

Η διαμεσολάβηση των Αράβων στη μεταφορά τεχνογνωσίας από την κλασική και ελληνιστική αρχαιότητα στη Δύση

Είναι γενικά γνωστό το ενδιαφέρον των Αράβων για τις επιστημονικές και τεχνικές γνώσεις που είχαν κατακτηθεί στον ελλαδικό χώρο από την κλασική αρχαιότητα. Εξάλλου αδιάφηντος μάρτυρας του ενδιαφέροντος αυτού αποτελεί το πλήθος των επιστημονικών και τεχνικών αρχαιοελληνικών έργων τα οποία έχουν διασωθεί μόνο στα αραβικά. Αναφέρουμε ενδεικτικά το «Περί λόγου αποτομής Α΄, Β΄» του Απολλώνιου, τα «Κατασκευή κανονικού επταγώνου», «Ωρολόγιον», «Περί κύκλων εφαπτομένων αλλήλων», «Αρχαί Γεωμετρίας», του Αρχιμήδη, το «Περί πυρείων κατόπτρων» του Διοκλή, τα «Πνευματικά» του Φίλωνα, τρία βιβλία από τα «Μηχανικά» του Ήρωνα, τα βιβλία 4, 5, 6, 7 από τα «Αριθμητικά» του Διόφαντου και άλλα.

Ισχυριζόμαστε ότι η Δύση όχι μόνο διδάχτηκε να μετρά από τους Άραβες, αφού εφοδιάστηκε απ' αυτούς με την πιο απλή, ευέλικτη και λειτουργική γλώσσα των αριθμών που επινοήθηκε ποτέ –το Ινδοαραβικό σύστημα αρίθμησης– όχι μόνο ήλθε, μέσω των Αράβων, σε επαφή με την αρχαία ελληνική σκέψη, αλλά εισήγαγε μέσω αυτών και υψηλή, για την εποχή εκείνη, τεχνολογία. Θα υποστηρίξουμε την τελευταία αυτή θέση με δύο παραδείγματα. Το πρώτο σχετίζεται με την τεχνολογία των γραναζιών και τη διαφορική περιστροφή, και το άλλο με τη τεχνολογία των υδραυλικών ρολογιών και των αυτόματων που τα συνόδευαν.

Επιλέξαμε την τεχνολογία των γραναζιών γιατί οι μηχανισμοί αυτοί παρουσιάζουν αξιόλογη τεχνολογική πολυπλοκότητα. Ειδικά ο μηχανισμός των Αντικυθήρων, που αντικατοπτρίζει το απόγειο της τεχνολογίας αυτής στον αρχαίο κόσμο, ανάγκασε τους ερευνητές να αναθεωρήσουν ολοκληρωτικά την επικρατούσα εικόνα για τις τεχνικές δυνατότητες μιας ολόκληρης εποχής. Εξάλλου, η επίδραση της τεχνολογίας αυτής μπορεί να ανιχνευθεί μέχρι πολύ πρόσφατα. Ο Price διαπιστώνει την πολύ ισχυρή επίδρασή της μέχρι και τη Βιομηχανική Επανάσταση, μέσω της τεχνολογίας των ωρολογιακών μηχανισμών του Μεσαίωνα.

Η τεχνολογία των υδραυλικών ρολογιών αποτελεί ένα ιδιαίτερο ορόσημο στην εξέλιξη γενικά της τεχνολογίας, καθώς, εκτός από την υπόδειξη της ώρας, η λειτουργία τους συνοδεύεται από μυθολογικές και άλλες παραστάσεις (τα πάρεργα), που λειτουργούσαν ως αυτόματα, υποστηριζόμενα από υδραυλικά, συνήθως, συστήματα. Ο συγχρονισμός των συ-

Ο Βάιος Αργυράκης είναι Μεταπτυχιακός Φοιτητής.

Ο Ευτύχης Παπαδοπετρούκης είναι Λέκτορας στο Μαθηματικό Τμήμα του Πανεπιστημίου Πατρών.

στημάτων αυτών ήταν πολύ λεπτή υπόθεση. Για την αρμονική τους λειτουργία, ο έλεγχος πάνω στη παραγωγή και τη μεταφορά ενέργειας ήταν το κρίσιμο ζήτημα.

Η τεχνολογία των γραναζιών

Δύο σημαντικές ανακαλύψεις στις αρχές του 20ού αιώνα έμελλε να αλλάξουν ριζικά τη μέχρι τότε επικρατούσα αντίληψη για τη θέση της τεχνολογίας κατά την ελληνική αρχαιότητα και για τη σχέση τεχνικής-επιστήμης. Η πρώτη είναι η ανακάλυψη, σ' ένα αρχαίο ναυάγιο κοντά στα Αντικυθήρα λίγο πριν το Πάσχα του 1900, από τον Ηλία Σταδιάτη, δύτη από τη Σύμη, του Μηχανισμού των Αντικυθήρων. Η δεύτερη είναι η ανεύρεση το 1906 από τον Heimberg στο Μετόχι του Παναγίου Τάφου στη Κωνσταντινούπολη ενός παλιμψηστου το οποίο περιείχε μεταξύ άλλων και το περιφημο έργο του Αρχιμήδη «Περί μηχανικών θεωρημάτων προς Ερατοσθένην έφοδος» ή όπως έχει επικρατήσει να αναφέρεται «Μέθοδος».

Στη «Μέθοδο» του ο Αρχιμήδης εκθέτει στον Ερατοσθένη πώς με τρόπο μηχανικό ανακαλύπτει μαθηματικά θεωρήματα. Πώς, με άλλα λόγια, θεωρώντας τις γραμμές, τις επιφάνειες και τους όγκους ομογενή υλικά με βάρος και πραγματοποιώντας φανταστικές (και πιθανότατα όχι μόνο) ζυγίσεις, ανακαλύπτει μαθηματικά θεωρήματα, τα οποία στη συνέχεια αποδεικνύει γεωμετρικά. Δηλώνει δε σαφέστατα στην εισαγωγή¹ ότι θεωρεί πολύ χρήσιμη τη μέθοδο αυτή και καθόλου κατώτερη από τις συνήθειες ευρετικές των μαθηματικών, ακόμη και για τις αποδείξεις, αφού είναι προτιμότερο να επιχειρεί κανείς απόδειξη γνωρίζοντας κάτι για το ζητούμενο παρά να ψάχνει χωρίς να ξέρει τίποτα.

Ετσι η κυρίαρχη άποψη για την υποτίμηση κάθε πρακτικής δραστηριότητας από τους μαθηματικούς του αρχαίου κόσμου δέχεται αποφασιστικό πλήγμα και πέφτει σε ανυποληψία.

Εξίσου αποφασιστικό πλήγμα δέχεται η άποψη για την ανυπαρξία αξιόλογων τεχνικών γνώσεων στον αρχαίο κόσμο από την ανακάλυψη του μηχανισμού των Αντικυθήρων.

Σ' ένα μικρό κουτί από ξύλο φτελιάς, διαστάσεων 34×18×9 εκατοστά, μια πολυσύνθετη αλληλουχία από 32 γρανάζια δέχεται σταθερή περιστροφική κίνηση με τη βοήθεια ενός ατέρμονα κοχλία, αφού με τη βοήθεια τεσσάρων μικρών χειρολαβών το όλο σύστημα έχει τεθεί σε μια αρχική θέση (αρχική εσωτερική κατάσταση). Τρία συστήματα εξόδων από επάλληλους ομόκεντρους αλλά με διαφορετικές ακτίνες κύκλους και δείκτες παρέχουν, μεταξύ άλλων που μας είναι ακόμη άγνωστα, μια σειρά από ακριβείς πληροφορίες σχετικές με ένα πλήρες σεληνιακό, πλήρες ηλιακό και ένα αστρικό ημερολόγιο. Δίνουν δηλαδή τη θέση του Ηλίου σε σχέση με την ημερήσια, την ετήσια (θέση στο ζωδιακό) και τη 19χρονη (του Μετονικού κύκλου) περιφορά του. Τη θέση, τη φάση, το συνοδικό μήνα και το σεληνιακό έτος. Τις επιτολές² και τις δύσεις για 24 αστέρες ή αστερισμούς. Έχουν διασωθεί, χαραγμένα σε πλάκες πάνω στο μηχανισμό, τα ονόματα των Υάδων, του Ταύρου, της Λύρας, των Διδύμων, του Αετού, του Αρκτούρου και των Πλειάδων.

Το εντυπωσιακότερο στοιχείο της όλης κατασκευής είναι ότι περιέχει ένα διαφορικό γρανάζι. Συγκεκριμένα η διαφορική αυτή περιστροφή έχει ως εισόδους τις αστρικές κινήσεις του Ηλίου και της Σελήνης και ως έξοδο, με τους κατάλληλους λόγους μετάδοσης, δίνει την ημιδιαφορά τους. Τη συνοδική, δηλαδή, κίνηση της Σελήνης [Price, 1975: 41]. Αυτή

είναι μία από τις δύο εξόδους του διαφορικού. Μεγάλο ερωτηματικό παραμένει η άλλη έξοδος για την οποία ο Price, στην πιο ολοκληρωμένη μέχρι σήμερα μελέτη του μηχανισμού αυτού, δεν έχει να προτείνει κάτι συγκεκριμένο, αν και έχει δώσει εναλλακτικές προτάσεις ως προς τη λειτουργία της ακολουθίας των γραναζιών, όπως και αρκετοί μετά από αυτόν έχουν διατυπώσει νέες προτάσεις ή βελτιώσεις σε ήδη υπάρχουσες³.

Από τεχνολογική σκοπιά, η εμφάνιση, σύμφωνα με όλες τις αρχαιολογικές ενδείξεις αλλά και τη «μαρτυρία» του ίδιου του μηχανισμού, του διαφορικού γραναζιού το 87 π.Χ. είναι τεράστιας σημασίας. Αρκεί να πούμε ότι ακόμα και το 18ο αιώνα υπήρξαν τεχνικοί που εφηύραν ξανά το διαφορικό και το αντιμετώπισαν ως επαναστατική καινοτομία. Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα του Dauthiau που ισχυρίστηκε το 1765 ότι είχε εφεύρει το διαφορικό γρανάτζι δεκαπέντε χρόνια νωρίτερα [Price, 1975: 61].

Ο μηχανισμός αυτός αποτελεί το πιο πολύπλοκο τεχνούργημα, από τα διασωθέντα, του αρχαίου ελληνικού κόσμου. Θα πρέπει, όπως ισχυρίζεται ο Price, να κατασκευάστηκε στη Ρόδο στα εργαστήρια του Ποσειδωνίου, όπου σύμφωνα με πολύ αξιόπιστη μαρτυρία του Κικέρωνα, η παράδοση των γραναζιών και των πλανηταρίων ήταν ακόμα ζωντανή από την εποχή του Αρχιμήδη, έστω και αν μας λείπουν οι ενδιάμεσες μαρτυρίες. Είναι δε πολύ λογικό να δεχτούμε την άποψη του Price ότι από την παράδοση αυτή αναδύεται και ο μηχανισμός των Αντικυθήρων. Σύμφωνα λοιπόν με τον Κικέρωνα, ο οποίος έμεινε στη Ρόδο κατά τη διετία 79-77 π.Χ., ο φίλος του ο Ποσειδώνιος κατασκεύασε μια συσκευή σαν αυτές του Αρχιμήδη. «Υπέθεσε ότι ένας ταξιδιώτης μεταφέρει στη Σκυθία ή τη Βρετανία το πλανητάριο που κατασκευάστηκε πρόσφατα από τον φίλο μας τον Ποσειδώνιο, το οποίο σε κάθε περιστροφή του αναπαριστά τις ίδιες κινήσεις του ήλιου, της σελήνης και των πέντε πλανητών που συμβαίνουν στους ουρανούς κάθε μέρα και νύχτα. Θα υπήρχε περίπτωση κάθενας από τους ντόπιους να αμφιβάλλει ότι το πλανητάριο αυτό ήταν η εργασία ενός έλλογου οντος;» [Κικέρων, *De natura deorum*, II, xxxiv-xxxv]

Για το πλανητάριο του Αρχιμήδη η περιγραφή του Κικέρωνα περιέχει πολλά ενδιαφέροντα ιστορικά στοιχεία και την παραθέτουμε:

«Απ' όσο θυμάμαι ένα περιστατικό από τη ζωή του Gaius Sulpicius Gallus, ενός από τους πιο σοφούς άντρες όπως γνωρίζετε: κάποια στιγμή που ένα παρόμοιο φαινόμενο είχε αναφερθεί και έτυχε να βρίσκεται στο σπίτι του Marcus Marcellus, συναδέλφου του στην υπατεία (166 π.Χ.), διέταξε η ουράνια σφαίρα, η οποία είχε μεταφερθεί από τις Συρακούσες από τον παππού του Marcellus, όταν αυτή η πολύ πλούσια και όμορφη πόλη καταλήφθηκε (212 π.Χ.), μολονότι δεν πήρε μαζί του τίποτε άλλο από το μεγάλο απόθεμα της λείας από λάφυρα, να παρουσιαστεί στο κοινό. Αν και είχα ακούσει να αναφέρεται η σφαίρα αυτή αρκετά συχνά εξαιτίας της φήμης του Αρχιμήδη, όταν την είδα στην πραγματικότητα δεν την εκτίμησα και ιδιαίτερα. Όσο για τις υπόλοιπες ουράνιες σφαίρες, που επίσης κατασκευάστηκαν από τον Αρχιμήδη, τις οποίες ο ίδιος ο Marcellus τοποθέτησε στο Ναό της Αρετής, είναι περισσότερες καλαισθητές όπως και ευρύτερα γνωστές μεταξύ του κόσμου. Αλλά όταν ο Gallus ξεκίνησε να δίνει μια, σε μεγάλο βαθμό, εμβριθή εξήγηση της συσκευής, συμφώνησα ότι ο διάσημος Σικελός ήταν προικισμένος με τη μεγαλύτερη διάνοια που θα μπορούσε κανείς να φανταστεί ότι είναι δυνατό να κατέχει ένας άνθρωπος. Όσο για τον Gallus, μας είπε ότι το άλλο είδος της ουράνιας σφαίρας, το οποίο ήταν συμπαγές και δεν

περιείχε κοιλότητες, αποτελούσε μια πολύ πρόωμη εφεύρεση, όπου η πρώτη αυτού του είδους είχε κατασκευαστεί από τον Θαλή τον Μιλήσιο και αργότερα σημειώνεται από τον Εύδοξο από την Κνίδα (ισχυρίζονταν ότι ήταν μαθητής του Πλάτωνα) με τους αστερισμούς και τους αστέρες που είναι σταθεροί στον ουρανό. Επίσης είπε ότι πολλά χρόνια αργότερα ο Άρατος⁴, υιοθετώντας τη συνολική διάταξη και το σχέδιο του Εύδοξου, το είχε περιγράψει σε έμμετρη μορφή δίχως καμιά γνώση αστρονομίας, αλλά με αξιοσημείωτο ποιητικό ταλέντο. Αλλά σε αυτό το νεότερο είδος σφαίρας, είπε, στο οποίο ήταν απεικονισμένες οι κινήσεις του ήλιου και της σελήνης όπως και αυτών των πέντε αστέρων που ονομάζονταν πλανήτες, περιέχονταν περισσότερα από αυτά που θα μπορούσαν να επιδειχθούν στην συμπαγή σφαίρα, και η εφεύρεση του Αρχιμήδη άξιζε ιδιαίτερης εκτίμησης, διότι είχε μελετήσει έναν τρόπο για την ακριβή αναπαράσταση, με μια απλή συσκευή για την περιστροφή της σφαίρας, των ποικίλων και αποκλινουσών κινήσεων με τους διαφορετικούς ρυθμούς της ταχύτητάς τους. Και όταν ο Gallus κίνησε τη σφαίρα, ήταν πράγματι αλήθεια ότι η σελήνη ήταν πάντα τόσες περιστροφές πίσω από τον ήλιο στην μπρούντιζινη κατασκευή έτσι ώστε να συμφωνεί με τον αριθμό των ημερών που αυτή υστερούσε στον ουρανό.

Έτσι, η ίδια έκλειψη του ήλιου συνέβαινε στη σφαίρα όπως θα συνέβαινε και στην πραγματικότητα, και η σελήνη έρχονταν στο σημείο όπου η σκιά της γης ήταν ακριβώς στο σωστό σημείο...» [Κικέρων, *De republica*, I, xiv (21-22)]

Δεν είναι καθόλου τυχαίο ότι ο Κικέρωνας δύο χρόνια μετά, ευρισκόμενος στη Σικελία ως κρατικός υπάλληλος, είχε το ενδιαφέρον να ψάξει τον τάφο του Αρχιμήδη και να τον αναγνωρίσει από το επιτύμβιο γεωμετρικό σχήμα. Ως προς τη χρήση γραναζιού συνδυασμένου με ατέρμονα κοχλία, είμαστε βέβαιοι ότι είχε εφευρεθεί από τον Αρχιμήδη περίπου το 250 π.Χ. και είχε χρησιμοποιηθεί στις πολεμικές μηχανές του. Στη συνέχεια η διάταξη υιοθετήθηκε από μεταγενέστερους εφευρέτες σε διαφορετικές εφαρμογές. Ο Ήρωνας (περίπου 60 μ.Χ.) το χρησιμοποιεί πολύ συχνά, για παράδειγμα στο οδόμετρό του και στη διάοπτρα, ενώ παρουσιάζει μια σχετική θεωρία και κατασκευαστικές λεπτομέρειες [*Ήρωνας, Περί διάοπτρας*, 42,2].

Οι πρώτες φιλολογικές αναφορές σε οδοντωτούς τροχούς διαφορετικούς από αυτούς εμφανίζονται στον Βιτρούβιο περίπου το 25 π.Χ., όπου αναφέρονται ως ένα ζευγάρι που εμπλέκεται σε ορθές γωνίες στην κατασκευή ενός νερόμυλου. Η διάταξη αυτή αργότερα καθίσταται αρκετά κοινή.

Θα μπορούσε εύκολα, νομίζουμε, να θεωρήσει κανείς ότι ο κατασκευαστής ενός αστρολάβου θα πρέπει να διαθέτει ένα πολύ καλό θεωρητικό υπόβαθρο στην αστρονομία. Στην πραγματικότητα όμως οι απαιτήσεις δεν ήταν τόσες πολλές. Οι αστρονόμοι κατασκεύαζαν πίνακες με χρήσιμα μεγέθη για την κατασκευή αστρολάβων και κάθε έμπειρος τεχνίτης μπορούσε να τους χρησιμοποιήσει ώστε να κατασκευάσει έναν χωρίς να κατέχει την αστρονομική θεωρία [Hill, 1996: 193]. Βέβαια η ιδέα του αστρολάβου μπορεί να προκύψει από τα πλανητάρια μέσω της στερεογραφικής προβολής, η οποία οφείλεται στον Ίππαρχο, που έζησε το 180 με 125 π.Χ. Μετά από το στάδιο αυτό η διατύπωση μιας σειράς τεχνικών οδηγιών ήταν αρκετή για την κατασκευή ενός αστρολάβου. Για το μηχανισμό των Αντικυθήρων τα πράγματα θα μπορούσαν να είναι ακόμα πιο απλά. Η λειτουργία του βασίζεται σε μια αλληλουχία γραναζιών και οι έξοδοι διαβάζονται σε διάφορους πίνακες. Για την κατα-

νόηση μερικών εξόδων απαιτείται το κείμενο που υπάρχει στα εξωτερικά φύλλα του μηχανισμού. Ποια θεωρία λοιπόν απαιτείται για την κατασκευή ενός τέτοιου μηχανισμού; Τα γρανάζια και οι αλληλουχίες γραναζιών έχουν ως λειτουργία τη μετατροπή του λόγου μετάδοσης ώστε να δώσουν στην έξοδο την επιθυμητή περιστροφική κίνηση. Λόγος μετάδοσης σημαίνει αριθμητική αναλογία. «Μεταφράζοντάς» το αυτό σε σχέση με τα αστρονομικά δεδομένα σημαίνει: πόσες φορές συμβαίνει κάποιο αστρονομικό φαινόμενο σε σχέση με κάποιο άλλο. Για παράδειγμα, η διάρκεια 19 ετών ισοδυναμεί με τη διάρκεια 235 συνωδικών μηνών (Μετονικός κύκλος). Άρα αυτό που απαιτείται είναι οι κατάλληλοι αστρονομικοί πίνακες ώστε να καταστεί δυνατό να διαπιστωθούν οι αριθμητικές κανονικότητες μεταξύ των αστρονομικών φαινομένων. Εξάλλου η δυνατότητα πρόβλεψης δεν προϋποθέτει την ύπαρξη αστρονομικού μοντέλου για την κίνηση των ουράνιων σωμάτων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η βαβυλωνιακή αστρονομία, της οποίας ο χαρακτήρας ήταν καθαρά αριθμητικός. Έχοντας ικανό αριθμό αστρονομικών δεδομένων και έχοντας διαπιστώσει την κανονικότητά τους, χρησιμοποιούσαν αριθμητικές προόδους με καθορισμένα όρια ώστε να πραγματοποιούν προβλέψεις χωρίς να διαθέτουν κάποια αστρονομική-μαθηματική θεωρία, χωρίς να έχουν καν διαπιστώσει τη σφαιρικότητα της γης. Ο Neugebauer παραθέτει ένα παράδειγμα εφημερίδας από το έτος 133/132 π.Χ. όπου οι προβλέψεις έχουν γίνει με τη βοήθεια των αριθμητικών μεθόδων [Neugebauer, 1990: 149-153]. Αξίζει να σημειωθεί ότι το παράδειγμα που παραθέτει ο Neugebauer αναφέρεται σε εποχή λίγο πριν το μηχανισμό των Αντικυθήρων. Καταλήγοντας, νομίζουμε ότι η κατασκευή του μηχανισμού των Αντικυθήρων δεν προϋποθέτει μια καλά οργανωμένη αστρονομική-μαθηματική θεωρία, αλλά ικανό αριθμό αστρονομικών δεδομένων και διαπιστωμένες αριθμητικές σχέσεις μεταξύ αυτών. Εξάλλου μια αλληλουχία γραναζιών δεν κάνει τίποτε άλλο από το να υλοποιεί τέτοιου είδους σχέσεις.

Η παράδοση της κατασκευής μηχανισμών ανάλογων του μηχανισμού των Αντικυθήρων, καθώς και η τεχνογνωσία των γραναζιών, πέρασε στον Ισλαμικό κόσμο [Price, 1975: 54]. Ο μηχανισμός που περιγράφει ο αλ-Μπιρούνι (περίπου 1000 μ.Χ.) διαθέτει σχεδόν τους ίδιους λόγους μετάδοσης με τον μηχανισμό των Αντικυθήρων. Το ίδιο συμβαίνει και με τον μηχανισμό του Muhammad b. Abi Bakr b. Muhammad ar-Rashidi al-Ibari al-Isfahani (1221-2 μ.Χ.). Η λειτουργία του πρώτου μηχανισμού βασίζεται στον αστρικό μήνα αλλά και σε μια περίοδο δύο μηνών κατά την οποία υπάρχει ένδειξη για τις φάσεις της Σελήνης και τον αριθμό των ημερών. Επίσης υπάρχουν δύο μαύροι και δύο ασμένιοι κύκλοι που προβάλλονται μέσα από ένα παράθυρο και δίνουν την αίσθηση της πανσελήνου και της νέας σελήνης.

Σημαντικό στοιχείο είναι ότι στους λόγους μετάδοσης των γραναζιών εμφανίζεται ο Μετονικός κύκλος, αν και η ακολουθία των γραναζιών είναι απλούστερη και το αποτέλεσμα που προκύπτει είναι λιγότερο ακριβές από αυτό του μηχανισμού των Αντικυθήρων. Ο αλ-Μπιρούνι αναφέρει επιπλέον άλλα δύο συστήματα τέτοιου είδους. Και ο δεύτερος μηχανισμός, του οποίου τα δόντια των γραναζιών είναι του ίδιου τύπου με του μηχανισμού των Αντικυθήρων, ακολουθεί έναν κύκλο δύο μηνών με τις φάσεις της Σελήνης και τον αριθμό των ημερών. Άλλες εξοδοί είναι ο αστρικός μήνας και το σεληνιακό έτος.

Η συνέχεια της παράδοσης της κατασκευής τέτοιων μηχανισμών από τον ελληνικό στον αραβικό κόσμο γίνεται εμφανής από το ότι στους σχετικά λίγους, είναι η αλήθεια, ανάλογους μηχανισμούς που διαθέτουμε, οι έξοδοι είναι συγκρίσιμες με αυτές του μηχανισμού των Αντικυθέρων και φυσικά από την ύπαρξη του Μετονικού κύκλου [Price, 1975: 42-44]. Υπάρχουν και κατασκευαστικά στοιχεία που συνηγορούν υπέρ αυτής της άποψης. Τα δόντια, για παράδειγμα, των γραναζιών του μηχανισμού των Αντικυθέρων είναι ισόπλευρα τρίγωνα όπως αυτά που εμφανίζονται στο έργο *Βαρούλκος* του Ήρωνα. Η διαμόρφωση τέτοιου είδους γραναζιών είναι εύκολο να γίνει με το χέρι, ενώ η δυνατότητα επεξεργασίας του μετάλλου έτσι όπως προκύπτει από την κοσμηματοποιία κάνει σαφές ότι η απαραίτητη τεχνολογία ήταν διαθέσιμη πολύ πριν τον 1ο αιώνα π.Χ. Η τριγωνική μορφή των γραναζιών δεν παράγει ομαλή εμπλοκή τους, αλλά για ωρολογιακούς μηχανισμούς είναι ικανοποιητική. Τόσο μάλιστα που τη χρησιμοποιεί ο de Dondi (1364 περίπου) στο ρολόι του. [Hill, 1996: 188]

Η υιοθέτηση αναπαράστασης ίδιων ουράνιων φαινομένων καθώς και η επιλογή ίδιων τεχνικών λύσεων αποδίδουν, νομίζουμε, με ανάγλυφο τρόπο το πέρασμα της συγκεκριμένης τεχνολογίας από τον ελληνικό στον αραβικό κόσμο.

Αναμφίβολα ο αστρολάβος αποτελεί το σημαντικότερο από όλα τα επιστημονικά όργανα του ισλαμικού και ευρωπαϊκού Μεσαίωνα. Φτάνει μέχρι την Αναγέννηση με χίλια περίπου διασωθέντα παραδείγματα, που χρονολογούνται από τον ένατο αιώνα και μετά. Έχουν διασωθεί βυζαντινά, συριακά και αραβικά σχετικά κείμενα, αλλά για τον Price είναι πολύ πιθανό ένα πρώτο τέτοιο όργανο να κατασκευάστηκε κατά την ελληνορωμαϊκή περίοδο ενδεχομένως στη Ρόδο στη σχολή του Ποσειδωνίου. Η συνέχεια περιγράφεται χαρακτηριστικά από τον Price: «Είμαστε σε θέση να υποθέσουμε με ασφάλεια ότι η πορεία συνεχίστηκε και μεταφέρθηκε στο Ισλάμ, για το οποίο διαθέτουμε και ένα κείμενο του 1000 περίπου μ.Χ. και ένα διασωμένο όργανο του 1221/22 μ.Χ. στενά συσχετιζόμενα με τη συσκευή των Αντικυθέρων. Τα ισλαμικά αυτά όργανα, με τη σειρά τους, γεφυρώνουν το χάσμα επιδεικνύοντας αξιοσημείωτη συγγένεια και με τους αστρολάβους του Ισλάμ και με τα ρολόγια-αστρονομικά όργανα της Ευρώπης του δέκατου τέταρτου αιώνα. Η Ευρώπη με τον τρόπο αυτό εξοπλίστηκε με την ισχυρή και διάχυτη παράδοση των ωρολογιακών μηχανισμών και μέσω αυτών με Υψηλή Τεχνολογία... Αυτό που ήταν σημαντικό ήταν η με υπερβολική λεπτομέρεια επεξεργασμένη λειτουργία των γραναζιών των πολλών πινάκων ώστε να επιδεικνύουν όλες τις κινήσεις των άστρων, των πλανητών και την εξέλιξη των ημερολογιακών συμβάντων. Στα ρολόγια του Richard of Wallingford (περίπου 1327-1330) και του Giovanni de Dondi (1348-1364) έχουμε τέτοιους μηχανισμούς που περιγράφονται με λεπτομέρεια⁵, και κανείς δεν μπορεί να αμφιβάλλει για την ευρηματικότητά τους ή για το γεγονός ότι θα πρέπει να είχαν λειτουργήσει και να ήταν άκρως εντυπωσιακά.» [Price, 1975: 60].

Γύρω στο 1575 η αρχή λειτουργίας του διαφορικού γραναζιού θα πρέπει να αποτελούσε κοινή γνώση, ενώ η πρώτη θεωρητική μελέτη εμφανίστηκε το 1793 από τους αδελφούς Aureliano και David a Sa Cajetano, κατασκευαστές ρολογιών. Η πρώτη εφαρμογή της διαφορικής περιστροφής εκτός ωρολογιοποιίας είναι στη κλωστούφαντουργία, μια από τις οικονομικά σημαντικότερες βιομηχανίες της εποχής, στην οποία επέφερε επανάσταση μαζικοποιώντας την παραγωγή. Το τεχνικό πρόβλημα που υπήρχε ήταν το ομοιόμορφο τύλιγμα

τον νήματος πάνω στο καρούλι. Με δεδομένη τη συνεχή αύξηση της διαμέτρου κατά το τυλίξιμο, έπρεπε να βρεθεί τρόπος αναλογικής αύξησης της παροχής ώστε το νήμα να τυλίγεται κάτω από σταθερή τάση. Το πρόβλημα λύθηκε με ένα διαφορικό γρανάζι στα 1823. Τη χρονιά αυτή είχαν υποβληθεί στην Αγγλία δύο αιτήσεις ευρεσιτεχνίας για το θέμα, μία από τον Asa Arnold από τη Ρόδο και μία από τους Houldsworth και Green.

«Από τα υφαντουργικά μηχανήματα το διαφορικό γρανάζι πέρασε στο αυτοκίνητο από ένα δρόμο που τυχάνει να είναι ανιχνεύσιμος. Το άτομο που ήταν αναμειγμένο ήταν ο Richard Roberts, ο οποίος είχε ξεκινήσει ως εργάτης σε υφαντουργικά μηχανήματα κατά τη δεκαετία του 1840 και είχε μάθει την μηχανουργική πρακτική από τον Maudsley. Ήταν ο πρώτος που σχεδίασε ένα ατμοκίνητο όχημα δρόμου που χρησιμοποιούσε το διαφορικό γρανάζι για να κάνει τους κινητήριους τροχούς πηδαλιουχούμενους –για τον ίδιο σκοπό χρησιμοποιείται ακόμα και σήμερα στα σύγχρονα αυτοκίνητα από τα οποία είναι τώρα, γενικά, περισσότερο οικείο στους μηχανικούς.» [Price, 1975: 61]

Τα υδραυλικά ρολόγια

Τα υδραυλικά ρολόγια εκτός από τους μηχανισμούς για την υπόδειξη της ώρας ήταν κατά κανόνα εφοδιασμένα με συστήματα αναπαραστάσεων που προσομοίωναν ουράνια φαινόμενα, συμπεριφορές ανθρώπων, ζώων ή μυθικών οντοτήτων, τα περίφημα *πάρεργα*. Για το σκοπό αυτό συνδυάζονταν πολύπλοκα μηχανικά και υδραυλικά συστήματα, των οποίων η αρμονική λειτουργία απαιτούσε σημαντική εμπειρία πάνω στον έλεγχο της παραγωγής και της μεταφοράς ενέργειας. Από την άποψη αυτή τα υδραυλικά ρολόγια πράγματι καταλαμβάνουν κεντρική θέση στην πορεία εξέλιξης της τεχνολογίας μας [Hill, 1996: 223].

Ο Βιτρούβιος (1ος αι. π.Χ.) αποδίδει την εφεύρεση του υδραυλικού ρολογιού στον Κτησίβιο (300-230 π.Χ.). Ένα θεμελιακό τεχνικό πρόβλημα για τους μηχανισμούς αυτούς προέκυπτε από το γεγονός ότι η ώρα δεν είχε σταθερή χρονική διάρκεια. Οι Αρχαίοι όριζαν την ημέρα ως το χρονικό διάστημα από την ανατολή έως τη δύση του Ηλίου και ως νύχτα το υπόλοιπο και τα χωρίζαν σε δώδεκα ώρες ίσης διάρκειας. Από τη στιγμή όμως που η διάρκεια της ημέρας από 24ωρο σε 24ωρο είναι μεταβλητή, μεταβλητή είναι και η διάρκεια των ωρών. Αν κατά συνέπεια η ροή του νερού από κάποια κλεψύδρα είναι υπεύθυνη για την αλλαγή των ωρών κατά τη διάρκεια μιας μέρας, η ροή αυτή δεν μπορεί να παραμένει σταθερή από μέρα σε μέρα.

Το βασικό πρόβλημα ήταν να ρυθμιστεί η εκροή του νερού από την κλεψύδρα σε σχέση με τη μεταβλητή διάρκεια των ωρών από μέρα σε μέρα. Η εκροή εξαρτάται από το μέγεθος της οπής της κλεψύδρας και από το ύψος του νερού που περιέχει. Ο Κτησίβιος στην οπή χρησιμοποιούσε πολύτιμους λίθους ή χρυσό, ώστε να μην φθείρεται και να μην στομώνει από ακαθαρσίες. Η επιλογή αυτή υιοθετήθηκε αργότερα από τους Άραβες μηχανικούς. Είναι χαρακτηριστικό ότι η λέξη που χρησιμοποιούσαν για να δηλώσουν την οπή σήμαινε και *όνιχας* [Drachmann, 1948: 18]. Σε ό,τι αφορά το ύψος του νερού στο εσωτερικό της κλεψύδρας ο Κτησίβιος επέλεξε να το διατηρεί σταθερό. Παροχέτευε νερό στην κλεψύδρα με ρυθμό μεγαλύτερο αυτού της εκροής. Στο επιθυμητό ύψος υπήρχε έξοδος διαφυγής του νερού

που πλεόναζε. Με τον τρόπο αυτό το υδραυλικό ρολόι του Κτησίβιου απαιτούσε τρία δοχεία. Ένα που υπερτροφοδοτούσε την κλεψύδρα, την ίδια την κλεψύδρα και ένα τρίτο δοχείο που δεχόταν τη σταθερού ρυθμού εκροή της κλεψύδρας, το οποίο χρησιμοποιούνταν για την ανάγνωση των ενδείξεων. Αυτό το πρώτο ρολόι πιθανότατα δεν είχε κάποια κλίμακα που να σημειώνονται οι ώρες, αλλά με την έλευση κάθε ώρας παραγόταν κάποιο ηχητικό σήμα, είτε με μπάλες που έπεφταν σε ελάσματα είτε με τρομπέτες είτε με άλλα μέσα [Drachmann, 1948: 18, 19]. Στο τρίτο δοχείο υπήρχε πλωτήρας που ακολουθούσε τη στάθμη του νερού. Όταν σε αυτόν προστέθηκε ένας δείκτης που κινούνταν σε κατακόρυφη κλίμακα έγινε δυνατή και η ανάγνωση των ωρών. Η διαχείριση της μεταβολής της διάρκειας των ωρών μπορούσε να πραγματοποιηθεί όχι μόνο με τη ρύθμιση της ροής αλλά και με την κίνηση του δείκτη πάνω σε κατάλληλα διαμορφωμένη κλίμακα διατηρώντας τη ροή σταθερή. Ο Κτησίβιος αρχικά προσπάθησε να ρυθμίσει τη ροή αλλά λόγω των τεχνικών δυσκολιών τελικά επέλεξε τη δεύτερη λύση [Drachmann, 1948: 20], [Hill, 1996: 227-8].

Μετά τον Κτησίβιο υπήρξαν μηχανικές βελτιώσεις της κίνησης του δείκτη στον πίνακα ενδείξεων. Σημαντική αλλαγή είναι ότι πλέον έχουν κατασκευαστεί ρολόγια που διαθέτουν ένα δίσκο που φέρει μεταλλικό πλέγμα το οποίο αποτελεί την προβολή του βόρειου ημισφαιρίου στο επίπεδο, ενώ υπάρχουν κατάλληλες οπές που υποδεικνύουν τη θέση του Ηλίου. Οι ώρες υποδηλώνονται με τη βοήθεια δεύτερου μεταλλικού πλέγματος [Drachmann, 1948: 20], [Hill, 1996: 228-9].

Αρχικά τα υδραυλικά ρολόγια, όπως μας λέει ο Βιτρούβιος, χρησιμοποιούνταν μόνο για τη μέτρηση των ωρών της μέρας. Στη συνέχεια όμως χρησιμοποιούνταν και για τις ώρες της νύχτας. Αυτό σημαίνει ότι πλέον έπρεπε να ρυθμίζονται δύο φορές το 24ωρο. Και ενώ κάτι τέτοιο θεωρητικά είναι απλό, στην πράξη δεν ήταν τόσο εύκολο, καθώς οι υποθέσεις που χρησιμοποιούνταν για τις συνθήκες εκροής του νερού αλλά και για τα ουράνια φαινόμενα δεν ήταν ακριβείς [Drachmann, 1948: 31].

Μια πολύ ενδιαφέρουσα περίπτωση υδραυλικού ρολογιού είναι το υδραυλικό ρολόι του Αρχιμήδη. Αποκαλείται έτσι γιατί τρία αραβικά χειρόγραφα το αποδίδουν στο μεγάλο μαθηματικό, παραθέτοντας ταυτόχρονα την περιγραφή του. Αυτό βέβαια δεν σημαίνει ότι οι πηγές είναι και απόλυτα αξιόπιστες, αφού ένα από τα χειρόγραφα αυτά το αποδίδει επίσης στον Φίλωνα και στον Ήρωνα. Οι ώρες σημειώνονταν σε δύο κατακόρυφες κλίμακες. Το σημαντικό εδώ είναι ότι υπήρχαν πολλά *πάρεργα*: ένα κεφάλι γοργόνας του οποίου το χρώμα των ματιών άλλαζε κάθε ώρα, δώδεκα αλυσοδεμένοι σκλάβοι και ένας εκτελεστής με σπαθί ώστε να τους αποκεφαλίζει με τη σειρά, δώδεκα πύλες που ανοίγοντας κάθε μια αποκαλύπτει έναν έφιππο άνδρα, ένα δέντρο που βρισκόταν ανάμεσα σε δύο λόφους ενώ δύο φίδια έβγαιναν από τις φωλιές τους κάθε ώρα αναγκάζοντας τα πουλιά που βρισκόταν πάνω στο δέντρο να τιτβίσουν, και τέλος, ένας φλαουτίστας που πιθανότατα υπήρχε στη βάση του ρολογιού και έπαιζε το φλάουτό του στο μέσο της ημέρας. Συγκρίνοντας το ρολόι του Αρχιμήδη με το ρολόι της Γάζας, που είναι κατασκευή του δού αιώνα μ.Χ., καταλήγουμε ότι το δεύτερο είναι σε κάποιο βαθμό η μωαμεθανική έκδοση του πρώτου. Επιπλέον, ο Drachmann διακρίνει την αρχική ιδέα επιμέρους κατασκευών του ρολογιού, όπως είναι το δέντρο με τα φίδια και τα πουλιά που τιτβίζουν καθώς και ο σίφοντας στο κάτω μέρος του ρολογιού, σε κατασκευές του Φίλωνα (περίπου 200 π.Χ.). Η ρύθμιση της ροής

για τη μεταβολή της διάρκειας των ωρών πραγματοποιούνταν με ένα εξελιγμένο σύστημα, που όμως είχε ως κληροδότημα τις λαθεμένες παραδοχές του παρελθόντος⁶.

Τελικά ο Drachmann καταλήγει ότι το «ρολόι του Αρχιμήδη» δεν έχει καμιά σχέση με τον Αρχιμήδη. Οι κατασκευαστικές του λεπτομέρειες υποδεικνύουν ότι είναι μεταγενέστερο από τον Βιτρούβιο και τον Ήρωνα. Το πιο πιθανό είναι να αποτελεί έργο Άραβα εφευρέτη που συνδύασε ιδέες από αρκετές πηγές όπως είναι ο Φίλωνας και ο Ήρωνας [Drachmann, 1948: 38-41].

Σε αντίθεση με τον Drachmann, ο Hill, σε πιο πρόσφατη έρευνά του που εστιάζει στα τεχνικά χαρακτηριστικά των μηχανισμών, υποστηρίζει ότι υπάρχει μεγάλη πιθανότητα το ρολόι να είναι κατασκευή του ίδιου του Αρχιμήδη. Το μοτίβο της γοργόνας είναι τυπικά ελληνικό όπως και τα φίδια με τα πουλιά στο δέντρο. Το δεύτερο έχει χρησιμοποιηθεί από τον Φίλωνα αλλά και οι λύσεις σε τεχνικά θέματα λειτουργίας είναι δικές του. Καταλήγοντας ο Hill συμπεραίνει ότι είναι πιθανό ο βασικός σχεδιασμός του ρολογιού να είναι του Αρχιμήδη και να έχουν υπάρξει προσθήκες από τον Φίλωνα και Άραβες τεχνικούς [Hill, 1996: 231].

Υπάρχει πληθώρα στοιχείων από τον αραβικό κόσμο σε ό,τι αφορά τα υδραυλικά ρολόγια. Για αυτά γράφουν ο αλ-Μουκάντασι στο τέλος του 9ου αιώνα, ο αλ-Χαΐνι σε έργο του που έχει γράψει περίπου το 1121 μ.Χ. όπως και άλλοι πολλοί. Επίσης, γνωστοί είναι και κατασκευαστές υδραυλικών ρολογιών όπως ο Ιμπν αλ-Χάιθαμ (965-1039 μ.Χ.), ο αστρονόμος αλ-Ζαρκάλι, που το 1050 κατασκεύασε ένα μεγάλο ρολόι στο Τολέδο, ο πατέρας του Ριντουάν, που ήταν και ο ίδιος συγγραφέας τεχνικών έργων το 12ο αιώνα, και άλλοι. Στα ρολόγια που περιγράφει ο αλ-Μουράντι τον 11ο αιώνα υπάρχουν όλα τα γνωστά *πάρεργα* της ελληνιστικής περιόδου. Το ενδιαφέρον εδώ είναι ότι αν και γνώριζε το ρολόι του Αρχιμήδη, για τη ρύθμιση της ροής χρησιμοποιεί στερεά αντικείμενα που τα τοποθετεί στο εσωτερικό της κλεψύδρας, ώστε να μειώσει τη χωρητικότητά της, και όχι το σύστημα της βαλβίδας με τον πλωτήρα [Hill, 1996: 233]. Η πρώτη λεπτομερειακή περιγραφή που διαθέτουμε για μεγάλο μνημειακό υδραυλικό ρολόι είναι του Ριντουάν για το ρολόι που κατασκεύασε ο πατέρας του. Τα *πάρεργα* που εμφανίζονται σ' αυτό ακολουθούν γνωστές διατάξεις, όπως είναι το διαδοχικό άνοιγμα δώδεκα θυρών, μία κάθε ώρα, αλλά τα μοτίβα είναι προσαρμοσμένα στον αραβικό κόσμο. Το υδραυλικό σύστημα είναι όμοιο με αυτό του ρολογιού του Αρχιμήδη μόνο που ο ρυθμιστής ροής⁷ έχει κυκλικό πίνακα και όχι ημικυκλικό, όπως έχει το ρολόι του Αρχιμήδη [Hill, 1996: 235].

Οι Άραβες λοιπόν όχι μόνο έμαθαν από τον ελληνιστικό κόσμο, και διέσωσαν την τεχνολογία των υδραυλικών ρολογιών και των αυτοματισμών των παρέργων, αλλά την ανέπτυξαν ακόμα παραπέρα. Ο Ριντουάν σε έργο που έγραψε το 1203 μ.Χ. σημειώνει ότι ένας βελτιωμένος σχεδιασμός του ρολογιού του Αρχιμήδη πέρασε στο Ιράν και από εκεί επέστρεψε στο Βυζάντιο [Hill, 1996: 230, 231-2]. Ανάλογη αναφορά κάνει και ο αλ-Τζάζαρι [Price, 1975: 58]. Υπάρχουν πολλά έργα Αράβων που περιγράφουν και βελτιώνουν προηγούμενα ρολόγια, ή απλώς κάνουν αναφορές σε υδραυλικά ρολόγια. Όλα δείχνουν ότι η κατασκευή τέτοιων ρολογιών, ως κληροδότημα του ελληνιστικού κόσμου με τις απαραίτητες αλλαγές και προσαρμογές στην αισθητική και την παράδοση της Ανατολής, είχε γίνει οργανικό μέρος του τεχνικού πολιτισμού του αραβικού κόσμου. Ο τεχνικός αυτός πολιτισμός πέρασε μέσω της Ισπανίας στη Δύση. Δεν είναι μόνο το ρολόι του Τολέδο ο αδιάψευ-

στος μάρτυρας του περάσματος αυτού. Είναι και ένα όργανο αραβικής προέλευσης κατασκευασμένο το 1221 περίπου και ένα κείμενο του 1000 τα οποία γεφυρώνουν το χάσμα μεταξύ τεχνολογίας γραναζιών και υδραυλικών ρολογιών.

Η συνδυασμένη αυτή τεχνολογία αποτέλεσε μια διάχυτη παράδοση στην Ευρώπη ήδη από τον δέκατο τέταρτο αιώνα.

Βιβλιογραφία

- Archimède TIII, Paris, Les Belles Lettres, 1971.
 De Camp, L. Sprague, *The Ancient Engineers*, New York, Ballantine Books, 1974.
 Drachmann, A. G., *Ktesibios, Philon and Heron, a Study in Ancient Pneumatics*, Copenhagen, Munksgaard, 1948.
 Hill, Donald, *A History of Engineering in Classical and Medieval Times*, London and New York, Routledge, 1996.
 Heron Alexandrinus, Opera III, Leipzig, 1903.
 Neugebauer, O., *Οι θετικές επιστήμες στην αρχαιότητα*, Αθήνα, MIET, 1990.
 Price, Derek de Solla, *Gears from the Greeks: The Antikythera Mechanism – A Calendar Computer from ca. 80 BC*, New York, Science History Publications, 1975 (πρωτοδημοσιεύθηκε στο *Transactions of the American Philosophical Society*, τ. 64, 1974).

Σημειώσεις

1. «... δύνασθαι τινα τῶν ἐν τοῖς μαθήμασι θεωρεῖν διὰ τῶν μηχανικῶν. Τοῦτο δὲ πέπεισμαι χρῆσιμον εἶναι οὐδὲν ἦσσαν καὶ εἰς τὴν ἀπόδειξιν αὐτῶν τῶν θεωρημάτων. Καὶ γὰρ τινα τῶν πρότερόν μοι φανέντων μηχανικῶς ὑστερον γεωμετρικῶς ἀπέδειχθη διὰ τὸ χωρὶς ἀποδείξεως εἶναι τὴν διὰ τούτου τοῦ τρόπου θεωρίαν; ἐτοιμότερον γὰρ ἐστὶ προλαβόντα διὰ τοῦ τρόπου γνώσιν τινα τῶν ζητημάτων πορίσασθαι τὴν ἀπόδειξιν μᾶλλον ἢ μηδενὸς ἐγνωσμένου ζητεῖν.» [Archimède, Tom. III, σελ. 83]
 2. Πρωινή (ἑώρα) επιτολή ενός αστέρος είναι η ταυτόχρονη με την ανατολή του Ηλίου ανατολή του, ενώ εσπερινή επιτολή η ταυτόχρονη με τη δύση του Ηλίου ανατολή του. Το φαινόμενο της πρώτης πρωινής επιτολής συμβαίνει μια φορά το χρόνο και χαρακτηρίζει μια εποχή (βλ. Αντόλκου «Περὶ επιτολῶν καὶ δύσεων»). Ἐπει η πρώτη πρωινή επιτολή του Ἀρκτοῦρου (α΄ του Βοώτη) σηματοδοτοῦσε τον ερχομὸ της Ἀνοιξης: «Ἐὺτ' ἂν δ' ἔξηκοντα μετὰ τροπᾶς ἡελίου χειμέρι' ἐκτελέσει Ζεὺς ἡματα, δὴ ἴα τότε' ἄστρη Ἀρκτοῦρος προλιπῶν ἱερὸν ὄσον Ὠκεανοῖο πρῶτον παμφαίνων ἐπιτέλλεται ἄκροκνέφαος, τὸν δὲ μέτ' ὀρθογὴ Πανδιονίς ὠροτ χελιδῶν ἐς φάος ἀνθρώποις ἕαρος νέον ἰσταμένιοιο.» [Ἡσίοδος, *Ἔργα καὶ ἡμέραι*, γρ. 764]
 3. Βλέπε: Allan G. Bromley, "Notes on the Antikythera Mechanism", *Centaurus*, 29, 1986, 5-27, καὶ Wright, Michael T., Bromley, Alan G., "Current Work on the Antikythera Mechanism", *Αρχαία Ἑλληνική Επιστήμη. Πρακτικά, 1ο διεθνὲς συνέδριο*, Θεσσαλονίκη, ΕΜΑΕΤ-ΤΜΘ, 1997.
- * Ο Ἀρατος ἦταν αστρονόμος καὶ ποιητὴς που ἐζήσῃ μεταξύ 4ου καὶ 3ου αἰῶνα π.Χ. Στὸ ἔργο του *Φαινόμενα* που ἔχει διασωθεῖ περιγράφει τὶς θέσεις τῶν ἀστράων καὶ τῶν αστερισμῶν, ἐνῶ σε διασωθέντα ἀπὸ ἄλλα ἔργα του ἀποσπάσματα δίνει πρακτικὸς κανόνες γιὰ τὸν προσδιορισμὸ τῆς θέσης τοῦ Ἡλίου πάνω στὸ Ζωδιακὸ κ.λπ.
5. Γιὰ τὸ ρολοὶ του de Dondi δεξ τῶν Silvio Bedini καὶ Francis Maddison, "Mechanical Universe", *Trans. Amer. Philos. Soc.* 56, 5 (Philadelphia, 1966). Τὸ ρολοὶ του Richard of Wallingford ἀποτελεῖ θέμα προσεχῶς μονογραφίας ἀπὸ τὸν Francis Maddison.
 6. Γιὰ τὸ σύστημα αὐτὸ ἀναλυτικὴ περιγραφή παραθετῆ ο Hill [Hill, 1996: 229-230].
 7. Δες σημείωση 3.