

ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΜΕ ΓΡΑΝΑΖΙΑ

ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΡΧΑΙΟΤΗΤΑ ΕΩΣ ΣΗΜΕΡΑ: ΜΙΑ ΣΥΝΕΧΗΣ ΠΑΡΑΔΟΣΗ

M.T. Wright

Μηχανικός - Ιστορικός Μηχανισμών

Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων, το πιο εντυπωσιακό και αδιαμφισβήτητο τεκμήριο όσον αφορά το αξιοσημείωτο επίπεδο επιτήδευσης στην κατασκευή λεπτότεχνων και πολύπλοκων τεχνικών οργάνων από την ελληνιστική περίοδο, αποτέλεσε το αντικείμενο προηγούμενου άρθρου μου στο περιοδικό *Αρχαιολογία και Τέχνες*¹. Το τέχνητρο αυτό έχει γίνει πλέον τόσο γνωστό και αποδεκτό, ώστε εύκολα μπορεί να λησμονήσει κανείς ότι μέχρι πρόσφατα δεν συνέβαινε κάτι τέτοιο. Στην αναζήτηση τεκμηρίων, ή στην αναζήτηση κατανόησης των τεκμηρίων όταν ήταν διαθέσιμα, γενιές μελετητών διδάσκονταν ότι οι Έλληνες δεν επιδείκνυαν ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τη μηχανική τεχνολογία. Δινόταν έμφαση στο ότι οι συσκευές που περιγράφονταν από συγγραφείς όπως ο Ήρων στηρίζονταν, όσον αφορά τις λειτουργίες τους, σε ένα μάλλον περιορισμένο ρεπερτόριο απλών μηχανικών συνδυασμών: στοιχεία φιλολογικών πηγών που φαινόταν να υποδεικνύουν ότι ίσως να υπήρξαν πιο πολύπλοκα τμήματα μηχανισμών απορρίπτονταν ως φιλολογικές υπερεκτιμημένες απόψεις, ή απλώς αγνοούνταν. Ακόμη και αφότου η πολυπλοκότητα και η λεπτοτεχνία του Μηχανισμού των Αντικυθήρων είχαν γίνει ευρέως γνωστές, κυρίως μέσω της δημοσίευσης του έργου του Πράις *Γρανάζια από τους Έλληνες*², το τέχνημα αυτό θεωρούνταν μεμονωμένο έργο μιας ιδιοφυΐας.

Ηταν λοιπόν φυσικό να χρειαστεί χρόνος για να αφομοιώσουμε το μάθημα που μας έδωσε ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων, ενώ μόνο με την εμφάνιση πρόσφατα ενός δεύτερου εργαλείου με οδοντωτό μηχανισμό, αν και πολύ απλούστερο, το οποίο χρονολογείται στην ύστερη αρχαιότητα και –όπως και στην περίπτωση του Μηχανισμού των Αντικυθήρων– σώζεται μόνο αποσπασματικά, αναγκάστηκε ο κόσμος να υιοθετήσει μια διαφορετική άποψη. Από τότε και στο εξής δεν ήταν πλέον τόσο απλό να αποφυγούμε το συμπέρασμα ότι μικροί οδοντωτοί μηχανισμοί, συσκευές που πρωτίτερα υποθέταμε ότι ανήκαν στη δική μας «φωλογιακή εποχή» –που ξεκίνησε κατά τους ύστερους μεσαιωνικούς χρόνους και εκτείνεται μέχρι σήμερα– ανήκαν σε μια παράδοση που είχε τις ρίζες της πολύ νωρίτερα στην ιστορία.

Η ανακάλυψη του Βυζαντινού Ηλιακού Ρολοιού/Ημερολογίου

Το δεύτερο αρχαίο εργαλείο με οδοντωτό μηχανισμό εμφανίστηκε μόλις το 1983, όταν τα σωζόμενα τμήματά του έφτασαν στο Μουσείο Επιστημών του Λονδίνου για να ταυτιστούν. Η σημασία του ήταν άμεσα αναγνωρίσιμη, καθώς επρόκειτο για οδοντωτούς τροχούς που έφεραν ελληνική γραφή. Τα θραύσματα και μια ανακατασκευη του ατελούς εργαλείου, που εξηγήει επαρκώς την πολύπλοκη ονομασία του, περιγράφονται στη συνέχεια. Ωστόσο, προτού ακόμη εξεταστούν λεπτομερώς τα υλικά καταλοιπία του, μας απασχόλησε ο προσδιορισμός της αυθεντικότητας των τμημάτων του και της πιθανής τους ηλικίας.

Δυστυχώς, η προέλευση των τμημάτων δεν αποδείχτηκε ιδιαίτερα χρήσιμη στον προσδιορι-

σμό είτε της ηλικίας είτε του τόπου καταγωγής του τέχνηργου. Το εργαλείο ήταν από ορειχάλκινο και η προέλευση των αρχικών συστατικών αυτού του κράματος δεν μπορεί ακόμη να ανιχνευτεί με ισοτοπική ανάλυση. Μη καταστρεπτική εξέταση με φασματομετρία φθορισμού ακτίνων Χ έδειξε ότι οι αναλογίες τόσο των βασικών συστατικών (χαλκός και ψευδάργυρος) όσο και των τριών χροσμοχρωστικών (κυρίως κασσίτερος, μόλυβδος και σίδηρος) σε όλα τα θραύσματα συνηγορούν υπέρ μιας πρώιμης εποχής κατασκευής του, καθώς και ότι το υλικό των τεσσάρων τμημάτων ήταν όμοιο σε τέτοιο βαθμό, ώστε να αποδεχτούμε ότι προέρχονταν από το ίδιο εργαστήριο κατασκευής, αλλά η επιστημονική ανάλυση δεν μπορούσε να προχωρήσει πέρα από αυτό το σημείο. Αντίστοιχα, η μελέτη της τεχνικής επεξεργασίας των θραυσμάτων δεν μπορούσε να μας δώσει περισσότερα στοιχεία παρά έδειξε μόνο ότι όντως η απόδοσή τους σε πρώιμη χρονολογία δεν ήταν ασυμβίβη.

Παρ' όλα αυτά, μπορέσαμε να καταλήξουμε σε μια εκτίμηση όσον αφορά την ηλικία του εργαλείου, βασισμένοι στις επιγραφές και σε άλλα στοιχεία των τμημάτων του. Τα τεκμήρια περιλαμβάνουν το σύνολο των τοπωνυμίων που είναι χαραγμένα στο μεγαλύτερο τμήμα, τις τιμές που δίνονται όσον αφορά τα γεωγραφικά πλάτη αυτών των πόλεων και περιφερειών, τις συντομογραφίες για τα ονόματα των μηνών του ιουλιανού ημερολογίου, τον τύπο της γραφής, την παρουσία συμβόλων που σαφώς προσδιορίζουν ημέρες της εβδομάδας και το ύψος αυτών των παραστάσεων. Καθένα από αυτά τα στοιχεία μπορεί να υποδεικνύει μία ελαφρώς διαφορετική χρονολόγηση, αλλά οι διάφορες εκτιμήσεις συγκλίνουν αρκετά ώστε να είναι συμβατές, συμπιπτοντας τελικά σε μια αποδεκτή χρονική περίοδο. Συνοπλοποιώντας τα διάφορα στοιχεία, φαίνεται πιθανό ότι το όργανο είχε κατασκευαστεί τον 5ο αιώνα ή στο πρώτο μισό του 6ου αιώνα μ.Χ.

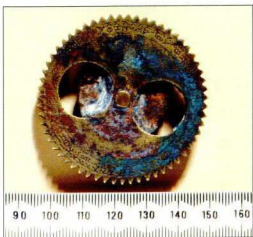
Ο κατάλογος με τα τοπωνύμια πόλεων και περιφερειών, διασκοπισμένων σε μεγάλο μέρος της Βυζαντινής Αυτοκρατορίας εκείνης της



1. Το Βυζαντινό Ηλιακό Ρολόι Ημερολόγιο, Μουσείο Επιστημών, Λονδίνο, αρ. ευρ. 1983-1393. Τα τέσσερα τμήματα που σώζονται: ο κύριος δίσκος με σημάδια ηλιακού ρολογιού, ο βραχιόνιος ανάρτησης και ο δακτυλίσκος, και δύο κινητά τμήματα.

εποχής, δεν οδηγεί σε κάποιο συμπέρασμα σχετικό με το πού μπορεί να είχε κατασκευαστεί το τέχνηργο. Όμως ακόμη και εάν γνωρίζαμε πού είχε ανακαλυφθεί, και πάλι δεν θα είχαμε περισσότερα στοιχεία, δεδομένου ότι ένα τέτοιου τύπου ηλιακό ρολόι ήταν σχεδιασμένο ώστε να μεταφέρεται από έναν ταξιδιώτη. Το μόνο που μπορούμε να πούμε είναι ότι είχε κατασκευαστεί σε εκείνο το μέρος του κόσμου όπου χρησιμοποιούνταν η ελληνική γραφή.

Δεδομένου ωστόσο ότι η κύρια σημασία αυτού του τέχνηργου είναι πως αποτελεί τεκμήριο για την πρώιμη ιστορία των μηχανισμών με γρανάζια και πως τέτοιου είδους τεκμήρια είναι τόσο λιγοστά, ο τόπος κατασκευής δεν είναι ουσιαστικά σημαντικός. Αλλά και η εικόνα που έχουμε γι' αυτό δεν θα αλλοιωνόταν σημαντικά εάν μελλοντικές εργασίες μας επέβαλλαν να αποδεχτούμε μια νέα χρονολόγηση, ακόμη και αν απέκλινε κατά πολλούς αιώνες από αυτήν που έχουμε, είτε νωρίτερα είτε αργότερα. Δεδομέ-



2. Το Βυζαντινό Ηλιακό Ρολόι Ημερολόγιο: ο δίσκος της Σελήνης με τις ημέρες του μήνα χαραγμένες σε ελληνική γραφή. Αρχικά, ο δίσκος είχε σταβωθεί με γύψο και οι απές είχαν πιθανώς διατηρήσει ίχνη κάποιας ακουαχρωμικής ουσίας.

3. Το Βυζαντινό Ηλιακό Ρολόι Ημερολόγιο: βλέπουμε τον άξονα που έφερε ένα δείκτη για τις ημέρες της εβδομάδας, με τον οποίο σφραγίσαν, από την οπίσθια όψη ώστε να φανούν τα δόντια του γραναζιού πίσω από τον αναστολέα που τον εμποδίζει να στρέφεται ανάποδα.



4. Το Βυζαντινό Ηλιακό Ρολόι/Ημερολόγιο: τα δύο κινητά τμήματα, συναρμολογημένα στην πίσω όψη του κυρίως δίσκου, δείχνουν πώς το μικρό γρανάζι με τα επτά δόντια, που στρεφόταν μία φορά την εβδομάδα, κινεί τον δίσκο της Σελήνης με τα 59 δόντια.

νης της σημασίας του ως επιστημονικού τέχνηρου, και παρά την ταπεινή του καταγωγή, το Μουσείο Επιστημών το απέκτησε. Έγινε γνωστό ως το Βυζαντινό Ηλιακό Ρολόι/Ημερολόγιο του Λονδίνου³. Η ανακάλυψη του γιορτάστηκε με μια ειδική έκθεση που διοργάνωσε το Μουσείο, ο κατάλογος της οποίας δημοσιεύτηκε αργότερα στα ελληνικά⁴.

Στον κατάλογο της έκθεσης οι συγγραφείς επιχειρήσαν να εκφράσουν την άποψή τους που αντανάκλα μία πιο ευρεία οπτική. Σύμφωνα με αυτήν την άποψη, ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων και το Ηλιακό Ρολόι/Ημερολόγιο συνδέονται και εντάσσονται σε μια συνεχή και, πολύ πιθανώς, ενιαία παραδοχή κατασκευής μηχανισμών με γρανάζια στο πλαίσιο του ελληνόφωνου κόσμου.

Τα σωζόμενα τμήματα του μηχανισμού και η μερική ανακατασκευή του

Είναι σαφές ότι το Βυζαντινό Ηλιακό Ρολόι/Ημερολόγιο ήταν πολύ απλούστερο όργανο απ' ό,τι ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων, αλλά, καθώς προέρχεται από μια μεταγενέστερη περίοδο κατά την οποία πολλές τέχνες θεωρείται ότι βρισκόνταν σε παρακμή, ήταν σχεδόν εξίσου μη αναμενόμενο. Έχουμε τέσσερα τμήματα και, σύμφωνα με μια «βασική ανακατασκευή» (μια ανακατασκευή που επιχειρεί να συμπεριλάβει όλα τα χαρακτηριστικά των τμημάτων που διασώζονται με την ελάχιστη δυνατή προσθήκη στοιχείων), τα τμήματα αυτά αποτελούν σχεδόν το μισό όργανο.

Το μεγαλύτερο τμήμα αναγνωρίζεται ως ο δίσκος της βάσης ενός φορητού ηλιακού ρολογιού, ενός τύπου που είναι γνωστός από την επίβληση κάποιων άλλων παραδειγμάτων έως τη σύγχρονη εποχή⁵. (Ορισμένα έχουν χαθεί από τότε, τόσο υπάρχουν επαρκή αρχεία σχετικά με αυτά.) Ο βραχίονας με τη συνδετική περιστρεφόμενη περόνη και το δακτύλιο ταυτίζεται ως το μέρος από το οποίο το κρατούσαν ψηλά κατά τη χρήση. Και τα δύο, ωστόσο, φέρουν ασυνήθιστα χαρακτηριστικά.

Ας εξετάσουμε πρώτα το βραχίονα και το δακτύλιο. Ο βραχίονας θα πρέπει να προσαρμόζονταν πάνω στο δίσκο με ένα καρφί που περνούσε μέσα από την οπή του ίδιου και μέσα από την κεντρική οπή του δίσκου, έτσι ώστε να μπορεί να περιστρέφεται. Ο δείκτης κοντά στην εξωτερική άκρη θα πρέπει να είχε ρυθμιστεί σύμφωνα με την κλίμακα κοντά στην άκρη του δίσκου, ώστε να προσαρμόζει τον ωρολογιακό δίσκο στο τοπικό γεωγραφικό πλάτος. Σε άλλους ωρολογιακούς δίσκους τέτοιου τύπου, ο βραχίονας βρίσκεται σε επίπεδη θέση στην πίσω πλευρά του δίσκου, αλλά σε αυτήν την περίπτωση το σχήμα του βραχίονα δείχνει ότι το σώμα του οργάνου ήταν αρκετά βαθύτερο απ' ό,τι το πάχος του δίσκου. Πρέπει να είχε διαμορφωθεί ως ένα κυλινδρικό κουτί με επίπεδες τη βάση και την κορυφή, του οποίου η μια επίπεδη πλευρά ήταν ο δίσκος.

Ο ίδιος ο δίσκος έχει την αντίστοιχη κεντρική οπή για τη συναρμολόγηση του οργάνου και φέρει δύο αναμενόμενα είδη κλίμακας που αντιστοιχούν στις δύο προσαρμογές που πρέπει να γίνουν όταν χρησιμοποιείται το ηλιακό ρολόι: μια κλίμακα του τεταρτοκυκλίου για το γεωγραφικό πλάτος κοντά στην άκρη του δίσκου και μια κλίμακα διπλού φάσματος για την απόκλιση του Ήλιου (σημειώνεται με συντομογραφίες των μηνών του χρόνου σύμφωνα με το ιουλιανό ημερολόγιο). Υπάρχει επίσης ένας πίνακας με τοπωνύμια και τις συνταγμένες τους (που είναι χρήσιμος για τη ρύθμιση του δίσκου στο σωστό γεωγραφικό πλάτος). Το στοιχείο αυτό συνήθως βρισκόταν στην οπίσθια όψη του δίσκου, αλλά σε αυτήν την περίπτωση η πίσω πλευρά του δίσκου πρέπει να βρισκόταν στο εσωτερικό του κουτιού, και, όπως θα δει-

5. Το «Κουτί της Σελήνης» του αλ-Μπιρουνι: χειρόγραφο, που απεικονίζει ένα σχέδιο οδοντωτού μηχανισμού το οποίο περιγράφεται στο κείμενο. Ο αντιγραφές έκανε κάποια λάθη στο σχέδιο του, αλλά το κείμενο καθιστά τη ρύθμιση σαφή.





6. Αναπαράσταση του Βυζαντινού Ηλιακού Ρολογιού Ημερολογίου από τον Μ.Τ. Wright, πρόσθια όψη: διακρίνονται οι κλίμακες του γνόμωνα, οι κλίμακες της απόκλισης αστρικών και τοπωνυμίων με γεωγραφικές συντεταγμένες του ηλιακού ρολογιού, καθώς και ο δείκτης που δείχνει την ημέρα της εβδομάδας, με τον οποίο λειτουργεί το ημερολόγιο.

7. Αναπαράσταση του Βυζαντινού Ηλιακού Ρολογιού Ημερολογίου από τον Μ.Τ. Wright, οπίσθια όψη: φέρει ημερολογιακή απεικόνιση. Στο αριστερό ένα δείκτης προσδιορίζει τη θέση του Ήλιου και τον Ζωδιακό κύκλο, και στα δεξιά ένας παρόμοιος δείκτης προσδιορίζει τη θέση της Σελήνης. Κάτω, με ενδειξη της φάσης της Σελήνης φαίνεται στο μεγάλο ανοίγμα, και η ηλικία της, ή η μέρα του μήνα, στο μικρότερο.

Ξούμε στη συνέχεια, την οπίσθια όψη του κουπιού καταλάβαμε μια άλλη απεικόνιση.

Ένα από τα στοιχεία που συνθέτουν το τμήμα του οργάνου που λειτουργεί ως ηλιακό ρολόι λείπει, αλλά, όσον αφορά τη λειτουργία του, μπορεί να αποκατασταθεί με βεβαιότητα: πρόκειται για το «γνώμονα», το τμήμα που ρίχνει και δέχεται τη σκιά του Ήλιου και είναι προσαρμοσμένο στο κεντρικό καρφι που κρατά το όργανο συναρμολογημένο. (Σε ένα καταγεγραμμένο παράδειγμα, αυτό το στοιχείο έφερε διάκοσμο.)

Πέρα από τις λεπτομέρειες που αναφέραμε ήδη, ο κεντρικός δίσκος έχει ένα περαιτέρω χαρακτηριστικό που δεν υπάρχει αντίστοιχο του μεταξύ άλλων γνωστών ηλιακών ρολογιών: μια δεύτερη σπή, γύρω από την οποία απεικονίζονται φιγούρες που αναπαριστούν τις μέρες της εβδομάδας. Η λειτουργία αυτού του στοιχείου θα γίνει σαφής όταν εξετάσουμε τα άλλα δύο τμήματα. Πρόκειται για δύο «κινητά», συνθετικά στοιχεία που σκοπός του κατασκευαστή ήταν να περιστρέφονται. Το κάθε ένα έχει δύο οδοντωτούς τροχούς, που είναι όλοι περίπου του ίδιου βήματος. (Αυτό σημαίνει ότι όλοι έχουν δόντια του ίδιου περίπου μεγέθους.)

Το πρώτο κινητό στοιχείο περιλαμβάνει έναν μικρό οδοντωτό τροχό με επτά δόντια και μια κασάνια, επίσης επτά δοντιών, σε έναν άξονα που ταίριαζε στην έκκεντρη σπή του δίσκου. Μπορεί με βεβαιότητα να αποδοθεί σε αυτή τη θέση: η εξωτερική του τετράγωνη άκρη πρέπει να έφερε ένα δείκτη που έδειχνε την ημέρα της εβδομάδας και πρέπει να προχωρούσε με το κάθε δόντι του άξονα κάθε μέρα.

Το άλλο κινητό μέρος ήταν ένα μεγάλο γρανάζι 59 δοντιών. Χαραγμένα γύρω από αυτόν τον τροχό, αντίστοιχα με τα 59 δόντια του είναι τα στοιχεία Α-ΚΘ, Α-Λ (1-29, 1-30). Η όψη αυτή φαίνεται ότι κάποτε είχε σπλιβωθεί με γάνωμα και έχει δύο συμμετρικά κυκλικά ανοίγματα, το καθένα από τα οποία καταλαμβάνει μόνο το ένα τέταρτο του τροχού. Πρόκειται για σεληνιακό δίσκο, το πιο πρώιμο παράδειγμα που διαδόθηκε

–και παραμένει– ως ένας ευρέως γνωστός τύπος. (Μέχρι και σήμερα μπορεί κανείς να αγοράσει ρολόγια χειρός με παρόμοιους σεληνιακούς δίσκους!) Περιστρεφόμενος πίσω από κατάλληλα ανοίγματα σε μια πλάκα δίσκου, θα μπορούσε να δώσει την ηλικία της Σελήνης σε ημέρες (την ημέρα του μήνα) και μια αναπαράσταση της φάσης της Σελήνης. Μια πλήρης περιστροφή θα αναπαριστούσε το πέρασμα δύο συνδυάσιμων μηνών –29,5 ημερών ο καθένας (κατά προσέγγιση)–, και η κίνηση κατά ένα δόντι του τροχού θα αναπαριστούσε το πέρασμα μιας ημέρας.

Είναι λοιπόν δυνατόν να ανακατασκευάσουμε με βεβαιότητα την κατάλληλη ρύθμιση των τμημάτων που σώζονται. Ο μικρός οδοντωτός τροχός των επτά δοντιών εφάρμοζε στον τροχό των 59 δοντιών στο άλλο κινητό τμήμα. Ο τελευταίος τροχός βρισκόταν ακριβώς στην εσωτερική πίσω όψη του κουπιού (που δεν σώζεται), και φαινόταν μέσω ανοιγμάτων σε αυτήν ώστε να δώσει ενδείξεις σχετικά με την ημέρα του μήνα και τη φάση της Σελήνης. Σημειώνουμε με ικανοποίηση ότι εάν η πίσω όψη είχε το ίδιο πάχος με τον μπροστινό δίσκο, και το κουτί ήταν βαθύτερο ώστε να περιλαμβάνει το πρώτο κινητό τμήμα, το συνολικό τους βάθος θα ταίριαζε ακριβώς με το μέγεθος της λυγμισμένης άκρης του βραχίονα που περιγράφεται παραπάνω. Αυτή πρέπει να ήταν η πρόθεση του κατασκευαστή.

Το κάθε κινητό τμήμα φέρει έναν δεύτερο οδοντωτό τροχό. Στον άξονα με τον μικρό οδοντωτό τροχό των επτά δοντιών βρισκόται ένας άλλος μικρός οδοντωτός τροχός δέκα δοντιών, ενώ πίσω από τον τροχό των 59 δοντιών υπάρχει ένας τροχός 19 δοντιών. Δεν υπάρχει κάποιο στοιχείο στα πρωτότυπα τμήματα που να μας βοηθήσει να ανακατασκευάσουμε τα υπόλοιπα κινητά τμήματα του οργάνου με λεπτομέρειες. Έχοντας μόνο αυτό το υλικό στη διάθεσή μας, είναι ωστόσο θεμιτό να σημειώσουμε δύο σημεία. Πρώτον, ο μηχανισμός πρέπει να ταίριαζε στο εσωτερικό του κυλινδρικού κουπιού που μόλις περιγράψαμε, επιτρέποντας στο (χαμένο) κεντρι-



8. Αναπαράσταση του Βυζαντινού Ηλιακού Ρολογιού Ημερολογίου από τον M.T. Wright, αποσυναρμολογημένο ώστε να φαίνεται το εσωτερικό του. Συγκρίνουμε με την εικόνα 1. Ο πρόσθιος δίσκος, με τη σημασία του ηλιακού δίσκου φαίνεται από πίσω (δεξιά). Ο δίσκος της Σελήνης φαίνεται επίσης από πίσω (πάνω αριστερά), προσαρμοσμένος στην πίσω όψη της πινακίδας του οργάνου.

κό καρφή να περνάει μέσα από το κέντρο. Δεύτερον, υπάρχουν περιορισμοί σε μηχανικό επίπεδο. Οι τροχοί των οποίων πρέπει να βρῶνται το λόγο ύπαρξης είναι αρκετά μικροί, υποδεικνύοντας ότι οι κινούμενοι τροχοί πρέπει να ήταν μεγαλύτεροι ώστε να επιτυγχάνουν έναν πρόσφορο διαχωρισμό των αξόνων. Εξάλλου, το σχήμα των δοντιών του γραναζιού είναι τέτοιο ώστε είναι πολύ πιο πιθανό να υπήρχαν ζευγί τροχών που προκαλούν μείωση του ρυθμού της περιστροφής απ' ό,τι τροχοί που προκαλούν αύξηση: τα περαιτέρω κινητά τμήματα της απεικόνισης πρέπει να στρέφονταν σε μεγαλύτερες περιόδους απ' ό,τι τα υπάρχοντα από τα οποία κινούνται.

Επεκτείνοντας την ανακατασκευή: το Κουτί της Σελήνης του αλ-Μπιρουνί

Είναι δυνατόν να προχωρήσουμε και άλλα, εάν δεχτούμε ότι η τοποθέτηση των γραναζιών που έχουμε περιγράψει μέχρι στιγμής αντιστοιχεί ακριβώς σε αυτήν ενός οργάνου που περιγράφεται αργότερα, από τον πολυμαθή του Μεσαίωνα αλ-Μπιρουνί, ο οποίος έζησε από το 973 μ.Χ. έως το 1048 μ.Χ. Η εργασία του με τίτλο *Πλήρης βιβλίο των δυνατοτήτων και των πιθανών μεθόδων για την κατασκευή του Αστρολάβου* είναι ένα έργο μεγάλο εύρους στο οποίο περιγράφει πολλά όργανα πέρα από τους αστρολάβους, μεταξύ αυτών και το «Κουτί της Σελήνης»⁶. Αυτή η ημερολογιακή συσκευή με μηχανισμό γραναζιών βρισκόταν, όπως και το βυζαντινό όργανο, σε ένα κυλινδρικό κουτί με επίπεδες την άνω και κάτω πλευρά. Ο αλ-Μπιρουνί φαίνεται πως προτείνει ότι μπορεί να συνδυάζονταν με έναν αστρολάβο, το κοινό αστρονομικό όργανο της εποχής. (Μια από τις κυρίες χρήσεις του αστρολάβου ήταν να δείχνει την ώρα και φαίνεται ότι οι ηλιακοί δίσκοι, όπως ο τύπος που βρέθηκε σε συνδυασμό με το ημερολόγιο στο ηλιακό ρολόι, είχαν σταματήσει να χρησιμοποιούνται.) Ακριβώς όπως και στο βυζαντινό όργανο, υπάρχει ένας δείκτης που γυρίζει μια φορά την εβδομάδα σε ένα δίσκο που δείχνει τις ημέ-

ρες και συνδέεται με γρανάζι με έναν σεληνιακό δίσκο που περιστρέφεται μια φορά κάθε 59 ημέρες. Ο σεληνιακός δίσκος φαίνεται μέσω ανοιγμάτων στον πρώτο δίσκο, στα οποία απεικονίζονται οι φάσεις της Σελήνης και οι ημέρες του μήνα: η μόνη διαφορά είναι ότι ο αλ-Μπιρουνί τοποθετεί το δείκτη της ημέρας της εβδομάδας στο κέντρο του κουπιού του. Επιπλέον, όμως, ο αλ-Μπιρουνί παρουσιάζει χωριστές απεικονίσεις για τη θέση του Ήλιου και τη θέση της Σελήνης στον Ζωδιακό κύκλο: αυτές παρέχουν μια εξήγηση για τους άλλους οδοντωτούς τροχούς στα δύο κινητά τμήματα του βυζαντινού οργάνου που σώζονται: πέρα από την παρουσία της καστάνιας, που δεν αναφέρεται από τον αλ-Μπιρουνί, η αντιστοιχία των βυζαντινών τμημάτων με την περιγραφή του αλ-Μπιρουνί είναι απόλυτη.

Σύμφωνα με τον αλ-Μπιρουνί, ο τροχός με τα 19 δόντια, που γυρνούσε μια φορά κάθε 59 μέρες, κινεί έναν ακόμη τροχό 59 δοντιών. Πάνω στον τελευταίο είναι προσαρμοσμένος ένας τροχός 24 δοντιών που κινεί έναν τροχό με 48 δόντια. Άρα, ο τελευταίος αυτός τροχός γυρίζει μια φορά σε 366,421... ημέρες, δηλαδή περίπου σ' ένα χρόνο. Ο τροχός με τα δέκα δόντια, που γυρίζει μια φορά σε 7 ημέρες, κινεί έναν τροχό 40 δοντιών που άρα γυρίζει μια φορά σε 28 ημέρες, προσεγγίζει δηλαδή χονδρικά τον αστρικό ή συνοδικό μήνα. Ο τροχός αυτός, όπως και εκείνος που περιστρέφεται περίπου σε ένα χρόνο φέρουν αξόνες που διαπερνούν τον κάθε δίσκο, στους οποίους είναι προσαρμοσμένοι δείκτες που σημειώνουν αντίστοιχα τις θέσεις της Σελήνης και του Ήλιου σε κυκλικές κλίμακες, χαρμαγμένες στην πλάκα του δίσκου με τα ονόματα των συμβόλων του Ζωδιακού κύκλου.

Η γενική διάταξη και ο σκοπός του «Κουπιού της Σελήνης» που ανέφερε ο αλ-Μπιρουνί προσφέρει την καλύτερη λύση για μια βασική ανακατασκευή (δηλαδή μια ανακατασκευή που περιλαμβάνει όλα τα χαρακτηριστικά που έχουμε παρατηρήσει στο πρωτότυπο, ενώ εισάγουμε τα ελάχιστα νέα χαρακτηριστικά) του βυζαντινού οργάνου. Μπορεί κανείς, ωστόσο, να αμφισβητήσει τον πραγματικό αριθμό των δοντιών που χρησιμοποιούνται στην αποκατάσταση των χαμένων μελών του τελευταίου. Συγκεκριμένα, μπορεί να παρατηρήσει κανείς ότι, ενώ οι 28 μέρες (=7x4/10) είναι μια φτωχή εκτίμηση του αστρικού ή του τροπικού μήνα, αλλάζοντας τον τροχό των 40 δοντιών με έναν των 39 δοντιών θα αποκοτούσε μια περίοδο $7 \times 39 / 10 = 27,3$ ημέρες, μια πολύ κοντινότερη προσέγγιση. Ίσως να προβληματίζει το γεγονός ότι ο αλ-Μπιρουνί υποθέσει την κατώτερη προσέγγιση, ενώ είχε στη διάθεσή του αυτή την πολύ καλύτερη, αλλά εάν υποθέσουμε ότι απλώς ανέφερε μια υπάρχουσα παράδοση, η οποία μπορεί να είχε παρακμάσει, τότε δεν υπάρχει κανένα πρόβλημα⁷.

Η ανακατασκευή διαφέρει από το όργανο του αλ-Μπιρουνί σε μια ακόμη μικρή λεπτομέρεια: οι ενδείξεις της θέσης του Ήλιου και της Σελήνης στον Ζωδιακό κύκλο γίνονται από βαθμονομημένους δίσκους, επίπεδους σε σχέση με τον πάσσαλο του ωρολογιακού δίσκου, και όχι από δείκτες που βρίσκονται από πάνω του, ώστε να επιτρέπουν την ελευθερία της κίνησης του βραχίονα ανάρτησης.

Η κληρονομιά της ελληνικής παράδοσης

Είναι αξιοσημείωτο ότι ο αλ-Μπιρουνί, ένας πραγματικός λόγιος, προβληματίστηκε ώστε να προσφέρει στον αναγνώστη τα ονόματα των συγγραφέων των διαφόρων συσκευών που περιεγράφε. Στην περίπτωση του «Κουτιού της Σελήνης», ωστόσο, ενώ έδωσε τα ονόματα των σχεδιαστών δύο τροποποιήσεών του, δεν απέδωσε την αρχική συσκευή σε κανένα πρόσωπο. Η παράλειψη αυτή, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι υπήρχαν πρόσφατες παραλλαγές που έπρεπε να σημειωθούν, μας προσφέρει ένα ισχυρό επιχείρημα για να προτείνουμε ότι την εποχή του αλ-Μπιρουνί το όργανο ανήκε ήδη σε μια παράδοση. Αυτή η ερμηνεία ταιριάζει με το εμφανές «λάθος» στον αριθμό των δοντιών που μόλις αναφέρθηκαν: μπορεί κανείς να φανταστεί ότι ο αλ-Μπιρουνί κάτεγραφε μια παράδοση που ήταν ήδη αρκετά μακρά, ώστε να έχει παρακμάσει.

Λαμβάνοντας υπόψη αυτά τα σημεία και το γεγονός ότι τα τμήματα του βυζαντινού οργάνου που σώζονται ταιριάζουν με την περιγραφή του αλ-Μπιρουνί τόσο πολύ, οδηγησάμε στο συμπέρασμα ότι, στο εργαλείο αυτό, έχουμε στέρεα κατασκευαστικά τεκμήρια της υιοθέτησης μιας τεχνικής συσκευής από την ελληνική παράδοση στον ισλαμικό κόσμο. Και αντί να φανταζόμαστε ότι αυτό το συγκεκριμένο όργανο αναπαριστά μια ιδιαίτερη περίπτωση, είναι λογικό να υποθέσουμε ότι πραγματοποιήθηκε μια πιο γενική μεταφορά της ελληνικής παράδοσης μηχανισμών με γρανάζια, που μπορούμε να τη συγκρίνουμε με αυτή άλλων προγενέστερων τεκμηριωμένων περιπτώσεων μεταφοράς, και άρα επιβίωσης, της ελληνικής επιστημής και τεχνολογίας. Ένα κοντινό παράλληλο, όπως μπορούμε να δούμε, αποτελεί το υδραυλικό ρολόι, το οποίο, σύμφωνα με την αραβική παράδοση, αποδίδεται συχνά στον Αρχιμήδη, αλλά επίσης φαίνεται ότι οφείλει κάτι και στους ύστερους Έλληνες συγγραφείς και κυρίως στον Φίλωνα.

Ο τελευταίος κρίκος της αλυσίδας είναι αυτός που συνδέει την αραβική παράδοση με αυτή της μεσαιωνικής και πρώιμης νεότερης δυτικής Ευρώπης, που μερικές φορές αποκαλείται λατινική παράδοση. Κατανοούμε το χρέος μας στους Άραβες για τη διατήρηση και τη μετάδοση πολλών ελληνικών κειμένων: ένα λαμπρό παράδειγμα αποτελεί το έργο του Κλαυδίου Πτολεμαίου *Μαθηματική Σύναξις*, που είναι –αποκαλιπτικά– γνωστό έως σήμερα στη Δύση με τη λατινική μορφή ενός αραβικού τίτλου τον οποίο πήραμε από μια εναλλακτική ελληνική ονομασία και που περιγράφει το μέγεθος του ή τη σημασία του: *The Almagest*. Με τα στοιχεία που έχουμε σήμερα στη διάθεσή μας όσον αφορά τις συσκευές με γρανάζια, μπορούμε να στρέψουμε την προσοχή μας στην περιοχή. Εμφανική εμφάνιση του ρολογιού στη Δυτική Ευρώπη. Δεν μπορεί να αποτελεί σύμπτωση το γεγονός ότι πολλά ρολόγια στην πρώιμη δυτική παράδοση είτε διέθεταν υδραυλικό εργαλείο ανώιψωσης, που θιμίζει έντονα αυτό που μαρτυρείται στα αραβικά υδραυλικά ρολόγια και τους ελληνιστικούς προγόνους τους, είτε είχαν αστρονομικούς δίσκους βασισμένους στο σχέδιο του αστρολάβου (αυτή τη

μεγάλη εφεύρεση της ελληνιστικής περιόδου που έγινε επίσης γνωστή στη Δύση, περίπου την ίδια εποχή, μέσω των Αράβων), είτε και τα δύο. Αυτό δεν σημαίνει ότι το «μηχανικό» ρολόι (το οποίο λειτουργούσε με ένα κατερχόμενο βάρος που διαρούσε μέσω ενός συστήματος τροχών υμειζόμενου από ένα σύστημα διαφυγής, αντίθετα με το υδραυλικό ρολόι στο οποίο η ροή του νερού παρέχει την κινητήρια δύναμη αλλά και τη ρύθμιση) ήταν αραβική, πόσο μάλλον ελληνιστική εφεύρεση! μπορούμε όμως να πούμε ότι το ρολόι, όπως το γνωρίζουμε, αναπτύχθηκε στο πλαίσιο μιας παράδοσης συσκευών με γρανάζια που υποδεικνύει μια συνεχή εξέλιξη από την ελληνιστική εποχή, μέσω της ύστερης αρχαιότητας και του Μεσαίωνα, έως σήμερα.

Μετάφραση: Ελένη Οικονομού

Σημειώσεις

1. «Ο μηχανισμός των Αντικυθήρων. Η κατασκευή οργάνων στην αρχαιότητα». *Αρχαιολογία και Τέχνες* 96 (2005), σ. 54-60.
2. D. J. de S. Price, «Gears from the Greeks», *Transactions of the American Philosophical Society* 64:7 (1974). Επανέκδοση ως ανεξάρτητη μονογραφία από τις εκδόσεις Science History Publications, Νέα Υόρκη 1975, και ελληνική έκδοση: *Γρανάζια από τους Έλληνες*. Τεχνικό Μουσείο Θεσσαλονίκης, 1995.
3. J.V. Field/M.T. Wright, «Gears from the Byzantines: a portable sundial with calendrical gearing», *Annals of Science* 42 (1985), σ. 87-138. Ανατύπωση στο J.V. Field/D.R. Hill/M.T. Wright, *Byzantine and Arabic Mathematical Gearing*, The Science Museum, Λονδίνο 1985. M.T. Wright, «Rational and irrational reconstruction: the London sundial-calendar and the early history of geared mechanisms», *History of Technology* 12 (1990), σ. 65-102. J.V. Field, «Some Roman and Byzantine portable sundials and the London sundial-calendar», *History of Technology* 12 (1990), σ. 103-135.
4. J.V. Field/M.T. Wright, *Early Gearing*, The Science Museum, Λονδίνο 1985. Ελληνική έκδοση με τον τίτλο *Πρώιμα Γρανάζια* από το Τεχνικό Μουσείο Θεσσαλονίκης.
5. Field, «Some Roman and Byzantine portable sundials...», *ο.π.*, σ. 103-145.
6. D.R. Hill, «Al-Birūnī's Mechanical Calendar», *Annals of Science* 42 (1985), σ. 138-163. Ανατύπωση στο Field/Hill/Wright, *ο.π.*, σ. 65-102.
7. Wright, «Rational and irrational reconstruction...», *ο.π.*, σ. 65-102.

Geared Instruments from Antiquity to the Present Day: a Continuous Tradition

Michael T. Wright

The famous Antikythera Mechanism, dateable to the first century BC, demonstrates that intricate mechanical instruments were made in the Hellenistic period. While this instrument remained a unique survival, it was however possible to regard this type of artifact as highly unusual. More recently, a second Greco Arab geared device has emerged.

This instrument, known as the Byzantine Sundial-Calendar, is of later date, from about 500 AD. It is very much simpler than the Antikythera Mechanism, but the existence of two instruments, using similar technology for comparable purposes, both in an astronomical context, encourages us to believe in a continuing tradition of making such devices in late antiquity. The author describes a "minimal" reconstruction of the Byzantine instrument, and shows that it must have been closely comparable to the arrangement of an instrument described in about 1000 AD by the polymath Al-Birūnī. This correspondence leads us on to suppose that the Hellenistic tradition of making geared instruments survived to be transferred to the world of Arabic learning. With the subsequent transfer of knowledge from Arabic culture to the Latin West, we have an unbroken chain of development from antiquity to modern technical achievements of the present day.

M.T.W.