

# Μεταλλουργία – Χημεία του χαλκού

## ΣΚΟΠΟΣ

Ο σκοπός αυτού του κεφαλαίου είναι

Πρώτον: να γνωρίσουμε τα βασικά βήματα της μεταλλουργίας για την παραγωγή μετάλλων από τα μεταλλεύματά τους, δηλαδή,

(α) την προκαταρκτική κατεργασία, ήτοι τη διαδικασία αύξησης της περιεκτικότητας του μεταλλεύματος σε μέταλλο,

(β) την αναγωγή του οξειδίου ή αλογονιδίου του μετάλλου το οποίο προκύπτει, και

(γ) τον εξευγενισμό ή καθαρισμό του λαμβανόμενου μετάλλου.

Δεύτερον: να εφαρμόσουμε τις ανωτέρω διαδικασίες στην περίπτωση του χαλκού, μελετώντας ταυτόχρονα και τα σημαντικότερα σημεία της χημείας αυτού του μετάλλου.

# Μεταλλουργία

## Προσδοκώμενα αποτελέσματα

Όταν θα έχετε μελετήσει αυτό το κεφάλαιο, θα μπορείτε να:

- ❖ Ορίζετε τι είναι μεταλλουργία και ποια είναι τα βασικά της στάδια.
- ❖ Διακρίνετε μεταξύ των όρων πέτρωμα, ορυκτό και μετάλλευμα.
- ❖ Περιγράφετε τις φυσικές μεθόδους διαχωρισμού ενός χρήσιμου ορυκτού από το στείρο υλικό.
- ❖ Αναφέρετε παραδείγματα φυσικών και χημικών μεθόδων διαχωρισμού.
- ❖ Αναφέρετε παραδείγματα ηλεκτρολυτικής και χημικής αναγωγής, καθώς και τρόπους εξευγενισμού των μετάλλων.
- ❖ Αναφέρετε τα σημαντικότερα ορυκτά του χαλκού και την παραλαβή καθαρού χαλκού από κάποιο μετάλλευσμά του.
- ❖ Διατυπώνετε τις σημαντικότερες αντιδράσεις του χαλκού.
- ❖ Περιγράφετε τη δομή του ένυδρου θειικού χαλκού.
- ❖ Εξηγείτε τη διάβρωση χάλκινων αντικειμένων εκτεθειμένων στον αέρα.

# Μεταλλουργία

## Έννοιες κλειδιά

Αζουρίτης

Αναγωγή

Βωξίτης

Γαλαζόπετρα

Δοκιμασία Benedict

Έκπλυση

Εξευγενισμός

Επίπλευση

Κυπρίτης

Μαλαχίτης

Μέθοδος Bayer

Μέθοδος Downs

Μέθοδος Van Arkel – de Boer

Μετάλλευμα

Μεταλλουργία

Μπρούντζος

Ορυκτό

Patina

Πέτρωμα

Προκαταρκτική εξέταση

Σκουριά

Σπογγώδης χαλκός

Στείρο υλικό

Συλλίπασμα

Φρύξη

Χαλκόλιθος

Χαλκοπυρίτης

Χαλκοσίνης

# Μεταλλουργία

Τα πρώτα μέταλλα: αυτά που στη φύση απαντούν σε ελεύθερη κατάσταση (αυτοφυή).

**Εμπειρική ανακάλυψη: η πύρωση ορισμένων πετρωμάτων σε φωτιά από ξυλάνθρακα οδηγούσε σε μέταλλα.**

Σήμερα γνωρίζουμε ότι τα πετρώματα αυτά περιέχουν μεταλλικές ενώσεις οι οποίες μπορούν να αναχθούν προς μέταλλα αντιδρώντας με ξυλάνθρακα ή με CO.

**Ο χαλκός: το πρώτο μέταλλο που παρασκευάστηκε με αυτό τον τρόπο.**

**Μπρούντζος: το πρώτο κράμα που έφτιαξε ο άνθρωπος από πετρώματα που περιέχουν ενώσεις χαλκού και κασσιτέρου. Από αυτές τις ανακαλύψεις ξεπήδησε η μεταλλουργία.**

**Μεταλλουργία: η επιστημονική μελέτη της παραγωγής μετάλλων από τα μεταλλεύματά τους και η δημιουργία κραμάτων που έχουν διάφορες χρήσιμες ιδιότητες.**

# Μεταλλουργία

## Χρήσιμοι ορισμοί

**Πέτρωμα**: είναι ένα στερεό υλικό που απαντάται στη φύση και αποτελείται από ένα ή περισσότερα ορυκτά.

Π.χ. το μάρμαρο: πέτρωμα που αποτελείται σχεδόν μόνο από τα ορυκτά ασβεστίτη ή δολομίτη ή ένα μίγμα των δύο.

Μάρμαρα διαφόρων αποχρώσεων οφείλουν το χρώμα τους στην παρουσία και άλλων ορυκτών.

**Ορυκτό**: είναι μια ανόργανη στερεά ουσία ή ένα στερεό διάλυμα που απαντάται στη φύση και έχει καθορισμένη κρυσταλλική δομή.

**Μετάλλευμα**: είναι ένα πέτρωμα ή ορυκτό από το οποίο μπορεί να παραχθεί οικονομικά ένα μέταλλο ή αμέταλλο.

Π.χ. βωξίτης,  $\text{AlO}(\text{OH})$  και  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , μετάλλευμα του αργιλίου.

Αιματίτης,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , μετάλλευμα του σιδήρου.

Χαλκοπυρίτης,  $\text{CuFeS}_2$ , μετάλλευμα του χαλκού

Σφαλερίτης,  $\text{ZnS}$ , μετάλλευμα του ψευδαργύρου.

# Μεταλλουργία

Βασικά βήματα παραγωγής μετάλλου από μετάλλευμά του.

## 1. Προκαταρκτική κατεργασία

Αποσκοπεί στην αύξηση της περιεκτικότητας του μεταλλεύματος σε μέταλλο με απομάκρυνση του οικονομικά άχρηστου πετρώματος.

## 2. Αναγωγή

Ανάλογα με το μέταλλο: χημική ή ηλεκτρολυτική αναγωγή

## 3. Εξευγενισμός (καθαρισμός)

Η διαδικασία απομάκρυνσης των προσμίξεων από το μέταλλο

# Μεταλλουργία (1. Προκαρκτική κατεργασία)

**Στείρο υλικό:** το άχρηστο μέρος ενός μεταλλεύματος.

**Μέθοδοι διαχωρισμού του χρήσιμου ορυκτού από το στείρο υλικό:**

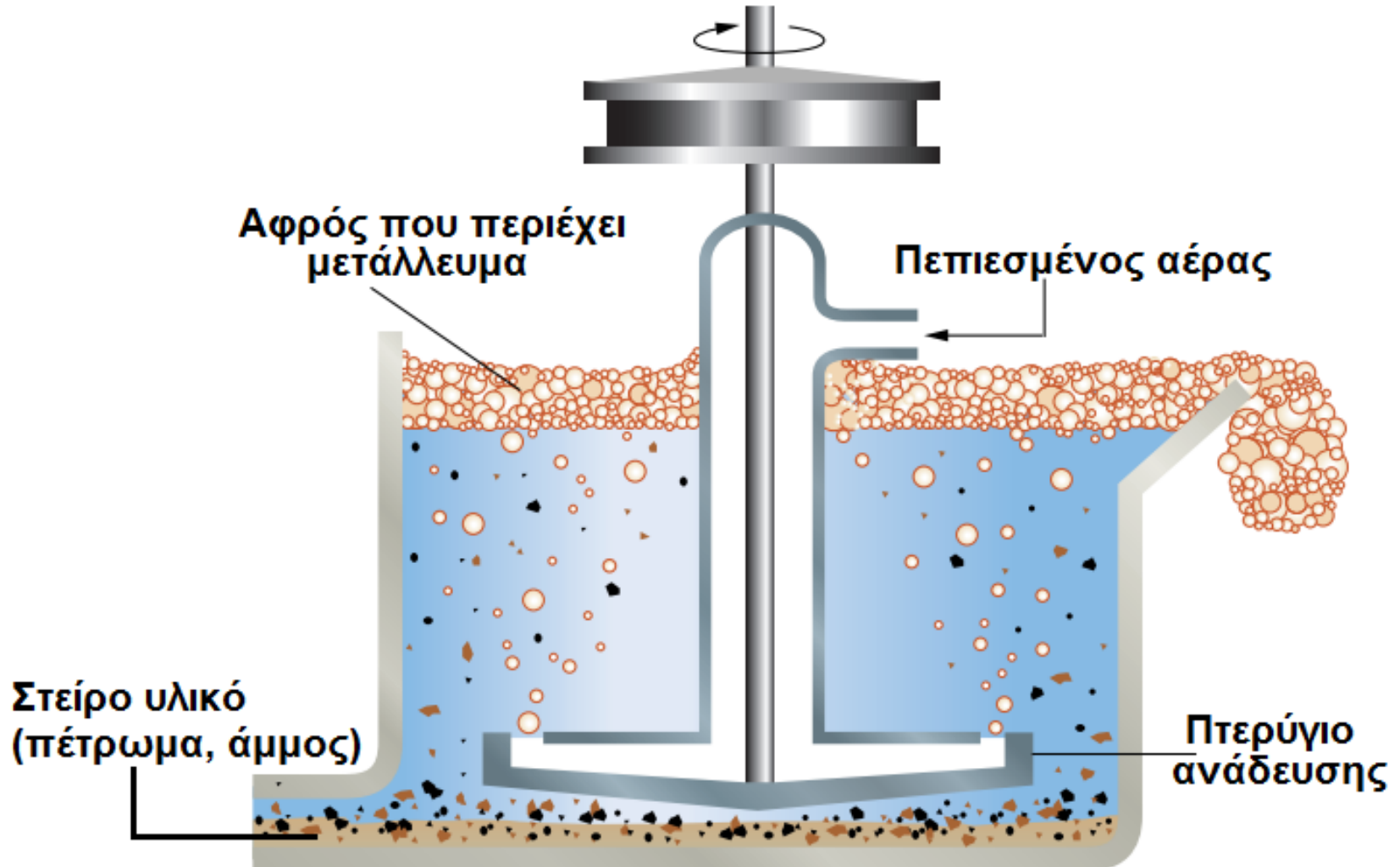
## Φυσικές μέθοδοι διαχωρισμού

(α) Έκπλυση: Πώς διαχώριζαν οι χρυσοθήρες τον χρυσό από τα υπόλοιπα γαιώδη υλικά;

(β) Επίπλευση: μια φυσική μέθοδος διαχωρισμού ενός ορυκτού από το στείρο υλικό, η οποία στηρίζεται στις διαφορές διαβρεξιμότητας αυτών από ένα υγρό διάλυμα.

**Μέσα επίπλευσης:** Ορισμένες χημικές ουσίες που επικαλύπτουν τα σωματίδια του μεταλλοφόρου ορυκτού επιλεκτικά, έτσι ώστε αυτά να διαβρέχονται ελάχιστα ή καθόλου σε σχέση με το στείρο υλικό (γίνονται υδρόφοβα). Το στείρο υλικό διαβρέχεται από το νερό και καθιζάνει στον πυθμένα του δοχείου επίπλευσης.

# Μεταλλουργία (1. Προκαρκτική κατεργασία)



Το μετάλλευμα προσκολλάται σε φυσαλίδες αέρα και συμπαρασύρεται με τον αφρό. Το στείρο υλικό καθιζάνει στον πυθμένα της δεξαμενής, από όπου απομακρύνεται.



# Μεταλλουργία (1. Προκαρκτική κατεργασία)

## Χημικές μέθοδοι διαχωρισμού

Κλασικό παράδειγμα: Η μέθοδος Bayer

είναι μια χημική διεργασία κατά την οποία από το μετάλλευμα του αργιλίου βωξίτης λαμβάνεται καθαρό οξείδιο του αργιλίου,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ :



Οι αδιάλυτες ουσίες (π.χ.  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) απομακρύνονται με διήθηση.

Με ψύξη του  $\text{Al}(\text{OH})_4^-(\text{aq}) \rightarrow \text{Al}(\text{OH})_3(\text{s})$

Με πύρωση του  $\text{Al}(\text{OH})_3(\text{s}) \rightarrow \text{Al}_2\text{O}_3(\text{s})$  καθαρό!

Φρύξη: η διεργασία θέρμανσης (πριν την αναγωγή) ενός ορυκτού στον αέρα, προκειμένου να ληφθεί το οξείδιο, π.χ.



## Μεταλλουργία (2. Αναγωγή)

Ηλεκτρολυτική αναγωγή: Τα δραστικά μέταλλα των κυρίων ομάδων Li, Na και Mg λαμβάνονται με ηλεκτρόλυση των τηγμένων χλωριδίων τους. Π.χ. η μέθοδος Downs παραγωγής μεταλλικού νατρίου με ηλεκτρόλυση τηγμένου χλωριδίου του νατρίου:



Χημική αναγωγή: (α) Με κωκ (μορφή άνθρακα, το φθηνότερο χημικό αναγωγικό μέσο). Είναι το στερεό υπόλειμμα που απομένει από τον λιθάνθρακα, όταν τα πτητικά συστατικά του έχουν απομακρυνθεί με θέρμανση, απουσία αέρα.

Σημαντικά μέταλλα (Fe, Zn) λαμβάνονται με αναγωγή των οξειδίων τους από κωκ (ή μονοξείδιο του άνθρακα, το οποίο είναι προϊόν μερικής οξείδωσης του άνθρακα):



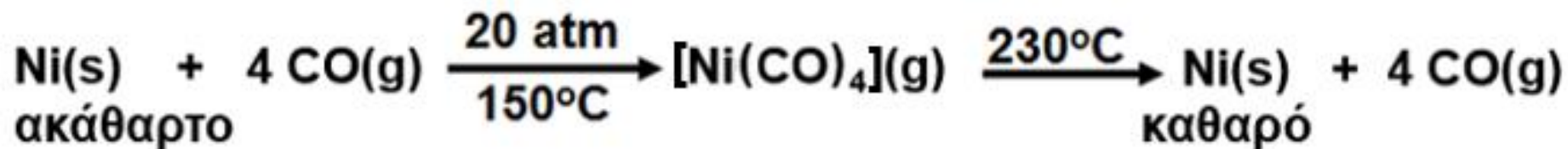
(β) Με  $\text{H}_2$ , Ca, Mg, Al, ... π.χ.  $\text{WO}_3(\text{s}) + 3 \text{H}_2(\text{g}) \rightarrow \text{W}(\text{s}) + 3 \text{H}_2\text{O}(\text{g})$

## Μεταλλουργία (3. Εξευγενισμός ή καθαρισμός)

Απομάκρυνση προσμίξεων για λήψη του καθαρού μετάλλου.

(α) Απόσταξη: π.χ. καθαρισμός Zn από προσμίξεις Pb, Cd, Fe, χάρη στο σχετικά χαμηλό σ.ζ. του Zn (908°C).

(β) Μέθοδος Mond καθαρισμού του Ni:



(γ) Μέθοδος van Arkel – de Boer καθαρισμού Zr (για πυρηνικούς αντιδραστήρες)



(δ) Ηλεκτρολυτικός καθαρισμός του Cu

Άνοδος Cu(s) (ακάθαρτος) → Κάθοδος Cu(s) (καθαρός)

# Χαλκός

Αυτοφυή μέταλλα: Cu, Ag, Au  $\Rightarrow$  σταθερή η οξειδωτική κατάσταση 0

Cu: χρήση για πρώτη φορά το 8000 π.Χ. !

3900 π.Χ. Μπρούντζος (Cu / Sn), το πρώτο κράμα

Ορυκτά του Cu: ~ 160 (σουλφίδια, οξειδία και ανθρακικά)

Αντιπροσωπευτικά ορυκτά του Cu:

Κυπρίτης ( $\text{Cu}_2\text{O}$ , 88,8% Cu), Χαλκοσίνης ( $\text{Cu}_2\text{S}$ , 79,8% Cu), Μαλαχίτης [ $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$ , 57,3% Cu], Αζουρίτης [ $2 \text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$ , 55,1% Cu], Χαλκοπυρίτης ( $\text{CuFeS}_2$ , 34,5% Cu)



Αυτοφυής χαλκός



Μαλαχίτης



Αζουρίτης

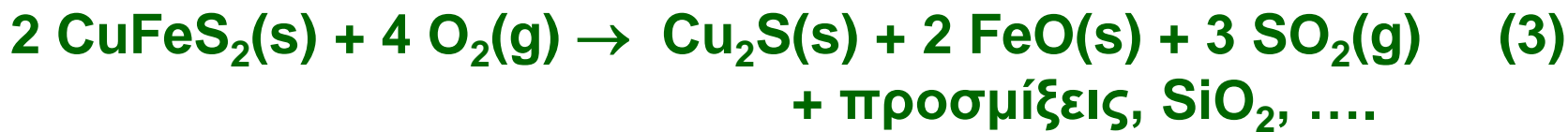
# Μεταλλουργία χαλκού

## (α) Μετάλλευμα από οξειδία του Cu:

Θέρμανση με κωκ



## (β) Μετάλλευμα χαλκοπυρίτης



⇒ θέρμανση μίγματος με συλλίπασμα (ασβεστόλιθος,  $\text{CaCO}_3$ )



## Μεταλλουργία χαλκού (συνέχεια)

⇒ Απομάκρυνση σκουριάς ⇒ μένει ( $\text{Cu}_2\text{S} + \text{FeS}$ , χαλκόλιθος)

⇒ Απομάκρυνση  $\text{FeS}$ :

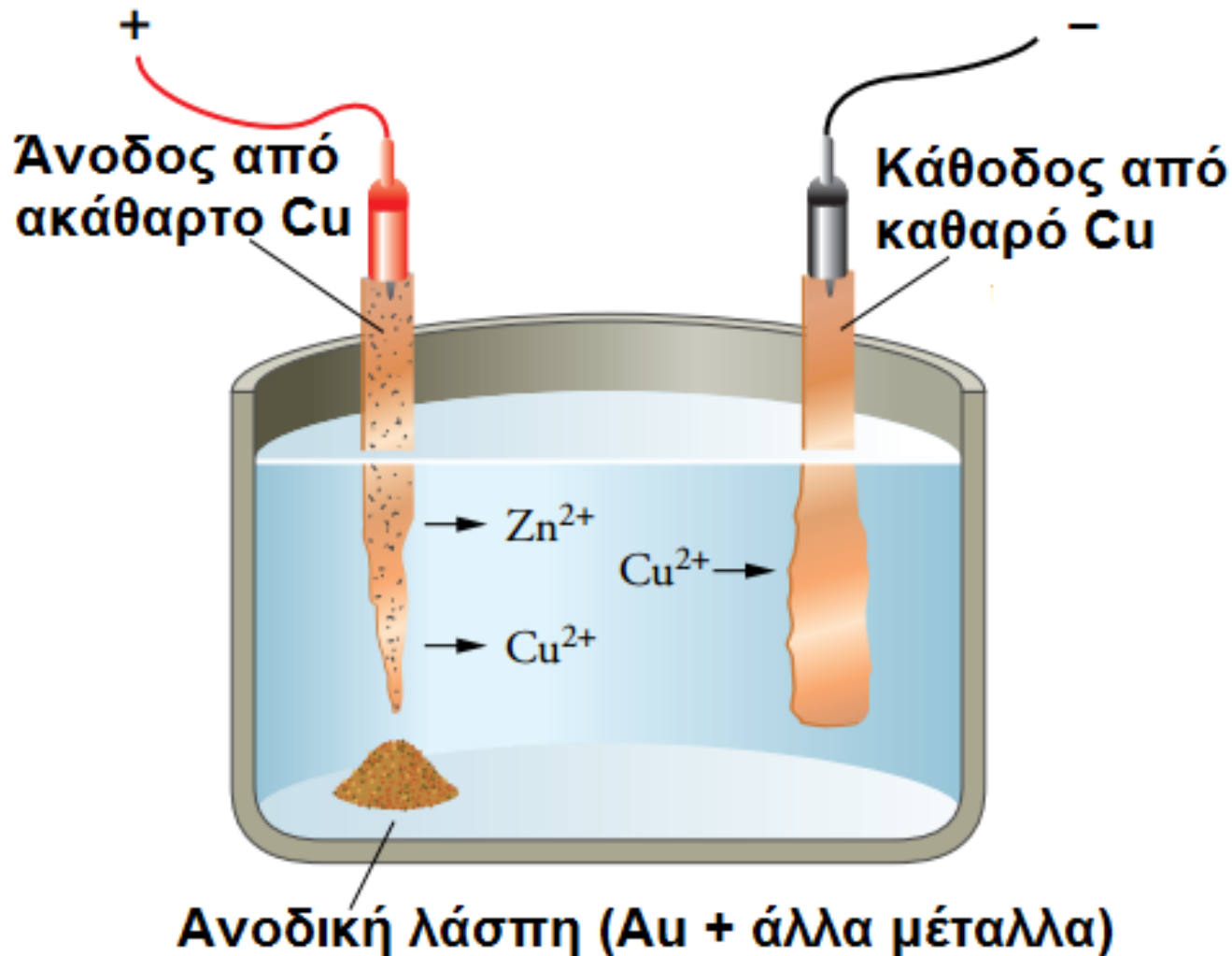


Τελικά, όλη η διαδικασία οδηγεί στην απομόνωση  $\text{Cu}_2\text{S}$

Πώς λαμβάνουμε καθαρό  $\text{Cu}$  από το  $\text{Cu}_2\text{S}$  που απομονώσαμε;



# Μεταλλουργία χαλκού (καθαρισμός σπογγώδους χαλκού με ηλεκτρόλυση)



Άνοδος: Οξείδωση

Cu(ακάθαρος)  $\rightarrow$   
 $Cu^{2+} + 2 e^-$   
Η άνοδος  
αναλώνεται

Κάθοδος: Αναγωγή  
 $Cu^{2+} + 2 e^- \rightarrow$   
Cu(καθαρός)  
Η κάθοδος  
«παχαίνει»

Τα ιόντα  $Zn^{2+}$   
παραμένουν  
στο διάλυμα.

# Μεταλλουργία χαλκού (καθαρισμός σπογγώδους χαλκού με ηλεκτρόλυση)



Φύλλα πολύ καθαρού χαλκού (99,95%) εναλλάσσονται με μη καθαρές πλάκες χαλκού σε αυτή την ηλεκτρολυτική δεξαμενή.

Τα φύλλα του καθαρού χαλκού αυξάνονται σε μέγεθος και απομακρύνονται σε περίπου ένα μήνα.

**Χαλκός: κύρια εμπορική χρήση  
ως ηλεκτρικός αγωγός**



## Χημεία του χαλκού

### Αντιδράσεις – Ενώσεις του Cu(I) και Cu(II) (οι σημαντικότερες)

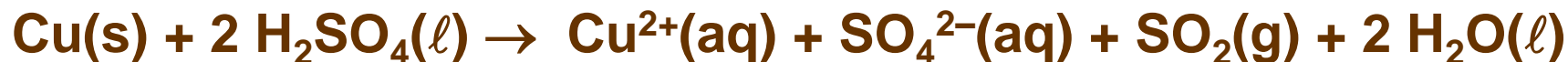
Μεταλλικός χαλκός: δεν προσβάλλεται από τα περισσότερα οξέα (με οξειδωτικό παράγοντα το H<sup>+</sup>),

π.χ.  $\text{Cu(s)} + \text{HCl(aq)} \rightarrow \text{no reaction}$

Με HNO<sub>3</sub> (αραιό → NO, πυκνό → NO<sub>2</sub>):



Με πυκνό και θερμό H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>



Cu<sup>2+</sup>(aq), ακριβέστερα [Cu(H<sub>2</sub>O)<sub>6</sub>]<sup>2+</sup> (λαμπερό μπλε χρώμα)

# Χημεία του χαλκού



(πενταϋδρικός θειικός χαλκός, γαλαζόπετρα)



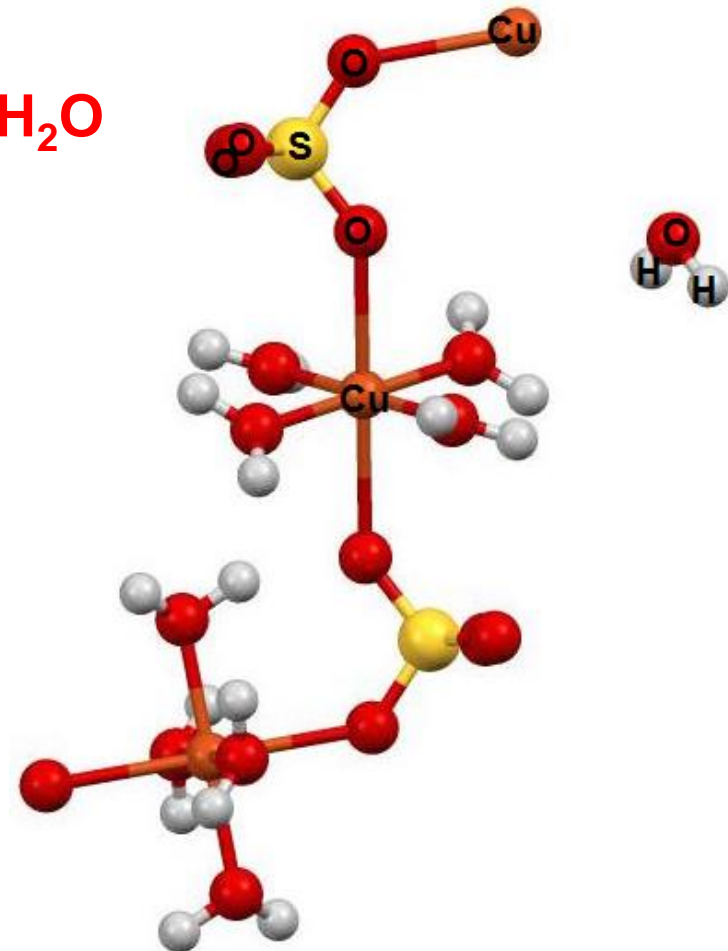
Με θέρμανση  $\Rightarrow \text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O} \Rightarrow \text{CuSO}_4$  (άνυδρο)  
(σχεδόν λευκά στερεά)

$\Rightarrow$  το μπλε χρώμα οφείλεται  
στη συμπλοκοποίηση του  $\text{Cu}^{2+}$  με μόρια  $\text{H}_2\text{O}$

Δομή του  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

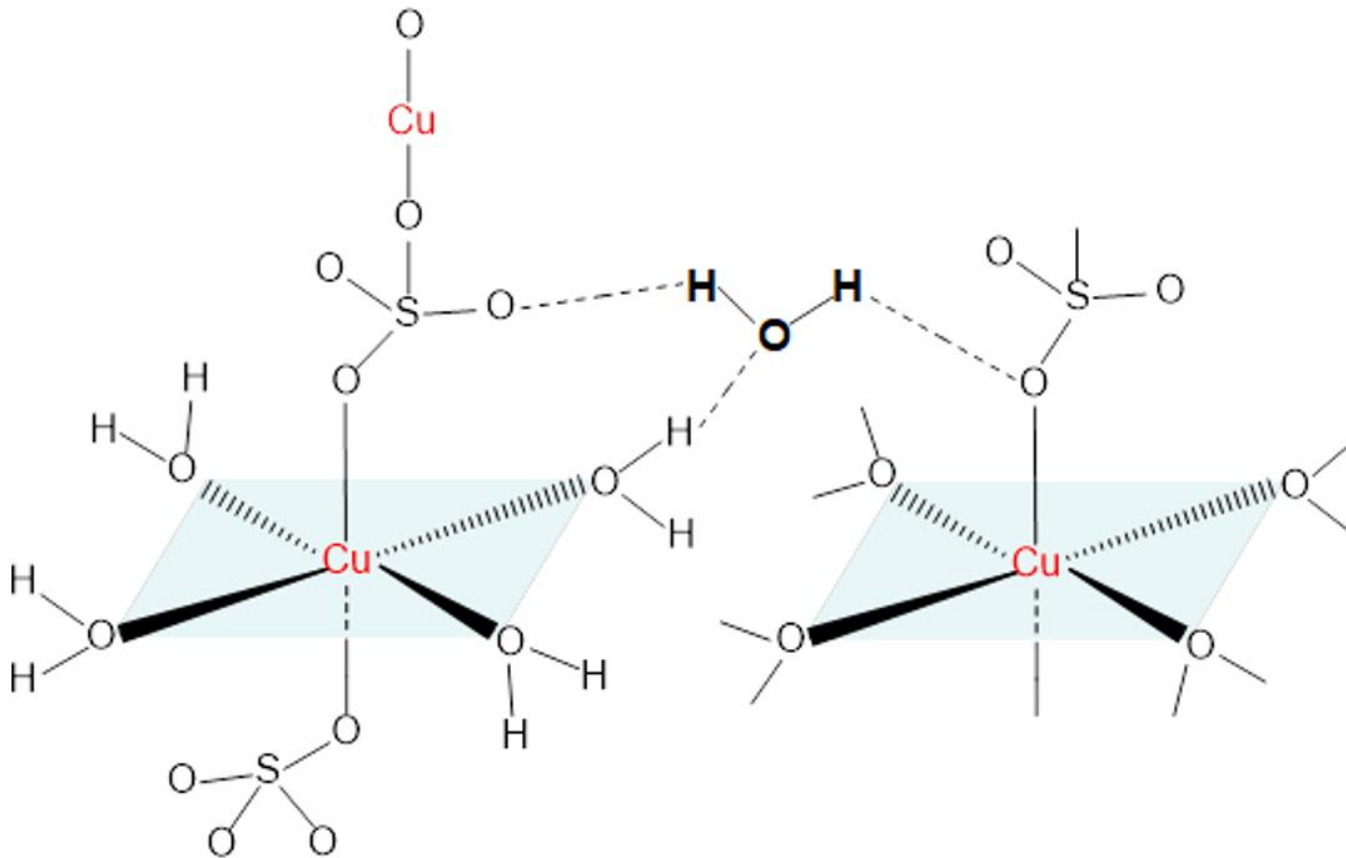
Πολυμερές, γεωμετρία γύρω από το  
ión  $\text{Cu}^{2+}$  οκταεδρική (α.σ. 6).

4 άτομα O (από 4 μόρια  $\text{H}_2\text{O}$ ) στο ίδιο  
επίπεδο και 2 άτομα O από δύο ίοντα  
 $\text{SO}_4^{2-}$  κατέχουν αξονικές θέσεις.



# Χημεία του χαλκού

Πώς συνδέεται το 5<sup>ο</sup> μόριο H<sub>2</sub>O στον κρύσταλλο του CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O ;



Το πέμπτο μόριο H<sub>2</sub>O (με έντονα σύμβολα) συνδέεται, μέσω δεσμού H, με ένα O θειικού ιόντος και ένα H μορίου H<sub>2</sub>O ενωμένου με το ιόν Cu<sup>2+</sup> (αριστερά). Ταυτόχρονα, το ίδιο μόριο H<sub>2</sub>O, συνδέεται με τρίτο δεσμό H με ένα θειικό O διπλανού ιόντος Cu<sup>2+</sup>.

# Χημεία του χαλκού

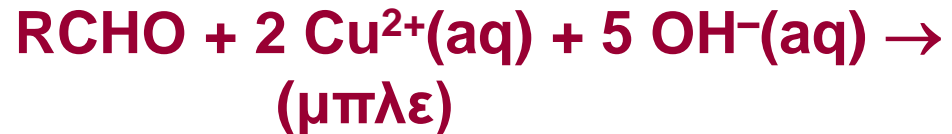
## Άλλες αντιδράσεις

Θέρμανση χαλκού σε οξυγόνο

Για  $T < 1000^{\circ}\text{C} \Rightarrow \text{CuO}$

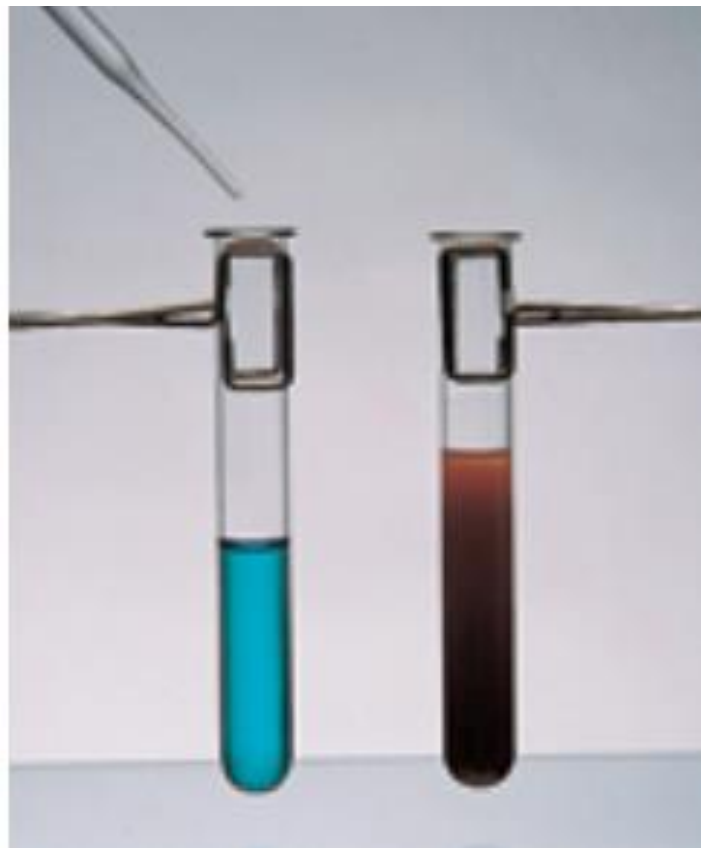
Για  $T > 1000^{\circ}\text{C} \Rightarrow \text{Cu}_2\text{O}$  (υπάρχει στο ορυκτό κυπρίτης)

Αναγωγή  $\text{Cu}^{2+}$  προς  $\text{Cu}^+$  σε αλκαλικό διάλυμα ( $\text{RCHO} = \text{σάκχαρο, αναγωγικό}$ )



Δοκιμασία Benedict

(Εφαρμογή: ανίχνευση γλυκόζης στα ούρα)



# Χημεία του χαλκού

## Το Άγαλμα της Ελευθερίας στη Ν. Υόρκη



Το πρασινογάλαζο χρώμα οφείλεται στη διάβρωση της επιφάνειας του χαλκού που καλύπτει τον χαλύβδινο σκελετό του αγάλματος. Ποια είναι η χημική εξήγηση της διάβρωσης;

## Χημεία του χαλκού

**Cu: το λιγότερο δραστικό MM της 1<sup>ης</sup> σειράς.**

Όμως, κατά την έκθεσή του στον αέρα προσβάλλεται επιφανειακά από O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O και SO<sub>3</sub> της ατμόσφαιρας και σχηματίζει επιφανειακά ένα λεπτό, συμπαγές, γαλαζοπράσινο φιλμ από ενώσεις του Cu που ονομάζεται patina.

Η patina, εκτός από την ευχάριστη αισθητική που δίνει στα έργα τέχνης από Cu, παρεμποδίζει την περαιτέρω διάβρωση του Cu.

**Ποιες χημικές αντιδράσεις ευθύνονται για τον σχηματισμό της patina;**



## Χημεία του χαλκού

Ποιες είναι οι δύο σπουδαιότερες χρήσεις του χαλκού;

(α) Κατασκευή ηλεκτρολογικού υλικού (β) κατασκευή κραμάτων  
Πώς δικαιολογείται η πρώτη χρήση;

Ποια είναι τα σημαντικότερα κράματα του χαλκού;

Κράματα Cu: έχουν ως κύριο συστατικό τον Cu.

Παρουσιάζουν υψηλή αντοχή έναντι διάβρωσης και βελτιωμένες μηχανικές ιδιότητες.

Μπρούντζος (Cu/Sn) και ορείχαλκος (Cu/Zn) οι σημαντικότεροι τύποι κραμάτων του Cu.

Με προσθήκη και άλλων στοιχείων προκύπτουν διάφορα είδη μπρούντζων και ορειχάλκων, π.χ. μπρούντζος φωσφόρου (0,5 – 11% Sn και 0,01 – 035% P)

# Ο χαλκός κύριο μέταλλο στα κράματα νομισμάτων



## Ευρω-νομίσματα

Εκτός από ανακυκλώσιμα, είναι μη αλλεργικά και αντιμικροβιακά (ασφαλέστερα στη χρήση τους)

Κέρματα 1 και 2 €, δίχρωμα.

Ασημί κυκλικός τομέας: κράμα Cu – Ni (cupronickel, π.χ. Cu 75%, Ni 25%, ίχνη Mn).

Χρυσάφι κυκλικός τομέας (δεν αμαυρώνεται): μπρούντζος νικελίου (Cu 75%, Ni 20%, Zn 5%).

Κέρματα 10, 20 και 50 λεπτών:

Κράμα «Nordic Gold» (Cu 89%, Al 5%, Zn 5%, Sn 1%). Ανθεκτικό κράμα με χρυσάφι χρώμα. Δεν αμαυρώνεται με το χρόνο.

Κέρματα 1, 2 και 5 λεπτών:

Είναι κατασκευασμένα από χάλυβα καλυμμένο με χαλκό, ο οποίος προσδίδει αντοχή στη διάβρωση.



## Ερωτήσεις – ασκήσεις ανασκόπησης

4.1 Εξηγήστε, με τη βοήθεια χημικών αντιδράσεων, τη μέθοδο Mond καθαρισμού του Ni.

4.2 Αναφέρετε τρία σημαντικά ορυκτά του χαλκού. Γιατί η παραγωγή χαλκού από κυπρίτη είναι η πλέον συμφέρουσα οικονομικά;

4.3 Περιγράψτε τη δομή του πενταϋδρικού θειικού χαλκού(II). Ποια χρωματική αλλαγή παρατηρείται, όταν το άλας θερμαίνεται; Τι προκαλεί τη χρωματική αλλαγή;

4.4 Πώς καθαρίζεται το ζιρκόνιο κατά τη μέθοδο van Arkel – de Boer;

4.5 Γράψτε ισοσταθμισμένες εξισώσεις για τις αντιδράσεις του μεταλλικού χαλκού με τα ισχυρά οξέα υδροχλωρικό, νιτρικό (αραιό και πυκνό) και θειικό (πυκνό και θερμό). Ποιος είναι ο οξειδωτικός παράγοντας για κάθε οξύ;

## Ερωτήσεις – ασκήσεις ανασκόπησης

4.6 Το ιόν του χαλκού(II) σε βασικό διάλυμα ανάγεται από φορμαλδεΰδη προς οξειδίο του χαλκού(I). Η φορμαλδεΰδη οξειδώνεται προς μυρμηκικό ιόν. Γράψτε την ισοσταθμισμένη εξίσωση γι' αυτή την αντίδραση. Ποιο περιμένετε να είναι το χρώμα του τελικού διαλύματος;

4.7 Ποια είναι τα βασικά στάδια παραγωγής μετάλλου από μετάλλεμά του; Τι επιτυγχάνεται με το καθένα από αυτά;

4.8 Επιλέξτε τη σωστή απάντηση:

Η φρύξη χρησιμοποιείται στη μεταλλουργία για την:

(α) Απομάκρυνση των προσμίξεων από το μετάλλευμα με τη μορφή σκουριάς.

(β) Διάσπαση του ορυκτού του μετάλλου και την παραλαβή του μετάλλου.

(γ) Μετατροπή του σουλφιδίου του μετάλλου σε οξειδίο.

## Ερωτήσεις – ασκήσεις ανασκόπησης

4.9 Τι είναι χημικώς η patina; Διατυπώστε τις χημικές εξισώσεις που οδηγούν στον σχηματισμό της.

4.10 Κατά τον ηλεκτρολυτικό καθαρισμό του χαλκού, Cu, χρησιμοποιείται ως ηλεκτρόδιο ανόδου ακάθαρτος χαλκός μάζας  $m$ , και ως ηλεκτρόδιο καθόδου καθαρός χαλκός επίσης μάζας  $m$ . Το ηλεκτρόδιο της ανόδου περιέχει 5,00% προσμίξεις και κατά την ηλεκτρόλυση η μάζα της καθόδου αυξάνεται κατά 10,0%. Ποια θα είναι η αντίστοιχη μεταβολή μάζας της ανόδου;

4.11 Κατά την επεξεργασία ορυκτών του χαλκού παράγεται σε ενδιάμεσο στάδιο χαλκόλιθος, ο οποίος, αν στη συνέχεια υποστεί κατεργασία με οξυγόνο, δίνει τελικά καθαρό χαλκό. Γράψτε την ισοσταθμισμένη χημική εξίσωση της τελικής αντίδρασης με οξυγόνο που οδηγεί σε χαλκό και βρείτε πόσα kg Cu θα παραχθούν από 1500 kg χαλκόλιθου περιεκτικότητας 45,0% σε μετάλλευμα χαλκού.

# Ερωτήσεις – ασκήσεις ανασκόπησης

**4.12 Γράψτε τη χημική εξίσωση για τη φρύξη χαλκοπυρίτη.**

**4.13 Η αντίδραση θερμίτη (ή αλουμινοθερμική αντίδραση ή μέθοδος Goldschmidt) είναι μια μεταλλουργική μέθοδος, γνωστή από τα τέλη του 19<sup>ου</sup> αιώνα, κατά την οποία το μέταλλο παράγεται δι' αναγωγής ενός οξειδίου του από μεταλλικό αργίλιο. Το ποσόν θερμότητας που ελευθερώνεται είναι τεράστιο και στην περίπτωση μετάλλων, όπως ο σίδηρος, παράγεται τηγμένο μέταλλο χρησιμοποιούμενο επιτόπου για συγκολλήσεις (π.χ. σιδηροτροχιών). Γράψτε τις αντίστοιχες χημικές εξισώσεις για τις αντιδράσεις θερμίτη με οξείδιο του σιδήρου(III) και οξείδιο του χαλκού(II).**



**Αντίδραση θερμίτη με οξείδιο του σιδήρου(III)  
Οι σπινθήρες είναι σωματίδια λιωμένου σιδήρου.**