

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΚΑΙ ΔΟΜΗ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ

Κρίνεται σκόπιμο, για να κατανοηθούν καλύτερα οι ιδιότητες των μετάλλων και η κρυσταλλική τους δομή, να αναφέρομε λίγα πράγματα από την ατομική θεωρία.

2.1 Μόρια και άτομα.

Τα υλικά σώματα, όπως είναι γνωστό από τη χημεία, διαιρούνται σε *απλά* και σε *σύνθετα* (χημικές ενώσεις). Τα απλά σώματα καλούνται και *χημικά στοιχεία* ή απλώς *στοιχεία*.

Τα μικρότερα τεμαχίδια της ύλης, που δεν είναι δυνατόν να υποδιαιρεθούν περισσότερο με μηχανικά μέσα, ονομάζονται *μόρια*. Τα μόρια ενός σώματος είναι εντελώς όμοια μεταξύ τους και έχουν τις ίδιες φυσικές και χημικές ιδιότητες με το αρχικό σώμα, από το οποίο προέρχονται. Επί πλέον, ενώ τα μόρια του ίδιου σώματος είναι όμοια μεταξύ τους δεν μοιάζουν με τα μόρια άλλου σώματος.

Με χημικά μέσα είναι δυνατόν το μόριο ενός στοιχείου να διαχωρισθεί ακόμα περισσότερο.

Τα ελάχιστα τεμαχίδια της ύλης, στα οποία διαιρείται το μόριο ενός στοιχείου, με χημικά όμως μέσα, ονομάζονται *άτομα*. Τα μόρια των συνθέτων σωμάτων διασπώνται σε άτομα των στοιχείων, από τα οποία αποτελείται το σύνθετο σώμα. Τα άτομα του ίδιου στοιχείου, όπως π.χ. του σιδήρου, του θείου, του άνθρακα κλπ. είναι όμοια μεταξύ τους, κάθε δε στοιχείο έχει άτομα, που διαφέρουν από τα άτομα οποιουδήποτε άλλου στοιχείου. Τα μέχρι σήμερα γνωστά χημικά στοιχεία είναι 104, από τα οποία τα 88 τα συναντούμε στη φύση και τα 16 τα παράγομε τεχνητά.

Τα μόρια κάθε στοιχείου αποτελούνται από όμοια μεταξύ τους άτομα, όπως π.χ. το μόριο του οξυγόνου αποτελείται από δυο άτομα οξυγόνου, ενώ το μόριο του θείου από οκτώ άτομα θείου. Τα μόρια όμως των συνθέτων σωμάτων (χημικών ενώσεων) αποτελούνται από άτομα των στοιχείων, που παίρνουν μέρος στη χημική ένωση. Έτσι, το μόριο του νερού περιλαμβάνει ένα άτομο οξυγόνου και δυο άτομα υδρογόνου, ενώ του θειούχου σιδήρου ένα άτομο σιδήρου και ένα άτομο θείου.

2.2 Η δομή του ατόμου.

Σύμφωνα με τα σημερινά επιστημονικά δεδομένα, το άτομο οποιουδήποτε στοιχείου αποτελείται από τον **πυρήνα**, που καταλαμβάνει το κέντρο του ατόμου, και από τα **πλανητικά ηλεκτρόνια**, που διαγράφουν γύρω από τον πυρήνα ελλειπτικές τροχιές.

Το άτομο κάθε στοιχείου, αν αυτό θεωρηθεί ελεύθερο, δηλαδή χωρίς να δέχεται επιδράσεις από το περιβάλλον, περιλαμβάνει ορισμένο αριθμό ηλεκτρονίων. Ο αριθμός των ηλεκτρονίων αυτών καλείται **ατομικός αριθμός** του στοιχείου.

Ο πυρήνας αποτελείται από δυο ειδών σωματίδια, τα **πρωτόνια** και τα **νετρόνια** ή **ουδετερόνια**. Τα δυο μαζί ονομάζονται **νουκλεόνια**. Ο αριθμός των πρωτονίων του ατόμου είναι ίσος με τον αριθμό των ηλεκτρονίων του. Ο αριθμός των νουκλεονίων του ατόμου ονομάζεται **μαζικός αριθμός** αυτού.

Στη φύση, πολλά από τα στοιχεία είναι ισότοπα. Τα ισότοπα του ίδιου στοιχείου έχουν τον ίδιο ατομικό αριθμό με αυτό, διαφορετικό όμως μαζικό αριθμό. Συνεπώς έχουν τον ίδιο αριθμό ηλεκτρονίων και επομένως τις ίδιες ακριβώς χημικές ιδιότητες. Επίσης έχουν τον ίδιο αριθμό πρωτονίων, αλλά διαφορετικό αριθμό νετρονίων.

Η μάζα του ηλεκτρονίου είναι πολύ μικρή, αν συγκριθεί με τη μάζα του πρωτονίου ή του νετρονίου (1:1836).

Αυτό σημαίνει ότι η μάζα του ατόμου είναι συγκεντρωμένη στον πυρήνα του, είναι δε τόσο μεγαλύτερη, όσο ο μαζικός αριθμός του στοιχείου είναι μεγαλύτερος. Η μάζα του πρωτονίου σε ήρεμη κατάσταση είναι: $1,672 \cdot 10^{-24}$ g.

Το ηλεκτρόνιο φέρει το στοιχειώδες στη φύση αρνητικό ηλεκτρονικό φορτίο ($1,6 \cdot 10^{-19}$ κουλόμ), το πρωτόνιο φέρει το στοιχειώδες θετικό φορτίο (ίσο και αντίθετο από το φορτίο του ηλεκτρονίου), το δε νετρόνιο δεν φέρει κανένα ηλεκτρικό φορτίο (είναι ηλεκτρικά ουδέτερο).

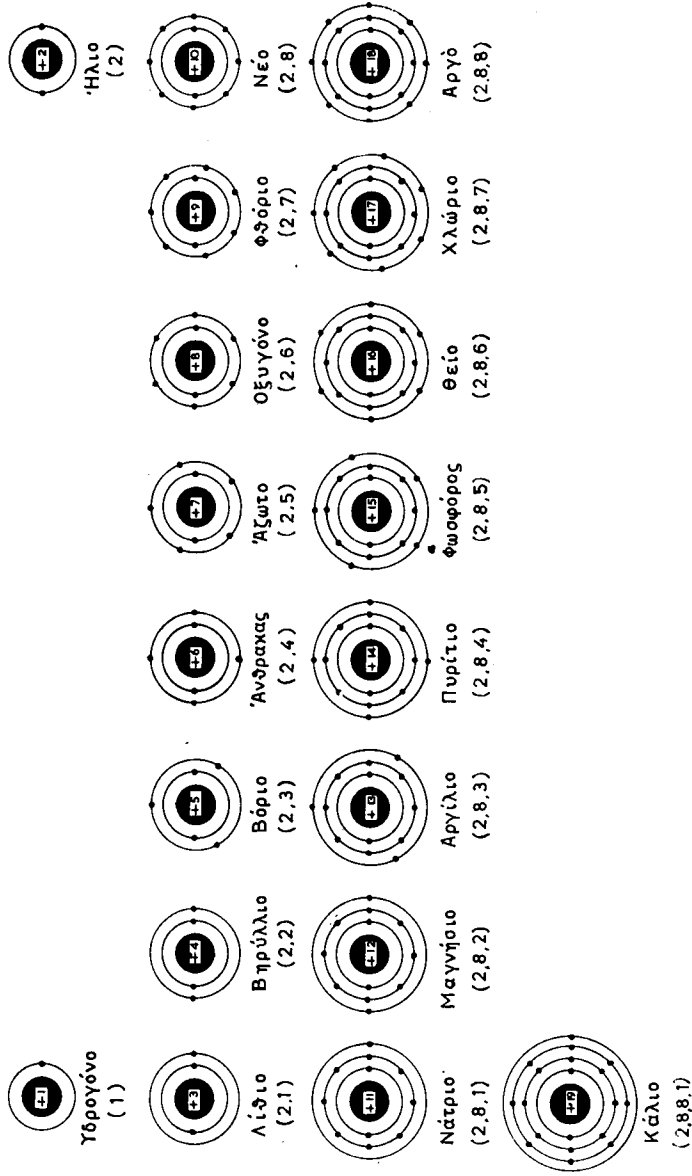
Αφού ο αριθμός των ηλεκτρονίων ενός ατόμου είναι ίσος με τον αριθμό των πρωτονίων του ίδιου ατόμου, έπεται ότι το άτομο, όταν βρίσκεται ελεύθερο, παρουσιάζεται ως **ηλεκτρικά ουδέτερο**.

Το υδρογόνο, το ελαφρύτερο από όλα τα στοιχεία, έχει το πιο απλό άτομο. Ο πυρήνας του ατόμου του αποτελείται από ένα πρωτόνιο, ενώ γύρω από τον πυρήνα και σε πολύ μεγάλη απόσταση, συγκριτικά με τις διαστάσεις του, περιστρέφεται σε ελλειπτική τροχιά ένα ηλεκτρόνιο. Το ουράνιο, το βαρύτερο από όλα τα στοιχεία, έχει πυρήνα με 92 πρωτόνια και 146 νετρόνια. Γύρω από τον πυρήνα και σε επτά **ηλεκτρονικούς φλοιούς** περιστρέφονται 92 ηλεκτρόνια.

Στο σχήμα 2.2 φαίνεται η συγκρότηση ατόμων ορισμένων στοιχείων.

2.3 Σχηματισμός των χημικών ενώσεων. Ατομικοί δεσμοί.

Όπως είναι γνωστό, τα διάφορα απλά στοιχεία αντιδρούν μεταξύ τους κάτω από κατάλληλες συνθήκες και σχηματίζουν νέα σώματα, που ονομάζομε **χημικές ενώσεις**. Εξαίρεση αποτελούν τα ευγενή αέρια, όπως είναι το ήλιο, το



Σχ. 2.2.

Παραστατική διάταξη των ηλεκτρονίων και πρωτονίων των ατόμων ορισμένων στοιχείων. Οι αριθμοί μέσα σε παρενθέσεις δείχνουν τον αριθμό των ηλεκτρονίων κάθε ηλεκτρονικού φλοιού του ατόμου, όπως π.χ. το αργόλιο (2, 8, 3) έχει δυο ηλεκτρόνια στον εσωτάτο ηλεκτρονικό φλοιό, οκτώ ηλεκτρόνια στον ενδιάμεσο και τρία ηλεκτρόνια στον εξώτατο ηλεκτρονικό φλοιό.

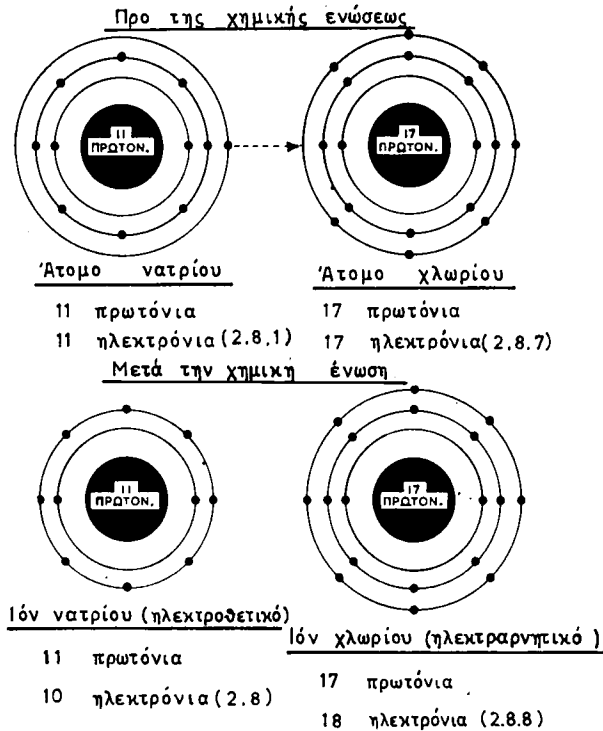
νέο, το αργό, και άλλα, τα οποία είναι χημικώς αδρανή, δηλαδή δεν σχηματίζουν χημικές ενώσεις. Άλλωστε τα ευγενή αέρια έχουν στον εξώτατο ηλεκτρονικό φλοιό τους οκτώ ηλεκτρόνια (σχ. 2.2) με εξαίρεση μόνο το ήλιο, που έχει δυο ηλεκτρόνια. Πιστεύεται ότι ο αριθμός των οκτώ ηλεκτρονίων του εξώτατου ηλεκτρονικού φλοιού αποτελεί την αιτία, που εξασφαλίζει τη σταθερότητα των στοιχείων αυτών από άποψη χημικής συμπεριφοράς. Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι **για να γίνει μια χημική ένωση, θα πρέπει ο εξώτατος ηλεκτρονικός φλοιός των ατόμων, τα οποία πρόκειται να αντιδράσουν, να μην έχει τη διαμόρφωση των ευγενών αερίων, δηλαδή οκτώ ηλεκτρόνια. Όταν όμως τα άτομα αποκτήσουν οκτώ ηλεκτρόνια στον εξώτατο ηλεκτρονικό φλοιό τους, τότε διακόπτεται κάθε περαιτέρω αντίδραση μεταξύ τους.** Επομένως οι χημικές ιδιότητες των στοιχείων εξαρτώνται από τον αριθμό των ηλεκτρονίων, που έχει ο εξώτατος ηλεκτρονικός φλοιός τους και αυτό συμβαίνει, γιατί τα ηλεκτρόνια αυτά είναι και τα λιγότερο δεσμευμένα από τον πυρήνα, έρχονται δε πρώτα σε επαφή με τα ηλεκτρόνια των ξένων ατόμων. Ο εξώτατος ηλεκτρονικός φλοιός ονομάζεται **φλοιός σθένους** του στοιχείου, τα δε ηλεκτρόνια του φλοιού αυτού **ηλεκτρόνια σθένους**.

Κατά τις διάφορες αντιδράσεις, το άτομο προσλαμβάνει ή αποβάλλει ηλεκτρόνια, ώσπου ο φλοιός σθένους του συμπληρωθεί με οκτώ ηλεκτρόνια, οπότε το άτομο εμφανίζεται ως **ión**. Τα στοιχεία που έχουν τάση να προσλαμβάνουν ηλεκτρόνια (εκείνα που έχουν στο φλοιό σθένους 7, 6, 5 ή και 4 καμιά φορά ηλεκτρόνια), και να γίνονται αρνητικά ιόντα, τα ονομάζουμε **ηλεκτραρνητικά**. Τα στοιχεία που έχουν τάση να αποβάλλουν ηλεκτρόνια (εκείνα που έχουν στο φλοιό σθένους 1, 2, 3 ή και 4 καμιά φορά ηλεκτρόνια) και να παρουσιάζονται ως θετικά ιόντα, ονομάζονται **ηλεκτροθετικά**. Σύμφωνα με όσα αναφέραμε, παρατηρούμε γενικά ότι τα άτομα συνδέονται μεταξύ τους με τρεις τρόπους, δημιουργούνται δηλαδή τρία είδη **ατομικών δεσμών** όπως λέμε:

- α) Ο ετεροπολικός ή ιοντικός δεσμός.
- β) Ο ομοιοπολικός δεσμός.
- γ) Ο μεταλλικός δεσμός.

1) Ο ετεροπολικός ή ιοντικός δεσμός.

Το είδος αυτό ατομικού δεσμού το συναντάμε στα στερεά σώματα της Ανόργανης Χημείας και παρατηρείται όταν ηλεκτροθετικά στοιχεία (μέταλλα) συναντήσουν ηλεκτραρνητικά (αμέταλλα). Στην περίπτωση αυτή τα άτομα του ηλεκτροθετικού στοιχείου αποβάλλουν τα ηλεκτρόνια σθένους, ενώ τα άτομα του ηλεκτραρνητικού στοιχείου τα προσλαμβάνουν έτσι, ώστε ο φλοιός σθένους τους να αποκτήσει δομή ευγενούς αερίου. Σαν παράδειγμα αναφέρουμε το χλωριούχο νάτριο. Το νάτριο είναι μέταλλο, δηλαδή ηλεκτροθετικό στοιχείο με ένα ηλεκτρόνιο σθένους. Το χλώριο είναι μέταλλο με 7 ηλεκτρόνια σθένους. Κατά το σχηματισμό του χλωριούχου νατρίου το ένα ηλεκτρόνιο σθένους του νατρίου συμπληρώνει τα επτά ηλεκτρόνια σθένους του χλωρίου. Έτσι, όπως φαίνεται και στο σχήμα 2.3α, ο φλοιός σθένους και των δυο ατόμων (του νατρίου και του χλωρίου) είναι συμπληρωμένος με οκτώ ηλεκτρόνια, ακόμα δε το άτομο του νατρίου έχει γίνει θετικό ίόν, γιατί έχει



Σχ. 2.3α.

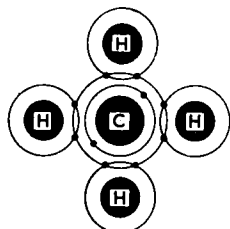
Σχηματική παράσταση του ετεροπολικού δεσμού των ιόντων νατρίου και χλωρίου κατά το σχηματισμό του χλωριούχου νατρίου.

χάσει ένα ηλεκτρόνιο, και το άτομο του χλωρίου αρνητικό ιόν, γιατί έχει προσλάβει ένα ηλεκτρόνιο. Τα δυο αυτά ιόντα έλκονται μεταξύ τους γιατί έχουν ηλεκτρικό φορτίο αντίθετου σημείου.

2) Ο ομοιοπολικός δεσμός.

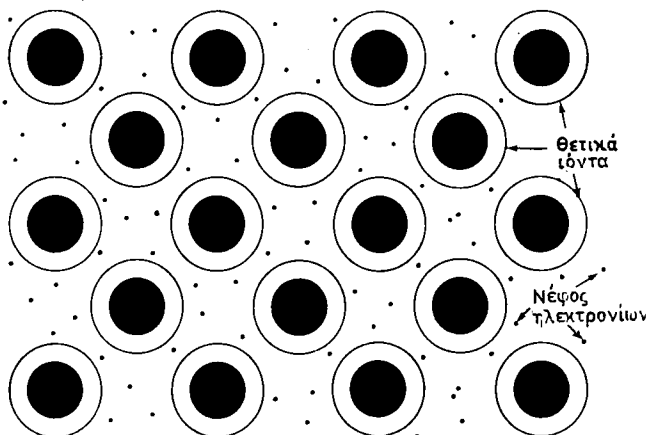
Το είδος αυτό του δεσμού το συναντάμε κυρίως στις οργανικές ενώσεις. Σύμφωνα μ' αυτόν δεν παρατηρείται μεταφορά ηλεκτρονίων από το άτομο του ενός στοιχείου στο άτομο του άλλου. Αντί γι' αυτό, ορισμένος αριθμός ηλεκτρονίων σθένους είναι κοινός μεταξύ των δυο ατόμων. Έτσι είναι δυνατόν και τα δυο άτομα να έχουν συμπληρωμένο το φλοιό σθένους τους.

Στο μόριο του μεθανίου τέσσερα άτομα υδρογόνου αντιδρούν με ένα άτομο άνθρακα. Το άτομο του άνθρακα έχει τέσσερα ηλεκτρόνια σθένους, συνδέεται δε με τέσσερα άτομα υδρογόνου με κοινά ζεύγη ηλεκτρονίων (σχ. 2.3β). Έτσι συμπληρώνονται τα οκτώ ηλεκτρόνια του φλοιού σθένους του άνθρακα, ενώ συγχρόνως κάθε άτομο υδρογόνου με το να δανείζεται ένα ηλεκτρόνιο σθένους από τον άνθρακα παρουσιάζει φλοιό σθένους με δυο ηλεκτρόνια, όπως συμβαίνει και για το ευγενές αέριο ήλιον.



Σχ. 2.36.

Σχηματική παράσταση του ομοιοπολικού δεσμού κατά το σχηματισμό του μεθανίου.



Σχ. 2.3γ.

Σχηματική παράσταση του μεταλλικού δεσμού.

3) Ο μεταλλικός δεσμός.

Το δεσμό αυτό τον συναντάμε στα μέταλλα και τα κράματα. Τα ηλεκτρόνια σθένους στην περίπτωση αυτή δεν συγκρατούνται σταθερά από τα άτομα, αλλά μπορούν να μετακινούνται ελεύθερα σε όλη τη μάζα του μετάλλου. Έτσι, τα ηλεκτρόνια σθένους δεν σχετίζονται αποκλειστικά πια με ορισμένο άτομο, αλλά κατανέμονται έτσι, ώστε να σχηματίζεται **νέφος ηλεκτρονίων** (σχ. 2.3γ), αρνητικά θέτεια φορτισμένο και κοινό για όλα τα ηλεκτροθετικά ιόντα του μετάλλου.

Το γεγονός ότι τα ηλεκτρόνια σθένους μετακινούνται σχετικά ελεύθερα, μπορεί να εξηγήσει την **υψηλή ηλεκτρική και θερμική αγωγιμότητα** των μετάλλων. Ο μεταλλικός δεσμός δικαιολογεί επίσης και την **πλαστικότητα** των μετάλλων (παράγρ. 2.4), γιατί στρώματα θετικών ιόντων, αν επιδράσουν επάνω τους δυνάμεις, μπορούν να ολισθήσουν σε άλλα γειτονικά στρώματα ιόντων, χωρίς να διαταραχθεί σοβαρά η σχέση της θέσεώς τους ως προς το νέφος ηλεκτρονίων, από το οποίο δανείζονται τα ηλεκτρόνια.

2.4 Ορισμός και ιδιότητες των μετάλλων.

Βασικά τα στοιχεία διακρίνονται σε δυο μεγάλες κατηγορίες: στα **μέταλλα** και στα **αμέταλλα**. Αυτή η διάκριση των στοιχείων βασίζεται σε ορισμένες φυσικές και χημικές ιδιότητες που χαρακτηρίζουν τη μία ή την άλλη κατηγορία στοιχείων.

Είναι δυνατόν όμως, σε ορισμένες περιπτώσεις αμετάλλων, αυτά να έχουν μια ή περισσότερες χαρακτηριστικές ιδιότητες μετάλλου, όπως π.χ. ο άνθρακας, που αν και αμέταλλο είναι καλός αγωγός του ηλεκτρισμού, πράγμα που αποτελεί χαρακτηριστική ιδιότητα των μετάλλων. Γενικά μπορούμε να δώσουμε

τον παρακάτω ορισμό του μετάλλου:

Μέταλλο ονομάζεται το στοιχείο, που λαμβάνεται από μεταλλεύματα, αφού προκληθεί μεταλλουργική επεξεργασία και έχει ειδική λάμψη — μεταλλική όπως τη λέμε — και ως επί το πλείστον εξαιρετικές ιδιότητες αντοχής και πλαστικότητας, όπως θα δούμε αμέσως τώρα.

Αναλυτικότερα, οι χαρακτηριστικές ιδιότητες των μετάλλων σε στερεά κατάσταση είναι οι εξής (με την προϋπόθεση όμως ότι δεν είναι αποκλειστικές για όλα τα μέταλλα):

- α) Στερεά κατάσταση στη συνηθισμένη θερμοκρασία.
- β) Χαρακτηριστική μεταλλική λάμψη.
- γ) Αργυρόφαιος χρωματισμός εκτός από το χαλκό (ερυθρός - κόκκινος) και το χρυσό (κίτρινος).
- δ) Αδιαφάνεια.
- ε) Σχετικά υψηλό ειδικό βάρος.
- στ) Υψηλό σημείο τήξεως.
- ζ) Υψηλή ηλεκτρική θερμική αγωγιμότητα.
- η) Μεγάλη μηχανική αντοχή.
- θ) Πλαστικότητα, η οποία επιτρέπει τη μηχανική τους μορφοποίηση εν θερμώ ή εν ψυχρώ. Το κάθε ένα δηλαδή από τα μέταλλα είναι σε διαφορετικό βαθμό **ελατό**. Αυτό σημαίνει ότι είναι δυνατόν με σφυρηλασία ή σε έλαστρα να παίρνουν τη μορφή φύλλων ή ελασμάτων. Είναι επίσης, σε διαφορετικό πάλι βαθμό το καθένα, **δλκιμα**. Μπορούν δηλαδή σε συρματοποιητικές π.χ. μηχανές να τραθηχθούν (ελκυσθούν) και να πάρουν τη μορφή σύρματος.
 - ι) Είναι σώματα κρυσταλλικά (παράγρ. 2.5).
 - ια) Παρουσιάζουν ευκολία στο να σχηματίζουν κράματα.
 - ιβ) Μαζί με οξέα σχηματίζουν άλατα, και με τη ρίζα — OH (υδροξύλιο) σχηματίζουν υδροξειδία.
 - ιδ) Έχουν σχετικά υψηλό κόστος παραγωγής.

Στον Πίνακα 2.4.1 αναγράφονται οι φυσικές σταθερές των κυριοτέρων μετάλλων.

2.5 Η κρυσταλλική δομή των μετάλλων.

Στην παράγραφο αυτή θα ασχοληθούμε με την κρυσταλλική δομή των μετάλλων, πράγμα που έχει μεγάλη σημασία για τη μελέτη τους.

1) Κρυσταλλικά πλέγματα.

Όπως αναφέραμε και παραπάνω (παράγρ. 2.4), τα μέταλλα έχουν κρυσταλλική δομή και αυτό αποτελεί θεμελιώδη ιδιότητά τους. Διακρίνομε γενικά δυο είδη σωμάτων: τα **άμορφα** και τα **κρυσταλλικά**. Στα άμορφα σώματα τα άτομα διατάσσονται με τρόπο ακανόνιστο και παίρνουν θέσεις, οι οποίες δεν έχουν καμιά σχέση με τις θέσεις των γειτονικών τους ατόμων. Στα κρυσταλλικά όμως σώματα τα άτομα (ή καλύτερα τα θετικά ιόντα για τα μέταλλα) διατάσσονται στο χώρο έτσι, ώστε να ακολουθούν ορισμένη κανονική γεωμετρική μορφή. Η διάταξη αυτή των ατόμων των κρυσταλλικών σωμάτων δεν είναι η ίδια, αλλά ποικίλλει ανάλογα με το είδος του σώματος. Η διάταξη των ατόμων των

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.4.1.

Οι φυσικές σταθερές των κυριότερων μετάλλων

Μέταλλο	Χημικό σύμβολο	Ατομικό βάρος (άνθρακας = 12.000)	Ειδικό βάρος [g/cm ³]	Σημείο τήξεως [°C]	Σχετική ηλεκτρική αγωγιμότητα (άργυρος = 100)
Αντιμόνιο	Sb	121,750	6,6	631	3,6
Αργίλιο (Αλουμίνιο)	Al	26,980	2,7	660	63
Άργυρος	Ag	107,870	10,5	961	100
Βανάδιο	V	50,942	6,1	1860	5
Βολφράμιο	W	183,850	19,3	3410	14
Κάδμιο	Cd	112,400	8,6	321	24
Κασσίτερος	Sn	118,690	7,3	232	14
Κοβάλτιο	Co	58,933	8,9	1495	17
Μαγνήσιο	Mn	54,938	7,4	1245	16
Μαγγάνιο	Mg	24,312	1,7	650	39
Μολυβδαίνιο	Mo	95,94	10,2	2620	18
Μόλυβδος	Pb	207,690	11,3	327	8,4
Νικέλιο	Ni	58,710	8,9	1453	13
Σίδηρος	Fe	55,847	7,9	1537	17
Τιτάνιο	Ti	47,900	4,5	1668	14
Χαλκός	Cu	63,540	9,0	1083	98
Χρυσός	Au	196,967	19,3	1063	77
Χρώμιο	Cr	52,010	7,2	1890	16
Ψευδάργυρος	Zn	65,370	7,1	420	30

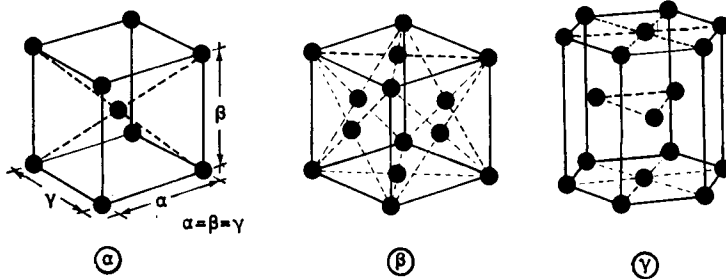
κρυσταλλικών σωμάτων στο χώρο αποτελεί αυτό που ονομάζουμε **κρυσταλλικό πλέγμα**.

Υπάρχουν 14 τύποι κρυσταλλικών πλεγμάτων. Τα περισσότερα όμως από τα μέταλλα κρυσταλλώνονται κατά τρία απλά και με μεγάλη συμμετρία κρυσταλλικά πλέγματα (σχ. 2.5α) που είναι τα εξής:

- α) Το χωροκεντρωμένο κυβικό.
- β) Το ενδοκεντρωμένο κυβικό.
- γ) Το μέγιστης πυκνότητας εξαγωγικό.

Όταν μελετάμε τα κρυσταλλικά αυτά πλέγματα, θεωρούμε ότι τα άτομα είναι στερεές σφαίρες, χωρίς να λαμβάνομε υπόψη μας την υπόλοιπη ατομική δομή, δηλαδή τα ηλεκτρόνια.

Στο **χωροκεντρωμένο κυβικό πλέγμα** τα κέντρα βάρους των ατόμων (σφαιρών) καταλαμβάνουν τις κορυφές και το γεωμετρικό κέντρο του «στοιχειώ-



Σχ. 2.5α.

Οι τρεις βασικοί τύποι κρυσταλλικών πλεγμάτων των μετάλλων: α) Χωροκεντρωμένο κυβικό κρυσταλλικό πλέγμα: Βανάδιο, μολυβδαίνιο, βολφράμιο, α-σίδηρος, δ-σίδηρος, α-χρώμιο κλπ. β) Εδροκεντρωμένο κυβικό κρυσταλλικό πλέγμα: Χαλκός, άργυρος, χρυσός, αργίλιο, μόλυβδος, γ-σίδηρος, β-χρώμιο, β-κοβάλτιο, β-νικέλιο κλπ. γ) Μέγιστης πυκνότητας εξαγωνικό κρυσταλλικό πλέγμα: Βηρύλλιο, μαγνήσιο, ψευδάργυρος, κάδμιο, α-κοβάλτιο, α-νικέλιο κλπ.

δους κυττάρου» (στοιχειώδους κύβου) του πλέγματος. Σε κάθε στοιχειώδες κύτταρο αντιστοιχούν δυο άτομα. Πολλά στοιχειώδη κύτταρα αποτελούν το πλέγμα.

Στο **εδροκεντρωμένο κυβικό πλέγμα** τα κέντρα βάρους των ατόμων καταλαμβάνουν τις κορυφές και τα γεωμετρικά κέντρα των εδρών του στοιχειώδους κύβου του πλέγματος. Σε κάθε στοιχειώδη κύβο αντιστοιχούν τέσσερα άτομα στην περίπτωση αυτή.

Στο **μέγιστης πυκνότητας εξαγωγικό κρυσταλλικό πλέγμα** τα κέντρα βάρους των ατόμων διατάσσονται, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.5α(γ). Σε κάθε στοιχειώδες κύτταρο αντιστοιχούν έξι άτομα.

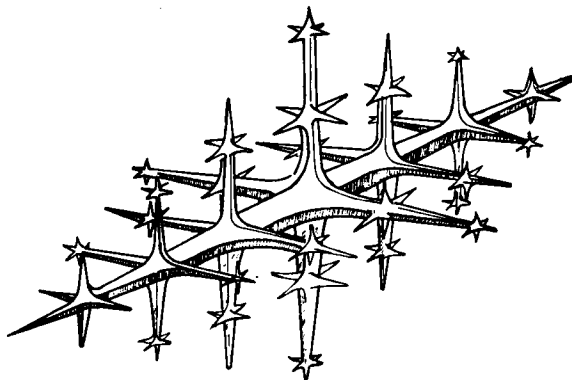
2) Η στερεοποίηση (ή κρυστάλλωση) των μετάλλων.

Με τις γνώσεις που έχουμε αποκτήσει μέχρι τώρα για την κρυσταλλική δομή των μετάλλων, ας παρακολουθήσουμε τον τρόπο, με τον οποίο ένα καθαρό μέταλλο «στερεοποιείται ή κρυσταλλώνεται», αποκτά δηλαδή την κρυσταλλική του δομή από την υγρή του κατάσταση (τήγμα).

Όταν αρχίσει το τήγμα να αποψύχεται (με αφαίρεση θερμότητας) και αποκτήσει ορισμένη θερμοκρασία που είναι χαρακτηριστική για κάθε καθαρό μέταλλο (σημείο πήξεως ή τήξεως, γιατί και η μια και η άλλη γίνονται στην ίδια θερμοκρασία), τότε αρχίζει η στερεοποίησή του. Αρχικά σχηματίζεται στη μάζα του τήγματος μικροσκοπικός κρύσταλλος, αμέσως δε μετά, αφού συνεχίζουμε την απόψυξη, σχηματίζονται και άλλοι μικροσκοπικοί κρύσταλλοι σε τυχαίες θέσεις, οι οποίοι ονομάζονται **φύτρα** ή **κέντρα κρυσταλλώσεως**.

Στις θέσεις που έχουν δημιουργηθεί φύτρα, αρχίζει ο σχηματισμός της κρυσταλλικής δομής με προσθήκη ατόμων σε θέσεις που καθορίζονται επακριβώς από το είδος του κρυσταλλικού πλέγματος του συγκεκριμένου μετάλλου.

Εφόσον η στερεοποίηση συνεχίζεται, στα φύτρα προσθέτονται και άλλα



Σχ. 2.56.
Μορφή δένδριτη.

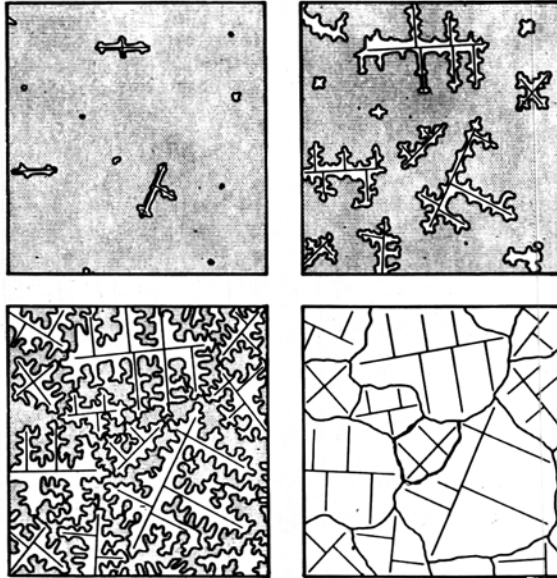
άτομα, αρχίζουν δε να σχηματίζονται κρύσταλλοι, ενώ στις άλλες νέες τυχαίες θέσεις δημιουργούνται νέα φύτρα, των οποίων ο αριθμός περιορίζεται, καθώς η απόψυξη προχωρεί. Οι κρύσταλλοι αυτοί έχουν μορφή *δένδριτών*, δηλαδή κρυσταλλικών σκελετών από τη σπονδυλική στήλη των οποίων εκφύονται κλάδοι. Από αυτούς τους κλάδους φυτρώνουν άλλοι δευτερεύοντες κλάδοι και ούτω καθ' εξής (σχ. 2.56). Οι κλάδοι των δένδριτών συνεχίζουν να αναπτύσσονται, ώσπου να καταληφθεί ο χώρος μεταξύ τους από στερεοποιημένο μέταλλο.

Εν τω μεταξύ οι εξωτερικοί κλάδοι των δένδριτών κατά την ανάπτυξή τους εφάπτονται με κλάδους άλλων γειτονικών δένδριτών, που έχουν αναπτυχθεί ανεξάρτητα από άλλα φύτρα. Έτσι, στις θέσεις επαφής των κλάδων διαφορετικών δένδριτών εμποδίζεται η περαιτέρω ανάπτυξη. Ο τρόπος αυτός της δημιουργίας των κρυστάλλων κατά τη στερεοποίηση μετάλλων εξηγεί το ακανόνιστο γενικά σχήμα τους. Στο σχήμα 2.5γ φαίνεται σχηματικά η πορεία της στερεοποιήσεως μετάλλου.

Όταν συμπληρωθεί η στερεοποίηση, το μέταλλο αποτελείται από *κόκκους* ή *κρυσταλλίτες*. Το μέταλλο δηλαδή δεν απαρτίζεται από συνεχές κρυσταλλικό πλέγμα (μονοκρύσταλλος), αλλά από πολλούς κρυσταλλίτες, που σχηματίζονται, όπως αναφέραμε, κατά τη στερεοποίηση με ιδιαίτερο όμως ο καθένας προσανατολισμό.

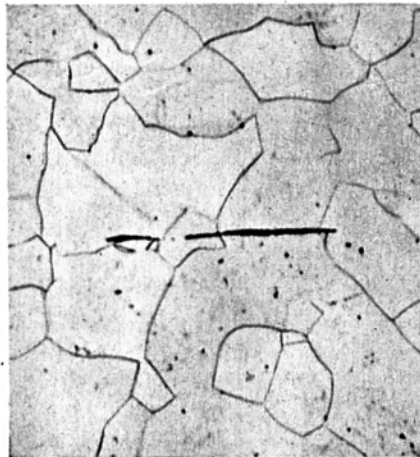
Οι επιφάνειες επαφής των δένδριτών αποτελούν τα «όρια των κόκκων». Στη μικροφωτογραφία του σχήματος 2.5δ δίνεται η κρυσταλλική δομή σφυρήλατου σιδήρου του εμπορίου, όπως φαίνεται στο κρυσταλλικό μικροσκόπιο (παράγρ. 17.2). Τα μέταλλα τα οποία στερεοποιούνται με τον τρόπο που αναφέραμε, ονομάζονται *πολυκρυσταλλικά*.

Τα μέταλλα δεν είναι συνήθως απόλυτα καθαρά, αλλά περιέχουν διάφορες ακαθαρσίες, όπως είναι το θειάφι, ο φωσφόρος και άλλες (παράγρ. 20.3 για τους χάλυβες). Οι ακαθαρσίες αυτές καταλαμβάνουν τα όρια των κόκκων, γιατί έχουν την τάση να παραμένουν στο μέταλλο, που στερεοποιείται τελευταίο. Η



Σχ. 2.5γ.

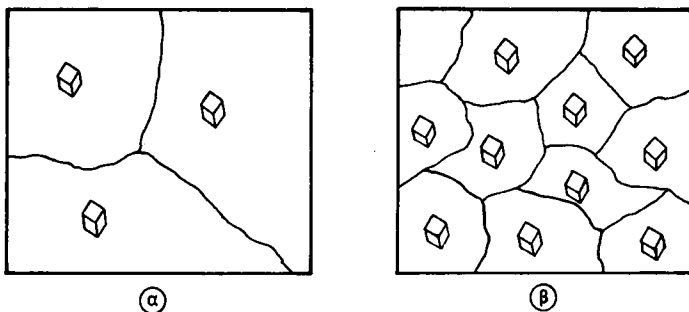
Σχηματική παράσταση εξελίξεως της στερεοποίησης μετάλλου.



Σχ. 2.5δ.

Μικρογραφία σφυρήλατου σιδήρου (Μεγέθυνση $\times 250$).

παρουσία των ακαθαρσιών επηρεάζει σημαντικά τις ιδιότητες του μετάλλου. Επειδή είναι διαφορετικός ο προσανατολισμός των ατόμων του μετάλλου σε κάθε κόκκο, είναι φανερό ότι τα άτομά του δεν διατάσσονται στα όρια των



Σχ. 2.5ε.

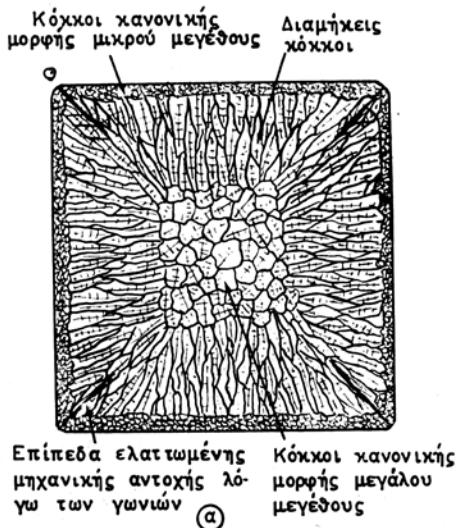
Η επίδραση του αριθμού των φύτρων στο μέγεθος των κόκκων: α) Λίγα φύτρα → μεγάλο μέγεθος κόκκων. β) Πολλά φύτρα → μικρό μέγεθος κόκκων.

κόκκων σύμφωνα με το κανονικό πλέγμα του μετάλλου. Συνεπώς οι κόκκοι θα πρέπει να έχουν διαφορετικές μηχανικές ιδιότητες από εκείνες που έχουν τα όρια των κόκκων. Έχει διαπιστωθεί ότι σε χαμηλές θερμοκρασίες τα όρια των κόκκων έχουν μεγαλύτερη αντοχή από τους κόκκους, ενώ συμβαίνει το αντίθετο σε υψηλές θερμοκρασίες. Από το γεγονός αυτό συμπεραίνουμε ότι ο λεπτόκοκκος κρυσταλλικός ιστός έχει μεγαλύτερη αντοχή σε χαμηλές θερμοκρασίες, γιατί παρουσιάζει εκτεταμένα όρια κόκκων. Αντίθετα ο χονδρόκοκκος έχει μεγαλύτερη αντοχή σε υψηλότερες θερμοκρασίες. Τελικά, το μέγεθος των κόκκων έχει μεγάλη σημασία, όπως θα δούμε, κατά τη διάρκεια των μηχανικών και θερμικών κατεργασιών των μετάλλων και κραμάτων.

Στην πράξη η ταχύτητα αποψύξεως του τήγματος (δηλ. ο αριθμός των βαθμών πτώσεως της θερμοκρασίας στη μονάδα του χρόνου) είναι τόσο υψηλή, ώστε αυτό αποκτά συνήθως μέσα σε λίγο χρόνο θερμοκρασία κατώτερη από το σημείο τήξεως, προτού αρχίσει η στερεοποίηση (υπόψυξη του τήγματος). Στην περίπτωση αυτή δημιουργούνται πολλά φύτρα και μάλιστα τόσο περισσότερα, όσο η υπόψυξη είναι μεγαλύτερη. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία λεπτόκοκκου κρυσταλλικού ιστού, γιατί η ανάπτυξη κάθε δενδρίτη περιορίζεται από την ανάπτυξη των γειτονικών του δενδριτών και έτσι ελαττώνεται το μέγεθος των κόκκων (σχ. 2.5ε).

Εδώ είναι ενδιαφέρον να μελετήσουμε τη μορφή και το μέγεθος των κόκκων που σχηματίζονται κατά τη χύτευση μετάλλου μέσα σε μεταλλικούς κυρίως τύπους (καλούπια). Αυτό συμβαίνει ευρύτατα στην πράξη κατά τη χύτευση μη σιδηρούχων κραμάτων (του αργιλίου, μαγνησίου και ψευδαργύρου), αλλά και σε περιπτώσεις, όπου χρειάζεται επιφανειακή σκληρότητα σε χυτοσιδηρά τεμάχια ή όταν πρόκειται να χυτευθεί μεγάλος αριθμός τεμαχίων.

Ας παρατηρήσουμε το χυτό τεμάχιο του σχήματος 2.5στ(β), το οποίο έχει μεγάλες διαστάσεις και έχει προκύψει από χύτευση μέσα σε μεταλλικό καλούπι. Όταν το τήγμα αρχίζει να στερεοποιείται, προκαλείται σημαντική υπόψυξη, που οφείλεται στη δυνατότητα απαγωγής της θερμότητας από τα τοιχώματα του μεταλλικού καλούπιού. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να δημιουργηθεί μεγάλος αριθμός φύτρων στην περιοχή των τοιχωμάτων του καλούπιού και εξαιτίας αυτού να σχηματισθεί μετά τη στερεοποίηση λεπτόκοκκος κωνικός κρυσταλλικός ιστός. Προχωρώντας όμως προς το κέντρο του τεμαχίου, παρατηρούμε ότι οι δενδρίτες που



Σχ. 2.5στ.

Ο κρυσταλλικός ιστός χυτού τεμαχίου μεγάλων διαστάσεων μέσα σε μεταλλικό τύπο:
α) Σχηματική παράσταση. β) Μακροφωτογραφία.

σχηματίζονται δεν επεκτείνονται πλάγια, γιατί εμποδίζονται από τους γειτονικούς, μπορούν όμως να αναπτυχθούν σε κάθετη κατεύθυνση προς τα τοιχώματα. Έτσι σχηματίζονται **διαμήκεις κόκκοι**. Μετά όμως από ορισμένο χρόνο η θερμότητα του τήγματος ανάγεται προς τα τοιχώματα του τύπου με αργότερο ρυθμό, λόγω της παρουσίας του μετάλλου που έχει ήδη στερεοποιηθεί. Τότε αρχίζει ο σχηματισμός των κόκκων με το συνηθισμένο τρόπο. Οι κόκκοι δηλαδή αναπτύσσονται προς κάθε κατεύθυνση. Έτσι, στον κρυσταλλικό ιστό χυτού τεμαχίου μεγάλου μεγέθους μπορούμε να παρατηρήσουμε τρεις διακεκριμένες ζώνες κόκκων οι οποίες έχουν διαφορετικό σχήμα και μέγεθος, όπως μας δείχνει το σχήμα 2.5στ(α).

Όταν η χύτευση γίνεται μέσα σε άμμο, γενικά δεν σχηματίζονται διαμήκεις κόκκοι. Κατά κανόνα τα χυτά στην περίπτωση αυτή αποτελούνται από μεγάλους κόκκους που αναπτύσσονται προς κάθε κατεύθυνση.