

Έκθεση της Πολυτεχνικής Σχολής στο Τελλόγλειο

Ελλάδα και τεχνολογία: Μια διαχρονική προσέγγιση

Η Πολυτεχνική Σχολή του Α.Π.Θ. σε συνεργασία με την Εταιρεία Μελέτης Αρχαίας Ελληνικής Τεχνολογίας, το Κέντρο Διάδοσης Επιστημών και Μουσείο Τεχνολογίας, το Ίδρυμα Λαμπράκη και το Σύλλογο Φίλων του Τελλογλείου Ιδρύματος διοργανώνει στο πλαίσιο των εκδηλώσεων των φθινοπωρινών «Ημερών Πολυτεχνείου» έκθεση στο Τελλόγλειο με θέμα τη συμβολή της αρχαίας Ελλάδας στην εξέλιξη της τεχνολογίας.



Η αντίληψη που καλλιεργήθηκε για την σχέση των αρχαίων Ελλήνων με την τεχνολογία ήταν από νωρίς αρνητική. Το γεγονός αυτό οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στην προβολή της καλλιτεχνικής και πνευματικής δημιουργίας της αρχαίας Ελλάδας αλλά και σε ορισμένες φιλολογικές “μαρτυρίες”, όπως προκύπτουν από σχόλια αρχαίων συγγραφέων, το νόημα των οποίων έχει μάλλον παρερμηνευθεί. Οφείλεται όμως και στο γεγονός ότι η συστηματική και εντατική μελέτη του πρωτογενούς “τεχνολογικού” υλικού που σώθηκε από την αρχαιότητα, είτε σε μορφή κειμένων τεχνικού περιεχομένου είτε ως κατάλοιπα προϊόντων τεχνολογίας, ξεκίνησε πριν λίγες μόνο δεκαετίες. Τα αποτελέσματα της έρευνας αυτής έχουν ήδη αλλάξει ριζικά την αντίληψή μας για την ενασχόληση των αρχαίων Ελλήνων με την τεχνολογία και τη συμβολή τους στη γένεση και πρόοδο της επιστήμης.

Βασικός στόχος της έκθεσης είναι να προβληθεί αυτό ακριβώς το εύρος της τεχνικής δημιουργίας του αρχαιοελληνικού κόσμου, των καινοτομιών και των τεχνικών επιτευγμάτων, έτσι όπως αναδεικνύεται μέσα από την ερευνητική προσπάθεια που γίνεται τα τελευταία χρόνια, κυρίως από Έλληνες μηχανικούς και επιστήμονες. Στην προσπάθεια αυτή αρωγός είναι η σύγχρονη τεχνολογία, η οποία δίνει στους μελετητές τη δυνατότητα να προσεγγίσουν το παρελθόν με μεγαλύτερη ακρίβεια και βεβαιότητα. Ένα εξαιρετικό παράδειγμα αυτής της ερμηνευτικής διαδικασίας είναι ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων: το ιστορικό της μελέτης του δείχνει παραστατικά το αυξανόμενο ενδιαφέρον των ειδικών από το 1900, χρόνο εύρεσης του αντικειμένου, μέχρι σήμερα και τις δυνατότητες που δίνει η διαρκώς εξελισσόμενη σύγχρονη τεχνολογία στην κατανόηση και ερμηνεία του.

Ένα εντυπωσιακό στοιχείο που διαφαίνεται σε πολλές περιπτώσεις είναι ότι αρκετές από τις εφευρέσεις του απώτερου αυτού παρελθόντος εξακολουθούν και σήμερα να λειτουργούν με την ίδια βασική αρχή· η αναρροφητική αντλία του Κτησιβίου, λόγω χάρη, χρησιμοποιούνταν ως πρόσφατα από την πυροσβεστική υπηρεσία. Το γεγονός αυτό προβάλλεται στην έκθεση με την αντιπαραβολή ορισμένων σύγχρονων προϊόντων τεχνολογίας ανάλογης λειτουργικής λογικής. Η επιλεκτική αυτή αντιπαράθεση δεν επιχειρεί να μεταφέρει κάποιο συγκεκριμένο μήνυμα: τα δάνεια και αντιδάνεια μεταξύ των λαών σε μια τόσο μεγάλη διάρκεια χρόνου αποτελούν ένα εξαιρετικά σύνθετο πλέγμα καταστάσεων, ενώ υπάρχει πάντα και το ενδεχόμενο της επανεφεύρεσης. Ανάλογες διαδικασίες πολιτισμικής και τεχνολογικής διάχυσης θα υπήρξαν ασφαλώς και κατά την αρχαιότητα μεταξύ των προηγμένων λαών της ανατολικής Μεσογείου.

Τα ομοιώματα που παρουσιάζονται στην έκθεση, που αποτελεί το κύριο γεγονός των φθινοπωρινών «Ημερών Πολυτεχνείου» 2008, έχουν διατεθεί κυρίως από το Κέντρο Διάδοσης Επιστημών και Μουσείο Τεχνολογίας της Θεσσαλονίκης και την Εταιρεία Μελέτης της Αρχαίας Ελληνικής Τεχνολογίας και αποτελούν μικρό δείγμα της τεχνολογίας που είχαν αναπτύξει οι αρχαίοι Έλληνες, ικανό όμως όχι απλώς να καταρρίψει τον μύθο περί αντι-τεχνολογικής αντίληψης αλλά και να τον αντιστρέψει.

Κορυφαίο δείγμα της αρχαίας ελληνικής τεχνολογίας, αλλά και πρόκληση για το επίπεδο γνώσης μας, αποτελεί ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων. Όσο προχωρά η έρευνα του ιδιαίτερου αυτού αντικειμένου –μοναδικού και ως προς το γεγονός ότι σώθηκε ολόκληρο ως τις μέρες μας– η επιστημονική κοινότητα μένει κατάπληκτη από το πλήθος και το υψηλότατο επίπεδο τεχνικών αλλά και επιστημονικών γνώσεων που προϋποθέτει η κατασκευή του μηχανισμού αυτού. Πρόκειται αναμφίβολα για μια απτή απόδειξη ότι όχι μόνον είχαν τεχνολογία οι αρχαίοι Έλληνες αλλά το πιθανότερο είναι να την είχαν φτάσει σε επίπεδο πολύ υψηλότερο απ’ ό,τι υποψιαζόμασταν ως τώρα.

καθηγητής Νικόλαος Μουσιόπουλος,
κοσμήτορας της Πολυτεχνικής Σχολής Α.Π.Θ.
αναπλ. καθηγήτρια Κλαιρή Παλυβού,
γενική επιστημονική επιμελήτρια έκθεσης

Η αρχαία ελληνική τεχνολογία

Μια βασικότατη πλευρά της ζωής των αρχαίων Ελλήνων, λιγότερο ίσως γνωστή απ' ό,τι η αρχαία Ελληνική φιλοσοφία και θρησκεία ή η στρατιωτική ιστορία των αρχαίων Ελλήνων, είναι η Τεχνολογία. Ένας πολιτισμός όμως δεν προσπελαύνεται χωρίς την κατανόηση βασικών κοινωνικών φαινομένων όπως η Οικονομία και η Τεχνολογία που την στηρίζει. Φαίνεται δε ότι αυτή η Τεχνολογία των αρχαίων Ελλήνων δεν ήταν πρώτη στις προτιμήσεις των μελετών-μας, ούτε και περιέχεται στη διδασκαλία της αρχαιοελληνικής Ιστορίας στα σχολεία-μας. Τόσο μεγάλες ήσαν αυτές οι ελλείψεις, ώστε οδήγησαν μερικές φορές στον μύθο «οι αρχαίοι Έλληνες εχθρεύονταν την Τεχνολογία!».



του

Θ. Π. Τάσιου,
καθηγητή Ε.Μ.Π.,
προέδρου της Εταιρείας
Μελέτης Αρχαίας
Ελληνικής Τεχνολογίας

Όπως και σε κάθε κοινωνικό φαινόμενο, έτσι και στην Τεχνολογία, πρέπει καταρχήν να παρακολουθήσουμε ένα αρχικό στάδιο το οποίο περιλαμβάνει πλήθος **εισαγόμενων** επιρροών: Πλήθος εμπειρικών τεχνολογιών δεν αποκλείεται να είχαν φτάσει απ' την Εγγύς Ανατολή στις Ελληνίδες χώρες, στην Ιωνία, την Αττική και την Πελοπόννησο, και εφαρμόζονταν μέχρι τον 6ο π.Χ. αιώνα. Όπως δεν αποκλείεται κι όλες αυτές οι Τεχνολογίες να ήταν αυτόχθονες.

Όμως αυτή τη φορά, κάτι διαφορετικό άρχισε να γίνεται στην Τεχνολογία με τους Έλληνες: Σταδιακά

αλλά σίγουρα, μια καινούργια (κατεξοχήν ελληνική) δραστηριότητα, η **Επιστήμη**, αρχίζει να διαποτίζει την κληρονομημένη Τεχνολογία. Από αυτόν τον υμέναιο θα προκύψουν καρποί πλούσιοι.

Πρώτον, χάρις στην Επιστήμη, η ίδια η Τεχνολογία γίνεται παραγωγικότερη (οικονομικότερη, ευρύτερης εφαρμογής), η δε τεχνολογική καινοτομία γίνεται ευχερέστερη (γρήγορη τεχνολογική πρόοδος). Δεύτερον, καθώς τώρα αλληλοσυμπληρώνονται Επιστήμη και Τεχνολογία, ένα νέο είδος αναγκών περιμένει να υπηρετηθεί από την Τεχνολογία: Πρόκειται για την ίδια την Επιστήμη, η οποία έχει ανάγκη από ποικίλα όργανα παρατήρησης και μετρήσεως. Τα «τεχνολογικά» αυτά προϊόντα θα είναι το αντίδωρο της Τεχνολογίας για όσα δωρήματα έλαβε από την Επιστήμη! Στην αρχαία Ελλάδα, η πολλαπλή σχέση Τεχνολογία - Επιστήμη - Τεχνολογία - Επιστήμη θα παρατηρηθεί πολλές φορές:

- Η εμπειρική τεχνική της μετρήσεως των χωραφιών μετεξελίσσεται στην επιστήμη της Γεωμετρίας. Έτσι, ο μέγας μαθηματικός Θαλής ο Μιλήσιος ήταν και Μηχανικός σπουδαίος: *τον Άλιν ποταμόν κατά τη διώρυχα εκτρεπόμενος εκ των αρχαίων ρεέθρων, Κροΐσου στρατόν διεβίβασεν* (Ηρόδοτος, Ι, 70).
- Με τη σειρά της, τώρα, η επιστήμη της Γεωμετρίας γίνεται υπόβαθρο νέων εφαρμοσμένων επιστημών, όπως της Οπτικής, της Γεωγραφίας, της Αστρονομίας αλλά και της Στατικής.
- Άλλο ένα παράδειγμα διαλεκτικής σχέσεως ανάμεσα στην Επιστήμη και την Τεχνολογία στην αρχαία Ελλάδα ήταν η μουσική τεχνική: Η εμπειρική κλίμακα ήχων μετατρέπεται σε κλίμακα αντιστοιχών αριθμών από τον Πυθαγόρα. Και τότε, η κατασκευή μουσικών οργάνων γίνεται ευχερέστατη.

Δεν επιτρέπει εδώ ο χώρος να αναπτύξουμε τη θεμελιώδη **μετρητική** τεχνολογία και τα βασικά μηχανικά **εργαλεία** των αρχαίων Ελλήνων. Αυτά όμως ήταν



ΠΗΓΗ: ΑΡΧΕΙΟ Ε.Μ.Α.Ε.Τ.

Οδόμετρο του Ήρωτος.

Η κατασκευή αποτελείται από ένα σύμπλεγμα οδοντωτών τροχών οι οποίοι, εμπλεκόμενοι με ατέρμονες κοχλίες, μεταφέρουν την κίνηση του τροχού ενός άρματος και την μετατρέπουν σε μονάδες μέτρησης του μήκους. Οι τρεις δίσκοι στο πάνω μέρος του οδόμετρου καταγράφουν σε μονάδες μήκους την διανυθείσα απόσταση.

(Μελέτη - κατασκευή: Δ. Κριάρης)

η βασική αιτία για την μεγάλη ώθηση που έλαβε η Ελληνική Τεχνολογία, απ' τον 5ο π.Χ. έως τον 1ο μ.Χ. αιώνα.

Ακολουθεί εδώ (δειγματοληπτική μόνο) παράθεση ορισμένων επιτευγμάτων της Τεχνολογίας των Ελλήνων.

Μεταλλευτική - Μεταλλουργία

Η νίκη των Αθηναίων στη Σαλαμίνα με 200 νουαυπηγμένες τριήρεις, δεν είναι άσχετη του γεγονότος ότι, επί τρία χρόνια πριν, η παραγωγή αργύρου στο Λαύριο είχε φθάσει στο απόγειο (750 τάλαντα κατ' έτος). Κι αν έχασαν τον Πελοποννησιακό πόλεμο, είναι ίσως διότι τα μεταλλεία είχαν σχεδόν κλείσει (75 τάλαντα κατ' έτος). Βεβαίως, ούτε η μεταλλευτική ούτε η μεταλλουργία των Αθηναίων ήταν αρχικώς πρωτότυπες. Όμως, κατά τον 5ο αι. και τον 4ο αι. παρατηρείται μια άνθηση και μια συστηματοποίηση που ουδέποτε άλλοτε είχε παρατηρηθεί:

- Άνετες στοές εξορύξεως.
- Δίδυμα φρεάτια για την μηχανοποίηση της ανυψώσεως φορτίων.
- Οργανωμένη μαζική εκκαμίνευση και τήξη.
- Νέες τεχνικές εξόρυξης των μεταλλευμάτων.
- Μηχανοποίηση της κοπής νομισμάτων.

Στρατιωτική Τεχνική

Εδώ πρόκειται για ένα **μόνιμο ιστορικό φαινόμενο** κι όχι για «επανάληψη» της Ιστορίας: Οι περισσότερες τεχνικές ανακαλύψεις γίνονται (ή, έστω, εφαρμόζονται ευρέως) για να εξυπηρετήσουν στρατιωτικές σκοπιμότητες. Αποφεύγοντας μια ηθικολογική προσέγγιση στο θέμα, παρατηρεί κανείς πως τούτο το φαινόμενο είναι εύλογο: Εδώ, το ψυχολογικό κίνητρο για την εφεύρεση είναι (δυστυχώς) έντονο, ενώ τα οικονομικά μέσα και η τεχνική υποστήριξη απεριόριστα (εξουσία, γαρ).

Βεβαίως, οι στρατιωτικές μηχανές (όπως και ένα μεγάλο μέρος της αρχαίας τεχνολογίας, όπως είπαμε) είναι προγενέστερες των Ελλήνων. Ο Ηρόδοτος (III, 52) περιγράφει πώς οι Πέρσες, εγκατεστημένοι στον Άρειο Πάγο, *όκως στυπέιον περί τους οϊστούς περιθέντες άπειαν, ετόξευον ες το φράγμα*.

Μόνο, όμως, μετά τον 5ο αι., μαζί με τις μεταβολές στην οχυρωτική (ή αντιστοιχία ήταν αναπόφευκτη), παρατηρείται ταχύτατη τεχνολογική πρόοδος και στα «επιθετικά» όπλα. Ακούστε πρώτα πώς ο Θουκυδίδης (Δ, 100) περιγράφει την κατά του Δηλίου επίθεση των Βοιωτών: *Κεραίαν μεγάλην δίχα πρίσαντες, εκοίλανον άπασαν και ξυνήρμωσαν άπασαν πάλιν ακριβώς ώσπερ αυλόν. Και επ' άκραν λέβητά τε ήρτησαν αλύσει και ακροφύσιον από της κεραίας σιδηρούν ες αυτόν νεύον καθείτο, και εσεδιήρωτο επί μέγα και του άλλου ξύλου. Προήγον δε εκ πολλού αμάξαις τω τείχει, και οπότε είη εγγύς, φύσας μέγας εσθέντες ες το προς εαυτών άκρον της κεραίας*

εφύσων. Η δε πνοή ιούσα στεγανώς ες τον λέβητα (έχοντα άνθρακας τε ημμένους και θείον και πίσσαν), φλόγα εποίει μεγάλην και ήψε του τείχους. Το πρώτο φλογοβόλο της Ιστορίας είχε νικήσει την αθηναϊκή φρουρά του Δηλίου.

Όμως, οι καιροί άλλαζαν, οι καταπέλτες που εφευρέθηκαν απ' τους μηχανικούς του Διονυσίου του Πρεσβύτερου (399 π.Χ.), το **ευθύτονον** και το **παλίντονον** (τριπλάσιας αρχικής δυνάμεως απ' το ευθύτονον) περιείχαν γεωμετρικές και μηχανικές συλλήψεις που δίκαια επαληθεύουν κι εδώ την πλησιίστια εισαγωγή του επιστημονικού πνεύματος στην τεχνολογία. Όταν δε ο μηχανικός του, ο Πολύειδος, κατασκευάσει την **ελέπολιν**, θα έχει εφεύρει το πρώτο θωρηκτό άρμα. Το ίδιο κι ο Επίμαχος



ΠΗΓΗ: ΑΡΧΕΙΟ Μ.Α.Ε.Τ.

Εγκατάσταση υγιεινής.

Στο Ακρωτήρι της Θήρας ανασκάπτεται μια εντυπωσιακά διατηρημένη πόλη της εποχής του Χαλκού (~1500 π.Χ.). Στον άνω όροφο της λεγόμενης «Δυτικής Οικίας» υπάρχει εγκατάσταση υγιεινής απομονωμένη από το υπόλοιπο σπίτι με πλινθότοιχο. Σε εσοχή του εξωτερικού τοίχου έχουν κτιστεί δύο πεζούλια, ανάμεσα στα οποία υπάρχει κενό με οπή στο πάτωμα, η οποία αποτελεί το στόμιο αγωγού. Ο αγωγός καταλήγει σ' ένα άνοιγμα του τοίχου προς την εξωτερική πλευρά του κτηρίου. Τα απόβλητα χύνονταν σε φρεάτιο το οποίο συνδέεται με το κεντρικό δίκτυο του οικισμού.

Μέσα στο φρεάτιο βρέθηκαν πλάκες τοποθετημένες έτσι ώστε η ροή των αποβλήτων να επιταχύνεται, διατηρώντας το δίκτυο καθαρό. Επιπλέον, οι πλάκες αυτές απομονώνουν σε μεγάλο βαθμό το φρεάτιο από το σπίτι - σχηματίζουν δηλαδή ένα είδος «οσμοπαγίδας».

(Μελέτη - επίβλεψη: Κ. Παλυβού, Κατασκευή:

Β. Αντωνόπουλος - Σ. Καμενόπουλος - Γ. Κανέλλος)



ο Αθηναίος (μηχανικός του Δημητρίου του Πολιορκητή): Η ελέπολις του Επιμάχου είχε 40 μ. ύψος, ήταν επενδυμένη εξωτερικά με σιδερένιες πλάκες, τα δε παράθυρα άνοιγαν με μηχανικά μέσα για να επιτρέψουν στα παντοειδή βλητικά μηχανήματα όλων των ορόφων να βάλουν κατά του εχθρού. Το όλον εκινείτο πάνω σε οκτώ γιγαντιαίους τροχούς πάχους 1,0 μ. Η περιγραφή του Διοδώρου (XX, 91) κόβει την ανάσα! Ένας μάλιστα απ' τους καταπέλτες (του Διονύσου εκ Μαγνησίας) είχε το όνομα **πολυβόλον**, όπως μαρτυρεί ο Φίλων ο Βυζάντιος. Τέτοιες επιθετικές μηχανές ήταν φυσικό να προκαλέ-



ΠΗΓΗ: ΑΡΧΕΙΟ Ε.Ι.Μ.Α.Ε.Τ.

Αντλία Κτησιβίου.

Η εμβολοφόρος αντλία του Κτησιβίου (285 - 222 π.Χ.) θεωρείται μία από τις σημαντικότερες μηχανολογικές εφευρέσεις για την άντληση νερού, η οποία βρήκε εφαρμογές εδώ και 23 αιώνες.

Αποτελείται από δύο όμοιους κυλινδρούς οι οποίοι στο εσωτερικό τους φέρουν έμβολα που κινούνται παλινδρομικά με τη βοήθεια μοχλού. Η κίνηση των εμβόλων δημιουργεί κενά αέρος και αναρρόφηση νερού, το οποίο μέσω σωλήνα μεταφέρεται έξω από τον χώρο όπου είναι βυθισμένη η αντλία. Για την κατασκευή του ομοιώματος έγινε συνδυαστική χρήση των στοιχείων που δίνουν στα βιβλία τους οι συγγραφείς Φίλων, Ήρων και Βιτρούβιος. Η παροχή της εμβολοφόρου αντλίας είναι 1 m³/h, με απόδοση περίπου 80%.

(Μελέτη - κατασκευή: Δ. Κριάρης)

σουν την ανάπτυξη αντίστοιχης αμυντικής τεχνολογίας. Ας αναφερθεί εδώ ένα απ' τα πιο ξακουστά παραδείγματα, η κατά των Ρωμαίων άμυνα των Συρακουσών, με τη βοήθεια του αρχιμηχανικού Αρχιμήδους: Επιβλητικοί γερανοί που ξαφνικά έβγαζαν τις μπούμες-τους έξω απ' τα τείχη, για να αρπάξουν τους πλωτούς πολιορκητικούς πύργους των Ρωμαίων, να τους σείσουν στον αέρα και να τους βροντήξουν στη θάλασσα! Σημειώνει και ο (κατά τα άλλα μάλλον αντι-τεχνικός) Πλούταρχος, (Μάρκελλος, XV): *Ταις δε ναυσίν, από των τειχών, άφνω υπεραιωρούμεναι κεραιαι, τας μεν υπό βριθους στηρίζοντος άνωθεν ωθούσας κατέδουον εις βυθόν, τας δε χερσίν σιδηραίς ή στόμασιν εικασμένοις γερανών ανασπώσαι πρώραθεν, ορθάς επί πρύμναν εβάπτιζον, ή δι' αντιτόνων ένδον επιστρεφόμεναι και περιαγόμεναι, τοις υπό το τείχος πεφυκόσι κρημοίσι και σκοπέλοις προσήρασσον, άμα φθόρω πολλών των επιβατών συντριβομένων.*

Η Τεχνολογία αναγνωρίζεται τώρα ως κύρια δύναμη, όταν ο ίδιος ο Μάρκελλος λέει (XVII) για τον Αρχιμήδη: *...προς τον γεωμετρικόν τούτον Βριάρεων πολεμούντες, ός τας μεν ναυς ημών καθίζων προς την θάλασσαν, παίζων, μετ' αισχύνης εκβέβληκε, τους δε μυθικούς εκατόγχειρας υπεραίρει, τσαύτα βάλλων άμα βέλη καθ' ημών.* Προσέξτε αυτό το «μετ' αισχύνης». Ακόμα δεν μπορούσε να συλλάβει ο νους-του πως κάτι άψυχες μηχανές τον έκαναν καλά κι όχι ένας γενναίος αντίπαλος. Λάθος μέγα, βέβαια. Η μηχανή είχε πίσω-της τα πιο ανθρώπινα χαρακτηριστικά: Όχι τα ζώωδη μπράτσα του μπεχλιβάνη, αλλά τον ανθρώπινο νού του επιστήμονα.

Τεχνικά έργα

Αναφέρθηκε ήδη η περίπτωση του Θαλή (6ος αι.) να εκτρέπει τον Άλυν ποταμόν. Κοντά στην Ιωνία πάντοτε, ο κυματοθραύστης της Σάμου (βάθος 35 μ., μήκος 335 μ.) είναι από τα σημαντικότερα λιμενικά έργα της αρχαιότητας. Η σήραγγα όμως της Σάμου, έργο του Μεγαρέως Ευπαλίνου, παρουσιάζει ίσως το μεγαλύτερο ενδιαφέρον: Με ύψος γύρω στα 2,0 μ. και μήκος 835 μ. (εκτός απ' τα 400 μ. ορύγματος προσπελάσεων) εντυπωσιάζει, ακόμα και για τα σημερινά δεδομένα.

Σειρά έχει τώρα ένα ευρύτερο υδραυλικό έργο, η αποξήρανση της λίμνης των Πτεχών (της λίμνης Δύστου δηλαδή, στην νότιο Εύβοια). Σώζεται η **σύμβαση** του δήμου Ερετριέων με τον μηχανικό Χαιρεφάνη (330 π.Χ.). Περιγράφεται το έργο (κατασκευή αποχετευτικών αγωγών και δρυφράκτων, κατασκευή υδροδεξαμενής κ.ά.), δίνεται τετραετής προθεσμία, παρέχεται ατέλεια στα εισαγόμενα υλικά, και ασυλία στον εργολάβο και στους εργαζομένους κατά τη διάρκεια της τετραετίας. Προβλέπονται όμως και σαφείς ποινικές ρήτρες, υλικής και ηθικής φύσεως. Το σπουδαιότερο: Αυτό είναι το πρώτο γνωστό έργο Β.Ο.Τ. στον κόσμο – αυτοχρη-

ματοδοτούμενο δηλαδή έργο με 10-ετή παραχώρηση εκμετάλλευσης.

Η Μεγάλη Αλεξάνδρεια

Στο ενοποιημένο γεωπολιτικό, οικονομικό και πολιτιστικό πλαίσιο του ελληνικού κόσμου ήταν φυσικό να ολοκληρωθεί η **στροφή** της ελληνικής σκέψης προς αυτό που (πολύ - πολύ αργότερα) ο Νεύτων θα ονόμαζε Φυσική Φιλοσοφία. Αντί για την ερμηνεία του κόσμου από τα «έξω προς τα μέσα» (π.χ. αντί να ξεκινούν από τα τέσσερα στοιχεία της φύσεως ή τις γενικές αρχές), αναζητούν τώρα να συνδέσουν τα μικρογεγονότα της πραγματικότητας, για να τα κάνουν ενδεχομένως ν' αποκτήσουν νόημα. Έτσι, ψάχνουν τον Κόσμο από «μέσα προς τα έξω», μ' έναν τρόπο που προαναγγέλλει τον Γαλιλαίο. Τώρα, πολύ περισσότεροι αρέσκονται στην παρατήρηση, στη μέτρηση, στην κατασκευή. Και κάτι ακόμα: Οι μεγάλοι συγγραφείς μηχανικοί δεν είναι πλέον κτηματίες ή στρατηγοί. Ο Κτησίβιος (ο ιδρυτής της Αλεξανδρινής τεχνολογικής παράδοσης) ήταν γιος κουρέα, ενώ ο Ήρων (του οποίου το έργο θα επανεκτιμάται συνεχώς μέχρι τον 16ο αι. μ.Χ. στην Ευρώπη) εργαζόταν στην αρχή ως υποδηματοποιός.

Μια συντομότερη παρουσίαση του έργου των μηχανικών εκείνης της περιόδου εισάγει στο κλίμα της Αλεξανδρινής σχολής:

Σύγχρονος ή λίγο αρχαιότερος του Αρχιμήδους ο Κτησίβιος, επιστήμων Φυσικός κατ' αρχήν, «επεδείκνυε με παραδείγματα την φύση του αέρα και την δύναμη/ταχύτητα της κινήσεώς του» μας λέει ο Φίλων ο Βυζάντιος. Το **αερότονο** του Κτησιβίου ήταν μια μηχανή η οποία, συνδυάζοντας ένα ελατήριο και πεπιεσμένο αέρα, ήταν σε θέση να πετάει κατά διαστήματα πέτρες. Το σπουδαιότερο είναι πως το μηχανήμα περιλάμβανε και μεταλλικό κύλινδρο με έμβολο, έναν μηχανισμό μεγάλης τεχνικής σημασίας. Η μεγάλη δόξα, όμως, του Κτησιβίου ήσαν οι αντλίες του. Ο Βιτρούβιος τις περιγράφει ονομαστικά (και λεπτομερέστατα), ενώ ο Αρχιμήδης φαίνεται πως μάλλον βελτίωσε παρά εφηύρε την αντλία-κοχλία. Για τα επόμενα 2.000 χρόνια όλη η ανθρωπότητα αυτές τις αντλίες θα χρησιμοποιεί. Το χαρακτηριστικό, πάντως, του Κτησιβίου (χαρακτηριστικό του αλεξανδρινού πνεύματος), ήταν το εύρος των τεχνικών ενδιαφερόντων, αλλά και οι μεγαλύτερες πρακτικές δυνατότητες χάρις στην ευχερέστερη χρήση των μετάλλων. Ο Βιτρούβιος (Χ, 7) ομολογεί πως δεν ξέρει τί να πρωτοδιαλέξει απ' τις μηχανές του Κτησιβίου, και παραπέμπει τους ενδιαφερομένους στα βιβλία του μεγάλου Αλεξανδρινού...

Ο Φίλων ο Βυζάντιος (γύρω στο 250 π.Χ.) συνέγραψε βιβλία, σημαντικό μέρος των οποίων διασώζεται: *Μοχλοί, Πνευματικά, Κλεψύδραι, Πολιορκητική, Πολεμικά Μηχανά, Οδοντωτοί τροχοί*. Αξίζει να προβληθεί το θέμα των οδοντωτών τροχών: Η μετά-

δοση δυνάμεως και ο πολλαπλασιασμός ή η υποδίαιρηση περιστροφικών κινήσεων στηρίζονται στους τροχούς αυτούς. Ήταν μια μεγάλη στιγμή για τη Μηχανολογία. Τα *Πνευματικά* του Φίλωνος είναι μια πραγματεία Φυσικής για υγρά και αέρια, χωρίς όμως ακόμα να αποτελεί άρτιο επιστημονικό σύστημα. Περιλαμβάνει ωστόσο πολλά διδακτικά πειράματα. Οι μεταλλουργικές γνώσεις του Φίλωνος είναι προχωρημένες: Δικαιολογεί λεπτομερώς τον Κτησίβιο που είχε συστήσει την αντικατάσταση του «νευροτόνου με το χαλκότονον». Πρόκειται για την αντικατάσταση των ινών των ζώων με καταλλήλως θερμοσφρηλατούμενα ελάσματα κρατερώματος. Ο Φίλων, τέλος, τιμά την αλεξανδρινή τάση προς τους αυτοματισμούς, πάνω στους οποίους ο Κτησίβιος τόσο είχε εργασθεί. Η σωζόμενη αραβική μετάφραση των *Πνευματικών*-του είναι θησαυρός τέτοιων παιγνίων: Ο αέρας, τα υγρά, η φωτιά, οι πλωτήρες, οι οδοντωτοί κανόνες προσφέρουν πλούσιο οπλοστάσιο για μια καινούργια τεχνολογία (τους αυτοματισμούς), που δυστυχώς δεν πρόλαβε τότε να ολοκληρωθεί - όμως θα τροφοδοτούσε όλη την Ευρώπη για άλλα 1500 χρόνια...



ΠΗΓΗ: ΑΡΧΕΙΟ Ε.Μ.Α.Ε.Τ.

Έλεγχος στάθμης υγρού Φίλωνος.

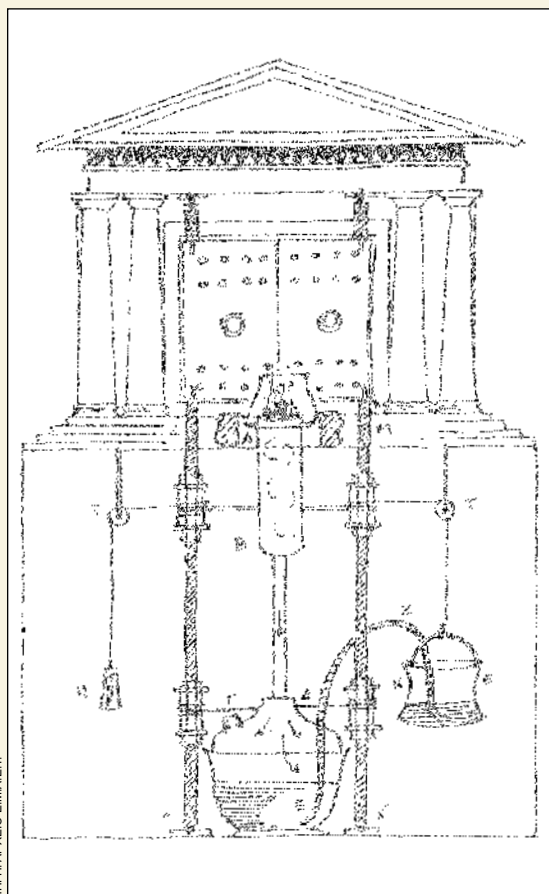
Η συσκευή αποτελείται από στεγανό δοχείο και κύπελλο τα οποία συνδέονται ανάμεσά τους με έναν υδραυλικό μηχανισμό. Αν αφαιρέσει κανείς ορισμένη ποσότητα υγρού από το κύπελλο, τότε ίση ποσότητα υγρού ρέει από το στόμιο του δοχείου, μέχρις ότου αποκατασταθεί πάλι η αρχική ισορροπία.

(Μελέτη - κατασκευή: Δ. Καλλιγερόπουλος)



Οκτακόσια χρόνια παράδοση τελείωνε σχεδόν με τον Ήρωνα, το κύριο χαρακτηριστικό-της όμως δεν αλλοιωνόταν: Ο Ήρων ο Αλεξανδρινός ήταν πάνω απ' όλα επιστήμονας μεγάλου εύρους και βάθους. Τα διασωθέντα βιβλία-του ανήκουν σε τρεις κυρίως κατηγορίες, τα γενικά επιστημονικά (*Μετρητική, Μηχανική, Βαρούλλκος*), τα αναφερόμενα σε εφαρμοσμένες επιστήμες (*Πνευματικά, Περί Διόπτρας*), και τεχνολογικά (*Περί υδρίων υροσκοπίων, Βελοποιϊκά, Χειροβαλίστρας κατασκευή και Αυτοματοποιητική*). Στη *Μηχανική* του, έργο ωριμότητας, αναφέρεται συχνότατα επωνύμως στον Αριστοτέλη, στον Αρχιμήδη και στον Φίλωνα. Νέα μηχανήματα, όπως τα παντοειδή πιεστήρια, παρουσιάζονται για πρώτη φορά. Κάθε μηχανήμα αναλύεται σε απλούστερα τμήματά-του, που ανάγονται με τη σειρά τους σε μοχλούς, με βασική γεωμετρική ερμηνεία. Μέθοδος, λοιπόν, επιστημονική και διδακτική - παρ' όλο που τα βιβλία έχουν στόχο τις εφαρμογές. Υπάρχουν όμως και ερωτήματα, όπως «το γιατί ένα πεπλατυσμένο σώμα πέφτει βραδύτερα από σφαίραν ίσου βάρους», που μένουν (τραγικώς, θα έλεγα) αναπάντητα: Η επιστήμη θα είχε να κάμει ακόμα δρόμο

πολύν - αν δεν διεκόπτετο... Στα *Πνευματικά* (σίφωνες, λάμπες, αντλίες, υδραυλικά μουσικά όργανα) βρισκόμαστε στην ατμόσφαιρα του Φίλωνος, αλλά με πολύ περισσότερες εφαρμογές, ιδίως με την κινητήρια δύναμη του ατμού. Όχι, δεν είχαν φτάσει ακόμα στην ατμομηχανή του Watt - ωστόσο, αρκετές βασικές γνώσεις είχαν ήδη αποχτηθεί: Η ωστική και η κινητήρια δύναμη του ατμού, καθώς και οι ιδιότητές-του κατά τη συμπίεση και τη διαστολή-του, αλλά και η γνώση των αναγκαίων αυτοματισμών για τη ρύθμιση τροφοδοσίας ατμού. Έτσι, ο περίφημος **ατμοστρόβιλος** του Ήρωνος μπορεί στα μάτια-σας να μοιάζει με παιχνίδι, συνιστά όμως μια διανοητική επανάσταση. Και θα είναι ο μόνος πρόδρομος της ατμομηχανής για τα επόμενα 1000 χρόνια... Με τέτοια δεδομένα, δεν είναι καθόλου περίεργο που τα έργα του Ήρωνος γνώριζαν αλληπάλληλες εκδόσεις σ' όλο τον κόσμο, μέχρι και το 1578 μ.Χ., οπότε δημοσιεύτηκε η τελευταία ιταλική έκδοση. Γιατί αυτό; Άραγε, μόνο από τον 17ο αι. και ύστερα οι γνώσεις-μας ξεπέρασαν το εύρος της τεχνολογικής παιδείας των Ελλήνων;



ΠΗΓΗ: ΑΡΧΕΙΟ Ε.Μ.Α.Ε.Τ.

Αυτόματες πύλες ναού

Το Θεώρημα 38 των Πνευματικών του Ήρωνος περιγράφει την αυτόματη λειτουργία των πυλών ενός ιερού ναού: «Ναός κατασκευάζεται, έτσι ώστε μόλις ανάψει φωτιά σε βωμό που βρίσκεται στην είσοδό του και γίνει θυσία, οι πόρτες του ναού να ανοίγουν αυτόματα, και μόλις σβήσει η φωτιά πάλι να κλείνουν.»

Ο Ήρων αξιοποιεί στον μηχανισμό αυτό τη διαστολή του θερμαινόμενου αέρα κάτω από τον βωμό. Με την πίεση του αέρα, μεταφέρει υγρό από ένα σταθερό σε ένα κινητό δοχείο, και κατόπιν χρησιμοποιεί σύστημα τροχαλιών και αντίβαρων για την περιστροφή των πυλών του ναού. (Μελέτη - κατασκευή: Δ. Καλλιγερόπουλος)

Από τον Όμηρο στον Ήρωνα

Η αρχαία ελληνική παράδοση είναι αναμφισβήτητα συνυφασμένη με την έννοια του «**ανθρωπομορφισμού**». Οι Έλληνες απέδωσαν δηλαδή ανθρώπινη μορφή στα φυσικά φαινόμενα και στους θεούς που έπλασαν. Ο Ποσειδώνας θεός της θάλασσας, ο Δίας του ουρανού. Σαν άνθρωποι όμως της σκέψης, της επινόησης, της δημιουργίας, τίμησαν την τεχνολογία και έδωσαν ανθρώπινη, ρεαλιστική μορφή στο θεϊκό της εκπρόσωπο, στον Ήφαιστο. Τον έφτιαξαν κουτσό, όπως στ' αλήθεια ήταν τότε οι πιο πολλοί μεταλλουργοί, μιας και οι γεροί στα πόδια πήγαιναν στον πόλεμο και οι κουτσοί έμεναν πίσω να φτιάχνουνε τα όπλα, τα εργαλεία και τις μηχανές στο καμίνι του σιδερά.

Αναπόφευκτα, λοιπόν, αυτή η έννοια του ανθρωπομορφισμού μπήκε και στην τεχνολογία. Αρχικά από την πόρτα του μύθου: Ω! τι καλά που θα 'τανε να φτιάχναμε μηχανές με ιδιότητες των ζωντανών ανθρώπων. Μηχανές ανθρωπόμορφες, αλλά κυρίως μηχανές αυτοκίνητες, ικανές να κινούνται από μόνες τους και να κινούνται σκόπιμα με βάση ένα πρόγραμμα, ικανές δηλαδή να αυτοελέγχονται και να μιμούνται τις λειτουργίες και τις πράξεις των ανθρώπων. Με μία λέξη: **αυτόματα**.

Αυτό το τεχνολογικό όραμα πρωτοεμφανίζεται στον ομηρικό μύθο με τον όρο «αυτόματα», αλλά και με τα παραδείγματά του: τους αυτόματους τρίποδες, τα αυτορρυθμιζόμενα φουσερά, τις χρυσές θεραπαίνιδες, τα αυτοκίνητα, με τεχνητή νοημοσύνη σπλισμένα, πλοία των Φαιάκων.

Ερμηνεύεται φιλοσοφικά από τους προσωκρατικούς φιλοσόφους, που ανακαλύπτουν στα πρωταρχικά υλικά στοιχεία την «ζωή» της ύλης, την αναγκαία για την αυτοκίνηση εσωτερική ενέργεια. Ερευνάται από τους κλασικούς φιλοσόφους, που διαμορφώνουν τις έννοιες του συστήματος, του ελέγχου, της ανάδρασης, της ανατροπής του ευθύγραμμου δρόμου και της επιστροφής από το αποτέλεσμα στην αιτία που το δημιούργησε. Και εκπληρώνεται επιστημονικά και τεχνολογικά κατά την ελληνιστική περίοδο, όπου οι αυτοκίνητες, προγραμματιζόμενες και αυτοελεγχόμενες μηχανές μελετώνται, κατασκευάζονται και διδάσκονται. Έτσι ο μυθικός όρος: «**αυτόματα**» μετασχηματίζεται στον επιστημονικό και τεχνολογικό όρο: «**αυτοματοποιητική**», η τέχνη της κατασκευής των αυτομάτων.

Αξίζει να εξετάσουμε εδώ συνοπτικά τη διαδρομή αυτή. Όχι μόνο με το βλέμμα στραμμένο στο παρελθόν, αλλά διότι έχουμε ακόμη μπροστά μας το όραμα να μάθουμε από τη φύση, να δώσουμε στις μηχανές ανθρώπινες ιδιότητες, να επεκτείνουμε με τις μηχανές αυτές τις ικανότητές μας, τη μνήμη μας, την επεξεργασία των πληροφοριών μας, τον έλεγχο των συνθετων συστημάτων που μας περιβάλλουν.

Τα ομηρικά αυτόματα στην Ιλιάδα

Η λέξη «αυτόματα» είναι λέξη ομηρική. Εμφανίζεται αρκετές φορές τόσο στην Ιλιάδα όσο και στην Οδύσσεια, για να περιγράψει τις μηχανές που κινούνται από μόνες τους, με εσωτερική ενέργεια, σαν τα ζωντανά όντα. Δεν γνωρίζουμε αν στην εποχή του Ομήρου υπήρχαν πράγματι τέτοιες αυτοκίνητες μηχανές ή αν η ποιητική φαντασία τόλμησε να τις προβλέψει. Να εκφράσει δηλαδή την επιθυμία για την ύπαρξη των αυτομάτων και να αναθέσει την κατασκευή τους τις περισσότερες φορές σε έναν θεό –τον πρωτομάστορα Ήφαιστο.

«Αυτόματα, από μόνες τους άνοιξαν τρίζοντας οι πύλες του ουρανού, που τις κρατούσαν οι Ώρες»,

γράφει στην Πέμπτη Ραψωδία της Ιλιάδας ο ποιητής (στίχος E749).

Και ήταν η Ήρα, που έδωσε εντολή για την αυτόματη λειτουργία των πυλών, χτυπώντας το μαστίγιό της.

Φαντασία; Ίσως. Πρωτοπόρα όμως διατύπωση του όρου «αυτόματα» και ταυτόχρονα διατύπωση ενός τεχνολογικού οράματος: Θα μπορούσαν να υπάρξουν τέτοιες αυτόματες πύλες. Ενός οράματος που δεν άργησε να βρει την υλοποίησή του.

Στο Σ της Ιλιάδας, την επονομαζόμενη Ραψωδία της Οπλοποίας, ο Ήφαιστος δούλευε μόνος στο περίτεχνο εργαστήρι του, όταν τον είδε η Θέτιδα:

«μέσ' στον ιδρώτα να στριφογυρνά γύρω από τα φουσερά του γιατί βιαζότανε. Είκοσι όλους κι όλους μαστόρευε τρίποδες, για να στέκουν γύρω-γύρω στην αίθουσα την στεριοκάμωτη κατά μήκος των τοίχων. Και κάτω από τη βάση του καθενός άρμοζε ρόδες χρυσές για να μπορούν αυτόματα, από μόνι τους, (αυτόματοι, λέει ο Όμηρος) να μπαίνουν στον θείων τη σύναξη και πάλι μόνοι τους γυρνούν στο οίκημα. Ένα θαύμα να τους βλέπει κανείς» (Σ372-377).

Εδώ ο Όμηρος δεν περιορίζεται μόνο στη διατύπωση: Θα μπορούσαν να υπάρχουν αυτόματοι τρίποδες.

Προχωρά ένα βήμα παρακάτω: Θα μπορούσαν να κατασκευαστούν τέτοιες αυτοκίνητες μηχανές από ένα τεχνητή ικανό, της κλάσης του Ήφαιστου. Και θα μπορούσαν να χρησιμεύσουν πρακτικά, θα μπορούσαν να κάνουν δουλειές, να εξυπηρετήσουν εδώ τους

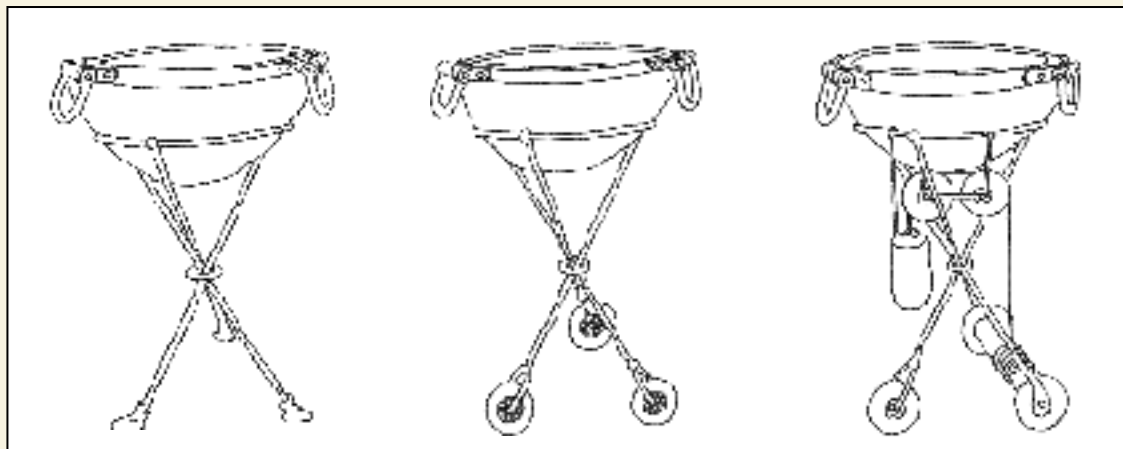
του
Δημητρίου Καλλιγερόπουλου,
καθηγητή
του Τμήματος Αυτοματισμού
Τ.Ε.Ι. Πειραιά



Οι επιστημονικές αναζητήσεις και οι φιλοσοφικές ιδέες των προκλασικών και κλασικών χρόνων οδηγούν στη συστηματική μελέτη και κατασκευή των αυτομάτων κατά τα κλασικά και ιδιαίτερα κατά τα ελληνιστικά χρόνια.



Σχήμα 1:
Σταθερός, κινητός
και αυτοκίνητος
τρίποδας.



ΠΗΓΗ: ΑΡΧΕΙΟ Δ. ΚΑΜΜΕΡΟΠΟΥΛΟΥ



θεούς του Ολύμπου. Ούτε και αυτό το όραμα άργησε να βρει την υλοποίησή του.

Και προχωρά ο Όμηρος την τολμηρή τεχνική του σκέψη. Αυτός που μπορεί να φτιάχνει αυτοκίνητες μηχανές πρέπει να έχει και το κατάλληλο εργαστήριο. Το νέο όραμα είναι: Θα μπορούσαν τα αυτόματα να μπουν στους τόπους παραγωγής, θα μπορούσαν να γίνουν αυτόματα εργαστήρια.

«... Πήγε (ο Ήφαιστος) στα φουσερά του, τα ὄστρεψε προς την φωτιά και τα πρόσταξε (τα κέλευσε) ν' αρχίσουν να δουλεύουν. Και τα φουσερά, είκοσι όλα μαζί, φυσούσανε μέσ' στα καμίνια βγάζοντας κάθε λογής δυνατόν αέρα, άλλοτε γρήγορα σαν να βιαζότανε κι άλλοτε αργά, όπως ήθελε ο Ήφαιστος κι όπως το ζήτηγε η δουλειά του» (Σ468-473).

Πρόκειται εδώ για την περιγραφή ενός πραγματικά αυτόματου χυτηρίου, όπου ο Ήφαιστος προστάζει είκοσι μαζί φουσερά ν' αρχίσουν να δουλεύουν από μόνα τους, για να λιώσει το μέταλλο. Και μάλιστα τα φουσερά αυτά, χωρίς άλλη εξωτερική εντολή, μπορούν να αυτορυθμίζονται και να αυξομειώνουν την ταχύτητα λειτουργίας τους ανάλογα με τις ανάγκες της δουλειάς.

Σύλληψη μεγαλοφυής: Θα μπορούσαν να υπάρχουν αυτόματοι τόποι δουλειάς, που θα λειτουργούσαν μόνο με έναν άνθρωπο, αυτόν που θα έδινε την αρχική εντολή, και στη συνέχεια οι μηχανές θα δούλευαν μόνες τους, αυτοπροσαρμοζόμενες στις συνθήκες και στις απαιτήσεις του έργου.

Και το τεχνικό όραμα ολοκληρώνεται όταν ο ποιητής φτάνει με τη φαντασία του στο τέλος αυτής της ιδιόμορφης τεχνολογίας των αυτομάτων: – Δεν θα μπορούσε ο τεχνολόγος θεός μου, αναρρωτιέται, να φτιάξει αυτοκίνητες μηχανές με ανθρώπινη μορφή, ικανότητες και γνώση;

«Είπε κι από τη θέση του αμονιού σηκώθηκε ο πελώριος όγκος αγκομαχώντας και κουτσαίνοντας... Από το πλάι τον κράταγαν χρυσές θεραπεινίδες, γυναίκες χρυσές, σκλάβες από χρυσό, που έμοιαζαν με ζωντανές κοπέλες. Μέσα τους είχαν λογικό, εί-

χαν φωνή και δύναμη και απ' τους αθάνατους θεούς έμαθαν κάθε τέχνη» (Σ410-420).

Να τα λοιπόν, δυο μυθικά αυτόματα ρομπότ, δυο αυτοκίνητες, ανθρωπόμορφες μηχανές, που προχωρούν με τη σειρά τους την τεχνολογία ένα ακόμη βήμα. Οι μηχανές αυτές έχουν «λογικό, φωνή και δύναμη» και «έμαθαν κάθε τέχνη». Καινούργια τεχνολογικά οράματα: Η δύναμη –η ενίσχυση δηλαδή των μικρών σε ισχύ εντολών για την πραγματοποίηση μηχανικών κινήσεων σημαντικής ισχύος–, η φωνή –η κατασκευή δηλαδή μηχανών ικανών να παράγουν ήχο–, το λογικό –η εσωτερική δομή των μηχανών αυτών, που τους επιτρέπει να μαθαίνουν και να κατέχουν δεξιότητες.

Οι αναφορές αυτές έχουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον διότι εισάγουν νέες έννοιες στην τεχνολογία, εκφράζουν τεχνολογικές προθέσεις, έστω και αν η υλοποίησή τους αποδίδεται σε θεούς.

Τα ομηρικά αυτόματα στην Οδύσσεια

Στην Οδύσσεια όμως, το δεύτερο –ειρηνικό– έπος του Ομήρου, η κατασκευή αυτομάτων αποδίδεται και σε ανθρώπους. Υπάρχουν λαοί, υποστηρίζει ο ποιητής, εξαιρετικά αναπτυγμένοι τεχνολογικά, που ξέρουν να κατασκευάζουν πλοία αυτόματα –οι Φαίακες, οι κάτοικοι της μυθικής Σχερίας, με βασιλιά τους τον Αλκίνοο. Αυτός λέει στον Οδυσσέα:

«Πες μου για τη χώρα σου και το λαό σου και την πόλη σου για να σε πάνε εκεί τα πλοία μας τα κατασκευασμένα με σκέψη (ή τα πλοία με την κατασκευασμένη σκέψη). Γιατί δεν υπάρχουν κυβερνήτες στα πλοία των Φαιάκων, ούτε πηδάλια σαν αυτά που έχουν τα άλλα καράβια. Παρά τα πλοία των Φαιάκων ξέρουν τις διαθέσεις και τις σκέψεις των ανθρώπων και γνωρίζουν τις πατρίδες όλων, και με εξαιρετική ταχύτητα διανύουν τις θαλασσινές αποστάσεις, ακόμη κι όταν έχει σκοτάδι και συννεφιά. Και ποτέ δεν υπάρχει φόβος να πάθουν καμιά βλάβη» (Θ555-563).

Ένα νέο τεχνολογικό όραμα παρουσιάζεται εδώ:

Η κατασκευασμένη σκέψη, η τεχνητή νοημοσύνη, η ικανότητα του προγραμματισμού, η ανάπτυξη τεχνολογίας ικανής να ελέγξει την κατεύθυνση ενός πλοίου και μάλιστα με όργανα που ξεπερνούν τα καθιερωμένα και ορίζουν τον προσανατολισμό χωρίς τη συμβολή των άστρων.

Η λύση του προβλήματος της εσωτερικής ενέργειας των αυτομάτων

Οι πρωτοπόρες ιδέες του Ομήρου προανέγγειλαν την άνοιξη μιας νέας εποχής. Της εποχής που θα οδηγήσει από τα μυθικά οράματα στη φυσική ερμηνεία του κόσμου. Και ταυτόχρονα στη φυσική ερμηνεία των αυτομάτων.

Για να υλοποιηθεί το όραμα της κατασκευής των αυτομάτων θα έπρεπε πρώτα να λυθούν, στην αρχή θεωρητικά και στη συνέχεια πρακτικά, δύο μεγάλα προβλήματα:

- Που θα βρει κανείς αυτή την εσωτερική ενέργεια που απαιτεί η αυτοκίνηση των αυτομάτων;
- Πως θα ελέγξει κανείς στη συνέχεια τη λειτουργία τους, έτσι ώστε η κίνηση τους να έχει σκοπό και επιθυμητό αποτέλεσμα;

Απάντηση στα ερωτήματα αυτά επιχείρησαν πρώτοι οι προσωκρατικοί φιλόσοφοι.

Από τι συνίσταται ο κόσμος; ρώτησαν. Και ποιες οι ιδιότητες αυτών των συστατικών του στοιχείων, των «ριζών»; όπως τα ονόμασαν.

Ο **Θαλής ο Μιλήσιος** (624-546 π.Χ.), ο πρώτος Έλληνας φιλόσοφος και ιδρυτής της επιστημονικής σκέψης, θεώρησε ως φυσική αρχή του κόσμου το νερό. Αντιλαμβάνεται όμως το νερό όχι ως νεκρή φύση, αλλά ως ενεργό στοιχείο που φέρει ενέργεια. Την ενέργεια αυτή, που είναι άμεσα συνδεδεμένη με την έν-

νοια της κίνησης, ο Θαλής την ονομάζει «ψυχή». Λέει χαρακτηριστικά ότι η «ψυχή» έχει «*φύσιν αεικίνητον και αυτοκίνητον*».

Έναν αιώνα περίπου αργότερα ο **Εμπεδοκλής** (495-435 π.Χ.) θεωρεί ως πρωταρχικά στοιχεία: τη *γη*, το *νερό*, τον *αέρα* και τη *φωτιά*.

Την ίδια περίοδο ο **Αναξαγόρας** (500-428 π.Χ.) αποδίδει στα υλικά αυτά στοιχεία ιδιότητες, αντιφατικές ανάμεσά τους, που ελέγχονται από έναν κεντρικό ελεγκτή, τον *Νου*.

Οι θεωρητικές αυτές αναζητήσεις οδήγησαν στη συνέχεια, ιδιαίτερα κατά την ελληνοιστική περίοδο, στη λύση του προβλήματος της εσωτερικής ενέργειας των αυτομάτων.

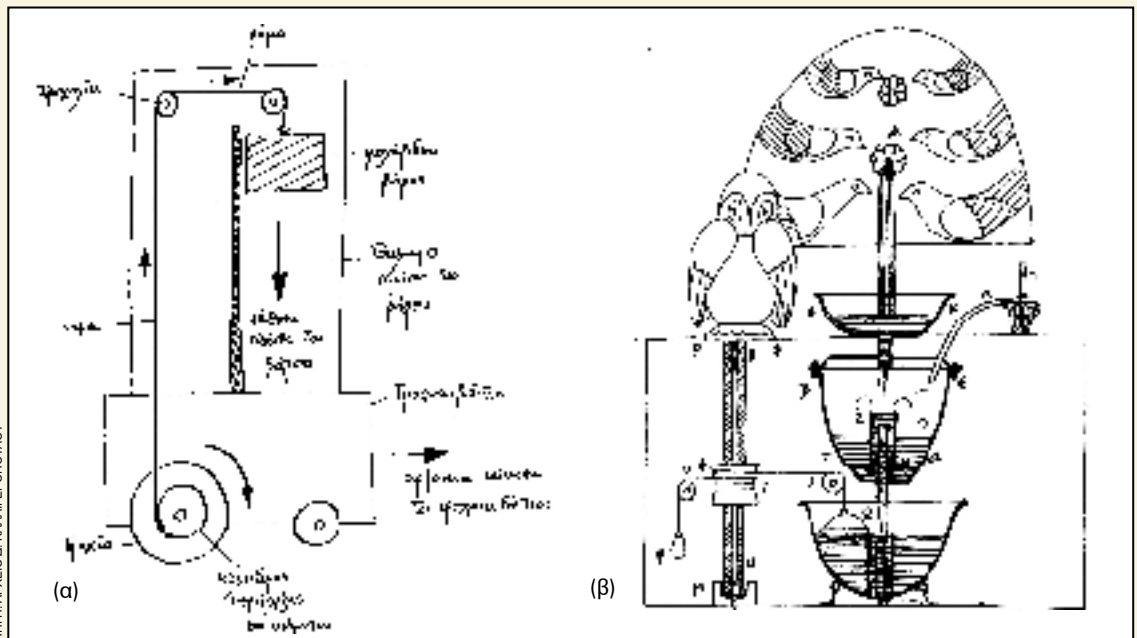
Από πού θα βρεθεί αυτή η εσωτερική ενέργεια; Από την εσωτερική ενέργεια, την «ψυχή», των πρωταρχικών στοιχείων της φύσης.

«Διότι με τη σύνθεση του αέρα, της φωτιάς, του νερού και της γης, και τη συνένωση των τριών ή και των τεσσάρων αυτών στοιχείων, γίνονται οι διάφορες λειτουργίες (των αυτομάτων), που άλλες μεν τις αξιοποιούμε για να αντιμετωπίσουμε τις ανάγκες της ζωής, άλλες όμως μας προκαλούν έκπληξη και θαυμασμό» (Ήρων, Πνευματικά, Εισαγωγή).

Η γη: *«Όλα τα κινητά αυτόματα έχουν σαν κινητήρια δύναμη, σαν αρχική αιτία της κίνησης τους την ενέργεια από την πτώση ενός μολύβδινου βάρους»* (Ήρων, Αυτοματοποιητική, 2.6, σχήμα 2α).

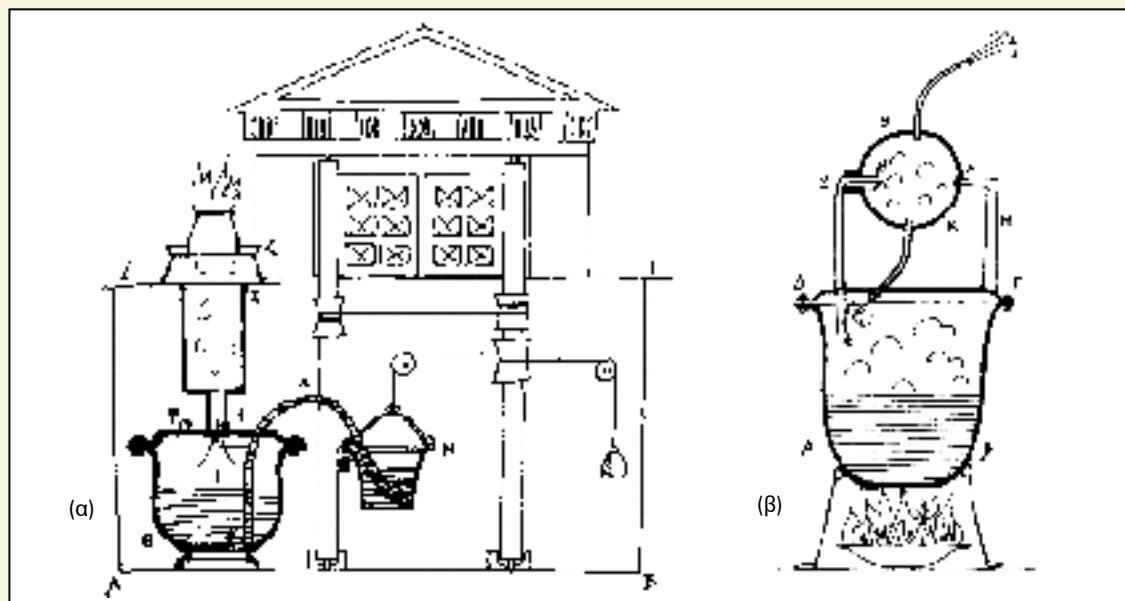
Το νερό: Με τη ροή του δημιουργεί ο Ήρων υδραυλικά αυτόματα, όπως η αυτόματη κρήνη (Πνευματικά, Α16, σχήμα 2β).

Ο αέρας: Η διαστολή του θερμαινόμενου αέρα αξιοποιείται από τον Ήρωνα στις αυτόματες πύλες ναού



Σχήμα 2:
Η αξιοποίηση της «εσωτερικής ενέργειας» της γης και του νερού για την κίνηση των αυτομάτων.

Σχήμα 3:
Η αξιοποίηση της «εσωτερικής ενέργειας» του αέρα και της φωτιάς για την κίνηση των αυτομάτων.



ΠΗΓΗ: ΑΡΧΕΙΟ Δ. ΚΑΛΙΓΕΡΟΠΟΥ



(Πνευματικά, Α38, σχήμα 3α).

Η φωτιά: Η αξιοποίησή της στη μετατροπή του νερού σε ατμό στην ατμοκίνητη σφαίρα του Αιόλου (Ήρων, Πνευματικά, Β11, σχήμα 3β).

Το πρόβλημα του αυτομάτου ελέγχου

Απομένει τώρα το δύσκολο πρόβλημα του ελέγχου. Οι προσωκρατικοί φιλόσοφοι έβαλαν τις βάσεις για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού. Ο έλεγχος είναι μια διαδικασία αντιφατική. Δεν αρκεί η απλή λογική που οδηγεί από την αιτία στο αποτέλεσμα. Στη διαδικασία του ελέγχου το επιθυμητό αποτέλεσμα ορίζει την αιτία που θα το προκαλέσει.

Πρώτος ο **Ηράκλειτος** (544-484 π.Χ.) εισάγει θεωρητικά την έννοια της αντίφασης και της αλληλεπίδρασης των αντιθέτων. Αλλά την επιστημονική ερμηνεία του αυτομάτου ελέγχου επιχειρεί βασικά ο **Πλάτων** και ο **Αριστοτέλης**. Το γνωσιολογικό απόφθεγμα του **Σωκράτη**: «Ένα γνωρίζω, ότι δεν γνωρίζω τίποτα», εισάγει από μόνο του την έννοια της ανάδρασης και της αυτοαναίρεσης. Με τη μαιευτική του μέθοδο ο δάσκαλος ελέγχει το συνομιλητή του για να εκμαιεύσει από αυτόν, με την κατάλληλη ερώτηση, την επιθυμητή απάντηση.

Ο Πλάτων όμως ορίζει την «κυβερνητική» σαν την τέχνη του κυβερνήτη, του ελεγκτή ενός πλοίου. Και ο Αριστοτέλης αναλύει τη διαδικασία ελέγχου της πορείας ενός πλοίου, όπου ο κυβερνήτης χρησιμο-

ποιεί για τον έλεγχο αυτό δύο «εργαλεία» ελέγχου: ένα «άψυχο», το πηδάλιο, αλλά και ένα «έμψυχο», τον πρωρέα – το ναύτη δηλαδή που φυλάει στην πλώρη, παρατηρεί τη θάλασσα και ενημερώνει για το στόχο. Και καταλήγει:

«Γατί αν κάθε εργαλείο μπορούσε να κάνει τη δουλειά του είτε κατόπιν εξωτερικής εντολής, κατευθυνόμενο εξωτερικά (κελευσθέν) είτε διαθέτοντας εσωτερικό προγραμματισμό, έχοντας εσωτερική λειτουργία ελέγχου (προαισθανόμενον), τότε θα λειτουργούσε αυτόματα σαν τα γλυπτά του Δαίδαλου ή σαν τους τρίποδες του Ηφαίστου και τότε αυτόματα θα ύφαινε η σάϊτα του Αργαλείου και αυτόματα θα έπαιζαν μουσική τα πλήκτρα της κιθάρας. Μα τότε ούτε οι εργοδότες θα χρειαζόνταν εργάτες ούτε οι αφέντες σκλάβους» (Αριστοτέλης, Πολιτικά Α2, 4).

Η υλοποίηση των ομηρικών οραμάτων κατά την ελληνιστική περίοδο

Οι επιστημονικές αναζητήσεις και οι φιλοσοφικές ιδέες των προκλασικών και κλασικών χρόνων οδηγούν στη συστηματική μελέτη και κατασκευή των αυτομάτων κατά τα κλασικά και ιδιαίτερα κατά τα ελληνιστικά χρόνια.

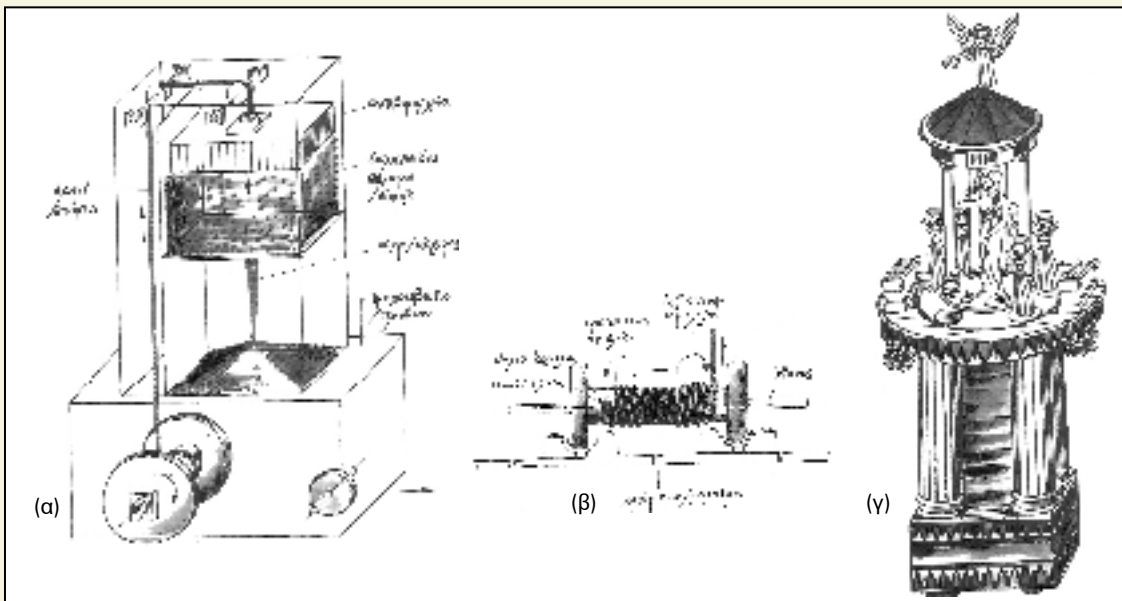
Η μεγάλη σχολή των Αλεξανδρινών μηχανικών που εκπροσωπείται από τους: Κησιβίο (~300π.Χ), Φίλωνα το Βυζάντιο (~250 π.Χ.) και Ήρωνα τον Αλεξανδρινό (~100 π.Χ.) άνοιξε το δρόμο για την υλοποίηση των ομηρικών οραμάτων.

Η αξιοποίηση της εσωτερικής ενέργειας των φυσικών στοιχείων, ιδιαίτερα του νερού και του αέρα, ολοκληρώνεται με την ανάπτυξη της επιστήμης των «πνευματικών». Ο έλεγχος των συστημάτων ολοκληρώνεται με τη λύση του προβλήματος του προγραμματισμού των κινήσεων μέσω διαφορετικών περιελί-



Οι πρωτοπόρες ιδέες του Ομήρου προανέγγειλαν την άνοιξη μιας νέας εποχής. Της εποχής που θα οδηγούσε από τα μυθικά οράματα στη φυσική ερμηνεία του κόσμου. Και ταυτόχρονα στη φυσική ερμηνεία των αυτομάτων.





Σχήμα 4:
Ο μηχανισμός κίνησης (α), οι περιελίξεις στον κινητήριο άξονα (β), και η ολική μορφή (γ) του κινητού αυτόματου του Ήρωνα.

ξων νημάτων γύρω από έναν κινητήριο άξονα, όπως στα κινητά και τα σταθερά αυτόματα θέατρα. Η ανάδραση και ο αυτοέλεγχος πραγματοποιείται με υδραυλικό, πνευματικό και μηχανικό τρόπο για τον έλεγχο της στάθμης υγρού μέσα σε ευφυή δοχεία. Η επιστήμη της **αυτοματοποιητικής** συστήνεται, καταγράφεται, διδάσκεται στην ελληνιστική Αλεξάνδρεια.

Το κινητό αυτόματο θέατρο του Ήρωνα, που πραγματοποιεί απίθανες κινήσεις, κυλάει μόνο του σε ευθύγραμμες και κυκλικές πορείες επιστρέφοντας στην αρχική του θέση, ταυτόχρονα κινούνται διάφορες μορφές επάνω σε αυτό, φωτιές ανάβουν, ήχοι ακούγονται, υγρά τρέχουν, λουλούδια το στολίζουν αυτόματα, δεν είναι τίποτε άλλο παρά το μεγάλο ευχαριστώ των αλεξανδρινών μηχανικών του ελληνιστικού κόσμου προς τον πατέρα Όμηρο, που τους άνοιξε το δρόμο με τους απλούς αυτόματους τρίποδες του.

Επίλογος

- Στα ομηρικά έπη της Ιλιάδας και της Οδύσσειας περιέχονται, ενσωματωμένοι στον ποιητικό λόγο, εκτός από τους καταλόγους των γενών και των θεών των Ελλήνων, κατάλογοι των τεχνικών τους επιτευγμάτων και επινοήσεων. Μεταξύ αυτών και τα αυτόματα.
- Ο Όμηρος εισάγει τον όρο «αυτόματα» για τις αυτοκίνητες μηχανές. Αναθέτει στο θεό της τεχνολογίας, τον Ήφαιστο, να κατασκευάσει αυτοκίνητους τρίποδες, αυτορυθμιζόμενα φουσερά και γυναίκες χρυσές και αυτόματες. Διατυπώνει, δηλαδή, σύγχρονα τεχνολογικά οράματα όπως:
 - Θα μπορούσαν να κατασκευαστούν αυτοκίνητες μηχανές που θα έκαναν τις δουλειές των ανθρώπων,
 - Θα μπορούσαν να λειτουργήσουν αυτόματα οι τόποι δουλειάς και να αυτοπροσαρμόζονται στις συνθήκες του έργου,

- Θα μπορούσαν να κατασκευαστούν ανθρωπόμορφες μηχανές με ικανότητα να ενισχύουν τις εντολές τους, να παράγουν ήχο, να έχουν λογισμικό. Και καταλήγει στην Οδύσσεια σε πλοία με τεχνητή νοημοσύνη, κατασκευασμένα από ανθρώπους.
- Η λύση του προβλήματος της εσωτερικής ενέργειας που απαιτείται για να μπου από μόνο τους σε κίνηση τα αυτόματα αντιμετωπίζεται θεωρητικά από τους προσωκρατικούς φιλοσόφους, οι οποίοι αποδίδουν στα πρωταρχικά φυσικά στοιχεία «ψυχή», δηλαδή ενέργεια. Η πρακτική αξιοποίηση της ενέργειας αυτής γίνεται ιδιαίτερα κατά την ελληνιστική περίοδο.
- Το πρόβλημα του ελέγχου αντιμετωπίζεται επίσης θεωρητικά από τους προσωκρατικούς και τους κλασικούς φιλοσόφους με την εισαγωγή των εννοιών της αντίφασης, της ανάδρασης, της αυτοαναίρεσης. Η πρακτική εφαρμογή του ολοκληρώνεται από τους Αλεξανδρινούς μηχανικούς στα ελληνιστικά χρόνια.
- Ο Όμηρος άνοιξε έτσι το δρόμο στην ιστορία των αυτομάτων.

Βιβλιογραφία

- [1] Καλλιγέρπουλος Δ., Βασιλειάδου Σ., *Ιστορία της Τεχνολογίας και των Αυτόματων*, Σύγχρονη Εκδοτική, Αθήνα 2005.
- [2] Καλλιγέρπουλος Δ., *Μύθος και ιστορία της αρχαίας ελληνικής τεχνολογίας και των αυτομάτων*, τομ. Α', *Η τεχνολογία στον αρχαίο ελληνικό μύθο - Μυθικά αυτόματα*, Καστανιώτης, Αθήνα 1999.
- [3] Βασιλειάδου Σ., *Evolution of System, Modelling and Control Concepts in Ancient Greece*, PhD Thesis, City University London, 2002.
- [4] Ήρωνος Αλεξανδρέως, *Αυτοματοποιητική, η τέχνη της κατασκευής των αυτομάτων*, Καλλιγέρπουλος Δ., Αθήνα 1996.
- [5] Schmidt W., *Heron Alexandrinus, Opera* vol. 1-5, Teubner, Leipzig 1899-Stuttgart 1976.

Δείγμα εξαιρετης
ζωγραφικής τέχνης του
4ου π.Χ. αι.
Λεπτομέρεια από την
τοιχογραφία με το
κυνήγι που κοσμεί την
πρόσοψη του τάφου του
Φιλίππου στη Βεργίνα.



ΠΗΓΗ: ΑΡΧΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΗΣ ΑΝΑΣΚΑΦΗΣ

Οι τεχνικές πίσω από τις μεγάλες τέχνες στην αρχαία Ελλάδα

Τέχνη και μαστοριά

της
Χρυσούλας
Σαατσόγλου-Παλιαδέλλη,
καθηγήτριας
του Τμήματος Ιστορίας
και Αρχαιολογίας
του Α.Π.Θ.

Δεν περνάει συχνά από το μυαλό μας ότι κάθε έργο τέχνης προϋποθέτει μια κοπιαστική και συχνά σκληρή χειρωνακτική εργασία, χωρίς την οποία δεν νοείται το αισθητικό αποτέλεσμα. Εξίσου σπάνια συνυπολογίζουμε στο θαυμασμό μας για έναν καλλιτέχνη, αρχαίο ή σύγχρονο, πως πίσω από το ταλέντο και την έμπνευσή του κρύβεται μια εμπειρική γνώση για τα υλικά και τα μυστικά τους και ένας συνεχής αγώνας για τη βελτίωση των τεχνικών ή τον πειραματισμό σε νέες. Αυτή η στέρεη γνώση –που αλλιώς θα ονομάζαμε μαστοριά– σπάνια είναι αυτοδίδακτη. Συνήθως προϋποθέτει μια μακρά μαθητεία κοντά σε παλαιότερους ομοτέχνους, για την οποία συχνά μιλούν οι πηγές που αναφέρονται στους μεγάλους δημιουργούς της αρχαιότητας και της ιταλικής αναγέννησης.

Οι αρχαίοι γνώριζαν αυτή τη σχέση ανάμεσα στην **τέχνη** και τη **μαστοριά** –σχεδόν την ταυτοσημία τους– και αυτό ίσως δικαιολογεί όχι μόνον την καθυστερημένη εμφάνιση του όρου *καλλιτέχνης* (ή *καλλιτέχνης*), με το νοηματικό περιεχόμενο που έχει στις μέρες μας, αλλά και τη σπάνια χρήση του σε αρχαία κείμε-

να, προκειμένου να ξεχωρίσει τον καλό, τον επιδέξιο τεχνίτη (όχι αναγκαστικά τον μεγάλο δημιουργό) από τους λιγότερο προικισμένους ομοτέχνους του. Άλλωστε, ο όρος **τέχνη** στην αρχαιότητα δεν είχε τη σημασία που του προσδίδουμε στις μέρες μας: αναφερόταν κυρίως στην τεχνική, στη γνώση, δηλαδή, των τρόπων και των μυστικών ενός υλικού (της πέτρας, του πηλού, του ξύλου, του μετάλλου, του ελεφαντόδοντου, των χρωμάτων κ.τ.λ.), αλλά και στην τέχνη της ιατρικής, της μαντικής, του λόγου και της πειθούς, δηλαδή της ρητορείας.

Η σοφία των δημιουργών

Οι μεγάλοι γλύπτες, οι επώνυμοι ζωγράφοι, αλλά και οι λιγοστοί επώνυμοι αρχιτέκτονες της αρχαιότητας θα μπορούσαν να θεωρηθούν ότι ασκούσαν την τέχνη των **βαναύσων**, εκείνων δηλαδή που κέρδιζαν το ψωμί τους από την εργασία των χεριών τους. Εκείνο, ωστόσο, που τους ξεχώριζε από τους χειρωνακτες ομοτέχνους τους, ήταν η **σοφία**, δηλαδή η ευφυΐα και η δεξιότητα στο χειρισμό των μέσων και των υλικών τους, ο προβληματισμός τους για θέματα πρακτικά,

αλλά και θεωρητικά, που όχι σπάνια αποτυπώθηκαν σε (δυστυχώς χαμένες) μελέτες τους. Αυτή η σοφία, τόσο στενά δεμένη με τη θεά Αθηνά - Εργάνη (προστάτισσα των τεχνιτών, μαζί με τον Ήφαιστο) ίσως ήταν ο λόγος για την κατάταξη των μαστόρων αυτών στην κατηγορία των **δημιουργών**, εκείνων δηλαδή των τεχνιτών που τα έργα των χεριών τους ήταν ωφέλιμα στο λαό.

Η άμεση σχέση της τεχνικής γνώσης με την καλλιτεχνία, της **μαστοριάς** δηλαδή με την **τέχνη**, όπως την ορίζουμε σήμερα, είναι εμφανέστερη στο έργο των μεγάλων δημιουργών της αρχαιότητας στα πεδία της αρχιτεκτονικής, της γλυπτικής και της ζωγραφικής, παρόλο που η γνώση μας για τη ζωή και το έργο των αρχιτεκτόνων, των πολεοδόμων, των γλυπτών, των τορευτών και των ζωγράφων είναι εξαιρετικά περιορισμένη και εντελώς αποσπασματική. Αν ωστόσο, στις καλλιτεχνικές τους δημιουργίες προσθέσουμε και τις αναζητήσεις τους, για τις οποίες αρκετοί ανάμεσα τους συνέγραψαν ειδικές μελέτες, μπορούμε να κατανοήσουμε τον τρόπο, με τον οποίον η στέρεη εμπειρική γνώση μετουσιώθηκε με το χρόνο σε θεωρητική γνώση.

Η κοινωνική ένταξη

Το ταλέντο των μεγάλων δημιουργών της αρχαιότητας και η αναγνωρισμένη καλλιτεχνική ποιότητα των έργων τους οδηγούσε τους μεγάλους αρχιτέκτονες - πολεοδόμους, γλύπτες και ζωγράφους της αρχαιότητας σε άμεση επαφή με τις ανώτερες κοινωνικές τάξεις, αλλά και με την πνευματική «ελίτ» της εποχής τους. Οι προβληματισμοί τους συχνά λειτούργησαν ως πηγή έμπνευσης για τις θεωρητικές αναζητήσεις των συγχρόνων τους φιλοσόφων ή, αντίστροφα, τροφοδοτήθηκαν απ' αυτές. Η συναναστροφή των καλλιτεχνών της αρχαιότητας με τους ηγετικούς κύκλους μιας κοινωνίας δεν σήμαινε, βεβαίως, πάντοτε την αποδοχή τους ως ίσων από τα μέλη της.

Σε αρκετές περιπτώσεις οι δημιουργοί της αρχαιότητας, (όπως και οι μεταγενέστεροι ομότεχνοί τους της ιταλικής αναγέννησης) απολάμβαναν το θαυμασμό για τα έργα τους, όχι όμως το ίδιο συχνά και τον αυτονόητο σεβασμό για το χειρωνακτικό τους επάγγελμα. Λίγοι είχαν την τύχη να συναναστραφούν επί ίσοις όροις τους χρηματοδότες - πελάτες τους, ενώ θα πρέπει να ήταν περισσότεροι ανάμεσα τους, που υπέστησαν ταπεινώσεις ή προσβολές από τους εργοδότες τους. Όσα υπέστησαν αργότερα ο Λεονάρντο ντα Βίντσι και ο Μιχαήλ Άγγελος από τους προστάτες τους φαίνεται πως τα είχαν προηγουμένως γευτεί αρκετοί από τους μεγάλους δημιουργούς της αρχαιότητας, παρόλο που ανάμεσα τους υπήρξαν και άλλοι που κατάφεραν να επιβάλουν, κυρίως με την οικονομική τους ισχύ, το σεβασμό και την αποδοχή των συγχρόνων τους.



Οι μεγάλοι γλύπτες, οι επώνυμοι ζωγράφοι, αλλά και οι λιγιστοί επώνυμοι αρχιτέκτονες της αρχαιότητας θα μπορούσαν να θεωρηθούν ότι ασκούσαν την τέχνη των βαναύσων, εκείνων δηλαδή που κέρδιζαν το ψωμί τους από την εργασία των χεριών τους. Εκείνο, ωστόσο, που τους ξεχώριζε από τους χειρωνακτες ομοτέχνους τους, ήταν η σοφία, δηλαδή η ευφυΐα και η δεξιότητα στο χειρισμό των μέσων και των υλικών τους, ο προβληματισμός τους για θέματα πρακτικά, αλλά και θεωρητικά, που όχι σπάνια αποτυπώθηκαν σε (δυστυχώς χαμένες) μελέτες τους.



ΠΗΓΗ: ΑΡΧΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΗΣ ΑΝΑΣΚΑΦΗΣ

Βεργίνα. Η πρόσοψη του τάφου του Φιλίππου. Τυπικό δείγμα αρχιτεκτονικής δημιουργίας των αρχαίων Μακεδόνων.



ΠΗΓΗ: ΑΡΧΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΗΣ ΑΝΑΣΚΑΦΗΣ

Μαρμάρινη γυναικεία κεφαλή νεαρής θεάς από το ιερό της Εύκλειας στη Βεργίνα. Έργο μεγάλου γλύπτη του 4ου π.Χ. αιώνα.

Η χωρική «γραφή» της γης με αριθμούς

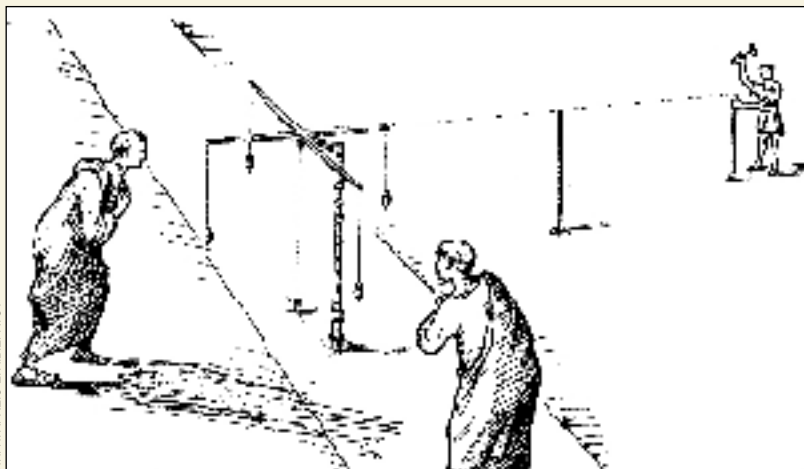


του

Ευάγγελου Λιβιεράτου,
καθηγητή
της Ανωτέρας Γεωδαισίας
και Χαρτογραφίας
της Πολυτεχνικής Σχολής
Α.Π.Θ.,
προέδρου
της International
Cartographic Association
Commission on Digital
Technologies
in Cartographic Heritage.

Η αντίληψη των Ελλήνων ότι η γη περιέχεται στο σύνολο του σύμπαντος, ήταν κυρίαρχη κατά τη διάρκεια των δέκα αιώνων γεωγραφικών επιδόσεων, από τον 8ο π.Χ. μέχρι το 2ο μ.Χ. αιώνα, θεωρώντας πάντα, ως «γεωγραφία», την περιγραφή της είτε γραπτά είτε σχεδιαστικά. Η χαρτογραφία, με όλα τα συμφραζόμενα και παρελκόμενά της, παίζει ένα σημαντικό και συνεχή ρόλο στην καθημερινή ζωή των Ελλήνων. Από τις ιδιοκτησιακές τους συναλλαγές, μέχρι τις κρατικές υποθέσεις και από τις εμπορικές και παραγωγικές τους δραστηριότητες μέχρι τη φιλοσοφία και το θέατρο! Πολλά παραδείγματα πιστοποιούν αυτή την άμεση χαρτογραφική τριβή και εμπειρία των Ελλήνων. Ως εντυπωσιακότερα μπορούμε να σημειώσουμε τις αναφορές του Πλάτωνα στην **Πολιτεία**, του Πλούταρχου στο **Βίο του Νικία**, του Αριστοφάνη στις **Νεφέλες** (423 π.Χ.), στο περίφημο διάλογο του Στρεψιάδη με το μαθητή. Εκεί φαίνεται με γλαφυρό τρόπο η οικειότητα του κοινού με τους κτηματολογικούς και παγκόσμιους χάρτες, αλλά και η μεταφορική τους δύναμη, όπως όταν ο Στρεψιάδης πιστεύει ότι θα μπορούσε να εξορκίσει τον κίνδυνο της Σπάρτης με το να την «απομακρύνει», στο χάρτη, από την Αθήνα!

Η τεχνολογική μεθοδολογία που ανέπτυξαν οι Έλληνες για τη χωρική «γραφή» της σφαιρικής γήινης επιφάνειας με αριθμούς, παραμένει μια αξεπέραστη μέχρι σήμερα επινόηση, η οποία χρησιμοποιείται ευρύτατα στις σύγχρονες ψηφιακές αποτυπώσεις και απεικονίσεις, την πλοήγηση και άλλες εφαρμογές της τρέχουσας κοινωνικής ζωής!



Η χάραξη ορθών γωνιών με τον αστερίσκο.

Με αφητηρία την αναζήτηση

Από τον 7ο αιώνα π.Χ., με τη συστηματική συμβολή της ελληνικής επιστήμης, οίλων αρχίζουν μια νέα εποχή για τη χαρτογραφία. Η εποχή της αυτή καλύπτει όλη την κλασική περίοδο, από τις αφητηρίες της στην Ιωνία, την ακμή της, τον 4ο αιώνα π.Χ., μέχρι την αλεξανδρινή ολοκλήρωση της, τους πρώτους αιώνες μ.Χ. Στο διάστημα αυτό, η χαρτογραφία δεν μπορεί παρά να αντιμετωπιστεί μέσα στο ευρύτερο πλαίσιο των μητρικών της επιστημών, της γεωμετρίας, της αστρονομίας, της γεωδαισίας (κατά τον αριστοτέλειο ορισμό της) και της γεωγραφίας (κατά τον ερατοσθένιο ορισμό της). Δεν είναι όμως ανεξάρτητη και από τις δύο μεγάλες πηγές γνώσης, της επιστημονικής παρατήρησης και της επιστημονικής μέτρησης, που αποτελούν βασικά στοιχεία της ελληνικής περιόδου των επιστημών. Δύο θεμελιώδεις διαδικασίες της ανθρώπινης περιέργειας και νόησης, που εκτός των φιλοσοφικών τους προεκτάσεων, αποτελούν το βασικό σύνδεσμο μεταξύ της θεωρίας, με την οποία ο άνθρωπος προσπαθεί να ερμηνεύσει την πραγματικότητα, και αυτής της ίδιας της πραγματικότητας.

Μέχρι σχεδόν το 2ο αιώνα μ.Χ. και για περίπου οκτώ αιώνες, η χαρτογραφία θεμελιώνεται επιστημονικά και εξοπλίζεται από τους Έλληνες με πρακτική και μεθοδολογία. Μετά το 2ο αιώνα μ.Χ. και μια μακρά απουσία περίπου δεκαπέντε αιώνων θα επιστρέψει στις ελληνικές της αφητηρίες, στη Δύση αυτή τη φορά, αφού μεσολαβήσει, κατά το Μεσαίωνα, ένα διάστημα «εκτροπής» από την καθαρά επιστημονική αντιμετώπιση, αλλά και πλουτισμού της ταυτόχρονα, με πολλά άλλα στοιχεία. Τα νέα αυτά στοιχεία μπορεί να μη διακρίνονταν από αυστηρή επιστημονικότητα, ήταν όμως εξαιρετικά ενδιαφέροντα από φιλοσοφική, ηθική και αισθητική άποψη, όπως είναι για τη χαρτογραφία η περίοδος, από την πτώση της Ρωμαϊκής αυτοκρατορίας μέχρι το τέλος του Μεσαίωνα, με εξαίρεση τη φωτεινή τροχιά των Αράβων.

Η διακλαδικότητα της χαρτογραφίας

Η ανάγνωση της ιστορίας της χαρτογραφίας στο αρχαιοελληνικό της πλαίσιο, δηλαδή στην επιστημονική της διάσταση, συνδέεται με τα παράγωγα της γεωμετρίας, της γεωδαισίας, της αστρονομίας και της γεωγραφίας (και ως περιγραφής και ως γραφικής αναπαράστασης της γης). Επιπλέον, η εμπειρική και πρακτική της διάσταση, περιλαμβάνει το σύνολο εκείνο των τότε γεωγραφικών παρατηρήσεων, που προέκυπταν σχεδόν αποκλειστικά, από τα ναυτικά ταξίδια και τις τότε μετρήσεις (άμεσες και έμμεσες) με τη χρήση κλασικών οργάνων και τη βοήθεια κατάλληλων υπολογισμών. Από τις ταξιδιωτικές γεω-

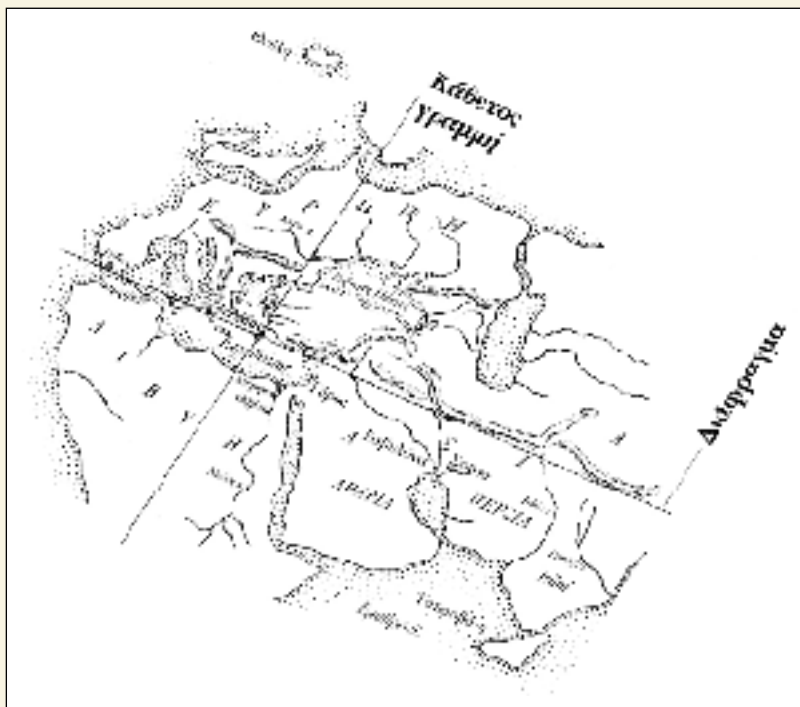
γραφικές παρατηρήσεις προέκυπταν περιγραφές μέσω του γραπτού λόγου (*γράφειν την γην*, στα αρχαία ελληνικά) ή μέσω γραφημάτων (επίσης *γράφειν την γην*). Οι άμεσες και έμμεσες μετρήσεις ήταν και τότε, όπως και σήμερα, ο συνδετικός ιστός της επιστημονικής και φιλοσοφικής θεωρίας για τον κόσμο (γη) με την «άγνωστη πραγματικότητα» του κόσμου αυτού. Μια σύνδεση, όμως, χωρίς μονόδρομη φορά αλλά με αναδραστικές πολλαπλότητες, αφού ήταν αυτή που επιβεβαίωνε τη θεωρία ή την απέρριπτε ή, στην πιο χρήσιμη εκδοχή, τη βελτίωνε. Η αρχαία ελληνική επιστήμη, περί την «άγνωστη» γη, μπορεί να αντιμετωπιστεί και να ερμηνευτεί με την ίδια μέθοδο που χρησιμοποιούν σήμερα σχεδόν όλες οι σύγχρονες γεωπιστήμες, δηλαδή με τη «σύγκριση» της θεωρίας με την πραγματικότητα και την, εν τέλει, βέλτιστη προσαρμογή της πρώτης στη δεύτερη, μέσω των μετρήσεων.

Αυτό ήταν ακριβώς εκείνο που έλειψε από την μεσαιωνική επιστήμη (περί την «άγνωστη» γη) με τις γνωστές συνέπειες στη χαρτογραφία της περιόδου εκείνης. Η περίπτωση της αρχαίας ελληνικής χαρτογραφίας είναι ένα από τα αντιπροσωπευτικότερα παραδείγματα της αναδραστικής σχέσης μεταξύ επιστήμης και τεχνολογίας στην αρχαία Ελλάδα. Με τη χαρτογραφία έχουμε, για πρώτη φορά, την εμφάνιση της διακλαδικότητας (με τη σημερινή της έννοια) εφόσον η χαρτογραφία, εκτός από τον ορισμό της (συστηματική αναπαράσταση της γης), ήταν το αποτέλεσμα μιας σύνθεσης της γεωμετρίας, της γεωδαισίας, της αστρονομίας και της γεωγραφίας.

Αρχαία επιστήμη αποδεσμευμένη από επινοήσεις

Από τα κύρια χαρακτηριστικά της ελληνικής χαρτογραφίας είναι η μεγάλη διάρκεια της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε στο πλαίσιο της. Είχε ως βάση τη διαδικασία προσέγγισης της γης μέσω ενός μοντέλου της και την επιβεβαίωση ή απόρριψη της προσέγγισης αυτής μέσω μετρήσεων με τη χρήση οργάνων παρατήρησης, κυρίως γεωμετρικών αλλά και φυσικών γήινων ποσοτήτων. Η μέθοδος αυτή, ήταν ουσιαστικά μια προσομοίωση της γήινης πραγματικότητας και η σύνδεσή της (μέσω μετρήσεων) με τη μαθηματική προσέγγισή της (το μοντέλο της). Αυτή είναι η βάση αλλά και η ιδιαιτερότητα της ελληνικής χαρτογραφίας, συγκρινόμενης με τα προηγούμενα αλλά και με τα επόμενά της, τουλάχιστον μέχρι το 17ο και το 18ο αιώνα μ.Χ.

Ένα επιπλέον εξαιρετικά σημαντικό χαρακτηριστικό της ελληνικής χαρτογραφίας, σε σχέση με τις χαρτογραφικές εξελίξεις του Μεσαίωνα (από τον 5ο μέ-



ΠΗΓΗ: ΑΡΧΑΙΟ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΟΥΣΕΙΟ

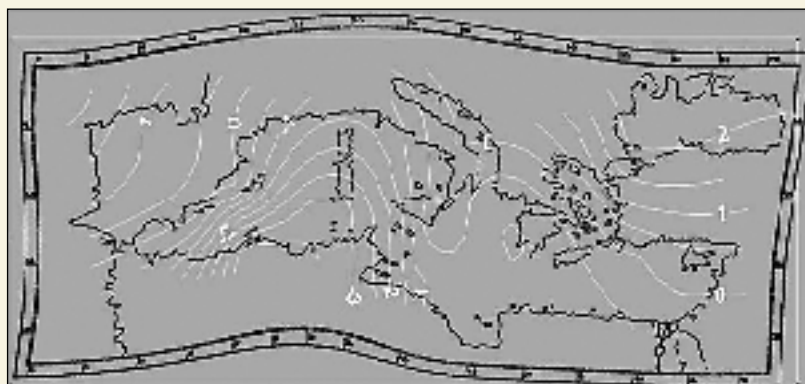
χρι και το 15ο αιώνα μ.Χ.) είναι ότι οι αρχαίοι Έλληνες αναζητούσαν την αντικειμενική αναπαράσταση της γης πέρα από θρησκευτικά, ιδεολογικά, φανταστικά και γενικότερα ηθικά χαρακτηριστικά, που κυριαρχούν στη χαρτογραφία του Μεσαίωνα. Για τους Έλληνες, ο χάρτης ήταν το αποτέλεσμα παρατηρήσεων, μετρήσεων και τελικά της σύνδεσής τους με τη μαθηματικά οργανωμένη επιφάνεια της γης. Η σύνδεση αυτή οδήγησε τους αρχαίους Έλληνες, από τον 6ο π.Χ. μέχρι το 2ο μ.Χ. αιώνα, στην ουσιαστική θεμελίωση της χαρτογραφίας ως ιδιαίτερης επιστήμης και πρακτικής εφαρμογής.

Η τεχνολογική μεθοδολογία που ανέπτυξαν τελικά οι Έλληνες για τη χωρική «γραφή» της σφαιρικής γήινης επιφάνειας με αριθμούς, παραμένει μια αξεπέραστη μέχρι σήμερα επινοήση, η οποία χρησιμοποιείται ευρύτατα στις σύγχρονες ψηφιακές αποτυπώσεις και απεικονίσεις, την πλοήγηση και άλλες εφαρμογές της τρέχουσας κοινωνικής ζωής!



Ο χάρτης του Δικαίρχου (300 π.Χ.). Ο πρώτος που χρησιμοποιεί καθέτους άξονες συντεταγμένων (πλάτη και μήκη, σε στάδια) με αρχή στη Ρόδο. Ο άξονας της αρχής των πλατών περνάει από τη Ρόδο και ονομάστηκε Διάφραγμα. Εκτείνεται, από τη Ρόδο, στο νότιο άκρο της Πελοποννήσου, τη Μεσσήνη της Σικελίας μέχρι τις Στήλες του Ηρακλή.

Οι διαφορές σε μοίρες του γεωγραφικού πλάτους (Δφ) μεταξύ των τιμών του φ στην πολεμική Γεωγραφία και τις σημερινές τιμές.



ΠΗΓΗ: ΑΡΧΑΙΟ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΟΥΣΕΙΟ



ΠΗΓΗ: ΦΩΤ. ΑΡΧΕΙΟ Κ. ΠΑΛΥΒΟΥ

Προϊστορικός οικισμός Ακρωτηρίου της Θήρας

Μια αρχιτεκτονική της ευημερίας 3.500 χρόνων

της
Κλαίρης Παλυβού,
αναπλ. καθηγήτριας
του Τμήματος
Αρχιτεκτόνων Α.Π.Θ.

Τα μέσα της δεύτερης χιλιετίας π.Χ. είναι μια λαμπρή περίοδος προόδου και ευημερίας για το νότιο Αιγαίο, με επίκεντρο την Κρήτη και τον ανακτορικό πολιτισμό της, τον οποίο ο ανασκαφέας της Κνωσού, Arthur Evans, ονόμασε «Μινωικό». Ο ανακτορικός τρόπος ζωής και το υψηλότερο τεχνολογικό επίπεδο που τον υποστήριζε είχαν διαδοθεί και

εκτός των ορίων της Κρήτης σε νησιά του νοτίου Αιγαίου. Ανάμεσα σ' αυτά, η Θήρα κατείχε ιδιαίτερη θέση, όπως δείχνει ο άριστα διατηρημένος οικισμός του Ακρωτηρίου, στα νότια παράλια του νησιού.

Η ανασκαφή στο Ακρωτήρι έμελλε να δώσει νέα διάσταση στην έρευνα του προϊστορικού Αιγαίου: Οι στάχτες που κάλυψαν τα ερείπια του οικισμού μετά την μεγάλη έκρηξη του ηφαιστείου του νησιού περί το 1500 π.Χ. διέσωσαν πολύτιμες πληροφορίες για τον υλικό πολιτισμό της εποχής εκείνης, ιδιαίτερα όσον αφορά στην οικοδομική τεχνολογία, αφού η ανασκαφή αποκαλύπτει διώροφα και τριώροφα σπίτια, τα οποία, αν και ερειπωμένα, στέκουν ακόμη όρθια.

Κύρια χαρακτηριστικά γνωρίσματα της αρχιτεκτονικής της περιόδου ακμής του μινωικού πολιτι-

«*Οι στάχτες που κάλυψαν τα ερείπια του οικισμού μετά την μεγάλη έκρηξη του ηφαιστείου του νησιού περί το 1500 π.Χ. διέσωσαν πολύτιμες πληροφορίες για τον υλικό πολιτισμό της εποχής εκείνης, ιδιαίτερα όσον αφορά στην οικοδομική τεχνολογία.*»

σμού, στον οποίο υπάγεται και το Ακρωτήριο της Θήρας, είναι η πολυωροφία, το σύνθετο κυκλοφοριακό σύστημα και τα πολυάριθμα ανοίγματα. Ο συνδυασμός των στοιχείων αυτών δίνει μια ιδιότυπη και εξεζητημένη αρχιτεκτονική, που ξαφνιάζει με την κατασκευαστική της τόλμη, ιδιαίτερα αν σκεφτούμε ότι το νότιο Αιγαίο υπήρξε ανέκαθεν σεισμογενής περιοχή.

Με ξύλο και πέτρα

Ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της οικοδομικής τεχνολογίας είναι η καθοριστική συμβολή του ξύλου και η χρήση της λαξευτής πέτρας. Από το ίδιο το ξύλο δεν έχει μείνει σχεδόν τίποτα, αφού αποσπαστήθηκε πλήρως, διατηρήθηκαν όμως ανάγλυφα τα αποτυπώματά του επάνω στη λάσπη της τοιχοποιίας και την ηφαιστειακή σποδό. Το ξύλο παίζει καθοριστικό ρόλο παντού: στους τοίχους, στα πατώματα, στους κίονες, στα κλιμακοστάσια, στα ανοίγματα και αλλού. Η πλέον διαδεδομένη τοιχοποιία, η αργολιθοδομή, περιλαμβάνει ξύλινες ενισχύσεις με τη μορφή οριζόντιων πλεγμάτων ενσωματωμένων σε διάφορες στάθμες. Ιδιαίτερα εντυπωσιακό είναι το σύστημα ξύλινων ενισχύσεων με τη συμμετοχή κατακόρυφων στοιχείων που διαπιστώνεται σε ορισμένα κτήρια του Ακρωτηρίου, και σε μεγαλύτερο βαθμό στα μεγάλα ανακτορικά συγκροτήματα της Κρήτης, όπου εξελίχθηκε η τεχνική αυτή. Πρόκειται κατά κανόνα για ζεύγη ξύλων, ένα σε κάθε παρειά του τοίχου, που εδράζονταν σε λίθινες βάσεις και συνδέονται μεταξύ τους με επιμήκη και εγκάρσια ξύλα, σχηματίζοντας ενιαίο τρισδιάστατο πλέγμα που εκτείνεται ομοιόμορφα σε όλη την όψη του κτηρίου.

Τα κλιμακοστάσια που καλύπτουν δύο και τρεις επάλληλες στάθμες είναι ιδιαίτερα εντυπωσιακά και η κατασκευή τους συνεπάγεται, μεταξύ άλλων, υψηλό επίπεδο σχεδιασμού. Στην κατασκευή ενός ευθύγραμμου σκέλους δεν χρησιμοποιούνται κεκλιμένες δοκοί καταμήκος, όπως θα περίμενε κανείς, αλλά οριζόντιες εγκάρσιες δοκοί που πακτώνονται στους πλευρικούς τοίχους και στον μεσότοιχο. Στην περιοχή σύνδεσης σκέλους και πλατύσκαλου υπάρχει μεγάλη δοκός η οποία συνδέεται με άλλες, οριζόντιες και κατακόρυφες, που περιβάλλουν το μεσότοιχο. Πρόκειται για έναν περίτεχνο σχεδιασμό, που αποσκοπεί στο να μεταφέρει τα φορτία στο έδαφος μέσω των ξύλινων δοκών, απαλλάσσοντας σε μεγάλο βαθμό τους λίθινους τοίχους από τα φορτία.

Τα πολυάριθμα ανοίγματα, πόρτες και παράθυρα, έχουν κοινή κατασκευαστική λογική: αποτελούνται από πλέγμα ξύλων, το οποίο πακτώνεται στην περιβάλλουσα τοιχοποιία. Το πλέγμα αυτό θα μπορούσε να το περιγράψει κανείς ως ένα σύνολο 12 ξύλων, ανάλογο με τις ακμές ενός κύβου. Τα ξύλα συνδέονται μεταξύ τους με εντορμίες και ενίοτε στερεώνο-

νται με το σύστημα γόμφων / τόρμων σε λαξευτές πέτρες. Είναι σαφές ότι τα ξύλινα πλαίσια των ανοιγμάτων αποτελούσαν φέροντα στοιχεία της οικοδομής.

Υψηλό βιοτικό επίπεδο με χαρακτηριστικά εξωστρέφειας

Τα παράθυρα αποτελούν πρωτοτυπία για την εποχή αυτή, αν αναλογιστεί κανείς την εσωστρεφή και κλειστή αρχιτεκτονική των άλλων λαών της Μεσογείου. Πραγματική καινοτομία της αιγαιακής αρχιτεκτονικής της εποχής του Χαλκού, όμως, είναι η ιδέα του «πολυ-ανοίγματος»: μιας σειράς από ανοίγματα –πόρτες, παράθυρα, ερμάρια– που υποκαθιστούν έναν τοίχο, προσφέροντας έτσι μεγάλη ευελιξία στην διαμόρφωση του χώρου. Από κατασκευαστικής απόψεως η λογική είναι η ίδια με αυτήν που αδρομερώς περιγράψαμε παραπάνω: ένα ενιαίο ξύλινο πλέγμα περιβάλλει τα ανοίγματα και φέρει τα φορτία της ανωδομής. Το «πολύθυρο» αποτελεί χαρακτηριστικό γνώρισμα της μινωικής αρχιτεκτονικής και εμφανίζεται σε ποικίλους συνδυασμούς, μερικοί από τους οποίους είναι πραγματικά εξαιρετικά τολμηροί και εντυπωσιακοί. Η Ξεστή 3 στο Ακρωτήριο, για παράδειγμα, περιλαμβάνει περισσότερα από δέκα πολύθυρα και στις τρεις στάθμες του κτηρίου.

Η λαξευτή τοιχοποιία είναι το δεύτερο χαρακτηριστικό της αρχιτεκτονικής που εξετάζουμε. Στο Ακρωτήριο διατηρούνται λαξευτές προσόψεις σε πολλά σπίτια του οικισμού, ενίοτε σε ύψος δύο ή τριών ορόφων. Λαξευτές πέτρες χρησιμοποιούνται επίσης σε συνδυασμό με αργολιθοδομή, σε θέσεις - κλειδιά, όπως οι γωνίες των κτηρίων, γύρω από τα ανοίγματα και στο ύψος του πατώματος για την κατασκευή προεξέχουσας οριζόντιας ταινίας.

Στην σύντομη αυτή αναφορά στην οικοδομική τεχνολογία της Ύστερης Εποχής του Χαλκού θα πρέπει να συμπεριλάβουμε, επιγραμματικά έστω, τις ιδιαίτερα εντυπωσιακές κατασκευές που σχετίζονται με την διαχείριση των υδάτων και των λυμάτων. Τα εσωτερικά αποχωρητήρια αποτελούν μια ακόμη καινοτομία του αιγαιακού κόσμου και τη σημαντικότερη ίσως απόδειξη του υψηλού βιοτικού επιπέδου που απολάμβαναν την εποχή εκείνη όχι μόνον η άρχουσα τάξη των ανακτορικών συγκροτημάτων αλλά και οι πολίτες των μεγάλων αστικών κέντρων, όπως του Ακρωτηρίου της Θήρας. Η εντυπωσιακή εγκατάσταση αποχωρητηρίου που σώζεται άριστα στον πρώτο όροφο της Δυτικής Οικίας δείχνει λεπτομερώς τον τρόπο κατασκευής και σύνδεσης με το κοινοτικό αποχετευτικό δίκτυο έξω από το σπίτι, μέσω επισκέψιμου φρεατίου. Φαίνεται δε ότι οι κατασκευαστές είχαν συλλάβει ακόμη και την ιδέα της οσμοπαγίδας, αν όχι του σιφονιού.

Ο Έφηβος των Αντικυθήρων. Περίτεχνο μπρούτζινο άγαλμα που ανασύρθηκε από το ναυάγιο των Αντικυθήρων. Αναπαριστά είτε τον Πάρι, ο οποίος προσφέρει το μήλο στη θεά Αφροδίτη είτε τον Περσέα, ο οποίος κρατά το κεφάλι της Μέδουσας. Το άγαλμα βρίσκεται στο Εθνικό Αρχαιολογικό Μουσείο.

Ένας αρχαίος υπολογιστής

Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων ήταν ένας αναλογικός υπολογιστής εκπληκτικής τεχνολογίας. Κατασκευάστηκε πριν από 2000 χρόνια και χρησιμοποιούνταν 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.



ΠΗΓΗ: ΑΡΧΕΙΟ Γ. ΣΕΙΡΑΔΑΚΗ

των
Γιάννη Σειραδάκη,
καθηγητή
του Τμήματος
Φυσικής
Α.Π.Θ.

Κυριάκου Ευσταθίου,
αναπληρωτή καθηγητή
του Τμήματος
Μηχανολόγων
Μηχανικών Α.Π.Θ.

Στέλλας Δρούγου,
καθηγήτριας
του Τμήματος Ιστορίας
και Αρχαιολογίας Α.Π.Θ.

**Μαγδαληνής
Αναστασίου**,
μεταπτυχ. φοιτήτριας
του Τμήματος Φυσικής
Α.Π.Θ.

Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων ανακαλύφθηκε τυχαίως το 1900 στις ακτές των Αντικυθήρων από Συμιακούς σφουγγαράδες. 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.

Ο Μηχανισμός ήταν συναρμολογημένος σε ένα ξύλινο κιβώτιο (πυξίδα) διαστάσεων 32 cm x 16 cm x 10 cm (περίπου όσο ένας σημερινός φορητός υπολογιστής!). Τη μπροστινή και την πίσω επιφάνεια κάλυπταν μπρούτζινες πλάκες με ημερολογιακές ή αστρονομικές κλίμακες και δείκτες. Οι επιφάνειες αυτές προστατεύονταν από δύο (επίσης) ξύλινα εξωτερικά καλύμματα, στα οποία ήταν προσαρμοσμένες πυκνογραμμένες μπρούτζινες πλάκες. Περιείχε τουλάχιστον 30 συνεργαζόμενους οδοντωτούς τροχούς (γρανάζια), τα οποία έμπαιναν σε κίνηση με ένα στροφείο

(μανιβέλα). Η πολυπλοκότητα του Μηχανισμού των Αντικυθήρων είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτήν όλων των συσκευών που κατασκεύασε ο άνθρωπος κατά την επόμενη χιλιετία.

Μοναδικό εύρημα

Παρόμοιος αρχαίος μηχανισμός δεν έχει βρεθεί μέχρι σήμερα. Έτσι, εύλογα γεννάται το ερώτημα ποια τεχνική υποδομή υπήρχε την εποχή που κατασκευάστηκε και τι απέγινε η γνώση και η τέχνη που περιείχε. Ο **Κικέρων** (στο έργο του *De Re Publica*) περιγράφει την ύπαρξη και χρήση αστρονομικών συσκευών (πλανηταρίων) που είχε δει στη Ρώμη και στη Ρόδο, οι οποίες θα μπορούσε να ήταν ο **Μηχανισμός των Αντικυθήρων**.

Πολλοί επιφανείς επιστήμονες τον μελετούν εδώ και έναν αιώνα τώρα. Εκτός από τον **Derek de Solla Price**, ο οποίος τον μελέτησε πρώτος, σημαντική υπήρξε η συμβολή του **Alan Bromley** (από την Αυστραλία) και ιδιαίτερος του **Michael Wright** (από τη Μεγάλη Βρετανία).

Το 2001 συγκροτήθηκε μια πενταμελής διεθνής ομάδα αποτελούμενη από τον καθηγητή **Mike Edmunds** και τον δρ. **Tony Freeth** από το Πανεπιστήμιο του Cardiff (Μ. Βρετανία), τον καθηγητή **Ξενο-**

φώντα Μουσαά και το **Γιάννη Μπιτσάκη** από το Πανεπιστήμιο Αθηνών και τον καθηγητή **Γιάννη Σειραδάκη** από το Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Μετά την υπογραφή της άδειας μελέτης του Μηχανισμού προς τους τρεις καθηγητές (την οποία υπέγραψε ο τότε υφυπουργός Πολιτισμού **Πέτρος Τατούλης**), η αρχική ομάδα διευρύνθηκε με τη συμμετοχή της κυρίας **Μαρίας Ζαφειροπούλου** και της δρ. **Ελένης Μάγκου** από το Εθνικό Αρχαιολογικό Μουσείο και, λίγο αργότερα, του κυρίου **Αγαμέμνονα Τσελικά** από το Μορφωτικό Ίδρυμα της Εθνικής Τραπέζης της Ελλάδος. Τεχνική στήριξη προσέφεραν η βρετανική εταιρεία **X-Tek Systems** (με έναν τομογράφο ακτίνων Χ), το τμήμα έρευνας της αμερικανικής εταιρείας **Hewlett-Packard** (με μια νέα μέθοδο περιφερειακής φωτογράφισης) και η γερμανική εταιρεία **Volume Graphics** (με το λογισμικό της οποίας έγινε δυνατή η επεξεργασία των εικόνων που προέκυψαν από την τριδιάστατη τομογραφία του Μηχανισμού).

Ένα πολύπλοκο αστρονομικό όργανο

Τα πρώτα αποτελέσματα της έρευνας, τα οποία παρουσιάστηκαν στις 30 Νοεμβρίου 2006 σε ένα συνέδριο στην Αθήνα και σε δύο άρθρα στο κορυφαίο διεθνές επιστημονικό περιοδικό *Nature* (30/11/2006 και 31/7/2008), είναι εκπληκτικά. Υπολόγιζε με μεγάλη ακρίβεια τη θέση του ήλιου, της σελήνης και πιθανώς των πλανητών στον ουρανό. Υπολόγιζε τις φάσεις της σελήνης, προέβλεπε εκλείψεις και προσδιόριζε την ημερομηνία τέλεσης των αρχαίων στεφανιών αγώνων. Επίσης βρέθηκαν άγνωστες επιγραφές στις εξωτερικές πλάκες και στο εσωτερικό του *Μηχανισμού* και διαβάστηκαν κείμενα χαμένα για περισσότερα από 2000 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 μεγαλοφυείς: ένας άριστος γνώστης και ερευνητής της επιστήμης της αστρονομίας και ένας ταλαντούχος τεχνίτης με πολύ καλές γνώσεις μαθηματικών.

Από την τεχνολογία των επιγραφών, εξάγεται το συμπέρασμα ότι κατασκευάστηκε κατά το δεύτερο ήμισυ του 2ου π.Χ. αιώνα (140 - 100 π.Χ.), ίσως στη Ρόδο, όπου την εποχή εκείνη, άνθιζε η επιστήμη της αστρονομίας. Στη Ρόδο πέθανε το 120 π.Χ. ο μεγαλύτερος αστρονόμος της αρχαιότητας, ο Ίππαρχος. Εκεί έζησε επίσης ο γνωστότατος στωικός φιλόσοφος και αστρονόμος Ποσειδώνιος ο Ρόδιος.

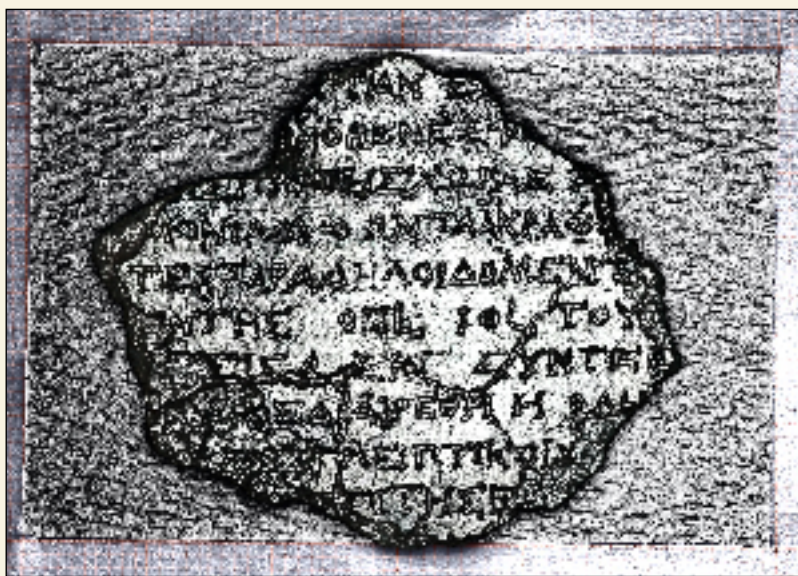
Στη μπροστινή επιφάνεια έφερε δύο ομόκεντρες κυκλικές κλίμακες. Η εξωτερική κλίμακα είχε 365 υποδιαιρέσεις και τα ονόματα των 12 μηνών στην αιγυπτιακή γλώσσα με ελληνικούς χαρακτήρες (ΦΑΟΦΙ, ΘΩΘ, κτλ). Η εσωτερική κλίμακα είχε 360 υποδιαι-

ρέσεις και τα ονόματα των 12 ζωδιακών αστερισμών (ΠΑΡΘΕΝΟΣ, ΧΥΛΑΙ, ΣΚΟΡΠΙΟΣ κ.τ.λ.).

Στην πίσω επιφάνεια έφερε δύο ελικοειδείς σπείρες. Η άνω σπείρα είχε 5 περιελίξεις. Το συνολικό μήκος της ήταν διαιρεμένο σε 235 τμήματα, που αντιστοιχούν στους 235 μήνες της περιόδου του **Μέτωνα**. Τα αρχαία ονόματα δώδεκα μηνών ήταν χαραγμένα στα τμήματα αυτά και επαναλαμβάνονταν μέχρι να συμπληρωθούν και οι 235 μήνες (19 έτη). Στον κενό χώρο, εσωτερικά της άνω 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 223 τμήματα, που αντιστοιχούν στους 223 μήνες της περιόδου **Σάρου**. Από την αρχαία εποχή ήταν γνωστό ότι οι εκλείψεις (του ήλιου και της σελήνης) επαναλαμβάνονται με την ίδια αλληλουχία και τα ίδια χαρακτηριστικά κάθε 223 μήνες. Στους μήνες της περιόδου Σάρου, όπου συμβαίνουν εκλείψεις υπήρχαν εγχάρακτα σύμβολα (Η, Σ, ΗΜ, ΩΡ). Στον κενό χώρο, εσωτερικά της κάτω ελικοει-



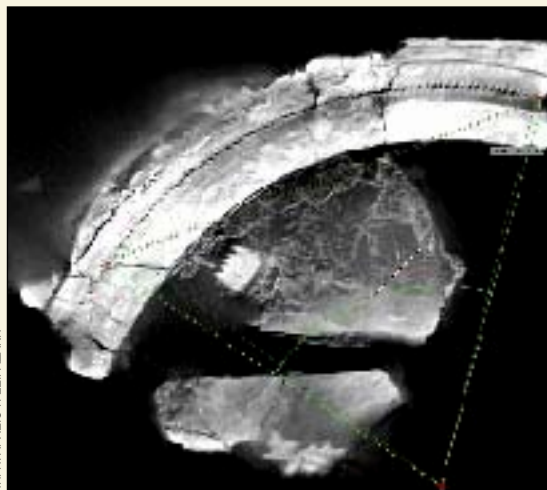
Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων είναι τόσο σημαντικός για την εξέλιξη της τεχνολογίας, όσο και η Ακρόπολη για την εξέλιξη της αρχιτεκτονικής. Παρόμοιος αρχαίος μηχανισμός δεν έχει βρεθεί μέχρι σήμερα. Έτσι εύλογα γεννάται το ερώτημα ποια τεχνική υποδομή υπήρχε την εποχή που κατασκευάστηκε και τι απέγινε η γνώση και η τέχνη που περιείχε.



ΠΗΓΗ: ΑΡΧΕΙΟΓ. ΣΕΙΡΑΔΑΚΗ

Η τεχνική της πολλαπλής φωτογράφισης των θραυσμάτων της εταιρείας Hewlett-Packard επέτρεψε την πιστή ανάγνωση των λεπτομερειών της επιφάνειας των θραυσμάτων. Το μικρό αυτό θραύσμα, διαστάσεων μόλις 5 cm x 4 cm, περιέχει επιγραφές αστρονομικού περιεχομένου. Για παράδειγμα, στην όγδοη γραμμή διακρίνεται η φράση: "ΟΣ ΔΙΑΙΡΕΘΗ Η ΟΛΗ...".

Τομογραφία του θραύσματος Β, στην οποία φαίνεται καθαρά τμήμα των 365 οπών της κλίμακας των μηνών για τον υπολογισμό των δισεκτων ετών. Οι λεπτές γραμμές σχεδιάστηκαν με τη βοήθεια του λογισμικού της εταιρείας Volume Graphics για την ακριβή καταμέτρηση των οπών.



ΠΗΓΗ: ΑΡΧΕΙΟ Γ. ΣΕΙΡΑΔΑΚΗ

» δούς σπείρας, υπάρχει μία μικρότερη κυκλική κλίμακα, διαιρεμένη σε τρία τμήματα (120 μοιρών).

Η λειτουργία του

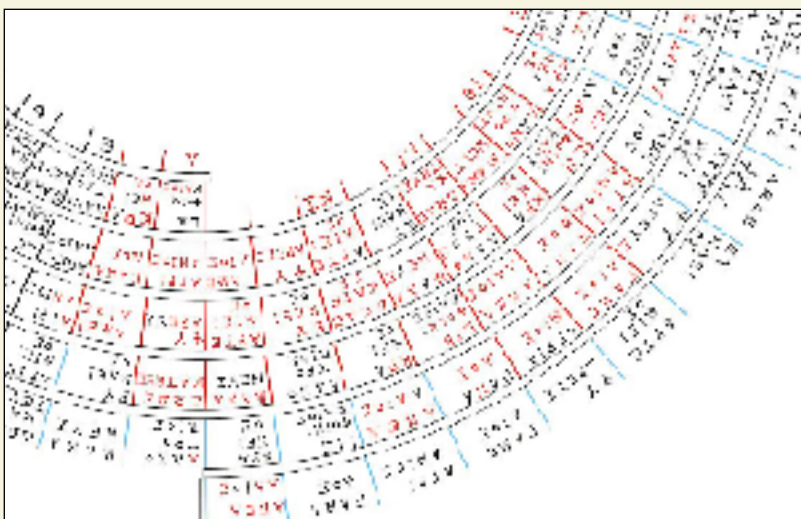
Ο χειριστής, περιστρέφοντας το στροφέιο, μπορούσε να επιλέξει, μέσω ενός δείκτη, μια οποιαδήποτε ημέρα από τις 365 που περιείχε η εξωτερική ετήσια κλίμακα της μπροστινής επιφάνειας του *Μηχανισμού*, πιθανώς με ένα μικρό περιστρεφόμενο στροφέιο (μαμβέλα).

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 δισεκτα έτη. Στην ίδια επιφάνεια ένας περιστρεφόμενος δείκτης, με ένα σφαιρίδιο στο άκρο του, έδειχνε τις φάσεις της σελήνης. Στο δείκτη αυτό έδινε κίνηση μία **κορώνα** (οδοντωτός τροχός κάθετος προς τους υπόλοιπους).

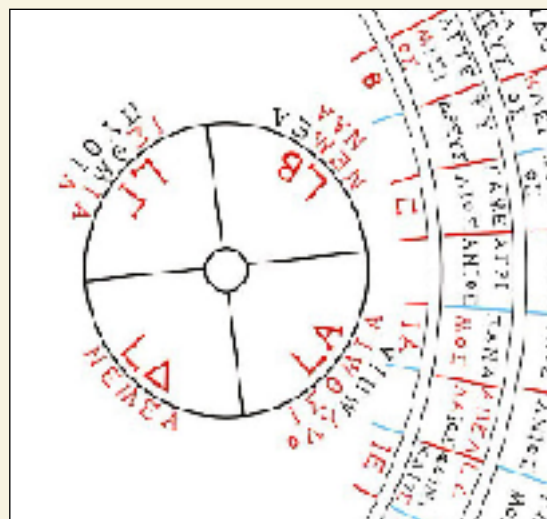
Το στροφέιο έδινε επίσης κίνηση σε διαφορετικούς οδοντωτούς τροχούς, οι οποίοι κινούσαν δύο δείκτες στην πίσω πλευρά του Μηχανισμού. Ο ένας δείκτης έδειχνε σε ποιο μήνα της περιόδου του Μένωνα βρισκόταν η σελήνη (άνω ελικοειδής σπείρα των 235 μηνών). Η κίνηση της σελήνης ήταν διορθωμένη ως προς την ανωμαλία 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 (πέιρο), η οποία οδηγούσε τον άνω τροχό, εμπλεκόμενη σε μια σχισμή του. Έτσι, ο άνω 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 223 μηνών (περίοδος Σάρος). Όταν περνούσε από ένα μήνα που περιείχε εγχάρακτα σύμβολα, ο χρήστης, διαβάζοντας τα σύμβολα, αντιλαμβανόταν ότι επίκειται έκλειψη ήλιου (Η) ή σελήνης (Σ) την τάδε ημέρα (ΗΜ) και ώρα (ΩΡ).

Σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν παραπάνω (περί Ιππάρχου και Ρόδου) θα ανέμενε κανείς τα αρχαία ονόματα των δώδεκα μηνών που είναι χαραγμένα στην κλίμακα του Μένωνα 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 Κο-



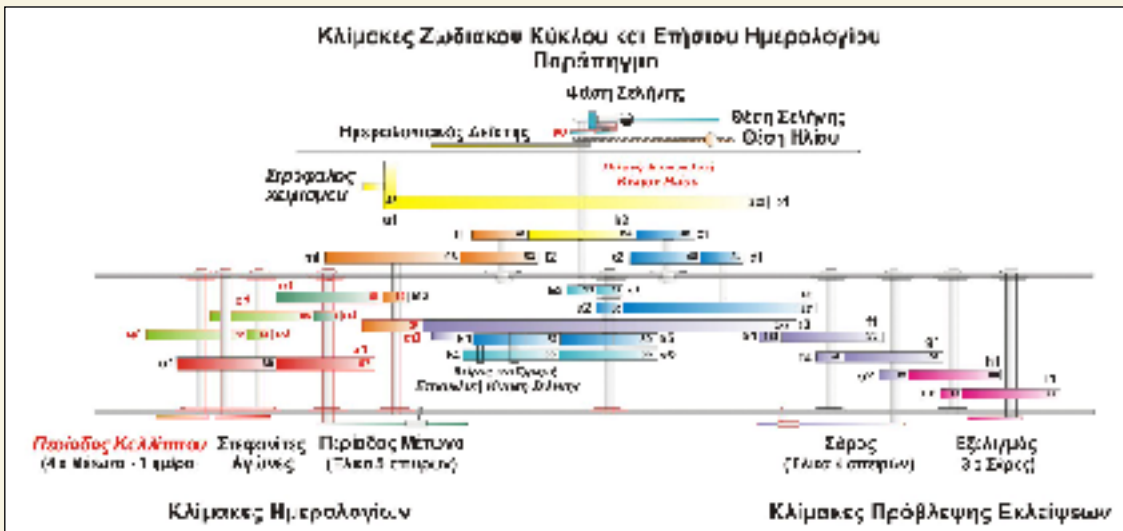
ΠΗΓΗ: ΑΡΧΕΙΟ Γ. ΣΕΙΡΑΔΑΚΗ

Τα αρχαία ονόματα των μηνών που είναι χαραγμένα στην άνω κλίμακα της πίσω πλευράς του Μηχανισμού των Αντικυθήρων προέρχονται από αποικίες της Κορίνθου.



ΠΗΓΗ: ΑΡΧΕΙΟ Γ. ΣΕΙΡΑΔΑΚΗ

Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων χρησιμοποιούνταν για τον προσδιορισμό των στεφανιτών αθλητικών αγώνων (Ολυμπιακοί, Πύθια, Ισθμια, Νέμεα και Νάϊα).



Συνολικό σχηματικό διάγραμμα της διάταξης των οδοντωτών τροχών του Μηχανισμού των Αντικυθήρων.

ρίνθου. Η ανακάλυψη αυτή ανοίγει νέες προοπτικές όσον αφορά στην προέλευση του Μηχανισμού των Αντικυθήρων.

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

Με εγχειρίδιο χρήσης

Είναι προφανές ότι ο *Μηχανισμός των Αντικυθήρων* ήταν μία πολύπλοκη και μοναδική αστρονομική συσκευή. Έτσι, δεν είναι περίεργο ότι συνοδεύταν και από ένα εκτεταμένο και αναλυτικό εγχειρίδιο χρήσης (user’s manual). Οι προστατευτικές πλάκες που αναφέρθηκαν παραπάνω ήταν γεμάτες με επιγραφές. Μέχρι τώρα έχουν διαβαστεί περίπου 2.500 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 έναν καλλιγράφο.

Περισσότερες πληροφορίες μπορεί να αντλήσει κανείς από την ιστοσελίδα:

<http://www.antikythera-mechanism.gr>,

η οποία ανανεώνεται περιοδικά και περιλαμβάνει τελευταία νέα, απαντήσεις σε βασικά ερωτήματα, άρθρα, εικόνες, βίντεο και άλλες πληροφορίες.

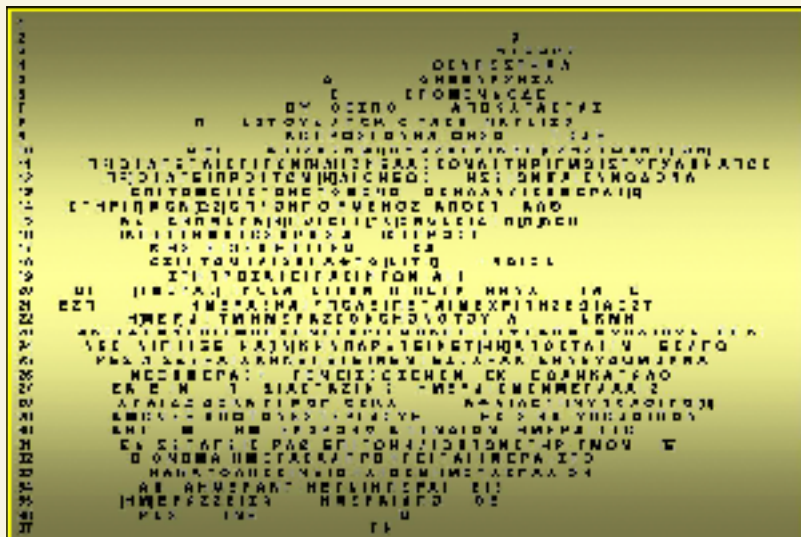
Το Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, αναγνωρίζοντας την αξία και τη σπουδαιότητα του Μηχανισμού των Αντικυθήρων για την ανάδειξη της επιστημονικής και τεχνολογικής κληρονομιάς της χώρας, θέσπισε μία υποτροφία για την εκπόνηση διδακτορικής διατριβής για το Μηχανισμό. Αυτή η διδακτορική διατριβή εκπονείται στο *Τμήμα Φυσικής*, με έδρα στο *Εργαστήριο Αστρονομίας του Τομέα Αστροφυσικής, Αστρονομίας και Μηχανικής*. Την υποψήφια διδάκτορα, κυρία **Μαγδαληνή Αναστασίου**, επιβλέ-

πει μία διατμηματική συμβουλευτική επιτροπή αποτελούμενη από το **Γιάννη Σειραδάκη** (Τμήμα Φυσικής), τον **Κυριάκο Ευσταθίου** (Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών) και τη **Στέλλα Δρούγου** (Τμήμα Ιστορίας και Αρχαιολογίας). Στο πλαίσιο της διδακτορικής διατριβής γίνεται προσπάθεια να κατασκευαστεί ένα νέο αντίγραφο του Μηχανισμού, το οποίο θα περιλαμβάνει όλες τις νέες ανακαλύψεις.

Βιβλιογραφία

- De Solla Price D.: “Gears from the Greeks: The Antikythera Mechanism — A calendar computer from ca. 80 BC”, *Transactions of the American Philosophical Society, New Series*, Volume 64, Issue 7, p.70, (1974).
- Freeth A. et al.: “Decoding the ancient Greek astronomical calculator known as the Antikythera Mechanism”, *Nature*, 11/2006, Volume 444, p.587-591, (2006).
- Freeth A. et al.: “Calendars with Olympiad display and eclipse prediction on the Antikythera Mechanism”, *Nature*, 07/2008, Volume 454, p.614-617, (2008).
- Wright M.T.: “The Antikythera Mechanism reconsidered”, *Interdisciplinary Science Reviews*, 03/2007, Volume 32, Issue 1, p.27 - 43, (2007).

Αναπαράσταση των επιγραφών από την εμπρόσθια μπρούτζινη πλάκα του Μηχανισμού των Αντικυθήρων. Γίνεται αναφορά στην περιφορά του πλανήτη Αφροδίτη γύρω από τον ήλιο. Η λέξη «ΣΤΗΡΙΓΜΟΣ», η οποία εμφανίζεται συχνά, αναφέρεται στη μέγιστη αποχή (γωνιώδη απόσταση) του πλανήτη από τον ήλιο.



Μορφοποιήσεις κατά την αρχαιότητα



των
Κ.-Δ. Μπουζάκη,
καθηγητή
του Τμήματος
Μηχανολόγων
Μηχανικών Α.Π.Θ.



Δ. Παντερμαλή,
καθηγητή
του Τμήματος Ιστορίας
και Αρχαιολογίας Α.Π.Θ.



Κ. Ευσταθίου,
αναπληρωτή καθηγητή
του Τμήματος
Μηχανολόγων
Μηχανικών Α.Π.Θ.



Χρησιμοποιώντας τεχνολογίες μέτρησης, βιομηχανικού αξονικού τομογράφου και σαρωτή ακτινών λέιζερ είναι δυνατή η μοντελοποίηση αρχαιολογικών ευρημάτων χωρίς επαφή με το πρωτότυπο, αποφεύγοντας τον κίνδυνο βλαβών ή φθοράς τους. Οι τεχνολογίες αυτές επιτρέπουν τη διερεύνηση των μεθόδων σχεδίασης και μορφοποίησής τους κατά την αρχαιότητα, καθώς και της λειτουργίας τους. Επιπλέον, διευκολύνουν την παραγωγή πιστών αντιγράφων τους.



Τα αντικείμενα που διερευνήθηκαν προέρχονται από τον αρχαιολογικό χώρο του Δίου, έναν από τους σημαντικότερους αρχαιολογικούς χώρους της Ελλάδας, κατά ανασκαφές, που διεξήχθησαν από τον καθηγητή Δ. Παντερμαλή και εικονίζονται στο σχήμα 1. Αυτά είναι: μία ορειχάλκινη κεφαλή ανάρτησης θαλάμου επιβατών άμαξας της ελληνιστικής περιόδου, δύο κεφαλές αλόγων (μία θηλυκή και μία αρσενική) του 2ου αιώνα π.Χ., μία κεραμική οινόχη της πρώιμης εποχής του σιδήρου, δύο ορειχάλκινα λυχνάρια της ελληνιστικής περιόδου και ένα κολποσκοπίο του 2ου αιώνα π.Χ.

Μοντελοποίηση της γεωμετρίας των ευρημάτων

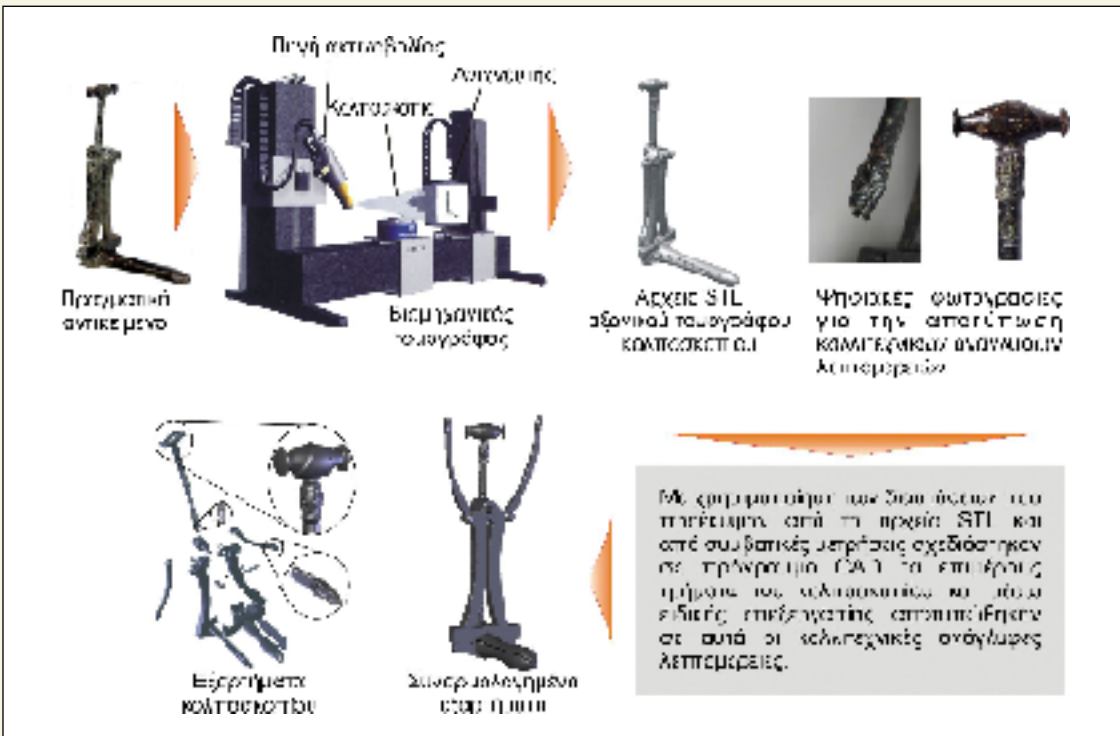
Η καταγραφή της στερεάς γεωμετρίας των ευρημάτων είναι το βασικό βήμα για την μοντελοποίηση τους. Ανάλογα με το μέγεθος, το υλικό και την πολυ-

πλοκότητα της γεωμετρίας κάθε ευρήματος, επιλέχθηκε η κατάλληλη μέθοδος αποτύπωσης της γεωμετρίας τους. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν ήταν σάρωση με βιομηχανικό αξονικό τομογράφο (CT), σάρωση με ακτίνες λέιζερ και μέτρηση με μετρητική μηχανή καθοδηγούμενη από ηλεκτρονικό υπολογιστή (CMM). Σε ορισμένα ευρήματα ήταν απαραίτητος ο συνδυασμός αυτών των μετρήσεων για την μοντελοποίηση της γεωμετρίας τους.

- Οι στόχοι της έρευνας ήταν:
- Η διερεύνηση του τρόπου μορφοποίησης τους κατά την αρχαιότητα.
- Η μελέτη της σχεδίασης και της λειτουργίας τους, όπως π.χ. του κολποσκοπίου το οποίο αποτελείται από 15 εξαρτήματα, 11 από τα οποία είναι διαφορετικά μεταξύ τους.
- Η εκτίμηση διαφόρων παραμέτρων, όπως π.χ. της αντοχής της κεφαλής ανάρτησης ξύλινης επιβατι-



Σχήμα 1:
Αρχαιολογικά
ευρήματα στο Δίον.



Σχήμα 2: Προσδιορισμός της γεωμετρίας του κολποσκοπίου.

κής άμαξας, καθώς και των συνθηκών άνεσης των επιβατών της.

- Η κατασκευή αντιγράφων των ευρημάτων.

Για να επιτευχθούν οι παραπάνω στόχοι ήταν απαραίτητο να καταγραφεί ο πλήρης όγκος του αντικειμένου με ακρίβεια, δηλαδή κάθε εξωτερική και εσωτερική λεπτομέρεια του κάθε αντικειμένου.

Ανάλογα με το μέγεθος, την πολυπλοκότητα και το υλικό του αντικειμένου πραγματοποιήθηκαν διάφορων ειδών μετρήσεις και εξειδικευμένη επεξεργασία των μετρήσεων αυτών, έτσι ώστε να προκύψει κάθε φορά το επιθυμητό αποτέλεσμα. Στο σχήμα 2 παρουσιάζεται σαν παράδειγμα ο προσδιορισμός της στερεάς γεωμετρίας του ορειχάλκινου κολποσκοπίου.

Η κατασκευή των καλουπιών

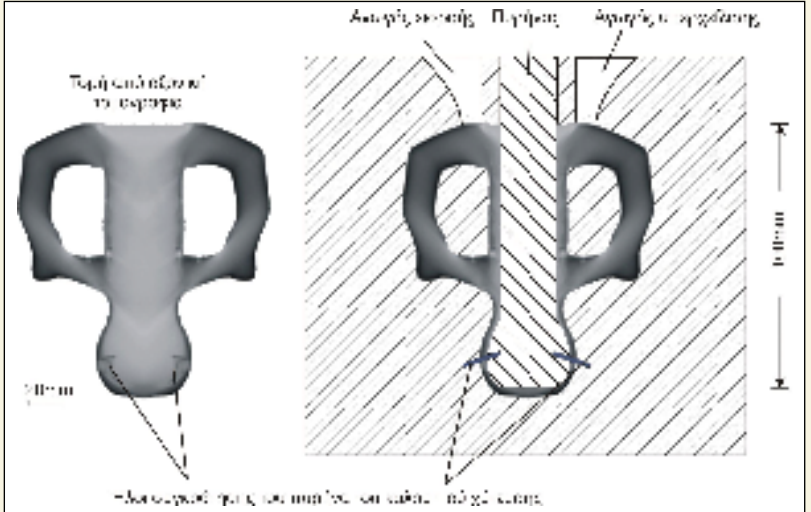
Οι κεφαλές των αλόγων, η κεφαλή της ανάρτησης, το λυχνάρι (νέγρος) και τα εξαρτήματα του κολποσκοπίου μετά από σχετική διερεύνηση προέκυψε ότι μορφοποιήθηκαν με τη μέθοδο της χύτευσης με τηκόμενα μοντέλα. Για παράδειγμα στην κεφαλή της ανάρτησης, αριστερά και δεξιά στην εσωτερική της επιφάνεια (βλέπε σχήμα 3), διακρίνονται 2 υπολείμματα ήλων, που υποδηλώνουν τον πιθανό τρόπο κατασκευής του αντικειμένου στην αρχαιότητα. Αρχικά κατασκευάστηκε ο πυρήνας χύτευσης από πηλό, ο οποίος αντιστοιχούσε στην εσωτερική διαμόρφωση της ανάρτησης. Επάνω στον πηλό του πυρήνα στρώθηκε κέρι που να αντιστοιχεί στο επιθυμητό πάχος του αντικειμένου και διαμορφώθηκε καλλιτεχνικά η εξωτερική του επιφάνεια. Σε αυτό το στάδιο τοποθετήθηκαν ήλοι (καρφιά), οι οποίοι διαπερνούσαν το κέρι και στερεώνονταν στον πυρήνα, προεξέχοντας

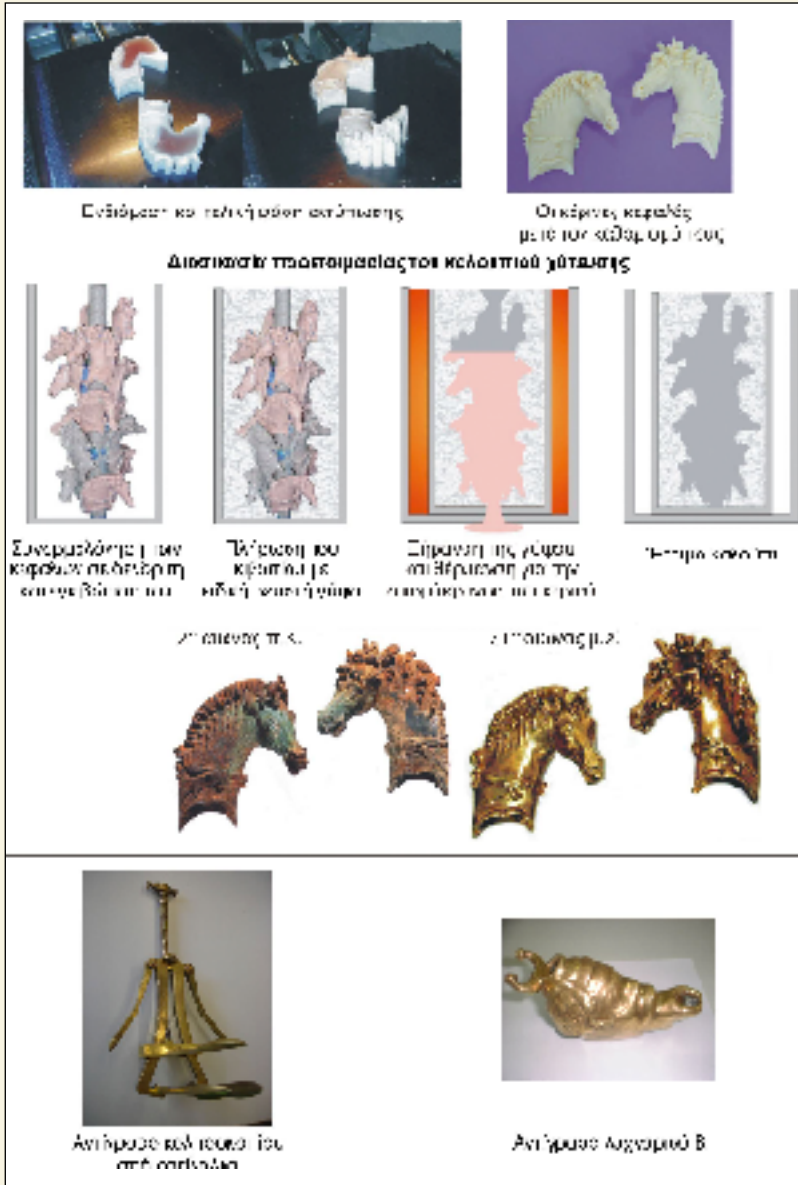
προς τα έξω. Στη συνέχεια επάνω από το κέρι τοποθετήθηκε μια εξωτερική στρώση πηλού. Μέσω θέρμανσης και τήξης του κεριού δημιουργήθηκε στην συνέχεια το καλούπι χύτευσης. Οι ήλοι οι οποίοι είναι από το ίδιο υλικό που χυτεύθηκε, συγκρατούν τα δύο μέρη του πηλίνου καλουπιού, δηλαδή τον πυρήνα με το εξωτερικό μέρος της κεφαλής ανάρτησης.

Σε διάφορες τομές αξονικών τομογραφιών του χάλκινου λυχναριού Α (βλέπε σχήμα 1) διαπιστώθηκε ότι αυτό δεν είναι συμπαγές και αποτελείται κυρίως από τρία μέρη: το σώμα, τη λαβή του και την σφαιρική χοάνη για την πλήρωση με έλαιο. Το κυρίως σώμα και η λαβή μορφοποιήθηκαν μέσω ξεχωριστών χυτεύσεων με τηκόμενα μοντέλα. Με τη βοήθεια αξονικών τομογραφιών, διαπιστώθηκαν ασυνέχειες υλικού στην



Σχήμα 3: Πιθανή διαμόρφωση του καλουπιού χύτευσης της κεφαλής της ανάρτησης.





Σχήμα 4:
 Δημιουργία πιστών αντιγράφων μέσω ταχείας πρωτοτυποποίησης κέρινων ομοιωμάτων και χύτευση με τη μέθοδο των τηκόμενων μοντέλων.

Κατά τη διερεύνηση της σχεδίασης και λειτουργίας του κολποσκοπίου διαπιστώθηκε ότι στη σχεδιομελέτη του οι αρχαίοι Έλληνες συνδύασαν με αξιοθαύμαστο τρόπο τεχνικές και ιατρικές γνώσεις. Τα συμπεράσματα της μελέτης υποδηλώνουν την υψηλή στάθμη τεχνικής κατά την αρχαιότητα.

περιοχή της σύνδεσης της χοάνης με το κυρίως σώμα, που συνηγορούν στο ότι η χοάνη χυτεύθηκε ή σφυρηλατήθηκε ξεχωριστά και στη συνέχεια αυτή και η λαβή του λυχναριού συγκολλήθηκαν με το κυρίως σώμα με κασσίτερο στην τελική θέση τους.

Η παραγωγή κεραμικών αγγείων είναι μια προσθετική διαδικασία, στην οποία τα διαδοχικά βήματα καταγράφονται στο τελικό αντικείμενο. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της διερεύνησης η κατασκευή της κεραμικής οινοχόης άρχισε με την πλάση του πηλού του σώματος και ξεχωριστά του λαιμού. Στη συνέχεια με την ένωση των επιμέρους αυτών κομματιών ολοκληρώθηκε η μορφοποίηση της οινοχόης.

Η παραγωγή αντιγράφων

Όσον αφορά την παραγωγή πιστών αντιγράφων των ορειχάλκινων ευρημάτων χρησιμοποιήθηκε και σήμερα η μέθοδος της χύτευσης με τηκόμενα μοντέλα. Για την κατασκευή των κέρινων ομοιωμάτων, που είναι απαραίτητα για την κατασκευή του καλουπιού, χρησιμοποιήθηκε μέθοδος ταχείας πρωτοτυποποίησης με εκτυπωτική μηχανή θερμικού ψεκασμού.

Στο σχήμα 4 παρουσιάζονται τα κέρνα μοντέλα των κεφαλών του αρσενικού και του θηλυκού αλόγου όπως προέκυψαν μέσω τεχνικής ταχείας πρωτοτυποποίησης.

Στη συνέχεια με τη βοήθεια των κέρινων αυτών μοντέλων δημιουργήθηκε καλούπι και έγινε χύτευση του μεταλλικού υλικού. Σε περίπτωση που είναι αναγκαία η χύτευση περισσότερων του ενός αντιγράφου, οι κέρινες κεφαλές συναρμολογούνται για να σχηματίσουν ένα δένδριτη. Στην περίπτωση των καλουπιών για τη χύτευση των κεφαλών αλόγων, ο δένδριτης που συναρμολογήθηκε αποτελείται από 16 κεφαλές. Κατόπιν ο δένδριτης τοποθετήθηκε σε ένα δοχείο, το οποίο πληρώθηκε με ειδική γύψο. Μετά τη στερεοποίηση και αφύγρανση της γύψου, θερμαίνοντας το δοχείο, το κέρι έλειωσε και απομακρύνθηκε από το καλούπι.

Μια άλλη διαδικασία που δοκιμάστηκε ήταν η άμεση κατασκευή του καλουπιού χύτευσης μέσω διαδικασιών ταχείας πρωτοτυποποίησης, χρησιμοποιώντας κεραμικές σκόνες και ειδικές ρητίνες για την ενίσχυσή τους. Το τελικό βήμα πριν την χύτευση ήταν η τοποθέτηση του καλουπιού σε ειδικό θάλαμο για τον έλεγχο της ταχύτητας απόψυξης. Μετά την χύτευση οι κεφαλές καθαρίστηκαν και στιλβώθηκαν.

Χρησιμοποιώντας αυτές τις μεθοδολογίες κατασκευάστηκαν πιστά μεταλλικά αντίγραφα των εξαρτημάτων του κολποσκοπίου, των κεφαλών των αλόγων και του λυχναριού Β, τα οποία φαίνονται στο σχήμα 4.

Αντίγραφα των ευρημάτων αυτών καθώς και πληροφορίες σχετικές με την σχεδίαση και μορφοποίηση τους παρουσιάζονται στην έκθεση «Ελλάδα και τεχνολογία: μια διαχρονική προσέγγιση» στο Τελλόγλειο, από 12 Νοεμβρίου 2008 μέχρι 11 Ιανουαρίου 2009.