

ΑΣΤΡΟΛΑΒΟΣ, Η ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΟΥΡΑΝΙΑΣ ΣΦΑΙΡΑΣ ΣΤΟ ΕΠΙΠΕΔΟ

Φ. Βαφέα

Μαθηματικός, Υποψήφια Διδάκτωρ Πανεπιστημίου Paris 7

Abstract

The astrolabe was invented to facilitate the resolution of various astronomical problems. The theoretical bedrock of this instrument appears in the work "Planisphaerium" of Claudius Ptolemy (~ 150 AD), while the oldest surviving detailed description of its shape and use comes from Joannes Philoponus (6th c. AD). The astrolabe has been studied and improved by the Arabs, who transmitted the relative knowledge to Western Europe, while the study and the use of this instrument were kept up in Byzantium.

Περίληψη

Ο αστρολάβος υπήρξε ένα όργανο που επινοήθηκε για να διευκολύνει τη λύση διάφορων αστρονομικών προβλημάτων. Το θεωρητικό υπόβαθρο του αστρολάβου εμφανίζεται στο έργο «Ἀπλωσις επιφανείας σφαίρας» του Κλαύδιου Πτολεμαίου (150 μ.Χ.), ενώ η παλαιότερη διασωζόμενη λεπτομερής περιγραφή της μορφής και της χρήσης του αστρολάβου προέρχεται από τον Ιωάννη τον Φιλόπονο (6^{ος} αιών. μ.Χ.). Ο αστρολάβος μελετήθηκε και βελτιώθηκε από τους Άραβες, απ' όπου πέρασε και στη Δυτική Ευρώπη, ενώ η μελέτη και χρήση του συνεχίστηκε και στο Βυζάντιο.

Ο αστρολάβος, ένα όργανο που μπορεί να δώσει την εικόνα του ουρανού κάθε στιγμή πάνω στο επίπεδο του αναπαριστώντας την ημερήσια περιστροφή της ουράνιας σφαίρας, αποτελείται από ένα αβαθές κυκλικό δοχείο, στο οποίο τοποθετούνται τα τύμπανα για τα διάφορα κλίματα και πάνω από αυτά τοποθετείται η αράχνη, η οποία μπορεί να περιστρέφεται γύρω από έναν άξονα, που βρίσκεται στο κέντρο του δοχείου. Στα τύμπανα απεικονίζονται ο ουράνιος ισημερινός, οι τροπικοί του Καρκίνου και του Αιγόκερω, ο ορίζοντας του τόπου και οι παράλληλοι προς αυτόν κύκλοι, ενώ στην αράχνη απεικονίζεται η εκλειπτική και ορισμένα λαμπρά άστρα του ουρανού. Η απεικόνιση της ουράνιας σφαίρας πάνω στο επίπεδο γίνεται μέσω της στερεογραφικής προβολής από το νότιο πόλο στο επίπεδο του ισημερινού, η οποία αναφέρεται ως «Ἀπλωσις επιφανείας σφαίρας».

Ο Συνέσιος (4^{ος}-5^{ος} μ.Χ. αιών.) στο γράμμα του «Προς Παιόνιον»¹ αναφέρει ότι «Σφαιρικής επιφανείας ἐξάπλωσιν, ταυτότητα λόγων ἐν ἑτερότητι τῶν σχημάτων τηροῦσαν, ἤνιξάτο μὲν Ἴππαρχος ὁ παμπάλαιος, καὶ ἐπέθετό γε πρῶτος τῷ σκέμματι», όμως δεν διασώζεται κάποιο σχετικό κείμενο του Ἰππαρχου.

Το θεωρητικό υπόβαθρο για την κατασκευή του αστρολάβου παρουσιάζεται από τον Κλαύδιο Πτολεμαίο (2^{ος} αιών. μ.Χ.) στο έργο του «Ἀπλωσις επιφανείας σφαίρας». Δυστυχώς το πρωτότυπο ελληνικό κείμενο δεν έχει διασωθεί, υπάρχει όμως η μετάφρασή του στα Αραβικά από τον Μασάμα μπεν Ἄχμεντ αλ-Ματζρίτι (10^{ος} μ.Χ. αιών.) και η μετάφραση του αραβικού κειμένου στα Λατινικά από τον Hermannus Dalmata το 1143 μ.Χ. με τον τίτλο «Planisphaerium»².

¹ Συνέσιος: «Προς Παιόνιον - Περί του δώρου» (Ad Paeonium de dono astrolabii), από Terzaghi [1944, σ.132-142, παράγραφος 5].

² Η λατινική εκδοχή "Planisphaerium" έχει μεταφραστεί στα γερμανικά από τον Drecker [1927] ενώ η αραβική έχει μεταφραστεί στα αγγλικά από τον Anagnostakis [1984].

Ο Πτολεμαίος αναφέρει ότι η απεικόνιση της επιφάνειας της σφαίρας πάνω σε έναν κύκλο είναι δυνατή και απαραίτητη, και εξηγεί σε 20 ενότητες τη μέθοδο της απεικόνισης, η οποία μπορεί να περιγραφεί με συντομία ως εξής:

i) Περιγραφή της κατασκευής των στοιχείων του αστρολάβου:

- Κατασκευή του ισημερινού, των τροπικών και της εκλειπτικής ως κύκλων, ενώ οι ωριαίοι κύκλοι απεικονίζονται ως ευθείες (εν. 1).
- Κατασκευή του οριζοντα, παίρνοντας ως παράδειγμα το κλίμα της Ρόδου ($\varphi=36^\circ$), υπολογισμός της ακτίνας του κύκλου του οριζοντα και απόσταση του κέντρου του από το κέντρο του ισημερινού (εν. 7).

ii) Αποδείξεις ότι οι προβολές των μεγάλων κύκλων της σφαίρας πάνω στο επίπεδο διχοτομούνται:

- Η εκλειπτική διχοτομεί τον ισημερινό (εν. 1).
- Οι μεγάλοι κύκλοι που διέρχονται από τους πόλους του ισημερινού τέμνουν την εκλειπτική σε αντιδιαμετρικά σημεία (εν. 2).
- Ο οριζοντας διχοτομεί τον ισημερινό και τέμνει την εκλειπτική σε αντιδιαμετρικά σημεία (εν. 3).
- Οι μεγάλοι κύκλοι που διέρχονται από τους πόλους της εκλειπτικής και τέμνουν την εκλειπτική σε αντιδιαμετρικά σημεία, διχοτομούν τον ισημερινό (εν. 15).

iii) Σχετικά με τους παράλληλους προς τον ισημερινό κύκλους:

- Απόδειξη ότι η ακτίνα R του ισημερινού είναι ο γεωμετρικός μέσος των ακτίνων των δύο τροπικών (εν. 4).
- Υπολογισμός των ακτίνων των τροπικών και της εκλειπτικής, καθώς και της απόστασης μεταξύ των κέντρων της εκλειπτικής και του ισημερινού συναρτήσει της ακτίνας R του ισημερινού (εν. 4).
- Υπολογισμός των ακτίνων των παραλλήλων προς τον ισημερινό κύκλων που τέμνουν την εκλειπτική σε σημεία που απέχουν 30° ή 60° από τα τροπικά σημεία, συναρτήσει της ακτίνας R του ισημερινού (εν. 5-6).
- Κατασκευή του ισημερινού όταν δίνονται ο εξωτερικός κύκλος του οργάνου -ο οποίος είναι παράλληλος προς τον ισημερινό- και η γωνιώδης απόσταση μεταξύ των δύο αυτών κύκλων (εν. 14).

iv) Χρόνοι ανατολής (αναφορές) των ζωδίων και μέγιστη διάρκεια ημέρας:

- Υπολογισμός των ορθών αναφορών των ζωδίων, δηλ. των χρόνων ανατολής τους για παρατηρητή που βρίσκεται στον γήινο ισημερινό (εν. 8-9)³.
- Απόδειξη ότι οι χρόνοι ανατολής των ζωδίων στην κεκλιμένη σφαίρα (δηλ. για παρατηρητή εκτός ισημερινού) διαφέρουν από αυτούς στην ορθή σφαίρα, καθώς και ότι η διαφορά της διάρκειας της μεγαλύτερης ημέρας από την αυτήν της ισημερίας ισούται με τη διαφορά της διάρκειας της μικρότερης ημέρας από αυτήν της ισημερίας (εν. 10).
- Υπολογισμός της διαφοράς της διάρκειας της μεγαλύτερης (ή της μικρότερης) ημέρας από αυτήν της ισημερίας για το κλίμα της Ρόδου (εν. 11).
- Υπολογισμός των χρόνων ανατολής των ζωδίων στην κεκλιμένη σφαίρα (εν. 12-13).

v) Σχετικά με τους παράλληλους προς την εκλειπτική κύκλους:

- Μελέτη της κατασκευής των παραλλήλων προς την εκλειπτική κύκλων και απόδειξη ότι έχουν διαφορετικά μεταξύ τους κέντρα (εν. 16-19).

³ Η μελέτη των ορθών αναφορών των ζωδίων χρησιμεύει στη διαίρεση της εκλειπτικής. Για τον ίδιο σκοπό μπορούν να χρησιμοποιηθούν και οι παράλληλοι προς τον ισημερινό κύκλοι που περιγράφονται στις ενότητες 4-6. Ο Μασλάμα στο σχολιασμό του πάνω στο έργο αυτό του Πτολεμαίου περιγράφει τρόπους για τη διαίρεση της εκλειπτικής (βλ. Kunitzsch-Lorch [1994, σ.85-86]).

- Ο παράλληλος προς την εκλειπτική κύκλος, ο διερχόμενος δια του νότιου πόλου απεικονίζεται ως ευθεία (εν. 19).
- vi) Ο τρόπος τοποθέτησης των άστρων με βάση τις ισημερινές ή τις εκλειπτικές συντεταγμένες περιγράφεται στην ενότητα 20, όπου αναφέρονται επίσης και οι απεικονιζόμενες στο όργανο γραμμές: ο ισημερινός και οι παράλληλοί του, ο μεσημβρινός, η εκλειπτική και οι παράλληλοί της και ο ορίζοντας.

Τα περιεχόμενα του έργου του Πτολεμαίου δίνουν την εικόνα του οργάνου κατά την εποχή του. Η εικόνα αυτή παρουσιάζει διαφορές σε σύγκριση με μεταγενέστερες περιγραφές: έτσι στο έργο του Πτολεμαίου:

- i) Δεν αναφέρονται κύκλοι παράλληλοι προς τον ορίζοντα (almucantarat).
- ii) Η λεπτομερής μελέτη της κατασκευής των παραλλήλων προς την εκλειπτική κύκλων (εν. 16-19), η πρόταση η σχετική με τους διερχόμενους από τους πόλους της εκλειπτικής κύκλους (εν. 15) και η αναφορά ότι τα άστρα μπορούν να τοποθετηθούν στο όργανο με βάση τις εκλειπτικές τους συντεταγμένες (εν. 20), δείχνουν ότι ένα δίκτυο από κύκλους που αντιστοιχούν στις εκλειπτικές συντεταγμένες σχεδιάζοταν πάνω στον αστρολάβο την εποχή του Πτολεμαίου.
- iii) Ο υπολογισμός των ακτίνων των παραλλήλων προς τον ορίζοντα κύκλων, καθώς και η αναφορά ότι τα άστρα μπορούν να τοποθετηθούν στο όργανο με βάση τις ισημερινές τους συντεταγμένες (εν. 20), δείχνουν ότι κύκλοι παράλληλοι προς τον ισημερινό σχεδιάζονταν στον αστρολάβο. Η κατασκευή αυτών των κύκλων είναι απλή, αφού είναι ομόκεντροι με τον ισημερινό και ο υπολογισμός της ακτίνας τους συναρτήσης της απόκλισής τους περιγράφεται στην ενότητα 1. Εξάλλου η κατασκευή των ωριαίων κύκλων ως ακτίνων αναφέρεται συχνά (π.χ. εν. 1-2). Στην αραβική μετάφραση του έργου αναφέρεται ότι δεν είναι απαραίτητη η κατασκευή όλων των παραλλήλων προς τον ισημερινό κύκλων και ότι η τοποθέτηση των άστρων μπορεί να γίνει με βαθμολογημένο κανόνα και διαίρεση του ισημερινού σε μοίρες.
- iv) Δεν υπάρχει διευκρίνιση ή περιορισμός στο έργο σχετικά με το μέγιστο κύκλο που απεικονίζεται στο όργανο. Θα μπορούσε να είναι οποιοσδήποτε κύκλος του νότιου ημισφαιρίου παράλληλος προς τον ισημερινό. Ο Neugebauer⁴ ισχυρίζεται ότι αυτός είναι ο μέγιστος των αεί αφανών κύκλος, ενώ ο Thomson⁵ υποστηρίζει ότι αυτός είναι ο τροπικός του Αιγόκερω, όπως στους μεταγενέστερους αστρολάβους. Στην τελευταία περίπτωση, οι παράλληλοι προς την εκλειπτική κύκλοι με πλάτος $\beta < -2\epsilon$ δεν θα μπορούσαν να σχεδιαστούν στο όργανο, και η παρουσιαζόμενη στις ενότητες 18 και 19 μελέτη δεν θα είχε καμία πρακτική εφαρμογή⁶, π.χ. για το κλίμα της Ρόδου ($\phi = 36^\circ$) θα μπορούσαν να σχεδιαστούν μόνο οι κύκλοι που αντιστοιχούν σε εκλειπτικό πλάτος $\beta < -78^\circ$.

Η «Απλωση επιφανείας σφαίρας» παρέχει την απαραίτητη για την κατασκευή του αστρολάβου θεωρία της στερεογραφικής προβολής. Η στερεογραφική προβολή έχει δύο βασικές ιδιότητες: οι κύκλοι προβάλλονται σε κύκλους (οι ευθείες θεωρούνται κύκλοι με ακτίνα που τείνει στο άπειρο) ενώ διατηρείται η γωνία που σχηματίζουν δύο τυχούσες καμπύλες της επιφάνειας της σφαίρας. Οι ιδιότητες αυτές δεν αναφέρονται ρητά στο έργο του Πτολεμαίου.

Η χρήση του αστρολάβου εξαπλώνεται κατά τους 4^ο και 5^ο μ.Χ. αιώνες. Ο Παύλος ο

⁴ Neugebauer [1949, σ.247].

⁵ Thomson [1978, 51].

⁶ Στην ενότητα 18 εξετάζεται η κατασκευή κύκλων παραλλήλων προς την εκλειπτική, οι οποίοι βρίσκονται πολύ κοντά στο νότιο πόλο και επομένως η στερεογραφική τους προβολή έχει πολύ μεγάλη ακτίνα.

Αλεξανδρινός⁷ αναφέρει τη χρήση του αστρολάβου για τη μέτρηση του χρόνου και τον προσδιορισμό του ωροσκόπου. Η δεύτερη αυτή χρήση αναφέρεται και από τον Ηφαιστίωνα⁸.

Ο Συνέσιος χαρίζει ένα «όργανο» στον Παιόνιο⁹, η πρόχειρη περιγραφή του οποίου -διασωζόμενη στο συνοδευτικό γράμμα- δίνει την εικόνα αστρολάβου, αν και ο όρος «αστρολάβος» δεν αναφέρεται στο κείμενο. Στο ίδιο γράμμα ο Συνέσιος μιλά για τη «σεβασμιωτάτην διδάσκαλον» υπονοώντας την Υπατία, η οποία του δίδαξε τα σχετικά με το «όργανο». Τα πιο ενδιαφέροντα σημεία του γράμματος είναι τα ακόλουθα:

- i) Η αναφορά στον Ίππαρχο ως εμπνευστή του οργάνου, στο οποίο απεικονίζονταν 16 άστρα.
- ii) Ο μέγιστος κύκλος του οργάνου είναι ο ανταρκτικός (ὁ τε ἀνταρκτικός μείζων ἐντέτακται τῶν μεγίστων), δηλαδή ο μέγιστος των αεί αφανών κύκλος¹⁰.
- iii) Οι μέγιστοι κύκλοι που διέρχονται από τους πόλους απεικονίζονται ως ευθείες, λόγω του διαφορετικού σημείου θέασης.
- iv) Οι κύκλοι που απεικονίζονται είναι διαιρεμένοι σε μοίρες, για κάθε 5^η μοίρα χαράσσεται μεγαλύτερη γραμμή, ενώ σημειώνεται η αρίθμηση τους.
- v) Τα άστρα, που κατατάσσονται σε έξι μεγέθη, απεικονίζονται διατηρώντας τους σχηματισμούς τους.
- vi) Αναφέρεται η άνθιση της θεωρητικής μελέτης του οργάνου κατά την εποχή του, αλλά και η κατασκευή τέτοιων οργάνων¹¹.

Στο λεξικό «Σούδα» (10^{ος} αιών. μ.Χ.) αναφέρεται το έργο «Εἰς τὸν μικρὸν ἀστρολάβον ὑπόμνημα» του Θέωνα του Αλεξανδρινού (4^{ος} αιών. μ.Χ.) -πατέρα της Υπατίας- το οποίο όμως κατά τα φαινόμενα δεν διασώζεται. Ο Άραβας ιστορικός Γιακούμπι διασώζει τους τίτλους έργου σχετικού με τη χρήση του αστρολάβου¹², αποδίδοντάς τους στον Πτολεμαίο, αλλά πολλοί ισχυρίζονται ότι οι τίτλοι προέρχονται από το έργο του Θέωνα. Ορισμένοι από τους τίτλους αυτούς εμφανίζονται στα έργα μεταγενέστερων όπως του Ιωάννη του Φιλόπону, του Σεβέρου Σεμπόχτ και διαφόρων Αράβων καθώς και Λατίνων συγγραφέων, και δείχνουν την καθοριστική σημασία του έργου αυτού στη μελέτη του αστρολάβου.

Η πραγματεία «Περὶ τῆς ἀστρολάβου χρήσεως καὶ κατασκευῆς»¹³ του Ιωάννη του Φιλόπону από την Αλεξάνδρεια (6^{ος} αιών. μ.Χ.) είναι η παλαιότερη σωζόμενη με αυτό το θέμα. Αποτελείται από 15 ενότητες: μια λεπτομερής περιγραφή του αστρολάβου παρουσιάζεται στις ενότητες 2-4, ενώ η χρήση του οργάνου περιγράφεται στις ενότητες 5-15. Σύμφωνα με την περιγραφή του Ιωάννη ο αστρολάβος έχει την εξής μορφή:

α. Το πίσω μέρος του αστρολάβου (σχήμα 1) περιλαμβάνει τη διόπτρα, μια πεπλατυσμένη ράβδο που καταλήγει σε δύο δείκτες και είναι εφοδιασμένη με δύο μικρές

⁷ Παύλος Αλεξανδρινός [1958, σ.80-81(κεφ. 29)].

⁸ Ηφαιστίων Αστρολ. Θηβαίος, [1973. Lib 2: σ.88, Lib 3: σ 234] και [1974, επιτ. 2 ο.2 και επιτ. 4 σ 269].

⁹ Συνέσιος: «Προς Παιόνιον - Περὶ τοῦ δώρου», ἀπὸ Terzaghi [1944, σ.132-142].

¹⁰ Ὅπως περιγράφεται ἀπὸ τὸν Γεμίνιο. βλ. Γεμίνιος [1975] κεφάλαιο 5. "Περὶ τῶν ἐν τῇ σφαιρᾷ κύκλων" (sections 3 και 9).

¹¹ «ἡμεῖς δέ, εἰ μὴ μείζον ἢ καθ' ἡμᾶς εἰπεῖν, ἐξυφηνάμεν τε ἄχρι τῶν κρασπέδων αὐτὸ καὶ ἐτελειώσαμεν, ... τὸ δὴ σκέμμα τὸ περὶ τῆς ἐξαπλώσεως, αὐτὸ δι' αὐτὸ φροντίδος ἀξιώσαντες, ἐξεπονήσαμεν τε καὶ σύγγραμμα εἰργασάμεθα, πλήθει τε ἀναγκαίῳ καὶ ποικιλίᾳ θεωρημάτων αὐτὸ καταπυκνώσαντες, καὶ εἰς ὕλην μεταθεῖναι τοὺς λόγους σπουδῆν ἐθέμεθα».

¹² Sezgin [1974, σ.173-174].

¹³ Ιωάννης Φιλόπону [1839, σ.129-156].

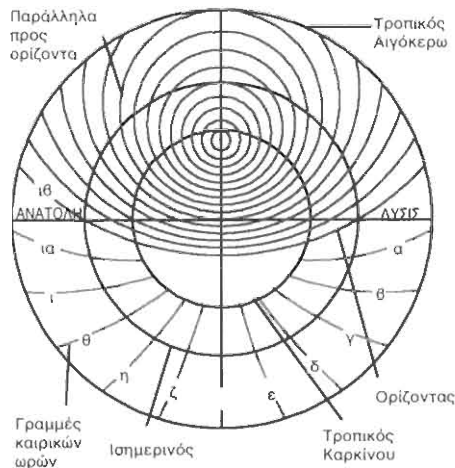


Σχ. 1. Πίσω μέρος αστρολάβου.

μεταλλικές πλάκες, τοποθετημένες κάθετα στη ράβδο· η κάθε μια από αυτές έχει μια τρύπα απ' όπου μπορεί κανείς να δει τα ουράνια σώματα. Η διόπτρα μπορεί να περιστρέφεται γύρω από έναν κεντρικό άξονα. Όταν μια ακτίνα φωτός προερχόμενη από ένα ουράνιο σώμα διαπερνά και τις δύο τρύπες της διόπτρας, τότε ο δείκτης της δίνει το ύψος του ουράνιου σώματος σε ένα από τα δύο βαθμολογημένα -από 0° έως 90°- τεταρτοκύκλια του πάνω ημικύκλιου. Η οριζόντια διάμετρος της περιφέρειας του αστρολάβου παριστάνει τον οριζοντα, ενώ η κατακόρυφη το μεσημβρινό. Κατά τη μέτρηση του ύψους ο αστρολάβος κρεμιέται από τον κρίκο που βρίσκεται στο πάνω μέρος του.

β. Στην κοιλότητα του μπροστινού μέρους του δοχείου του αστρολάβου τοποθετούνται τα τύμπανα και η αράχνη, ενώ η εξέχουσα στεφάνη, η λεγόμενη «ίτις», είναι βαθμολογημένη από 0° έως 360°.

Τα τύμπανα (σχήμα 2) αντιστοιχούν στα διάφορα κλίματα. Η οριζόντια διάμετρος του κάθε τύμπανου παριστάνει τον οριζοντα της ορθής σφαίρας, ενώ η κατακόρυφη το μεσημβρινό. Ο οριζοντας του τόπου παριστάνεται με ένα τόξο που καθορίζει τα



όρια μεταξύ του πάνω και του κάτω ημισφαιρίου της ουράνιας σφαίρας. Πάνω από τον ορίζοντα γράφονται οι κύκλοι οι παράλληλοι προς αυτόν. Μπορεί να γράφονται ανά 1, 2 ή 3 μοίρες οπότε ο αστρολάβος λέγεται μονομοιριαίος, διμοιριαίος ή τριμοιριαίος. Οι παράλληλοι αυτοί διχτομοούνται από το μεσημβρινό και χωρίζονται σε ανατολικά και δυτικά ημικύκλια. Οι εξωτερικοί παράλληλοι προς τον ορίζοντα κύκλοι απεικονίζονται ως τόξα. Οι παράλληλοι αριθμούνται, αρχίζοντας από τον ορίζοντα, από 0° έως 90°. Κάτω από τον ορίζοντα γράφονται οι 12 καμπύλες γραμμές των καιρικών ωρών. Η αρίθμηση των ωρών αρχίζει από τη δύση, ενώ η γραμμή της 12^{ης} ώρας συμπίπτει με τον ανατολικό ορίζοντα. Οι τρεις κύκλοι που αντιστοιχούν στον ισημερινό και τους τροπικούς του Καρκίνου και του Αιγόκερω γράφονται επίσης πάνω στα τύμπανα. Ο τροπικός του Αιγόκερω συμπίπτει με την περιφέρεια του τύμπανου. Σε κάθε τύμπανο σημειώνεται το κλίμα στο οποίο αντιστοιχεί, η διάρκεια της μεγαλύτερης ημέρας του σε ισημερινές ώρες και το γ. πλάτος του.

Η αράχνη τοποθετείται πάνω από τα τύμπανα. Σε αυτήν απεικονίζονται η εκλειπτική και κάποια από τα πιο λαμπρά άστρα. Η εκλειπτική χωρίζεται σε 12 ζώδια, από τον Κριό έως τους Ιχθύες, ενώ το κάθε ζώδιο διαιρείται σε 30°. Στην αρχή του Αιγόκερω μια μικρή προεξοχή στην αράχνη, το μοιρογνωμόνιο της αράχνης, χρησιμεύει στη λύση μιας σειράς προβλημάτων με τη χρήση του αστρολάβου. Πάνω στην αράχνη τοποθετούνται 17 ή και περισσότερα άστρα· από αυτά αναφέρονται ο Λυραίος, ο Αρκτούρος και ο Στάχυς.

Οι χρήσεις του αστρολάβου που περιγράφονται από τον Ιωάννη είναι οι εξής: Μέτρηση του ύψους του Ήλιου ή κάποιου άστρου και προσδιορισμός του χρόνου σε καιρικές ώρες μέρας ή νύχτας· μπορούν να υπολογιστούν και κλάσματα της ώρας. Προσδιορισμός -με βάση το ύψος που μετρήθηκε- των 4 κέντρων, δηλ. του σημείου της εκλειπτικής που ανατέλλει (ωροσκόπου), αυτού που δύει και αυτών που μεσουρανούν πάνω ή κάτω. Εξέταση κατά πόσο ο Ήλιος ή ένα άστρο βρίσκονται πριν ή μετά τη μεσουράνηση. Υπολογισμός του μέγιστου ύψους κάθε σημείου της εκλειπτικής. Υπολογισμός των χρόνων ανατολής και δύσης (αναφορών και καταφορών) των ζωδίων σε κάθε κλίμα. Υπολογισμός των ισημερινών χρόνων που αντιστοιχούν σε μια καιρική ώρα ημέρας ή νύχτας. Προσδιορισμός της θέσης του Ήλιου στην εκλειπτική και του μέγιστου ύψους του Ήλιου. Το ίδιο όταν ο Ήλιος βρίσκεται κοντά στα τροπικά σημεία. Προσδιορισμός των σημείων της εκλειπτικής, όπου ο Ήλιος έχει το ίδιο μέγιστο ύψος. Προσδιορισμός της θέσης των πλανητών στην εκλειπτική. Υπολογισμός της απόκλισης του Ήλιου, των άστρων, των πλανητών και της σελήνης. Η περιγραφή της χρήσης του αστρολάβου από τον Ιωάννη Φιλόπονο είναι λεπτομερής, ακριβής και εύληπτη.

Στηριγμένος στην ελληνική παράδοση του αστρολάβου ο Σεβέρους Σεμπόχτ (αρχές 7^{ου} αι. μ.Χ.) γράφει μια πραγματεία για τον αστρολάβο στη συριακή γλώσσα¹⁴, χρησιμοποιώντας την ελληνική ορολογία γραμμένη με το ιδιότυπο συριακό αλφάβητο. Ο Neugebauer θεωρεί ότι το έργο αυτό διασώζει τη χαμένη πραγματεία του Θέωνα¹⁵, αλλά μια προσεκτική μελέτη του έργου του Σεμπόχτ δείχνει ότι αυτό είναι συνονθύλευμα τουλάχιστον δύο πραγματειών: στη μία ο αστρολάβος έχει ως μέγιστο κύκλο τον τροπικό του Αιγόκερω, ενώ στην άλλη τον μέγιστο των αεί αφανών κύκλο¹⁶. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να παρουσιάζονται αντικρουόμενες πληροφορίες σε σχέση με την περιγραφή του αστρολάβου. Η πραγματεία του Σεμπόχτ ασχολεί-

¹⁴ Το συριακό κείμενο με γαλλική μετάφραση και εισαγωγικά σχόλια δημοσιεύτηκε από τον Nau [1899].

¹⁵ Neugebauer [1949, σ.242-245].

¹⁶ Vafea [2006].

ται με περισσότερα θέματα απ' ότι αυτή του Φιλόπονου, αλλά περιέχει πολλά λάθη που σε καμία περίπτωση δεν μπορούμε να τα αποδώσουμε στον Θέωνα.

Τον 7^ο αιώνα μ.Χ. οι Άραβες ξεχύνονται από την αραβική χερσόνησο για να διαδώσουν τη νέα τους θρησκεία και το 715 μ.Χ. έχουν εξαπλωθεί από την Ιβηρική χερσόνησο ως τα σύνορα της Κίνας. Ο θαυμασμός τους για την ελληνική επιστήμη, τους ωθεί να μεταφράσουν συστηματικά και σωστά πολλά έργα Ελλήνων συγγραφέων. Ο αστρολάβος γίνεται αντικείμενο μελέτης και νέα στοιχεία εμφανίζονται σ' αυτόν όπως τα τόξα των αζιμουθίων, η σκιά (συνεφαπτομένη του ύψους), οι γραμμές των ισημερινών ωρών, τα τόξα του λυκαυγούς και του λυκόφωτος, οι γραμμές των ωρών της προσευχής κ.ά. Νέοι τύποι αστρολάβων εμφανίζονται, όπως ο γραμμικός αστρολάβος του αλ-Τούσι καθώς και αστρολάβοι βασισμένοι σε στερεογραφική προβολή από σημείο διαφορετικό των πόλων του ισημερινού, όπως ο παγκόσμιος αστρολάβος του αλ-Ζαρκάλλι και του Άλι ιμπν Χάλαφ. Εκτός από τη στερεογραφική προβολή μελετώνται η κωνική και η κυλινδρική από τους αλ-Κούχι, ιμπν Σαχλ, αλ-Μπιρούνι κ.ά. Πολλές πραγματείες για την κατασκευή και τη χρήση του αστρολάβου γράφονται, όπως αυτή του Αμπντ αλ-Ραχμάν αλ-Σούφι που περιείχε 1.760 κεφάλαια, της οποίας μόνο το δεύτερο μισό σώζεται. Εκατοντάδες αστρολάβοι αραβικής προέλευσης θρίσκονται σήμερα σε μουσεία όλου του κόσμου.

Το ενδιαφέρον των Βυζαντινών για τον αστρολάβο μεταξύ του 12^{ου} και του 14^{ου} αιώνα φαίνεται από τις πραγματείες που γράφονται κατά την περίοδο αυτή. Ο Ιωάννης Καματηρός γράφει την εισαγωγή στην Αστρονομία -ποίημα 4107 στίχων σε δεκαπεντασύλλαβο- αφιερωμένο στον αυτοκράτορα Εμμανουήλ Κομνηνό (βασ. 1143-1180). Στους στίχους 2153-2281 περιγράφονται ο αστρολάβος και οι χρήσεις του για την εύρεση του ύψους, τη μέτρηση του χρόνου σε καιρικές ώρες της ημέρας ή της νύχτας, καθώς και τον προσδιορισμό του ωροσκόπου και των υπόλοιπων τριών κέντρων.

Ο Νικηφόρος Γρηγοράς, φιλόσοφος (13-14 μ.Χ. αιών.) γράφει δύο πραγματείες για τον αστρολάβο: «Πόνημα περί κατασκευής καί γενέσεως άστρολάβου»¹⁷. Η πρώτη ασχολείται με την κατασκευή των κύκλων που γράφονται στα τύμπανα του αστρολάβου και την αράχνη (τροπικοί, ισημερινός, ορίζοντας και παράλληλοι προς αυτόν, εκλειπτική) και την τοποθέτηση των άστρων στην αράχνη, ενώ η δεύτερη ασχολείται με τη θεωρία της στερεογραφικής προβολής.

Ο Ισαάκ Αργυρός, μοναχός (~ 1310-1371), γράφει πραγματεία πάνω στην κατασκευή του αστρολάβου με επιστημονική απόδειξη¹⁸.

Ο Θεόδωρος Μελιτηνιώτης, μεγάλος σακελλάριος και αρχιδιάκονος (~ 1310-1388), γράφει την «Αστρονομική Τρίβιβλο»¹⁹. Το δεύτερο μισό του πρώτου βιβλίου ασχολείται με τον αστρολάβο. Στο μακροσκελές κεφάλαιο 11 περιγράφεται η κατασκευή του αστρολάβου, ενώ στα κεφάλαια 12-25 εξηγείται η χρήση του. Εκτός αυτών είναι γνωστές και ανώνυμες βυζαντινές πραγματείες σχετικές με τον αστρολάβο. Ένα μόνο δείγμα Βυζαντινού αστρολάβου του 1062 μ.Χ. διασώζεται και βρίσκεται στο Μουσείο Civico της Brescia. Περιλαμβάνει ένα μοναδικό τύμπανο για τα γεωγραφικά πλάτη του Βυζαντίου (41^ο) και του Ελλησπόντου (40φ), ενώ ο πάτος του δοχείου έχει τη μορφή τυμπάνου που αντιστοιχεί στο γ. πλάτος της Ρόδου (36^ο)²⁰. Αξίζει να σημειωθεί ότι ακόμα και κατά την περίοδο της Τουρκοκρατίας τυπώνεται

¹⁷ Δημοσιεύτηκε από Delatte [1939, σ.195-208, 213-235].

¹⁸ Δημοσιεύτηκε από Delatte [1939].

¹⁹ Δημοσιεύτηκε από Leurquin [1990, 1993].

²⁰ Για περισσότερες λεπτομέρειες βλ. Dalton [1926].

στην Ελληνική γλώσσα το έργο «Περί κατασκευής και χρήσεως αστρολαβίου»²¹. Η παρουσία των Αράβων στην Ιβηρική χερσόνησο έγινε η γέφυρα για τη μεταφορά της σχετικής με τον αστρολάβο γνώσης στη Δυτική Ευρώπη από τον 10^ο μ.Χ. αιώνα, που είχε ως επακόλουθο την περαιτέρω μελέτη και βελτίωση του οργάνου, τόσο στο Μεσαίωνα, όσο και στην Αναγέννηση.

Βιβλιογραφία

Anagnostakis, C., 1984, *The Arabic version of Ptolemy's Planisphaerium*, University Microfilms International, Ph.D. Thesis, Yale Univ.

Ανθρακίτης, Μ., 1749, *Οδός Μαθηματικής*, Αντ. Βόρτολι, Βενετία.

Γεμίνοσ (ed. Aujac, G.) 1975, *Geminos. Introduction aux phénomènes*, Les Belles Lettres, Paris.

Dalton, O.M., 1926, *The Byzantine Astrolabe at Brescia*, Proceedings of the British Academy, London.

Delatte, A., 1939, *Anecdota Atheniensia et alia 2*, Paris: Faculté de Philosophie et Lettres, Liège.

Drecker, J., 1927, *Das Planisphaerium des Claudius Ptolemaeus*, ISIS IX, pp.255-278, Bruxelles.

Ηφαιστίων (ed. Pingree, D.), 1973-1974, *Hephaestionis Thebani apotelesmaticorum libri tres*. vol. 1-2, Teubner, Leipzig.

Ιωάννης Φιλόπονος, (ed. Hase, H.), 1839, "Joannis Alexandrini, cognomine Philoponi, de usu aströlabii ejusque constructione libellus", *Rheinisches Museum* 6, pp.129-156, Bonnae.

Kunitzsch, P., Lorch, R., 1994, *Maslama's notes on Ptolemy's Planisphaerium and related texts*, Verlag der Bayeri. Akademie der Wissenschaften, München.

Leurquin, R., 1990-1993, *Théodore Méliéniote, Tribiblos Astronomique, Livres I -II*, Gieben - Hakkert, Amsterdam.

Nau, M.F., 1899, *Sévère Sabokt: Traité sur l'astrolabe plan*, *Journal Asiatique* v.XIII, pp.56-101, 238-303, Paris.

Neugebauer, O., 1949, *The Early History of the Astrolabe*, ISIS 40 (3).

Πάυλος Αλεξανδρ. (ed. Boer, E.), 1958, *Pauli Alexandrini elementa apotelesmatica*, Teubner, Leipzig.

Sezgin, F., 1974, *Geschichte des arabischen Schrifttums*, Band V, *Mathematik*, E.J. Brill, Leiden.

Σούδα Λεξικόν (ed. Adler, A.), 1928-1935, *Suidae lexicon*, 4 vols. [Lexicographi Graeci], Teubner, Leipzig.

Terzaghi, N., 1944, *Synesii Cyrenensis opuscula*, Polygraphica, Rome.

Thomson, R., 1978, *Jordanus de Nemore and the Mathematics of the Astrolabes: De Plana Spera*, Pontifical Institute of Mediaeval Studies, Toronto.

Vafea, F., 2006, *Les traités d'Abd al-Rahman al-Sufi sur l'astrolabe*, Ph.D. Thesis, Paris VII, Paris.

²¹ Ανθρακίτης [1749] τόμος 3^{ος}.