονομικής ημέρας.



Εικόνα 3.

Τα δύο αντιδιαμετρικά σημεία από τα οποία διαπερνά ο φανταστικός άξονας της περιστροφής της γης ονομάζονται γεωγραφικοί πόλοι (geographical poles). Και ο μεν κείμενος προς τον αστερισμό της μικρής άρκτου καλείται Βόρειος Πόλος (North Pole) ο δε άλλος που βλέπει προς τον αστερισμό του Νοτίου Σταυρού Νότιος Πόλος (South Pole).



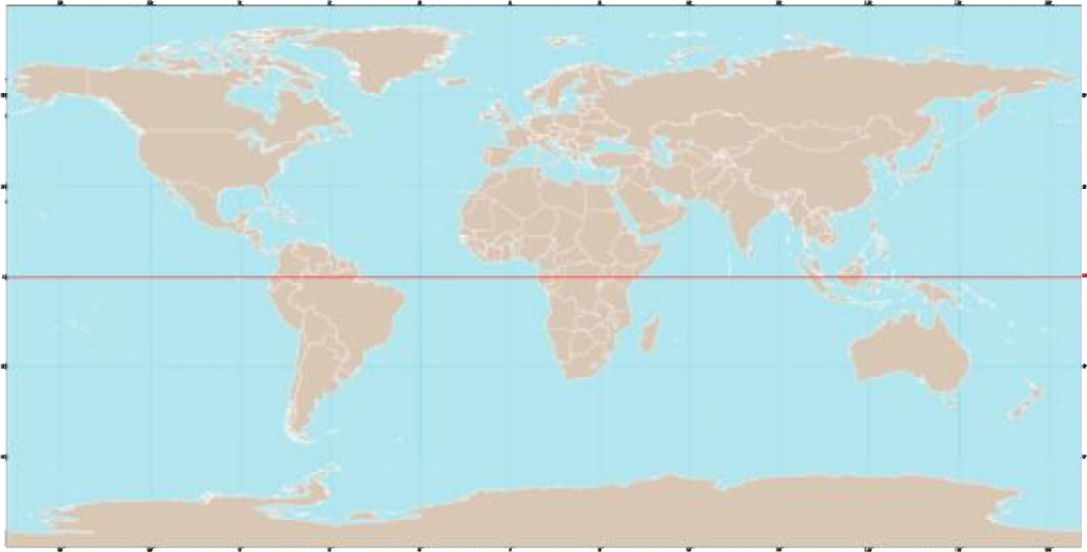
Εικόνα 4.

Μεσημβρινοί (κάθετοι) και Παράλληλοι (οριζόντιοι κύκλοι)

Η περιφέρεια του μέγιστου κύκλου που ισαπέχει από τους δύο πόλους καλείται Ισημερινός. Το επίπεδο του κύκλου αυτού, του ισημερινού, θεωρητικά χωρίζει τη γη σε δύο ημισφαίρια και κατ' αντιστοιχία των πόλων, στο *βόρειο ημισφαίριο* (north hemisphere) και στο *νότιο ημισφαίριο* (south hemisphere).

Όλες οι περιφέρειες των παράλληλων κύκλων προς εκείνο του Ισημερινού (και επομένως κάθετων προς τον άξονα της γης) ονομάζονται *παράλληλοι* (parallels) ή *παράλληλοι κύκλοι* ή *παράλληλοι πλάτους*.

Από κάθε σημείο της επιφάνειας της γης διέρχεται ένας και μόνο παράλληλος. Συνεπώς οι παράλληλοι εκατέρωθεν του ισημερινού είναι άπειροι.



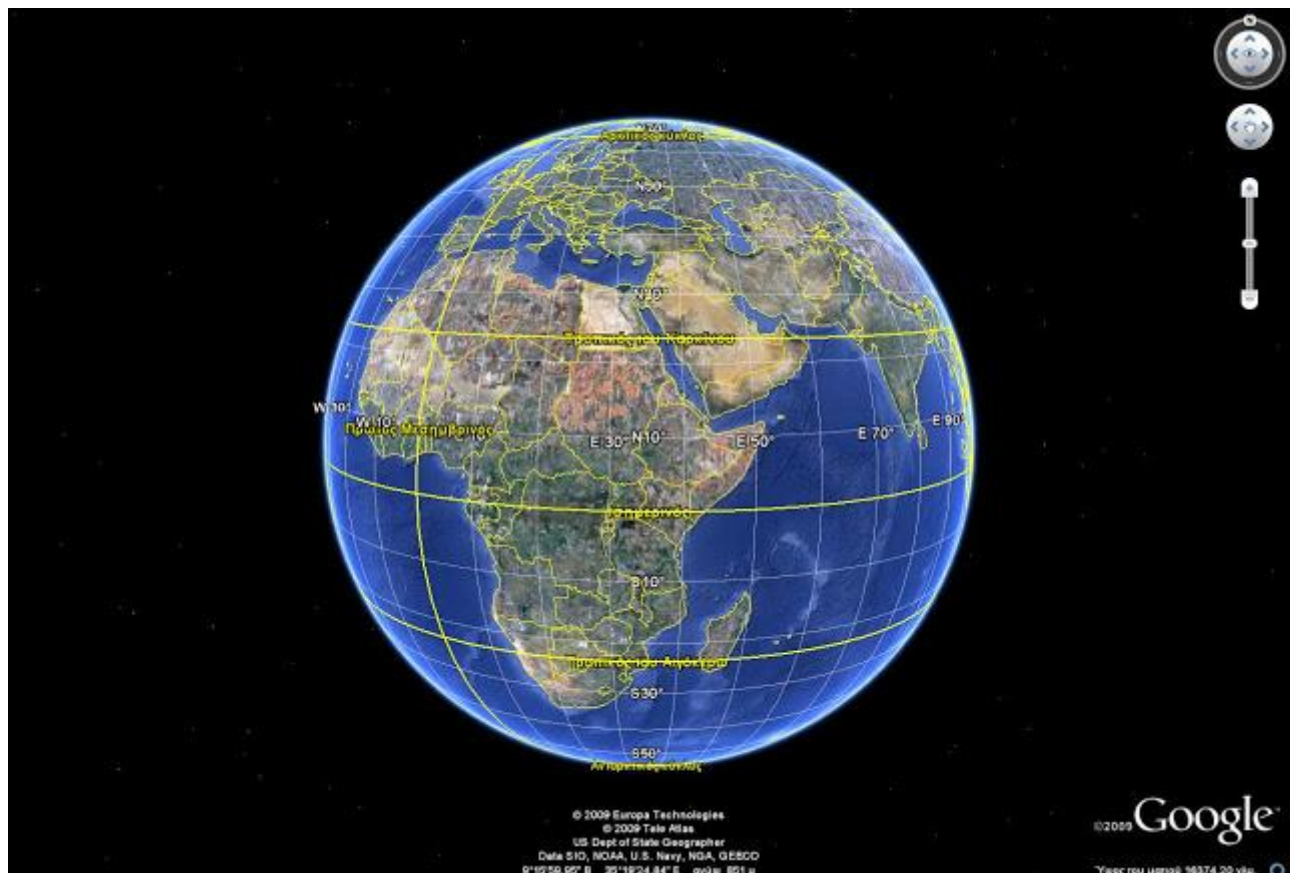
Εικόνα 5.

Γεωγραφικό πλάτος

Εάν κόψουμε το σφαιροειδές της γης σε παράλληλες τομές ως προς το επίπεδο του Ισημερινού τότε οι κύκλοι όσο απομακρυνόμαστε από τον ισημερινό γίνονται όλο και μικρότεροι.

Αν ορίσουμε πλάτος ίσο με μηδέν αυτό του ισημερινού και ανεβαίνουμε προς το βορρά τότε ο βόρειος πόλος θα έχει γεωγραφικό πλάτος 90° Βόρειο.

Αντίθετα αν κατεβαίνουμε προς το Νότιο πόλο θα έχουμε νότια πλάτη μέχρι τις 90° Νότιο.



Εικόνα 6.

Άρα γεωγραφικό πλάτος ενός τόπου είναι η απόσταση σε μοίρες (η 1 μοίρα έχει $60'$ και το $1'$ έχει $60''$) του παράλληλου κύκλου που περνά από τον τόπο ως προς τον ισημερινό της γης (που είναι μέγιστος κύκλος με πλάτος 0°).

Κάθε τόπος έχει το δικό του γεωγραφικό πλάτος και λέγεται βόρειο, αν ο τόπος είναι στο Β. Ημισφαίριο ή Νότιο, αν ο τόπος είναι στο Ν. Ημισφαίριο.

Στους χάρτες το γεωγραφικό πλάτος σημειώνεται στα περιθώρια αριστερά και δεξιά με οριζόντιες ή καμπύλες γραμμές.

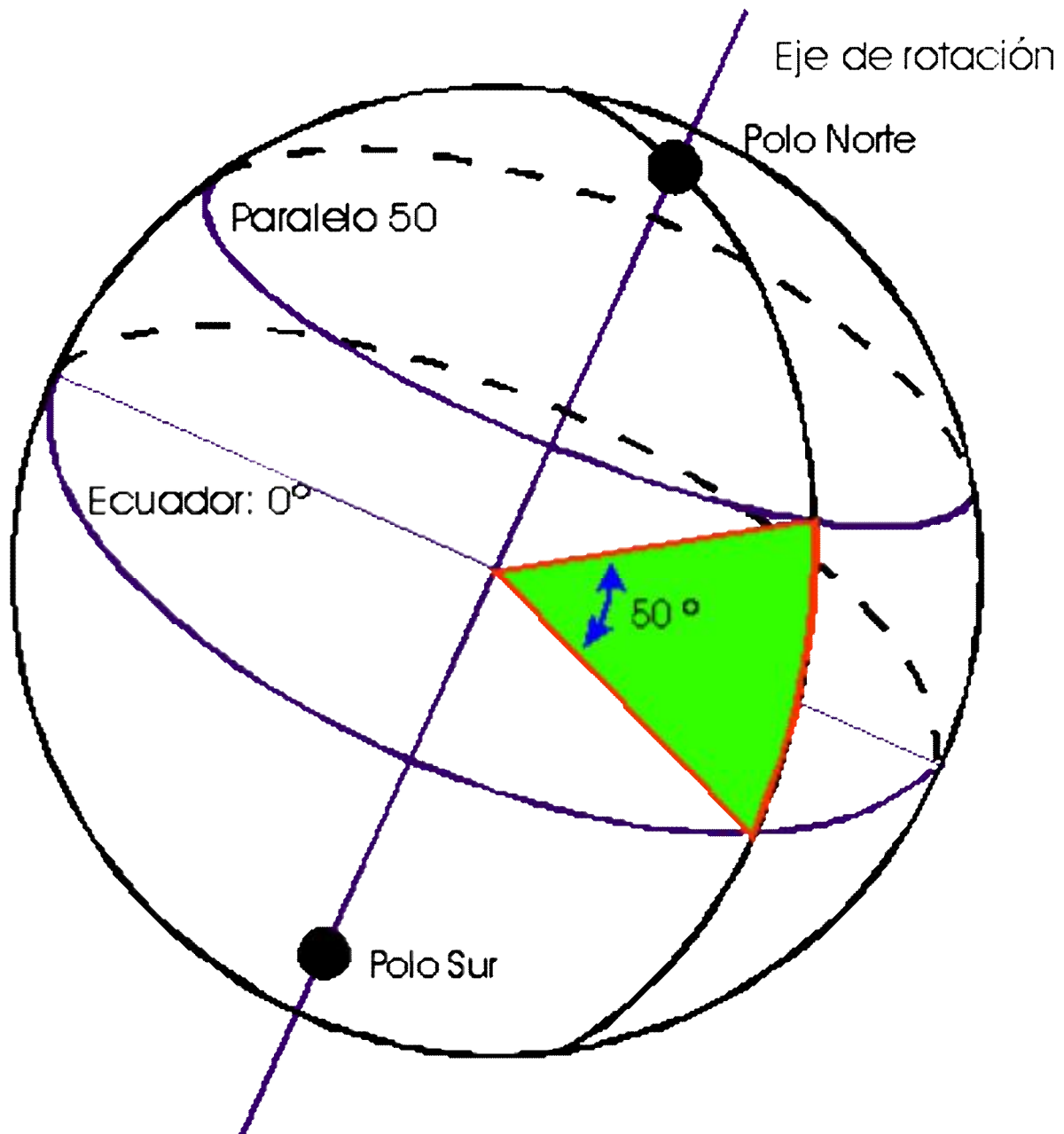
Το γεωγραφικό πλάτος της Αθήνας είναι $37^{\circ} 58' 27''$ Β. ενώ της Θεσσαλονίκης είναι $40^{\circ} 37' 48''$ Β.



Εικόνα 7. ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

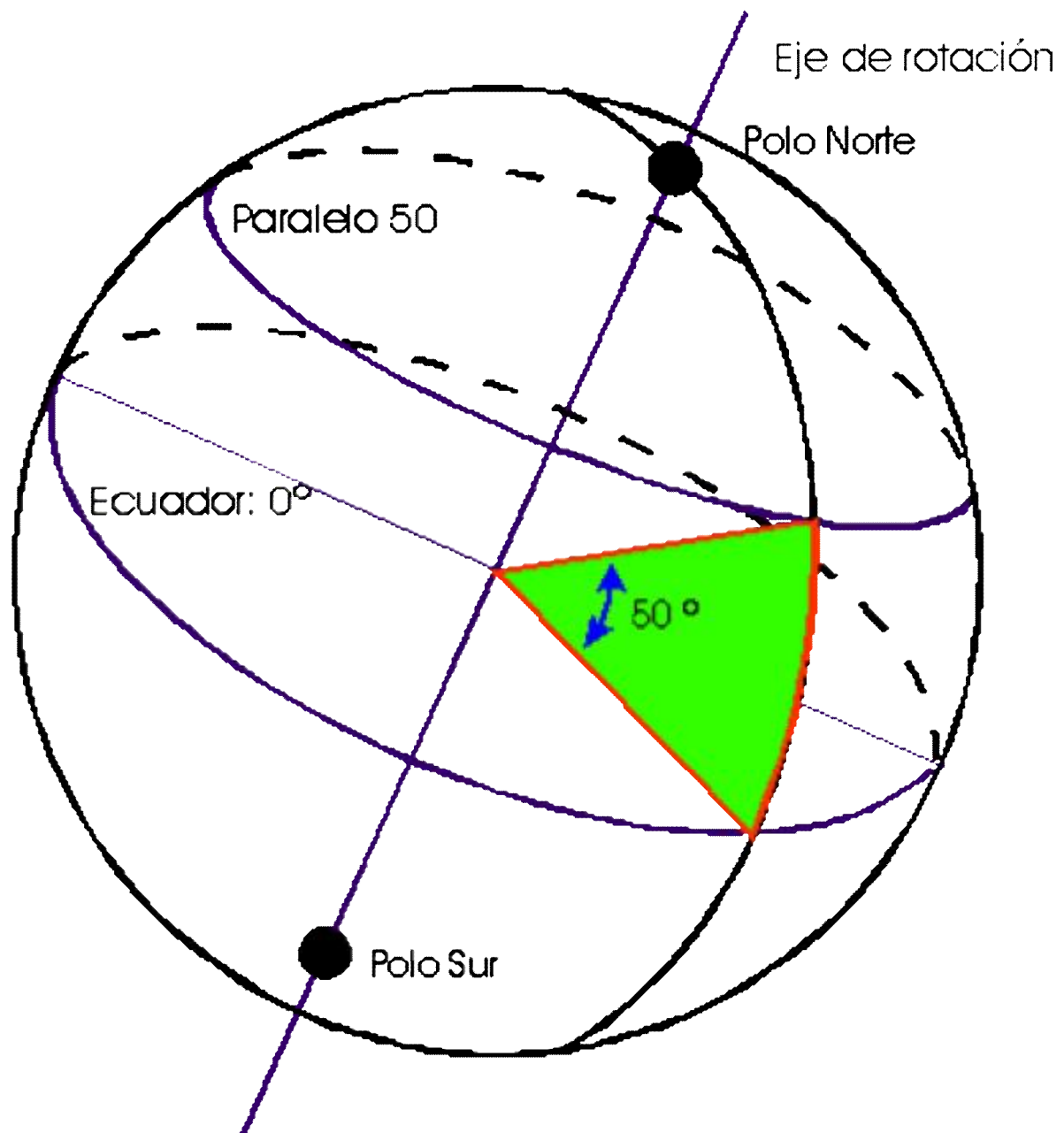
Το γεωγραφικό πλάτος (latitudo) είναι ένα από τα δύο μεγέθη των γεωγραφικών συντεταγμένων με τα οποία προσδιορίζεται η θέση των διαφόρων τόπων και πλοίων στην επιφάνεια της γης και κατά προβολή η θέση των αεροσκαφών υπεράνω αυτής.

Συγκεκριμένα, προσδιορίζει την γωνιακή απόσταση των διάφορων τόπων από τον Ισημερινό, ο οποίος άγει γεωγραφικό πλάτος ίσο με 0. Συμβολίζεται με το γράμμα (φ), αγγλικά lat.



Εικόνα 8.

- Το γεωγραφικό πλάτος αποδίδεται σε μοίρες, πρώτα και δεύτερα της μοίρας ή και ως δεκαδικός αριθμός επί των προηγούμενων. Οι μοίρες του γεωγραφικού πλάτους αποδίδονται πάντα με διψήφιο αριθμό από 00° - 90° B (Βόρειο), ή 00° - 90° N (Νότιο) και στην αγγλική N (North) or S (South) αντίστοιχα. (Προσοχή στο N αν είναι ελληνικό ή λατινικό).
- Ιδιαίτερη προσοχή στην αναφορά γεωγραφικού στίγματος: πρώτα δίνεται το γεωγραφικό πλάτος και στη συνέχεια το "γεωγραφικό μήκος", π.χ. φ: 05° 25' 45'' B ή 65° 00' 25'' N



Εικόνα 9. Προσδιορισμός γεωγραφικού πλάτους 50°N , επί τόξου του μεσημβρινού του τόπου.

1.3 ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ



Εικόνα 10. Πυξίδα

A. Πυξίδα

Πυξίδα είναι το όργανο που έχει μια μαγνητική βελόνα που δείχνει πάντα το Βορρά. Εκτός από τη βελόνα στην πυξίδα υπάρχει ένας δίσκος όπου φαίνονται τα νούμερα από 0 μέχρι 360. Τα νούμερα αυτά υποδηλώνουν μια κατεύθυνση σε σχέση με τον άξονα Βορρά - Νότου και μετρούνται σε μοίρες π.χ το 0° ή N είναι ο Βορράς, το 90° ή E η Ανατολή, το 180° ή S ο Νότος και το 270° ή W η Δύση.

Πάνω στο χρυσαφί δακτύλιο της πυξίδας υπάρχουν δύο φωσφορίζουσες γραμμές (ανάλογα την πυξίδα είναι πρασινογάλαζες ή πράσινες στην πυξίδα της εικόνας μας είναι λευκές) διαφορετικού μήκους (μία μεγάλη και μία μικρή). Η σκοπιμότητά τους είναι:

- Η μεγάλη γραμμή να ταυτιστεί με τη διεύθυνση του Βορρά (B).
- Η μικρή γραμμή μας δείχνει τις πρώτες 45 μοίρες της δεξιόστροφης γωνίας από το Βορρά (B). Χρησιμεύει κυρίως τη νύχτα – γιατί είναι φωσφορίζουσα – για να ξέρουμε προς τα πού είναι η δεξιόστροφη γωνία (διεύθυνση).

Επιπλέον, η πυξίδα έχει ένα μικρό μεγεθυντικό φακό, που μας βοηθάει να δούμε καλύτερα την αριθμητική ένδειξή της, και ένα σκόπευτρο που βρίσκεται στην ίδια ευθεία με ένα νήμα σκόπευσης, που υπάρχει στο καπάκι της πυξίδας. Το σκόπευτρο, η πρασινογάλαζη (πράσινη) μεγάλη γραμμή του δακτυλίου της πυξίδας και το νήμα σκόπευσης, κανονικά, όταν ξεκινάμε, θα πρέπει να είναι στην ίδια ευθεία.

Βασική προϋπόθεση, για να δείξει σωστά η πυξίδα, είναι να την κρατάμε οριζόντια και ακίνητη, για να επιτρέψουμε το δίσκο να κινηθεί ελεύθερα. Επίσης, προσέχουμε, στο χώρο που ψάχνουμε να βρούμε μία ένδειξη, να μη βρισκόμαστε κάτω από πυλώνες της Δ.Ε.Η., διότι δημιουργούν ισχυρά μαγνητικά πεδία με αποτέλεσμα να επηρεάζουν και να αποπροσανατολίζουν την ένδειξη της πυξίδας.

Ακόμη, πρέπει να είμαστε μακριά από σκουπίδια, όπου μαζεύονται αρκετά μεταλλικά αντικείμενα που τραβούν το μαγνητισμό της βελόνας της πυξίδας.

Μπορεί, όμως, η πυξίδα να είναι χαλασμένη ή να μας πέσει κάτω και να σπάσει, προτού να προλάβουμε να εντοπίσουμε το Βορρά (Β). Πώς βρίσκουμε σ' αυτήν την περίπτωση το Βορρά (Β) χωρίς όργανα; Η ανατολή του ήλιου δεν είναι αξιόπιστη, διότι αυτό συμβαίνει με ακρίβεια μόνο δύο φορές το χρόνο (φθινοπωρινή και εαρινή ισημερία).

Β. Άλλοι τρόποι προσανατολισμού

Άλλοι τρόποι για να βρούμε το Βορρά (Β) είναι:

- Οι εκκλησίες, το ιερό των οποίων είναι στραμμένο προς την Ανατολή (Α).
- Τα νεκροταφεία που βλέπουν προς τη Δύση (Δ).
- Το ρολόι, το οποίο είναι ο ακριβέστερος και προτιμότερος τρόπος. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι το ρολόι να έχει ωροδείκτη. Στρέφουμε τον ωροδείκτη και σημαδεύουμε τον ήλιο ό,τι ώρα και να είναι. Παίρνουμε τη γωνία που σχηματίζεται από τη διεύθυνση του ωροδείκτη με τον ήλιο και τη 12^η ώρα του ρολογιού. Κατόπιν, παίρνουμε τη διχοτόμο της γωνίας. Ο Βορράς (Β) είναι επί της διχοτόμου και στην αντίθετη διεύθυνση από αυτήν που βλέπουμε τον ήλιο.

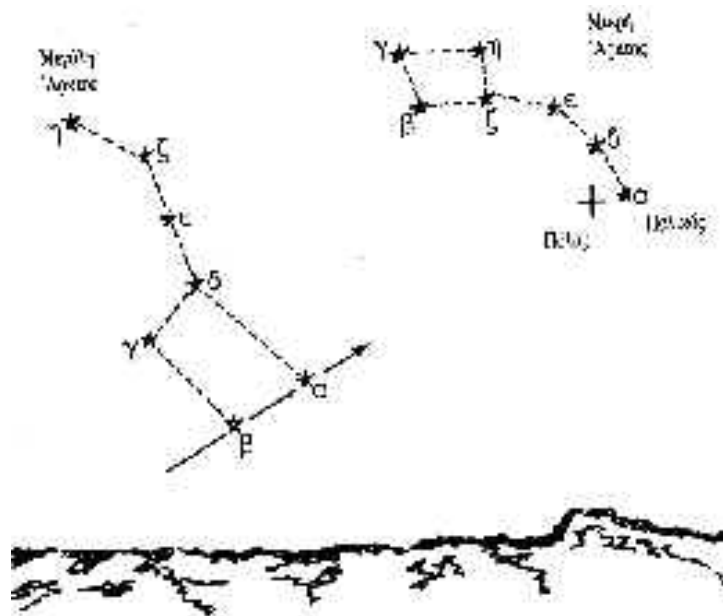


Εικόνα 11. προσανατολισμός με τη βοήθεια ρολογιού

(πηγή: www.eoskavalas.com/.../proxorpyxida.htm)

- Με απαραίτητη προϋπόθεση να είναι μεσημέρι και να έχει ηλιοφάνεια και με τη βοήθεια ενός κατακόρυφου προς τη γη κονταριού, βρίσκουμε τη σκιά του. Η σκιά του κονταριού δείχνει το Βορρά (Β).

- Τα βρύα, τα οποία φύονται προς το ψυχρότερο μέρος της περιοχής, δηλαδή προς το Βορρά (B). Απαραίτητη προϋπόθεση να είναι συννεφιά και να κάνει κρύο.
- Οι μυρμηγκοφωλιές. Τα μυρμήγκια φτιάχνουν το λοφάκι του χώματος, με το οποίο προστατεύουν τη φωλιά τους από τον ψυχρό αέρα, στραμμένο προς το Βορρά (B). Αυτό προϋποθέτει περιοχή με κρύους βόρειους ανέμους.
- Τη νύχτα μπορούμε να βρούμε το Βορρά (B), βρίσκοντας τον Πολικό Αστέρα, ο οποίος δείχνει το Βορρά (B). Ο Πολικός Αστέρας είναι η προέκταση της ουράς της Μικρής Άρκτου. Αυτό συμβαίνει στο βόρειο ημισφαίριο. Τη νύχτα μπορείς να προσδιορίσεις το Βορρά με τον πολικό αστέρα. Ο πολικός αστέρας έχει προνόμιο να μην αλλάζει θέση γιατί βρίσκεται πάνω στον άξονα περιστροφής της γης και γι' αυτό δείχνει πάντα τον Βορρά ενώ προσδιορίζεται εύκολα από τον αστερισμό της Μεγάλης Άρκτου. Η Μεγάλη Άρκτος βρίσκεται πάντα στο βόρειο τμήμα του ορίζοντα και αναγνωρίζεται εύκολα από το σχήμα κατσαρόλας που σχηματίζουν τα επτά άστρα της. Αν από τα άστρα α και β της Μεγάλης Άρκτου χαράξεις μια νοητή γραμμή και την προεκτείνεις προς το α, 5 φορές το μήκος α-β, τότε θα βρεις τον πολικό αστέρα που ανήκει στον αστερισμό της Μικρής Άρκτου.



Εικόνα 12. προσανατολισμός με τη βοήθεια του Πολικού Αστέρα

(πηγή: www.eoskavalas.com/.../proxorpyxida.htm)

Όλα τα προαναφερόμενα, εκτός από το ρολόι, είναι ανασφαλής και δεν μπορούμε να τα εμπιστευτούμε με σιγουριά.

1.4 ΤΟ ΝΑΥΤΙΚΟ ΧΡΟΝΟΜΕΤΡΟ



Εικόνα 13. Ναυτικό χρονόμετρο

Ενώ δεν είναι ιδιαίτερα δύσκολο να προσδιοριστεί αστρονομικά σε ποιο γεωγραφικό πλάτος βρισκόμαστε πάνω στην επιφάνεια της Γης, ο προσδιορισμός του γεωγραφικού μήκους δημιουργεί δυσκολίες. Μόλις οι ναυτικοί έχαναν την οπτική επαφή με τη στεριά, δεν είχαν δυνατότητα προσανατολισμού στον ωκεανό. Αν εξαιρέσουμε τη Σελήνη και τους ορατούς με το μάτι πλανήτες, ο νυχτερινός ουρανός φαίνεται ακριβώς ίδιος, είτε ταξιδεύει κάποιος κατά μήκος ενός παραλλήλου προς την Ανατολή, είτε μένει ακίνητος για κάποιες ώρες. Για να ξεπεραστεί αυτή η δυσκολία απαιτείται η κατοχή ενός ρολογιού ακριβείας κι ενός εξάντα.

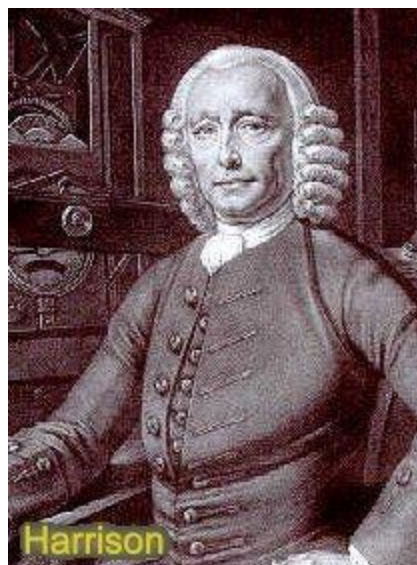
Συγκεκριμένα, για κάθε μετακίνηση κατά 15° κατά μήκος ενός παραλλήλου ανατολικά αυξάνεται η τοπική ώρα κατά $60'$ ($=1h$) και αντίστροφα, μειώνεται κατά $60'$ ($=1h$) η τοπική ώρα ανά 15° κατά μήκος ενός παραλλήλου δυτικά. Έτσι, όταν γνωρίζουμε με ακρίβεια την τοπική ώρα δύο σημείων στην υδρόγειο, είμαστε σε θέση να υπολογίσουμε το γεωγραφικό μήκος ανάμεσά τους. Κι εφόσον το ένα από τα δύο αυτά σημεία είναι «αμετακίνητο» σημείο αναφοράς, όπως π.χ. αυτό που ορίζεται από τον μεσημβρινό του Greenwich, παίρνουμε το απόλυτο γεωγραφικό μήκος οποιουδήποτε σημείου πάνω στην υδρόγειο. Η ανάγκη για ακρίβεια του ρολογιού είναι προφανής, γιατί για κάθε λεπτό της ώρας που αποκλίνει ένα ρολόι, η απόκλιση στην επιφάνεια της Γης φτάνει τα 110 χιλιόμετρα.

Στο βιβλίο του «Το νησί της προηγούμενης ημέρας» αναπλάθει ο Ιταλός συγγραφέας *Umberto Eco* με μυθιστορηματικό τρόπο πραγματικά περιστατικά από τις προσπάθειες του 17^{ου} αιώνα να επινοηθεί μια μέθοδος για το ακριβή προσδιορισμό του γεωγραφικού μήκους στην ανοικτή θάλασσα. Οι δεισιδαιμονίες του παρελθόντος, πολλές από τις οποίες επιβιώνουν σε περιβάλλον αμάθειας μέχρι τον 21^ο αιώνα, οδηγούσαν «ερευνητές» σε σκληρά βασανιστήρια ζώων, ώστε το ακόνισμα ή το κάψιμο ενός μαχαιριού σε κάποια ευρωπαϊκή πόλη, ακριβώς τα μεσάνυχτα, να μεταδοθεί «πνευματικά» στο πλοίο, το οποίο ταξίδευε μακριά στον ωκεανό, και να κάνει το τραυματισμένο ζώο να ουρλιάζει λόγω του επερχόμενου πόνου! Όταν ούρλιαζε το ζώο από τον πόνο στις κακοφομισμένες και

συντηρούμενες πληγές του, πίστευε ο ναυτικός ότι ήταν μεσάνυκτα στην ευρωπαϊκή πόλη κι έτσι μπορούσε να υπολογίσει το στίγμα του στον ωκεανό. Αποτέλεσμα ήταν να σχεδιάζονται χάρτες με νησιά, βραχονησίδες και θαλάσσια ρεύματα σε απίθανα σημεία, τα οποία προφανώς δεν ήταν δυνατόν να εντοπιστούν πάλι, αφού δεν υπήρχε αντικειμενική μέθοδος προσδιορισμού των συντεταγμένων στην υδρόγειο. Πολλά πλοία χάθηκαν εκείνη την εποχή, πέφτοντας πάνω σε υφάλους ή καταλήγοντας σε αφιλόξενες ακτές, επειδή χάραζαν την πορεία τους με βάση αυτούς τους χάρτες.

Είναι προφανές ότι μια «παγκόσμια δύναμη», όπως η Βρετανία εκείνη την εποχή, δεν ήταν δυνατόν να αφήσει αυτό το πρόβλημα ανεξερεύνητο. Αυτός είναι και ο λόγος που στις αρχές του 18ου αιώνα, συγκεκριμένα το έτος 1714, προκήρυξε η αγγλική Βουλή διαγωνισμό με έπαθλο, σε σημερινές τιμές, περί τα 10 εκατομμύρια ευρώ, για την κατασκευή ενός οργάνου ή μιας μεθόδου για τον ακριβή προσδιορισμό του εκάστοτε γεωγραφικού μήκους. Το ακριβές ύψος του ποσού θα προσδιοριζόταν από την ακρίβεια που θα εξασφάλιζαν το όργανο ή η μέθοδος. Για τον έλεγχο των προτεινόμενων λύσεων σχηματίστηκε μια «επιτροπή γεωγραφικού μήκους» (Board of Longitude), η οποία στη μακρά πορεία του διαγωνισμού ανασυγκροτήθηκε αρκετές φορές, αλλά αποτελείτο από παλαίμαχους ναυτικούς, αστρονόμους και ακαδημαϊκούς καθηγητές.

Με τη λύση του προβλήματος ασχολήθηκαν όλοι οι σημαντικοί αστρονόμοι της εποχής, κατά κύριο λόγο αξιοποιώντας την εκάστοτε θέση της Σελήνης στον ουρανό. Ο John Harrison (Χάρισον, 1693-1776), ξυλουργός από επάγγελμα και αυτοδίδακτος ωρολογοποιός έθεσε ως στόχο την κατασκευή ενός ρολογιού ακριβείας που θα έδινε λύση στο πρόβλημα, όπως αυτή περιγράφηκε εισαγωγικά. Ο Χάρισον είχε επινοήσει ήδη μία τεχνική για να αντιμετωπίζει την επίδραση των θερμοκρασιακών μεταβολών στην ακρίβεια ενός εκκρεμούς που είχε κατασκευάσει: ένας συνδυασμός υλικών με διαφορετικό συντελεστή θερμικής διαστολής, συγκεκριμένα χάλυβας και ορείχαλκος, μείωνε σημαντικά την εξάρτηση του συνολικού μήκους του εκκρεμούς από τη θερμοκρασία. Επίσης με ειδικά λιπαντικά και με ευφυείς κατασκευαστικές επινοήσεις είχε καταφέρει να μειωθούν οι τριβές στα έδρανα κατά τη λειτουργία των ρολογιών του.



Εικόνα 14. Ο John Harrison (Χάρισον, 1693-1776)

Όλοι σχεδόν οι συμμετέχοντες στο διαγωνισμό, με εξαίρεση τον Χάρισον, όσο έγινε τουλάχιστον γνωστό, στήριζαν τη λύση του προβλήματος σε χάρτες των δύο ουράνιων ημισφαιρίων, στη χρήση ενός εξάντα και στην υπολογιστική ικανότητα των ναυτικών. Εφόσον ο καιρός ήταν καλός, η λύση του προβλήματος θα δινόταν σε σύντομο χρόνο, μέχρι μερικές ώρες. Αυτή τη λύση υποστήριζε μάλιστα και ο Νεύτων και κάθε αντίθετη άποψη δεν ήταν εύκολο να τεθεί προς συζήτηση.

Ο Χάρισον στήριξε τη λύση του σε ένα ρολόι μεγάλης (για την εποχή) ακρίβειας και πίστευε ότι θα έλυne το πρόβλημα του προσανατολισμού πλοίων στο ανοικτό πέλαγος, ανεξάρτητα από τις καιρικές συνθήκες. Το έτος 1728 παρουσίασε ο ερασιτέχνης ωρολογοποιός το σχέδιό του και το 1735 το πρώτο μοντέλο του ρολογιού του. Σ' αυτή την κατασκευή αντιστάθμιζε τις θερμοκρασιακές επιδράσεις με διμεταλλικά στοιχεία. Οι κινήσεις του πλοίου εξουδετερώνονταν με την σύμπλεξη δύο εκκρεμών με ένα ελατήριο.

Ένα δοκιμαστικό ταξίδι μέχρι τη Λισσαβόνα με το πρώτο μοντέλο του Χάρισον, το οποίο ονομάστηκε αρχικά *χρονογράφος* και αργότερα *χρονόμετρο* και πήρε το κωδικό όνομα **Harrison 1, H1**, έδειξε ότι η ακρίβεια προσδιορισμού του γεωγραφικού μήκους ήταν ήδη τότε μεγαλύτερη από την απαιτούμενη στην προκήρυξη. Επειδή όμως η διάρκεια του ταξιδιού ήταν σχετικά μικρή, δεν θεωρήθηκε ακόμα επιτυχής η προσπάθεια. Κυριότερο πρόβλημα ήταν, βέβαια, ότι ο επιστημονικά αμύητος Χάρισον αντιμετώπιζε μία επιτροπή καταξιωμένων επιστημόνων της εποχής, των οποίων η ορολογία δεν γινόταν εύκολα κατανοητή από τους απλούς ανθρώπους. Ένα μέλος της επιτροπής, ο Sir Nevil Maskelyne, από το 1765 βασιλικός αστρονόμος, είχε προδικάσει ως σωστή λύση αυτή των αστρονομικών υπολογισμών και, μάλιστα, άλλαξε τους όρους του διαγωνισμού σε βάρος του Χάρισον.

Ο Χάρισον έλαβε από τα διαθέσιμα κονδύλια ένα ποσόν για να χρηματοδοτήσει μια νεότερη κατασκευή του ρολογιού του, η οποία ονομάστηκε **Harrison 2, H2** και αργότερα για μια ακόμα νεότερη, **Harrison 3, H3**, στην οποία χρησιμοποιούνταν ρουλεμάν. Αλλά, λόγω του πολέμου με την Ισπανία, δεν δοκιμάστηκαν τα δύο αυτά ρολόγια, για να μην πέσουν στα χέρια των αντιπάλων επιστημόνων.

Το έτος 1753 ενημερώθηκε ο Χάρισον για νέες τεχνολογικές βελτιώσεις, υλικών και μηχανισμών στην ωρολογοποιία και ανέτρεψε όλες τις μέχρι τότε μελέτες του. Από το έτος 1759 άρχισε να αναπτύσσει το μοντέλο **Harrison 4, H4**, το οποίο είχε διάμετρο 13 cm και ζύγιζε 1,45 kg, πολύ μικρότερο και ελαφρύτερο από όλα τα προηγούμενα μοντέλα του. Κύριο στοιχείο για την πολύ μεγάλη ακρίβεια αυτού του ρολογιού ήταν ο *μηχανισμός κουρδίσματος* (remontoir), ο οποίος χρησιμοποιείται ως αρχή μέχρι σήμερα στα χρονόμετρα.

Το μοντέλο **H4** του Χάρισον έδειχνε κατά το ταξίδι 81 ημερών από την Αγγλία στην Τζαμάικα και πίσω μια απόκλιση μόνο 5 δευτερολέπτων! Τα μέλη της επιτροπής κρίσης που ήταν προκατειλημμένα σε βάρος του Χάρισον αποφάνθηκαν ότι το αποτέλεσμα αυτό ήταν συμπτωματικό και δεν ενέκριναν την εκταμίευση του επάθλου! Ο Χάρισον έπρεπε να διαλύσει το χρονόμετρό του μπροστά στην επιτροπή, να δείξει τα σχέδια και να εξηγήσει λεπτομερώς τον τρόπο λειτουργίας του μηχανισμού. Επίσης έπρεπε να παραδώσει στην επιτροπή δύο ακόμα χρονόμετρα, τα οποία θα κατασκεύαζε υπό την επίβλεψή του ένας επαγγελματίας ωρολογοποιός.



Εικόνα 15. Το ναυτικό χρονόμετρο.

Ο επίμονος αυτός εφευρέτης απευθύνθηκε στη Βουλή και κατήγγειλε τη συμπεριφορά των μελών της επιτροπής, οπότε εγκρίθηκε το έτος 1765 η εκταμίευση του ποσού των 10.000 λιρών. Εντωμεταξύ, τα χρόνια είχαν περάσει και ο Χάρισον ήταν ήδη 72 ετών. Παρ' όλα αυτά, κατασκεύασε με τη βοήθεια του γιού του William ένα νέο μοντέλο ναυτικού χρονόμετρου, το **H5**, το οποίο έδωσε για έλεγχο στο βασιλιά George III. Ο βασιλιάς με τους συμβούλους του αποφάνθηκαν ότι το χρονόμετρο ήταν καλύτερο από αυτό που ζητούσε η επιτροπή στις αρχικές και στις τροποποιημένες προδιαγραφές της. Και πάλι όμως η επιτροπή δεν δεχόταν να ανακηρύξει τον Χάρισον νικητή.

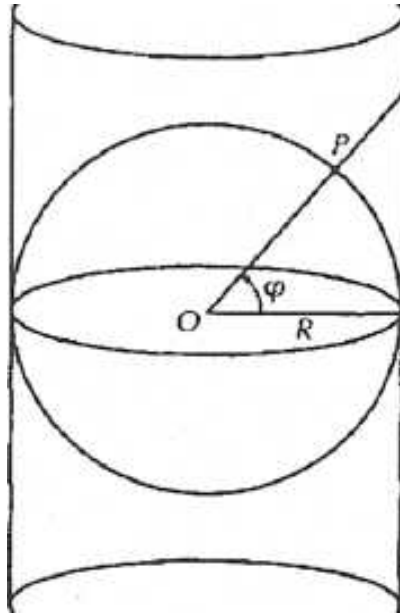
Τελικά, μετά από σειρά διαμαρτυριών, εγκρίθηκαν ακόμα 8.750 λίρες, τρία χρόνια πριν από το θάνατο του εφευρέτη. Όταν το έτος 1775 επέστρεψε από ένα ταξίδι του ο θαλασσοπόρος James Cook και επιβεβαίωσε ότι το χρονόμετρο ήταν ακριβέστατο και ανταποκρινόταν στις απαιτήσεις της ναυσιπλοΐας, έγινε γενικά αποδεκτό ότι είχε λυθεί το πρόβλημα του προσδιορισμού του *γεωγραφικού μήκους* στην ανοικτή θάλασσα. Ένα χρόνο μετά πέθανε ο Χάρισον σε ηλικία 83 ετών. Το *ναυτικό χρονόμετρο* του Χάρισον αποτελεί ένα ακόμα παράδειγμα, πώς ένας επίμονος ερευνητής, ακόμα κι αν δεν ανήκει στο στενό κύκλο των μυημένων, μπορεί να ξεπεράσει τα προβλήματα και τις αντιδράσεις και να επινοήσει λύσεις σε σημαντικά επιστημονικά και/ή τεχνολογικά προβλήματα. Ταυτόχρονα δείχνει το περιστατικό ότι λύσεις σημαντικών προβλημάτων που αναζητούνταν επί αιώνες σε δεισιδαιμονίες και σε αστρολογικά απόκρυφα, διατυπώνονται και επικρατούν με τις αρχές του ορθολογισμού και τις μεθόδους της επιστήμης και της τεχνολογίας.

1.5 ΤΡΙΓΩΝΟΜΕΤΡΙΑ ΚΑΙ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΑ

Από την ουράνια ομορφιά των τύπων του Euler, ας στραφούμε τώρα σε ένα πιο γήινο θέμα: στην επιστήμη της χαρτογραφίας. Όπως όλοι γνωρίζουμε, δεν είναι δυνατόν να πιέσουμε φλούδες πορτοκαλιού πάνω σ' ένα τραπέζι χωρίς να τις σπάσουμε. Όσο κι αν προσπαθήσουμε, κάποιας μορφής παραμόρφωση θεωρείται αναπόφευκτη. Περιέργως, μόλις στα μέσα του 18ου αιώνα αυτό το γεγονός αποδείχθηκε μαθηματικά, και χρειάστηκε η ιδιοφυΐα του Euler για να επιτευχθεί η απόδειξη. Σύμφωνα με το θεώρημα του, είναι αδύνατο να απεικονίσουμε μια σφαίρα σε ένα επίπεδο χαρτί χωρίς παραμόρφωση. Αν η Γη ήταν κύλινδρος ή κώνος, το έργο του χαρτογράφου θα γινόταν ευκολότερο. Αυτές οι επιφάνειες είναι αναπτύξιμες δηλαδή μπορούν να παρασταθούν στο επίπεδο χωρίς να υποστούν κάποια συρρίκνωση ή διαστολή, διότι, αν και καμπύλες, έχουν κατά βάση τη γεωμετρική δομή του επιπέδου. Ωστόσο, η γεωμετρική δομή της σφαίρας διαφέρει θεμελιωδώς από αυτή του επιπέδου. Συνεπώς, αδυνατούμε να σχεδιάσουμε έναν επίπεδο χάρτη της Γης που να αναπαριστά πιστά όλα της τα χαρακτηριστικά. Για να αντιμετωπίσουν τούτο το πρόβλημα, οι χαρτογράφοι επινόησαν μια μεγάλη ποικιλία χαρτογραφικών προβολών, συναρτήσεων δηλαδή με τη μαθηματική έννοια του όρου που αντιστοιχίζουν σε κάθε σημείο της σφαίρας ένα σημείο.

Η πιο απλή απ' όλες είναι η κυλινδρική προβολή: Φανταζόμαστε τη Γη, που θεωρείται τέλεια σφαίρα ακτίνας R , να περιβάλλεται από έναν κύλινδρο εφαπτόμενο αυτής στον ισημερινό. Φανταζόμαστε επιπλέον φωτεινές ακτίνες να εκπέμπονται από το κέντρο της προς όλες τις κατευθύνσεις. Έτσι, κάθε σημείο P της σφαίρας προβάλλεται στη «σκιά» του, P' , πάνω στον κύλινδρο. Όταν ξετυλίγουμε τον κύλινδρο, έχουμε έναν επίπεδο χάρτη ολόκληρης της Γης ή μάλλον σχεδόν ολόκληρης της Γης: ο Βόρειος και ο Νότιος Πόλος, που κείνται στον άξονα του κυλίνδρου, έχουν τις εικόνες τους στο άπειρο. Είναι σαφές ότι στην κυλινδρική προβολή όλοι οι μεσημβρινοί (οι κύκλοι που ορίζουν το γεωγραφικό μήκος) αποδίδονται ως κατακόρυφες ευθείες γραμμές με ίσες μεταξύ τους αποστάσεις. Οι παράλληλοι (οι κύκλοι που ορίζουν το γεωγραφικό πλάτος) αντιστοιχίζονται σε οριζόντιες γραμμές των οποίων οι μεταξύ τους αποστάσεις αυξάνουν με το γεωγραφικό πλάτος. Για να βρούμε τη σχέση ανάμεσα στο P και την εικόνα του P' , θα εκφράσουμε τη θέση τού P με το γεωγραφικό του μήκος (το μετράμε ανατολικά ή δυτικά κατά μήκος του ισημερινού ξεκινώντας από τον πρώτο μεσημβρινό, ο οποίος διέρχεται από το Γκρήνουιτς της Αγγλίας) και το γεωγραφικό του πλάτος (το μετράμε από τον ισημερινό, προς τα βόρεια ή προς τα νότια, κατά μήκος οποιουδήποτε μεσημβρινού). Αν συμβολίσουμε το γεωγραφικό μήκος τού P με A , το γεωγραφικό πλάτος με ϕ και τις συντεταγμένες τού P' με x και y , θα έχουμε:

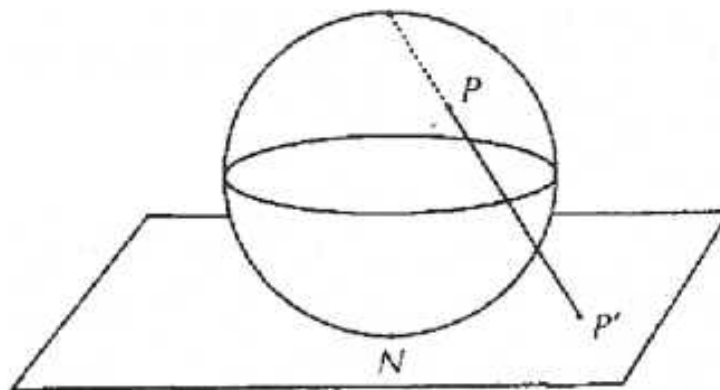
$$x=R\lambda, y=R \tan\phi$$



Εικόνα 16. Κυλινδρική προβολή της υδρογείου

Η κυλινδρική προβολή συγγέεται συχνά με την προβολή Mercator, με την οποία απλώς μοιάζει επιφανειακά. Ωστόσο, με εξαίρεση το γεγονός ότι χρησιμοποιούν και οι δύο ορθογώνιο πλέγμα, οι δύο προβολές στηρίζονται σε ριζικά διαφορετικές αρχές.

Μια δεύτερη προβολή, ήδη γνωστή στον Ίππαρχο τον 2ο αιώνα π.Χ., είναι η ΣΤΕΡΕΟΓΡΑΦΙΚΗ ΠΡΟΒΟΛΗ. Τοποθετούμε τη σφαίρα πάνω σε ένα επίπεδο φύλλο χαρτιού, έτσι ώστε το σημείο επαφής N να είναι ο Νότιος Πόλος. Συνδέουμε κατόπιν κάθε σημείο P της σφαίρας με τον Βόρειο Πόλο, Β, και προεκτείνουμε την ευθεία μέχρι να συναντήσει το επίπεδο του χάρτη στο σημείο P'. Το P' αποτελεί την εικόνα τού P πάνω στη στερεογραφική προβολή.



Εικόνα 17. Στερεογραφική προβολή από τον Βόρειο Πόλο.

Η στερεογραφική προβολή εμφανίζει όλους τους μεσημβρινούς ως ευθείες διερχόμενες από τον Νότιο Πόλο, N, ενώ οι κύκλοι που αντιστοιχούν στα γεωγραφικά πλάτη εμφανίζονται ως ομόκεντροι κύκλοι με κέντρο το N. Ο ισημερινός προβάλλεται σε έναν κύκλο E, τον οποίο μπορούμε να θεωρήσουμε μοναδιαίο. Ολόκληρο το βόρειο ημισφαίριο προβάλλεται στο εξωτερικό αυτού του κύκλου, και το νότιο στο εσωτερικό του. Όσο πιο κοντά βρίσκεται ένα σημείο στον Βόρειο Πόλο τόσο πιο

απομακρυσμένη είναι η εικόνα του στο χάρτη. Ένα μόνο σημείο της σφαίρας δεν απεικονίζεται στο χάρτη. Πρόκειται για τον ίδιο τον Βόρειο Πόλο: η εικόνα του βρίσκεται στο άπειρο.

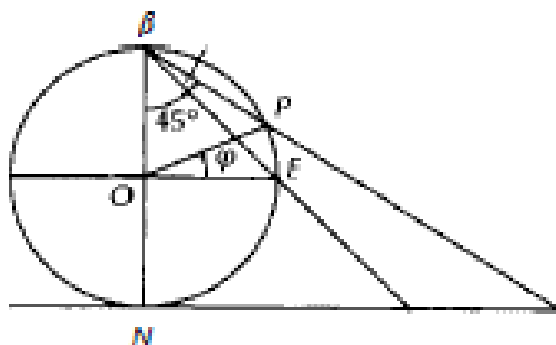
Έστω ότι η σφαίρα έχει μοναδιαία διάμετρο. Αυτό εξασφαλίζει ότι ο κύκλος e (η εικόνα του ισημερινού στο χάρτη) θα έχει μοναδιαία ακτίνα. Ας θεωρήσουμε, τώρα, ένα σημείο P πάνω στη σφαίρα, με γεωγραφικό πλάτος φ . Θέλουμε να προσδιορίσουμε τη θέση της εικόνας του P' πάνω στο χάρτη. Παρακάτω βλέπουμε μια διατομή της σφαίρας, και το E αντιπροσωπεύει ένα σημείο στον ισημερινό. Έχουμε $BN = 1$, γωνία $OBE = 45^\circ$, γωνία $EOP = \varphi$ και γωνία $EBP = \varphi/2$. Έτσι, γωνία $OBP = (45^\circ + \varphi/2)$. Άρα το P' βρίσκεται σε απόσταση $NP' = \tan(45^\circ + \varphi/2)$ (2) από το σημείο N , δηλαδή από τον νότιο πόλο του χάρτη. Η ισότητα (2) μάς οδηγεί σε ένα ενδιαφέρον αποτέλεσμα. Ας θεωρήσουμε δύο σημεία P και Q της σφαίρας, με το ίδιο γεωγραφικό μήκος και αντίθετο γεωγραφικό πλάτος. Για να βρούμε τη σχετική θέση των εικόνων τους στο χάρτη, αντικαθιστούμε στην ισότητα (2) το φ με $-\varphi$, και έχουμε:

$$NQ' = \tan(45^\circ - \varphi/2) = \frac{1 - \tan(45^\circ - \varphi/2)}{1 + \tan(45^\circ - \varphi/2)} = \frac{1}{\tan(45^\circ + \varphi/2)} = \frac{1}{NP'}$$

Βλέπουμε λοιπόν ότι $NP' \cdot NQ' = 1$. Δύο σημεία του επιπέδου που ικανοποιούν μια τέτοια σχέση λέγονται αντίστροφα σημεία ως προς τον μοναδιαίο κύκλο. Συνεπώς, στη στερεογραφική προβολή, δύο σημεία της γήινης σφαίρας με αντίθετα γεωγραφικά πλάτη αντιστοιχούν σε δύο αντίστροφα μεταξύ τους σημεία του χάρτη. Αυτό μας επιτρέπει να συναγάγουμε όλες τις ιδιότητες της στερεογραφικής προβολής από τη θεωρία της αντιστροφής. Για παράδειγμα, ένα από τα θεωρήματα της αντιστροφής λέει ότι η γωνία τομής δύο καμπυλών παραμένει αμετάβλητη, όταν καθεμιά από τις καμπύλες υποστεί αντιστροφή. Από αυτό προκύπτει ότι η στερεογραφική προβολή διατηρεί τις διευθύνσεις είναι δηλαδή *σύμμορφη*. Αυτό σημαίνει ότι μικρές περιοχές της σφαίρας διατηρούν τη μορφή τους και στον επίπεδο χάρτη (από εδώ προέρχεται ο όρος *σύμμορφη*). Παρακάτω βλέπουμε τη στερεογραφική προβολή του βόρειου ημισφαιρίου. Η γήινη σφαίρα εφάπτεται του χάρτη στον Βόρειο (αντί στον Νότιο) Πόλο.

Είναι φανερό ότι οι ήπειροι έχουν σχήμα παραπλήσιο με το πραγματικό τους σχήμα πάνω στην υδρόγειο.

Στα προηγούμενα ασχοληθήκαμε με τους χάρτες που έχουν κατασκευαστεί με βάση την αζιμουθιακή ισαπέχουσα προβολή, όπου καταγράφεται η πραγματική απόσταση και διεύθυνση από ένα σταθερό σημείο προς ένα οποιοδήποτε άλλο σημείο της σφαίρας. Ωστόσο, οι αποστάσεις και οι διευθύνσεις μεταξύ δύο οποιονδήποτε άλλων σημείων του χάρτη δεν διατηρούνται. Επομένως, η χρησιμότητα του για τη ναυσιπλοΐα είναι περιορισμένη. Ως εκ τούτου, χρειαζόμαστε ένα χάρτη που να δείχνει τη σωστή διεύθυνση, μια διεύθυνση δηλαδή συμβιβαστή με την ένδειξη της πυξίδας, από οποιοδήποτε σημείο της γήινης σφαίρας προς οποιοδήποτε άλλο. Έως τα μέσα του 16^{ου} αιώνα, τέτοιος χάρτης δεν υπήρχε.



Εικόνα 18. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ ΕΝΟΣ ΣΗΜΕΙΟΥ ΜΕΣΩ ΣΤΕΡΕΟΓΡΑΦΙΚΗΣ ΠΡΟΒΟΛΗ

Φαντασθείτε ότι είστε ο κυβερνήτης ενός σκάφους που ετοιμάζεται να αποπλεύσει προς συγκεκριμένο προορισμό. Ρυθμίζετε την πυξίδα σας στην επιθυμητή κατεύθυνση, ας πούμε 45° βορειοανατολικά, και στη συνέχεια ακολουθείτε απαρέγκλιτα αυτή την ένδειξη, αγνοώντας, χάριν της συζητήσεως, οποιοσδήποτε γήινες μάζες θα μπορούσαν ενδεχομένως να βρεθούν στο δρόμο σας. Τι διαδρομή θα ακολουθήσετε; Επί χρόνια πιστευόταν ότι μια πλεύση υπό σταθερή ένδειξη της πυξίδας, γνωστή ως λοξοδρομική πλεύση ή λοξοδρομία, διαγράφει τόξο μέγιστου κύκλου. Εντούτοις, ο Πορτογάλος Pedro Nunes (ή Nonius, 1502-1578) απέδειξε ότι η λοξοδρομική πλεύση είναι στην πραγματικότητα μια ελικοειδής καμπύλη που πλησιάζει όλο και περισσότερο έναν από τους δύο πόλους, περιτυλίγεται επ' άπειρον γύρω τους, αλλά δεν τους φθάνει ποτέ.

Το πρόβλημα λοιπόν για τους χαρτογράφους του 16ου αιώνα ήταν να επινοήσουν μια χαρτογραφική προβολή στην οποία όλες οι λοξοδρομικές πλεύσεις θα αντιστοιχούσαν σε ευθείες. Ένας τέτοιος χάρτης θα έδινε στον ναυτικό τη δυνατότητα να συνδέει το σημείο εκκίνησης και το σημείο προορισμού με μια ευθεία γραμμή, να διοπτρεύει δηλαδή να μετρά τη γωνία αυτής της ευθείας με τη γραμμή του βορρά, και με τη βοήθεια της πυξίδας να ακολουθεί τούτη την πορεία στη θάλασσα. Ωστόσο, σε όλους τους χάρτες εκείνης της εποχής, μια πορεία χαραγμένη ως ευθεία στο χάρτη δεν αντιστοιχούσε στη λοξοδρομική πλεύση στη θάλασσα. Έτσι, η ναυσιπλοΐα ήταν μια εξαιρετικά περίπλοκη υπόθεση και εξαιρετικά επικίνδυνη, αφού πολύ συχνά τα πλοία δεν κατάφερναν να φθάσουν στον προορισμό τους και χάνονταν πολλές ζωές. Ένας ολλανδός χαρτογράφος έμελλε να δώσει τη λύση και να λύσει το πρόβλημα των ναυτικών.

Ο Gerardus Mercator, κατά γενική ομολογία ο πιο διάσημος χαρτογράφος στην ιστορία, γεννήθηκε με το όνομα Gerhard Kremer στο Ρουπελμόντε της Φλάνδρας (σήμερα ανήκει στο Βέλγιο, εκείνη την εποχή όμως αποτελούσε τμήμα της Ολλανδίας) στις 5 Μαρτίου 1512. Είκοσι χρόνια νωρίτερα, ο Χριστόφορος Κολόμβος είχε πραγματοποιήσει το ιστορικό του ταξίδι στον Νέο Κόσμο, και οι νέες γεωγραφικές ανακαλύψεις είχαν εξάψει τη φαντασία του νεαρού Kremer. Γράφηκε στο Πανεπιστήμιο της Λουβέν το 1530, και αμέσως μετά την αποφοίτηση του έγινε ένας από τους κορυφαίους ευρωπαϊούς χαρτογράφους και κατασκευαστές οργάνων. Όπως συνήθιζαν οι διανοούμενοι της εποχής, εκλατίνισε το όνομα του σε Mercator («έμπορος», μετάφραση της ολλανδικής λέξης kramer). Από τότε έμεινε γνωστός με αυτό το όνομα. Η πολλά υποσχόμενη σταδιοδρομία του Mercator κινδύνεψε κατά το 1544, όταν συνελήφθη ως αιρετικός επειδή ακολουθούσε τον προτεσταντισμό μέσα σε μια καθολική χώρα. Λίγο έλειψε μάλιστα να χάσει τη ζωή του. Κατόπιν

μετανάστευσε στο γειτονικό Ντούισμπουργκ (σήμερα στη Γερμανία), όπου εγκαταστάθηκε το 1552. Παρέμεινε εκεί μέχρι το τέλος της ζωής του.

Πριν από τον Mercator, οι χαρτογράφοι διακοσμούσαν τους χάρτες τους με εντυπωσιακές μυθολογικές φιγούρες και φανταστικές χώρες. Επρόκειτο περισσότερο για έργα τέχνης παρά για αληθινές αναπαραστάσεις της Γης. Ο Mercator υπήρξε ο πρώτος που στήριξε τους χάρτες του αποκλειστικά στις πρόσφατες πληροφορίες των εξερευνητών, και με αυτό τον τρόπο μετέτρεψε τη χαρτογραφία από τέχνη σε επιστήμη.

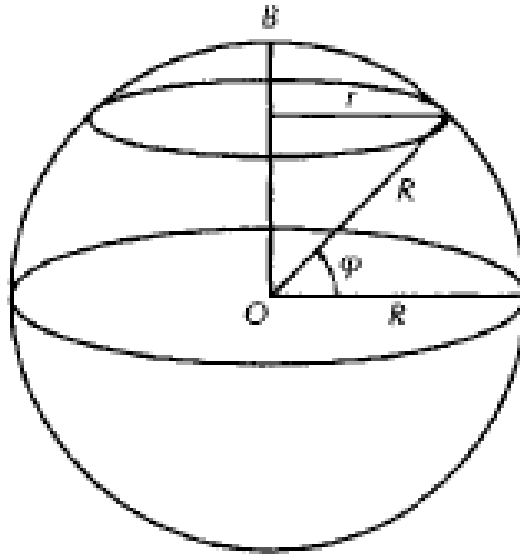
Ήταν ακόμη ο πρώτος που συμπεριέλαβε στον ίδιο τόμο μια συλλογή από διαφορετικούς χάρτες, την οποία ονόμασε «άτλαντα» προς τιμήν του μυθικού ήρωα που βαστούσε στους ώμους του τη Γη και του οποίου η εικόνα διακοσμούσε το εξώφυλλο του βιβλίου του. Αυτό το έργο δημοσιεύθηκε σε τρία μέρη· το τελευταίο κυκλοφόρησε το 1595, ένα χρόνο μετά το θάνατο του.

Το 1568, ο Mercator επινόησε μια νέα χαρτογραφική προβολή που θα κάλυπτε τις ανάγκες των ναυτικών και θα μετέτρεπε τη ναυσιπλοΐα από τυχοδιωκτική και επικίνδυνη περιπέτεια σε σοβαρή επιστήμη. Ξεκινώντας, έθεσε ως οδηγούς του δύο αρχές: Πρώτον, ο χάρτης έπρεπε να αναπτυχθεί πάνω σε ορθογώνιο πλέγμα με όλους τους κύκλους του γεωγραφικού πλάτους να παριστάνονται από ισομήκη οριζόντια ευθύγραμμα τμήματα, παράλληλα στον ισημερινό, και με όλους τους μεσημβρινούς να παριστάνονται από κατακόρυφες γραμμές, κάθετες στον ισημερινό. Δεύτερον, ο χάρτης όφειλε να είναι σύμμορφος, διότι μόνο ένας τέτοιος χάρτης μπορούσε να διατηρεί την πραγματική διεύθυνση μεταξύ δύο σημείων της γήινης σφαίρας.

Πάνω στη γήινη σφαίρα, το μήκος των παράλληλων κύκλων μειώνεται καθώς μεγαλώνει το γεωγραφικό πλάτος, μέχρις ότου συρρικνωθούν σε ένα μοναδικό σημείο στους πόλους. Αντίθετα, στους χάρτες του Mercator, οι παράλληλοι κύκλοι εμφανίζονται ως οριζόντιες γραμμές ίσου μήκους. Επομένως, κάθε παράλληλος της γήινης σφαίρας παραμορφώνεται οριζόντια πάνω στο χάρτη (κατά μήκος της διεύθυνσης ανατολής - δύσης), κατά έναν παράγοντα που εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος του παραλλήλου. Παρακάτω βλέπουμε έναν κύκλο γεωγραφικού πλάτους ϕ . Η πραγματική περίμετρος του πάνω στη γήινη σφαίρα είναι :

ϕ	0°	15°	30°	45°	60°	75°	80°	85°	87°	89°	90°
$\sec\phi$	1,00	1,04	1,15	1,41	2,00	3,86	5,76	11,47	19,11	57,30	∞

Εικόνα 19. Η $\sec\phi$ για επιλεγμένα γεωγραφικά πλάτη



Εικόνα 20.

Για να είναι ο χάρτης σύμμορφος, η παραμόρφωση των παραλλήλων στη διεύθυνση ανατολής-δύσης πρέπει να συνοδεύεται από μια ανάλογη παραμόρφωση της απόστασης ανάμεσα στους παραλλήλους. Αυτή η παραμόρφωση στη διεύθυνση βορρά- νότου θα πρέπει να αυξάνει καθώς κινούμαστε προς μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη. Με άλλα λόγια, οι μοίρες του γεωγραφικού πλάτους, που στη γήινη σφαίρα είναι ομαλά κατανεμημένες κατά μήκος κάθε μεσημβρινού, στο χάρτη θα πρέπει να αυξάνουν σταδιακά . Σε αυτή ακριβώς τη διαπίστωση στηρίζεται η κατασκευή του χάρτη. Ωστόσο, για να μπορέσει να υλοποιήσει το σχέδιο του, ο Mercator όφειλε πρώτα να προσδιορίσει τον τρόπο με τον οποίο θα έπρεπε να παραμορφώνονται οι αποστάσεις μεταξύ διαδοχικών παραλλήλων. Η ακριβής μέθοδος του για τον υπολογισμό της παραμόρφωσης δεν είναι γνωστή και αποτελεί ακόμη και σήμερα αντικείμενο έρευνας μεταξύ των ιστορικών της χαρτογραφίας. Δεν έχει αφήσει καθόλου γραπτά αρχεία της μεθόδου του, με εξαίρεση την ακόλουθη σύντομη επεξήγηση που τυπώθηκε πάνω στο χάρτη του:

Για την κατασκευή αυτής της αναπαράστασης του κόσμου, χρειάστηκε να απλώσουμε σε ένα επίπεδο την επιφάνεια της σφαίρας, κατά τρόπο ώστε οι θέσεις που αντιστοιχούν στις διάφορες τοποθεσίες να έχουν τις σωστές αναλογίες μεταξύ τους, τόσο ως προς την πραγματική διεύθυνση όσο και ως προς την απόσταση. Σύντομα ο Mercator συνειδητοποίησε ότι δεν μπορούσε να ανταποκριθεί και στις δύο αυτές απαιτήσεις: ο χάρτης του δεν μπορούσε να διατηρεί και τη διεύθυνση και τις αποστάσεις. Έτσι, παραιτήθηκε από τις αποστάσεις. Για το σκοπό αυτό, χρειάστηκε να χρησιμοποιήσουμε νέες αναλογίες και νέα διάταξη των μεσημβρινών σε σχέση με τους παραλλήλους . Για τους λόγους αυτούς αυξήσαμε σταδιακά τις μοίρες του γεωγραφικού πλάτους όσο πλησιάζαμε προς τους πόλους κατά τρόπο ανάλογο προς την επιμήκυνση των παραλλήλων σε σχέση με τον ισημερινό. Ακόμα και αυτή η ασαφής εξήγηση καθιστά απολύτως σαφές ότι ο Mercator είχε πλήρη αντίληψη των μαθηματικών αρχών που αποτελούσαν το θεωρητικό υπόβαθρο της κατασκευής του χάρτη του. Έχοντας κατασκευάσει το κατάλληλο πλέγμα, του

απέμενε τώρα να το αποπληρώσει, δηλαδή να τοποθετήσει πάνω στο πλέγμα τα περιγράμματα των ηπειρών, όπως ήταν γνωστές στην εποχή του. Δημοσίευσε τον παγκόσμιο χάρτη του το 1569 με τίτλο Νέα βελτιωμένη περιγραφή των χωρών τον κόσμο, τροποποιημένη και προοριζόμενη για χρήση των ναυιλλομένων. Ήταν ένας τεράστιος χάρτης χωρισμένος σε 21 τμήματα με διαστάσεις 137×211 εκατοστά. Θεωρείται ένα από τα πιο πολύτιμα χαρτογραφικά αριστουργήματα όλων των εποχών: Σήμερα σώζονται μόνο τρία αντίγραφα του πρωτότυπου χάρτη. Ο Mercator πέθανε πλήρης ημερών στο Ντούισμπουργκ στις 2 Δεκεμβρίου 1594, έχοντας ζήσει μια ζωή που του προσέφερε φήμη και πλούτο. Ωστόσο, το πιο σημαντικό επίτευγμα του, ο ομώνυμος χάρτης του, άργησε αρκετά να γίνει αποδεκτός από τη ναυτική κοινότητα, που δεν μπορούσε να κατανοήσει την υπερβολική παραμόρφωση στο σχήμα των ηπειρών. Το γεγονός ότι ο Mercator δεν είχε εξηγήσει αναλυτικά τον τρόπο με τον οποίο είχε «σταδιακά αυξήσει» την απόσταση μεταξύ των παραλλήλων συνέβαλε σημαντικά στη δημιουργία σύγχυσης. Ο Edward Wright (περίπου 1560-1615), άγγλος μαθηματικός και κατασκευαστής οργάνων, υπήρξε ο πρώτος ο οποίος έδωσε μια ακριβή αναφορά σχετικά με τις αρχές που αποτελούν το υπόβαθρο του χάρτη του Mercator. Σε ένα έργο με τίτλο Certaine Errors in Navigation (Ορισμένα λάθη στην πλοήγηση), που εκδόθηκε στο Λονδίνο το 1599, έγραψε:

Τα τμήματα των μεσημβρινών σε κάθε σημείο δεδομένου γεωγραφικού πλάτους πρέπει να αυξάνουν με την ίδια αναλογία που αυξάνουν και οι τέμνουσες.

Προσθέτοντας συνεχώς τις τέμνουσες που αναλογούν στο γεωγραφικό πλάτος κάθε παραλλήλου στο ήδη συσσωρευμένο άθροισμα όλων των προηγούμενων τεμνουσών [...] μπορούμε να καταρτίσουμε έναν πίνακα ο οποίος θα δείχνει πραγματικά τα σημεία γεωγραφικού πλάτους στους μεσημβρινούς του ναυτικού χάρτη. Με άλλα λόγια, ο Wright χρησιμοποίησε αριθμητική μέθοδο για τον υπολογισμό του ολοκληρώματος:

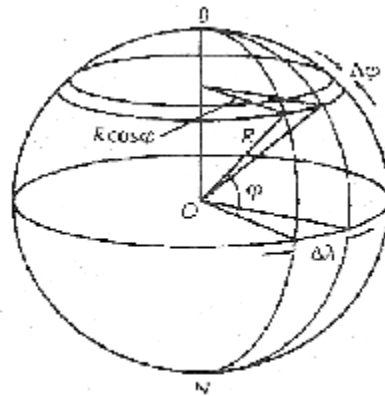
$$\int \sec \theta d\theta.$$

Ας παρακολουθήσουμε τον τρόπο εργασίας του, χρησιμοποιώντας σύγχρονους συμβολισμούς. Παρακάτω βλέπουμε ένα μικρό σφαιρικό ορθογώνιο που ορίζεται από τους κύκλους γεωγραφικού μήκους λ και $\lambda + \Delta\lambda$ και τους κύκλους γεωγραφικού πλάτους φ και $\varphi + \Delta\varphi$, όπου τα λ και φ μετρώνται σε ακτίνια. (Επειδή η επιλογή του πρώτου μεσημβρινού είναι αυθαίρετη, στο σχήμα σημειώνουμε μόνο τη διαφορά $\Delta\lambda$.) Οι πλευρές του ορθογωνίου έχουν μήκη ($R \cos \varphi$) και $R \Delta \varphi$, αντίστοιχα. Έστω ότι το σημείο $P(\lambda, \varphi)$ της σφαίρας αντιστοιχεί στο σημείο $P'(x, y)$ του χάρτη (όπου η $y = 0$ αντιστοιχεί στον ισημερινό).

Τότε, το σφαιρικό ορθογώνιο θα απεικονισθεί σε ένα επίπεδο ορθογώνιο που καθορίζεται από παράλληλες στον άξονα των y με τεταγμένες x και $x + \Delta x$ και από παράλληλες στον άξονα των x με τεταγμένες y και $y + \Delta y$, όπου $\Delta x = R \Delta \lambda$. Τώρα, για να ικανοποιήσουμε την απαίτηση να είναι ο χάρτης σύμμορφος, θα πρέπει τα δύο ορθογώνια να είναι όμοια (γεγονός το οποίο, εν προκειμένω, σημαίνει ότι η διεύθυνση από το $P(\lambda, \varphi)$ προς το γειτονικό σημείο $Q(\lambda + \Delta\lambda, \varphi + \Delta\varphi)$ πρέπει να είναι η ίδια με τη διεύθυνση της ευθείας που ενώνει τις εικόνες τους στο χάρτη). Έτσι, οδηγούμαστε στην εξίσωση:

$$\frac{\Delta y}{R \Delta \lambda} = \frac{R \Delta \varphi}{R \cos \varphi \Delta \lambda}$$

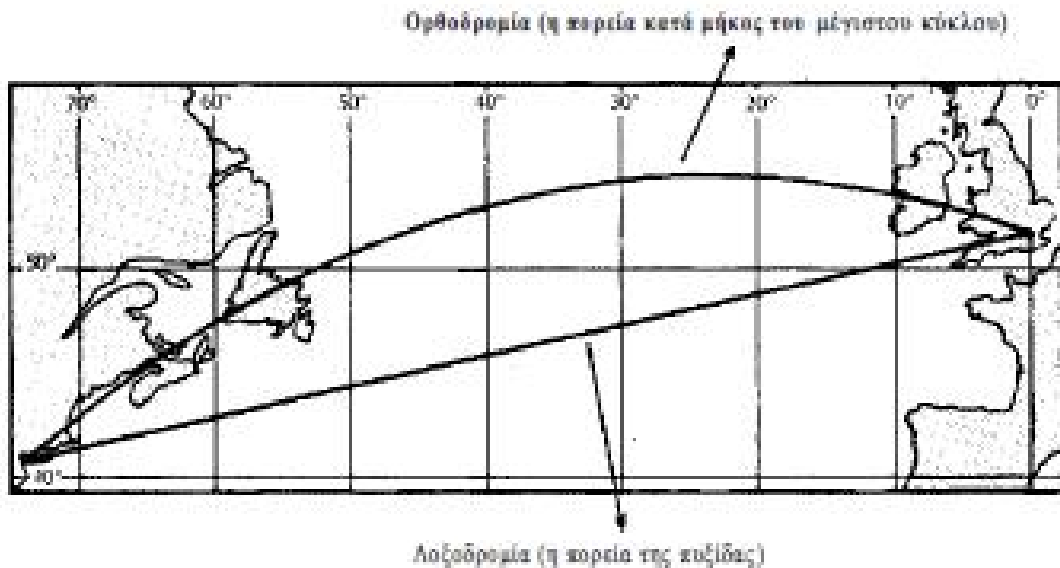
Δηλαδή $\Delta y = (R \sec \varphi) \Delta \varphi$.



Σχήμα 5.

Εικόνα 21.

Με σημερινή ορολογία, η παραπάνω ισότητα είναι μια εξίσωση πεπερασμένων διαφορών. Μπορεί να λυθεί αριθμητικά με μια βήμα προς βήμα διαδικασία: Θέτουμε για $i = 1, 2, 3, \dots$, και επιλέγουμε μια σταθερή αύξηση $\Delta\varphi$. Αρχίζοντας από τον ισημερινό ($y_0=0$), αυξάνουμε το φ κατά $\Delta\varphi$, υπολογίζουμε το Δy , από την ισότητα, και μετά βρίσκουμε το $y_i = y_{i-1} + \Delta y_i$. Κατόπιν αυξάνουμε και πάλι το φ κατά $\Delta\varphi$ και βρίσκουμε το $y_{i+1} = y_i + \Delta y_{i+1}$. Συνεχίζουμε με αυτό τον τρόπο μέχρι να καλύψουμε όλο το φάσμα των γεωγραφικών πλατών που επιθυμούμε. Αυτή η αριθμητική ολοκλήρωση είναι και επίπονη και χρονοβόρα, εκτός αν έχει κάποιος στη διάθεση του έναν ειδικά προγραμματισμένο υπολογιστή, κάτι που φυσικά δεν συνέβαινε με τον Wright. Παρ' όλα αυτά, κατόρθωσε να ολοκληρώσει το σχέδιο του, προσθέτοντας διαδοχικά τις τέμνουσες κατά διαστήματα ενός λεπτού της μοίρας. Δημοσίευσε τα αποτελέσματα του σε έναν πίνακα «μεσημβρινών μερών» για γεωγραφικά πλάτη από 0° μέχρι 75° . Έτσι, επιτέλους, η μέθοδος κατασκευής του χάρτη του Mercator έγινε γνωστή. Βέβαια, σήμερα θα γράφαμε την εξίσωση ως διαφορική εξίσωση:



Εικόνα 22. ΝΕΑ ΥΟΡΚΗ-ΛΟΝΔΙΝΟ: ΛΟΞΟΔΡΟΜΙΑ ΚΑΙ ΤΟΞΟ ΜΕΓΙΣΤΟΥ ΚΥΚΛΟΥ ΣΤΟ ΧΑΡΤΗ, ΤΟΥ MERCATOR

Θεωρούμε ότι τόσο το $\Delta\varphi$ όσο και το Δy γίνονται απειροστά, και οριακά έχουμε:

$$\frac{dy}{d\varphi} = R \sec \varphi,$$

της οποίας η λύση είναι:

$$y = R \int_0^{\varphi} \sec \theta d\theta$$

(χρησιμοποιήσαμε το θ αντί του φ για να διακρίνουμε τη μεταβλητή ολοκλήρωσης από το άνω όριο ολοκλήρωσης). Ωστόσο, το βιβλίο του Wright εκδόθηκε κάπου εβδομήντα χρόνια πριν ο Νεύτων και ο Leibniz ανακαλύψουν το λογισμό.

Έτσι, ο Wright δεν είχε άλλη επιλογή πέρα από την αριθμητική ολοκλήρωση. Ως λόγιος, ο Wright έγραψε ένα βιβλίο που απευθυνόταν σε αναγνώστες με μαθηματική κατάρτιση. Ωστόσο, για τον απλό ναυτικό, αυτές οι θεωρητικές εξηγήσεις ήταν ελάχιστα χρήσιμες. Γι' αυτό το λόγο, ο Wright επινόησε ένα απλό φυσικό μοντέλο που ήλπιζε ότι θα έδινε στον αμήτο αναγνώστη τη δυνατότητα να κατανοήσει την αρχή του χάρτη του Mercator: Ας φαντασθούμε ότι τυλίγουμε τη γήινη σφαίρα μ' έναν κύλινδρο που εφάπτεται αυτής κατά μήκος του ισημερινού. Στη συνέχεια, ας φαντασθούμε τη σφαίρα να «φουσκώνει σαν ασκός», έτσι που κάθε σημείο της επιφάνειας της να κολλήσει στον κύλινδρο. Όταν ξετυλίξουμε τον κύλινδρο, έχουμε το χάρτη του Mercator. Δυστυχώς για τους μελλοντικούς ιστορικούς, χωρίς να ευθύνεται ο Wright, αυτό το περιγραφικό μοντέλο έγινε η αιτία μιας επίμονης παρανόησης: ότι ο χάρτης του Mercator προκύπτει προβάλλοντας φωτεινές ακτίνες από το κέντρο της σφαίρας προς τον κύλινδρο (στην πραγματικότητα, έτσι προκύπτει η κυλινδρική προβολή που συζητήσαμε νωρίτερα).

Από τεχνικής απόψεως, η «προβολή» του Mercator δεν είναι καν προβολή, τουλάχιστον με τη γεωμετρική έννοια του όρου. Μπορεί να προκύψει μόνο από μαθηματικούς υπολογισμούς, που στη βάση τους χρησιμοποιούν απειροστικές μεθόδους και, επομένως, απειροστικό λογισμό. Ο ίδιος ο Mercator δεν χρησιμοποίησε ποτέ κύλινδρο, και η «προβολή» του, με εξαίρεση κάποιες επιφανειακές ομοιότητες, δεν έχει απολύτως καμία σχέση με την κυλινδρική προβολή. Οι μύθοι, όμως, από τη στιγμή που θα γεννηθούν είναι πολύ δύσκολο να πεθάνουν, και έτσι ακόμη και σήμερα βρίσκει κανείς λανθασμένες πληροφορίες σχετικά με το θέμα σε πολλά εγχειρίδια γεωγραφίας.

Περαιτέρω παρεξηγήσεις προκλήθηκαν από την υπερβολική παραμόρφωση των περιοχών που βρίσκονται σε μεγάλα γεωγραφικά πλάτη. Για παράδειγμα, η Γροιλανδία μοιάζει μεγαλύτερη από τη Νότια Αμερική, παρ' όλο που στην πραγματικότητα η έκταση της πρώτης είναι ίση μόλις με το ένα ένατο της έκτασης της δεύτερης. Επίσης, το ευθύγραμμο τμήμα που συνδέει δύο σημεία του χάρτη δεν παριστάνει τη συντομότερη μεταξύ τους διαδρομή πάνω στη γήινη σφαίρα (εκτός αν τα σημεία βρίσκονται και τα δύο στον ισημερινό ή στον ίδιο μεσημβρινό). Αυτές οι «ατέλειες» έγιναν συχνά αφορμή αρνητικής κριτικής για το χάρτη του Mercator. Ο Mercator είχε συνειδητοποιήσει ότι στον ίδιο χάρτη δεν είναι δυνατόν να διατηρούνται συγχρόνως απόσταση, μορφή και διεύθυνση. Έχοντας κατά νου τις ανάγκες των πλοηγών, επέλεξε να θυσιάσει την απόσταση και τη μορφή για να διατηρήσει τη διεύθυνση.

Το βιβλίο του Wright κυκλοφόρησε το 1599, τριάντα χρόνια μετά τη δημοσίευση του νέου παγκόσμιου χάρτη από τον Mercator. Σταδιακά, η ναυτική οικογένεια άρχισε να εκτιμά τη μεγάλη χρησιμότητα του για τους πλοηγούς, και τελικά έγινε ο επίσημος χάρτης της ναυσιπλοΐας, μια θέση που κρατά μέχρι σήμερα. Όταν η NASA άρχισε το πρόγραμμα εξερεύνησης του Διαστήματος, κατά τη δεκαετία του 1960, ένας γιγάντιος μερκατορικός χάρτης, πάνω στον οποίο σημειώνονταν οι τροχιές των δορυφόρων, τοποθετήθηκε στο κέντρο επιχειρήσεων, στο Χιούστον του Τέξας. Εξάλλου, οι πρώτοι χάρτες των δορυφόρων του Δία και του Κρόνου, βασισμένοι στις κοντινές φωτογραφίες που έστειλαν τα διαστημόπλοια PIONEER και VOYAGER, σχεδιάστηκαν σύμφωνα με τη δική του μέθοδο.

Ας επιστρέψουμε όμως στον 17ο αιώνα, όταν το ενδιαφέρον στράφηκε προς τα μαθηματικά. Το 1614, ο Σκωτσέζος John Napier (1550-1617) δημοσιοποίησε τους λογαρίθμους που είχε επινοήσει. Επρόκειτο για τη σημαντικότερη συμβολή στα υπολογιστικά μαθηματικά από την εποχή του Μεσαίωνα, όταν εισήχθη στην Ευρώπη το ινδοαραβικό σύστημα αρίθμησης. Λίγο αργότερα, ο Edmund Gunter (1581-1626), άγγλος μαθηματικός και κληρικός, δημοσίευσε έναν πίνακα με λογαριθμικές εφαπτόμενες (1620). Γύρω στα 1645, ο Henry Bond, καθηγητής μαθηματικών και αυθεντία στην πλοήγηση, συνέκρινε αυτό τον πίνακα με τον πίνακα των μεσημβρινών μερών του Wright και με έκπληξη διαπίστωσε ότι οι δύο πίνακες ταίριαζαν απόλυτα, εφ' όσον οι ενδείξεις στον πίνακα του Gunter γράφονταν με τη μορφή

$$\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right).$$

$$\int_0^{\varphi} \sec t dt \text{ είναι ίσο με } \ln \left[\tan \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right) \right]$$

Διατύπωσε λοιπόν την εικασία ότι το $\int_0^{\varphi} \sec t dt$ δεν ήταν όμως σε θέση να το αποδείξει. Σύντομα, το πρόβλημα του έγινε ένα από τα πιο διάσημα προβλήματα της εποχής του. Προσπάθησαν να το λύσουν ανεπιτυχώς ο John Collins, ο Nicolaus Mercator (καμιά σχέση με τον Gerhard), ο Edmond Halley (γνωστός από τον φερώνυμο κομήτη) και πολλοί άλλοι, όλοι σύγχρονοι του Νεύτωνα και βασικοί συντελεστές των εξελίξεων που οδήγησαν στην ανακάλυψη του διαφορικού και του ολοκληρωτικού λογισμού. Τελικά, το 1668, ο James Gregory κατάφερε να αποδείξει την εικασία του Bond. Ωστόσο, η απόδειξη του ήταν τόσο επίπονη, που ο Halley τη χαρακτήρισε γεμάτη «περιπλοκές». Έτσι, ο κλήρος έπεσε στον Isaac Barrow (1630 - 1677), προκάτοχο του Νεύτωνα στη λουκασιανή έδρα μαθηματικών στο Πανεπιστήμιο του Καίμπριτζ, ο οποίος έδωσε τελικά μια «κατανοητή» απόδειξη της εικασίας του Bond (1670). Οι προσπάθειες του δείχνουν ότι εφάρμοσε πρώτος την τεχνική της διάσπασης σε απλά κλάσματα που είναι τόσο αποτελεσματική για τον υπολογισμό των αόριστων ολοκληρωμάτων.

Είμαστε πια σε θέση να γράψουμε τις συντεταγμένες (x, y) ενός σημείου P' στο χάρτη του Mercator ως συνάρτηση του γεωγραφικού μήκους x και του γεωγραφικού πλάτους φ του αντίστοιχου σημείου P της γήινης σφαίρας. Η εξίσωση των διαφορών $\Delta x = R\Delta\lambda$, που είδαμε πιο πάνω, έχει την προφανή λύση $x = R\lambda$, και το ολοκλήρωμα στην ισότητα

$$\text{ισούται με } \ln \left[\tan \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right) \right].$$

$$\text{Άρα } x = R\lambda, y = R \ln \left[\tan \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right) \right]$$

Ωστόσο, η ιστορία μας δεν τελειώνει εδώ. Ίσως παρατηρήσατε ότι η παράσταση

$$\tan \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right)$$

μέσα στο λογάριθμο της ισότητας (6) είναι η ίδια με αυτή της ισότητας (2) που σχετίζεται με τη στερεογραφική προβολή. Αυτό δεν συμβαίνει τυχαία. Ένα από τα μεγαλύτερα επιτεύγματα των μαθηματικών του 18ου αιώνα ήταν η επέκταση των συνηθισμένων συναρτήσεων $\sin x$, $\ln x$, e^x στο σύνολο των φανταστικών, ή ακόμη και των μιγαδικών, αριθμών. Αυτή η εξέλιξη άρχισε με τον Euler και έφθασε στην αποκορύφωση της κατά τον 19ο αιώνα με την ανάπτυξη της θεωρίας συναρτήσεων μιγαδικής μεταβλητής. Αυτή η επέκταση μας δίνει τη δυνατότητα να θεωρήσουμε την προβολή του Mercator ως μια σύμμορφη απεικόνιση (τόσο από μαθηματική όσο και από γεωγραφική σκοπιά) της στερεογραφικής προβολής μέσω της συνάρτησης $w = \ln z$, όπου z και w μιγαδικές μεταβλητές.

1.6 ΧΑΡΤΕΣ

Η ανάγκη αναπαράστασης του γεωγραφικού χώρου

Η αδυναμία εποπτείας του γεωγραφικού χώρου οδήγησε από πολύ νωρίς, ήδη από την παλαιολιθική εποχή, στην επινόηση της αναπαράστασης του χώρου, στην αρχή μέσω απεικονίσεων του πλησιέστερου περιβάλλοντος και στη συνέχεια του ευρύτερου. Η αναπαράσταση αυτή είχε ως πρακτικό αποτέλεσμα την επινόηση των χαρτών. Η επιλογή χαρακτηριστικών του τρισδιάστατου γεωγραφικού χώρου και η παρουσίαση τους μέσω συμβόλων σε δύο διαστάσεις είναι μια αφαιρετική διαδικασία αρκετά προωθημένη για τον πρωτόγονο ανθρώπινο νου. Ωστόσο, οι πρώτοι χάρτες σύμφωνα με τον Raisz (1948), πρέπει να εμφανίστηκαν πριν από τη γραφή, έτσι όπως τουλάχιστο προκύπτει από μαρτυρίες ταξιδιωτών που ήρθαν σε επαφή με πρωτόγονους λαούς που, χωρίς να έχουν ανακαλύψει τη γραφή, ζωγράφιζαν χάρτες. Ο Raisz αναφέρεται επίσης στην κοινή παρατήρηση πολλών εξερευνητών σε πολλά σημεία της γης, που όταν ζητούσαν από τους ιθαγενείς να περιγράψουν μια διαδρομή, η συνήθης αντίδραση ήταν να χαράξουν με ξύλο το σκίτσο της στο έδαφος και να προσθέσουν κλαδάκια και πετραδάκια για να δείξουν θέσεις. Φαίνεται ότι η δημιουργία του χάρτη είναι αποτέλεσμα της έμφυτης τάσης του ανθρώπου να επικοινωνήσει με τους συνανθρώπους του. Οι άνθρωποι ζώντας ως κυνηγοί και πολεμιστές μετακινούνταν πολύ στο χώρο και η γνώση για διευθύνσεις και αποστάσεις ήταν σημαντική για την επιβίωση τους, γι' αυτό, από πολύ παλιά, παρατηρείται η ανάπτυξη συστημάτων δημιουργίας χαρτών. Στη συνέχεια, η ανάγκη και η χρησιμότητα των χαρτών έγινε αντιληπτή πρώτα από τους ναυσιπλόους, τους εξερευνητές και τους στρατιωτικούς και πολύ αργότερα από τους πολιτικούς.

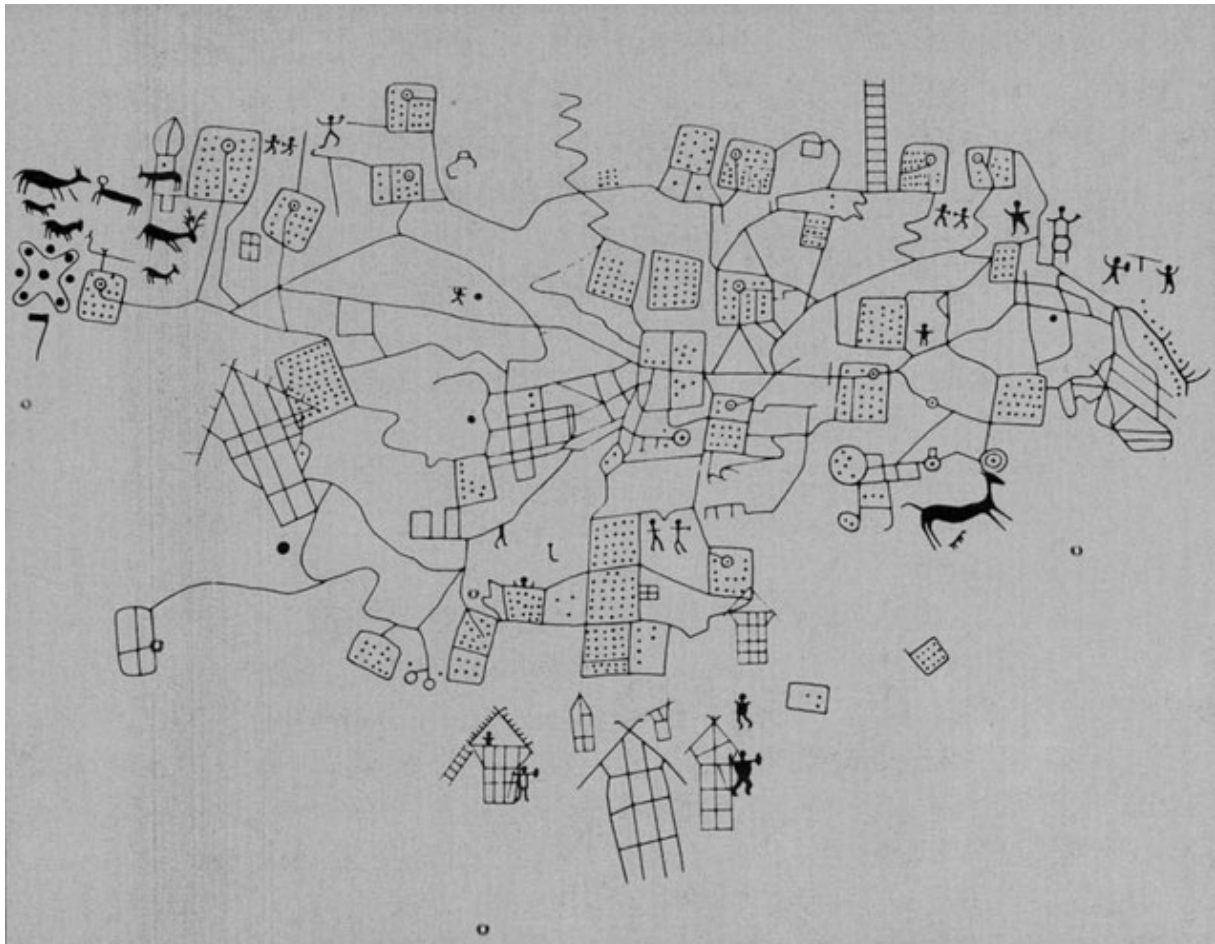
Πετρογλυφικά τοπογραφήματα – “Πρωτόγονες χαρτογραφίες”

Στη συνέχεια γίνεται αναφορά στα πετρογλυφικά τοπογραφήματα της προϊστορικής περιόδου, καθώς και σε μετέπειτα δείγματα αξιοσημείωτων πρωτόγονων χαρτογραφίσεων από περιφερειακούς πολιτισμούς, όπως των νησιώτικων πολιτισμών του Ειρηνικού, των Εσκιμώων της Βόρειας Αμερικής και των Αζτέκων της κεντρικής Αμερικής.

Πετρογλυφικά τοπογραφήματα

Ο άνθρωπος μέσα στα σπήλαια, ζωγράφιζε στα τοιχώματα ζώα και παραστάσεις, αλλά και γεωμετρικά σχήματα, αφηρημένα ή σχετιζόμενα με την καθημερινή του ζωή. Ανάμεσα σ' αυτά τα σχέδια και τις ζωγραφιές συναντάμε τις πρώτες τοποπαραστάσεις (ή τοπογραφήματα): γεωμετρικά σχήματα με θεματική αναφορά στο εγγύτατο περιβάλλον των ανθρώπων της εποχής. Τα πετρογλυφικά αυτά τοπογραφήματα της παλαιολιθικής και νεολιθικής εποχής, από την τριακοστή μέχρι περίπου την τρίτη χιλιετία π.Χ., παρουσιάζουν θεματική ποικιλία και τα συναντάμε σε σπήλαια και βράχους της Ευρώπης και της Ασίας. Ο “χάρτης” της Bedolina, της βόρειας Ιταλίας, θεωρείται το παλαιότερο γνωστό πετρογλυφικό τοπογράφημα, που απεικονίζει κατοικημένη περιοχή και χρονολογείται γύρω στο 2000-1500 π.Χ. Στο αρχικό τοπογράφημα της εποχής του χαλκού, έχουν χαραχθεί,

πιθανόν σε μεταγενέστερο στάδιο, την εποχή του σιδήρου, εικονογραφικά χαρακτηριστικά σε πλάγια όψη, όπως ανθρώπινες φιγούρες, ζώα και σπίτια. Δεν είναι ξεκάθαρο τι απεικονίζουν τα πιο αφαιρετικά σύμβολα του τοπογράφηματος: επιφανειακά ορθογώνια σύμβολα που καλύπτονται με κανονική διάταξη κουκκίδων (πιθανόν αγροί περιφραγμένοι από πέτρινους τοίχους), γραμμικά σύμβολα (πιθανόν ρέματα και αρδευτικά κανάλια), σημειακά σύμβολα, μικροί κύκλοι με τελεία στο κέντρο (πιθανόν πηγάδια) (Thrower 1999).

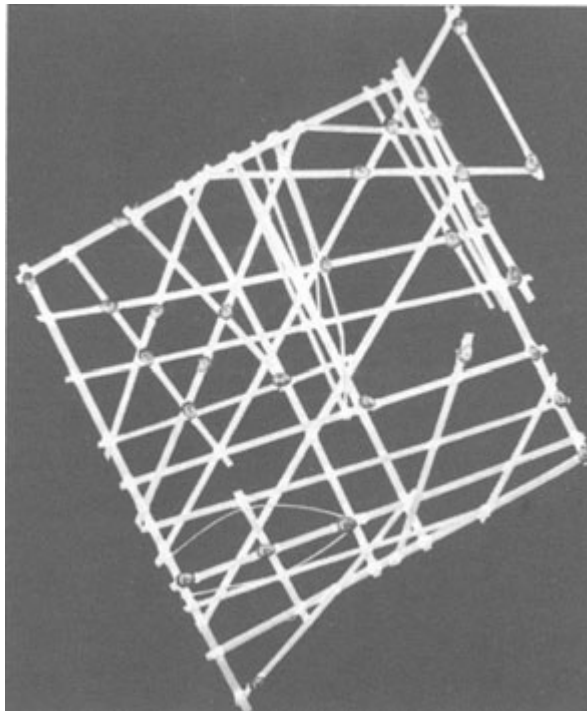


Εικόνα 23. Πετρογλυφικό τοπογράφημα της Bedolina, δείγμα προϊστορικού χάρτη

Χάρτες ναυσιπλοΐας (ναυτιλιακά διαγράμματα) της Πολυνησίας

Οι κάτοικοι των νησιών του Ειρηνικού Ωκεανού, αναπαριστώντας γραφικά τις πορείες τους μεταξύ των νησιών, είχαν καταφέρει να επεκταθούν χωρικά σε μεγάλο εύρος, πριν οι Ευρωπαίοι φτάσουν στον Ειρηνικό. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον ανάμεσα στους πρωτόγονους χάρτες παρουσιάζουν τα ναυτιλιακά διαγράμματα των κατοίκων της Πολυνησίας, με τη μορφή τοπολογικά οργανωμένων πλεγμάτων ξύλινων λεπτών ράβδων (νεύρα φύλλων φοίνικα) στις οποίες εξαρτώνται κοχύλια (Raisz 1948). Η διάταξη των ράβδων ήταν ενδεικτική των θαλασσιών κυμάτων που δημιουργούνταν από τους ανέμους, ενώ τα κοχύλια αναπαριστούσαν τα νησιά. Για πολλά χρόνια οι περίεργες αυτές κατασκευές αποτελούσαν γρίφο για τους ανθρωπολόγους. Τα ναυτιλιακά αυτά διαγράμματα καταδεικνύουν ότι τα προϊόντα δουλειάς των

πρωτόγονων ανθρώπων δεν είναι απλοϊκά, ο δε τρόπος απεικόνισης είναι, ίσως, πιο σύνθετος από τον αντίστοιχο των σύγχρονων διαγραμμάτων.



Εικόνα 24. Ναυτιλιακό διάγραμμα από την Πολυνησία

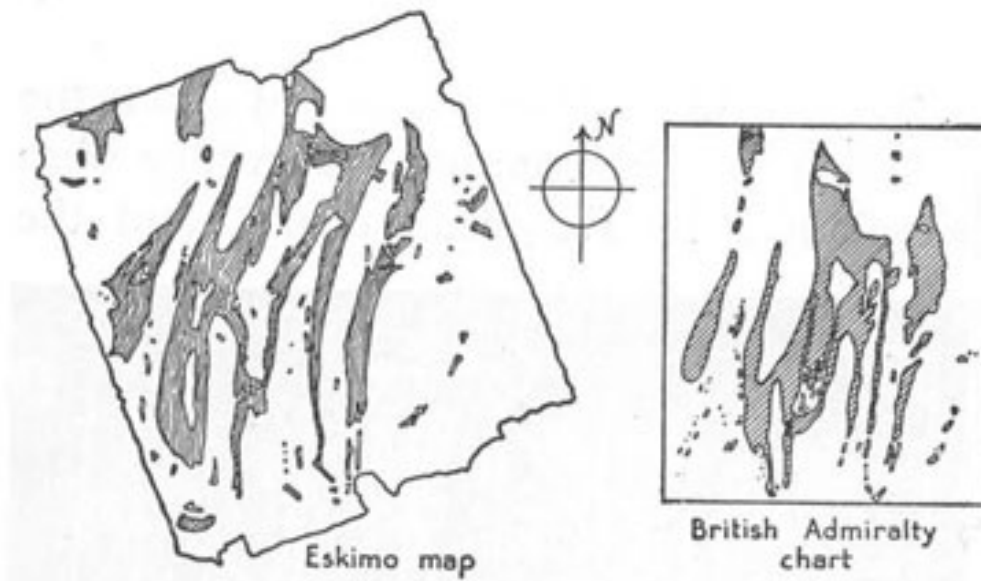
Χάρτες των Εσκιμών

Ενδιαφέρον, το οποίο επικεντρώνεται στην ακρίβεια απόδοσης της γεωμετρίας του χώρου, παρουσιάζουν οι χάρτες των Εσκιμών. Οι χάρτες αυτοί, προϊόν εντελώς αγράμματων ανθρώπων, που δε διέθεταν κανένα όργανο μέτρησης, έχουν μια εκπληκτική ομοιότητα με τους σημερινούς και ας πρόκειται για την απεικόνιση εκτάσεων αρκετών χιλιάδων στρεμμάτων (Σχήμα 3). Το ιδιαίτερο ενδιαφέρον που παρουσιάζουν οι χάρτες των Εσκιμών εστιάζεται στην επιλογή των πληροφοριών που απεικονίζουν, η οποία γίνεται με βάση τη σπουδαιότητα που είχαν για τους ανθρώπους τα χαρακτηριστικά και όχι το μέγεθος τους. Ένα δεύτερο στοιχείο αρκετά ενδιαφέρον είναι η κλίμακα των διαγραμμάτων αυτών η οποία φαίνεται να είναι υπολογισμένη με βάση το χρόνο πλοήγησης και όχι με τις πραγματικές αποστάσεις. Έτσι, το μέγεθος μιας απόστασης στο χάρτη απεικονίζει το χρόνο που χρειάστηκε για να διανυθεί και όχι το μήκος της. Με άλλα λόγια, οι χάρτες αυτοί αποτελούν μια πρωτόγονη μορφή τοπολογικού χάρτη με μεταβλητή το χρόνο (Raisz 1948).

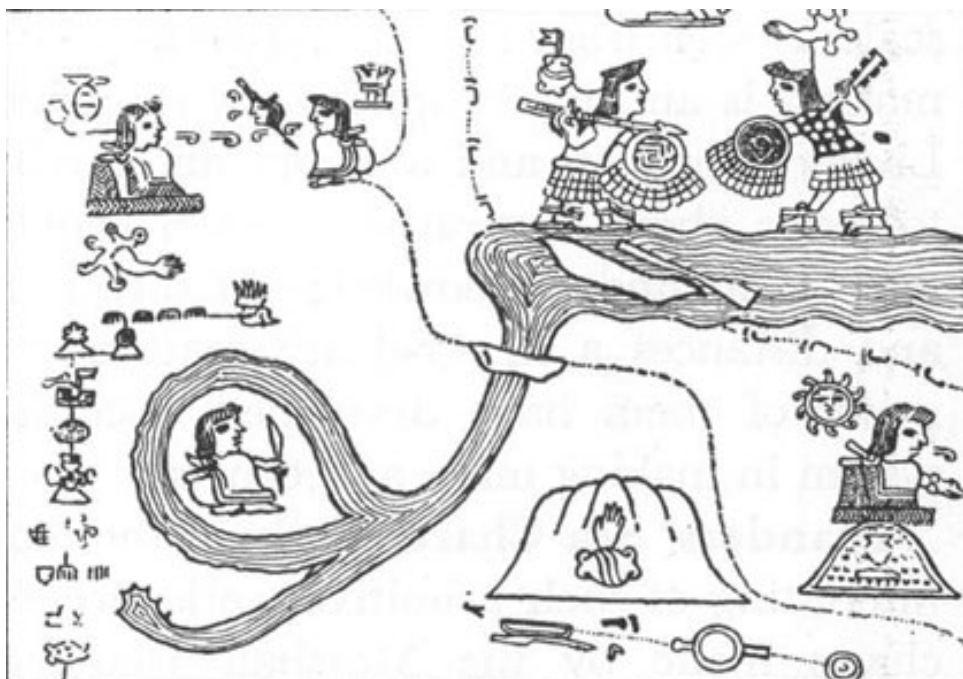
Χάρτες των Αζτέκων

Στους χάρτες των Αζτέκων η λεπτομέρεια απόδοσης της γεωμετρίας του γεωγραφικού χώρου περνά σε δεύτερο πλάνο και το βασικό αντικείμενο απόδοσης είναι τα ιστορικά γεγονότα που συμβαίνουν σε ένα τόπο (Raisz 1948). Οι χάρτες αυτοί είναι βασικά διακοσμητικοί και απεικονίζουν χαρακτηριστικά όπως δάση, ποτάμια, ναούς, ανθρώπινες φιγούρες κλπ με νατουραλιστικό ή όπως λέγεται στη

χαρτογραφική γλώσσα, με εικονογραφικό τρόπο.



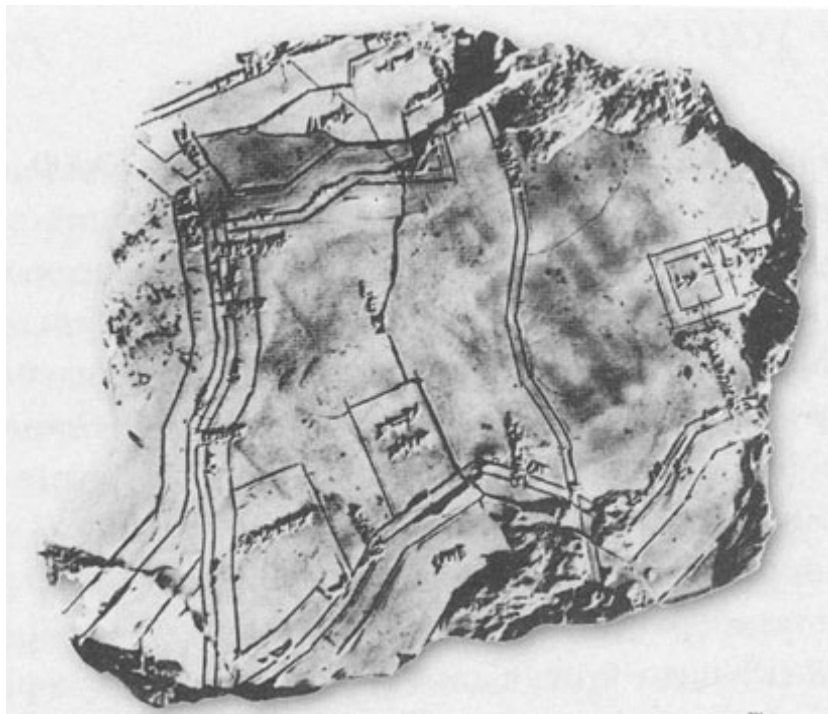
Εικόνα 25. Χάρτης των Εσκιμών - Σύγχρονο διάγραμμα



Εικόνα 26. Χάρτης των Αζτέκων

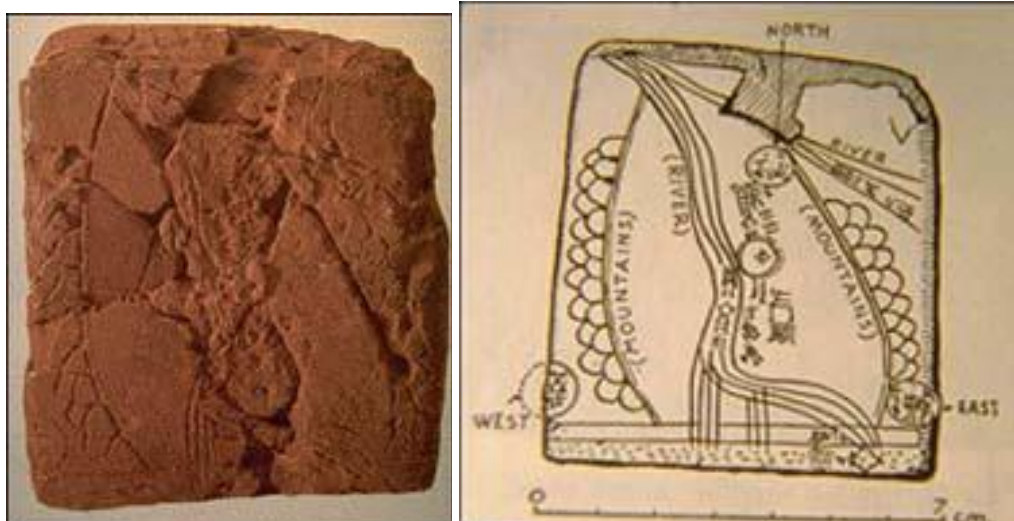
Οι χάρτες των Βαβυλωνίων

Στην ιστορία της Χαρτογραφίας, θεωρώντας τα προηγούμενα προϊόντα σαν πρωτόγονη μορφή χαρτογραφικής έκφρασης, τα πρώτα γνωστά δείγματα χαρτών προέρχονται από τη Μεσοποταμία. Στη συνέχεια, παρατίθενται τρεις χαρακτηριστικοί χάρτες της περιοχής αυτής, διαφορετικής κλίμακας, οι οποίοι ήταν χαραγμένοι σε πήλινες πλάκες. Το απόσπασμα χάρτη μεγάλης κλίμακας μέρους της Nipur, χρονολογείται στο 1500 π.Χ. και απεικονίζει κανάλια διαφορετικού πλάτους, μέρος του τοίχους της πόλης με τις πύλες και την τάφρο, σπίτια, πάρκο κλπ. Το όνομα των χαρακτηριστικών αναγράφεται στο χάρτη.



Εικόνα 27. Τοπογραφικός χάρτης της πόλης Nipur (1500 π.Χ.)

Ο χάρτης Akkadian, αναφέρεται συχνά στη βιβλιογραφία ως ο παλαιότερος χάρτης στον κόσμο. Είναι χάρτης μεσαίας κλίμακας, αν και η πήλινη πλάκα είναι διαστάσεων μόλις 7,6Χ6,8εκ. Η κατασκευή του τοποθετείται γύρω στο 2500 π.Χ. και βρέθηκε στα ερείπια της Ga Sur (250km βόρεια της Βαβυλώνας) (Raisz 1948). Σήμερα, βρίσκεται στο σημαντικό μουσείο του πανεπιστημίου του Harvard. Ο χάρτης είναι προσανατολισμένος με την ανατολή προς τα πάνω. Απεικονίζει κοιλάδα που διασχίζεται από ποταμό, πιθανόν τον Ευφράτη και τα γύρω βουνά με ιδιαίτερο συμβολισμό. Το δέλτα του ποταμού καταλήγει σε λίμνη ή θάλασσα. Το πιο ενδιαφέρον στοιχείο της απεικόνισης είναι ο συμβολισμός με κύκλους των σημείων του ορίζοντα. Χαρακτηριστική είναι επίσης η καθαρότητα των χαρακτήρων σφηνοειδής γραφής.



Εικόνα 28. Ο παλαιότερος χάρτης από τη Ga-Sur (2500 π.Χ.) Πήλινη πλάκα και σχεδιάγραμμα

Οι Βαβυλώνιοι θεωρούσαν τη γη σαν ένα δίσκο που επέπλεε στον ωκεανό, με τον ουράνιο θόλο από πάνω και πάνω από όλα το στερέωμα. Η άποψη αυτή επικράτησε αργότερα στους Έλληνες, τους Ρωμαίους, τους Ισραηλίτες και διαμέσου των ιερών κειμένων, στη Χριστιανική Ευρώπη το Μεσαίωνα. Από την αρχαιότητα, ο άνθρωπος επιχειρούσε να αποδώσει γραφικά τις υποθέσεις του για τη φύση της γης και τη θέση της στο σύμπαν, και μια μικρή Βαβυλωνιακή πλάκα, που τοποθετείται στο 500 π.Χ., θεωρείται ως το πιο παλιό γνωστό παράδειγμα τέτοιας προσπάθειας (Hodgkiss 1981). Δείχνει τη γη επίπεδη, στρογγυλή, να περιβάλλεται από τον ωκεανό. Στο κέντρο του χάρτη απεικονίζεται η Βαβυλώνα, ενώ με κύκλο απεικονίζονται και άλλες πόλεις. Ο Ευφράτης ποταμός ρέει από τα βουνά της Αρμενίας, στον Περσικό κόλπο. Ο χάρτης πιθανόν να αποσκοπεί στην απόδοση της σχέσης μεταξύ του «Γήινου Ωκεανού» και των «Επτά Νησιών» (μακρινά μέρη) που συμβολίζονται με τρίγωνα και ένα μόνο από αυτά φαίνεται ανέπαφο στην πλάκα (Thrower 1999). Η γραφική απεικόνιση συνοδεύεται από κείμενα σε σφηνοειδή γραφή, από τα οποία προκύπτει η αστρολογική και θρησκευτική σημασία του χάρτη. Παρόμοιες πλάκες, όπως αυτές που περιγράφηκαν πιο πάνω, διασώζονται και εκτίθενται στο Βρετανικό μουσείο, μαρτυρώντας έτσι την αρχαιότητα της χαρτογραφίας.



Εικόνα 29. Η αντίληψη των Βαβυλωνίων για τη Γη (500 π.Χ.)

Η πιο σημαντική, ωστόσο, συνεισφορά των Βαβυλωνίων στη χαρτογραφία είναι η διαίρεση του κύκλου σε μοίρες. Το αριθμητικό σύστημα μέτρησης που χρησιμοποιούσαν, με βάση το δώδεκα, αποτέλεσε την αρχή για τη μετέπειτα διαίρεση του κύκλου σε 360° .

Οι χάρτες των Αιγυπτίων

Στην Αίγυπτο, από το 15° αιώνα π.Χ., γίνεται συστηματική ταξινόμηση της περιγραφής και αναπαράστασης του γεωγραφικού χώρου, κατά κλίμακες (Λιβιεράτος 1998). Προκύπτουν έτσι περιγραφές του Ουράνιου Σύμπαντος (Κοσμογραφία), της Γης (Γεωγραφία), της Αιγύπτου (Χωρογραφία) και περιγραφές του Νείλου και των διωρύγων του (Τοπογραφία). Όλα τα παραπάνω τεκμηριώνονται σε σχέδια, πρόδρομους των χαρτών.

Η τοπογραφία, για πρώτη φορά στην ιστορία, διεξάγεται στην Αίγυπτο, στην κοιλάδα και το δέλτα του Νείλου. Ο Ραμσής Β' (1333-1300 π.Χ.) άρχισε μια συστηματική τοπογράφιση της αυτοκρατορίας. Για διευκόλυνση της επιβολής φόρων, έγιναν μετρήσεις με σκοπό τον καθορισμό των εκτάσεων και των ορίων των ιδιοκτησιών. Τα αποτελέσματα αυτών των εργασιών είχαν καταγραφεί και πιστεύεται ότι είχαν αποδοθεί και σε χάρτες, που όμως δεν έχουν σωθεί. Αιώνες αργότερα οι Έλληνες, και ιδιαίτερα ο Ερατοσθένης, χρησιμοποίησαν τις μετρήσεις των Αιγυπτίων.

Οι χάρτες των Ελλήνων

Βασική πηγή γνώσης για τη χαρτογραφία των Ελλήνων αποτελούν τα κείμενα του Ηρόδοτου (410-355 π.Χ.) και του Στράβωνα (68 π.Χ-20 μ.Χ.). Ο Στράβων και οι Στωικοί φιλόσοφοι θεωρούν τον Όμηρο εισηγητή της γεωγραφικής επιστήμης (από τον 8^ο αιώνα π.Χ.), έτσι όπως την εννοούσαν οι Έλληνες, να περιλαμβάνει κείμενα (λεκτικές περιγραφές) και χάρτες (γραφικές περιγραφές). Ο Όμηρος στην Ιλιάδα περιγράφει τη γη επίπεδη, κυκλική, να περιβάλλεται από τον ωκεανό. Κάτω από την επιφάνεια της γης βρίσκονται ο Άδης και τα Τάρταρα. Από την περιφέρεια του ωκεανού ξεκινά ο ουράνιος θόλος. Ο ήλιος, το φεγγάρι και τα αστέρια ανατέλλουν από τον ωκεανό, διαγράφουν ένα τόξο πάνω από τη γη και βυθίζονται ξανά στη θάλασσα για να ολοκληρώσουν την πορεία τους. Η ατμόσφαιρα πάνω από τη γη είναι πυκνή με σύννεφα και ομίχλη αλλά ψηλότερα βρίσκεται ο Αιθέρας. Όπως αναγνωρίζεται ευρύτατα σήμερα, η παλαιότερη γραπτή χαρτογραφική αναφορά περιέχεται στην Ιλιάδα και αφορά την περιγραφή της ασπίδας του Αχιλλέα (Λιβιεράτος 1998). Η ασπίδα του Αχιλλέα χωριζόταν σε τέσσερις ομόκεντρες κυκλικές ζώνες και αυτές σε επιμέρους τομείς. Γύρω από τον κεντρικό κυκλικό πυρήνα απεικονιζόταν η γη, η θάλασσα, ο ήλιος, η σελήνη και τα άστρα. Στην πρώτη, προς τα άκρα, ζώνη και σε δύο τμήματα, απεικονιζόταν η πόλη σε ειρήνη και σε πόλεμο. Στη δεύτερη ζώνη και σε τρεις τομείς, απεικονίζονταν η σπορά, ο θερισμός και η αμπελουργία. Στην τρίτη ζώνη και σε επίσης τρεις τομείς, τα θηράματα, η βοσκή και ο χορός. Στην εξωτερική και τελευταία ζώνη, ήταν ο ποταμός και ο ωκεανός.

Από τον 7^ο αιώνα π.Χ., με τη συστηματική συμβολή της Ελληνικής επιστήμης, οι Έλληνες αρχίζουν μια νέα εποχή στη Χαρτογραφία. Η εποχή αυτή καλύπτει όλη την κλασική περίοδο, από τις αφετηρίες της στην Ιωνία, την ακμή της, τον 4^ο αιώνα π.Χ., μέχρι την Αλεξανδρινή ολοκλήρωσή της, τους πρώτους αιώνες μ.Χ. (Λιβιεράτος 1998). Στο διάστημα αυτό, η Χαρτογραφία θα πρέπει να μελετηθεί μέσα στο ευρύτερο πλαίσιο των επιστημών της γεωμετρίας, της αστρονομίας, της γεωδαισίας και της γεωγραφίας. Θα πρέπει, επίσης, να εξεταστεί η εμπειρική και πρακτική της διάσταση που αφορά το σύνολο των τότε γεωγραφικών παρατηρήσεων, που προέκυπταν σχεδόν αποκλειστικά από τα ναυτικά ταξίδια και τις τότε μετρήσεις με τη χρήση κλασικών οργάνων και τη βοήθεια κατάλληλων υπολογισμών. Διευκρινίζεται, ωστόσο, ότι στο κείμενο αυτό η έμφαση δίνεται στην εξέλιξη των χαρτών. Μετά το 2^ο μ.Χ., και μέχρι το τέλος του μεσαίωνα, η χαρτογραφία ξεφεύγει από την επιστημονική αντιμετώπιση, με εξαίρεση το χαρτογραφικό έργο των Αράβων. Ωστόσο, κατά το διάστημα αυτό προστίθενται άλλα στοιχεία στους χάρτες που παρουσιάζουν ενδιαφέρον από φιλοσοφική, ηθική και αισθητική άποψη. Επιστροφή στις ελληνικές αφετηρίες της χαρτογραφίας και στον επιστημονικό τρόπο αντιμετώπισης της θα συμβεί το 16^ο αιώνα.

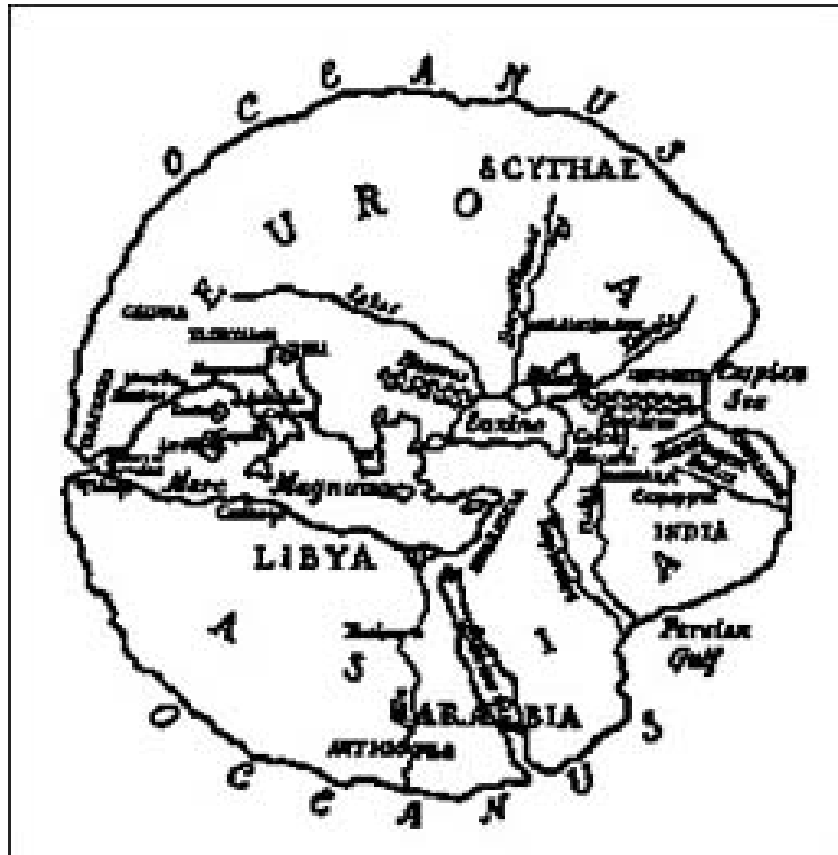
Στη συνέχεια, αναφέρεται συνοπτικά το έργο διακεκριμένων προσώπων που συνέβαλαν άμεσα ή έμμεσα στην άνθηση της Ελληνικής Χαρτογραφίας από τον 7^ο π.Χ. μέχρι το 2^ο μ.Χ. αιώνα (Raisz 1948, Λιβιεράτος 1998). Ο πρώτος χάρτη (πίνακας) του τότε κατοικημένου κόσμου, όπως ήταν γνωστός μέχρι τότε, κατασκευάστηκε από τον Αναξίμανδρο το Μιλήσιο (610-545 π.Χ.). Ο χάρτης αυτός βελτιώθηκε στη συνέχεια από τον Εκαταίο το Μιλήσιο (549-472 π.Χ.), ο οποίος θεωρούσε τη γη επίπεδο δίσκο που περιβάλλεται από τον ωκεανό. Ο Θαλής ο Μιλήσιος (640-546 π.Χ.) δεχόταν τη σφαιρικότητα του σύμπαντος. Αναγνώρισε τη Μικρή Άρκτο και τον Πολικό αστέρα ως κύριο και σταθερό

προσανατολισμό για τους ταξιδιώτες. Ο Πυθαγόρας ο Σάμιος (580-500 π.χ.), πατέρας της θεωρητικής γεωμετρίας, δίδασκε τη σφαιρικότητα της γης και την περιστροφή της περί άξονα. Η άποψη για τη σφαιρικότητα της γης προέκυψε κυρίως από φιλοσοφική θεώρηση και όχι τόσο από αστρονομικές παρατηρήσεις. Η σφαίρα έχει το τελειότερο σχήμα και κατά συνέπεια, η γη που είναι το δημιούργημα των θεών, πρέπει να είναι σφαίρα. Ο Αριστοτέλης ο Σταργεΐτης (384-322 π.Χ.) είναι αυτός που παραθέτει τέσσερα επιχειρήματα που αποδεικνύουν τη σφαιρικότητα της Γης (340 π.Χ.):

- την καμπυλότητα της θαλάσσιας επιφάνειας, όπως πιστοποιεί η ναυσιπλοΐα,
- την αλλαγή του ύψους των αστέρων σε διάφορα γεωγραφικά πλάτη της γης,
- την αλλαγή του ύψους του ήλιου σε διάφορα γεωγραφικά μήκη της γης και
- το στρογγυλό της σκιάς της γης κατά την έκλειψη της σελήνης.



Εικόνα 30. Ο Κόσμος σύμφωνα με τον Όμηρο (8ος αιώνας π.Χ.)



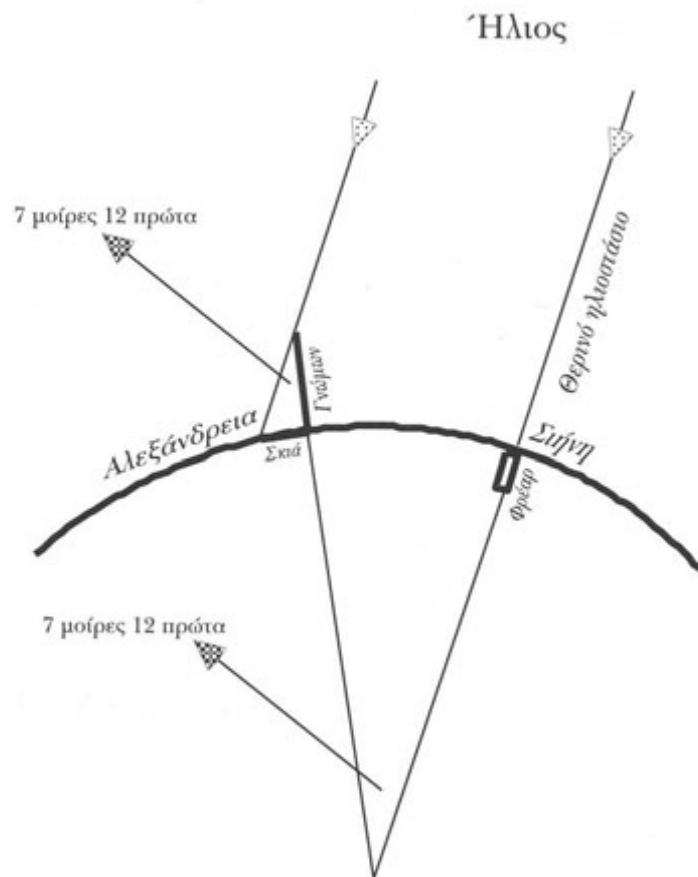
Εικόνα 31. Ο Κόσμος σύμφωνα με τον Εκαταίο (6ος αιώνας π.Χ.)

Στα τέλη του 3^{ου} και αρχές του 4^{ου} αιώνα π.Χ. δραστηριοποιούνται πολλοί ανώνυμοι κατασκευαστές πινάκων (χαρτών), που στήριζαν τις χαρτογραφήσεις τους στα στοιχεία του Πυθέα του Μασσαλιώτη. Ο Πυθέας έπλευσε το 330 π.Χ. στις Βρετανικές θάλασσες, φθάνοντας μέχρι τον ωκεανό του «χάους και του σκότους» αγγίζοντας τη νήσο Θούλη, πιθανόν η Νορβηγία, η Ισλανδία, τα νησιά Σέτλαντ ή τα νησιά Ορκάδες βορείως της Σκοτίας. Για περίπου 1500 χρόνια θα απεικονίζεται στους χάρτες η νήσος Θούλη.

Το σύστημα ορθογώνιων συντεταγμένων επινοήθηκε και εισήχθηκε το 300 π.Χ. από τον Δικαίαρχο τον Μεσσήνιο, Σικελιώτη (340-290 π.Χ.). Ο Δικαίαρχος έθεσε ως αρχή των αξόνων στη Ρόδο, προσανατολισμένων έτσι ώστε ο ένας άξονας (διάφραγμα) να ακολουθεί τη διεύθυνση Δύση-Ανατολή (το «μήκος») και ο άλλος τη διεύθυνση Βορρά-Νότου (το «πλάτος»). Για πρώτη φορά εισάγεται η έννοια του γεωγραφικού πλέγματος (κάναβος) που αποτελεί τη βάση της επιστημονικής χαρτογραφίας. Ο χάρτης που συνέταξε ο Δικαίαρχος, χρησιμοποιώντας στοιχεία από την εκστρατεία του Αλεξάνδρου, παρέμεινε η βάση των γεωγραφικών χαρτών τους επόμενους τέσσερις αιώνες.

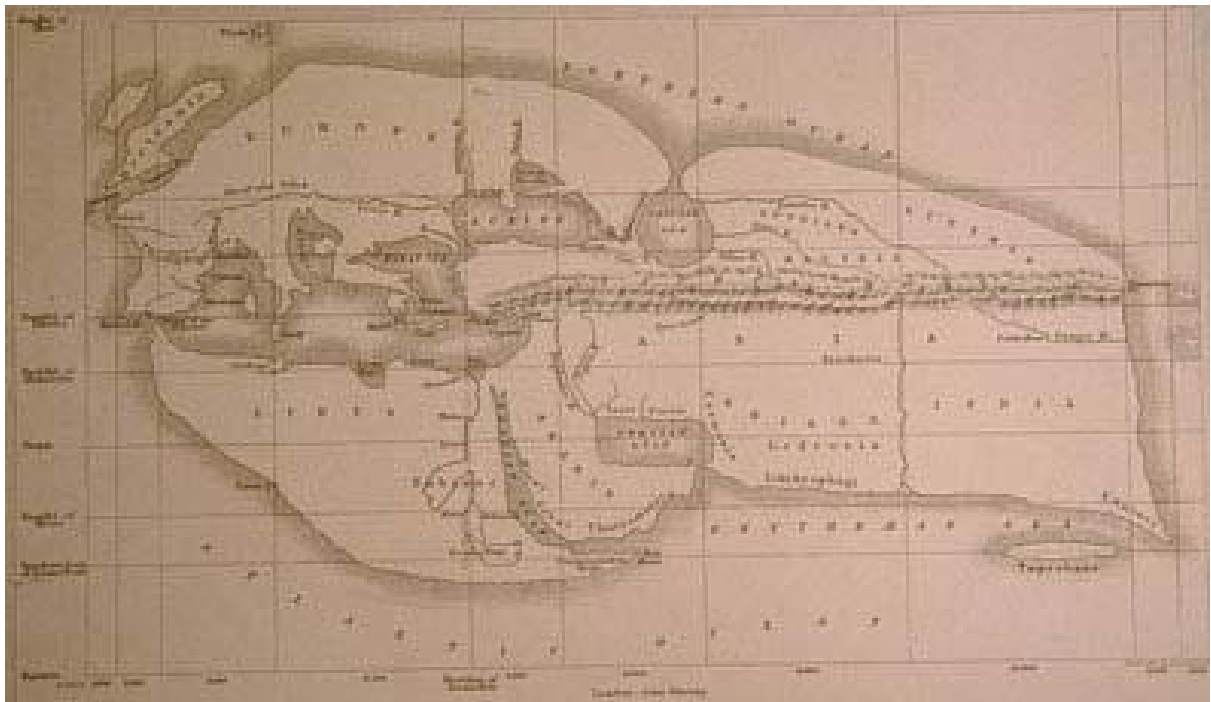
Εξέχουσα θέση στην ιστορία της χαρτογραφίας έχει ο Ερατοσθένης ο Κυρηναίος (275-195 π.Χ.), ο οποίος διεύθυνε τη βιβλιοθήκη της Αλεξάνδρειας. Ο Ερατοσθένης υπολόγισε με μετρήσεις το μέγεθος της γήινης σφαίρας. Οι μετρήσεις έγιναν στην Αλεξάνδρεια και τη Σιήνη (Ασσουάν), δύο τόποι που ο Ερατοσθένης θεωρούσε ότι βρίσκονταν στον ίδιο μεσημβρινό. Στη Σιήνη υπήρχε ένα πηγάδι στον πυθμένα του οποίου καθρεφτιζονταν οι ακτίνες του ηλίου μόνο το μεσημέρι του θερινού ηλιοστασίου, στις 21 Ιουνίου. Προέκυπτε, έτσι, ότι η Σιήνη βρισκόταν στον

Τροπικό του Καρκίνου. Η απόσταση μεταξύ Σιήνης Αλεξάνδρειας ήταν ήδη γνωστή στον Ερατοσθένη (5000 στάδια) γιατί ήταν μετρημένη από τους Αιγυπτίους. Το 220 π.Χ., στο θερινό ηλιοστάσιο, μέτρησε στην Αλεξάνδρεια την ηλιακή ζενίθεια απόσταση (με τη βοήθεια γνώμονα), την οποία βρήκε να ισούται με το $\frac{1}{50}$ του κύκλου, δηλαδή με 7.2 μοίρες. Με τα δεδομένα αυτά (γωνία τόξου, μήκος τόξου μεσημβρινού) υπολόγισε το μήκος τόξου μιας μοίρας μεσημβρινού (Σχήμα 10). Η μέτρηση του Ερατοσθένη αντιστοιχεί σε ακτίνα της Γης μήκους 7420 χιλιομέτρων αντί για τα 6370 χιλιόμετρα της σημερινής τιμής (16% μεγαλύτερη της πραγματικής). Η μέτρηση είναι πολύ ακριβής λαμβάνοντας υπόψη ότι η Σιήνη δε βρίσκεται ακριβώς στον Τροπικό του Καρκίνου αλλά κάπου βορειότερα, η Αλεξάνδρεια δε βρίσκεται στον ίδιο μεσημβρινό με τη Σιήνη αλλά 3° πιο δυτικά, η μεταξύ τους απόσταση δεν είναι 5000 στάδια αλλά 4530 και η γωνία δεν μετρήθηκε με ακρίβεια. Τα τέσσερα σφάλματα αλληλοαναιρέθηκαν και έτσι το αποτέλεσμα έχει πολύ μικρή απόκλιση. Ανεξαρτήτως του αποτελέσματος, ο συλλογισμός και η εφαρμογή του, για την εποχή εκείνη, είναι καταπληκτικοί.



Εικόνα 32. Η μέτρηση του μεγέθους της γήινης σφαίρας από τον Ερατοσθένη (250 π.Χ.)

Μεγάλη επίδραση στη χαρτογραφία είχαν επίσης οι μετρήσεις διαφόρων αποστάσεων πάνω στη γη που διεξήγαγε ο Ερατοσθένης, περιλαμβανομένου του μήκους της Μεσογείου (η καλύτερη μέτρηση για τους επόμενους δεκατρείς αιώνες), καθώς και οι προσθήκες του στον παγκόσμιο χάρτη ιδιαίτερα στη Νότια Ασία και στη Βόρεια Ευρώπη. Στο έργο του τα «Γεωγραφικά» περιλαμβάνεται ένας χάρτης τον οποίο συνέταξε. Ο χάρτης απεικονίζει όλο τον τότε γνωστό κόσμο πάνω σε ένα κάναβο επτά μεσημβρινών και επτά παραλλήλων και δίνει πολλές γεωγραφικές πληροφορίες που είχαν συγκεντρωθεί από την Εκστρατεία του Μεγάλου Αλεξάνδρου. Ο χάρτης αυτός δεν έχει σωθεί, ωστόσο, από τις περιγραφές στα γραπτά κείμενα είναι δυνατή η ανακατασκευή του (Σχήμα 11). Εμφανίζεται στο χάρτη για πρώτη φορά η Κεϋλάνη, ως Ταροβανα, αρκετά, ωστόσο, μετατοπισμένη. Παραμορφωμένες φαίνονται οι ακτές της Αφρικής και της Ινδίας, που τελειώνουν πριν τον ισημερινό. Επικρατούσε άλλωστε η άποψη ότι τα νερά της θάλασσας στον ισημερινό είναι πολύ ζεστά για να τα διασχίσει κανείς. Στο χάρτη απεικονίζονται επίσης η Αγγλία και η Ιρλανδία. Ο Ερατοσθένης υποστήριζε ότι η γη καλύπτεται κυρίως από νερό, σε αντίθεση με άλλους, όπως ο Κράτης, που υποστήριζαν ότι καλύπτεται κυρίως από στεριά.



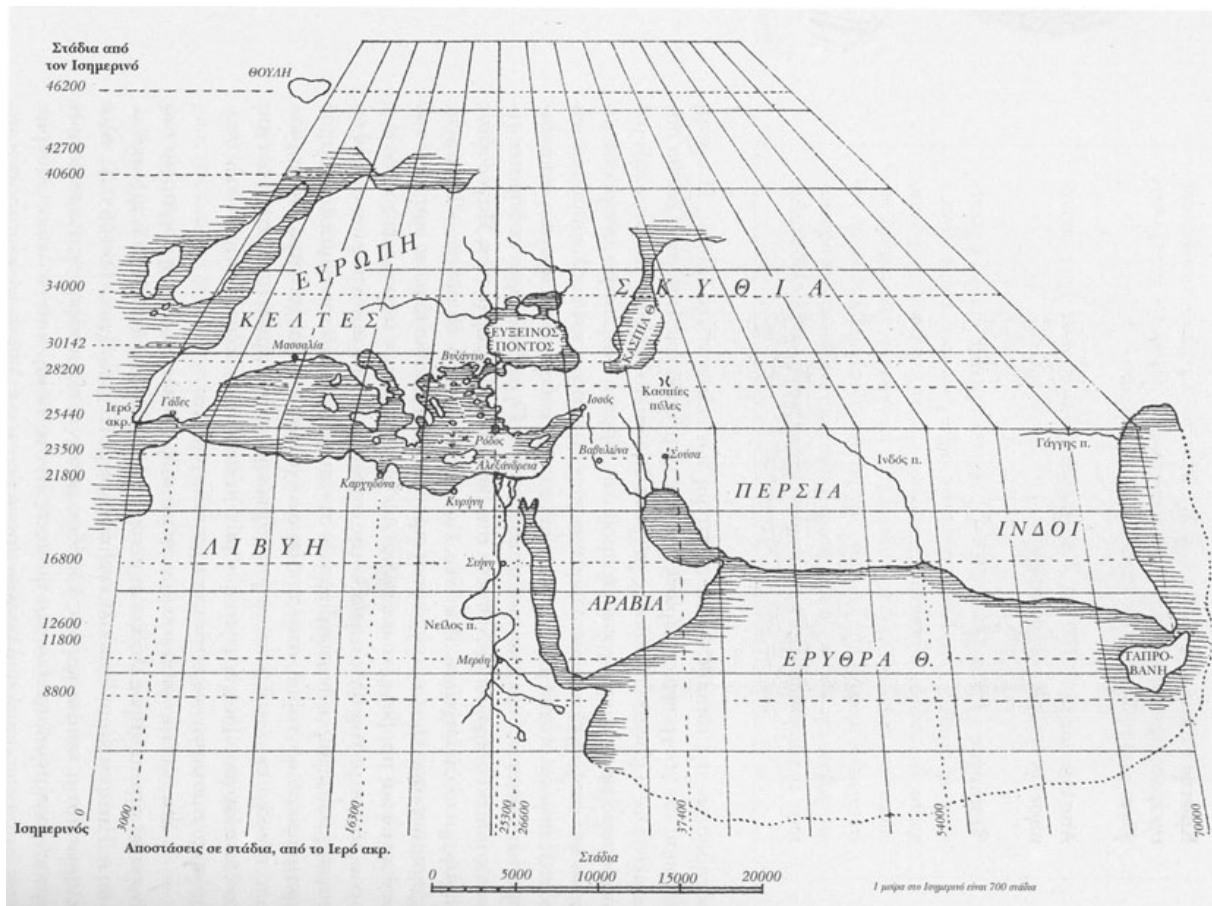
Εικόνα 33. Χάρτης του Ερατοσθένη (194 π.Χ.)

Ο Κράτης ο Μαλλώτης (270-180 π.Χ.) κατασκεύασε μια μεγάλη υδρόγειο σφαίρα, γνωστή ως «Κράτειος σφαίρα», στην οποία απεικονίζονται συμμετρικά τέσσερις ήπειροι, δύο στο βόρειο και δύο στο νότιο ημισφαίριο, που διαχωρίζονται από στενές λουρίδες νερού (αργότερα Ωκεανός). Με βάση την απεικόνιση του Κράτη, υπήρχαν τέσσερις γήινες μάζες, τρεις επιπλέον του γνωστού κατοικημένου κόσμου. Η άποψη αυτή επικράτησε για αιώνες.



Εικόνα 34. Η Κράτειος σφαίρα (150 π.Χ.)

Πολύ σημαντική είναι η χαρτογραφική συμβολή του Ίππαρχου του Ρόδιου (180-120 π.Χ.). Ο Ίππαρχος ήταν μεγάλη μορφή της αστρονομίας, που τη συνέδεσε με τη γεωγραφία και καθιέρωσε τον αστρονομικό προσδιορισμό θέσεων στην επιφάνεια της Γης. Οι θέσεις των τόπων προσδιορίζονται από τις γεωγραφικές τους συντεταγμένες, το γεωγραφικό πλάτος και μήκος. Υποδιαίρεσε την περίμετρο της γης σε 360 μοίρες και καθιέρωσε αυτό που ισχύει μέχρι σήμερα, το ορθογώνιο γεωγραφικό πλέγμα (γεωγραφικό κάναβο) των μεσημβρινών και παραλλήλων, προσανατολισμένο σε σχέση με τον άξονα περιστροφής της γης. Όρισε ως αρχή για τους παράλληλους τον ισημερινό και για τους μεσημβρινούς το μεσημβρινό της Ρόδου. Δίδαξε τη μέτρηση του πλάτους με το γνώμονα, κατά το θερινό ηλιοστάσιο και τη μέτρηση του μήκους μέσω παρατηρήσεων της τοπικής ώρας, τη στιγμή των εκλείψεων της σελήνης. Η πρώτη μέτρηση του γεωγραφικού μήκους έγινε με τη μέθοδο του Ίππαρχου και θα παραμείνει η μοναδική μέθοδος μέχρι το 16^ο αιώνα. Ο Ίππαρχος θεωρείται ότι εισήγαγε τις χαρτογραφικές προβολές. Στον Ίππαρχο αποδίδονται η στερεογραφική και ορθογραφική προβολή, οι οποίες επί εποχής του χρησιμοποιήθηκαν στην αστρονομία και αργότερα ευρύτατα σε χάρτες της γης. Στο Σχήμα 13 απεικονίζεται χάρτης του Ίππαρχου (150 π.Χ.), ο πρώτος σε γεωμετρική προβολή και ισαπέχοντα κάναβο σε στάδια.

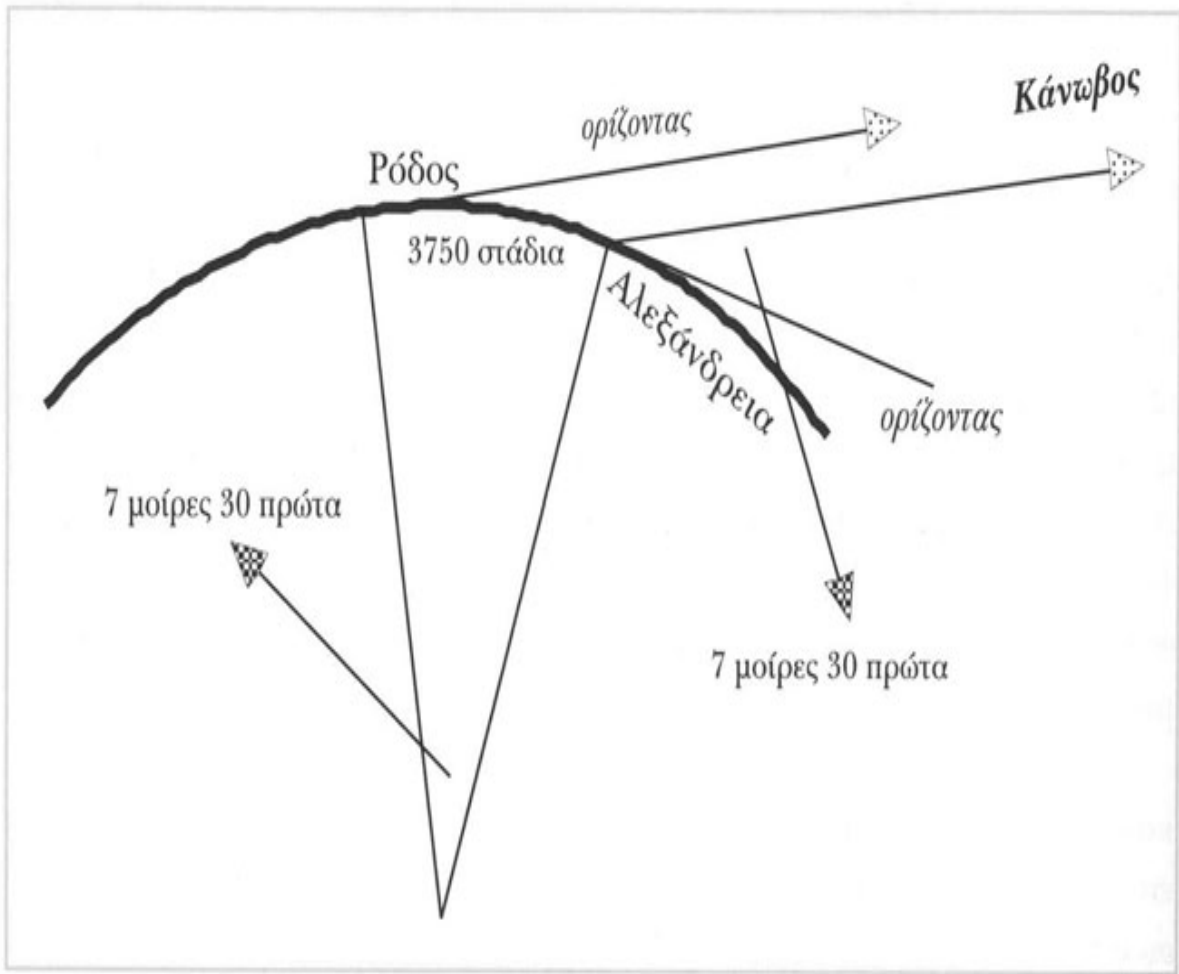


Εικόνα 35. Χάρτης Ίππαρχου (150 π.Χ.)

Ερατοσθένης, μέτρηση του μεγέθους της γήινης σφαίρας εφαρμόζοντας τη μέθοδο του στο τόξο Ρόδου-Αλεξάνδρειας. Ο Ποσειδώνιος χρησιμοποίησε το λαμπρό αστέρι Κάνωβο (του αστερισμού του Άργους) που είναι ορατό κυρίως στο νότιο ημισφαίριο και κοντά στον ορίζοντα, στα χαμηλά πλάτη του βόρειου ημισφαιρίου (Σχήμα 14). Όταν η Κάνωβος ήταν στον ορίζοντα της Ρόδου, στον ουρανό της Αλεξάνδρειας είχε ύψος το $1/48$ του κύκλου (7.5 μοίρες). Δεδομένης της γνωστής απόστασης Ρόδου-Αλεξάνδρειας (3750 στάδια) υπολογίστηκε το μέγεθος της γήινης σφαίρας, ωστόσο, κατά 17% μικρότερο της πραγματικής. Η κύρια αιτία του σφάλματος του Ποσειδώνιου, εκτός της παραδοχής ότι η Ρόδος βρίσκεται στον ίδιο μεσημβρινό με την Αλεξάνδρεια, οφείλεται στην αστρονομική μέτρηση, κυρίως λόγω της έντονης διάθλασης που επηρεάζει σημαντικά τις οπτικές μετρήσεις κοντά στον ορίζοντα. Οι μετρήσεις του Ποσειδώνιου χρησιμοποιήθηκαν στη συνέχεια από τον Πτολεμαίο, αλλά και από πολλούς χαρτογράφους και γεωγράφους, μέχρι το 17^ο αιώνα. Η μετέπειτα χρήση της μικρότερης σφαίρας του Ποσειδώνιου για υπολογισμούς πάνω στην επιφάνεια της, είχε ως αποτέλεσμα να επηρεάσει θετικά τον Κολόμβο στην οριστική απόφαση για τα ταξίδια του, θεωρώντας τις αποστάσεις πιο μικρές από τις πραγματικές και να επιλέξει την «προς δυσμάς» πλευση για την Ινδία.

Ο Γέμινος ο Ρόδιος (110-40 π.Χ.) συνεχίζει το έργο του Ποσειδώνιου. Θεμελιώνει με επιχειρήματα τη θεωρία των αντιπόδων (αντίθετη ή αντιδιαμετρική διεύθυνση των κατακορύφων) που είχε αναφερθεί από τον Πλάτωνα τον 5^ο π.Χ.

αιώνα. Το θέμα των αντιπόδων αποτέλεσε το μέγα θέμα των γεωγράφων του Μεσαίωνα και αντικείμενο θρησκευτικής αντιπαράθεσης. Με τον Γέμινο ολοκληρώνεται η σπουδαία Ροδιο-Αλεξανδρινή περίοδος.



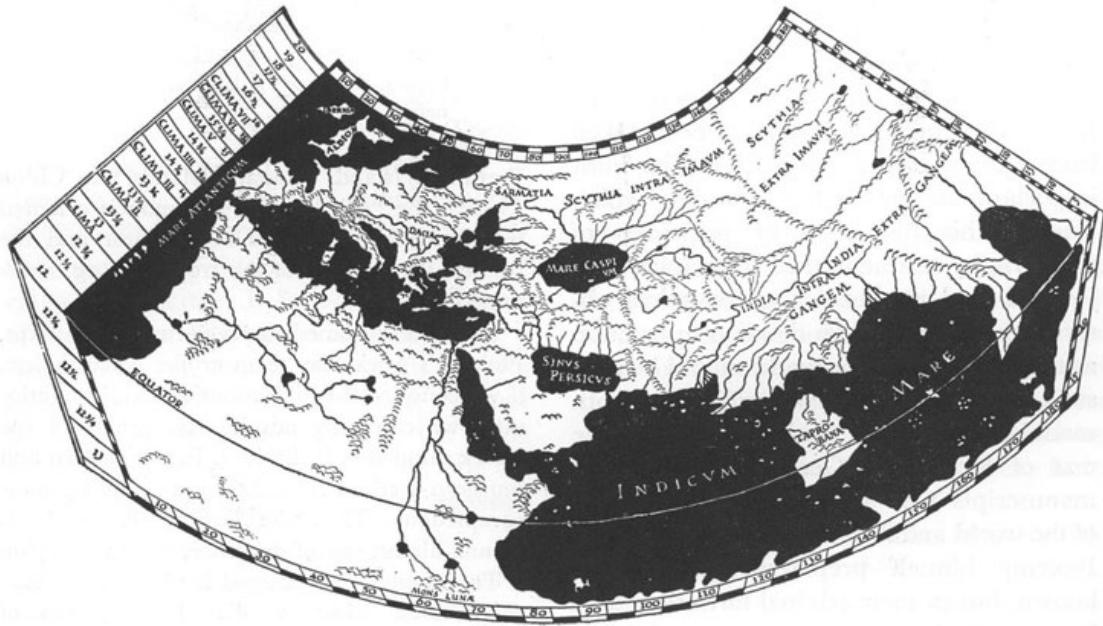
Εικόνα 36. Η δεύτερη μέτρηση του μεγέθους της γήινης σφαίρας από τον Ποσειδώνιο (100 π.Χ.)

Ο Μαρίνος ο Τύριος (60-130 μ.Χ.) έκανε χρήση των γεωγραφικών συντεταγμένων σε μοίρες για τον προσδιορισμό τόπων, αντί γραμμικών μεγεθών (αποστάσεων) και γωνιακών διευθύνσεων. Επινόησε την ορθή κυλινδρική προβολή, δεκαπέντε αιώνες πριν από το Mercator και εισήγαγε για πρώτη φορά το μεσημβρινό των Μακάριων νήσων (Κανάριοι Ν., Islas Fortunatas) ως το μεσημβρινό αναφοράς. Αργότερα και για πολλούς αιώνες, ο μεσημβρινός αυτός θα χρησιμοποιείται συστηματικά ως αφετηρία για μέτρηση των γεωγραφικών μηκών. Συνέταξε χάρτη κατά ορθή τετραγωνική προβολή, ο οποίος επανασχεδιάστηκε από τον Toscanelli τα τέλη του 15^{ου} αιώνα και χρησιμοποιήθηκε από τον Κολόμβο στα ταξίδια του. Απεικονίζεται ο τότε γνωστό κόσμος που εκτείνεται από τη νήσο Θούλη στο βορρά μέχρι την Αιθιοπία στο νότο και από τις Μακάριες νήσους μέχρι την Κίνα. Θεωρείται ο πατέρας των ναυτιλιακών χαρτών, εφόσον οι χάρτες του περιέγραφαν ακτές, κατέγραφαν τα τοπωνύμια των ακτών και τα δεδομένα του ήταν οι ναυτικές διαδρομές και παρατηρήσεις, όπως οι περίπλοες και οι σταδιασμοί. Στο έργο του Μαρίνου στηρίχτηκε στη συνέχεια ο Πτολεμαίος. Ο Μαρίνος, μαζί με τον Ερατοσθένη

και τον Ίππαρχο, είναι οι ιδρυτές της λεγόμενης Μαθηματικής Γεωγραφίας και Χαρτογραφίας της αρχαιότητας.

Κορυφαία μορφή της χαρτογραφίας, ίσως σε όλη την ιστορία της και όχι μόνο στην αρχαιότητα, είναι ο Κλαύδιος Πτολεμαίος ο Αλεξανδρεύς (85-165 μ.Χ.). Σημαντικός αστρονόμος, μαθηματικός και γεωγράφος, υπήρξε διακεκριμένος βιβλιοθηκάριος της Αλεξανδρινής Βιβλιοθήκης. Πρώτος χαρτογράφος με τη σύγχρονη έννοια του όρου, ολοκλήρωσε και προώθησε το έργο του Ίππαρχου, του Στράβωνα και του Μαρίνου. Δύο μεγάλα έργα του είναι το αστρονομικό Μαθηματική Σύνταξις (ή Μέγιστη) και το γεωγραφικό και χαρτογραφικό οκτάτομο έργο Γεωγραφική Υφήγησις (ή Γεωγραφία). Τα παλαιότερα σωζόμενα ελληνικά χειρόγραφα της Γεωγραφίας ανάγονται στο 12^ο και 14^ο αιώνα. Η Γεωγραφία αναφέρει τις αρχές της χαρτογραφίας, της μαθηματικής γεωγραφίας και των μεθόδων των αστρονομικών παρατηρήσεων. Περιλαμβάνει κατάλογο 10000 τόπων με τα ονόματά τους (τοπωνύμια) και με τιμές γεωγραφικού μήκους και γεωγραφικού πλάτους. Αναφέρει τις θεωρητικές αρχές και τις τεχνικές των προβολών και ορίζει κωνικές προβολές (μια από αυτές είναι πρόδρομος των προβολών του Werner και του Bonne). Περιγράφει αναλυτικά τις αρχές και τους κανόνες με βάση τους οποίους συντάσσεται ένας χάρτης. Το έργο συνοδεύεται από 26 χάρτες, του συνόλου του τότε γνωστού κόσμου, κατά γεωγραφικές περιφέρειες, έτσι ώστε να θεωρείται ο Πτολεμαίος εκείνος που επινόησε το χαρτογραφικό άτλαντα, αν και ο όρος αυτός δόθηκε πολύ αργότερα από τον Mercator.

Ο χάρτης του Πτολεμαίου, στον οποίο απεικονίζεται ο μέχρι τότε γνωστός κόσμος, ξεκινά από τα Μακάρια Νησιά μέχρι την Κίνα που αναφέρεται ως "Serica" (η γη του μεταξιού) Οι ατέλειες του χάρτη είναι πιο εμφανείς, όπως είναι φυσικό, στο ανατολικό και στο νότιο τμήμα. Η χερσόνησος της Ινδίας έχει συρρικνωθεί πολύ, ενώ αντίθετα η Κεϋλάνη ("Taprobana") απεικονίζεται με μεγαλύτερες διαστάσεις από τις πραγματικές. Η Αφρική μέχρι τον ισημερινό απεικονίζεται με ικανοποιητική ακρίβεια. Μετά όμως, οι δύο πλευρές της, αντί να συγκλίνουν σε ένα σημείο, αποκλίνουν προς δύο διευθύνσεις. Στα δυτικά η απεικόνιση σταματά απότομα, ενώ στα ανατολικά η Αφρική ενώνεται με την Ασία και ο Ινδικός Ωκεανός φαίνεται σαν κλειστή θάλασσα. Που στηρίχτηκε η απόδοση αυτή της Αφρικής δεν είναι γνωστό. Το βασικότερο σφάλμα, ωστόσο, του Πτολεμαίου ήταν η αποδοχή των μετρήσεων του Ποσειδώνιου και η υποεκτίμηση του μεγέθους της γης. Έτσι, η Ευρώπη και η Ασία εκτείνονται στο μισό ημισφαίριο, ενώ στην πραγματικότητα καλύπτουν μόνο 130^ο. Η Μεσόγειος επίσης εκτείνεται σε 62^ο ενώ στην πραγματικότητα καλύπτει 42^ο. Ενώ οι Άραβες από το 13^ο αιώνα διόρθωσαν την παραμόρφωση αυτή, εντούτοις παραμένει στην Ευρωπαϊκή χαρτογραφία μέχρι το 1700.

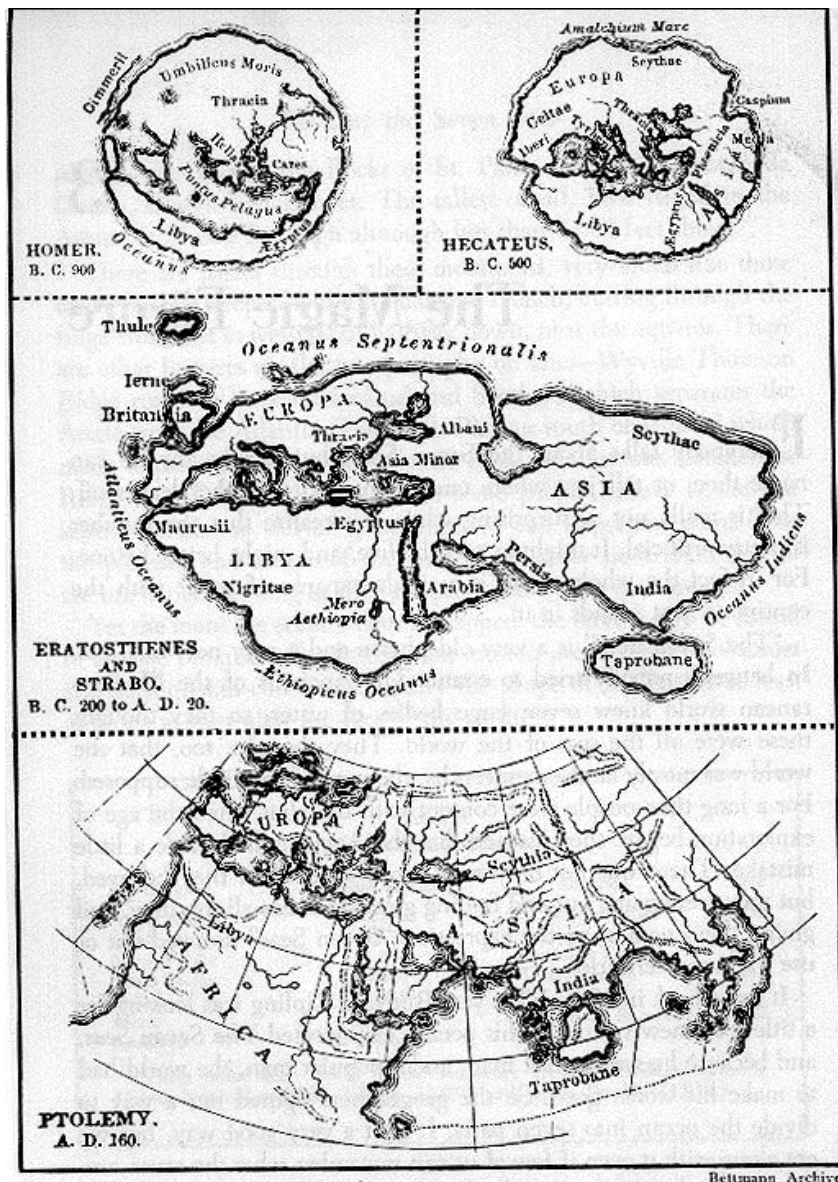


Εικόνα 37. Χάρτης με βάση τον Πτολεμαίο, τέλος 15^{ου} αιώνα, Ιταλία

Η χαρτογραφική συμβολή των Ελλήνων μπορεί να συνοψιστεί στα εξής:

- Αναγνώριση του σφαιρικού σχήματος της γης, με τους πόλους, τον ισημερινό και τους τροπικούς κύκλους. Η γη προσομοιώνεται με σφαίρα.
- Χρησιμοποίηση των γεωμετρικών μεθόδων και μέσων για την περιγραφή της γήινης πραγματικότητας.
- Βελτίωση και κατασκευή οργάνων μέτρησης γεωγραφικών ποσοτήτων.
- Στη βοηθητική χρησιμοποίηση άλλων τεχνολογικών και κατασκευαστικών επινοήσεων για τη διευκόλυνση των μετρήσεων και των υπολογισμών καθώς και για την κατανόηση των φαινομένων του σύμπαντος.
- Μετάβαση από την εμπειρική στην επιστημονική παρατήρηση μέσω μετρήσεων.
- Σύνδεση των μετρήσεων με υπολογισμούς.
- Μετρήσεις των διαστάσεων της γης
- Μαθηματική οργάνωση της γήινης σφαιρικής επιφάνειας.
- Επινόηση των προβολών.

Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται διαχρονικά η αντίληψη που είχαν ο αρχαίοι Έλληνες για τη γη από τον Όμηρο, στον Εκαταίο, τον Ερατοσθένη και τον Στράβωνα μέχρι και τον Πτολεμαίο.



Εικόνα 38. Ο Κόσμος από τον Όμηρο, τον Εκαταίο, τον Ερατοσθένη και τον Πτολεμαίο

Οι χάρτες των Ρωμαίων

Η διαφορά μεταξύ της Ρωμαϊκής και Ελληνικής σκέψης αντικατοπτρίζεται και στους χάρτες τους (Raisz 1948). Οι Ρωμαίοι δεν ενδιαφέρονται για τις επιστημονικές και θεωρητικές πτυχές της χαρτογραφίας, για θέματα όπως το σύστημα παραλλήλων και μεσημβρινών, τις αστρονομικές μετρήσεις και το πρόβλημα των προβολών. Ο χάρτης για τους Ρωμαίους είχε πρακτική χρήση που θα εξυπηρετούσε στρατιωτικούς και διοικητικούς σκοπούς. Βάση δε για την κατασκευή χαρτών αποτέλεσαν οι θεωρίες των Ιώνων, που όπως ήδη αναφέρθηκε θεωρούσαν ότι η γη είναι ένας στρογγυλός δίσκος. Μέσα σε ένα κυκλικό πλαίσιο απεικονίζεται ολόκληρη η γη "Orbis Terrarum". Η Ευρώπη, η Ασία και η Αφρική απεικονίζονται σχεδόν συμμετρικά με την Ασία στο πάνω μέρος του χάρτη. Η Ιταλία απεικονίζεται φανερά μεγεθυμένη δίνοντας τη δυνατότητα να απεικονιστούν οι Ιταλικές επαρχίες σε μεγαλύτερη κλίμακα και να

δοθεί έμφαση στη Ρώμη. Η Ρωμαϊκή Αυτοκρατορία απεικονίζεται σαν κυρίαρχη δύναμη του κόσμου και καλύπτει περίπου τα τέσσερα πέμπτα της έκτασης του χάρτη. Η Ινδία, η Κίνα (“Seres”), η Ρωσία (“Scythia” και “Sarmatia”) απεικονίζονται σαν μικρές περιοχές στην περιφέρεια. Οι πρόσφατες για αυτούς θεωρίες των Ελλήνων για το σχήμα και το μέγεθος της γης και τις προβολές αγνοήθηκαν εντελώς. Ο πρώτος χάρτης που θεωρείται ότι διαχωρίζει τον κατοικημένο κόσμο σε τρεις ηπείρους, Ευρώπη, Ασία και Αφρική (Libya) είναι ο χάρτης του Agrippa. Ο χάρτης αυτός έμπνευση του Augustus Caesar (27 π.Χ.-14 μ.Χ.), έγινε από τον γαμπρό του Marcus Vispanius Agrippa και ολοκληρώθηκε από άλλους. Ο σκοπός του χάρτη αυτού ήταν κυρίως διδακτικός και θεωρείται πρόδρομος του γνωστού σχολικού χάρτη τοίχου (Thrower 1999).

Από τους Ρωμαϊκούς χάρτες δε σώζεται κανένας. Η ανακατασκευή τους στηρίζεται σε χάρτες του Μεσαίωνα που στηρίζονταν στους Ρωμαϊκούς και σε γραπτά κείμενα μεγάλων γεωγράφων όπως του Στράβωνα και του Πομπόνιου Μέλα. Δείγμα της ρωμαϊκής χαρτογραφίας που έχει σωθεί είναι ο Πίνακας Peutinger (Σχήμα 18). Έχει φτιαχτεί το 12^{ου} μ.Χ. αιώνα από ένα μοναχό, αλλά πιστεύεται ότι είναι πιστό αντίγραφο έργου του 4^{ου} μ.Χ. αιώνα. Ο Πίνακας Peutinger δεν έχει τα χαρακτηριστικά ενός πραγματικού χάρτη. Απεικονίζει τους δρόμους της αυτοκρατορίας σε ένα επιμήκης περίγραμμα του κόσμου (μήκος περίπου 7 μέτρα και πλάτος 30 εκατοστά), καθώς και στρατηγικού ενδιαφέροντος σημεία. Παρ’ όλο που δεν υπάρχει συνέπεια στην κλίμακα απεικόνισης των αποστάσεων, ο Πίνακας Peutinger δίνει μεγάλο όγκο πληροφοριών σε ότι αφορά τα τοπωνύμια. Δίνει τα ονόματα περισσότερων από 5000 τοποθεσιών, ιδιαίτερα χρήσιμα για τη μελέτη της γεωγραφίας της εποχής.



Εικόνα 39. Σύγχρονη απόδοση του “Orbis Terrarum”



Εικόνα 40. Απόσπασμα του Πίνακα Peutinger

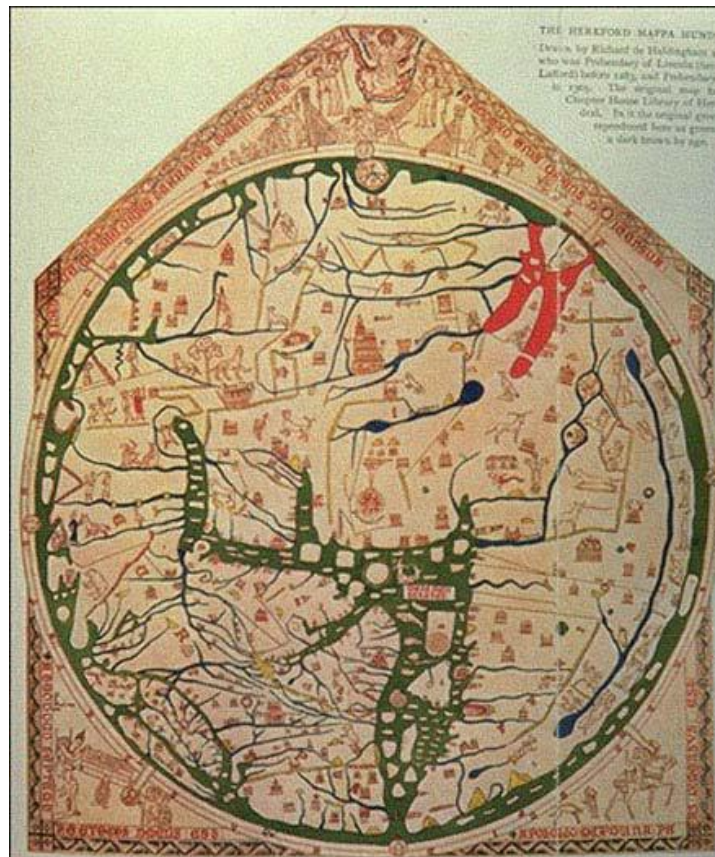
Περισσότερα στοιχεία υπάρχουν για τις κτηματογραφήσεις που διεξάχθηκαν από τους Ρωμαίους, με βάση τα οποία η τοπογραφία ήταν αρκετά αναπτυγμένη από τον 1^ο αιώνα μ.Χ. Στις τοπογραφήσεις χρησιμοποιούσαν όργανα όπως η “groma”, για να χαράζουν ορθές γωνίες, και ηλιακά ρολόγια (Hunt 2000).

Δύο παγκόσμιοι χάρτες του 13ου αιώνα – Mappamundi

Όπως αναφέρει ο Tooley (1970 σ. 12): «Οι κληρικοί χρησιμοποιούσαν τους mappamundi ή παγκόσμιους χάρτες για τη διδασκαλία του πλήθους, συχνά για να εικονογραφήσουν ιστορικές ή εγκυκλοπαιδικές εργασίες ή σαν εικονογραφικές αποδόσεις του Εκκλησιαστικού Δόγματος». Σήμερα, διασώζονται γύρω στους 600 mappamundi, που δεν αποτελούν διαγράμματα σε γεωγραφικά κείμενα, αλλά κυρίως εικονογραφικό υλικό στις πιο δημοφιλείς εργασίες της εποχής: ιστορικές, εγκυκλοπαιδικές, φιλοσοφικές και θεολογικές. Παρόλο που στην πλειοψηφία τους οι θεολογικής βάσης χάρτες του μεσαίωνα είναι μικροί σε μέγεθος και βρίσκονται σε κείμενα, εντούτοις, κάμποι από αυτούς είναι εξαιρετικά μεγάλοι και λεπτομερείς. Οι χάρτες Ebstorf και Hereford, μεγάλοι σε διαστάσεις, αποτελούν κορυφαία δείγματα χαρτών του Μεσαίωνα, mappamundi, που απεικονίζουν την κυκλική γη (Stone 1993). Ο ένας χάρτης στο μοναστήρι του Ebstorf και ο άλλος στον καθεδρικό ναό του

Hereford στην Αγγλία, αποτελούσαν πιθανόν μέρος της Αγίας Τράπεζας ή ήταν αναρτημένοι πίσω από αυτήν. Δυστυχώς, ο χάρτης Ebstorf καταστράφηκε το δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο, ωστόσο διασώζονται έγχρωμα αντίγραφα του. Προϊόντα του 13^{ου} αιώνα, οι δύο χάρτες μοιάζουν στη σύλληψη, διαφέρουν ωστόσο στη λεπτομέρεια. Αποτελούν και οι δύο παραλλαγές του χάρτη τύπου «ΟΤ» με επιδράσεις από χάρτες όπως του Μακρόβιου, του Ορόζιου και του Ισίδωρου.

Ο χάρτης του Hereford (1275 μ.Χ., Σχήμα 28) έχει μήκος 1,55 μέτρα και πλάτος 1,35 μέτρα . Μπορεί να θεωρηθεί ως περίληψη της γεωγραφικής παράδοσης, λαϊκής και θρησκευτικής, του Μεσαίωνα. Απεικονίζει μυθικά και ανθρωποειδή όντα, παρμένα τα περισσότερα από τον Σόλινο, αλλά και πληροφορίες από εμπορικά ταξίδια, από προσκυνητές ή σταυροφορίες, ιδιαίτερα στο τμήμα της Ευρώπης. Στο κέντρο του χάρτη, όπου απεικονίζεται η Ιερουσαλήμ, αναπαριστάται η σταύρωση και η ανάσταση του Χριστού. Τα διάφορα όντα, απεικονίζονται σε ολόκληρη την περιφέρεια του χάρτη. Στο πάνω μέρος του χάρτη απεικονίζεται ο Χριστός περιστοιχισμένος από αγγέλους, απονέμοντας δικαιοσύνη. Οι πιστοί οδηγούνται στις πύλες του ουρανού από έναν φτερωτό άγγελο και οι αμαρτωλοί σέρνονται στην κόλαση από ένα δαίμονα.



Εικόνα 41. Hereford mappamundi (1290)

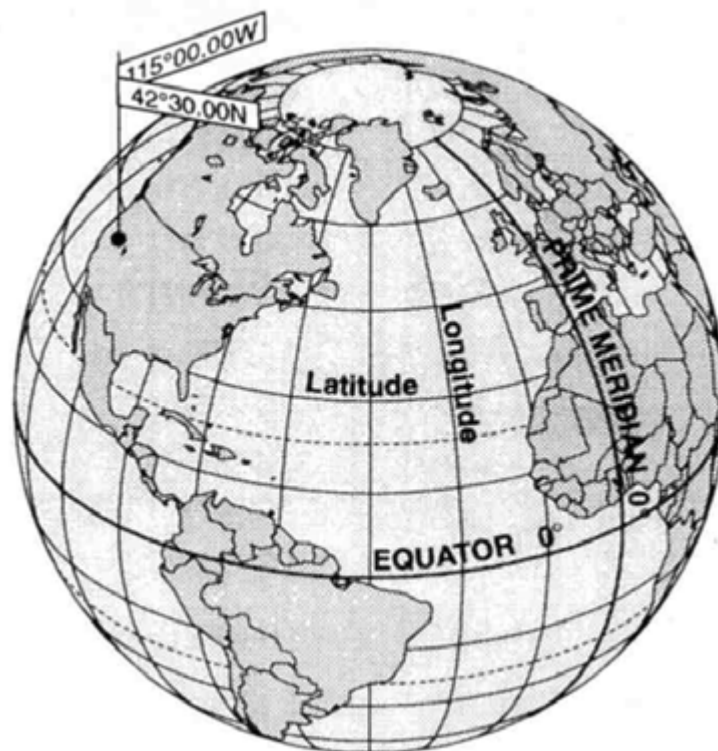
Ο χάρτης του Ebstorf (1235 μ.Χ., Σχήμα 29) έχει διάμετρο γύρω στα 3,5 μέτρα. Αποδίδει με μεγαλύτερη λεπτομέρεια την πληροφορία που απεικονίζει και ο προηγούμενος χάρτης. Ο Παράδεισος βρίσκεται στο ανατολικότερο σημείο (στο πάνω μέρος του χάρτη), στο κέντρο βρίσκεται η Ιερουσαλήμ και στην περιφέρεια του χάρτη και ιδιαίτερα κοντά στην Αφρική, μορφές παρόμοιες με του Σόλινου. Αυτές οι

τρομερές φιγούρες μπορεί να δηλώνουν ότι η άγνωστη περιοχή, terra incognita, είναι επικίνδυνη, αποτρέποντας την εξερεύνηση της. Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του χάρτη αυτού είναι η τοποθέτηση του κόσμου στο σώμα του εσταυρωμένου Χριστού του οποίου τα άκρα προεξέχουν από τον χάρτη.

1.6 ΠΡΟΒΟΛΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Ο όρος Φυσική Γήινη Επιφάνεια χρησιμοποιείται για να περιγράψει την επιφάνεια του γήινου πλανήτη.

Το σχήμα της επιφάνειας αυτής έχει κατά ιστορικούς καιρούς περιγραφεί γεωμετρικά ως επίπεδο, σφαίρα, σφαιροειδές και ελλειψοειδές. Για τους μαθηματικούς υπολογισμούς που απαιτούνται στη δημιουργία των υποβάθρωντων χαρτών χρησιμοποιείται ένα θεωρητικό (γεωμετρικό) σχήμα, το ελλειψοειδές (= το σχήμα που προκύπτει από την περιστροφή μιας έλλειψης γύρω από τον άξονα των πόλων). Τα γεωμετρικά στοιχεία του ελλειψοειδούς επιλέγονται έτσι ώστε η επιφάνεια που προκύπτει να προσεγγίζει το γεωειδές (= μια θεωρητική επιφάνεια που ταυτίζεται με το μέσο επίπεδο της θαλάσσιας επιφάνειας και τη θεωρητική προέκτασή της κάτω από τις ηπείρους και η οποία προσδιορίζεται με μετρήσεις του πεδίου βαρύτητας). Το γεωειδές είναι μια "πραγματική" επιφάνεια αναφοράς, στο βαθμό που προσεγγίζει αδράτη μορφή της επιφάνειας της γης.



Εικόνα 42. Σύστημα γεωγραφικών συντεταγμένων σύστημα (LAT/LONG)

Η επιφάνεια της γης χωρίζεται με νοητές γραμμές γραμμές, τους Μεσημβρινούς και τους Παράλληλους.

1. Οι Μεσημβρινοί ξεκινούν από τον ένα πόλο και καταλήγουν στον άλλο άλλο, ενώ είναι αριθμημένοι σε μοίρες μοίρες. Η αρίθμηση ξεκινάει από 0 μοίρες (μεσημβρινός

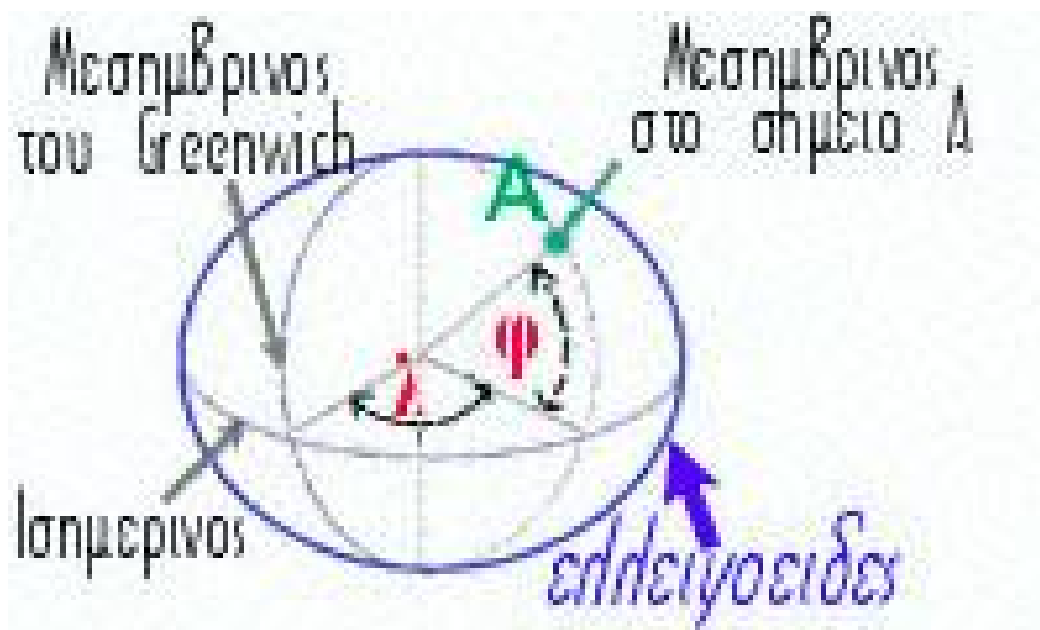
του Greenwich) έως 180 μοίρες Ανατολικά ή Δυτικά αντίστοιχα του Greenwich . . Οι αριθμοί αυτοί ονομάζονται και **γεωγραφικό μήκος** (Longitude Longitude).

2. Αντίστοιχα οι Παράλληλοι είναι κύκλοι παράλληλοι προς τον Ισημερινό . . Και αυτοί αριθμούνται σε μοίρες με 0 στον Ισημερινό και 90 στο Βόρειο και Νότιο πόλο . . Οι αριθμοί αυτοί ονομάζονται και **γεωγραφικό πλάτος** (Latitude Latitude).

Κάθε μοίρα χωρίζεται σε 60 λεπτά . Το κάθε λεπτό μπορεί να χωριστεί είτε σε 60 δεύτερα είτε σε 1000 χιλιοστά . Στην περίπτωση των χιλιοστών όπως είναι προφανές έχουμε μεγαλύτερη ακρίβεια .

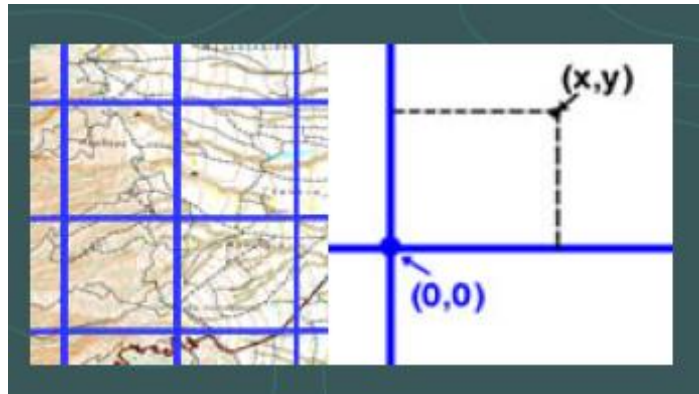
Έτσι η κάθε θέση πάνω στην επιφάνεια της γης μπορεί να προσδιοριστεί από το το, **γεωγραφικό πλάτος** και **γεωγραφικό μήκος** εκφρασμένο με δύο αριθμούς αριθμούς.

Για παράδειγμα 40 40ο55.18N, 55.18N, 24 24ο08.75E



Εικόνα 43.

Ένας χάρτης στην γνωστή και συμβατική του μορφή είναι επίπεδος (δισδιάστατη επιφάνεια). Ένα σημείο πάνω στο επίπεδο μπορεί να χαρακτηριστεί μοναδικά από τις καρτεσιανές συντεταγμένες του, δηλ. την απόσταση του από την τομή των αξόνων X,Y (ή σε ορισμένες περιπτώσεις E,N από τις αγγλικές λέξεις East North). Συνήθως, σαν άξονας τετμημένων (Y) θεωρείται η διεύθυνση του Βορρά (η οποία ταυτίζεται με την διεύθυνση του μεσημβρινού). Οι καρτεσιανές συντεταγμένες συνήθως μετριοούνται σε μέτρα. (τομή East,North).



Εικόνα 44.

Έτσι σε χάρτες που έχουν στηριχθεί σε διαφορετικά γεωδαιτικά συστήματα , , το ίδιο σημείο θα αναφέρεται με διαφορετικές γεωγραφικές συντεταγμένες .

Στην Ελλάδα όλοι σχεδόν οι χάρτες που κυκλοφορούν στηρίζονται στο υπόβαθρο των χαρτών της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (ΓΥΣ)) η οποία χρησιμοποιεί το Ενιαίο Ευρωπαϊκό Σύστημα Αναφοράς του 1950 (*European Datum 1950*).

Έτσι αν οι ελληνικοί χάρτες δεν αναγράφουν το σύστημα που χρησιμοποιούν , μπορούμε να θεωρούμε ότι ακολουθούν το European Datum 1950. Αυτή η πληροφορία μάς είναι πολύ χρήσιμη όταν χρησιμοποιούμε GPS.

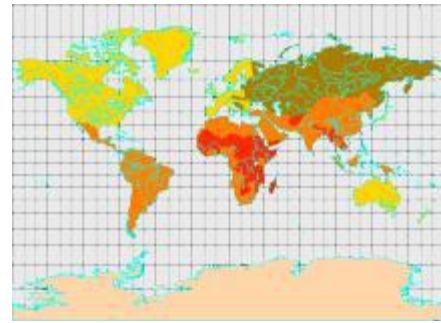
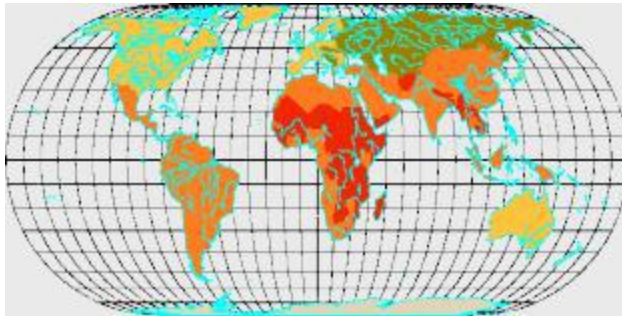
Στους χάρτες θα πρέπει στο περιθώριο τους να αναφέρεται , το γεωγραφικό πλάτος και μήκος έτσι ώστε να προσδιορίζεται το κάθε σημείο τους (*δυστυχώς αυτό δεν ισχύει σε αρκετούς χάρτες του εμπορίου*).

Εδώ θα πρέπει να σημειώσουμε και το εξής:

Επειδή η επιφάνεια της γης δεν είναι επίπεδη αλλά σφαιρική, η μεταφορά της στον χάρτη γίνεται αναγκαστικά με παραμορφώσεις.

Στον κόσμο υπάρχουν πολλά συστήματα προβολής της επιφάνειας της γης στο επίπεδο (ονομάζονται γεωδαιτικά συστήματα αναφοράς) από τα οποία άλλα διατηρούν τις αναλογίες των εμβαδών, άλλα των μηκών κλπ.

Προβολικό σύστημα η προβολή είναι η απεικόνιση του ελλειψοειδούς σε ένα επίπεδο . Οποιαδήποτε λύση και αν δοθεί , θα καταλήξει στην παραμόρφωση των σχημάτων στο ελλειψοειδές , αφού αυτό είναι μια μη αναπτυσσόμενη επιφάνεια .Κάθε σημείο του ελλειψοειδούς αντιστοιχεί σε ένα σημείο του επιπέδου και αντίστροφα (αμφιμονοσήμαντη αντιστοιχία). Η μαθηματική σχέση που συνδέει τα σημεία στο ελλειψοειδές με τα σημεία στο επίπεδο του χάρτη , χρησιμοποιείται για την μετατροπή από γεωγραφικές σε καρτεσιανές συντεταγμένες και αντίστροφα .



γεωγραφικές συντεταγμένες \Leftrightarrow καρτεσιανές συντεταγμένες

Για να ορισθεί και να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά ένα προβολικό σύστημα χρειάζονται,

A) μαθηματικές σχέσεις που να συνδέουν αμφιμονοσήμαντα τις θέσεις σημείων στο ελλειψοειδές με αυτές που τους αντιστοιχούν στο επίπεδο.

B) μαθηματικές σχέσεις που να παρέχουν τον βαθμό παραμόρφωσης των μεγεθών επί του ελλειψοειδούς .

Για αυτόν τον λόγο , η διαδικασία απεικόνισης (δηλ. η συνάρτηση) του ελλειψοειδούς στο επίπεδο πρέπει να παρέχει πληροφορία για το πόσο παραμορφώνονται τα μεγέθη (διαστάσεις, , γωνίες και εμβαδόν) ενός σχήματος στο ελλειψοειδές όταν απεικονίζεται στο επίπεδο.

Μια προβολή μπορεί να παραμορφώνει όλες ή μερικές από τις ιδιότητες ενός σχήματος του ελλειψοειδούς (διαστάσεις, , μορφή και εμβαδά). Το σίγουρο είναι ότι τουλάχιστον ένα από τα παραπάνω μεγέθη θα παραμορφωθεί κατά την εφαρμογή της προβολής.

Οι προβολές που διατηρούν κάποια από τα παραπάνω μεγέθη (δηλ. δεν τα παραμορφώνουν) έχουν και ιδιαίτερο όνομα ανάλογα με το ποια χαρακτηριστικά διατηρούν.

Πιο συγκεκριμένα :

Μια ισαπέχουσα προβολή διατηρεί ανέπαφες τις διαστάσεις, , και πιο συγκεκριμένα τις αποστάσεις από κάποια σημεία .

Μια σύμμορφη προβολή διατηρεί την μορφή (δηλ. τις γωνίες) των σχημάτων.

Μια ισοδύναμη προβολή διατηρεί το εμβαδόν των σχημάτων.

Μια προβολή χρησιμοποιεί μια γεωμετρική επιφάνεια, η οποία οφείλει να είναι αναπτυσσόμενη . Αναλόγως του είδους της επιφάνειας που χρησιμοποιείται, μια προβολή μπορεί να χαρακτηριστεί ως :

- Κυλινδρική, όταν η επιφάνεια προβολής είναι ένας κύλινδρος
- Αζιμουθιακή ή επίπεδη, όταν η επιφάνεια προβολής είναι ένα επίπεδο
- Κωνική, όταν η επιφάνεια προβολής είναι ένας κώνος.

Το σύνολο των τριγωνομετρικών σημείων της χώρας με τις γεωδαιτικές τους συντεταγμένες (φ, λ) και το υψόμετρό τους (H) ορίζουν το Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς (ΓΣΑ ή datum) στο οποίο γίνεται εξάρτηση των γεωδαιτικών τοπογραφικών και χαρτογραφικών εργασιών.

Οι σχέσεις που συνδέουν τις γωνίες και τις αποστάσεις στο ελλειψοειδές με τις καμπυλόγραμμες συντεταγμένες (φ, λ) είναι πολύπλοκες και δύσχρηστες. Γι αυτό γίνεται αντικατάσταση των (φ, λ) των τριγωνομετρικών σημείων με ορθογώνιες επίπεδες συντεταγμένες (x, y) . Οι σχέσεις που συνδέουν τις (x, y) με τις γωνίες και τις αποστάσεις πάνω στο επίπεδο είναι της επίπεδης αναλυτικής γεωμετρίας και είναι πολύ απλές και εύχρηστες.

Η αντικατάσταση των συντεταγμένων (φ, λ) με (x, y) γίνεται με απεικόνιση του ελλειψοειδούς αναφοράς σε ένα επίπεδο (χάρτη) με τις εξισώσεις απεικόνισης $x=f(\varphi, \lambda)$ και $y=g(\varphi, \lambda)$. Η απεικόνιση του ελλειψοειδούς σε ένα επίπεδο μπορεί να γίνει με πολλούς τρόπους και δεν υπάρχει απεικόνιση που να απεικονίζει τα σχήματα του ελλειψοειδούς στο επίπεδο χωρίς παραμορφώσεις. Είναι δυνατόν σε μία απεικόνιση να διατηρούνται τα εμβαδά των σχημάτων (ισοδύναμη απεικόνιση) είτε οι μορφές των στοιχειωδών σχημάτων (σύμμορφη απεικόνιση) είτε οι αποστάσεις και γωνίες διεύθυνσης από κάποιο σημείο (ισαπέχουσα αζιμουθιακή απεικόνιση). Κάθε φορά επιλέγεται το κατάλληλο σύστημα απεικόνισης (προβολής) ώστε να εξυπηρετεί το σκοπό για τον οποίο γίνεται η απεικόνιση (Τάκος, 1994).

Τα προβολικά συστήματα που χρησιμοποιούνται σήμερα στην Ελλάδα είναι :

1. η αζιμουθιακή ισαπέχουσα προβολή του HATT ,
2. τα δύο συστήματα Εγκάρσιας Μερκατορικής Προβολής (TM3 και UTM) και
3. το τρίτο και πλέον πρόσφατο σύστημα Εγκάρσιας Μερκατορικής Προβολής (ΕΓΣΑ'87).

Το σύστημα αυτό χρησιμοποιεί ένα επίπεδο αναφοράς, το οποίο εφάπτεται σε ένα σημείο του ελλειψοειδούς, το οποίο ονομάζεται κέντρο φύλλου χάρτου (Κ.Φ.Χ.). Έτσι ορίζονται 130 σφαιροειδή τραπέζια μεγέθους 30' x 30' για την κάλυψη του Ελλαδικού χώρου. Κάθε τραπέζιο έχει το δικό του σύστημα συντεταγμένων, με την αρχή των αξόνων το Κ.Φ.Χ.

Η προβολή αυτή έχει το πλεονέκτημα ότι οι παραμορφώσεις των γωνιών, των αζιμουθίων καθώς και των εμβαδών διατηρούνται μικρές (αμελητέες) μέσα στο ίδιο Φ.Χ. και αυξάνονται ανάλογα με την απόσταση από το Κ.Φ.Χ., ενώ οι αποστάσεις που αναφέρονται στο κέντρο και προς οποιοδήποτε σημείο του ίδιου Φ.Χ. δεν παραμορφώνονται (για αυτό και η προβολή ονομάζεται ισαπέχουσα).

Για τυχαίες αποστάσεις και στα άκρα ενός φύλλου HATT (όπου η απόσταση από το κέντρο του είναι περίπου 34χλμ) η παραμόρφωση των αποστάσεων είναι της τάξης του 1,000005, με άλλα λόγια δεν απαιτείται ο υπολογισμός της παραμόρφωσης για αποστάσεις που δεν ξεπερνούν το 1 χλμ.

Με την επιλογή πολλαπλών κέντρων αποφεύγονται οι αναγωγές και οι διορθώσεις των γεωμετρικών μεγεθών.

Αρκετά συχνά απαιτούνται περισσότερα του ενός Φ.Χ. για την κάλυψη μιας γεωγραφικής περιοχής όπου απαιτείται η μετατροπή των συντεταγμένων σε ένα ενιαίο Φ.Χ. (αλλαγή κέντρου φύλλου χάρτου). Στην περίπτωση αυτή οι

παραμορφώσεις των γεωμετρικών μεγεθών αυξάνονται οπότε και απαιτείται η αναγωγή τους στα πραγματικά πάνω στο ελλειψοειδές.

Προβολικό σύστημα HATT	
Όνομα προβολικού συστήματος:	Ισαπέχουσα Αζιμουθιακή προβολή του HATT
Γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς (Datum):	Ελληνικό, με αφετηρία το Αστεροσκοπείο Αθηνών ($\lambda_0=23^\circ 42' 58''.815$)
Ελλειψοειδές αναφοράς:	Bessel
Μεγάλος ημιάξονας ελλειψοειδούς a:	6377397.155m
Επιπλάτνυση ελλειψοειδούς (1/f):	1/299.1528128
Διαστάσεις φύλλων χάρτη:	30° x 30°
Αριθμός φύλλων χάρτη:	189

Εικόνα 45.

Προβολικό σύστημα 3 μοιρών (EMΠ3^ο ή TM3^ο)

Το σύστημα αυτό χρησιμοποιούσε το Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε.

Ο γεωγραφικός χώρος που καταλαμβάνει η Ελλάδα έχει χωριστεί σε ζώνες μήκους 3^ο, τα άκρα των οποίων διαφέρουν κατά 1^ο 30' από τον κεντρικό μεσημβρινό (Αστεροσκοπείο Αθηνών). Για τον κεντρικό μεσημβρινό θεωρείται $\lambda_0=0^\circ$, ενώ για τους δύο εκατέρωθεν θεωρείται $\lambda_0=-3^\circ$ και $\lambda_0=+3^\circ$. Για να αποφευχθούν αρνητικές τιμές ο κ.μ. έχει τετμημένη 200000μ.

Η αρχή των συντεταγμένων θεωρείται η τομή του κ.μ. με τον παράλληλο $\varphi=34^\circ$.

Οι ζώνες που προκύπτουν είναι συνολικά 3 για όλη την Ελλάδα. Η προβολή αυτή χρησιμοποιεί το ελλειψοειδές του Bessel.

Το σύστημα αυτό χρησιμοποιήθηκε για την απεικόνιση της ΕΠΑ (Επιχείρηση Πολεοδομικής Ανασυγκρότησης) και την σύνταξη φωτογραμμετρικών διαγραμμάτων σε κλίμακα 1:5.000 και 1:1.000.

3. Προβολικό σύστημα Ε.Μ.Π. (U.T.M.) Η γη χωρίζεται σε 60 ζώνες, γεωγραφικού μήκους 6^ο. Η μέγιστη διαφορά μέσα στην ίδια ζώνη δεν υπερβαίνει τις 3^ο. Η πρώτη ζώνη ξεκινά από τον μεσημβρινό του Greenwich. Η Ελλάδα καταλαμβάνει τις ζώνες 4 και 5 αφού τα γεωγραφικά μήκη των άκρων της Ελλάδας είναι $\lambda=19^\circ$ έως $\lambda=28^\circ$ (περίπου). Το σύστημα χρησιμοποιεί συντελεστή κλίμακας 0.9996 οπότε οι παραμορφώσεις μέσα σε κάθε ζώνη δεν υπερβαίνουν το 1:2500. Για να αποφευχθούν αρνητικές συντεταγμένες η τιμή των τετμημένων κεντρικών μεσημβρινών είναι 500 000μ. Η αρχή των τεταγμένων είναι η τομή του κεντρικού μεσημβρινού με τον ισημερινό. Το σύστημα χρησιμοποιεί το Διεθνές ελλειψοειδές του Hayford. Η προβολή είναι σύμμορφη, και σχηματικά αντιστοιχεί στην απεικόνιση του ελλειψοειδούς με την βοήθεια ενός κυλίνδρου (ελλειπτικής διατομής) που εφάπτεται

στον μεσημβρινό της ζώνης. Το σύστημα αυτό χρησιμοποιείται παγκοσμίως και έχει υιοθετηθεί κυρίως από τις στρατιωτικές υπηρεσίες των χωρών.

Προβολικό σύστημα U.T.M.	
Όνομα προβολικού συστήματος:	Παγκόσμια Εγκάρσια Μερκατορική Προβολή -Universal Transverse Mercator)
Γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς (Datum):	E.D.50 , με αφετηρία το Potsdam
Ελλειψοειδές αναφοράς:	Hayford
Μεγάλος ημιάξονας ελλειψοειδούς a:	6378388.155m
Επιπλάτυση ελλειψοειδούς (1/f):	1/297
Συντελεστής κλίμακας K ₀	0.9996
Διαστάσεις ζωνών:	6° σε γεωγραφικό μήκος
Αριθμός ζωνών κάλυψης του Ελλαδικού χώρου:	2 (4η και 5η ζώνη, με κ.μ. λ=21° και λ=27° αντίστοιχα)

Εικόνα 46.

Είναι το πλέον πρόσφατο προβολικό σύστημα που χρησιμοποιείται στην Ελλάδα, και είναι προϊόν συνεργασίας του Εργαστηρίου Ανώτερης Γεωδαισίας του Τμήματος Αγρονόμων-Τοπογράφων Μηχανικών -Ε.Μ.Π., της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού και του ΟΚΧΕ.

Θεωρείται μια ενιαία ζώνη για όλη την χώρα με κεντρικό μεσημβρινό $\lambda_0=240$ και χρησιμοποιείται ενιαίος συντελεστής κλίμακας 0.9996.

Οι παραμορφώσεις με αυτόν τον τρόπο μπορούν να φτάσουν μέχρι και 1:1.000 στα άκρα της χώρας (δηλ. 1 μέτρο σε απόσταση 1χλμ.). Για να αποφευχθούν αρνητικές τιμές ο κεντρικός μεσημβρινός έχει ως τετμημένη 500000μ. Αρχή των τεταγμένων θεωρείται ο ισημερινός ($\varphi=0^\circ$)

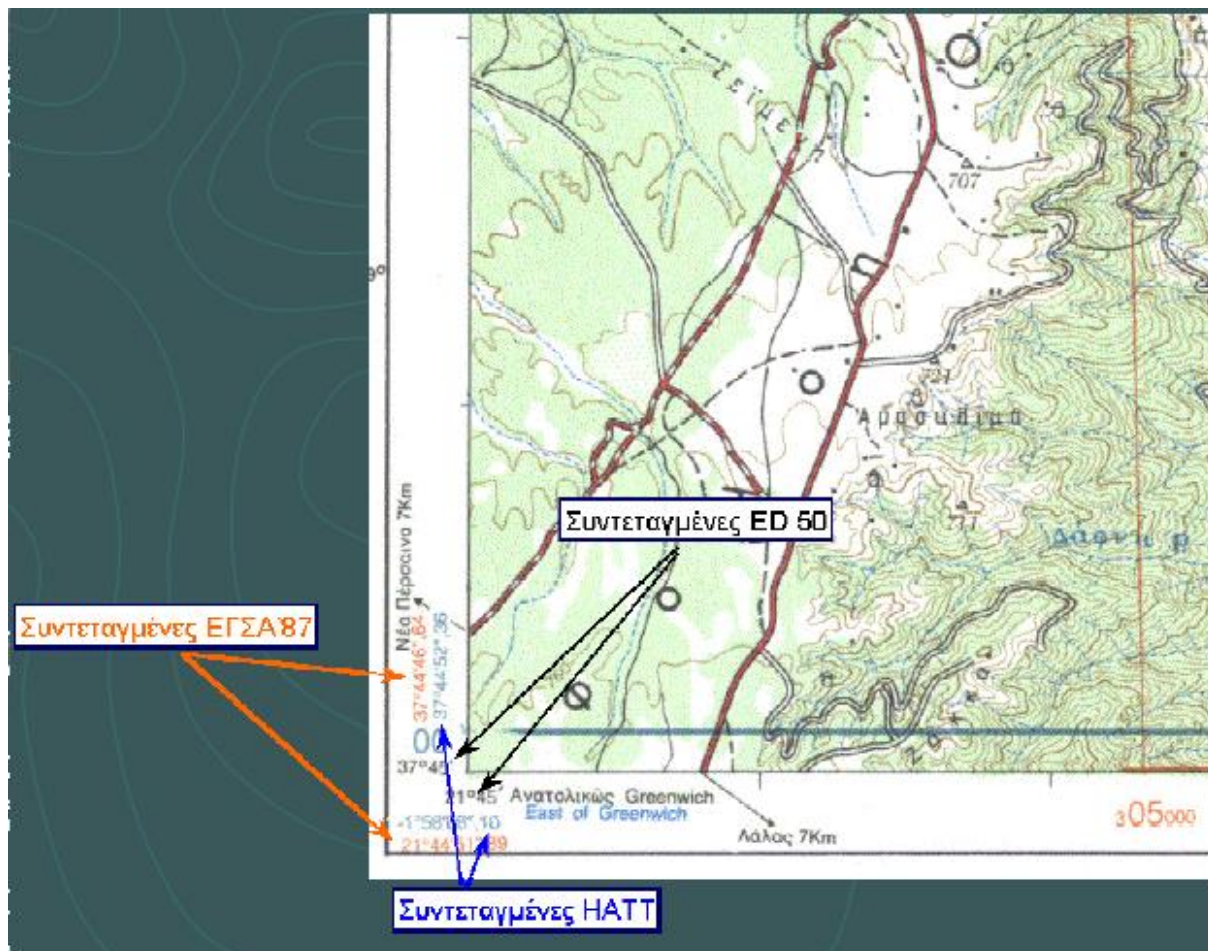
Το σύστημα χρησιμοποιείται για την σύνταξη του Εθνικού Κτηματολογίου καθώς έχει υιοθετηθεί από τον ΟΚΧΕ Γενικά, τείνει να γίνει το επίσημο προβολικό σύστημα για την Ελλάδα καθώς προσφέρει ενιαία αναφορά για το σύνολο της χώρας. Έχει ήδη υιοθετηθεί από τις περισσότερες δημόσιες υπηρεσίες και οργανισμούς καθώς και ιδιωτικές εταιρείες.

Προβολικό σύστημα ΕΓΣΑ'87	
Επίσημη ονομασία :	Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς 87
Γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς (Datum):	Ε.Γ.Σ.Α. 87 με αφετηρία το μετατεθειμένο γεώκεντρο (βάθρο Διονύσου)
Ελλειψοειδές αναφοράς:	GRS'80
Μεγάλος ημιάξονας ελλειψοειδούς a:	6378137.000m
Επιπλάτυνση ελλειψοειδούς (1/f):	1/298.25722101
Συντελεστής κλίμακας K ₀	0.9996

Εικόνα 47.

Γ.Σ.Α.	Χρήση από / Προβολή		αφετηρία μέτρησης		Γεωδαιτικό μήκος από Greenwich του Πρώτου ή Κεντρικού Μεσημβρινού	Κλίμακα (K ₀) στον κεντρικό μεσημβρινό	προσθεταίος σε μέτρα	
			Ανατολικά	Βόρεια			προς Βορρά (false N)	προς Ανατολάς (false E)
ΠΑΛΑΙΟ ΕΛΛΗΝΙΚΟ: Αρχικό σημείο Αστροσκοπείο Αθηνών (φ ₀ =37°58'20.132", λ ₀ =23°42'58.815"), ελλειψοειδές Bessel 1841	Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού & Γενική Χρήση	-(γεωδαιτικές συνίνες)	0° = Αστροσκοπείο	0°	23° 42' 58.815"	-	-	-
	Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού & Γενική Χρήση	Ισοπέγυσα αξιμουθιακή - HATT, σε μέτρα	κέντρο Φ.Χ. (30' X 30')		1.00000	0.00	0.00	
	Υπουργείο Γεωργίας (προ ΕΓΣΑ)		κέντρο Φ.Χ. (6' X 6')		1.00000	0.00	0.00	
	ΥΠΕΧΩΔΕ - Ε.Μ.Π. 3° - ΔΥΤ.ΖΩΝΗ	Εγκάρσια	-3°	34°	20° 42' 58.815"	0.9996	0.00	200000.00
	ΥΠΕΧΩΔΕ - Ε.Μ.Π. 3° - ΚΕΝΤΡ.ΖΩΝΗ	Μερκατορική, σε μέτρα	0°		23° 42' 58.815"			
ΥΠΕΧΩΔΕ - Ε.Μ.Π. 3° - ΑΝΑΤ. ΖΩΝΗ		3°	26° 42' 58.815"					
ED50 - εφαρμογή στον Ελληνικό Χώρο: Αρχικό σημείο Potsdam (φ ₀ =52° 22' 51.45", λ ₀ =13°03'58.74"), ελλειψοειδές διεθνές (Hayford)	Γ.Υ.Σ., Υδρογραφική Υπ. Π.Ν., NATO	-(γεωδαιτικές συνίνες)	0° = Greenwich	0°	0°	-	-	-
	ΖΩΝΗ 34 Βόρεια	Εγκάρσια	21°	0°	21°	0.9996	0.00	500000.00
	ΖΩΝΗ 35 Βόρεια	Μερκατορική, σε μέτρα	27°	0°	27°	0.9996	0.00	500000.00
ΠΑΓΚΟΣΜΙΟ '84 - WGS84: Αρχικό σημείο Γεώκεντρο, ελλειψοειδές WGS84	Υπ. Άμυνας U.S.A., στρατιωτικά και μη δορυφορικά δέκτες παγκοσμίως (GPS)	-(γεωδαιτικές συνίνες)	0° = Greenwich	0°	0°	-	-	-
	ΖΩΝΗ 34 Βόρεια	Εγκάρσια	21°	0°	21°	0.9996	0.00	500000.00
	ΖΩΝΗ 35 Βόρεια	Μερκατορική, σε μέτρα	27°	0°	27°	0.9996	0.00	500000.00
ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (ΕΓΣΑ): Αρχικό σημείο με μετάθεση γεωκέντρου του ITRF89, ελλειψοειδές GRS80	Γενική Χρήση	-(γεωδαιτικές συνίνες)	0° = Greenwich	0°	0°	-	-	-
	Μονοζωνικό	Εγκάρσια	24°	0°	24°	0.9996	0.00	500000.00

Εικόνα 48.



Εικόνα 49.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ

2.1 ΜΕΘΟΔΟ ΣΕΛΗΝΗΣ - ΙΣΤΟΡΙΑ

Κατά τη διάρκεια των μεγάλων γεωγραφικών ανακαλύψεων, ο Χριστόφορος Κολόμβος, στο δεύτερο ταξίδι του το 1494, υπολόγισε το γεωγραφικό μήκος παρατηρώντας μια έκλειψη της Σελήνης. Ήταν η πρώτη προσπάθεια να βρεθούν οι συντεταγμένες μιας θέσης στον νέο κόσμο χρησιμοποιώντας τις αστρονομικές αρχές, το αποτέλεσμα όμως ήταν λανθασμένο κατά 18 μοίρες περίπου. Αυτό το λάθος οφειλόταν στις ανακριβείς προβλέψεις του χρόνου της έκλειψης και στο λάθος στον προσδιορισμό των τοπικών ωρών των φάσεων της έκλειψης.

Παραδείγματα υπολογισμού του γεωγραφικού μήκους από τις παρατηρήσεις της έκλειψης της Σελήνης δημοσιεύτηκαν στα πρώτα φύλλα των *philosophical transactions* της Βασιλικής Ένωσης του Λονδίνου, όπως ήταν για παράδειγμα η μέθοδος για την εύρεση του γεωγραφικού μήκους της Μόσχας το έτος 1688. Το 1719 ο αστρονόμος Edmund Halley υπολόγισε το γεωγραφικό μήκος του ακρωτηρίου της Καλής Ελπίδας από την παρατήρηση μιας έκλειψης που έγινε εν πλω. Από την παρατήρησή του κατέληξε στο συμπέρασμα ότι το ακρωτήριο βρίσκεται περίπου 11 μοίρες ανατολικά του Λονδίνου.

Με τις βελτιώσεις στην ακρίβεια των προβλέψεων των εκλείψεων, ως αποτέλεσμα της προόδου των αστρονομικών γνώσεων, ήταν δυνατό να υπολογιστεί με μεγάλη ακρίβεια η πορεία της σκιάς της Σελήνης κατά τη διάρκεια μιας ηλιακής έκλειψης. Και οι εκλείψεις του Ήλιου, επομένως, όπως της Σελήνης, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό του γεωγραφικού μήκους. Σε ένα από τα τεύχη του *philosophical transactions*, περιγράφεται ο τρόπος που εφάρμοσε ο διάσημος πλοίαρχος James Cook :

Ο κ. Cook, ένας καλός μαθηματικός και πολύ ειδικός στην επιχείρησή του, που έχει διοριστεί από τους Λόρδους Επιτρόπους του ναυαρχείου για να αποτυπώσει τις ακτές της νέας γης, πήρε μαζί του πολύ καλόν εξοπλισμό από όργανα, μεταξύ αυτών έναν ορειχάλκινο τετράντα με τηλεσκόπιο, κατασκευασμένο από τον κ. John Bird. Στις 5 Αυγούστου του 1766 σε ένα από τα νησιά Burgeo κοντά στο ακρωτήριο Ray στο νοτιοδυτικό άκρο της Νέας Γης, αφού ρύθμισε προσεκτικά τον τετράντα, περίμενε την έκλειψη του Ήλιου. ... Ο κ. George Wittchell είχε παρατηρήσει την ίδια έκλειψη από την Οξφόρδη και... από τη σύγκριση, λαμβάνοντας υπόψη την παράλλαξη και το σφαιροειδές σχήμα της Γης, υπολογίστηκε η διαφορά του γεωγραφικού μήκους στις δύο θέσεις της παρατήρησης...

Αν και, σύμφωνα με τις απόψεις πολλών αστρονόμων και μαθηματικών της εποχής εκείνης, η μέθοδος υπολογισμού του γεωγραφικού μήκους από τις παρατηρήσεις των εκλείψεων του Ήλιου είναι "... η ακριβέστερη απ' όσες έχουν

υιοθετηθεί έως τώρα, η διαφορά των μεσημβρινών δύο θέσεων μπορεί να βρεθεί κοντινότερο δευτερόλεπτο του χρόνου με τη σύγκριση των αντίστοιχων παρατηρήσεων της ίδιας έκλειψης”, οι ηλιακές και σεληνιακές εκλείψεις συμβαίνουν πολύ σπάνια για να χρησιμεύσουν ως ασφαλές βοήθημα πλοήγησης.

Ένα καθημερινό αστρονομικό φαινόμενο, που προκάλεσε το ενδιαφέρον των αρχαίων αστρονόμων, είναι η απόκρυψη των ουράνιων σωμάτων από τη Σελήνη. Η Σελήνη, λόγω της πραγματικής κίνησής της γύρω από τη Γη, εμφανίζεται να κινείται στην ουράνια σφαίρα με μια σχετικά μεγάλη ταχύτητα, περίπου μισή μοίρα ανά ώρα, προς ανατολάς. Η γωνιακή διάμετρός της είναι επίσης μισή μοίρα, έτσι ώστε ένα αστέρι που βρίσκεται μέσα στο τέταρτο της μοίρας της πορείας της Σελήνης κρύβεται πίσω από αυτή -φαινόμενο γνωστό ως *απόκρυψη αστέρος*- και επειδή η Σελήνη δεν έχει ατμόσφαιρα η απόκρυψη πραγματοποιείται στιγμιαία. Η ακρίβεια των προβλέψεων των αποκρύψεων των αστέρων ή των πλανητών από τη Σελήνη εξαρτάται κατά ένα μεγάλο μέρος από τη γνώση της σύνθετης κίνησής της.

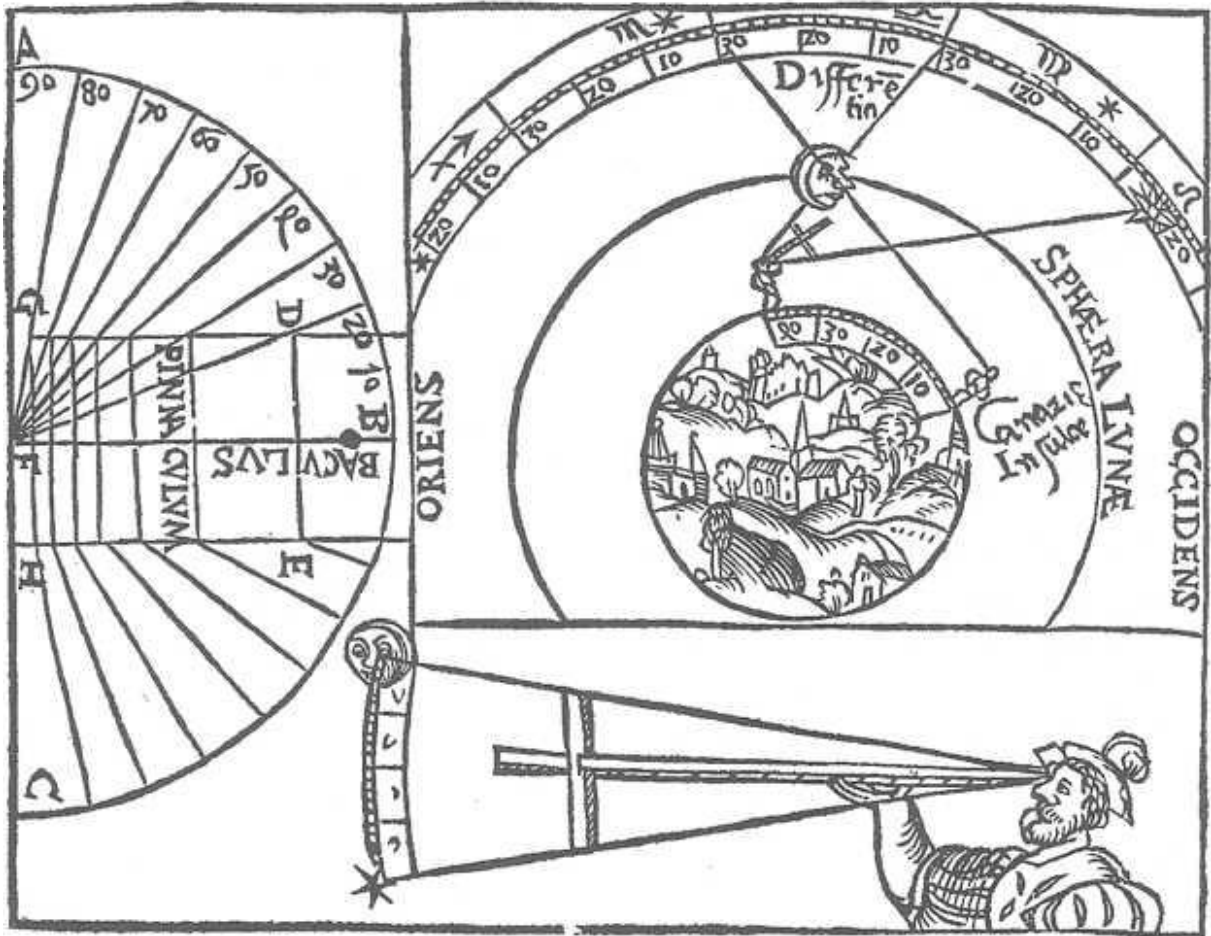
Η μέθοδος για τον υπολογισμό του γεωγραφικού μήκους από παρατήρηση της απόκρυψης ενός απλανούς αστέρα χαρακτηρίζεται ως η καλύτερη από όλες τις αστρονομικές μεθόδους. Η χρησιμότητά της αυξάνεται από την υψηλή συχνότητα των αποκρύψεων αστέρων, αλλά οι σύνθετοι υπολογισμοί που συνδέονται με τη μέθοδο την καθιστούν ανέφικτη για την εύρεση του γεωγραφικού μήκους εν πλω. Οι παράλληλοι του γεωγραφικού πλάτους μεταξύ των οποίων τα ιδιαίτερα αστέρια δεν μπορούν να κρυφτούν από το φεγγάρι, καταγράφηκαν στα πρώτα τεύχη του *Nautical Almanacs*. Από αυτές τις πληροφορίες ένας παρατηρητής θα μπορούσε να εξακριβώσει εάν το φαινόμενο της απόκρυψης θα εμφανιζόταν ή όχι στον τόπο από τον οποίο παρατηρούσε.



Εικόνα 50. Ο εγκάρσιος πήχης σε αστρονομικές (radius astronomikus) και σε τοπογραφικές εφαρμογές (radius geometricus), για τη μέτρηση αποστάσεων και υψομετρικών διαφορών. Η μέτρηση της απόστασης μεταξύ της Σελήνης και ενός αστέρα σχετίζεται με το πρόβλημα του προσδιορισμού του γεωγραφικού μήκους.

Ο γερμανός αστρονόμος και χαρτογράφος Johann Werner (1468- 1522) από τη Νυρεμβέργη, στον πρώτο τόμο της Γεωγραφίας του Πτολεμαίου που εξέδωσε το 1514, πρότεινε την απόσταση μεταξύ της Σελήνης και ενός απλανούς αστέρα ως το αστρονομικό φαινόμενο που θα παρατηρήσει ο πλοηγός, ώστε να εκτιμήσει τον χρόνο στο λιμάνι της αφετηρίας του, καθώς και τη χρήση του εγκάρσιου πήχη ως το πιο κατάλληλο όργανο για την παρατήρηση της απόστασης αυτής. Η Σελήνη εμφανίζεται να κινείται σχετικά γρήγορα στον ουράνιο θόλο, περίπου κατά μία διάμετρό της ανά ώρα. Έτσι, ενώ τα αστέρια φαίνονται να κινούνται κατά 15 μοίρες δυτικά ανά ώρα, η Σελήνη κινείται περίπου κατά 14 μοίρες. Μετρώντας λοιπόν κάποιος την κίνηση της Σελήνης την ημέρα ως προς τον Ήλιο ή τη νύχτα ως προς κάποιον αστέρα, μπορεί να προσδιορίσει και τις χρονικές μεταβολές ανάμεσα στις διάφορες θέσεις της. Η αρχή της μεθόδου είναι απλή. Η γωνία από το κέντρο της Γης μεταξύ της Σελήνης και του Ήλιου ή οποιοδήποτε αστέρα, θα μπορούσε να προβλεφθεί εάν η κίνηση της Σελήνης ήταν γνωστή. Μια μετρημένη γωνία μεταξύ της Σελήνης και του Ήλιου ή η σεληνιακή απόσταση όπως λέγεται, μπορεί να αναχθεί στο κέντρο της Γης κατά το χρόνο της παρατήρησής της. Η διορθωμένη αυτή απόσταση, όταν συγκριθεί με την προβλεπόμενη αντίστοιχη απόσταση, παρέχει μία τιμή του γεωγραφικού μήκους του παρατηρητή ανατολικά ή δυτικά του μεσημβρινού ως προς τον οποίον έγιναν οι προβλέψεις. Αν, π.χ., η διάταξη της Σελήνης ως προς τον Ήλιο και άλλους αστέρες που παρατηρούνται στη θάλασσα

στη 1 μ.μ. ήταν ίδια με αυτήν στο λιμάνι του απόπλου στις 4 μ.μ. σύμφωνα με τους πίνακες, τότε η διαφορά μεταξύ της τοπικής ώρας στο πλοίο και στο λιμάνι ήταν 3 ώρες, που αντιστοιχεί σε διαφορά μήκους 45 μοιρών. Αυτή η μέθοδος, γνωστή ως μέθοδος της σεληνιακής απόστασης ή σεληνιακή μέθοδος, δόθηκε το 1524 αναλυτικά από τον Petrus Arrianus, στο βιβλίο του *Cosmographicus*. Απαιτούσε ένα όργανο ακρίβειας για τη μέτρηση των υψών δύο ουράνιων σωμάτων¹ και της μεταξύ τους γωνιακής απόστασης, και πίνακες με τις γωνιακές αποστάσεις μεταξύ της Σελήνης και διαφόρων άλλων ουράνιων σωμάτων.



Εικόνα 51. Ο εγκάρσιος πήχης από το βιβλίο του Peter Arrianus

Η περιγραφή της μεθόδου από τον Arrianus είχε μόνο θεωρητική αξία. Οι σημαντικότερες δυσκολίες για την εφαρμογή της ήταν: Η δυσκολία να περιγράψει η κίνηση της Σελήνης, εφόσον κανένας αστρονόμος την εποχή εκείνη δεν μπορούσε να την περιγράψει, άρα δεν μπορούσε έτσι να προβλέψει τη θέση της την επόμενη νύχτα ή μέρα. Οι θέσεις των αστεριών δεν ήταν γνωστές με ικανοποιητική ακρίβεια. Επιπλέον, η δυσκολία στη παρατήρηση περιορίζε το βαθμό ακρίβειας της μεθόδου, ακόμα και αν οι προβλέψεις ήταν τέλειες, αφού δεν υπήρχαν γωνιομετρικά όργανα

με την απαιτούμενη ακρίβεια.

Έτσι λοιπόν, ενώ η αρχή της μεθόδου φαίνεται απλή, ο απαιτούμενος υπολογιστικός όγκος ήταν τεράστιος, επειδή πέρα από την πολύπλοκη κίνηση της Σελήνης και πέρα από τις θέσεις των άστρων έπρεπε να ληφθεί υπόψη η ατμοσφαιρική διάθλαση, η μεταβολή της διεύθυνσης κατά την οποία φαίνεται ένα ουράνιο σώμα εξαιτίας της κύρτωσης των φωτεινών ακτινών κατά τη διέλευσή τους μέσα από την ατμόσφαιρα της Γης, αλλά και η σεληνιακή παράλλαξη, καθώς οι μετρήσεις γίνονται από την επιφάνεια της Γης και όχι από το κέντρο της, ζητήματα που έθεσε ο Arianus στο σύγγραμμά του².

Ο μεγάλος γερμανός αστρονόμος της Αναγέννησης Johannes Kepler (1571-1630) θεώρησε τη σεληνιακή μέθοδο για το γεωγραφικό μήκος ανεπαρκή και, στους *Ροδόλφειους Πίνακες* του που δημοσίευσε το 1627 (*Rudolphine Tables*), έδωσε τις κατευθύνσεις για την παρατήρηση της απόστασης μεταξύ της Σελήνης και ενός αστέρα και για τους απαραίτητους υπολογισμούς³. Η μέθοδος προτάθηκε και από τον Christian Severin (1562-1647), δανό αστρονόμο και μαθητή του Tycho Brahe. Ο κύριος Thomas Blundeville, στις περίφημες *“Ασκήσεις για νέους κυρίους”* (*Exercises for Young Gentlemen*) που δημοσιεύθηκαν για πρώτη φορά το 1594, περιέγραψε επίσης τη μέθοδο της σεληνιακής απόστασης, κάνοντας αναφορά στον Peter Arianus.

Ο θαλασσοπόρος William Baffin (1584-1622) θεωρείται ο πρώτος Άγγλος που εφάρμοσε τη μέθοδο της σεληνιακής απόστασης για να υπολογίσει το γεωγραφικό μήκος. Έπλευσε το 1615 ως σύντροφος και συνεργάτης του θαλασσοπόρου Robert Bylot, καπετάνιου του πλοίου *Discovery*, σε ένα ταξίδι αναζητώντας βορειοδυτικό πέρασμα προς τις Ινδίες. Όταν το σκάφος παγιδεύτηκε στους πάγους στις ακτές της Γροιλανδίας ο Baffin έκανε μια πλήρη σεληνιακή παρατήρηση χρησιμοποιώντας τη Σελήνη και τον Ήλιο. Οι γωνίες ύψους των δύο σωμάτων μετρήθηκαν με εγκάρσια ράβδο, και η γωνία μεταξύ τους βρέθηκε με τη βοήθεια των παρατηρήσεων αζιμουθίου. Βέβαια η ακρίβεια του γεωγραφικού μήκους δεν ήταν ικανοποιητική, αλλά ήταν η μόνη μέθοδος που μπορούσε να εφαρμοσθεί και την είχαν κατά νου όλοι οι ναυτικοί αυτής της περιόδου. Έπρεπε να περάσουν 200 χρόνια από την πρώτη δημοσίευσή της για να συνταχθούν πίνακες και να κατασκευαστούν τα κατάλληλα όργανα ώστε να εφαρμοσθεί η σεληνιακή μέθοδος.

Η επόμενη αναφορά στη μέθοδο της σεληνιακής απόστασης έγινε από κάποιον εκκεντρικό γιατρό, αστρονόμο και καθηγητή μαθηματικών στο βασιλικό κολέγιο του Παρισιού, τον Jean-Baptiste Morin (1583-1656), οπαδό του γεωκεντρικού πτολεμαϊκού συστήματος. Το 1634 ανέφερε στον καρδινάλιο Richelieu (1585-1642) ότι είχε ανακαλύψει το μυστικό του γεωγραφικού μήκους, αλλά όχι με τη χρησιμοποίηση ενός μηχανικού χρονομέτρου. Βασικά, κατέδειξε τις παρατηρήσεις και τους μαθηματικούς υπολογισμούς της μεθόδου της σεληνιακής απόστασης, λαμβάνοντας υπόψη τη σεληνιακή παράλλαξη και τη διάθλαση. Η μέθοδος του Morin ήταν θεωρητικά σωστή, αλλά η επιτροπή που συγκρότησε ο Richelieu για να αξιολογήσει

την πρόταση αποφάσισε ότι η μέθοδος δεν ήταν εφαρμόσιμη επειδή δεν υπήρχαν οι κατάλληλοι πίνακες των αστεριών και της Σελήνης. *Εάν συμβαίνει αυτό, αναρωτήθηκε ο Morin, γιατί δεν δημιουργείτε ένα αστεροσκοπείο για να παρέχει τα στοιχεία που χρειάζονται;*

Το αστεροσκοπείο του Παρισιού ιδρύθηκε 33 χρόνια αργότερα, αλλά το πρώτο πραγματικά θετικό βήμα για μια αστρονομική λύση στο πρόβλημα του γεωγραφικού μήκους έγινε το 1675, όταν εισακούσθηκαν οι συμβουλές του Morin στην Αγγλία και ιδρύθηκε το αστεροσκοπείο του Γκρήνουιτς. Το 1674, ένας άλλος Γάλλος, ο Sieur de St Pierre, υποστήριξε επίσης ότι είχε ανακαλύψει το μυστικό του γεωγραφικού μήκους από τις μετρήσεις της Σελήνης και των αστεριών.

Επειδή δεν βρήκε ανταπόκριση στη Γαλλία, όπου πιο δημοφιλής ήταν η θεωρία των φεγγαριών του Δία, ήρθε στην Αγγλία και ζήτησε από τη συμπατριώτισσά του, Louise de Keroualle (1649-1734), δούκισσα του Πόρτσμουθ και ερωμένη του βασιλιά, να μεσολαβήσει για να παρουσιάσει τη μέθοδό του στον Κάρολο.

Η Επιτροπή, που ήδη είχε συγκροτηθεί για να εξετάσει τη δυνατότητα υπολογισμού του γεωγραφικού μήκους από τη μαγνητική απόκλιση, κλήθηκε να εξετάσει και την πρόταση του St Pierre. Η Επιτροπή, μέλη της οποίας ήταν ο Christopher Wren (1632-1723), αρχιτέκτονας του καθεδρικού ναού του Αγίου Παύλου και ο Robert Hooke (1635-1723), υπεύθυνος πειραμάτων της Βασιλικής Εταιρίας των Επιστημών, απευθύνθηκε στον εικοσιεφτάχρονο αστρονόμο John Flamsteed (1646-1719). Ο Flamsteed έκρινε τη μέθοδο θεωρητικά σωστή, πρακτικά όμως ανεφάρμοστη, επειδή δεν υπήρχαν δεδομένα για να μπορεί κανείς να προβλέψει τις κινήσεις του Ήλιου και της Σελήνης και επειδή δεν υπήρχαν ακριβείς πίνακες της θέσης των αστεριών. Συνέστησε στην επιτροπή την ίδρυση ενός αστεροσκοπείου με κατάλληλα όργανα και τηλεσκόπια και με το απαραίτητο προσωπικό, ώστε να αναζητηθούν τα απαραίτητα στοιχεία και να συνταχθούν οι απαραίτητοι χάρτες του ουρανού. Έτσι, ίσως χάρις και στο Γάλλο St Pierre, ιδρύθηκε το 1675 το βασιλικό αστεροσκοπείο στο Γκρήνουιτς, με σκοπό να καταστήσει τη μέθοδο της σεληνιακής απόστασης εφαρμόσιμη. Ο Flamsteed διορίστηκε βασιλικός αστρονόμος, με την εντολή να ασχοληθεί αμέσως *“με τη μέγιστη προσοχή και επιμέλεια στη διόρθωση των πινάκων των κινήσεων των ουράνιων σωμάτων και των θέσεων των σταθερών άστρων, ώστε να υπολογισθεί το τόσο πολύ επιθυμητό γεωγραφικό μήκος στη θάλασσα, για την τελειοποίηση της τέχνης της ναυσιπλοΐας”*.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1 Ο ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΑΝΤΙΚΥΘΗΡΩΝ

Έτσι ξεκίνησαν όλα,(απόσπασμα) «στις 25 Ιουλίου 2000, πήρα ένα τηλεφώνημα που έμελλε να αλλάξει τη ζωή μου. Ο αείμνηστος καθηγητής Νίκος Οικονόμου, συνάδελφός μου από το Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, μου τηλεφώνησε στο γραφείο μου, στη Βόννη της Γερμανίας που βρισκόμουν με εκπαιδευτική άδεια από το Τμήμα Φυσικής. Μετά από μία σύντομη εισαγωγή με ρώτησε: *“Τι λες, λοιπόν, Γιάννη, δέχεσαι;”* Η πρόταση αφορούσε μια νέα διεθνή μελέτη του Μηχανισμού των Αντικυθήρων. Λίγες μέρες αργότερα, εδραιώθηκε η συνεργασία μεταξύ του Πανεπιστημίου του Κάρντιφ της Ουαλίας (εκπρόσωπος ο καθηγητής Μάικ Έντμουντς – Mike Edmunds) και του Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης (Γιάννης Σειραδάκης), για τη νέα μελέτη του Μηχανισμού».

Η ερευνητική ομάδα

Μέχρι τις αρχές του 2004, η ομάδα είχε πλαισιωθεί από τον Μαθηματικό Τόνι Φρηθ (Tony Freeth), από το Λονδίνο και τον Καθηγητή Ξενοφώντα Μουσά από το Πανεπιστήμιο Αθηνών. Το Νοέμβριο 2004 το ίδρυμα Λέβερχουλμ (Leverhulm), Μ. Βρετανία, εγκρίνει να χρηματοδοτήσει τη νέα μελέτη και λίγο μετά ο Φυσικός Γιάννης Μπιτσάκης προσχωρεί στην πενταμελή πλέον ομάδα, η οποία αποτελεί τον βασικό πυρήνα για τη μελέτη του Μηχανισμού των Αντικυθήρων. Στις 26 Απριλίου 2005 ο τότε Υφυπουργός Πολιτισμού Πέτρος Τατούλης, υπογράφει την άδεια μελέτης και λίγο αργότερα προσχωρούν στην ομάδα η Δρ. Ελένη Μάγκου, Χημικός, η Μαίρη Ζαφειροπούλου, Μουσειολόγος, από το Εθνικό Αρχαιολογικό Μουσείο και ο Αγαμέμνων Τσελίκας, Παλαιογράφος, από το Μορφωτικό Ίδρυμα της Εθνικής Τραπέζης.

Οι μετρήσεις

Πέρασε ο καιρός, η Ελληνοβρετανική συνεργασία εδραιώθηκε και φτάσαμε στο Σεπτέμβριο 2005, όταν με αγωνία υποδεχόμαστε τον Τομ Μαλτζμπεντερ (Tom Maltzbender), από την Καλιφόρνια, που έφερε μαζί του μια έξυπνη συσκευή, με την οποία φωτογραφίσαμε, με μεγάλη ακρίβεια, όλα τα θραύσματα του Μηχανισμού των Αντικυθήρων. Ο Τομ ήταν δεινός ποδηλάτης. Έτσι, πριν φύγει για την Αμερική, έκανε το γύρο της κεντρικής Ελλάδας, από την Αθήνα μέχρι τα Μετέωρα. Ένα μήνα αργότερα, υπό την εποπτεία του Ρότζερ Χάντλαντ (Roger Hadland), εγκαταστάθηκε στα υπόγεια του Εθνικού Αρχαιολογικού Μουσείου της Αθήνας, ένας τεράστιος τομογράφος ακτίνων Χ, σαν κι αυτούς που χρησιμοποιούν οι γιατροί, αλλά πολύ πιο ισχυρός.

Ο τομογράφος μεταφέρθηκε από το Λονδίνο και ζύγιζε περίπου 8.5 τόνους. Επί δύο εβδομάδες, το ένα μετά το άλλο τα θραύσματα του Μηχανισμού πέρασαν από τη θωρακισμένη τράπεζα του τομογράφου, όπως οι ασθενείς στα νοσοκομεία. Εξουθενωμένοι, αλλά πανευτυχείς, φύγαμε για τα Πανεπιστήμιά μας, έχοντας μαζί μας τις πολύτιμες μετρήσεις.

Τι είναι ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων

Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων είναι ένας αναλογικός υπολογιστής εκπληκτικής τεχνολογίας. Κατασκευάστηκε πριν από 2000 χρόνια και χρησιμοποιείτο για τον ακριβή υπολογισμό της θέσης του Ηλίου, της Σελήνης και, πιθανώς, των πλανητών, στον ουρανό.

Υπολόγιζε τις φάσεις της Σελήνης, προέβλεπε εκλείψεις και προσδιόριζε την ημερομηνία τέλεσης των αρχαίων Στεφανιτών αγώνων.

Η σημασία του Μηχανισμού στην εξέλιξη της Τεχνολογίας

Είναι τόσο σημαντικός για την εξέλιξη της Τεχνολογίας, όσο και η Ακρόπολη για την εξέλιξη της Αρχιτεκτονικής. Παρόμοιος αρχαίος μηχανισμός δεν έχει βρεθεί μέχρι σήμερα. Έτσι εύλογα γεννάται το ερώτημα: τι τεχνική υποδομή υπήρχε την εποχή που κατασκευάστηκε και τι απέγινε η γνώση και η τέχνη που περιείχε;

Η ανακάλυψη

Η ιστορία της ανακάλυψής του είναι εντυπωσιακή. Το 1900 Συμιακοί σφουγγαράδες αναγκάστηκαν να αγκυροβολήσουν στα Αντικύθηρα λόγω σφοδρής θαλασσοταραχής. Ήταν Μ. Τρίτη και ένας δύτες, ο Ηλίας Λυκοπάντης, βούτηξε, είτε για να τσεκάρει μια νέα στολή, είτε –πιο πιθανόν– για να μαζέψει θαλασσινά για το νηστίσιμο γεύμα του καϊκιού. Αντ' αυτών, προς μεγάλη έκπληξη του καπετάνιου, ο Ηλίας ανέσυρε από το βυθό τον βραχίονα ενός μπρούτζινου αγάλματος. Είχε ανακαλύψει, σε βάθος περίπου 50 μέτρων, ένα από τα πλουσιότερα αρχαία ναυάγια που έμελλε να γίνει γνωστό ως το «Ναυάγιο των Αντικυθήρων». Λίγους μήνες αργότερα, η Αρχαιολογική Υπηρεσία ξεκίνησε μια σειρά συστηματικών ενάλιων ανασκαφών, κατά τη διάρκεια των οποίων ανασύρθηκαν σημαντικά ευρήματα, όπως για παράδειγμα ο περίφημος Έφηβος των Αντικυθήρων, πολλά από τα οποία εκτίθενται στο Εθνικό Αρχαιολογικό Μουσείο στην Αθήνα. Ανάμεσά τους ήταν και ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων, ο οποίος, διαβρωμένος, κομματιασμένος και απολιθωμένος πλέον μετά από 2000 χρόνια στο βυθό της θάλασσας, έμελλε να αλλάξει τη γνώμη που είχαμε μέχρι σήμερα για τις τεχνολογικές ικανότητες των προγόνων μας. Όπως αναφέρει ο Φυσικός, Μαθηματικός και Ιστορικός των Επιστημών, Ντέρεκ Ντε Σόλα Πράις (De Solla Price) «είναι το παλαιότερο δείγμα επιστημονικής τεχνολογίας που διασώζεται μέχρι σήμερα και αλλάζει τελείως τις απόψεις μας για την αρχαία ελληνική τεχνολογία».

Πως ήταν συναρμολογημένος;

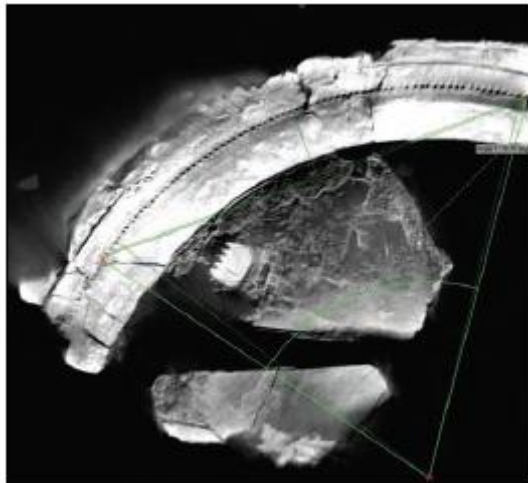
Ο Μηχανισμός ήταν συναρμολογημένος σε ένα ξύλινο κιβώτιο (πυξίδα) διαστάσεων 32 εκ. × 16 εκ. × 10 εκ. (περίπου όσο ένα σημερινό Laptop!).

Τη μπροστινή και την πίσω επιφάνεια κάλυπταν μπρούτζινες πλάκες, με ημερολογιακές ή αστρονομικές κλίμακες και δείκτες. Οι επιφάνειες αυτές προστατευόταν από δύο (επίσης) ξύλινα εξωτερικά καλύμματα, στα οποία ήταν προσαρμοσμένες, πυκνογραμμένες μπρούτζινες πλάκες. Περιείχε τουλάχιστον 30 συνεργαζόμενους οδοντωτούς τροχούς (γρανάζια) και η πολυπλοκότητά του είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτήν όλων των συσκευών που κατασκεύασε ο άνθρωπος κατά την επόμενη χιλιετία.

Ο πρώτοι μελετητές

Εκτός από τον Περικλή Ρεδιάδη, που το 1903, για πρώτη φορά, υ960 περιέγραψε το Μηχανισμό των Αντικυθήρων και μερικούς επιφανείς έλληνες αρχαιολόγους στην αρχή του 20^{ου} αιώνα, η μελέτη του Μηχανισμού συνεχίστηκε κυρίως από ξένους επιστήμονες, οι οποίοι εργάστηκαν μεμονωμένοι, επικουρούμενοι από τις εκάστοτε δυνατότητες της τεχνολογίας.

Εκτός από τον Derek de Solla Price, που αναφέρθηκε παραπάνω, σημαντική υπήρξε η συμβολή του Άλαν Μπρόμλεϋ (Alan Bromley – από την Αυστραλία) και ιδιαίτερος του Μάικλ Ράϊτ (Michael Wright – από τη Μεγάλη Βρετανία).

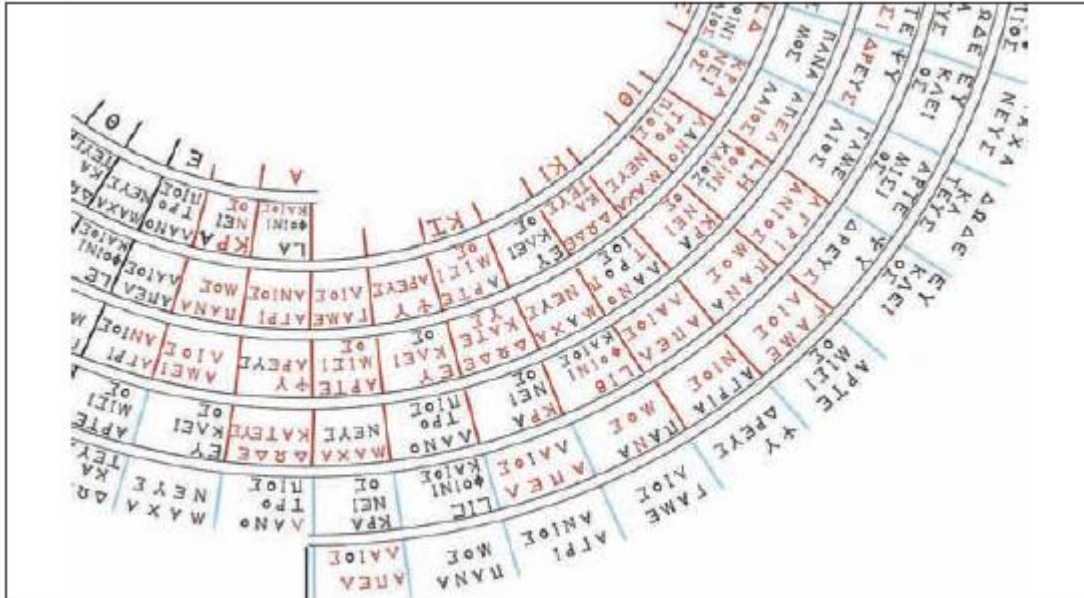


Εικόνα 52.

Τι έχει βρεθεί μέχρι τώρα;

Τα πρώτα αποτελέσματα της νέας μελέτης, τα οποία παρουσιάστηκαν στις 30 Νοεμβρίου 2006, σε ένα συνέδριο στην Αθήνα και σε δύο άρθρα στο κορυφαίο διεθνές επιστημονικό περιοδικό Nature (30/11/ 08 και 31/7/ 08), είναι εκπληκτικά. Υπολόγιζε με μεγάλη ακρίβεια τη θέση του Ηλίου, της Σελήνης και πιθανώς των πλανητών, στον ουρανό. Υπολόγιζε τις φάσεις της Σελήνης, προέβλεπε εκλείψεις και προσδιόριζε την ημερομηνία τέλεσης των αρχαίων Στεφανιτών αγώνων (τους Ολυμπιακούς αγώνες, τα Ίσθμια, τα Νέμεα, τα Πύθια (στους Δελφούς) και τα Νάϊα (στη Δωδώνη). Επίσης βρέθηκαν άγνωστες επιγραφές στις εξωτερικές πλάκες και στο εσωτερικό του Μηχανισμού και διαβάστηκαν κείμενα χαμένα για πάνω από 1000 χρόνια! Όλες οι επιγραφές είναι γραμμένες με ελληνικούς χαρακτήρες. Τα μέχρι στιγμής συμπεράσματα επιβεβαιώνουν ότι ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων είναι ένα αστρονομικό όργανο, τόσο περίπλοκο που δεν είναι περίεργο ότι συνήθως αναφέρεται ως ο πρώτος (αναλογικός) υπολογιστής που κατασκευάστηκε ποτέ. Για την κατασκευή του πρέπει να συνεργάστηκαν δύο μεγαλοφυΐες: ένας άριστος γνώστης και ερευνητής της επιστήμης της Αστρονομίας και ένας ταλαντούχος τεχνίτης, με πολύ καλές γνώσεις Μαθηματικών. Πότε κατασκευάστηκε;

Από την τεχνοτροπία των επιγραφών , εξάγεται το συμπέρασμα ότι κατασκευάστηκε κατά το δεύτερο ήμισυ του 1ου π.Χ. αιώνα (100 – 140 π.Χ.), ίσως στη Ρόδο, όπου την εποχή αυτή άνθιζε η επιστήμη της Αστρονομίας. Στη Ρόδο πέθανε το 100 π.Χ. ο μεγαλύτερος αστρονόμος της αρχαιότητας, ο Ίππαρχος. Εκεί έζησε, επίσης, ο γνωστότατος Στωικός φιλόσοφος και αστρονόμος, Ποσειδώνιος.



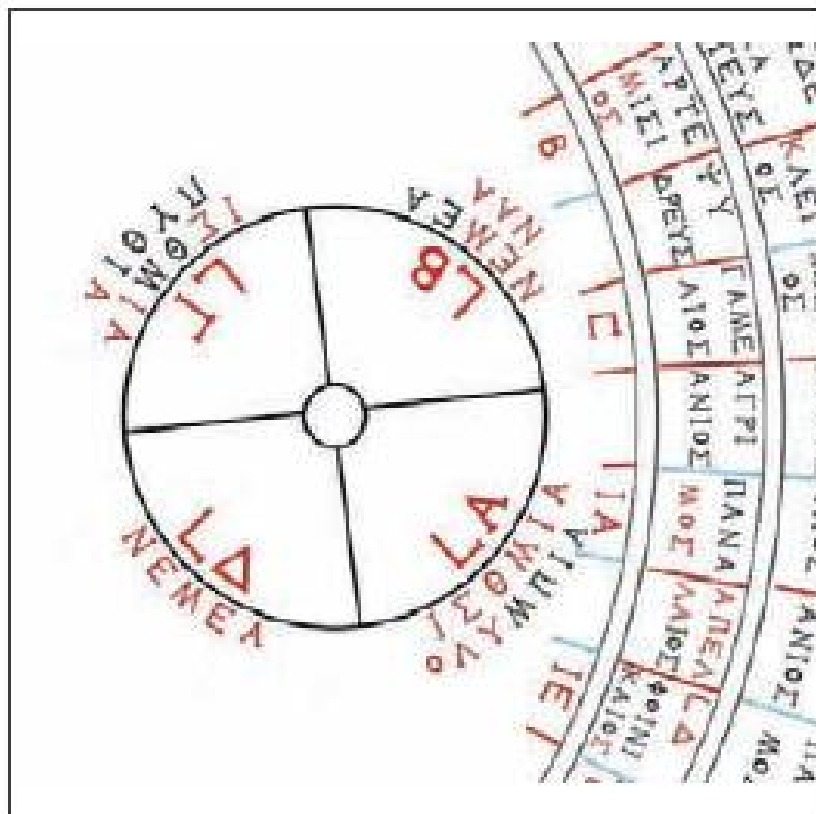
Εικόνα 53.

Ένας αρχαίος ελληνικός υπολογιστής

Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων ήταν ένας υπολογιστής υπό την αυστηρή έννοια του όρου. Έφερε επιστημονικές κλίμακες τόσο για την εισαγωγή των δεδομένων, όσο και για την ανάγνωση των αποτελεσμάτων.

Στη μπροστινή επιφάνεια έφερε δύο ομόκεντρες κυκλικές κλίμακες. Η εξωτερική κλίμακα είχε 365 υποδιαιρέσεις και τα ονόματα των 12 μηνών στην Αιγυπτιακή γλώσσα με ελληνικούς χαρακτήρες (ΦΑΟΦΙ, ΘΩΘ, κτλ). Η εσωτερική κλίμακα είχε 360 υποδιαιρέσεις και τα ονόματα των 12 ζωδιακών αστερισμών (ΚΡΙΟΣ, ΠΑΡΘΕΝΟΣ, κτλ).

Στην πίσω επιφάνεια έφερε δύο ελικοειδείς σπείρες. Η πάνω σπείρα είχε 5 περιελίξεις. Το συνολικό μήκος της ήταν διαιρεμένο σε 35 τμήματα, που αντιστοιχούν στους 35 μήνες της περιόδου του Μέτωνα. Τα αρχαία ονόματα δώδεκα μηνών ήταν χαραγμένα στα τμήματα αυτά και επαναλαμβάνονταν μέχρι να συμπληρωθούν και οι 35 μήνες (19 έτη). Στον κενό χώρο, εσωτερικά της πάνω ελικοειδούς σπείρας, υπάρχει μία μικρότερη κυκλική κλίμακα, διαιρεμένη σε τεταρτημόρια. Η κάτω ελικοειδής σπείρα είχε 4 περιελίξεις και το συνολικό μήκος της ήταν διαιρεμένο σε 3 τμήματα, που αντιστοιχούν στους 3 μήνες της περιόδου Σάρως. Από την αρχαία εποχή ήταν γνωστό ότι οι εκλείψεις (του Ηλίου και της Σελήνης) επαναλαμβάνονται με την ίδια αλληλουχία και τα ίδια χαρακτηριστικά κάθε 3 μήνες. Στους μήνες της περιόδου Σάρως, όπου συμβαίνουν εκλείψεις, υπήρχαν εγχάρακτα σύμβολα (Η, Σ, ΗΜ, ΩΡ). Στον κενό χώρο, εσωτερικά της κάτω ελικοειδούς σπείρας, υπάρχει μία μικρότερη κυκλική κλίμακα, διαιρεμένη σε τρία τμήματα (100 μοιρών).



Εικόνα 54.

Πως γινόταν οι υπολογισμοί;

Ο χειριστής μπορούσε να επιλέξει, με τη βοήθεια ενός δείκτη, μια οποιαδήποτε ημέρα από τις 365 που περιείχε η εξωτερική ετήσια κλίμακα της μπροστινής επιφάνειας του Μηχανισμού, πιθανώς με ένα μικρό περιστρεφόμενο στροφέιο (μανιβέλα).

Καθώς περιστρέφονταν το στροφέιο έδινε κίνηση στους οδοντωτούς τροχούς οι οποίοι στην μπροστινή επιφάνεια κινούσαν δύο δείκτες, που έδειχναν τη θέση του Ήλιου και της Σελήνης στην εσωτερική κλίμακα της μπροστινής πλευράς που περιείχε τα 12 ζώδια (ζωδιακός κύκλος). Κάτω από την εξωτερική (ετήσια) κλίμακα, η οποία ήταν αποσπώμενη, υπήρχαν 365 οπές. Κάθε τέσσερα χρόνια ο χειριστής, μπορούσε να την αποσπάσει και να τη μετατοπίσει κατά μία οπή, λαμβάνοντας έτσι υπόψη τα δίσεκτα έτη. Στην ίδια επιφάνεια ένας περιστρεφόμενος δείκτης με ένα σφαιρίδιο στο άκρον του, έδειχνε τις φάσεις της Σελήνης. Στο δείκτη αυτόν έδινε κίνηση μία κορώνα (οδοντωτός τροχός κάθετος προς τους υπόλοιπους).

Το στροφέιο έδινε επίσης κίνηση σε διαφορετικούς οδοντωτούς τροχούς, οι οποίοι κινούσαν δύο δείκτες στην πίσω πλευρά του Μηχανισμού. Ο ένας δείκτης έδειχνε σε ποιο μήνα της περιόδου του Μέτωνα βρισκόταν η Σελήνη (πάνω ελικοειδής σπείρα των 35 μηνών). Η κίνηση της Σελήνης ήταν διορθωμένη ως προς την ανωμαλία που προέρχεται από την έκκεντρη τροχιά της γύρω από τη Γη με τη βοήθεια δύο έκκεντρων οδοντωτών τροχών, οι άξονες των οποίων απείχαν 1.1 mm. Ο κάτω τροχός είχε μία ακίδα(πεύρο) η οποία οδηγούσε τον πάνω τροχό εμπλεκόμενη σε μια σχισμή του. Έτσι ο πάνω τροχός εκτελούσε μια επικυκλική κίνηση, η γωνιώδης ταχύτητα του οποίου παρακολουθούσε την κίνηση της Σελήνης στον ουρανό με πολύ μεγάλη ακρίβεια. Ο άλλος δείκτης ακολουθούσε την κάτω

ελικοειδή σπείρα των 22 3 μηνών (περίοδος Σάρου). Όταν περνούσε από ένα μήνα που περιείχε εγχάρακτα σύμβολα, ο χρήστης, διαβάζοντας τα σύμβολα, αντιλαμβανόταν ότι επίκειται έκλειψη Ηλίου (Η) ή Σελήνης (Σ) την τάδε ημέρα (ΗΜ) και ώρα (ΩΡ). Διασυνδέσεις με τη ΒΔ Ελλάδα και τη Σικελία Σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν παραπάνω (περί Ιππάρχου και Ρόδου), θα ανέμενε κανείς τα αρχαία ονόματα των δώδεκα μηνών που είναι χαραγμένα στην κλίμακα του Μέτωνα, να προέρχονται από την ευρύτερη περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου. Απροσδόκητα όμως, προέρχονται από την περιοχή της δυτικής Ελλάδας (Κέρκυρα, Βουθρωτό, Δωδώνη) και της Σικελίας (Ταυρομένιο), από αποικίες της Κορίνθου. Η ανακάλυψη αυτή ανοίγει νέες προοπτικές, όσον αφορά την προέλευση ή χρήση του Μηχανισμού των Αντικυθήρων.



Εικόνα 55.

Οι Ολυμπιακοί αγώνες

Ο δείκτης της μικρής κλίμακας, η οποία βρίσκεται εντός της πάνω ελικοειδούς σπείρας, έδειχνε το έτος τέλεσης των Στεφανιτών αθλητικών αγώνων. Περιφεριακά της κλίμακας έχουν διαβαστεί οι λέξεις ΟΛΥΜΠΙΑ, ΠΥΘΙΑ, ΙΣΘΜΙΑ, ΝΕΜΕΑ και ΝΑΑ, ενώ εσωτερικά, σε κάθε τεταρτημόριο, αναγράφονται τα έτη του τετραετούς ολυμπιακού κύκλου.

Το εγχειρίδιο χρήσης – Η ονομασία της Ισπανίας

Είναι προφανές ότι ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων ήταν μία πολύπλοκη και μοναδική αστρονομική συσκευή. Έτσι δεν είναι περίεργο ότι συνοδευόταν και από ένα εκτεταμένο και αναλυτικό εγχειρίδιο χρήσεως (user's manual). Οι προστατευτικές πλάκες που αναφέρθηκαν παραπάνω, ήταν γεμάτες με επιγραφές. Μέχρι τώρα έχουν διαβαστεί περίπου 2500 εγχάρακτα γράμματα, όλα της ελληνικής αλφαβήτου, τα οποία βεβαίως σχηματίζουν λέξεις και προτάσεις, που αναφέρονται σε αστρονομικούς, γεωγραφικούς και τεχνικούς όρους. Το ύψος των περισσότερων γραμμάτων είναι μεταξύ 1.5 και 2.5 mm και είναι χαραγμένα από ένα καλλιγράφο.

Σημαντική είναι η ανακάλυψη της λέξης «ΙΣΠΑΝΙΑ», ανάμεσα στις επιγραφές, που πιθανώς αποτελεί την πρώτη γραπτή χρήση της λέξεως. Οι αρχαίοι Έλληνες χρησιμοποιούσαν τη λέξη «ΕΣΠΕΡΙΑ» (επειδή βρίσκεται δυτικά της χώρας μας, προς τη διεύθυνση που δύνει ο Ήλιος την εσπέρα), ή «ΗΒΗΡΙΑ». Η λέξη «ΙΣΠΑΝΙΑ» είναι, βέβαια, αρχαιότατη, αλλά χρησιμοποιήθηκε επισήμως για πρώτη φορά από τους Ρωμαίους.

Διδακτορική διατριβή στο Α.Π.Θ. – Νέο πιστό αντίγραφο

Το Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, αναγνωρίζοντας την αξία και τη σπουδαιότητα του Μηχανισμού των Αντικυθήρων για την ανάδειξη της επιστημονικής και τεχνολογικής κληρονομιάς της χώρας μας, θέσπισε μία υποτροφία για την εκπόνηση Διδακτορικής Διατριβής για το Μηχανισμό, την πρώτη στον κόσμο. Η Διδακτορική αυτή διατριβή εκπονείται στο Τμήμα Φυσικής, με έδρα το Εργαστήριο Αστρονομίας του Τομέα Αστροφυσικής, Αστρονομίας και Μηχανικής. Επίσης στο Α.Π.Θ. κατασκευάστηκε ένα νέο αντίγραφο του Μηχανισμού, το οποίο περιλαμβάνει όλες τις νέες ανακαλύψεις. Στην κατασκευή, εκτός από τον υποφαινόμενο, συνέβαλαν ο Καθηγητής του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών Κυριάκος Ευσταθίου και η φοιτήτρια Θεοδώρα Ζαχαροπούλου του ίδιου Τμήματος, η Καθηγήτρια του Τμήματος Ιστορίας και Αρχαιολογίας Στέλλα Δρούγου και η υποψήφια διδάκτωρ του Τμήματος Φυσικής, Μαγδαληνή Αναστασίου.

Περισσότερες πληροφορίες

Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων, τα κύρια θραύσματα του οποίου μπορεί κανείς να θαυμάσει στο Εθνικό Αρχαιολογικό Μουσείο Αθηνών, έχει κινήσει το παγκόσμιο ενδιαφέρον, τόσο του επιστημονικού κόσμου, όσο και του κοινού. Ανταποκρινόμενη η Ομάδα Διερεύνησης του Μηχανισμού των Αντικυθήρων στην πιεστική αναζήτηση πληροφοριών σχετικών με την πρόοδο της μελέτης, έχει δημιουργήσει την ιστοσελίδα: <http://www.antikytheramechanism.gr> για την ενημέρωση του κοινού και των ειδικών. Η ιστοσελίδα ανανεώνεται περιοδικά και περιλαμβάνει τελευταία νέα, απαντήσεις σε βασικά ερωτήματα, άρθρα, εικόνες, βίντεο και άλλες πληροφορίες.

3.2 ΑΣΤΡΟΛΑΒΟΣ

Ο αστρολάβος είναι ένα ιστορικό αστρονομικό όργανο το οποίο χρησιμοποιούσαν οι ναυτικοί και οι αστρονόμοι για την ναυσιπλοΐα και την παρατήρηση του Ήλιου και των αστεριών από τον 2ο αιώνα π.Χ. μέχρι τον 18ο αιώνα μ.Χ., μετά τον οποίο χρησιμοποιήθηκε ένα πιο εξελιγμένο όργανο, ο εξάντας. Χρησιμοποιώντας τον αστρολάβο προέβλεπαν τις θέσεις του ήλιου της σελήνης, των πλανητών και των άστρων. Με τη βοήθεια του αστρολάβου είναι δυνατό να βρεθεί η ώρα αν είναι γνωστό το γεωγραφικό μήκος και πλάτος ή αντίστροφα.



Εικόνα 56. Ένας αστρολάβος του 16ου αιώνα, απλούστερος τύπος, του αστρολάβου του Χώμφρεϋ

Η εφεύρεσή του αποδίδεται στον Έλληνα Ίππαρχο τον 2ο αι. π.Χ. και αρχικά είχε σχήμα σφαίρας (αστρολάβος Ίππαρχου). Αργότερα, τον 8ο με 10ο αι., ο αστρολάβος έλαβε σχεδόν επίπεδη μορφή από τους Άραβες (λέγεται ότι ο πρώτος επίπεδος αστρολάβος φτιάχτηκε τον 8ο αιώνα από τον Πέρση μαθηματικό Fazari) που απαρτιζόταν από έναν κύκλο και ένα κινητό βραχίονα, ο οποίος προσδιόριζε το ύψος των ουράνιων σωμάτων. Από την Ισλαμική Ισπανία, ο αστρολάβος διαδόθηκε στην Ευρώπη τον 11ο αιώνα μ.Χ. και χρησιμοποιήθηκε στην ναυσιπλοΐα μέχρι τον 18ο αι. έως ότου τελικά αντικαταστάθηκε από τον εξάντα.

Ο αστρολάβος αποτελείται από έναν δίσκο, που το εξωτερικό του πλαίσιο υποδιαιρείται σε μοίρες, και σε έναν κανόνα (γωνιόμετρο) που μπορεί να περιστρέφεται γύρω από τον άξονά του. Πάνω στον δίσκο υπάρχει μια χαραγμένη ακτίνα που καταλήγει στα αντιδιαμετρικά σημεία των μετρήσεων. Για να μετρήσουν την γωνία μεταξύ δυο αστεριών, τοποθετούσαν με σκόπευση το ένα πάνω στον κανόνα και έστρεφαν τον δίσκο με την ακτίνα ώσπου να συναντήσει το άλλο αστέρι, η γωνία ήταν αυτή που εμφανιζόταν μεταξύ του κανόνα και της ακτίνας.

- Τμήμα εκείνου του επίπεδου αστρολάβου θεωρήθηκε στην ουράνια μηχανή του I. Εβέλιους και όργανο παρατήρησης μονού, ή διπλού, ή τριπλού

τομέα, έκαστος 30° και ακτίνας περίπου 3μ. (10 πόδια) που είχε εισαγάγει ο Τύχο Μπράχε.

- Διευκρινίζεται ότι τόσο ο σφαιρικός αστρολάβος όσο και ο επίπεδος αστρολάβος είναι όργανα διαφορετικής χρήσης αστρονομικών μετρήσεων. Τον μεν σφαιρικό αστρολάβο, εφευρέτης του οποίου θεωρείται ο Ίππαρχος ο Ρόδιος, χρησιμοποιούσαν για να μετρούν τις λεγόμενες εκλειπτικές συντεταγμένες των αστερών, που είναι σε αντιδιαστολή ότι οι γεωγραφικές συντεταγμένες στη Γη. Ενώ τον επίπεδο αστρολάβο χρησιμοποιούσαν μέχρι τελευταία για να μετρούν το ύψος αστερός, ή πλανήτη, από τον ορίζοντα.

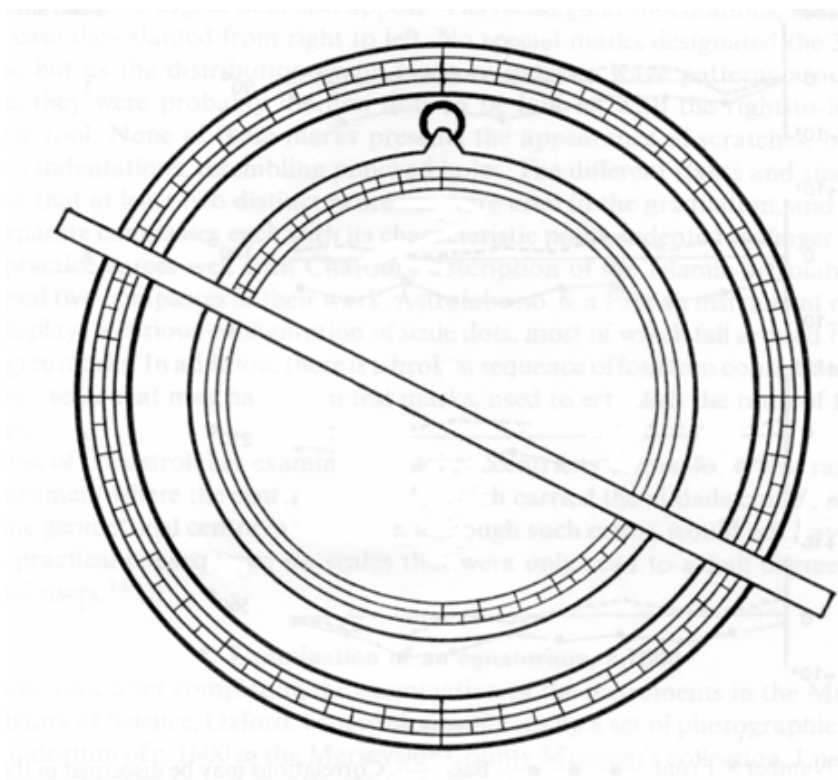
Από την ύπαρξη του Μηχανισμού των Αντικυθήρων χρονολογημένου στον 1ο αιώνα π.Χ, ενός μηχανισμού περισσότερο προχωρημένου ακόμη και από τους αστρολάβους που κατασκεύασαν οι Άραβες αιώνες αργότερα, φαίνεται ότι στην αρχαία Ελλάδα υπήρχαν ήδη παρόμοιοι μηχανισμοί, αλλά δεν ήταν ευρέως γνωστοί και δεν υπάρχουν αναφορές σε αυτούς.



Εικόνα 57. Αστρολάβος

3.3 ΑΠΟ ΤΟΝ ΑΣΤΡΟΛΑΒΟ ΣΤΟ ΘΕΟΔΟΛΙΧΟ

Στα χρόνια της Αναγέννησης ο αστρολάβος χρησιμοποιήθηκε καταρχήν στην αστρολογία. Στην αστρονομία αντικαταστάθηκε αρχικά από τα διάφορα πιο απλοποιημένα όργανα, όπως τα τεταρτημόρια, τους οκτάντες και τους εξάντες, που και αυτά αποσύρθηκαν με τη εμφάνιση του τηλεσκοπίου. Η χρησιμότητά του ως ρολόι έπαψε με την εμφάνιση των εκκρεμών και των μηχανικών ρολογιών. Παρά την “παρακμή” του ως αστρονομικό όργανο, ο αστρολάβος παρέμεινε σημαντικό όργανο για την τοπογραφία και για τη ναυσιπλοΐα καθ’ όλη τη διάρκεια της αναγέννησης, καθώς με την εισαγωγή του τριγωνισμού στις αρχές του δέκατου έκτου αιώνα [6], προέκυψε η ανάγκη μέτρησης των “οριζόντιων” γωνιών.



Εικόνα 58. Χάραξη υποδιαιρέσεων.

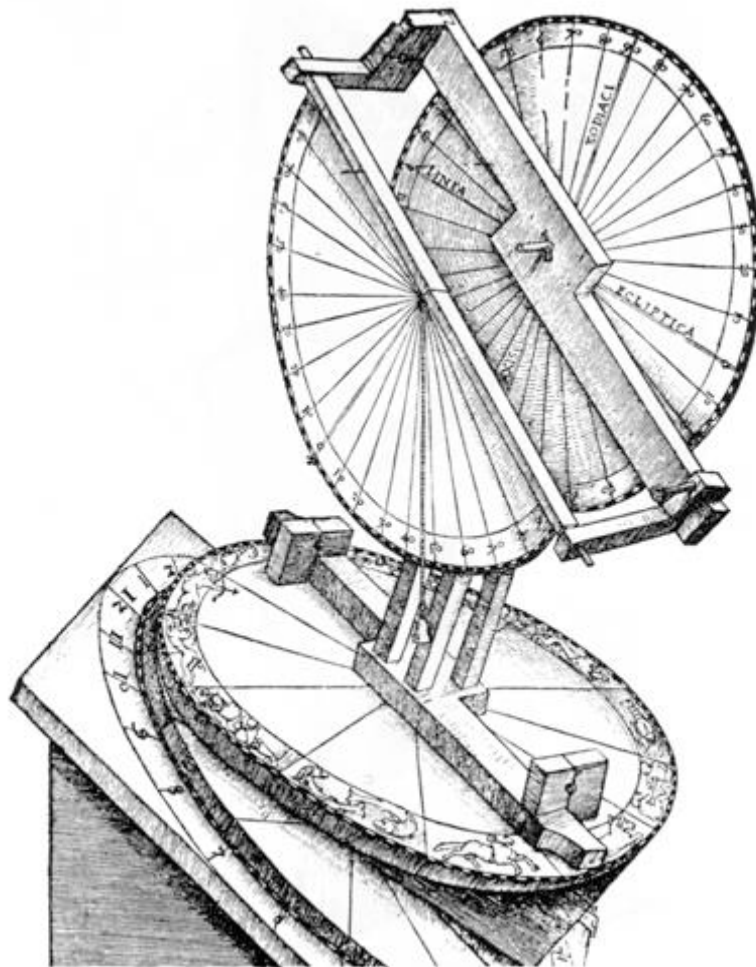
Για τις νέες του εφαρμογές το όργανο υποβλήθηκε βαθμιαία σε αλλαγές, ώστε να γίνει καταλληλότερο, απλούστερο και ακριβέστερο. Τα αστρονομικά εξαρτήματα άρχισαν να εξαφανίζονται, η διάμετρος του δίσκου μεγάλωσε και τα μόνα κοινά μέρη με τους προδρόμους τους ήταν η διάταξη ανάρτησης, η σκοπευτική διάταξη και ο διηρημένος κύκλος.

Για την εφαρμογή του στον *τριγωνισμό*, μια τεχνική που ανέπτυξε το 1533 ο Gemma Frisius, καθηγητής μαθηματικών στη Λουβέν, ο αστρολάβος τοποθετήθηκε σε οριζόντια θέση, πάνω σε μια ράβδο και οι παραλλαγές του οδηγήθηκαν βαθμιαία στην διόπτρα του Ήρωνα και στις αρχές των σύγχρονων θεοδόλιχων. Ο Gemma Frisius υπογράμμισε την ανάγκη για ακριβή μέτρηση των γωνιών και τον προσανατολισμό του οργάνου που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί, καθώς και την

οριζοντίωσή του. Η πρώτη προσθήκη ήταν η πυξίδα, που αρχικά τοποθετήθηκε στην άκρη του οργάνου.

Το *theodelitus* του Leonard Digges, που περιγράφεται πρώτα το 1571, παρουσιάζει σαφώς σχέση με τον αστρολάβο. Μια πυξίδα χρησιμοποιείται ταυτόχρονα ως βοηθητικό όργανο για τον προσανατολισμό. Παρόμοια όργανα είναι το *circumferentor* και ο Ολλανδικός κύκλος δύο κάπως νεότερες μορφές της τοπογραφικής πυξίδας, συνδυασμού δηλαδή του theodolitus, ή του “τοπογραφικού” αστρολάβου, και της πυξίδας.

Η πρώτη όμως εφαρμογή των αρχών του θεοδολίχου, ως οργάνου μέτρησης οριζόντιων και κατακόρυφων γωνιών, στα τοπογραφικά όργανα στην Ευρώπη, μετά από την διόπτρα του Ήρωνα, ήταν το *polymetrum* του Martin Waldseemüller, υπεύθυνου για τις αποτυπώσεις και την κατασκευή χαρτών του Gymnasium Vosagenes, ένα ξύλινο όργανο που περιγράφεται σε μια έκδοση του Margarita Philosophica (1512) του μοναχού Gregor (Gregorius) Reisch (1467-1525) και που επιμελήθηκε ο ίδιος ο Waldseemüller. Προηγήθηκε όμως το *torquetum* ή *turquet*, που θεωρείται επινόηση του Ισπανο-μουσουλμάνου αλ Μπιτρουτζί προς το τέλος του 12αι, και χρησιμοποιήθηκε από τον Ρεγκιομάντους και τον Απινάνο τα χρόνια της αναγέννησης. Το 1542 εμφανίστηκε το *διαφορικό τεταρτημόριο* του Rotz, κατασκευασμένο με τις αρχές του θεοδολίχου για ναυτική χρήση [7], [9], [10].

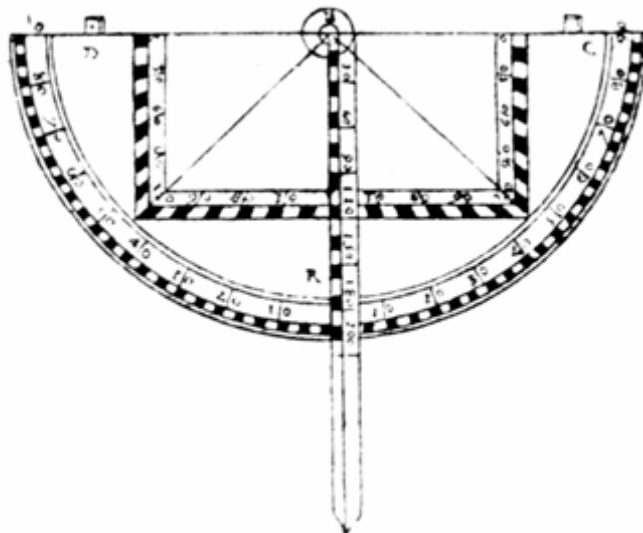


Εικόνα 59. Το *polymetrum* του Waldseemüler

Το πολύμετρο του Waldseemüller φαίνεται να αγνοείται από τους επόμενους Ευρωπαίους γεωγράφους και τοπογράφους, οι οποίοι προφανώς ικανοποιήθηκαν από την περιγραφή του Digges φαίνεται ότι το "*instrument topographicall*" ήταν μια σύνθεση προηγούμενων τοπογραφικών οργάνων. Οι οριζόντιες γωνίες καθορίστηκαν από τη θέση της διάταξης σκόπευσης σ' έναν βαθμονομημένο κύκλο (το theodolitus), εγγεγραμμένο σε ένα οριζόντιο τετραγωνιόμετρο. Για τη μέτρηση των κατακόρυφων γωνιών χρησιμοποιήθηκε ένα διπλό τεταρτημόριο, μέσα στο οποίο ήταν εγγεγραμμένο ένα διπλό τετραγωνιόμετρο. Ο προσανατολισμός του οργάνου γινόταν με τη βοήθεια πυξίδας.

Απαριθμώντας τα κύρια τοπογραφικά όργανα αυτής της περιόδου, ο άγγλος κατασκευαστής οργάνων Aaron Rathborne στο βιβλίο του *The Surveyor* (1611) αναφέρει τον θεοδόλιχο, τη μετροτράπεζα, την τοπογραφική πυξίδα, και ένα νέο όργανο που είναι δικής του επινόησης και το ονομάζει *Peractor*. Το όργανο αυτό διαφέρει από το θεοδόλιχο του Digges στο ότι έχει αντικαταστήσει το κατακόρυφο ημικύκλιο με ένα τεταρτοκύκλιο, που εκτός από τη βαθμονόμηση φέρει και τις γραμμές των ημιτόνων για την απευθείας αναγωγή σε οριζόντιες των κεκλιμένων γραμμών, την απευθείας λήψη των υψών και γενικότερα, την απλοποίηση των σχετικών υπολογισμών.

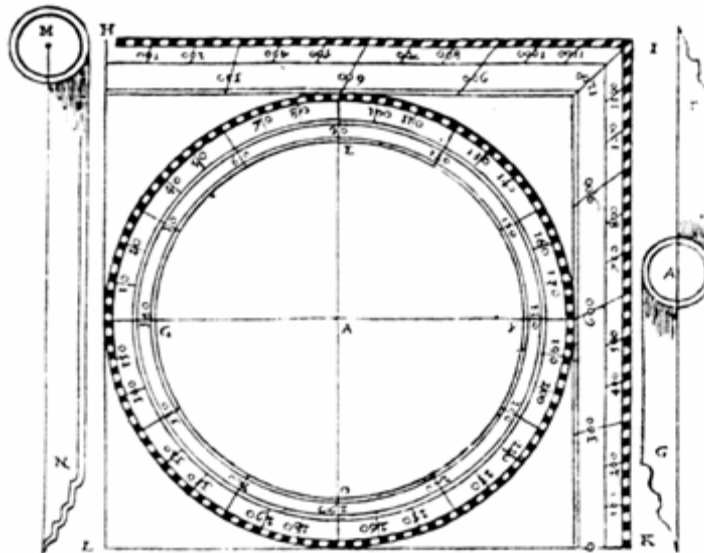
Λίγα χρόνια αργότερα, ένας άλλος κατασκευαστής, ο Leybourn αναφέρει στο βιβλίο του *The Compleat Surveyor* (1653) και περιγράφει ως πιο συνήθη όργανα της εποχής του τον θεοδόλιχο, την τοπογραφική πυξίδα και τη μετροτράπεζα. Η περιγραφή του θεοδόλιχου αντιστοιχεί ουσιαστικά στο όργανο του Digges, όπου παραλείπεται το "γεωμετρικό τετράγωνο" και προστίθεται μια διαγώνια κλίμακα. Ο Leybourn παρουσιάζει και αυτός ένα δικό του όργανο το *Pandoron*, που θα αντικαταστήσει όπως ισχυρίζεται στο βιβλίο του το θεοδόλιχο, την τοπογραφική πυξίδα και το *Peractor*. Όμως, ούτε το *Pandoron*, ούτε το *Peractor* επέζησαν πολύ, αλλά τόσο στην Αγγλία όσο και στην υπόλοιπη Ευρώπη το τοπογραφικό όργανο του Digges, με διάφορες μικρές παραλλαγές, διαδόθηκε ως *Theodolitus*, όρος που τελικά χρησιμοποιήθηκε για τα όργανα μέτρησης οριζοντίων και κατακόρυφων γωνιών.



Εικόνα 60. το theodolitus του Diggest

Το σημαντικότερο ίσως γαλλικό παράγωγο του αστρολάβου ήταν το *graphometre* του Danfrie. Σε αυτό το όργανο αντικαταστάθηκε ο οριζόντιος δίσκος

από ημικύκλιο και προστέθηκε ένα ακόμη σταθερό σύστημα σκόπευσης. Το graphometre ήταν το κατ' εξοχήν τοπογραφικό όργανο στη Γαλλία κατά τη διάρκεια του δέκατου έβδομου αιώνα. Στη Γαλλία επίσης εμφανίστηκε το 1598 ένα άλλο όργανο, κατασκευασμένο από τον Henry de Suberville, το *Henry-metre*, όπου ο κατακόρυφος δίσκος αντικαταστάθηκε από ένα σύστημα ράβδων, εμπνευσμένο πιθανότατα από τον κανόνα του Πτολεμαίου [7], [9], [10].

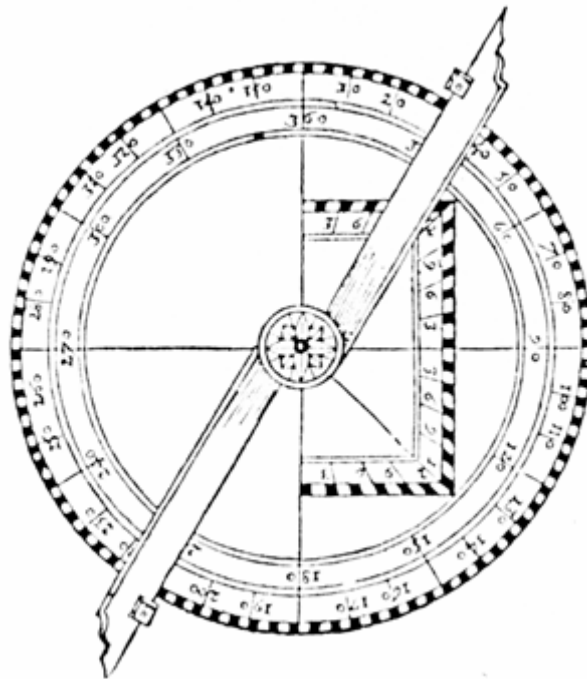


Εικόνα 61. Το instrument topographical

Στα επόμενα χρόνια, το όργανο εξελίχθηκε με την εισαγωγή του τηλεσκοπίου, των ακριβέστερων διηρημένων κύκλων και των πιο εξελιγμένων συστημάτων ανάγνωσης, όπως το μικρόμετρο και ο βερνιέρος. Ο θεοδόλιχος, στη σύγχρονή του μορφή, αναπτύχθηκε βαθμιαία από την αρχική κατασκευή του Jonathan Sissons, ενός άγγλου κατασκευαστή μαθηματικών οργάνων, το 1730. Περί το 1775, ο Άγγλος εφευρέτης και κατασκευαστής οργάνων Jesse Ramsden (1735-1800) κατασκευάζει τον πρώτο θεοδόλιχο υψηλής ακριβείας που χρησιμοποιείται για την τριγωνομετρική ένωση της Αγγλίας με την ευρωπαϊκή ήπειρο [6]. Τον 19ο αι. εφαρμόζονται πολλές καινοτομίες, όπως εξελιγμένα συστήματα ανάγνωσης, οπτικά συστήματα κέντρωσης, συστήματα που επιτρέπουν την επανάληψη της μέτρησης σε διαφορετική περιοχή του οριζόντιου δίσκου, η δυνατότητα του τηλεσκοπίου να περιστρέφεται γύρω από τον οριζόντιο άξονα και να σκοπεύει σε κάθε διεύθυνση, κ.λπ. Στις αρχές του 20ου αιώνα ο Heinrich Wild ελάττωσε το μήκος του τηλεσκοπίου εισάγοντας έναν αρνητικό φακό μεταξύ του προσοφθάλμιου και του αντικειμενικού συστήματος, επινόησε τους γυάλινους δίσκους, με το μικροσκόπιο με μικρόμετρο στο σύστημα ανάγνωσης, με το σύστημα αντιδιαμετρικών αναγνώσεων και με τις φυσαλίδες που έπρεπε να έλθουν σε σύμπτωση στον κατακόρυφο δίσκο.

Μετά τον δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο κυριαρχούν στην Ευρώπη τα Γερμανικά, Ελβετικά και Ιαπωνικά τοπογραφικά όργανα. Οι θεοδόλιχοι στην περίοδο 1950-1980 παραμένουν οι ίδιοι, στα πρότυπα του θεοδόλιχου του Wild, με μικρές βελτιώσεις στο σύστημα ανάγνωσης και με σημαντικότερη αλλαγή, το σύστημα αυτόματης κατακορύφωσης. Οι σημαντικές αλλαγές σχετίζονται με την ψηφιακή περίοδο των τοπογραφικών οργάνων, μετά το 1980, όπου οι λεγόμενοι πλέον **γλωδαιτικοί σταθμοί**, ενιαία ηλεκτρονικά όργανα μέτρησης γωνιών και αποστάσεων, αγγίζουν

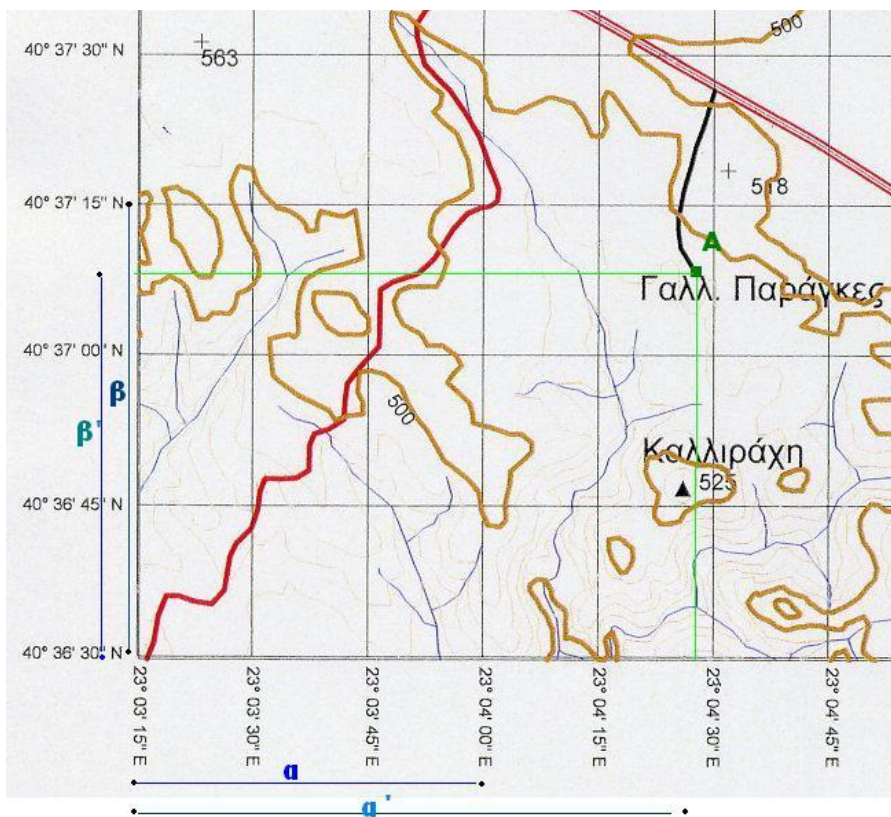
την τελειότητα από την άποψη της ακριβείας, της ευκολίας χειρισμών καθώς και του κόστους.



Εικόνα 62. Το instrument topographical

1. ΕΥΡΕΣΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ ΕΝΟΣ ΣΗΜΕΙΟΥ ΣΕ ΧΑΡΤΗ

Α. Για να βρούμε τις γεωγραφικές συντεταγμένες ενός γνωστού σημείου στον χάρτη



(χάρτης 1)

Γεωγραφικό μήκος

1. Για να βρούμε το γεωγραφικό μήκος ενός σημείου πάνω στο χάρτη θα πρέπει πρώτα να υπολογίσουμε μια σταθερά. Παίρνουμε για παράδειγμα την απόσταση μεταξύ τριών μεσημβρινών του χάρτη και τη μετράμε με ένα υποδεκάμετρο (απόσταση α).
2. Παίρνουμε την προβολή του σημείου που ψάχνουμε τις γεωγραφικές συντεταγμένες στον άξονα του γεωγραφικού μήκους. Μετράμε με το υποδεκάμετρο την απόσταση της προβολής του σημείου από συμβολή των αξόνων (απόσταση α').
3. Στη συνέχεια γνωρίζοντας τις αποστάσεις α και α' σε εκατοστά καθώς και ότι η απόσταση α αντιστοιχεί σε κάποια πρώτα ή δεύτερα λεπτά της μοίρας του

γεωγραφικού μήκους από την τομή των αξόνων, με την απλή μέθοδο των τριών, υπολογίζουμε με ακρίβεια το γεωγραφικό μήκος του ζητούμενου σημείου.

4. Κάνουμε, αν χρειάζεται, τις απαραίτητες μετατροπές από πρώτα σε δεύτερα λεπτά της μοίρας (πολλαπλασιάζοντας με το 60).
5. Προσθέτουμε τις μοίρες που βρήκαμε στο γεωγραφικό μήκος όπως αυτό δίνεται στην τομή των αξόνων και βρίσκουμε την συντεταγμένη του γεωγραφικού μήκους του σημείου.

Γεωγραφικό πλάτος

1. Για να βρούμε το γεωγραφικό πλάτος ενός σημείου πάνω στο χάρτη θα πρέπει πρώτα να υπολογίσουμε μια σταθερά. Παίρνουμε για παράδειγμα την απόσταση μεταξύ τριών παραλλήλων του χάρτη και τη μετράμε με ένα υποδεκάμετρο (απόσταση β).
2. Παίρνουμε την προβολή του σημείου που ψάχνουμε τις γεωγραφικές συντεταγμένες στον άξονα του γεωγραφικού πλάτους. Μετράμε με το υποδεκάμετρο την απόσταση της προβολής του σημείου από την τομή των αξόνων του χάρτη μας (απόσταση β').
3. Στη συνέχεια γνωρίζοντας τις αποστάσεις β και β' σε εκατοστά καθώς και ότι η απόσταση β αντιστοιχεί σε κάποια πρώτα ή δεύτερα λεπτά της μοίρας του γεωγραφικού πλάτους από την αρχή των αξόνων, με την απλή μέθοδο των τριών υπολογίζουμε με ακρίβεια το γεωγραφικό πλάτος του ζητούμενου σημείου.
4. Κάνουμε τις απαραίτητες μετατροπές από πρώτα σε δεύτερα λεπτά της μοίρας (πολλαπλασιάζοντας με το 60).
5. Προσθέτουμε τις μοίρες που βρήκαμε στο γεωγραφικό πλάτος του σημείου υπολογισμού από την αρχή των αξόνων και βρίσκουμε την συντεταγμένη του γεωγραφικού πλάτους του σημείου.

Συγκεκριμένο παράδειγμα:

Θέλουμε να υπολογίσουμε το **γεωγραφικό μήκος** του σημείου **A** (βλέπε χάρτη 1). Παίρνουμε την απόσταση τριών μεσημβρινών του χάρτη (45'' της μοίρας από την αρχή των αξόνων) και τη μετράμε με το υποδεκάμετρο (απόσταση α = 4,3 εκ.). Παίρνουμε την προβολή του σημείου A πάνω στον οριζόντιο άξονα του γεωγραφικού μήκους και τη μετράμε με το υποδεκάμετρο (απόσταση α' = 6,8 εκ.). Στη συνέχεια με την απλή μέθοδο των τριών υπολογίζουμε το γεωγραφικό μήκος του σημείου A.

Η απόσταση α (4,3 εκ.) απέχει 45'' της μοίρας

Η απόσταση α' (6,8 εκ.) απέχει X'' της μοίρας

$$X = 45 \cdot 6,8 / 4,3 = 71,16'' \text{ της μοίρας}$$

Εδώ επειδή η δεκαδική τιμή είναι αμελητέα μπορούμε να την παραλείψουμε και θεωρούμε ως μέτρηση τα 71'' της μοίρας.

Προσθέτουμε την τιμή αυτή στην τιμή του γεωγραφικού μήκους της αρχής των αξόνων και έτσι βρίσκουμε με ακρίβεια το γεωγραφικό μήκος του σημείου A.

$$\begin{array}{r} 23^{\circ}03'15'' \\ + \quad \quad 71'' \\ \hline 23^{\circ}03'86'' \\ \mathbf{23^{\circ}04'26''} \end{array}$$

Θέλουμε να υπολογίσουμε το **γεωγραφικό πλάτος** του σημείου **A** (βλέπε χάρτη 1)

Παίρνουμε την απόσταση τριών παραλλήλων του χάρτη (45'' της μοίρας από την αρχή των αξόνων) και τη μετράμε με το υποδεκάμετρο (απόσταση $\beta = 5,6$ εκ.).
 Παίρνουμε την προβολή του σημείου A πάνω στον κάθετο άξονα του γεωγραφικού πλάτους και τη μετράμε με το υποδεκάμετρο (απόσταση $\beta' = 4,8$ εκ.).
 Στη συνέχεια με την απλή μέθοδο των τριών υπολογίζουμε το γεωγραφικό πλάτος του σημείου A.

Η απόσταση β (5,6κ.) απέχει 45'' της μοίρας
 Η απόσταση β' (4,8 εκ.) απέχει X'' της μοίρας
 $X = 45 \cdot 5,6 / 4,8 = 52,5''$ της μοίρας

Εδώ επειδή η δεκαδική τιμή είναι αμελητέα μπορούμε να την παραλείψουμε και θεωρούμε ως μέτρηση τα 52'' της μοίρας.

Προσθέτουμε την τιμή αυτή στην τιμή του γεωγραφικού πλάτους της αρχής των αξόνων και έτσι βρίσκουμε με ακρίβεια το γεωγραφικό πλάτος του σημείου A.

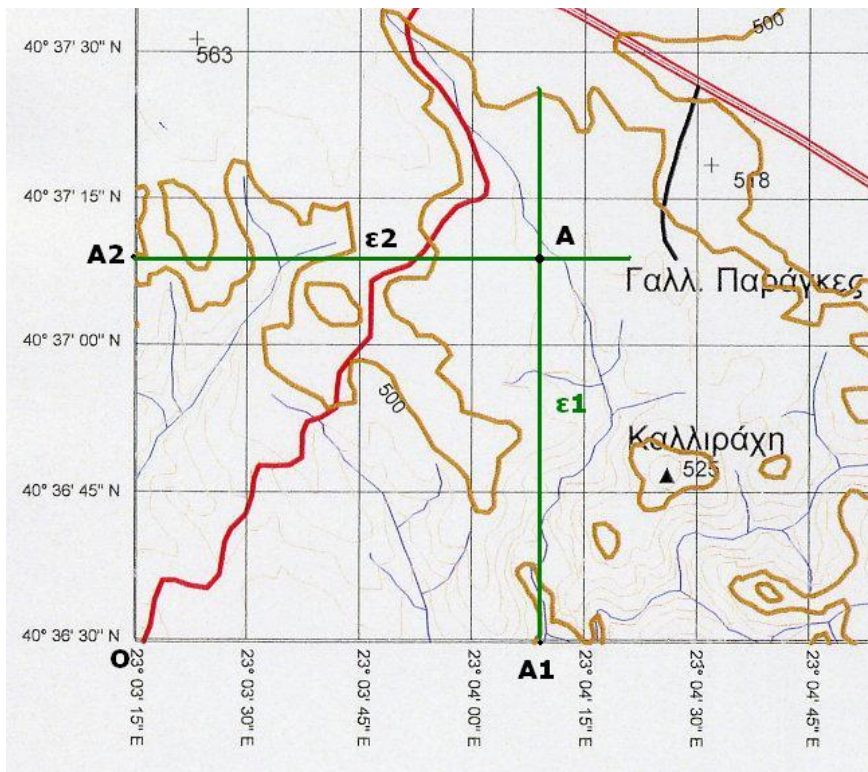
$$\begin{array}{r} 40^{\circ}36'30'' \\ + \quad \quad 52'' \\ \hline 40^{\circ}36'82'' \\ \mathbf{40^{\circ}37'22''} \end{array}$$

Επομένως το σημείο A έχει τις ακόλουθες γεωγραφικές συντεταγμένες:

Γεωγραφικό μήκος : $23^{\circ}04'26''$

Γεωγραφικό πλάτος: $40^{\circ}37'22''$

B. Εύρεση ενός σημείου στο χάρτη με βάση τις Γεωγραφικές του Συντεταγμένες



(χάρτης 2)

Γεωγραφικό μήκος

1. Παίρνουμε ως σταθερά την απόσταση μεταξύ δύο μεσημβρινών του χάρτη. Καταγράφουμε τη διαφορά τους σε μοίρες. Με ένα υποδεκάμετρο μετράμε την απόσταση τους σε εκατοστά.
2. Αφαιρούμε την τιμή του γεωγραφικού μήκους που μας δίνεται από την τιμή του γεωγραφικού μήκους της αρχής των αξόνων O του χάρτη. Αν χρειαστεί κάνουμε τις απαραίτητες μετατροπές από πρώτα σε δεύτερα λεπτά της μοίρας (πολλαπλασιάζοντας με το 60).
3. Με την απλή μέθοδο των τριών βρίσκουμε την απόσταση του σημείου μας σε εκατοστά.
4. Με την βοήθεια του υποδεκάμετρου μετράμε την απόσταση OA_1 από τη συμβολή των αξόνων O και πάνω στον οριζόντιο άξονα του γεωγραφικού μήκους. Φέρνουμε μια κάθετη (**ϵ_1**) στο σημείο **A_1** .

Γεωγραφικό πλάτος

1. Παίρνουμε ως σταθερά την απόσταση μεταξύ δύο παραλλήλων του χάρτη. Καταγράφουμε τη διαφορά τους σε μοίρες. Με ένα υποδεκάμετρο μετράμε την απόσταση τους σε εκατοστά.
2. Αφαιρούμε την τιμή του γεωγραφικού πλάτους που μας δίνεται από την τιμή του γεωγραφικού πλάτους της αρχής των αξόνων O του χάρτη. Αν χρειαστεί κάνουμε τις απαραίτητες μετατροπές από πρώτα σε δεύτερα λεπτά της μοίρας (πολλαπλασιάζοντας με το 60).
3. Με την απλή μέθοδο των τριών βρίσκουμε την απόσταση του σημείου μας σε εκατοστά.
4. Με την βοήθεια του υποδεκάμετρου μετράμε την απόσταση OA_2 από τη συμβολή των αξόνων O και πάνω στον κάθετο άξονα του γεωγραφικού πλάτους. Φέρνουμε μια κάθετη (**ϵ_2**) στο σημείο **A_2** .

Το σημείο τομής των δύο ευθειών (**ϵ_1 και ϵ_2**) που φέραμε είναι το σημείο (**A**) που αναζητούμε.

2. Εφαρμογή εύρεσης σημείων στο τοπογραφικό χάρτη περιοχής Χορτιάτη

A.

Μας δόθηκε από τον υπεύθυνο καθηγητή να βρούμε πάνω στον τοπογραφικό χάρτη της περιοχής του Χορτιάτη Θεσσαλονίκης τρία σημεία με τις ακόλουθες γεωγραφικές συντεταγμένες:

Σημείο A	Γεωγραφικό μήκος: $23^{\circ} 04' 34''$ μοίρες Γεωγραφικό πλάτος: $40^{\circ} 37' 22''$ μοίρες
-----------------	---

α) Υπολογισμός σημείου από το γεωγραφικό μήκος

1. Η απόσταση μεταξύ δύο μεσημβρινών είναι $15''$ της μοίρας. Μετράμε την απόστασή τους με το υποδεκάμετρο και τη βρίσκουμε 1,4 εκ.
2. Αφαιρούμε από τις δοσμένες συντεταγμένες τις συντεταγμένες του πρώτου μεσημβρινού που μας δίνεται στο χάρτη (συμβολή των αξόνων).

$$\begin{array}{r} 23^{\circ} 04' 34'' \\ - 23^{\circ} 03' 15'' \\ \hline 1' 19'' \end{array}$$

Μετατρέπουμε σε δεύτερα λεπτά της μοίρας (πολλαπλασιάζοντας τα πρώτα λεπτά της μοίρας με το 60), $1^{\circ} * 60 + 19'' = 79''$ λεπτά της μοίρας.

3. Εφαρμόζουμε την απλή μέθοδο των τριών
Τα $15''$ αντιστοιχούν σε 1,4 εκ.
Τα $1' 19''$ ($79''$) αντιστοιχούν σε X1 εκ.
 $X1 = 1,4 * 79/15 = 7,37$ εκ.

Βρήκαμε έτσι την απόσταση του σημείου από την αρχή του άξονα (σημείο τομής) από όπου θα φέρουμε κάθετη στο σημείο ή παράλληλη προς τον κάθετο άξονα.

β) Υπολογισμός σημείου από το γεωγραφικό πλάτος

1. Η απόσταση μεταξύ δύο παραλλήλων είναι $15''$ της μοίρας. Μετράμε την απόστασή τους με το υποδεκάμετρο και τη βρίσκουμε 1,9 εκ.
2. Αφαιρούμε από τις δοσμένες συντεταγμένες τις συντεταγμένες του πρώτου παραλλήλου που μας δίνεται στο χάρτη (συμβολή των αξόνων).

$$\begin{array}{r} 40^{\circ} 37' 22'' \\ - 40^{\circ} 36' 30'' \\ \hline 52'' \end{array}$$

3. Εφαρμόζουμε την απλή μέθοδο των τριών
Τα $15''$ αντιστοιχούν σε 1,9 εκ.
Τα $52''$ αντιστοιχούν σε Ψ1 εκ.
 $\Psi1 = 1,9 * 52/15 = 6,59$ εκ.

Βρήκαμε την απόσταση του σημείου από την αρχή του άξονα (σημείο τομής) από όπου θα φέρουμε κάθετη στο σημείο ή παράλληλη προς τον οριζόντιο άξονα. Το σημείο τομής των δύο ευθειών που θα φέρουμε είναι το σημείο (A) που αναζητούμε.

Σημείο Β

Γεωγραφικό μήκος: $23^{\circ} 04' 17''$ μοίρες
 Γεωγραφικό πλάτος: $40^{\circ} 36' 57''$ μοίρες

α) Υπολογισμός σημείου από το γεωγραφικό μήκος

1. Η απόσταση μεταξύ δύο μεσημβρινών είναι $15''$ της μοίρας. Μετράμε την απόστασή τους με το υποδεκάμετρο και τη βρίσκουμε 1,4 εκ.
2. Αφαιρούμε από τις δοσμένες συντεταγμένες τις συντεταγμένες του πρώτου μεσημβρινού που μας δίνεται στο χάρτη (συμβολή των αξόνων).

$$\begin{array}{r} 23^{\circ} 04' 17'' \\ - 23^{\circ} 03' 15'' \\ \hline 1' 02'' \end{array}$$

Μετατρέπουμε σε δεύτερα λεπτά της μοίρας (πολλαπλασιάζοντας τα πρώτα λεπτά της μοίρας με το 60), $1' * 60 + 02'' = 62''$ της μοίρας.

3. Εφαρμόζουμε την απλή μέθοδο των τριών
 Τα $15''$ αντιστοιχούν σε 1,4 εκ.
 Τα $1' 02''$ ($62''$) αντιστοιχούν σε Χ2 εκ.

$$\underline{Χ2 = 1,4 * 62 / 15 = 5,79 \text{ εκ.}}$$

Βρήκαμε έτσι την απόσταση του σημείου από την αρχή του άξονα (σημείο τομής) από όπου θα φέρουμε κάθετη στο σημείο ή παράλληλη προς τον κάθετο άξονα.

β) Υπολογισμός σημείου από το γεωγραφικό πλάτος

1. Η απόσταση μεταξύ δύο παραλλήλων είναι $15''$ της μοίρας. Μετράμε την απόστασή τους με το υποδεκάμετρο και τη βρίσκουμε 1,9 εκ.
2. Αφαιρούμε από τις δοσμένες συντεταγμένες τις συντεταγμένες του πρώτου παραλλήλου που μας δίνεται στο χάρτη (συμβολή των αξόνων).

$$\begin{array}{r} 40^{\circ} 36' 57'' \\ - 40^{\circ} 36' 30'' \\ \hline 27'' \end{array}$$

3. Εφαρμόζουμε την απλή μέθοδο των τριών
 Τα $15''$ αντιστοιχούν σε 1,9 εκ.
 Τα $27''$ αντιστοιχούν σε Ψ2 εκ.

$$\underline{\Psi2 = 1,9 * 27 / 15 = 3,42 \text{ εκ.}}$$

Βρήκαμε την απόσταση του σημείου από την αρχή του άξονα (σημείο τομής) από όπου θα φέρουμε κάθετη στο σημείο ή παράλληλη προς τον οριζόντιο άξονα. Το σημείο τομής των δύο ευθειών που θα φέρουμε είναι το σημείο **(Β)** που αναζητούμε.

Σημείο Γ

Γεωγραφικό μήκος: $23^{\circ} 04' 26''$ μοίρες
 Γεωγραφικό πλάτος: $40^{\circ} 36' 47''$ μοίρες

α) Υπολογισμός σημείου από το γεωγραφικό μήκος

1. Η απόσταση μεταξύ δύο μεσημβρινών είναι $15''$ της μοίρας. Μετράμε την απόστασή τους με το υποδεκάμετρο και τη βρίσκουμε 1,4 εκ.

2. Αφαιρούμε από τις δοσμένες συντεταγμένες τις συντεταγμένες του πρώτου μεσημβρινού που μας δίνεται στο χάρτη (συμβολή των αξόνων).

$$\begin{array}{r} 23^{\circ} 04' 26'' \\ - 23^{\circ} 03' 15'' \\ \hline 1' 11'' \end{array}$$

Μετατρέπουμε σε δεύτερα λεπτά της μοίρας (πολλαπλασιάζοντας τα πρώτα λεπτά της μοίρας με το 60), $1' \cdot 60 + 11'' = 71''$ της μοίρας.

3. Εφαρμόζουμε την απλή μέθοδο των τριών

Τα 15'' αντιστοιχούν σε 1,4 εκ.

Τα 1'11'' (71'') αντιστοιχούν σε Χ3 εκ.

$$\underline{Χ3 = 1,4 \cdot 71/15 = 6,62 \text{ εκ.}}$$

Βρήκαμε έτσι την απόσταση του σημείου από την αρχή του άξονα (σημείο τομής) από όπου θα φέρουμε κάθετη στο σημείο ή παράλληλη προς τον κάθετο άξονα.

β) Υπολογισμός σημείου από το γεωγραφικό πλάτος

1. Η απόσταση μεταξύ δύο παραλλήλων είναι 15'' της μοίρας. Μετράμε την απόστασή τους με το υποδεκάμετρο και τη βρίσκουμε 1,9 εκ.
2. Αφαιρούμε από τις δοσμένες συντεταγμένες τις συντεταγμένες του πρώτου παραλλήλου που μας δίνεται στο χάρτη (συμβολή των αξόνων).

$$\begin{array}{r} 40^{\circ} 37' 47'' \\ - 40^{\circ} 36' 30'' \\ \hline 17'' \end{array}$$

3. Εφαρμόζουμε την απλή μέθοδο των τριών

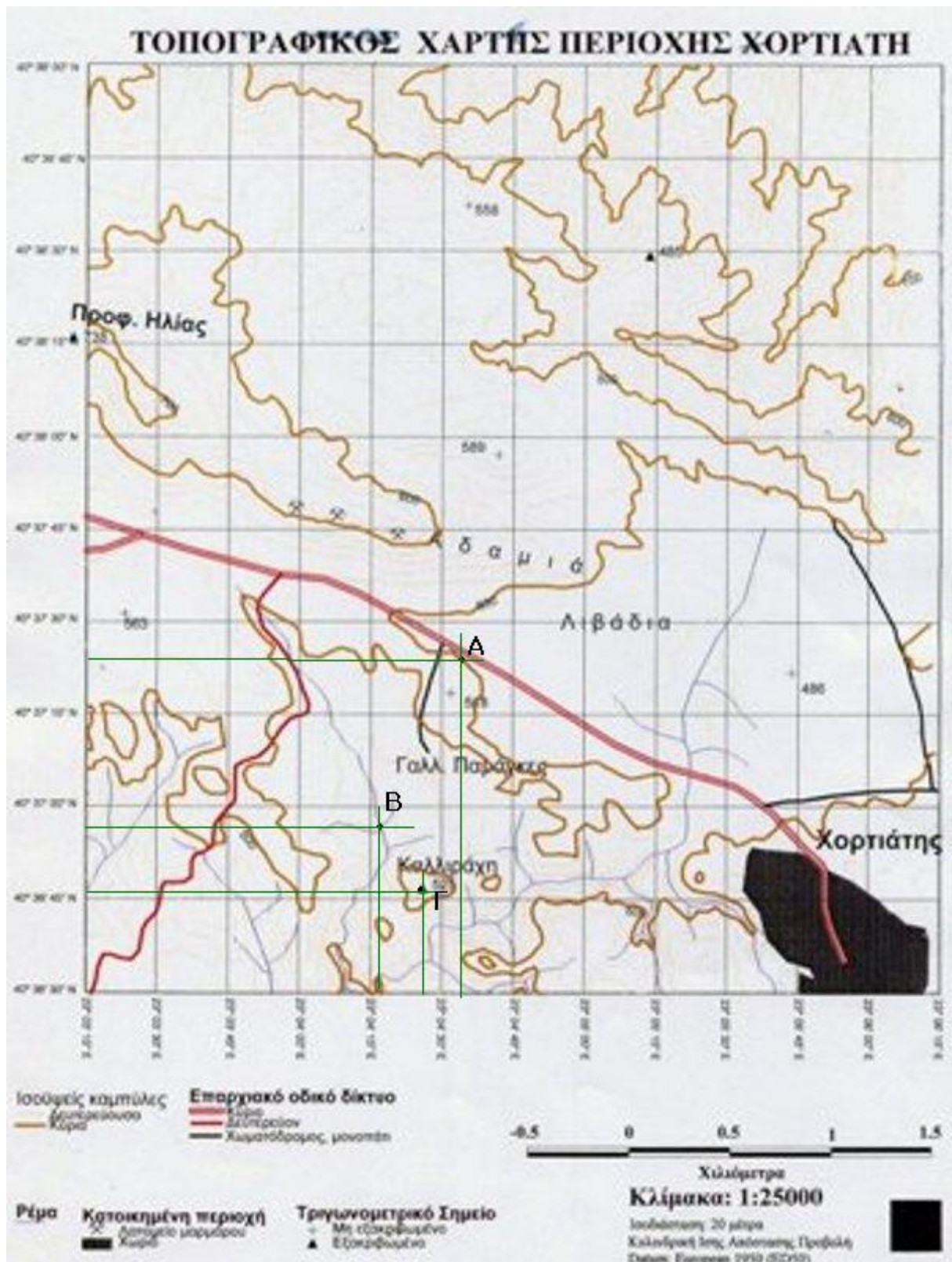
Τα 15'' αντιστοιχούν σε 1,9 εκ.

Τα 17'' αντιστοιχούν σε Ψ3 εκ.

$$\underline{\Psi3 = 1,9 \cdot 17/15 = 2,15 \text{ εκ.}}$$

Βρήκαμε την απόσταση του σημείου από την αρχή του άξονα (σημείο τομής) από όπου θα φέρουμε κάθετη στο σημείο ή παράλληλη προς τον οριζόντιο άξονα. Το σημείο τομής των δύο ευθειών που θα φέρουμε είναι το σημείο (Γ) που αναζητούμε.

Τα 3 ζητούμενα σημεία, σύμφωνα με τους παραπάνω υπολογισμούς, παρουσιάζονται στο Χάρτη 3 που ακολουθεί:



(Χάρτης 3)
 Εντοπισμός των 3 σημείων πάνω στο χάρτη σύμφωνα με τις προηγούμενες μετρήσεις

B. Εντοπισμός των 3 σημείων – Χαρτογράφηση της περιοχής

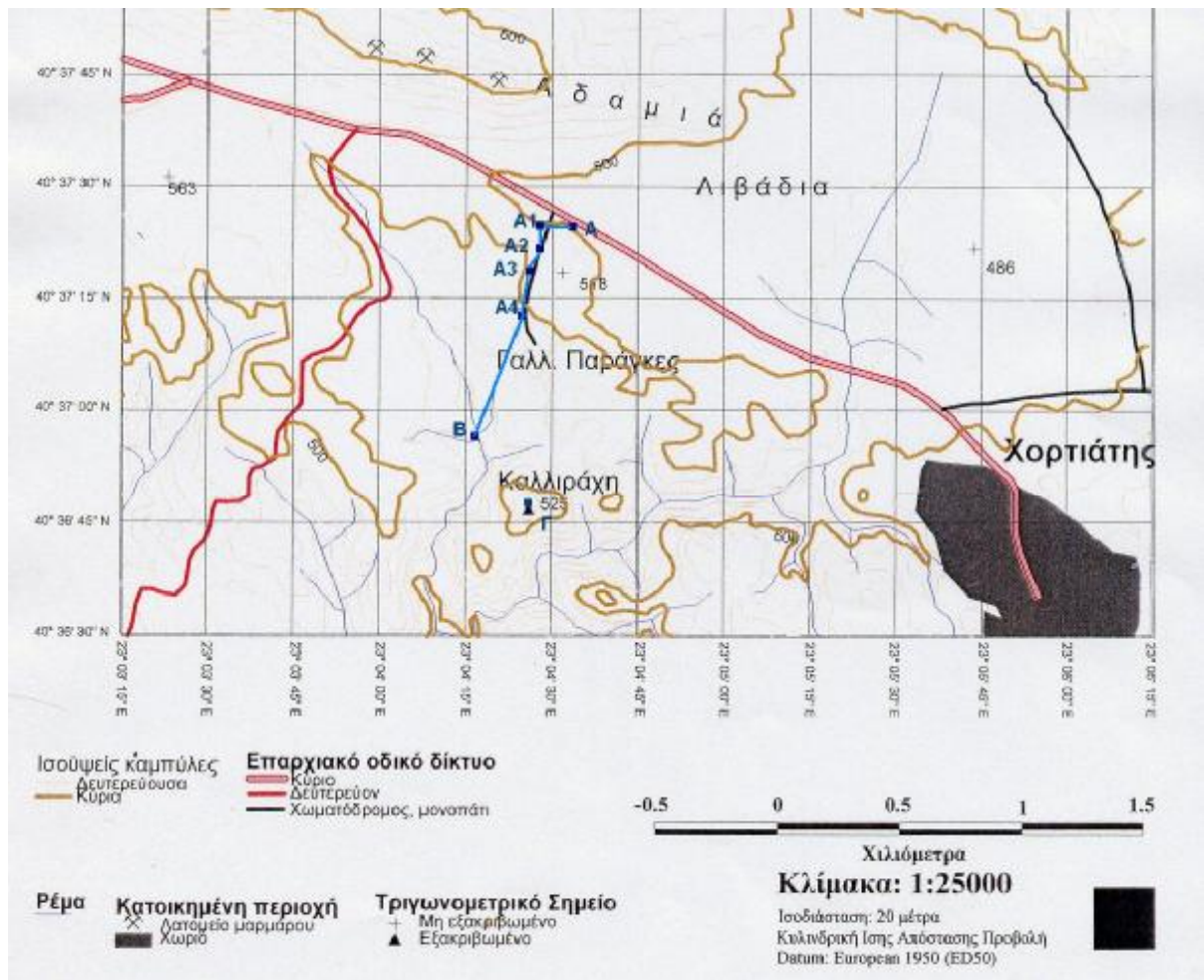
Πρώτο μέλημά μας είναι να προσανατολιστούμε στο χώρο. Τοποθετούμε την πυξίδα προς Βορρά (Βόρεια) όπου στο χάρτη μας βρίσκεται ο κεντρικός δρόμος. Στο χάρτη που μας δόθηκε και συγκεκριμένα από την περιοχή των λατομείων αρχίζει μία πεδινή έκταση η οποία προχωρά από τη διασταύρωση προς βορειοανατολικά (BA) και διανύει το πεδινό τμήμα. Άρα, εδώ ψάχνουμε ένα μέρος περίπου πεδινό. Αυτό το καταλαβαίνουμε από τις ισούψεις καμπύλες του χάρτη. Από τη διασταύρωση προς Άγιο Βασίλειο ως το σημείο που σταματήσαμε είναι περίπου 500 μέτρα.

Εντοπίζουμε τη θέση του σημείου A κάνοντας διερευνητικές κοντινές διαδρομές (εκκλησάκι-μονοπάτι). Το σημείο A βρίσκεται στη βρύση με βάση τα στοιχεία του χάρτη (μονοπάτι, υψομετρικές διαφορές απέναντι από τις περιοχές Αδαμιά και Λιβιάδια). Ακολουθούμε την παρακάτω πορεία:

1. Από το σημείο **A** παίρνουμε αζιμούθιο 268 μοίρες προς το μονοπάτι. Σε απόσταση 85 βημάτων οριοθετούμε το σημείο **A1**. Από το σημείο A1 παίρνουμε νέο αζιμούθιο 255 μοίρες ακολουθώντας το μονοπάτι και σε απόσταση 140 βημάτων οριοθετούμε το σημείο A2.
2. Από το σημείο A2 παίρνουμε νέο αζιμούθιο 295 μοίρες και προχωράμε 99 βήματα οριοθετώντας το σημείο **A3**.
3. Από το σημείο A3 παίρνουμε νέο αζιμούθιο 194 μοίρες και προχωράμε 502 βήματα μέχρι την **πέτρα** τοποθετώντας το σημείο **A4**. Με βάση το χάρτη και τη θέση στην οποία βρίσκεται το σημείο B βγαίνουμε από το μονοπάτι και αφήνουμε στ' αριστερά μας τις **Γαλλικές παράγκες**.
4. Από το σημείο A4 πήραμε νέο αζιμούθιο 208 μοίρες (το αζιμούθιο από το σημείο A4 έως και το σημείο B ήταν περίπου ίδιο 207-210 μοίρες).
5. Το σημείο **B** το εντοπίσαμε στη **συμβολή των τριών ρεμάτων** με βάση τα στοιχεία του χάρτη και αφού είχαμε κάνει 873 βήματα.
6. Στη συνέχεια από το σημείο B πήραμε νέο αζιμούθιο προς το σημείο **Γ (θέση Καλλιράχη)** 130 μοιρών. (Έχει ένα μονοπάτι που μπορούμε να ακολουθήσουμε).

ΣΗΜΕΙΟ	ΑΖΙΜΟΥΘΙΟ	ΒΗΜΑΤΑ	ΜΕΤΡΑ *	ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΣΤΟ ΧΑΡΤΗ
A -A1	268°	85	62,96	0,25 εκ.
A1-A2	255°	140	103,70	0,41 εκ.
A2-A3	295°	99	73,33	0,29 εκ.
A3-A4	194°	502	371,85	1,48 εκ.
A4-B	208°	658	487,40	1,94 εκ.
ΣΥΝΟΛΑ		1.484	1.099,25	

**(Η μετατροπή από βήματα σε μέτρα έγινε σύμφωνα με τους υπολογισμούς που αναφέρονται στην 1^η ενότητα. Τα 20 μ. αντιστοιχούν περίπου σε 27 βήματα, δηλ. 1 βήμα = 0,74 μ.)*



(Χάρτης 4)

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1. Παγκόσμιος χάρτης.....	7
Εικόνα 2. Ο πρώτος μεσημβρινός στο αστεροσκοπείο του Γρήνουϊτς	8
Εικόνα 3.	9
Εικόνα 4.	9
Εικόνα 5.	10
Εικόνα 6.	11
Εικόνα 7. ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ.....	12
Εικόνα 8.	13
Εικόνα 9. Προσδιορισμός γεωγραφικού πλάτους 50°Β, επί τόξου του μεσημβρινού του τόπου.....	14
Εικόνα 10. Πυξίδα.....	15
Εικόνα 11. προσανατολισμός με τη βοήθεια ρολογιού.....	16
Εικόνα 12. προσανατολισμός με τη βοήθεια του Πολικού Αστήρα.....	17
Εικόνα 13. Ναυτικό χρονόμετρο.....	18
Εικόνα 14. Ο John Harrison (Χάρισον, 1693-1776).....	19
Εικόνα 15. Το ναυτικό χρονόμετρο.	21
Εικόνα 16. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ ΕΝΟΣ ΣΗΜΕΙΟΥ ΜΕΣΩ ΣΤΕΡΕΟΓΡΑΦΙΚΗΣ ΠΡΟΒΟΛΗ.....	25
Εικόνα 17. Η secρ για επιλεγμένα γεωγραφικά πλάτη.....	26
Εικόνα 18.	27
Εικόνα 19. ΝΕΑ ΥΟΡΚΗ-ΛΟΝΔΙΝΟ: ΛΟΞΟΔΡΟΜΙΑ ΚΑΙ ΤΟΞΟ ΜΕΓΙΣΤΟΥ ΚΥΚΛΟΥ ΣΤΟ ΧΑΡΤΗ, ΤΟΥ MERCATOR.....	30
Εικόνα 20. Πετρογλυφικό τοπογράφημα της Bedolina, δείγμα προϊστορικού χάρτη...	34
Εικόνα 21. Ναυτιλιακό διάγραμμα από την Πολυνησία.....	35
Εικόνα 22. Χάρτης των Εσκιμών - Σύγχρονο διάγραμμα.....	36
Εικόνα 23. Χάρτης των Αζτέκων.....	36
Εικόνα 24. Τοπογραφικός χάρτης της πόλης Nirur (1500 π.Χ.).....	37
Εικόνα 25. Ο παλαιότερος χάρτης από τη Ga-Sur (2500 π.Χ.) Πήλινη πλάκα και σχεδιάγραμμα.....	38
Εικόνα 26. Η αντίληψη των Βαβυλωνίων για τη Γη (500 π.Χ.).....	39
Εικόνα 27. Ο Κόσμος σύμφωνα με τον Όμηρο (8ος αιώνας π.Χ.).....	41
Εικόνα 28. Ο Κόσμος σύμφωνα με τον Εκαταίο (6ος αιώνας π.Χ.).....	42
Εικόνα 29. Η μέτρηση του μεγέθους της γήινης σφαίρας από τον Ερατοσθένη (250 π.Χ.).....	43
Εικόνα 30. Χάρτης του Ερατοσθένη (194 π.Χ.).....	44

Εικόνα 31. Η Κράτειος σφαίρα (150 π.Χ.)	45
Εικόνα 32. Χάρτης Ίππαρχου (150 π.Χ.).....	46
Εικόνα 33. Η δεύτερη μέτρηση του μεγέθους της γήινης σφαίρας από τον Ποσειδώνιο (100 π.Χ.).....	47
Εικόνα 34. Χάρτης με βάση τον Πτολεμαίο, τέλος 15 ^{ου} αιώνα, Ιταλία	49
Εικόνα 35. Ο Κόσμος από τον Όμηρο, τον Εκαταίο, τον Ερατοσθένη και τον Πτολεμαίο.....	50
Εικόνα 36. Σύγχρονη απόδοση του “Orbis Terrarum”	51
Εικόνα 37. Απόσπασμα του Πίνακα Peutinger	52
Εικόνα 38. Hereford mappamundi (1290).....	53
Εικόνα 39. Σύστημα γεωγραφικών συντεταγμένων σύστημα (LAT/LONG)	55
Εικόνα 40.	56
Εικόνα 41.	57
Εικόνα 42.	60
Εικόνα 43.	61
Εικόνα 44.	62
Εικόνα 45.	62
Εικόνα 46.	63
Εικόνα 47. Ο εγκάρσιος πύλης σε αστρονομικές (radius astronomikus) και σε τοπογραφικές εφαρμογές (radius geometricus), για τη μέτρηση αποστάσεων και υψομετρικών διαφορών. Η μέτρηση της απόστασης μεταξύ της Σελήνης και ενός αστέρα σχετίζεται με το πρόβλημα του προσδιορισμού του γεωγραφικού μήκους.	66
Εικόνα 48. Ο εγκάρσιος πύλης από το βιβλίο του Peter Apianus.....	67
Εικόνα 49.	72
Εικόνα 50.	73
Εικόνα 51.	74
Εικόνα 52.	75
Εικόνα 53. Ένας αστρολάβος του 16ου αιώνα, απλούστερος τύπος, του αστρολάβου του Χώμφρεϋ.....	77
Εικόνα 54. Αστρολάβος	78
Εικόνα 55. Χάραξη υποδιαιρέσεων.	79
Εικόνα 56. Το polymetrum του Waldseemüller.....	80
Εικόνα 57. Το theodolitus του Diggest.....	81
Εικόνα 58. Το instrument topographicall.....	82
Εικόνα 59. Το instrument topographicall.....	83

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- # Βιβλίο του Δημήτριου Ρωσσικόπουλου «Το γεωγραφικό Μήκος» .
- # http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%93%CE%B5%CF%89%CE%B3%CF%81%CE%B1%CF%86%CE%B9%CE%BA%CE%AD%CF%82_%CF%83%CF%85%CE%BD%CF%84%CE%B5%CF%84%CE%B1%CE%B3%CE%BC%CE%AD%CE%BD%CE%B5%CF%82
- # http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%93%CE%B5%CF%89%CE%B3%CF%81%CE%B1%CF%86%CE%B9%CE%BA%CF%8C_%CE%BC%CE%AE%CE%BA%CE%BF%CF%82
- # http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%93%CE%B5%CF%89%CE%B3%CF%81%CE%B1%CF%86%CE%B9%CE%BA%CF%8C_%CF%80%CE%BB%CE%AC%CF%84%CE%BF%CF%82
- # ΙΩΑΝΝΗΣ Δ. ΔΟΥΚΑΣ, ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΡΩΣΣΙΚΟΠΟΥΛΟΣ, «Η ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΩΝ ΓΩΝΙΩΝ ΚΑΙ ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗΣ ΤΟΥ ΚΥΚΛΟΥ. ΜΙΑ ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗΣΤΑ ΟΡΓΑΝΑ ΚΑΙ ΤΙΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ».
- # «ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΗΣ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΑΣ»» ,Δρ Αγρονόμος Τοπογράφος Μηχανικός, ΕΥΑΝΘΙΑ Κ. ΜΙΧΑΗΛΙΔΟΥ