

ΣΧΕΔΙΟ ΕΡΕΥΝΑΣ

Τίτλος: *Τα μέταλλα στον αρχαίο κόσμο*

ΟΜΑΔΕΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ:

A) Γενική μελέτη των μετάλλων όπως αυτά καταγράφονται στον περιοδικό πίνακα

(Γκούμας Ναπολέων, Μητσιώνη Ναταλία, Μπανάκου Παναγιώτα, Ζιόγκα Ματίνα, Μπεθάνη Ηλιάννα, Μαρινοπούλου Μαρία)

B) Τα αρχαία επτά...

(Λίγκου Σωτηρία, Μέρτικα Αναστασία, Φατούρου Χριστίνα, Τσαναή Καλλίστη)

Γ) Ορυκτά-Μεταλλουργία

(Μάντζαρης Παύλος, Καραβίτης Χρήστος, Καρασερίδης Μιχάλης, Δερουγγέρη Τζίνα, Σαρρή Εύα)

Δ) Μεταλλοτεχνία

(Κωνσταντακόπουλος Στέφανος, Κέμπας Παναγιώτης, Ντιουρέ Αλεξάνδρα, Νόση Αντωνία)

Υπεύθυνη καθηγήτρια: Σβορώνου Μαλβίνα

ΓΕΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΟΠΩΣ ΑΥΤΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΟΝΤΑΙ ΣΤΟΝ ΠΕΡΙΟΔΙΚΟ ΠΙΝΑΚΑ

Τα μέταλλα είναι στερεά σώματα, με εξαίρεση τον υδράργυρο που είναι υγρός. Έχουν γενικά αργυρόλευκο χρώμα (εκτός από το χρυσό που είναι κιτρινωπός και το χαλκό που έχει κόκκινη απόχρωση), έχουν «μεταλλική» λάμψη και είναι καλοί αγωγοί της θερμότητας. Παρουσιάζουν ακόμη ένα σύνολο κοινών ιδιοτήτων. Χαρακτηριστικά μέταλλα είναι ο σίδηρος, ο χαλκός, το αργίλιο (αλουμίνιο), το νάτριο, το ασβέστιο, ο ψευδάργυρος, κ.α.

The image shows a screenshot of a periodic table of elements. The title at the top is 'ΠΕΡΙΟΔΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ'. The table is organized into rows and columns, with elements represented by their chemical symbols. The elements are color-coded: metals are in shades of blue and green, non-metals are in yellow and orange, and noble gases are in light blue. The lanthanide and actinide series are shown at the bottom of the table.

ΦΥΣΙΚΕΣ ιδιότητες μετάλλων:

1. Έχουν μεγάλες πυκνότητες
2. Έχουν υψηλά σημεία τήξης
3. Έχουν υψηλά σημεία βρασμού
4. Είναι καλοί αγωγοί της θερμότητας
5. Είναι καλοί αγωγοί του ηλεκτρισμού
6. Είναι ελατά, δηλαδή μπορούν να δώσουν ελάσματα
7. Είναι όλκιμα, δηλαδή μπορούν να δώσουν σύρματα

Βέβαια υπάρχουν και μέταλλα με πολύ μικρές πυκνότητες όπως το λίθιο, το νάτριο και το κάλιο και μέταλλα με σχετικά χαμηλά σημεία τήξης και βρασμού, όπως ο υδράργυρος που είναι υγρός.

ΧΗΜΙΚΕΣ ιδιότητες μετάλλων:

- Όλα τα μέταλλα (εκτός Cu, Ag, Au) αντιδρούν με διαλύματα οξέων και ελευθερώνεται αέριο H₂.

ΠΕΙΡΑΜΑ:



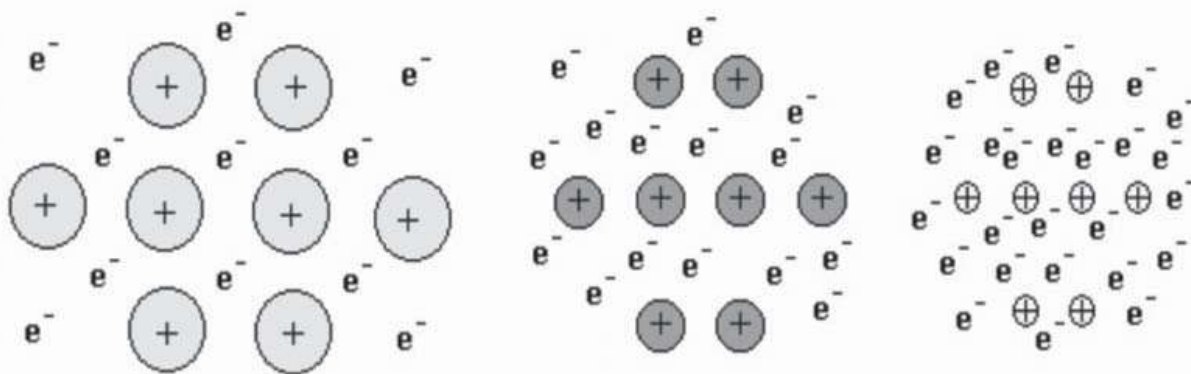
Μέσα σε διάλυμα υδροχλωρικού οξέος τοποθετήσαμε μικρό κομμάτι από λεπτό φύλλο μαγνησίου. Αμέσως άρχισε ο «βρασμός», δηλαδή η έκλυση φυσαλίδων που είναι ένδειξη αερίου. Το αέριο διαπιστώθηκε ότι είναι υδρογόνο διότι σβήνει τη φλόγα με μικρό κρότο. Το έλασμα μαγνησίου εξαφανίστηκε. (βίντεο)

Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των μετάλλων απορρέουν από τους μη εντοπισμένους δεσμούς τους στους οποίους υπάρχουν δεσμικά ηλεκτρόνια απλωμένα πάνω από έναν αριθμό ατόμων. Υπάρχουν το μοντέλο της θάλασσας των ηλεκτρονίων που ερμηνεύει ποιοτικά μερικές ιδιότητες των μετάλλων και η θεωρία των μοριακών τροχιακών που δίνει μία λεπτομερή εικόνα του δεσμού σε ένα μέταλλο. Πιο κάτω περιγράφεται απλά μόνο το πρώτο μοντέλο.

ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΩΝ

(ιοντικός χαρακτήρας του μεταλλικού δεσμού)

Ένα μέταλλο μπορεί να παρασταθεί από μία διάταξη θετικών ιόντων που βρίσκονται μέσα σε μια «θάλασσα» ηλεκτρονίων σθένους ελεύθερων να κινηθούν σε όλη την έκταση του μεταλλικού κρυστάλλου. Όταν τα άκρα του μετάλλου συνδεθούν με πηγή ηλεκτρικού ρεύματος αυτά προσανατολίζονται και δημιουργούν ένα ηλεκτρικό ρεύμα (αγωγός του ηλεκτρισμού). Τα ευκίνητα ηλεκτρόνια μπορούν να μεταφέρουν κινητική ενέργεια από την μία άκρη στην άλλη (αγωγός θερμότητας). Η σταθερότητα των μεταλλικών κρυστάλλων αποδίδεται στις ισχυρές ηλεκτροστατικές έλξεις ανάμεσα στο πλέγμα των θετικών ιόντων και στο αρνητικό νέφος ηλεκτρονίων, όπου οφείλεται και η υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητά τους. Οι θέσεις των θετικών ιόντων στα μέταλλα μπορούν να αλλάξουν χωρίς να καταστραφεί ο κρύσταλλος, επειδή η κατανομή του φορτίου των ελεύθερων ηλεκτρονίων είναι ομοιόμορφη. Για το λόγο αυτό τα μέταλλα είναι ελατά και όλκιμα. Η κινητικότητα επίσης των ηλεκτρονίων είναι υπεύθυνη για το χρώμα και τη λάμψη. Η ισχύς του μεταλλικού δεσμού αυξάνεται καθώς μειώνεται το μέγεθος του ατόμου και αυξάνεται ο αριθμός των ηλεκτρονίων της τελευταίας στιβάδας του μετάλλου, όπως φαίνεται παραστατικά στο σχήμα.



Νάτριο(Na)

Μαγνήσιο(Mg)

Αργίλιο(Ag)

- ΔΙΑΒΡΩΣΗ-ΟΞΕΙΔΩΣΗ:

Κατά τη διάβρωση, το μεταλλικό υλικό υπό την επίδραση του περιβάλλοντος χάνει ηλεκτρόνια, τα οποία δεσμεύονται (συνήθως) από το οξυγόνο του περιβάλλοντος. Το φαινόμενο είναι, τις περισσότερες φορές, επιφανειακό, δηλαδή εντοπίζεται στην εκτεθειμένη προς το περιβάλλον επιφάνεια του μετάλλου.

Οξειδωση των μετάλλων είναι μία χημική διαδικασία, όπου τα επιφανειακά άτομα του μετάλλου, ενώνονται με άλλα άτομα που υπάρχουν στον ατμοσφαιρικό αέρα και δημιουργούν νέες ενώσεις στις οποίες το μέταλλο έχει αυξημένο αριθμό οξειδωσης. Όταν οξειδώνεται ο σίδηρος (λόγω της επαφής του με το οξυγόνο της ατμόσφαιρας) δημιουργείται στην επιφάνεια του η γνωστή καφέ σκουριά. Όταν οξειδώνεται το ασήμι (λόγω της επαφής του με το θειάφι της ατμόσφαιρας) εμφανίζεται το χαρακτηριστικό μαύρισμα. Η οξειδωση του μπρούντζου και του χαλκού είναι πρασινωπή. Ο χρυσός, η πλατίνα και τα πολύτιμα μέταλλα της οικογένειας της πλατίνας (πολλάδιο, ιρίδιο, ρόδιο, όσμιο) έχουν μεγάλη αντοχή στην οξειδωση από τον ατμοσφαιρικό αέρα, δηλαδή πρακτικά είναι ανοξειδωτά. Υπάρχουν και μη πολύτιμα

μέταλλα ανθεκτικά στην οξείδωση όπως το νικέλιο. Η οξείδωση γενικά είναι ένα διαβρωτικό και καταστροφικό φαινόμενο για τα μέταλλα.



Οξειδωμένος σίδηρος(σκουριά)



Όχι ακριβώς οξείδωση του χαλκού, αλλά πολύ παρόμοιο χρώμα.

- ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΣΤΟ ΝΕΡΟ

Το νερό βοηθά στη διάβρωση των μετάλλων. Τα περισσότερα μέταλλα δεν αντιδρούν με το νερό. Π.χ. τοποθετήσαμε χαλκό σε νερό για μεγάλο χρονικό διάστημα και δεν παρατηρήσαμε καμία χημική μεταβολή. Αντίθετα σιδερένιο καρφί σε νερό για μεγάλο χρονικό διάστημα καλύφθηκε από καφέ στρώμα σκουριάς (οξείδωση)

Άλλα όμως μέταλλα τα οποία ονομάζουμε δραστικά, όπως π.χ. τα αλκάλια της 1^{ης} κύριας ομάδας του περιοδικού πίνακα, αντιδρούν βίαια με το νερό με έκλυση θερμότητας και αερίου υδρογόνου.

ΠΕΙΡΑΜΑ:



Σε μία λεκάνη με νερό ρίξαμε ένα μικρό κομμάτι νάτριο(Na). Εκείνο αμέσως άρχισε να βγάζει καπνούς και φυσαλίδες. Όταν ρίξαμε τον δείκτη(φαινοφθαλείνη) το νερό έγινε ροζ, πράγμα που σημαίνει ότι το διάλυμα είναι βασικό. Συμπεραίνουμε ότι: $2\text{Na} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{NaOH} + \text{H}_2 \uparrow$ και ότι οι φυσαλίδες ήταν αέριο υδρογόνου. Το ίδιο ακριβώς κάναμε και με το κάλιο(K), το οποίο είναι πιο δραστικό από το νάτριο και έτσι η αντίδραση ήταν πιο βίαιη.

(βίντεο)

Όσο πιο δραστικό είναι το μέταλλο τόσο πιο βίαιη είναι η αντίδραση του με καταστροφικά αποτελέσματα. Η δραστικότητα των μετάλλων της 1^{ης} ομάδας (αλκάλια) είναι με αύξουσα σειρά: Li, Na, K, Rb, Cs, Fr. (βίντεο)

- Τέλος, ιδιότητα των μετάλλων μπορούμε να χαρακτηρίσουμε και την ικανότητα τους να σχηματίζουν κράματα.

Κράμα καλείται κάθε μείγμα δύο ή περισσότερων στοιχείων, από τα οποία το ένα τουλάχιστον είναι μέταλλο. Ένα άλλο βασικό χαρακτηριστικό του κράματος είναι ότι τα συστατικά του στοιχεία συμμετέχουν στη δημιουργία μίας κοινής κρυσταλλικής δομής, η οποία προκαλείται συνήθως με σύντηξη των στοιχείων του κράματος και ακόλουθη στερεοποίηση(πήξη).

Η λέξη κράμα είναι αρχαία και προέρχεται από το ρήμα κεράννυμι που σημαίνει ανακατεύω, αναμιγνύω.

Τα κράματα των μετάλλων δημιουργούνται προκειμένου να συνδυάσουν ιδιότητες των βασικών συστατικών σε ένα νέο και ίσως καλύτερο για τις ανάγκες μας υλικό.

Ένα από τα πρώτα κράματα που δημιουργήθηκε ήταν την εποχή του Χαλκού και ήταν το κρατέρωμα ή μπρούντζος. (κράμα χαλκού με κασσίτερο)

Επίσης γνωστό στην αρχαιότητα ήταν το **ήλεκτρο** (κράμα χρυσού με άργυρο)

Ο ποταμός Πακτωλός και ο Εύξεινος Πόντος ήταν πλούσια σε ήλεκτρο. Η Αργοναυτική εκστρατεία διοργανώθηκε πιθανότατα για την αναζήτηση του χρυσού. Το χρυσόμαλλο δέρας αναφέρεται στη μέθοδο όπου οι κάτοικοι της Κολχίδος χρησιμοποιούσαν για την ανάκτηση του χρυσού από τη χρυσοφόρο άμμο: αφού μάζευαν την άμμο με προβιές, έριχναν πάνω τους με πίεση νερό. Η άμμος, ως ελαφρύτερη, απομακρυνόταν και παρέμεναν τα βαρύτερα ψήγματα του χρυσού. (η πυκνότητα του χρυσού είναι 19,3 g/ml). Για να απομακρυνθεί ο άργυρος η μάζα του ακάθαρτου χρυσού θερμαινόταν με αλάτι (NaCl), οπότε ο άργυρος μετατρέποταν σε χλωριούχα άλατα που επέπλεαν στο λιωμένο μέταλλο σα σκουριά. Άλλα γνωστά κράματα είναι:

- Ο ορείχαλκος(χαλκός+ψευδάργυρος)
- Ο νεάργυρος (χαλκός+ψευδάργυρος+νικέλιο)
- Ο χάλυβας (σίδηρος+άνθρακας)
- Ψευδοχαλκός (χαλκός+ψευδάργυρος+κασσίτερος)

Και λίγη Αλχημεία...

Διαφορετικού τύπου ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι προσπάθειες των Αλχημιστών να μετατρέψουν τα κοινά μέταλλα σε χρυσό. Ο περίφημος Άραβας αλχημιστής Αβικένας πίστευε ότι το ελιξίριο που θα μετέτρεπε τα κοινά μέταλλα στον «αθάνατο» χρυσό θα δρούσε έτσι ώστε να τα απαλλάξει από κάθε σήψη και ακαθαρσία. Αναλογικά, το ίδιο ή κάποιο άλλο ελιξίριο θα μπορούσε να απαλλάξει και τον ανθρώπινο οργανισμό από τα φθαρμένα συστατικά, παρατείνοντας την ανθρώπινη ζωή για πολλούς αιώνες. Δεν είναι γνωστό αν το αυστριακό λικέρ Goldwasser (χρυσό νερό), που περιέχει λεπτά ψήγματα χρυσού, τέθηκε σε κυκλοφορία με αυτό το σκεπτικό. Στην αρχαία Κίνα, όπου η αλχημεία γνώριζε μεγάλη άνθιση, οι αυτοκράτορες επεδίωκαν την αθανασία, καταπίνοντας ελιξίρια που είχαν παρασκευαστεί από χρυσό και υδράργυρο, με αποτέλεσμα τον πρόωρο θάνατό τους.

ΠΕΙΡΑΜΑ «Δημιουργία Κράματος»:

A. ΠΡΟΕΡΓΑΣΙΑ:

- ο Παρασκευάζουμε διάλυμα NaOH 3M
- ο Καθαρίζουμε το χάλκινο νόμισμα με HCl(aq)

B. ΕΠΙΔΕΙΞΗ (πώς το χάλκινο νόμισμα θα γίνει ασημένιο)

- ο Προσθέτουμε μέσα στην κάψα 5g σκόνη ψευδαργύρου και 50ml διάλυμα καυστικού νατρίου.

- Θερμαίνουμε το διάλυμα ανακατεύοντας με γυάλινη ράβδο μέχρι να εμφανιστούν οι πρώτες φυσαλίδες(φυσαλίδες υδρογόνου).
- Χαμηλώνουμε τη φλόγα και με μία λαβίδα τοποθετούμε στο παραπάνω διάλυμα ένα πρόσφατα καθαρισμένο χάλκινο νόμισμα (5cents)
- Το αφήνουμε 3-4 λεπτά και το αφαιρούμε(παρατηρούμε ότι το νόμισμα μετατρέπεται σε ασημένιο)
- Το απομακρύνουμε με τη λαβίδα, το ξεπλένουμε και το σκουπίζουμε.

Γ. ΕΠΙΔΕΙΞΗ (πώς το ασημένιο νόμισμα θα γίνει χρυσό):

- Παίρνουμε με τη λαβίδα το ασημένιο νόμισμα και το πλησιάζουμε στο έξω μέρος της φλόγας λύχνου.
- Απομακρύνουμε το νόμισμα από την φλόγα μόλις αλλάξει χρώμα, δηλαδή γίνει χρυσό. Το ξεπλένουμε με κρύο νερό μέχρι να έρθει στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος.

ΕΞΗΓΗΣΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ:

ΒΗΜΑ Α.

Αρχικά η σκόνη του ψευδάργυρου διαλύεται στο διάλυμα του καυστικού νατρίου σχηματίζοντας ψευδαργυρικό ανιόν $[Zn(OH)_4]^{2-}$

ΒΗΜΑ Β.

Το ιόν αυτό ανάγεται σε μεταλλικό ψευδάργυρο ($\theta < 100^\circ C$) στην επιφάνεια του χάλκινου νομίσματος και σχηματίζεται μεσο-μεταλλική ένωση δηλαδή το κράμα του ορείχαλκου(γ-ορείχαλκος με χαρακτηριστικό χρώμα ασημί)

ΒΗΜΑ Γ.

Κατά τη θέρμανση του επιμεταλλωμένου χαλκού στο μπλε τμήμα της φλόγας ενός λύχνου Bunsen σχηματίζεται α-ορείχαλκος με χαρακτηριστικό χρώμα χρυσό.

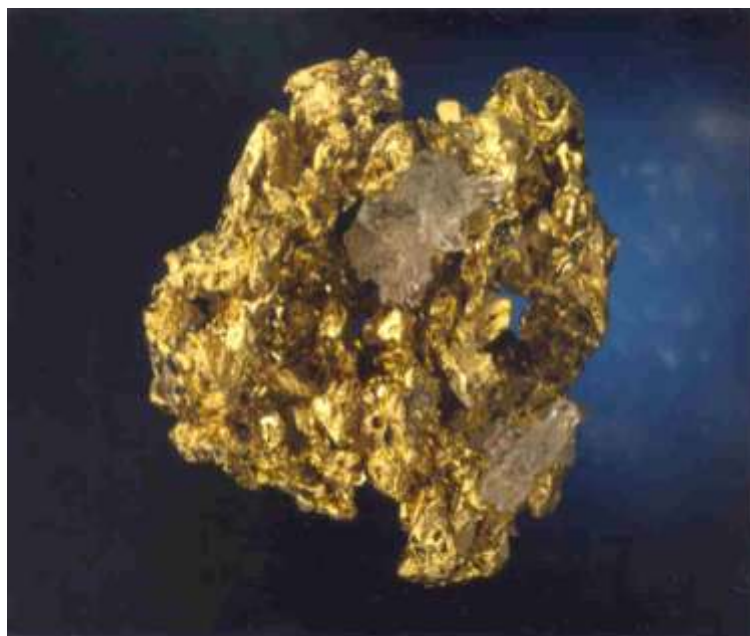
ΤΑ ΜΕΤΑΛΛΑ ΣΤΟΝ ΑΡΧΑΙΟ ΚΟΣΜΟ

Τα μέταλλα που ήταν γνωστά στην αρχαιότητα ήταν επτά και είναι τα εξής: Ο χρυσός (Au), ο χαλκός (Cu), ο μόλυβδος (Pb), ο κασσίτερος (Sn), ο σίδηρος (Fe) και ο υδράργυρος (Hg). Ο χρυσός βρέθηκε το 5000 π.Χ. στην Αίγυπτο. Ο χαλκός το 4200 π.Χ. στην Κύπρο. Ο άργυρος το 4000 π.Χ. στο Λαύριο, στη Σάνη και στην Εύβοια. Ο μόλυβδος βρέθηκε το 3.500 π.Χ. στη Χαλκιδική. Ο κασσίτερος το 1700 π.Χ. στο κράτος των Χετταίων που βρισκόταν στην κεντρική Μικρά Ασία, σημερινή Τουρκία. Και ο υδράργυρος το 750 π.Χ. στην Κίνα και την Ινδία.

ΧΡΥΣΟΣ (Au)

Με τον ποιητικό χαρακτηρισμό «ιδρώτας του ήλιου» αποκαλούσαν οι Ίνκας το πιο περιζήτητο στοιχείο όλων των αρχαίων πολιτισμών, το βασιλιά των μετάλλων, το χρυσό. Πράγματι το χρώμα και η λάμψη του φέρνουν στο νου τον ήλιο και γι αυτό οι αρχαίοι Έλληνες είχαν συνδέσει το χρυσό με τον θεό Απόλλωνα. Στα λατινικά ο χρυσός λέγεται *Aurum*. Ο ατομικός του αριθμός είναι $Z=79$, το ατομικό του βάρος είναι 196,966, η θερμοκρασία τήξης του $1.064^\circ C$ και η θερμοκρασία βρασμού του $2.807^\circ C$. Δεν έχει πρακτική χρησιμότητα, επειδή έχει μεγάλη πλαστικότητα. Ο χρυσός εντοπίζεται κυρίως αυτοφυής και λιγότερο υπό μορφή ενώσεων. Ο καθαρός χρυσός είναι πιο ελατός και όλκιμος από όλα τα άλλα μέταλλα και μπορεί εύκολα να χτυπηθεί ή να σφυρηλατηθεί. Δηλαδή με κατεργασία μπορεί να γίνει πάρα πολύ λεπτά φύλλα, ή λεπτά σύρματα. Είναι ένα από τα μαλακότερα μέταλλα (σκληρότητα 2,5 έως 3) και

αποτελεί καλό αγωγό της θερμότητας και του ηλεκτρισμού. Ο χρυσός είναι εξαιρετικά ανενεργός. Είναι απρόσβλητος από τον αέρα, τη θερμότητα, την υγρασία και τους περισσότερους διαλύτες. Έχει πυκνότητα 19,3. Έχει λάμψη μεταλλική, πλούσιο κίτρινο χρώμα, ελατή αντοχή, λαμπερή κίτρινη ράβδωση, είναι αδιαφανές, δεν παρατηρείται σχισμός, καμία εσωτερική ανάκλαση. Είναι σπάνιος βαρύς πολύτιμος, παραμένει αναλλοίωτος με την πάροδο του χρόνου. Είναι ευγενές μέταλλο πράγμα που σημαίνει από χημική άποψη ότι έχει μεγάλη χημική αδράνεια. Για παράδειγμα δεν σκουριάζει και δεν προσβάλλεται από ισχυρά οξέα με εξαίρεση το βασιλικό ύδωρ. Διάλυμα HNO_3 και HCl .



ΑΡΓΥΡΟΣ (Ag)

Ο άργυρος με άλλο όνομα ασήμι προέρχεται από το επίθετο αργής ή αργός, που σημαίνει λαμπερός. Η λέξη ασήμι προέρχεται από το επίθετο άσημος, που χρησιμοποιούνταν για να γίνεται διάκριση του κοινού μεταλλικού αργύρου από τον άργυρο των νομισμάτων. Σε καθαρή κατάσταση, ο άργυρος είναι αρκετά δύστηκτος και μαλακός. Γι αυτό χρησιμοποιείται υπό τη μορφή κραμάτων με χαλκό. Ο άργυρος δεν είναι κατάλληλος για την κατασκευή χυτών αντικειμένων, επειδή όταν είναι λιωμένος διαλύει σημαντική ποσότητα οξυγόνου, το οποίο απελευθερώνει κατά την πήξη του, εκτινάσσοντας σταγονίδια του τήγματος. Αυτό μπορεί να αντιμετωπιστεί με την προσθήκη μικρής ποσότητας χαλκού. Απ' όλα τ'άλλα μέταλλα ο άργυρος εμφανίζει τη μεγαλύτερη στιλπνότητα και καλύτερη θερμική και ηλεκτρική αγωγιμότητα. Όπως ο χρυσός έτσι και ο άργυρος σχηματίζει λεπτότατα σύρματα και ελάσματα, κατάλληλα για την κατασκευή κοσμημάτων. Ο άργυρος μπορεί να μην οξειδώνεται από τον αέρα αλλά με τον καιρό μαυρίζει. Αυτό οφείλεται στην αντίδραση του με ίχνη υδρόθειου που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα απ' τη σήψη θειούχων οργανικών ενώσεων, οπότε σχηματίζεται μαύρος θειούχος άργυρος. Στην αρχαία Ελλάδα η εξόρυξη του Ag και η εκμετάλλευση των ορυχείων του Λαυρίου έγινε την εποχή του Περικλή ...



ΧΑΛΚΟΣ (Cu)



Ως εποχή του χαλκού εννοείται η περίοδος ανάπτυξης ενός πολιτισμού κατά την οποία έχουν αναπτυχθεί μεταλλουργικές τεχνικές εξόρυξης του χαλκού από φυσικά κοιτάσματα και ανάμειξής του με άλλα μέταλλα για τη δημιουργία ορείχαλκου . Στην Ελλάδα η εποχή του χαλκού συμπίπτει με την ακμή του Μυκηναϊκού Πολιτισμού.

Σύμφωνα με τους αρχαιολόγους ο χαλκός είναι το πρώτο απ' τα μέταλλα που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος για την κατασκευή σκευών, εργαλείων και όπλων. Εκτιμάται ότι ο χαλκός έγινε γνωστός περίπου το 9000 π.Χ. πιθανώς επειδή απαντά ως αυτοφυής και δεν απαιτεί μεταλλουργική διαδικασία για την Παρασκευή του σε καθαρή μορφή . Είναι μέταλλο με χαρακτηριστικό χρώμα (ερυθρό του χαλκού) και χαρακτηριστική μεταλλική λάμψη. Είναι επίσης μαλακός, ιδιαίτερα ελατός και όλκιμος, πολύ καλός αγωγός της θερμότητας και του ηλεκτρισμού. Λόγω της ιδιότητάς του όταν είναι τηγμένος να απορροφά ατμοσφαιρικό αέρα , τον οποίο αποβάλλει ψυχόμενος , δεν μπορούν να κατασκευαστούν χυτά αντικείμενα από χαλκό. Δεν εμφανίζει σχιστότητα, ενώ έχει ανώμαλη θραύση. Είναι τελείως αδιαφανής, ακόμη και σε λεπτά ελάσματα . Δεν εμφανίζει μαγνητικές ιδιότητες . Σε επαφή με άλλα μέταλλα εμφανίζει διαφορά δυναμικού. Ο χαλκός εμφανίζει δύο αριθμούς οξειδωσης (+1 & +2) . Δεν είναι ιδιαίτερα δραστικό μέταλλο γι αυτό και δεν αντιδρά εύκολα με άλλα στοιχεία και δεν χρησιμοποιείται ευρέως ως αναγωγικό . Στον ατμοσφαιρικό αέρα καλύπτεται αρχικά από οξείδιο του , το οποίο με το διοξείδιο του άνθρακα μετατρέπεται σε ανθρακικό χαλκό, προσδίδοντάς του πρασινωπό χρώμα. Αντιδρά με οξυγόνο, θείο και αλογόνο προς τις αντίστοιχες ενώσεις. Δεν προσβάλλεται από αραιά οξέα ούτε από πυκνό θειικό οξύ, προσβάλλεται από το νιτρικό οξύ.



ΣΙΔΗΡΟΣ (Fe)

Στην αρχαιότητα η εποχή του Σιδήρου αναφέρεται σ' εκείνη την περίοδο της ιστορίας κατά την οποία οι άνθρωποι έκαναν χρήση του σιδήρου για την κατασκευή εργαλείων

και όπλων. Η υιοθέτηση αυτού του υλικού συνέπεσε με άλλες αλλαγές των κοινωνιών του παρελθόντος όσον αφορά στις καλλιεργητικές μεθόδους, τις θρησκευτικές πίστεις και το καλλιτεχνικό ύφος. Στην Ελλάδα η εποχή του σιδήρου αρχίζει τον 11^ο και φτάνει μέχρι τον 8^ο π. Χ. αιώνα. Συνοδεύεται με την πτώση του Μυκηναϊκού Πολιτισμού της εποχής του χαλκού.

Ο καθαρός σίδηρος είναι σημαντικός ως μέταλλο αφού δεν διαθέτει ούτε αντοχή ούτε σκληρότητα. Η μεγάλη καθαρότητα τον καθιστά τόσο μαλακό ώστε να μπορεί να κοπεί μ' έναν σουγιά . Αντίθετα τα κράματα και οι ενώσεις του παρουσιάζουν μεγάλο ενδιαφέρον. Όσο καθαρότερος είναι ο σίδηρος, τόσο η οξείδωσή του επιβραδύνεται . Είναι πανίσχυρος ως προς τη μηχανική καταπόνηση αλλά και ευπρόσβλητος στις χημικές κατεργασίες . Ο σίδηρος διαβρώνεται επίσης από το αλάτι. Τα σιδερένια αντικείμενα που βρίσκονται κοντά στη θάλασσα σκουριάζουν εύκολα από το νερό. Ένα ακόμα στοιχείο που διαβρώνει το σίδηρο είναι ο αέρας . Ο σίδηρος δύσκολα κατεργάζεται λόγω του υψηλού σημείου τήξης του (1.535 C^ο) . ο σίδηρος όταν βάφεται μετατρέπεται από μαλακό σίδηρο σε σκληρό ατσάλι .



ΚΑΣΣΙΤΕΡΟΣ (Sn)

Οι Ρωμαίοι ονόμαζαν τον κασσίτερο plumbum candidum (μόλυβδο αστραφτερό) και stannum, απ' όπου προήλθε και το χημικό του σύμβολο Sn. Ο κασσίτερος έχει χαμηλό σημείο τήξης 232 C^ο) . είναι μαλακός και πολύ λαμπερός. Οι ιδιότητες αυτές διευκολύνουν σημαντικά τη χρήση του για την κατασκευή διακοσμητικών αντικειμένων. Σε θερμοκρασία κάτω από τους 13 C^ο , ο κασσίτερος μετατρέπεται με βραδείς ρυθμούς σε μια άλλη μορφή του, χάνοντας τη στιλπνότητα και την κρυσταλλικότητά του, καθώς αποσαθρώνεται προς μια θαμπή γκρίζα σκόνη. Σε ακόμη χαμηλότερες θερμοκρασίες η καταστροφική αυτή διαδικασία επιταχύνεται. Το πιο διαδεδομένο κράμα του κασσίτερου είναι ο μπρούτζος, που οφείλει την ονομασία του

στο Μπρίντιζι της Ιταλίας όπου υπήρχαν πολλά χαλκούργια. Έγινε γνωστός από παλιά όταν γύρω στο 2000 π.Χ. οι αρχαίοι μεταλλουργοί ανακάλυψαν ότι ο χαλκός και ο κασσίτερος όταν αναμειγνύονται σε κατάσταση τήξης, μετατρέπονται σε ένα κράμα με πολύ βελτιωμένες ιδιότητες σε σύγκριση με εκείνες των συστατικών . Ο κασσίτερος μένει πρακτικά αναλλοίωτος μια και λόγω του υψηλού σημείου ζέσης του δεν εξατμίζεται .



ΜΟΛΥΒΔΟΣ (Pb)

Το χημικό στοιχείο Μόλυβδος είναι ένα μέταλλο με ατομικό αριθμό 82 και ατομικό βάρος 207, 2 . Έχει θερμοκρασία τήξης $327,5\text{ C}^{\circ}$ και θερμοκρασία βρασμού 1740 C° . Ο Μόλυβδος είναι χημικό μεταλλικό στοιχείο με σύμβολο Pb. Είναι ένα από τα παλαιότερα μέταλλα που χρησιμοποιήθηκαν από την ανθρωπότητα. Η συστηματική και εντατική εκμετάλλευση των αργυρομολυβδούχων μεταλλευμάτων ξεκινά κατά τη διάρκεια της Αθηναϊκής Δημοκρατίας το 508 π.Χ.

Με τον άργυρο του Λαυρίου και τη φορολογία ο Περικλής κατασκεύασε τα περίφημα μνημεία του Χρυσού Αιώνα των Αθηνών.

Ο μόλυβδος ήταν γνωστός στους αρχαίους Αιγύπτιους και Βαβυλώνιους. Οι Ρωμαίοι τον χρησιμοποιούσαν για σωλήνες και συγκολλήσεις υλικών. Ο μόλυβδος ήταν ένα από τα πρώτα μεταλλεύματα που εξορύχτηκαν στην Βόρεια Αμερική. Με ειδική επεξεργασία τον χρησιμοποιούσαν για την κατασκευή σφαιριδίων. Ο μόλυβδος εξάγεται από το



γαληνίτη. Χρησιμοποιείται για μονώσεις, σε μπαταρίες αυτοκινήτων, στον ηλεκτρικό και ηλεκτρονικό εξοπλισμό και σε διάφορα κράματα. Θεωρείται αξιόλογο προστατευτικό απέναντι στην ραδιενέργεια. Λόγω της ανθεκτικότητάς του στη διάβρωση, χρησιμοποιείται εκτενώς στην οικοδόμηση κτιρίων. Ο μόλυβδος συναντάται στο φυσικό περιβάλλον. Ο γαληνίτης (ένωση μολύβδου και θείου) είναι η κύρια πηγή εξόρυξης του μετάλλου .



ΥΔΡΑΡΓΥΡΟΣ (Hg)

Ο υδράργυρος είναι ένα μέταλλο με ατομικό αριθμό 80 και ατομικό βάρος 200,59. Έχει θερμοκρασία τήξης 39 C και βρασμού 357,58. Είναι το μοναδικό μέταλλο που απαντάται σε υγρή μορφή. Μία απ' τις πιο γνωστές χρήσεις του είναι στα θερμομέτρα λόγω της ιδιότητάς του να διαστέλλεται εύκολα. Ο υδράργυρος ανήκει στα στοιχεία μετάπτωσης στον περιοδικό πίνακα. Είναι ένα ισχυρό δηλητήριο. Επίσης χρησιμοποιείται σε ορισμένα όργανα όπως το βαρόμετρο και στους λαμπτήρες φθορίου.

Είναι ένα βαρύ κ αργυρόλευκο μέταλλο. Σε σύγκριση με άλλα μέταλλα είναι σχετικά καλός αγωγός της θερμότητας αλλά και του ηλεκτρισμού. Παρά το ότι βράζει στους 356 C, εμφανίζει αξιόλογη πτητικότητα. Έτσι , μόλις έλθει σε επαφή με τον αέρα εξατμίζεται. Για τον λόγο αυτό , στα εργαστήρια που χρησιμοποιείται συστηματικά πρέπει να λαμβάνονται τα κατάλληλα μέτρα έτσι ώστε να αποφεύγεται η συγκέντρωσή του σε υψηλά επίπεδα.





ΟΡΥΚΤΟ

Ορυκτό ονομάζεται κάθε χημικό στοιχείο ή ανόργανη ένωση φυσικής προέλευσης, που βρίσκεται στο έδαφος ή στο υπέδαφος ή, υπό μορφή διαλύματος στο νερό, αποτελώντας συστατικό των πετρωμάτων, από τα οποία αποτελείται ο στερεός φλοιός της Γης.



Χρήσεις

1. Ορισμένα ορυκτά, όπως για παράδειγμα το διαμάντι, το θείο και ο χρυσός είναι καθαρτά χημικά στοιχεία. Τα περισσότερα, όμως, αποτελούνται από κάποια ανόργανη ένωση. Ο Βωξίτης, για παράδειγμα, είναι πέτρωμα που αποτελείται από τα ορυκτά βαιμίτη, γιβσίτη και διάσπορο, των οποίων το κύριο (αλλά όχι το μοναδικό) συστατικό είναι το οξείδιο αργιλίου (Al_2O_3), ενώ ο γαληνίτης είναι θειούχος μόλυβδος (PbS). Σπάνια ένα ορυκτό βρίσκεται αυτούσιο στην Φύση. Τα περισσότερα ορυκτά περιέχουν και προσμίξεις άλλων ορυκτών.

2. Οι χρήσεις των ορυκτών είναι γνωστή από την αρχή της Ιστορίας του ανθρώπου.

3. Το ορυκτό που αξιοποιείται ως πρώτη ύλη για την εξαγωγή κάποιου στοιχείου ονομάζεται μέταλλευμα.

ΓΗΙΝΟΣ ΦΛΟΙΟΣ



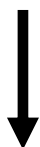
Πέτρωμα

Στερεό υλικό που απαντάται στη φύση και αποτελείται από ένα ή περισσότερα ορυκτά



Ορυκτό

Ανόργανη στερεά ουσία που απαντάται στη φύση με καθορισμένη κρυσταλλική δομή



Μετάλλευμα

Πέτρωμα ή ορυκτό από το οποίο μπορεί να παραχθεί οικονομικά ένα μέταλλο



ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗ

Είναι η ανθρώπινη δραστηριότητα της εξόρυξης ορυκτών και πετρωμάτων για χρήση στην οικοδομή, την εξαγωγή μετάλλων και την παραγωγή αντικειμένων γενικότερα.

Ως επιστήμη, η μεταλλευτική αποτελεί τμήμα των επιστημών μηχανικού και συμπεριλαμβάνει τη μεταλλευτική έρευνα, την όρυξη και λειτουργία μεταλλείων ορυχείων και λατομείων, και τέλος των μεταλλευτικών/λατομικών χώρων, μετά την εξάντληση των εκμεταλλεύσιμων αποθεμάτων. Ως επιστήμη, η μεταλλευτική συχνά αποκαλείται και μεταλλειολογία, μιας και οι μηχανικοί μεταλλείων αποκαλούνται συχνά «μεταλλειολόγοι μηχανικοί».

Ο όρος μεταλλεία χρησιμοποιείται ειδικότερα με την σημασία της αναζήτησης μετάλλων, την ανόρυξη της γης και κατ'επέκταση την εκμετάλλευση μεταλλείου και ορυχείου. Η μεταλλευτική είναι από τις αρχαιότερες ανθρώπινες οικονομικές δραστηριότητες και έχει παίξει πρωτεύοντα ρόλο στην μετάβαση του ανθρώπου από την πρωτόγονη κατάσταση στον σύγχρονο πολιτισμό.

ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΑ

Πρόκειται για το σύνολο των μεθόδων και διεργασιών, που ακολουθούνται για την εξαγωγή, παρασκευή, διαμόρφωση και κατεργασία των μετάλλων και των κραμάτων τους. Με τη μεταλλουργία ο άνθρωπος μαθαίνει να αλλάζει την κατάσταση ορισμένων ουσιών και να τις μετατρέπει σε άλλες πιο χρήσιμες.

Η Μεταλλουργία είναι στενά συνυφασμένη με το ιστορικό και πολιτισμικό γίνεσθαι του ανθρώπου, ξεκίνησε δε ως εμπειρική τεχνική για να εξελιχθεί δια μέσου των αιώνων σε συγκροτημένη γνώση και επιστήμη. Τα μέταλλα και τα κράματά τους, με τις ιδιαίτερες μηχανικές ιδιότητές τους, κυριάρχησαν στην κατασκευή εργαλείων και όπλων καθώς και στην κατασκευή αντικειμένων οικιακής χρήσης, κοσμημάτων και νομισμάτων. Η σταδιακή εξέλιξη των μεθόδων χύτευσης και επεξεργασίας επέτρεψαν στον άνθρωπο να χρησιμοποιήσει τα μέταλλα σε όλο το φάσμα της καθημερινής του ζωής.

Τα πρώτα μέταλλα που ανακαλύφθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν από τον άνθρωπο είναι τα αυτοφυή. Δηλαδή εκείνα που απαντούσαν σε ελεύθερη κατάσταση στην επιφάνεια της γης. Αυτά τα μέταλλα είναι ο χρυσός, ο άργυρος και ο χαλκός και το φυσικό κράμα χρυσού-αργύρου (γνωστό ως ήλεκτρο). Ο άργυρος θεωρήθηκε αρχικά σπανιότερος του χρυσού δεδομένου ότι απαντά σπάνια στη φύση ελεύθερος και χρησιμοποιήθηκε μεταγενέστερα από τον χρυσό και χαλκό.

Αν και η χρήση των αυτοφυών μετάλλων σηματοδότησε μια άλλη εποχή για τον άνθρωπο, η πραγματική εποχή των μετάλλων αρχίζει από την στιγμή που ο άνθρωπος κατόρθωσε να απομονώσει τα μέταλλα από τα μεταλλεύματά τους, να τα λιώσει και να τους δώσει μορφή και σχήμα. Το πότε ακριβώς έγινε αυτό δεν μπορεί να οριστεί με χρονολογική ακρίβεια. Ο άνθρωπος της λίθινης εποχής βρισκόταν σε ένα ανεπτυγμένο στάδιο κεραμικής τεχνογνωσίας. Ήξερε δηλαδή καλά το «παιχνίδι» με τη φωτιά και τα κλειστά καμίνια για τα κεραμικά. Η χρήση της φωτιάς και του φούρνου (ενέργεια και αναγωγική ατμόσφαιρα) σε μια «τυχαία πέτρα» έδωσε και πάλι τυχαία στον άνθρωπο το μέταλλο, γεγονός που άλλαξε τη ζωή του.

Η μεταλλουργία αναβαθμίστηκε σημαντικά από τους Έλληνες και τους Ρωμαίους. Τα μεταλλικά είναι τα καλύτερα διατηρημένα αντικείμενα, που έχουν φτάσει έως και εμάς, από αρχαίους πολιτισμούς. Είναι πλέον συνηθισμένο να χρονολογούνται οι περίοδοι της ανθρώπινης εξέλιξης μετά την εποχή του λίθου, με τα ονόματα του χαλκού, του μπρούτζου ή του σιδήρου.

Αρχαιολογικές ανακαλύψεις έχουν δείξει ότι ο άνθρωπος χρησιμοποίησε πρώτα τα μέταλλα εκείνα που βρίσκονται στη φύση σε καθαρή μορφή.

Μετά την χρήση των αυτοφυών μετάλλων, το επόμενο μεγάλο βήμα ήταν η ανακάλυψη μεθόδων για την ανάκτησή τους από τα ορυκτά. Η τήξη του χαλκού, με τη θερμότητα που ελκύουν τα ξύλα που καίγονται, ανακαλύφθηκε πιθανόν πολύ νωρίς.

Το μέταλλο εξάγεται στους χώρους των μεταλλείων με τη βοήθεια φούρνων, που χρησιμοποιούν ως καύσιμο το κάρβουνο, η παραγωγή του οποίου γίνεται επί τόπου. Όλα αυτά τα διεθύνει και τα πραγματοποιεί ο μεταλλωρύχος, ο σιδηρουργός. Η δουλειά του είναι μοναδική και η δύναμή του είναι οι γνώσεις του για τα μέταλλα.

Συνοπτικά η παραγωγή μετάλλου από ένα μέταλλευμα δίνεται από το παρακάτω διάγραμμα:

Μετάλλευμα →	Μηχανική Προπαρασκευή και Εμπλουτισμός	→	Συμπύκνωμα
Συμπύκνωμα →	Πυρομεταλλουργία Υδρομεταλλουργία Ηλεκτρομεταλλουργία	→	Ακατέργαστο μέταλλο (πρωτόχυτο μέταλλο)
Ακατέργαστο μέταλλο →	Κραμάτωση Χύτευση Μεταλλοτεχνία	→	Κατεργασμένο μέταλλο (τελικό προϊόν)

ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΣ

Στη φάση αυτή της μεταλλουργίας επιδιώκεται ο διαχωρισμός του χρήσιμου υλικού - μεταλλεύματος - από τις γαιώδεις προσμίξεις.

Το καθαρό μέταλλευμα που παράγεται λέγεται **σμπύκνωμα** και διατίθεται για την εξαγωγή μετάλλου. Το στείο χωρίς οικονομική αξία λέγεται **απόρριμμα** και συνήθως εναποτίθεται σε χώρους κοντά στο εργοστάσιο εμπλουτισμού.

Μετά από τον Εμπλουτισμό ακολουθούν τρεις άλλες διεργασίες : η **Πυρομεταλλουργία**, η **Υδρομεταλλουργία** και η **Ηλεκτρομεταλλουργία**

Πυρομεταλλουργία

Οι πυρομεταλλουργικές διεργασίες αρχίζουν με την ξήρανση και την πύρωση (πυροσυσσωμάτωση) του μεταλλεύματος ή του συμπυκνώματος, και συνεχίζονται με την *φρύξη* (μετατρέπει τις κύριες στερεές φάσεις του μεταλλεύματος σε κάποιες άλλες φάσεις που είναι πιο ευκατέργαστες) , την *αναγωγή* (μερική ή ολική αναγωγή μεταλλικών ενώσεων), τον καθαρισμό του τήγματος και την χύτευση του ακατέργαστου (πρωτόχυτου) μετάλλου. Εξαιτίας των υψηλών θερμοκρασιών, οι πυρομεταλλουργικές αντιδράσεις είναι συνήθως πολύ γρήγορες και το αποτέλεσμα

Υδρομεταλλουργία

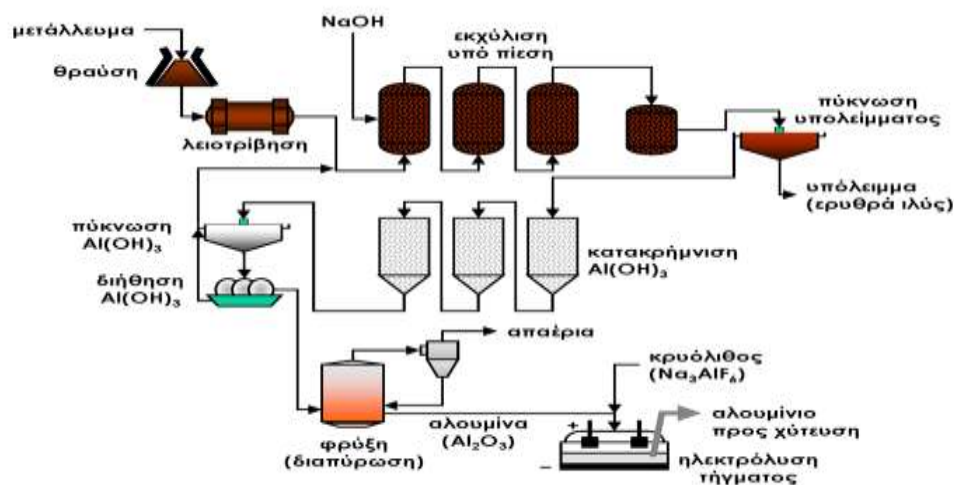
Τα μέταλλα, όπως και όλα τα στοιχεία, είναι διαλυτά ως ιόντα σε υδατικά διαλύματα. Η υδρομεταλλουργία, λοιπόν, είναι ο κλάδος της εξαγωγικής μεταλλουργίας που χρησιμοποιεί υδατικά διαλύματα προκειμένου να επιτύχει την εξαγωγή μετάλλων από ορυκτές πρώτες ύλες και την ανάκτηση αυτών των μετάλλων

Οι υδρομεταλλουργικές κατεργασίες περιλαμβάνουν

- την *εκχύλιση* (διαλυτοποίηση των ορυκτών με οικονομικό ενδιαφέρον),
- τον *καθαρισμό του διαλύματος* που προκύπτει από την εκχύλιση, και
- την *ανάκτηση* του μετάλλου στην μορφή καθαρού στοιχείου ή καθαρού άλατος

Ηλεκτρομεταλλουργία

Η εφαρμογή των θερμικών και ηλεκτρολυτικών ιδιοτήτων του ηλεκτρικού ρεύματος στην παρασκευή καθαρών μετάλλων και στον καθαρισμό μεταλλουργικών προϊόντων



Η ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΗΣ ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Η εκμετάλλευση του ορυκτού πλούτου στον Ελλαδικό χώρο άρχισε ουσιαστικά από τα προϊστορικά χρόνια και συνέβαλε αποφασιστικά στην οικοδόμηση και εξέλιξη όλων των πολιτισμών. Είχε εντοπισθεί η ύπαρξη χρυσού κυρίως στη Β. Ελλάδα (Μακεδονία, Θράκη, Θάσσο), τόσο σε αυτοφυή μορφή όσο και σε προσχωματικές αποθέσεις η απόληξη του οποίου συνδέθηκε με τα πρώτα μεταλλεία στον Ελλαδικό χώρο. Είναι σίγουρο ότι εισαγόταν μεταλλεύματα και από άλλες χώρες κυρίως την Μ. Ασία και την Αίγυπτο λόγω της εκρηκτικής άνθησης του ελληνικού εμπορίου κατά την εποχή εκείνη. Όμως ο χρυσός και άλλα μεταλλεύματα όπως άργυρος, χαλκός, μόλυβδος, σίδηρος είχαν επίσης εντοπισθεί κατά την ίδια περίοδο τόσο στον κυρίως Ελλαδικό χώρο όσο και στα νησιά. Την ίδια εποχή η Κύπρος εξακολουθούσε να παράγει χαλκό και άργυρο σε σημαντικές ποσότητες.

Δεν υπάρχει αμφιβολία ότι το μέγιστο της παραγωγής σημειώθηκε κατά την κλασική περίοδο που δεσπόζουν οι ηγετικές φυσιογνομίες του Θεμιστοκλή και Περικλή. Είναι άλλωστε καλά γνωστό ότι η αύξηση της παραγωγής αργύρου στο Λαύριο βοήθησε το Θεμιστοκλή να ναυπηγήσει τις απαραίτητες τριήρεις για να νικήσει στην ναυμαχία της Σαλαμίνας (480 π.χ.) και να δημιουργήσει ουσιαστικά την Αθηναϊκή αυτοκρατορία με τον χρυσό αιώνα του Περικλή που ακολούθησε.

ΛΑΥΡΕΩΤΙΚΗ

Μεταξύ των μεταλλευτικών και μεταλλουργικών κέντρων της ελληνικής αρχαιότητας το Λαύριο βρίσκεται στην κορυφή όχι μόνον λόγω της σημασίας και της διάρκειας της δραστηριότητάς του όσο και εξαιτίας των εκπληκτικών μεταλλευτικών και μεταλλουργικών μεθόδων που εφαρμόστηκαν κατά την μακραίωνη λειτουργία του αλλά και εξαιτίας της αξίας και σπουδαιότητας των θεαματικών πράγματι ευρημάτων της περιοχής.

Άρθρο σε εφημερίδα Φως στην αρχαία μεταλλουργία

Του ΓΙΩΡΓΟΥ ΚΙΟΥΣΗ

ΛΑΥΡΕΩΤΙΚΗ: Η ανακάλυψη άρτια σωζόμενου ελικοειδούς πλυντηρίου διευρύνει τις γνώσεις μας για το χθες. Ενα άρτια σωζόμενο αρχαίο ελικοειδές πλυντήριο, ειδική εγκατάσταση όπου εμπλουτιζόταν το φτωχό σε μόλυβδο μετάλλευμα, ανακαλύφθηκε πριν από λίγους μήνες στην περιοχή της Λαυρεωτικής.

Πρόκειται για ένα σημαντικό εύρημα, που θα βοηθήσει το μελετητή της αρχαίας τεχνολογίας και τεχνογνωσίας στο πλαίσιο λειτουργίας των μεταλλείων.

Στην αρχαιότητα, στο Λαύριο για την παραγωγή του αργύρου αναπτύχθηκε μια αξιόλογη μεταλλευτική και μεταλλουργική τεχνική. Οι αρχαίοι Έλληνες εκμεταλλεύτηκαν εντατικά τα μεταλλεύματα αργυρούχου μολύβδου της Λαυρεωτικής για την παραγωγή αργύρου. Αυτό έπαιξε σημαντικό ρόλο στην ιστορία της αρχαίας Αθήνας.

Η πρώτη εργασία που έκαναν οι αρχαίοι, μετά την εξόρυξη του μεταλλεύματος, ήταν ο εμπλουτισμός του. Το φτωχό σε μόλυβδο μετάλλευμα το χώριζαν σε δύο μέρη: Στο πλούσιο και στο φτωχό, και ο εμπλουτισμός του γινόταν σε ειδικές εγκαταστάσεις, στα πλυντήρια.

«Τα πλυντήρια διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, στα επίπεδα και στα ελικοειδή. Ο διαχωρισμός του πλούσιου από το φτωχό μετάλλευμα και στα δύο είδη γινόταν με νερό. Το επίπεδο πλυντήριο έχει δύο τμήματα: ένα τμήμα εμπλουτισμού με τη δεξαμενή νερού, που έφερε ακροφύσια, και ένα τμήμα καθαρισμού και ανακυκλοφορίας του νερού. Ο εμπλουτισμός στα επίπεδα πλυντήρια γινόταν με νερό πάνω σε ξύλινα ρείθρα, τοποθετημένα εμπρός από τη δεξαμενή νερού. Στην αρχή του ρείθρου γινόταν η τροφοδοσία με τριμμένο μετάλλευμα. Το νερό που έβγαινε με ορμή από τα ακροφύσια έπεφτε στο ξύλινο ρείθρο και κατά την πορεία του παρέσυρε τους ελαφρείς κόκκους του μεταλλεύματος, ενώ οι βαρείς κόκκοι παρέμεναν στο ρείθρο».

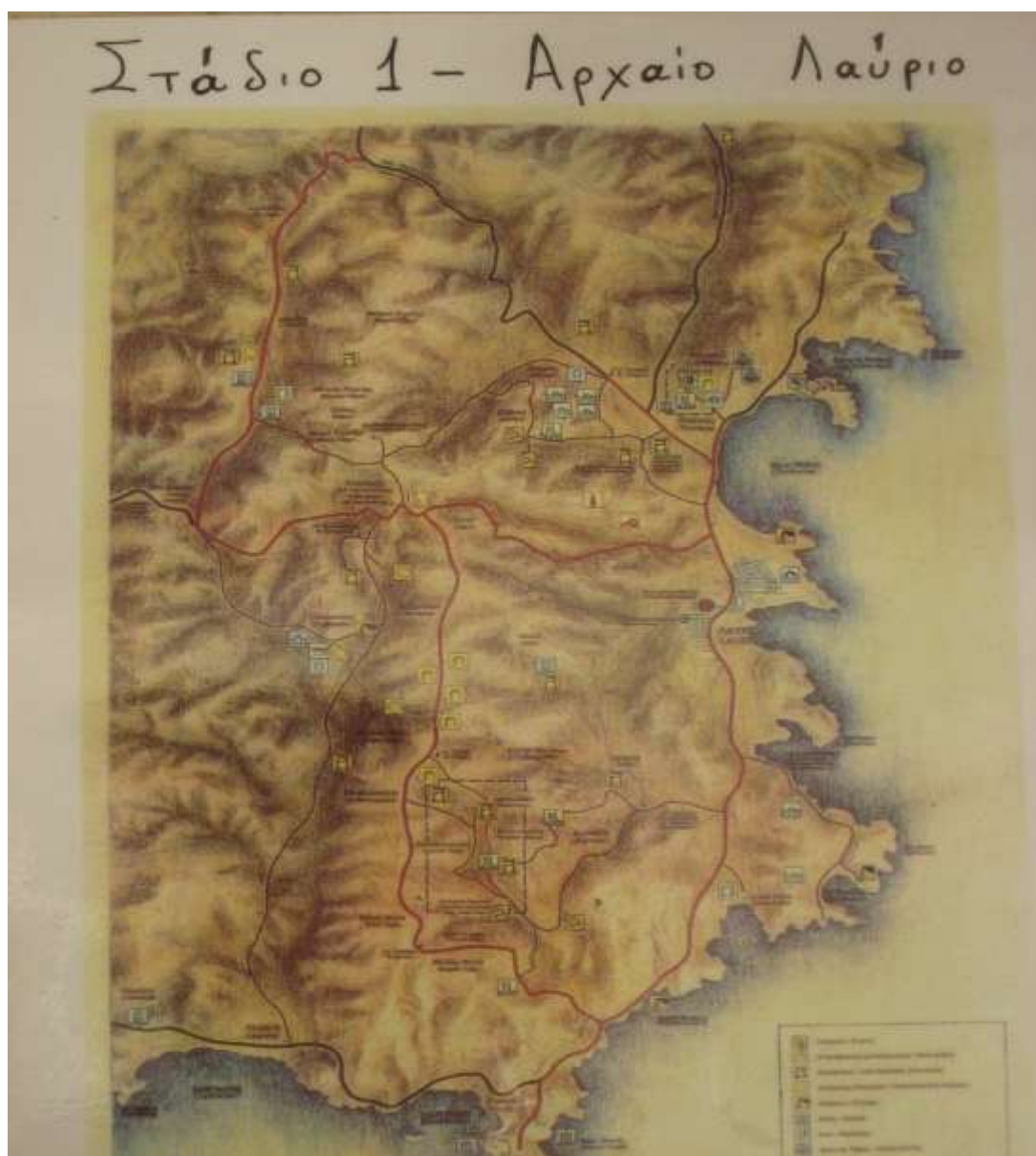


Εξόρυξη και Επεξεργασία των ορυκτών μετάλλων

Στις 30 Νοεμβρίου του 2011 επισκεφτήκαμε με την ομάδα της ερευνητικής εργασίας το Αρχαιολογικό Μουσείο Λαυρίου. Εκεί μας έγινε ξενάγηση με θέμα: «Διαδικασία Εξόρυξης και Επεξεργασίας των μετάλλων αργύρου και μολύβδου από αργυρομολυβδούχα μεταλλεύματα στο Λαύριο». Τη διαδικασία την ανακαλύψαμε μέσω ενός δημιουργικού παιχνιδιού, αφού χωριστήκαμε σε ομάδες όπου τελικά συνθέσαμε τη γραμμή παραγωγής των δύο μετάλλων στα αρχαία εργαστήρια της περιοχής.

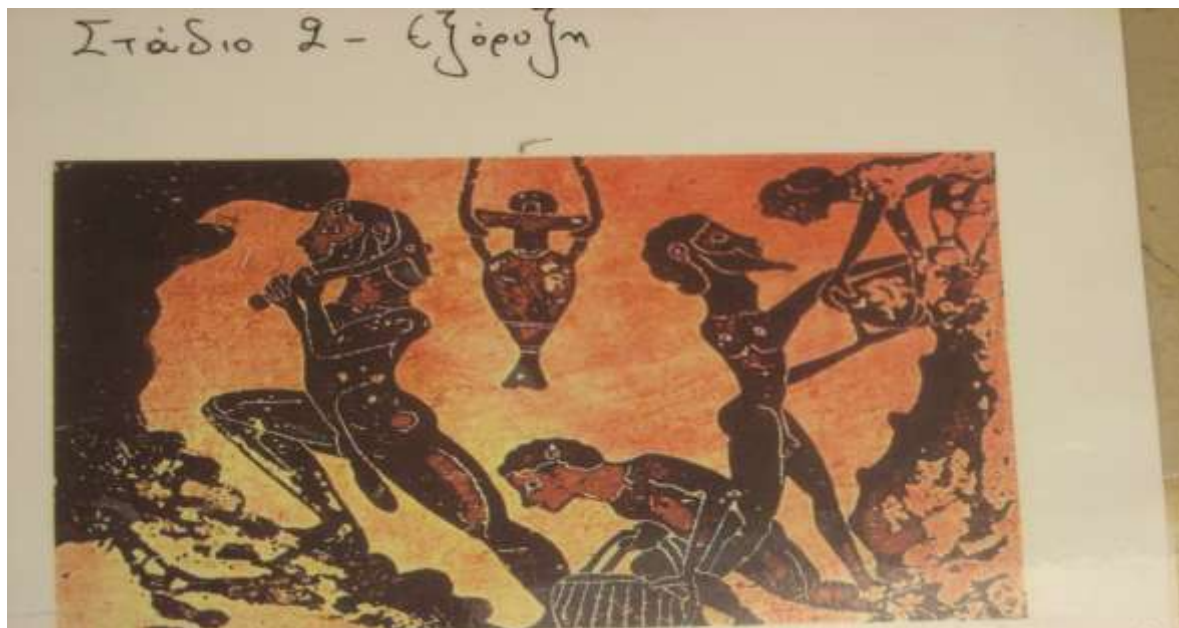
Το 1ο στάδιο της διαδικασίας είναι η εύρεση των μετάλλων.

Στο χώρο των μεταλλείων τοποθετούνταν λίθινες πλάκες που καθόριζαν τα σύνορα των χώρων επεξεργασίας των μεταλλείων, τα οποία κατείχαν ονόματα θεών. Τα κύρια μεταλλεύματα της Λαυρεωτικής ήταν ο άργυρος και ο μολύβδος.



Το 2ο στάδιο είναι η εξόρυξη.

Αρχικά έπαιρναν αργυρούχο μόλυβδο από την επιφάνεια της γης όμως έπειτα αναγκάστηκαν να εισχωρήσουν βαθύτερα στη γη, με άνοιγμα στοών, για την λήψη μεγαλύτερης ποσότητας μεταλλεύματος. Κύρια εργαλεία για την εξόρυξη ήταν το σφυρί και το βελόνι.



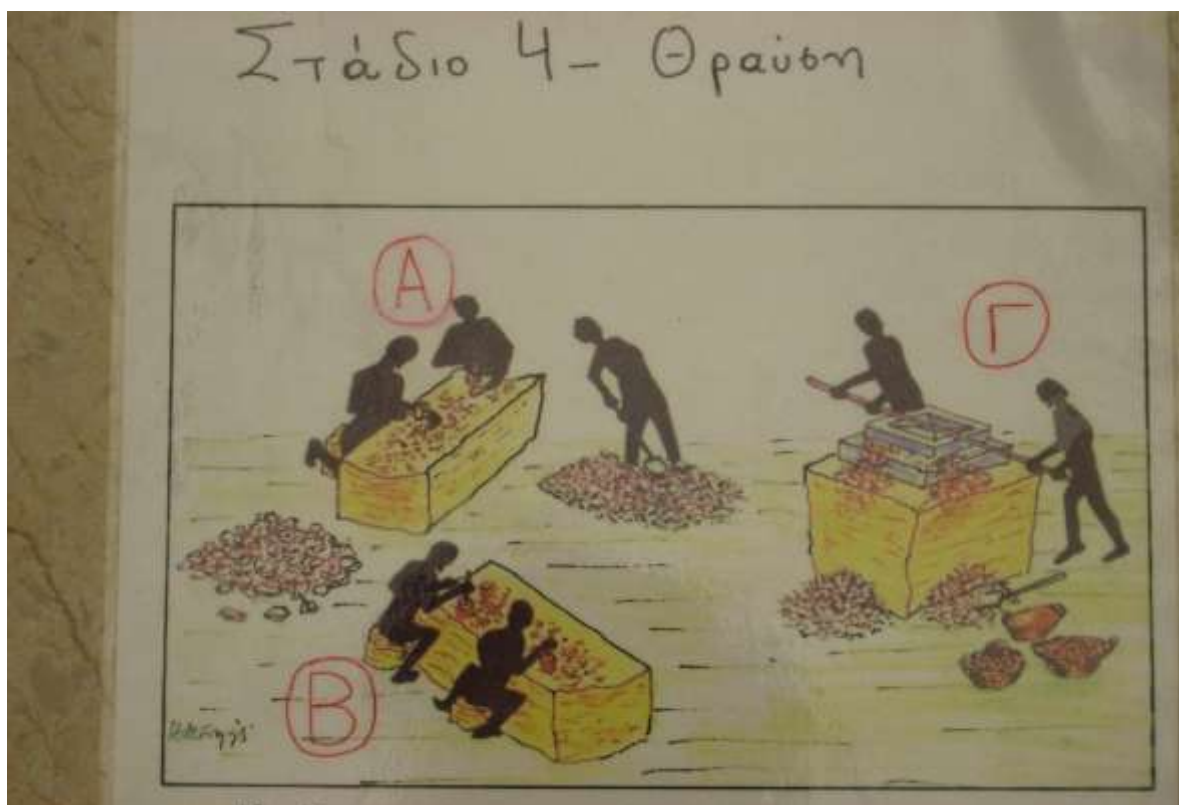
Μετά στο 3ο στάδιο γίνεται η χειροδιαλογή.

Κατά την οποία οι εργάτες καταλάβαιναν την καθαριότητα και την ποσότητα του μολύβδου και του αργύρου στα διάφορα μεταλλεύματα ζυγίζοντάς τα με τα χέρια τους.



Το 4ο στάδιο αφορά τη θραύση.

Αρχικά έσπαν τα μεταλλεύματα σε μικρότερα κομμάτια πάνω στις τράπεζες. Έπειτα τα θρυμματίζουν μέσα στο γουδί και τέλος τα μετέτρεπαν σε μορφή πούδρας στο μίλο.



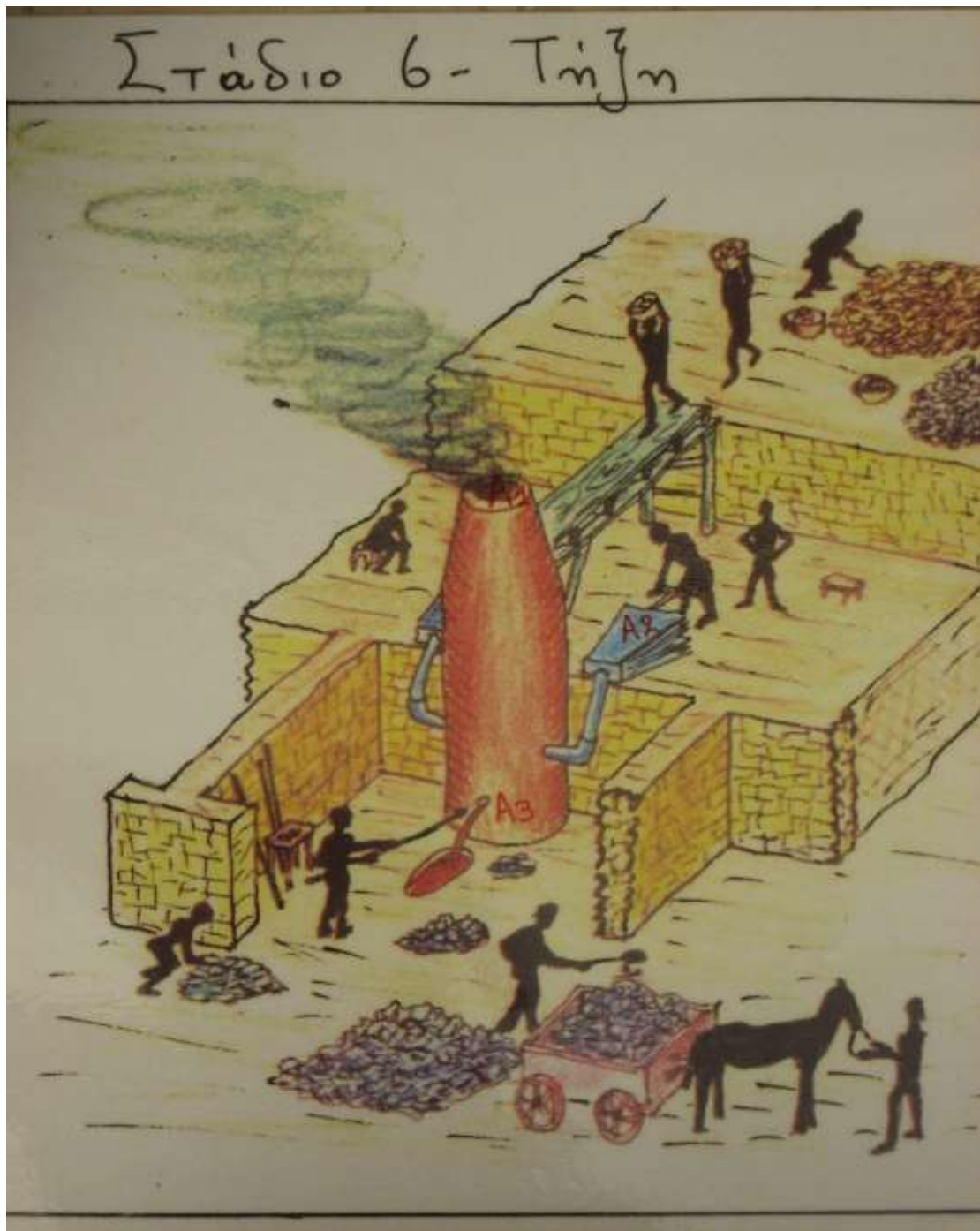
Το 5ο στάδιο ήταν ο καθαρισμός.

Με άλλα λόγια ο διαχωρισμός των μεταλλευμάτων σε πλούσια και φτωχά. Αυτό γινόταν σε ειδικές δεξαμενές με την βοήθεια του νερού.



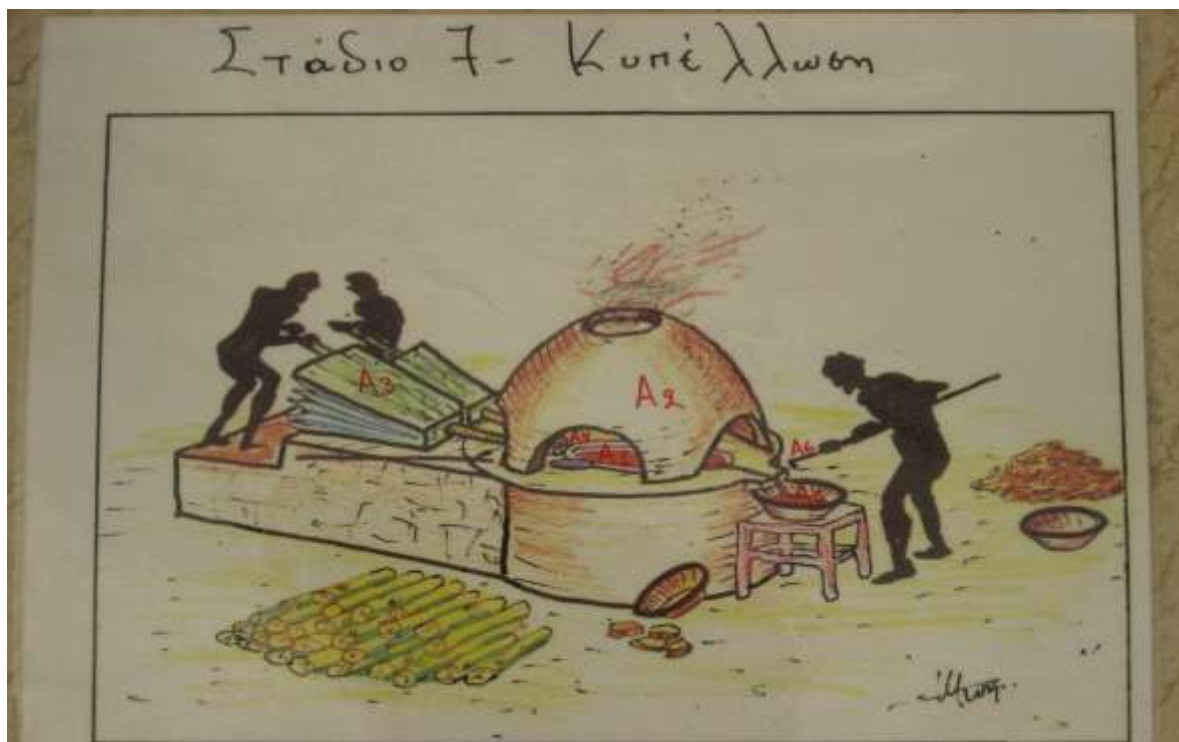
Το 6ο στάδιο ήταν η τήξη.

Δηλαδή η μετατροπή ενός στερεού σώματος σε υγρό, η οποία γινόταν μέσω των καμίνων. Πρώτα έριχναν στο εσωτερικό ξύλα για να ζεσταθεί η κάμινος και μετά το μετάλλευμα. Έπειτα πέρναγαν συνεχώς αέρα με φουσερά για να διατηρηθεί η θερμοκρασία στους 200 βαθμούς Κελσίου. Και τέλος, από μια οπή στο κάτω μέρος της καμίνου έρρεε πρώτα ο αργυρούχος μόλυβδος ως πιο βαρύς και μετά τα υπόλοιπα μεταλλικά στοιχεία, σκωρίες. Κι έτσι όταν τα παρακάτω στέγωναν ο διαχωρισμός τους ήταν πολύ εύκολος.



Στο 7ο στάδιο γινόταν η κυπέλλωση.

Δηλαδή η επίδραση του οξυγόνου στο μόλυβδο, το οποίο γινόταν μέσα σε ένα κύπελλο. Μετά ο οξειδωμένος μόλυβδος (λιθάργυρος) έρρεε σε ένα άλλο δοχείο και έτσι στο κύπελλο έμενε μόνο ο καθαρός άργυρος.

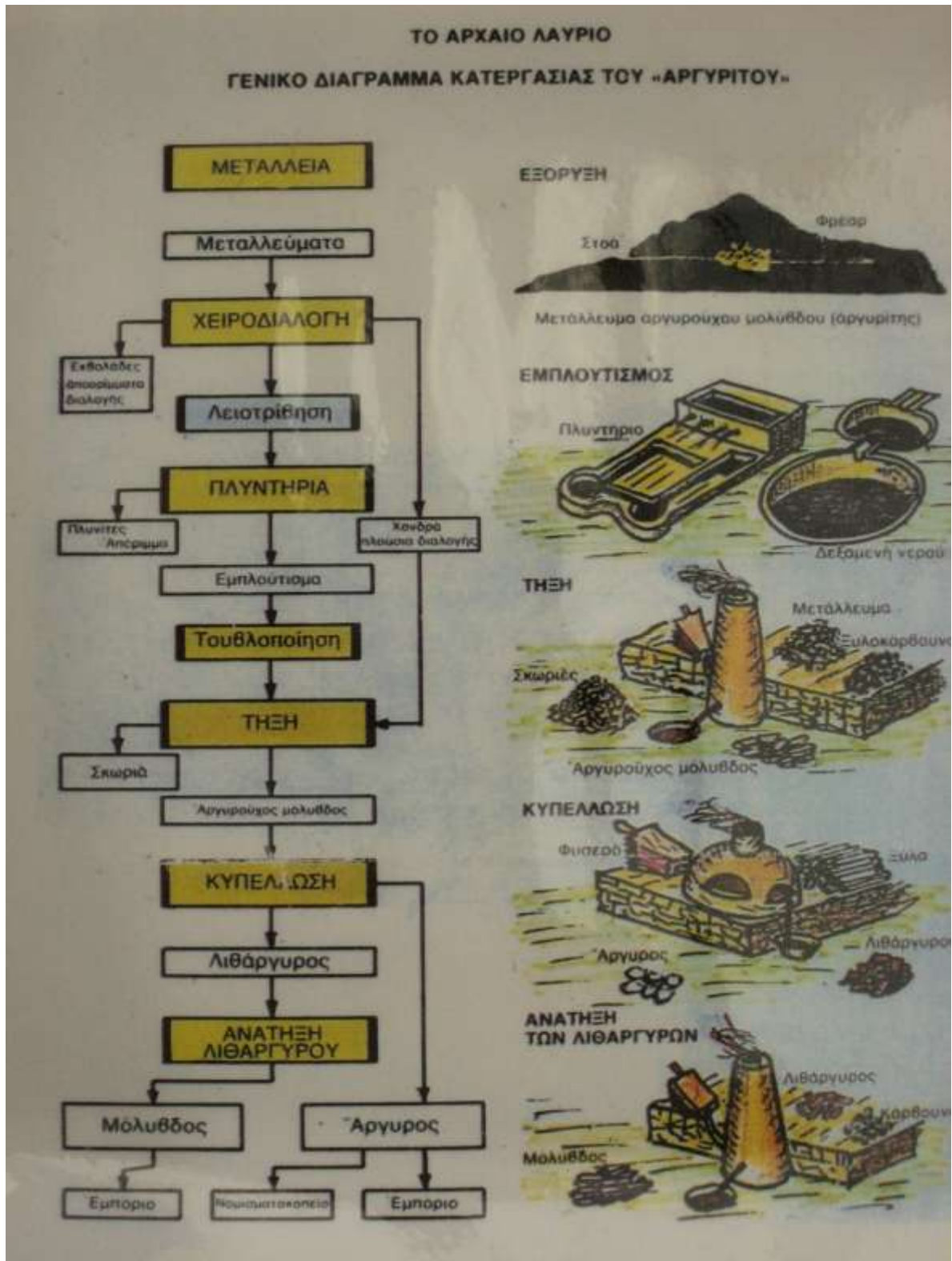


Τέλος, το 8ο και τελευταίο στάδιο ήταν η ανάτηξη.

Κατά την οποία ο οξειδωμένος μόλυβδος (λιθάργυρος) λιώνεται σε καμίνοους και με τη αφαίρεση του οξυγόνου μένει καθαρός μόλυβδος. Ο τελευταίος χυνόταν σε μακρόστενα καλούπια, που ονομάζονταν χελώνες και έπειτα έπαιρνε τον δρόμο του εμπορίου.



ΣΥΝΟΠΤΙΚΑ



ΜΕΤΑΛΛΟΤΕΧΝΙΑ

Η μεταλλοτεχνία στον ελλαδικό κόσμο έχει μεγάλη παράδοση που ξεκινά από την Χαλκολιθική περίοδο και φτάνει έως τις μέρες μας. Τα κύρια μέταλλα που χρησιμοποιούσαν στην αρχαιότητα ήταν ο χαλκός, ο σίδηρος, ο χρυσός και ο άργυρος. Τα συγκεκριμένα μέταλλα ήταν τα υλικά για την δημιουργία αγαλμάτων, κοσμημάτων και νομισμάτων.

α) Το κόσμημα στην αρχαιότητα

Η ιστορία του κοσμήματος ξεκινά πολλές χιλιετίες πριν, με την χρησιμοποίηση ορυκτών και οργανικών στοιχείων και εκτείνεται έως και σήμερα με αξιόλογη παραγωγή μοναδικών κοσμημάτων. Τα πρώτα αρχαιοελληνικά χρυσά κοσμήματα θεωρείται ότι κατασκευάστηκαν γύρω στο 1500π. Χ αν και υπάρχουν πολλές ενδείξεις για αρχαιότερα κοσμήματα που κατασκεύασε ο Μινωικός πολιτισμός. Η μεγαλύτερη παραγωγή κοσμημάτων παρατηρήθηκε στην Μακεδονία όπου υπήρχαν χρυσορυχεία με μεγάλη παραγωγή.

Το κόσμημα από τα αρχαία χρόνια έως και σήμερα είναι πολύ δημοφιλής στην Ελλάδα. Οι αρχαίοι Έλληνες θεωρούνται ως ο λαός που φορούσε περισσότερο κοσμήματα. Το κόσμημα στην αρχαία Ελλάδα φοριόταν κυρίως σε δημόσιες εμφανίσεις και σε κοινωνικά και θρησκευτικά δρώμενα από μεγάλο μέρος του πληθυσμού σε αντίθεση με τους άλλους λαούς που μόνο λίγες τάξεις είχαν το προνόμιο.

Ο Όμηρος στα έπη του ονόμαζε “ Πολύχρυσες Μυκήνες “ το βασίλειο του Αγαμέμνονα. Επί πολλούς αιώνες οι άνθρωποι πίστευαν ότι το επίθετο πολύχρυσες ήταν απλώς καλλωπιστικό. Μέχρι που ο Ερρίκος Σλήμαν με το πείσμα που τον διέκρινε ανακάλυψε σε λακκοειδείς τάφους στην βορειοανατολική Πελοπόννησο, αμύθητους θησαυρούς από χρυσά κοσμήματα και έδωσε στο επίθετο “Πολύχρυσες” το πραγματικό του περιεχόμενο.

Την εποχή του Μυκηναϊκού πολιτισμού 1600 – 1100π. Χ ακμάζει στις πόλεις- κράτη της Ηπειρωτικής Ελλάδας από τα ελληνόφωνα φύλα η μεταλλοτεχνία (χαλκός, ασήμι, κασσίτερος, χρυσός) και αναπτύσσεται ιδιαίτερα η τέχνη της Χρυσοχοΐας. Πολλές ανασκαφές τάφων αποκαλύπτουν σκεύη της καθημερινής ζωής από χαλκό και ασήμι , εγχειρίδια και ξίφη με εμπίεστη διακόσμηση, αλλά κυρίως πληθώρα χρυσών κοσμημάτων , όπως αυτά που βρέθηκαν στους βασιλικούς τάφους των ταφικών κύκλων Α και Β της Ακρόπολης των Μυκηνών. Τα περισσότερα από αυτά τα κοσμήματα είναι σφυρήλατα με εξώγλυφο διάκοσμο, δουλεμένα περίτεχνα σε χρυσό έλασμα, όπως οι χρυσές βασιλικές μάσκες της πρώιμης Μυκηναϊκής περιόδου, συχνά όμως συνδυάζουν και άλλες ύλες όπως το ασήμι, το χαλκό, το σμάλτο και τους ημιπολύτιμους λίθους. Μετά το τέλος του Μυκηναϊκού κόσμου, στα σκοτεινά λεγόμενα χρόνια (1100 – 900 π. Χ) , η αργυροχρυσοχοΐα δεν έχει να επιδείξει τον πλούτο και την φαντασία των προηγούμενων αιώνων. Από το 800π. Χ οι ελληνικοί ορίζοντες και πάλι πλάτυναν και νέες πηγές χρυσού από την Κριμαΐα και τη Λυδία της Μ. Ασίας εμπλούτισαν την πολύτιμη πρώτη ύλη την αρχαϊκή περίοδο 600 – 475π. Χ ενώ η μεταλλοτεχνία παρουσιάζει μεγάλη εξέλιξη και άνθηση, ο τομέας της χρυσοχοΐας στον Ελλαδικό χώρο έχει να επιδείξει ελάχιστα δείγματα. Αυτή η έλλειψη χρυσών κοσμημάτων μπορεί να εξηγηθεί ίσως με τους Περσικούς πολέμους και με το γεγονός ότι οι Πέρσες εκείνη την εποχή είχαν το έλεγχο της Μέσης Ανατολής, άρα και των διαθέσιμων ποσοτήτων χρυσού.

Οι νικηφόροι πόλεμοι μεταξύ 490 – 470π.Χ έφεραν πολύ χρυσάφι στην Ελλάδα και η χρυσοχοΐα γνώρισε καινούργια άνθηση. Στα κλασσικά χρόνια 475 – 330π.Χ η προτίμηση στρέφεται περισσότερο στην συρματερή τεχνική αντί της κοκκιώδης. Τα κλασσικά κοσμήματα έχουν έναν περισπούδαστο συρματερό και κοκκιωτό διάκοσμο με μορφή ανθρώπων, αλλά και ζώων και λουλουδιών, πάνω σε ελάσματα βραχιολιών.

Οι μεγάλες αλλαγές που σηματοδοτούν την ελληνοιστική περίοδο 330 – 27π.Χ και οφείλονται στις κατακτήσεις του Μ. Αλέξανδρου και στις επαφές με την Ανατολή και την Αίγυπτο, δεν είναι δυνατόν να αφήσουν ανεπηρέαστη και την κοσμηματοτεχνία. Τα ευρήματα των βασιλικών Μακεδονικών κοσμημάτων από τους τάφους της Βεργίνας, αποκάλυψαν το υψηλότερο επίπεδο γνώσης της τεχνικής των χρυσοκόων. Πράγματι μένει κανείς έκθαμβος μπροστά στην τελειότητα των εγχάρακτων, αλλά και των έκτυπων διακοσμήσεων πάνω στα χρυσά κοσμήματα και τα χρηστικά αντικείμενα της εποχής. Ιδιαίτερα έμφαση δίνουν και στα κράματα που απομιμούνται το χρυσό, όπως ο περίφημος κρατήρας του Δερβενίου, όπου το έντονο κίτρινο χρώμα προέρχεται από την μεγάλη περιεκτικότητα του κράματος του χαλκού σε κασσίτερο.



β) Δημιουργία αγαλμάτων

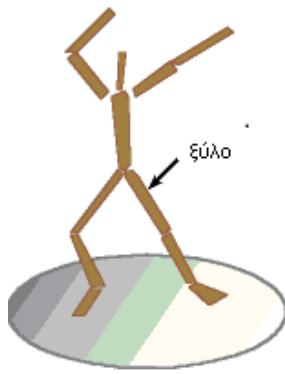
Οι λόγοι που παρακίνησαν τους ανθρώπους να κατασκευάζουν αγάλματα, ήταν κυρίως θρησκευτικοί. Ζωντάνευαν έτσι τους θεούς τους και πίστευαν πως μ' αυτό εξασφάλιζαν την προστασία τους. Οι αρχαίοι Έλληνες είχαν μία μακρά παράδοση στο να κάνουν αγάλματα από χαλκό, τα οποία κοσμούσαν ιερά και δημόσιους χώρους σε όλες τις γνωστές ελληνικές πόλεις. Ο χαλκός ήταν πιθανόν το πιο κοινό υλικό της αρχαίας γλυπτικής και οι περίφημοι αρχαίοι γλύπτες, όπως ο Λύσιππος και ο Πολύκλειτος δούλευαν σχεδόν αποκλειστικά επάνω σ' αυτό. Η αξία όμως του χαλκού ως μετάλλου είχε ως αποτέλεσμα πολλά χάλκινα γλυπτά να λιώνονται με στόχο την επαναχρησιμοποίηση του υλικού, με αποτέλεσμα ένας μεγάλος αριθμός από σχετικά έργα τέχνης να έχει χαθεί. Σήμερα έχουμε στη διάθεση μας ελάχιστα χάλκινα αγάλματα σε σχέση με το σύνολο των χάλκινων γλυπτών της αρχαιότητας, ενώ αντίθετα ένα σύνολο από χάλκινα αγαλματίδια ή αντικείμενα μικροτεχνίας σώζονται σε τάφους και ιερά σε μεγάλες ποσότητες.

Ο χαλκός από τον οποίο κατασκευάζονταν τα αρχαία αγάλματα ήταν ένα κράμα από 90% χαλκό και 10% κασσίτερο. Σύνθεση η οποία προσέδιδε στο υλικό χαμηλότερο σημείο τήξης, δίνοντας του τη δυνατότητα να παραμένει υγρό για μεγαλύτερο διάστημα κατά τη διάρκεια της έγχυσης του στο εκάστοτε καλούπι. Με μία τέτοια σύσταση, το υλικό μπορούσε να χυθεί καλύτερα από τον καθαρό χαλκό και ταυτόχρονα να είναι πιο ελαστικό.

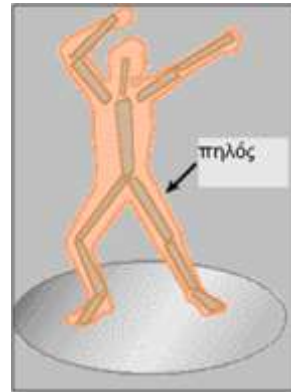
Τα πρωιμότερα χάλκινα αγάλματα ήταν κατασκευασμένα από σφυρήλατα φύλλα χαλκού συναρμολογημένα μεταξύ τους. Με την ανακάλυψη όμως της τεχνικής του χαμένου κεριού στην αρχαϊκή περίοδο, η σφυρηλάτηση έπαψε να χρησιμοποιείται ευρέως και η νέα μέθοδος έγινε ο βασικός τρόπος παραγωγής χάλκινων γλυπτών.

Η κατασκευή τους ξεκινά από τα πανάρχαια χρόνια και γύρω στο 900 – 600π.Χ οι Έλληνες τελειοποίησαν την μέθοδο του χαμένου κεριού για την δημιουργία αγαλμάτων που είχε ανακαλυφθεί στην Μεσοποταμία. Η τελειοποίηση της τεχνολογίας χύτευσης με τη μέθοδο του χαμένου κεριού επέτρεψε να κατασκευαστούν τα περίφημα αγάλματα της κλασικής περιόδου καθώς και τα σύνθετα περίτεχνα αντικείμενα της εποχής.

Αρχικά το πρωτότυπο αρχίζει να κατασκευάζεται από πηλό, ενώ πολλές φορές ανάλογα με το μέγεθος υποστηρίζεται από εσωτερικό ξύλινο σκελετό.

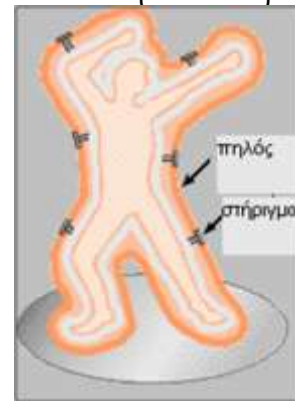


Εικόνα 1: Ξύλινο υποστήριγμα



Εικόνα 2: Κατασκευή πρωτότυπου με πηλό

Στη συνέχεια ένα λεπτό στρώμα από κερί (περίπου 1,2 – 1,4cm) απλώνεται με τρόπο που να μπορούν να αποτυπωθούν όλες οι λεπτομέρειες. Η ευπλαστότητα του κεριού



επιτρέπει στον καλλιτέχνη να αναπτύξει τις ικανότητες του.

Εικόνα 3: Επίστρωση με κερί

Η επόμενη φάση είναι η επίστρωση με πηλό και η θέρμανση με τρόπο που απομακρύνεται το κερί ενώ στερεοποιείται ο πηλός. Έτσι δημιουργείται το εκμαγείο για τη χύτευση του μετάλλου. Η χύτευση γίνεται με φυσική ροή ενώ ειδικοί αγωγοί φροντίζουν για την απομάκρυνση των αέριων της χύτευσης.

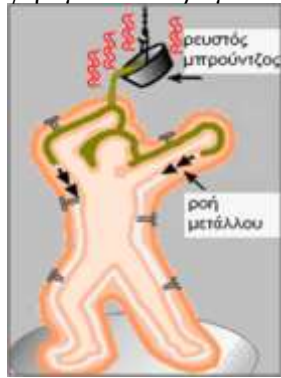


Εικόνα 4: Επικάλυψη με πηλό



Εικόνα 5: Απομάκρυνση του κεριού με θέρμανση και πηλό

ψήσιμο του κεραμικού



Εικόνα 6: Χύτευση

Η απομάκρυνση των κεραμικών το φινίρισμα και η προσθήκη λεπτομερειών είναι η τελευταία φάση της διαδικασίας.



Εικόνα 7: Απομάκρυνση κεραμικών



Εικόνα 8: Άγαλμα σε τελική μορφή

Ο συνδυασμός των μεθόδων χύτευσης με τις τεχνικές επεξεργασίας και μορφοποίησης των μετάλλων (σφυρηλάτηση, εκτύπωση, χάραξη κλπ) επιτρέπει να παραχθούν όλα τα μεταλλικά αντικείμενα της εποχής μετουσιώνοντας τη θαυμαστή ιδιότητα των αρχαίων να προσδίδουν ομορφιά ακόμα και στα πιο ευτελή αντικείμενα της καθημερινής χρήσης. Γύρω στον 6^ο π. Χ αιώνα συμβαίνει ένα γεγονός που θα δώσει φτερά στην πλαστική του χαλκού. Δυο μεγάλοι τεχνίτες στη Σάμο, ο Ροίκος και ο Θεόδωρος, θα βρουν τον τρόπο να φτιάχνουν χυτά χάλκινα αγάλματα, χύνοντας λιωμένο μέταλλο μέσα σε καλούπια, όπου είχαν προηγουμένως σκαλίσει τη μορφή του αγάλματος.

γ) Μέταλλα και αρχαία νομίσματα

Το χρήμα χρησιμοποιείται σε όλες τις εποχές προς όλες τις κατευθύνσεις και για όλους τους σκοπούς. Η απόκτηση του υπήρξε εδώ και πολλούς αιώνες μια από τις κύριες επιδιώξεις των ανθρώπων. Τα νομίσματα αποτελούν μια βασική μονάδα μέτρησης του χρήματος. Τα νομίσματα άλλαξαν, μεταβλήθηκαν, προσαρμόστηκαν στις εκάστοτε αλλαγές που προκλήθηκαν από διάφορες αιτίες.

Τα πρώτα νομίσματα ήταν σιδερένια και χάλκινα και τα είχαν επινοήσει οι Έλληνες ήδη επί Μίνωα και Θησέα. Ο χαλκός και ο σίδηρος ήταν τα πρώτα πολύτιμα μέταλλα που ανακάλυψε ο άνθρωπος και εκείνοι που πρώτοι τα ανακάλυψαν και τα επεξεργάστηκαν, κάνοντας μ' αυτά χρήσιμα εργαλεία και νομίσματα, ήταν οι Κρήτες ή αλλιώς Ιδαίοι δάκτυλοι. Ο χρυσός και ο άργυρος ωστόσο ανακαλύφθηκαν μετά από το χαλκό και σίδηρο.

Η Κύπρος ήταν μία από τις σημαντικότερες πηγές χαλκού της αρχαιότητας, ο λόγος, προφανώς και για τον οποίο ονομάστηκε και έτσι, δηλαδή Κύπρος. Cuprum (λατινικά) = Cooper (αγγλικά) = ο χαλκός. Επειδή από τη μια ο καθαρός χαλκός και ο καθαρός σίδηρος στο χρόνο φθείρεται λόγω οξειδωσης και από την άλλη τα νομίσματα γενικώς αλλοιώνονται και από τη χρήση, γι' αυτό και αφενός δεν έχουν διασωθεί σιδερένια και χάλκινα νομίσματα (μερικά τάλαντα έχουν διασωθεί, επειδή είναι σε πολύ μεγάλη ποσότητα).

Τα πρώτα νομίσματα, όπως και σήμερα, ήταν δυο λογίων, τα μικρής και μεγάλης αξίας. Τα μικρής αξίας αρχικά ήταν μικρά τμήματα χαλκού ή μπρούτζου, μετά χρυσά και ασημένια, κυρίως βόλοι (στρογγυλές σφαίρες) ή ράβδοι (οι καλούμενοι οβελοί.) Τα μεγάλης αξίας ήταν τα καλούμενα **τάλαντα** και απεικόνιζαν διάφορα σχήματα (π. χ δέρμα από ζώα).

Επίσης, κάποια νομίσματα κατασκευάστηκαν και στην Μ. Ασία από ήλεκτρο, κράμα χρυσού και αργύρου στα τέλη του 7^{ου} π. Χ αιώνα. Το πολύτιμο αυτό μέταλλο έδινε αξία στο κάθε αντικείμενο και το μικρό του σχήμα το έκανε εύκολο στην μεταφορά του. Το σύμβολο της εκδίδουσας αρχής του που προστέθηκε αργότερα έδειχνε την αυθεντικότητα του.

Οι ελληνικές πόλεις διέδωσαν την χρήση του νομίσματος από την Ισπανία μέχρι τη Μαύρη Θάλασσα. Χρησιμοποίησαν τα σύμβολα από ήρωες, θεούς, ζώα, φυτά κλπ για να σηματοδοτήσουν τα νομίσματα. Έκοιαν νομίσματα κυρίως σε άργυρο καθώς σε αυτό το πολύτιμο μέταλλο είχαν μεγαλύτερη πρόσβαση. Στα τέλη του 5^{ου} και 4^{ου} αιώνα π. Χ κυκλοφόρησαν και χάλκινα νομίσματα για τις μικρές καθημερινές συναλλαγές. Ο βασιλιάς Φίλιππος Β' διέδωσε τη χρήση νομισμάτων καθώς είχε πρόσβαση στα μεταλλεία χρυσού του Παγγαίου. Μετά το θάνατο του Αλέξανδρου Γ' άρχισαν να απεικονίζονται ηγεμόνες και βασιλιάδες της κάθε περιοχής στα νομίσματα. Η παράσταση του ηγεμόνα αυτοκράτορα γίνεται το βασικό θέμα της εικονογραφίας και στα ρωμαϊκά αυτοκρατορικά νομίσματα από τον 1^ο π. Χ αιώνα έως τον 4^ο π. Χ αιώνα.



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Σαλλιώρα – Οικονομάκου Μαίρη, *Λαυρεωτική- Το Μουσείο του Λαυρίου, Υπουργείο Πολιτισμού-Ταμείο Αρχαιολογικών Πόρων και Απαλλοτριώσεων*, 2002
- Χημεία, Β' Γυμνασίου, ΟΕΔΒ, Αθήνα, 2003
- Χημεία, Γ' Γυμνασίου, ΟΕΔΒ, Αθήνα, 2003
- Χημεία, Α' Λυκείου, ΟΕΔΒ, Αθήνα, 2011
- Βάρβογλης Α., *Πορτρέτα των χημικών στοιχείων*, Πανεπιστημιακές εκδόσεις Κρήτης, 2001
- Κονοφάγος Κ., *Το αρχαίο Λαύριο*, Αθήνα, 1980
- Δερμάτης, Γιώργος Ν., *Τοπίο και Μνημεία της Λαυρεωτικής*, Δήμος Λαυρεωτικής, 1994
- www.el.wikipedia.org
- http://reocities.com/Athens/Ithaca/5743/gr/metals_g.htm
- http://www.chem.uoa.gr/chemicals/chem_history.htm#02
- <http://www.kosmima.gr/add3.php>
- <http://www.krassanakis.gr/coins.htm>