Τα μέταλλα στη ζωή μας

Κωνσταντίνος Σκρέττας
τ. Διευθυντής Ινστιτούτου Οργανικής και Φαρμακευτικής Χημείας/Ε.Ι.Ε.

Κυρίες και Κύριοι,

Σας καλωσορίζω στην πρώτη εκδήλωση αυτού του κύκλου ομιλιών, η οποία έχει οργανωθεί από το Ινστιτούτο Οργανικής και Φαρμακευτικής Χημείας υπό την επιμέλεια της κας Ελένης Γραμματικοπούλου, που την ευχαριστώ θερμώς.

Σκοπός του κύκλου αυτού των ομιλιών είναι να καταστήσει εμφανή σε σας τους ακροατές –και ίσως στο ευρύτερο κοινό– την κοινωνική διάσταση της χημείας και της χημικής έρευνας. Χωρίς υπερβολή, οι ανέσεις που μας παρέχει σήμερα η κοινωνία οφείλονται κατά μέγα μέρος στη χημεία. Η χημεία συνεργάζεται αρμονικά με τις άλλες επιστήμες για να δημιουργήσει εκείνες τις συνθήκες που μας κάνουν πιο άνετη τη ζωή. Αρκεί να αναφέρω τη διατροφή, την υπόδυση, την ένδυση, την κατοικία, την καταπολέμηση των ασθενειών ακόμα και τη διασκέδαση. Είναι δραστηριότητες στις οποίες συμμετέχει η χημεία ενεργά. Η ραγδαία όμως εξέλιξη της χημείας είχε και αρνητικά αποτελέσματα και είναι κάτι που θα πρέπει να τονίσουμε, διότι η τεράστια παραγωγή χημικών προϊόντων συνοδεύεται από παράλληλη παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων ρύπων και χημικών αποβλήτων, των οποίων η απόρριψη προκαλεί αλλοίωση του περιβάλλοντος. Θα πρέπει να πω όμως ότι σήμερα η χημεία έχει λύσει πολλά τέτοια προβλήματα, δηλαδή οι σύγχρονες μέθοδοι παραγωγής χημικών υλών είναι σχεδόν μέθοδοι χωρίς παραπροϊόντα. Συνεπώς βρισκόμαστε σε μια περίοδο της λεγόμενης "πράσινης χημείας".

Τα μέταλλα στη ζωή μας είναι το σημερινό μας θέμα, το οποίο ομολογουμένως είναι πολύ ευρύ. Επομένως η δική μου προσέγγιση στο θέμα είναι εντελώς προσωπική.

Τα περισσότερα αυτοκίνητα που κυκλοφορούν σήμερα στους δρόμους είναι καταλυτικά και καίνε αμόλυβδη βενζίνη. Ο μόλυβδος είναι ένα μεταλλικό στοιχείο, ένα μέταλλο. Η μολυβδούχος βενζίνη όμως που καίνε τα μη καταλυτικά αυτοκίνητα δεν περιέχει φυσικά μεταλλικό μόλυβδο αλλά ένα παράγωγο, μία ένωση του μολύβδου που λέγεται τετρααιθυλιούχος μόλυβδος. Βλέπουμε λοιπόν ότι στην καθημερινή μας ομιλία δεν κάνουμε διάκριση μεταξύ καθαρών ή αυτούσιων μετάλλων και ενώσεων των μετάλλων. Αυτό για εμάς τους χημικούς δεν είναι σωστό. Εάν ακολουθήσω λοιπόν και εγώ την πεπατημένη, θα έλεγα ότι το μέταλλο που χαρακτηρίζει τον ελληνικό πολιτισμό –τουλάχιστον σε ότι αφορά την αρχιτεκτονική και τη γλυπτική– είναι το ασβέστιο. Μα θα μου πείτε ότι το μάρμαρο είναι αυτό που χαρακτηρίζει τον αρχαίο ελληνικό πολιτισμό. Θα ανταπαντούσα ότι το μάρμαρο είναι παράγωγο του ασβεστίου, είναι ανθρακικό ασβέστιο. Βλέπετε λοιπόν ότι δεν μπορούμε να χρησιμοποιούμε αδιάκριτα τα παράγωγα των μετάλλων με το όνομα των μετάλλων.

Ας πάρουμε όμως τα πράγματα από την αρχή κι ας θυμηθούμε τι είναι μέταλλο ή μάλλον ποιες είναι οι ιδιότητες εκείνες που χαρακτηρίζουν τα μεταλλικά στοιχεία, τα μέταλλα. Αλλά κι αν ακόμη δεν θυμόμαστε τις ιδιότητες των μετάλλων από τις εγκύκλιες σπουδές μας, θα έλεγα ότι την αίσθηση περί μετάλλων την έχουμε από την καθημερινή μας εμπειρία. Συχνά μιλάμε για μεταλλική λάμψη και, πράγματι, η στιλπνότητα των μετάλλων είναι μια κοινή τους ιδιότητα. Τα μέταλλα μπορούν επίσης να σφυρηλατηθούν σε λεπτά ελάσματα και τότε λέμε ότι τα μέταλλα είναι ελατά. Επίσης, μια άλλη ιδιότητα των μετάλλων είναι ότι μπορούν να τραβηχτούν σε σύρματα, και τότε λέμε ότι τα μέταλλα είναι όλκιμα. Αλλά πέρα από αυτές τις ιδιότητες, δηλαδή τη μεταλλική λάμψη καθώς και το ελατόν και το όλκιμον των μετάλλων, υπάρχουν και άλλες ιδιότητες πιο θεμελιώδεις, όπως είναι η αγωγιμότητά τους. Τα μέταλλα είναι καλοί αγωγοί της θερμότητας και του ηλεκτρισμού.

Ίσως γίνω λίγο βαρετός επιμένοντας στις ιδιότητες των μετάλλων, αλλά νομίζω ότι είναι αναγκαίο να αναφερθώ στις ιδιότητες αυτές για να κατανοήσουμε πώς και με ποια σειρά μπήκαν τα μέταλλα στην ανθρώπινη κοινωνία. Επανέρχομαι λοιπόν στις ιδιότητες των μετάλλων: εκτός από τις προαναφερθείσες ιδιότητες, υπάρχουν και ιδιότητες ειδικές για το κάθε μέταλλο, δηλαδή ιδιότητες που διακρίνουν το ένα μέταλλο από το άλλο. Σ'αυτό το σημείο θα ήθελα να σας κάνω μια μικρή επίδειξη:

Έχω εδώ μία σιδερένια ράβδο και μία λίμα. Λιμάρω τη μεταλλική ραβδο, αλλά δεν συμβαίνει τίποτα το φαντασμαγορικό. Τώρα παίρνω μία ράβδο ενός μετάλλου που λέγεται δημήτριο –ναι, μην σας εκπλήσει– υπάρχει τέτοιο στοιχείο που λέγεται δημήτριο. Λοιπόν κοιτάξτε τι θα συμβεί....

Όπως βλέπετε, κατά το λιμάρισμα της ράβδου του δημητρίου δημιουργούνται σπίθες. Δηλαδή το δημήτριο όταν μετατραπεί σε πάρα πολύ λεπτά τεμάχια, δηλαδή σε ρινήματα, αυταναφλέγεται. Αυτό είναι μια ιδιορρυθμία του δημητρίου την οποία χρησιμοποιούμε στην καθημερινή μας ζωή. Οι πέτρες των αναπτήρων είναι ή καθαρό δημήτριο ή κράμα δημητρίου με άλλο κατάλληλο μέταλλο.

Τώρα θα ήθελα να δείξω μια άλλη ιδιορρυθμία των μετάλλων, που έχει να κάνει με τη σταθερότητα των μετάλλων απέναντι στην υγρασία και το οξυγόνο:

Εδώ έχω ένα δοχείο με νερό. Ρίχνω μέσα ένα σιδερένιο αντικείμενο. Αυτό το αντικείμενο, τουλάχιστον σε αυτή τη χρονική περίοδο, δεν παθαίνει τίποτα. Γνωρίζουμε όμως από την εμπειρία μας ότι ύστερα από μερικές ημέρες θα σκουριάσει, και ύστερα από χρόνια ή δεκάδες χρόνια θα μετατραπεί σε σκουριά, θα εξαφανιστεί. Υπάρχουν όμως μέταλλα –όπως π.χ ένα μέταλλο που λέγεται λίθιο– που έχουν τελείως διαφορετική συμπεριφορά απέναντι στην υγρασία και το οξυγόνο, κυρίως στην υγρασία. Κοιτάξτε τι θα συμβεί εάν το προσθέσω στο νερό. Το λίθιο μόλις έρθει σε επαφή με το νερό καταστρέφεται πολύ γρήγορα, ενώ συγχρόνως παράγονται φυσαλίδες αερίου. Το αέριο που απελευθερώνεται κατά την ένωση του λιθίου με το νερό είναι υδρογόνο. Πολλά λοιπόν μέταλλα καταστρέφονται αμέσως μόλις έρθουν σε επαφή με το νερό ή με το οξυγόνο. Εάν ρίξω μέσα στο νερό ένα χρυσό αντικείμενο, αυτό το αντικείμενο δεν πρόκειται να αλλοιωθεί στον αιώνα τον άπαντα. Εάν λοιπόν ρωτήσω τώρα το ακροατήριο ποιο μέταλλο από αυτά τα τρία μπήκε πρώτα στη ζωή του ανθρώπου είμαι βέβαιος ότι όλοι θα δώσετε τη σωστή απάντηση, που είναι ο χρυσός. Στη διαφάνεια βλέπετε όσα είπα προηγουμένως, δηλαδή ότι ο σίδηρος καταστρέφεται βραδέως, το λίθιο καταστρέφεται αμέσως και ο χρυσός παραμένει αναλλοίωτος για πάντα. Αυτοί είναι περίπου οι τρεις τρόποι συμπεριφοράς των μετάλλων. Το ασβέστιο, για παράδειγμα, που προανέφερα ανήκει στην κατηγορία του λιθίου, δηλαδή και αυτό αν έρθει σε επαφή με το νερό θα καταστραφεί. Είπαμε λοιπόν ότι το πρώτο μέταλλο που μπήκε στη ζωή του ανθρώπου είναι ο χρυσός και αυτό

είναι πάρα πολύ εύκολο να το κατανοήσουμε. Ας υποθέσουμε λοιπόν ότι αρχικά στην επιφάνεια της γης υπήρχαν όλα τα μέταλλα, τα μεταλλικά στοιχεία σε μεταλλική κατάσταση. Επειδή όμως τα δύο τελευταία δισεκατομμύρια χρόνια η ατμόσφαιρα της γης είναι και υγρή και οξειδωτική, σε αυτή την τεράστια χρονική περίοδο ακόμη και τα μέταλλα σαν το σίδηρο θα είχαν μετατραπεί σε σκουριά και θα έμενε μόνο ο χρυσός ανέπαφος. Γι' αυτό ο χρυσός είναι το μέταλλο που υπάρχει στη φύση όπως λέμε ως αυτοφυές μέταλλο. Σχεδόν όλα τα άλλα μέταλλα είναι υπό μορφή "σκουριάς". Υπάρχουν ενδείξεις ότι ο άνθρωπος άρχισε να χρησιμοποιεί εργαλεία και όπλα πριν από 700.000 χρόνια. Αυτό σημαίνει ότι μπορούσε να διαλογίζεται, να αποταμιεύει εμπειρίες, πράγμα που προϋποθέτει δύο ιδιότητες: παρατηρητικότητα και περιέργεια. Μπορούμε λοιπόν να φανταστούμε τον πρωτόγονο άνθρωπο ή τον άνθρωπο σε αυτό το στάδιο εξέλιξής του, όπου κατά την περιπλάνησή του για την ανεύρεση τροφής παρατήρησε στην κοίτη ενός ρυακιού ή ενός μικρού ποταμού μια "πέτρα" που γυάλιζε. Την πήρε λοιπόν στα χέρια του και διαπίστωσε ότι αυτή η "πέτρα" ήταν ασυνήθιστη, γιατί ήταν πιο βαριά από τις συνηθισμένες πέτρες. Άρχισε λοιπόν να την περιεργάζεται. Την ακούμπησε πάνω σε μια πλατιά πέτρα και πήρε μια άλλη πιο μικρή και άρχισε να την σφυρηλατεί. Διαπίστωσε λοιπόν ότι αυτή η πέτρα μπορεί να μετατραπεί εύκολα σε φύλλο. Άρχισε με αυτό το πρωτόγονο μέσο να της δίνει σχήμα δίσκου, κυκλικό σχήμα. Θα αναρωτηθείτε γιατί. Διότι ο πρωτόγονος άνθρωπος το μόνο γεωμετρικό σχήμα που γνώριζε ήταν ο κύκλος. Πώς; Τις ηλιόλουστες μέρες παρατηρούσε τον ήλιο στο στερέωμα και τις φεγγαρόλουστες νύχτες μερικές φορές πάλι έναν δίσκο στον ουρανό. Άλλωστε, λάτρευε το αστέρι της ημέρας σαν θεότητα. Ο δίσκος λοιπόν αυτός, προπαντώς όταν προσανατολίζονταν προς τον ήλιο, αντανακλούσε το φως του ήλιου. Ο πρωτόγονος άνθρωπος λοιπόν κρατούσε στα χέρια του τον ήλιο, το ζωοδότη ήλιο και θεώρησε αυτό το πράγμα σαν κάτι το υπερφυσικό. Γι' αυτό ενέταξε αυτό το μέταλλο μέσα στις θρησκευτικές του τελετές. Αυτό το σενάριο δεν είναι και τόσο φανταστικό, διότι πολύ πρόσφατα έχουν γίνει ορισμένες ενδιαφέρουσες αρχαιολογικές ανακαλύψεις στις Άνδεις του Περού, όπου είχε αναπτυχθεί ένας περίφημος πολιτισμός, ο πολιτισμός των Ίνκας. Η κοινωνία των Ίνκας, όπως και των Μάγια, παρά την ανεπτυγμένη και μάλιστα γραπτή γλώσσα που είχε αναπτυχθεί στους πολιτισμούς αυτούς, ήταν αμέταλλη. Τα λίγα μέταλλα τα οποία χρησιμοποιούσαν, κυρίως φύλλα χρυσού και ολίγου χαλκού, τα χρησιμοποιούσαν στις θρησκευτικές τους τελετές.

Οι Ίνκας λοιπόν πίστευαν ότι ο χρυσός είναι τα περιττώματα των θεών και –να σας πω– δεν είχαν και πολύ άδικο. Διότι, όλα τα χημικά στοιχεία είναι ας πούμε απόβλητα της καύσης του υδρογόνου. Η περισσότερη μάζα του σύμπαντος είναι υδρογόνο και αυτό το υδρογόνο καίγεται σιγά σιγά ενώ τα "αποκαΐδια" του αποτελούν τα διάφορα στοιχεία, συμπεριλαμβανομένων και των μετάλλων. Αυτά τα φυλλίδια που βλέπετε εδώ του χρυσού και ορισμένα ενσωματωμένα πάνω στο χαλκό χρονολογούνται από το 1410-1090 π.Χ. Φυσικά σε μια κοινωνία περισσότερο ανεπτυγμένη –όπως ήταν η μυκηναϊκή την ίδια εποχή– τα μέταλλα δεν χρησίμευαν μόνο στις θρησκευτικές τελετές, αλλά κάλυπταν και άλλες ανάγκες της ζωής και περισσότερο αισθητικές ή καλλιτεχνικές ανάγκες. Για του λόγου το ασφαλές σάς δείχνω το περίφημο εγχειρίδιο των Μυκηνών, ένα χάλκινο εγχειρίδιο στο οποίο παρά τα 3,5 χιλιάδες χρόνια που έχουν περάσει, ο χαλκός έχει φθαρεί και εκείνο που έμεινε είναι ο ενσωματωμένος χρυσός. Αυτές οι παραστάσεις είναι από χρυσό.

Τώρα θα ήθελα να σας πω με ποια σειρά μπήκαν τα άλλα μέταλλα στις ανθρώπινες κοινωνίες. Με τα σημερινά δεδομένα της επιστήμης γνωρίζουμε ότι ένα μέταλλο όσο πιο εύκολα αντιδρά με την υγρασία ή με το οξυγόνο και μετατρέπεται σε "σκουριά" τόσο πιο δύσκολα μετατρέπεται σε μέταλλο και πάλι. Για να παρασκευάσουμε λοιπόν σήμερα ένα μέταλλο πρέπει να έχουμε μια "σκουριά" και ενέργεια. Έχουμε λοιπόν:

"σκουριά" + ενέργεια = μέταλλο + παραπροϊόντα

Ποια είναι η πιο κοινή μορφή ενέργειας; Ασφαλώς είναι η φωτιά. Έτσι, το μεγάλο άλμα στην παραγωγή μετάλλων έγινε όταν η φωτιά μπήκε για καλά στη ζωή του ανθρώπου. Τώρα το πότε η φωτιά άρχισε να χρησιμοποιείται από τους ανθρώπους για θέρμανση και για την παρασκευή της τροφής, δεν είναι ακριβώς γνωστό. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των ερευνών που γίνονται κυρίως σε σπήλαια της Κίνας, φαίνεται πως η χρήση της φωτιάς έχει ιστορία πολλών δεκάδων χιλάδων ετών. Πάντως η φωτιά στην παρασκευή μετάλλων χρησιμοποιήθηκε πολύ πιο πρόσφατα. Είναι ιστορία 5.000 ετών περίπου. Έτσι λοιπόν μπορούμε να σκεφτούμε το εξής σενάριο:

Βρισκόμαστε στο Λαύριο. Η επιφάνεια του εδάφους είναι καλυμμένη με πέτρες, συνηθισμένες πέτρες, ανάμεσα στις οποίες υπάρχουν και κάτι περίεργες πέτρες γυαλιστερές, έγχρωμες, κ.λπ. Ένας βοσκός ανάβει φωτιά πάνω σε κάτι τέτοιες πέτρες και όταν η φωτιά σβήνει, με έκπληξη ο βοσκός βλέπει ότι ορι-

σμένες πέτρες είχαν εξαφανιστεί και στη θέση τους υπήρχε μια γυαλιστερή μάζα. Την παίρνει λοιπόν τη μάζα αυτή, βαριά και κάπως εύκαμπτη όπως θα ήταν. Το μέταλλο αυτό ήταν μόλυβδος. Η φωτιά ως πηγή ενέργειας είναι πολύ φτωχή και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή μετάλλων τα οποία εύκολα μπορεί να τα ανακτήσει κανείς από τις σκουριές τους. Η φωτιά λοιπόν έχει ορισμένα όρια και περιορίζεται στην παραγωγή μόνο ορισμένων μετάλλων που συμπεριφέρονται όπως ο μόλυβδος. Αυτά είναι ο άργυρος, ο κασσίτερος και ο χαλκός. Τώρα, η παρατήρηση του βοσκού συν τω χρόνω έγινε τέχνη: η μεταλλουργία. Αλλά για να μπορεί κανείς να παράγει μέταλλα από αυτές τις "πέτρες" θα πρέπει να γνωρίζει ποια "πέτρα" όταν καίγεται μας δίνει μόλυβδο και ποια "πέτρα" μας δίνει άργυρο και ποια "πέτρα" μας δίνει χαλκό. Επειδή αυτές οι "πέτρες" λέγονται ορυκτά, οι άνθρωποι έπρεπε να αναπτύξουν γνώσεις ορυκτολογίας και πράγματι οι αρχαίοι είχαν γνώσεις ορυκτολογίας. Ένα ορυκτό του αργύρου είναι ένωση θείου και αργύρου, είναι θειούχος άργυρος. Ο γαλινίτης είναι ορυκτό του μολύβδου και αυτός είναι θειούχος μόλυβδος. Και ο μαλαχίτης είναι ορυκτό του χαλκού αλλά όπου υπάρχει μαλαχίτης από κάτω υπάρχει θειούχος χαλκός. Ο μαλαχίτης έχει ένα πράσινο χρώμα αλλά προέρχεται από την οξείδωση του θειούχου χαλκού. Οι αρχαίοι λοιπόν όταν τελειώσανε οι "πέτρες", τα ορυκτά στην επιφάνεια του Λαυρίου, άρχισαν την εξόρυξη. Ανοίξανε ορύγματα λοιπόν και ψάχνανε για ορυκτά, μεταλλεύματα. Κατά την αρχαιότητα είχανε ανοίξει στοές πολλών εκατοντάδων χιλιομέτρων, νομίζω πάνω από 600 χιλιόμετρα και κατά άλλους και μέχρι 3.000 χιλιόμετρα. Οι αρχαίοι δεν είχαν μόνο γνώσεις ορυκτολογίας αλλά είχαν και γνώσεις γεωλογίας. Πώς το συμπεραίνουμε αυτό; Από το γεγονός ότι τρυπούσαν πετρώματα, γνωρίζοντας ότι κάτω από τα συγκεκριμένα πετρώματα, συνήθως μεγάλου πάχους, υπήρχε μεγάλη πιθανότητα να βρεθούν ορυκτά. Έτσι λοιπόν άρχισε μια παραγωγή μετάλλων κυρίως αργύρου και μολύβδου στην περιοχή του Λαυρίου. Φυσικά ο άργυρος ήταν για τα νομίσματα που έκοβε η Αθήνα αλλά και ο μόλυβδος ήταν χρήσιμος διότι φαίνεται ότι γίνονταν εξαγωγές, κυρίως προς την Ιταλία. Πολλές επαύλεις στην Πομπηία που έχουν αποκαλυφθεί μετά την απομάκρυνση της λάβας έχουν υδραυλικές εγκαταστάσεις από μολυβδοσωλήνες. Οι μεταλλουργικές, λοιπόν, αυτές δραστηριότητες σηματοδοτούν και την έναρξη της βιοτεχνικής τότε, αν όχι βιομηχανικής, ρύπανσης όχι μόνο του χώρου εδώ αλλά της ηπείρου μας και ολόκληρου του πλανήτη. Ας θυμηθούμε λοιπόν τον τρόπο παρασκευής μετάλλων:

Σκουριά + ενέργεια = μέταλλο + παραπροϊόντα

Σε αυτή την εξίσωση υπάρχουν δύο παράγοντες που είναι ρυπογόνοι: η ενέργεια, η φωτιά δηλαδή, και τα παραπροϊόντα. Κατά τη διαδικασία της παραγωγής των μετάλλων, δηλαδή τη λεγόμενη εκκαμίνευση των ορυκτών, φεύγανε από την καμινάδα τα αέρια, τα καυσαέρια, παρασύροντας μικρά τεμάχια από το ορυκτό και άλλα παραπροϊόντα και αυτά τα σωματίδια υπό τις κατάλληλες κλιματολογικές συνθήκες μπορούσαν να μεταφερθούν σε τεράστιες αποστάσεις. Και πράγματι έχουν βρεθεί μολυβδούχοι ρύποι του Λαυρίου και άλλων περιοχών της Μεσογείου στους αιώνιους πάγους της Γροιλανδίας. Αρκεί να σκεφτεί κανείς την τεράστια απόσταση που χωρίζει τη Μεσόγειο από τη Γροιλανδία...

Στη συνέχεια θα ήθελα να αναφερθώ στο πώς διαμορφώνεται η αξία των μετάλλων. Συγκεκριμένα, στην ιστορία του σιδήρου και του αργιλίου, δηλαδή του αλουμινίου. Η "σκουριά" του σιδήρου για να μετατραπεί σε μέταλλο χρειάζεται περισσότερη ενέργεια απ' ότι η "σκουριά" του χαλκού. Έτσι λοιπον, η παραγωγή σιδήρου είναι πολύ δύσκολη υπόθεση ή μάλλον πιο δύσκολη απ' ότι είναι η παραγωγή του χαλκού. Φαίνεται ότι οι πρώτες μικροποσότητες σιδήρου, τουλάχιστον στον ελλαδικό χώρο, παράχθηκαν γύρω στο 1500 π.Χ. Αυτό προκύπτει από τις ανακαλύψεις του Σακελλαράκη κατά τις ανασκαφές στις Αρχάνες της Κρήτης. Εκεί βρέθηκε σκελετός ανδρός, του οποίου ο θάνατος επήλθε την εποχή των σεισμών που κατέστρεψαν την Κνωσσό. Επειδή αυτός ο σκελετός βρέθηκε κοντά σε ένα βωμό όπου υπήρχε και ένας άλλος σκελετός νεότερου ανδρός, αποδίδεται σε ιερέα ο οποίος ήταν έτοιμος να προσφέρει ανθρωποθυσία, κατά πάσα πιθανότητα το γιο του, για να εξευμενίσει προφανώς τα στοιχεία της φύσης. Ο σκελετός αυτός έφερε δακτυλίδι σιδερένιο, δηλαδή ο ιερέας φορούσε δακτυλίδι καμωμένο από το πιο δισεύρετο –άρα και πολυτιμότερο– μέταλλο της εποχής εκείνης.

Η ιστορία του αλουμινίου είναι πάρα πολύ πρόσφατη. Το 8,1% του στερεού φλοιού της γης είναι αλουμίνιο. Παρά το γεγονός αυτό όμως, το αλουμίνιο παρασκευάστηκε πάρα πολύ πρόσφατα. Συγκεκριμένα, σχεδόν καθαρό αλουμίνιο παρασκευάστηκε το 1827. Το 1852 ένα κιλό αλουμινίου στις ΗΠΑ κόστιζε 1.200 ασημένια δολάρια, δηλαδή μία κάσα ασήμι, πολλές φορές πάνω από την αξία του χρυσού. Κατά συνέπεια, αντικείμενα από αλουμίνιο την εποχή εκείνη μπορούσαν να έχουν μόνο οι βασιλείς και οι μεγιστάνες. Με τον εξηλεκτρισμό όμως της βιομηχανίας, βελτιώθηκαν οι μέθοδοι παρασκευής του αργιλίου και το 1886 η τιμή του αλουμινίου έπεσε στα 25 δολάρια ανά κιλό. Σήμερα, φυσικά, το αλουμίνιο –όπως και άλλα μέταλλα– είναι σχετικά φτηνό

μέταλλο, καθότι μεγάλου εμπορικού όγκου. Όπως μεγάλου εμπορικού όγκου είναι βέβαια, ο σίδηρος, ο χαλκός και ο ψευδάργυρος. Αλλά, αυτά τα τρία μέταλλα που προανέφερα ενώ είναι σχετικά ευτελή, εντούτοις είναι ανυπολόγιστης αξίας για το λόγο ότι η ίδια η ζωή βασίζεται πάνω σε αυτά τα μέταλλα. Φυσικά, δεν πρόκειται περί καθαρών μετάλλων αλλά περί ενώσεων των μετάλλων. Θα ήθελα λοιπόν να σας δώσω μερικά στοιχεία για το ρόλο των μετάλλων στον οργανισμό μας ή στο ζωντανό κύτταρο. Για να το κάνω αυτό όμως θα πρέπει να σας αναφέρω τις πολύ βασικές λειτουργίες του ζωντανού κυττάρου, την πρόσληψη θρεπτικών συστατικών, την αύξηση και την αναπαραγωγή. Αλλά πίσω από αυτές τις τρεις λειτουργίες υπάρχει μια πληθώρα βιολογικών διεργασιών, οι οποίες συνιστούν το φαινόμενο της ζωής και φυσικά δεν γνωρίζουμε ακριβώς, ούτε κατανοούμε πλήρως αυτές τις διεργασίες. Έχουμε όμως ορισμένες γνώσεις για το ρόλο των μετάλλων και για τις ουσίες οι οποίες διεξάγουν το φαινόμενο της ζωής, το οποίο κατά βάση είναι ένα φυσικοχημικό φαινόμενο. Τώρα ποιος διεξάγει τη χημεία μέσα στο ζωντανό κύτταρο ή στον οργανισμό: αυτό το κάνουν οι πρωτεΐνες. Οι πρωτεΐνες λοιπόν είναι εκείνες που διεξάγουν όλη τη χημεία μέσα στο ζωντανό κύτταρο ή τον οργανισμό. Για να καταλάβουμε λοιπόν πώς πρωτεΐνες και μέταλλα συνταιριάζονται και συνεργάζονται για να βοηθήσουν ώστε να υπάρχει αυτό που λέμε ζωή, θα ήθελα να σας κάνω μια σύντομη επίδειξη.

Έχω λοιπόν δύο δοχεία με νερό και διαλύω μέσα σ' αυτά μια μικρή ποσότητα ενός άλατος του χαλκού, θειϊκού χαλκού, κοινώς γαλαζόπετρας. Ο χαλκός τώρα, σε αυτή την κατάσταση διάλυσης, περιβάλλεται από μόρια νερού, δηλαδή φοράει ένα «ένδυμα» καμωμένο από μόρια νερού. Παρατηρείτε ότι αυτά τα διαλύματα είναι σχεδόν άχρωμα. Έχουν ένα πάρα πολύ ανεπαίσθητο κυανούν χρώμα. Κοιτάξτε τι θα συμβεί αν προσθέσω αμμωνία. Το διάλυμα έγινε τώρα κυανό και αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα μόρια της αμμωνίας διώξανε τα μόρια του νερού γύρω από το χαλκό και τώρα ο χαλκός φοράει ένα «ένδυμα» καμωμένο από μόρια αμμωνίας. Στο άλλο διάλυμα ρίχνω μια ποσότητα ενός παραγώγου της αμμωνίας, όχι αμμωνία ακριβώς. Βλέπετε λοιπόν ότι αυτή τη φορά το διάλυμα γίνεται ιώδες, παρά το γεγονός ότι και στα δύο διαλύματα έχω χαλκό. Δηλαδή αυτή τη φορά το ιώδες χρώμα οφείλεται στο γεγονός ότι το παράγωγο αυτό της αμμωνίας έδιωξε τα μόρια του νερού γύρω από το χαλκό και τώρα ο χαλκός φοράει «ένδυμα» καμωμένο από το παράγωγο της αμμωνίας. Αυτό τι σημαίνει; Σημαίνει ότι το μέταλλο αλλάζει ιδιότητες ανάλογα με το «ένδυμα» που φοράει. Και όταν λέμε

ιδιότητες εννοούμε ότι μπορεί να κάνει διαφορετικές δουλειές ανάλογα με το «ένδυμα» που φοράει, δηλαδή τα μόρια που πάνε και κολλάνε γύρω από το μέταλλο, τους λεγόμενους συναρμοτές γιατί συναρμόζονται γύρω από το μέταλλο. Θα μπορούσα λοιπόν χονδροειδώς να σας δώσω μια αναλογία για τον συναρμοτή, να τον παρομοιάσω δηλαδή με στρατιωτική στολή. Τη μια φορά ο χαλκός φοράει στολή επιλοχία και έχει τις αρμοδιότητες και δικαιοδοσίες του επιλοχία και την άλλη φοράει στολή συνταγματάρχη και έχει τις δικαιοδοσίες του συνταγματάρχη. Αυτό είναι μεγάλο ευτύχημα για την υπόθεση της ζωής. Διότι μέσα στο ζωντανό κύτταρο υπάρχει μια πληθώρα πρωτεϊνών οι οποίες πρωτεΐνες συναρμόζονται με ένα συγκεκριμένο μέταλλο, και μπορούν να κάνουν πολλές και διάφορες δουλειές. Για να σας το δείξω αυτό, θα ήθελα να σας αναφέρω ορισμένα πολύ στοιχειώδη πράγματα για τη φυσιολογία του σιδήρου, που νομίζω ότι τώρα μπορούμε να την κατανοήσουμε. Ο ανθρώπινος οργανισμός στην ενηλικίωση περιέχει 53 γραμμάρια σίδηρου, δηλαδή ο σίδηρος δεν είναι ιχνοστοιχείο, όπως συμβαίνει για άλλα μέταλλα. Ο χαλκός φερειπείν περιέχεται στον οργανισμό μας σε ποσότητα ενός δεκάτου του γραμμαρίου. Η μεγαλύτερη ποσότητα του σιδήρου βρίσκεται συναρμοσμένη σε μια πρωτεΐνη η οποία λέγεται αιμοσφαιρίνη. Η μεγαλύτερη ποσότητα του σιδήρου είναι λοιπόν πάνω στην αιμοσφαιρίνη. Η αιμοσφαιρίνη τι κάνει; Παραλαμβάνει το οξυγόνο από τις κυψελίδες των πνευμόνων μας και τη μεταφέρει σε μια άλλη πρωτεΐνη που περιέχει και αυτή σίδηρο και λέγεται μυογλοβίνη και βρίσκεται στους περιφερικούς ιστούς, στους μυς δηλαδή. Λοιπόν γίνεται μια σκυταλοδρομία, όπου η σκυτάλη είναι το οξυγόνο, το οποίο παραλαμβάνεται από τη μυογλοβίνη κι έτσι διανέμεται στους άλλους ιστούς. Όντας ο σίδηρος τόσο σημαντικός για τη ζωή, η φύση φρόντισε να αναπτύξει μέθοδο αποταμίευσής του, με σκοπό ο ζωντανός οργανισμός να αντιμετωπίζει τις απώλειες λόγω αιμορραγίας. Η φύση λοιπόν έχει φτιάξει μια περίεργη πρωτεΐνη, σαν ένα πανέρι μέσα στο οποίο αποθέτει ποσότητες σιδήρου. Έτσι, σε περίπτωση ανάγκης, δηλαδή αιμορραγίας, ο οργανισμός παίρνει σίδηρο από τα αποθέματα. Εάν δεν υπάρχει απόθεμα σιδήρου μέσα σ'αυτή την πρωτεΐνη την οποία αποκαλούμε φεριτίνη, ο οργανισμός δεν βάζει μπροστά τον αιμοποιητικό μηχανισμό. Δηλαδή, ο οργανισμός δεν κάνει έργα χωρίς κάποια σκοπιμότητα. Υπάρχουν άτομα τα οποία δεν έχουν μηχανισμό αποταμίευσης του σιδήρου, δηλαδή δεν παράγουν φεριτίνη. Έτσι, τα άτομα αυτά είναι επιρρεπή σε αναιμίες. Υπάρχουν, αντίθετα, άλλα άτομα τα οποία παράγουν υπερβολική ποσότητα φεριτίνης, δηλαδή υπερφορτώνουν τον οργανισμό τους με σίδηρο, με συνέπεια ο υπερβολικός σίδηρος να προ-

καλεί αλλοιώσεις στους ιστούς και κυρίως στην καρδιά και να προκαλεί σοβαρές καρδιοπάθειες.

Ένα μέρος του σιδήρου ανακυκλώνεται και πηγαίνει από την αιμοσφαιρίνη στην αιμογλοβίνη, στη φεριτίνη και σε άλλες πρωτεΐνες που λέγονται κυττοχρώματα. Οι πρωτεΐνες δε αυτές χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά ενέργειας. Ανακεφαλαιώνοντας, οι σιδηροπρωτεΐνες είναι οι εξής: η αιμοσφαιρίνη για τη δέσμευση και μεταφορά του οξυγόνου, η μυογλοβίνη για την παραλαβή οξυγόνου και διανομή στους ιστούς, η φεριτίνη για την αποθήκευση σιδήρου και τα κυττοχρώματα για τη μεταφορά ενέργειας.

Όμως κατά την ανακύκλωση του σιδήρου, κατά την οποία μέρος του σιδήρου ανακατανέμεται ανάμεσα στις σιδηροπρωτεΐνες, μερικές φορές γίνονται λάθη. Αυτή είναι μια ιδιορρυθμία του σιδήρου και τα λάθη αυτά προκαλούν τη δημιουργία ελευθέρων ριζών. Τι είναι όμως οι ελεύθερες ρίζες, για τις οποίες τόσος λόγος γίνεται στις μέρες μας σχετικά με την εμπλοκή τους στην υγεία μας; Είναι μόρια στα οποία τα ακραία άτομα έχουν κάτι σαν «ελεύθερο χεράκι», όπως ο πρώτος και ο τελευταίος χορευτής στον Καλαματιανό. Τα «ελεύθερα χεράκια», που κυρίως βρίσκονται πάνω στο οξυγόνο, πηγαίνουν και αρπάζονται από όπου να 'ναι, απ' όπου βρούνε και συνήθως πηγαίνουν και αρπάζονται από ένζυμα και βιταμίνες. Όταν συμβεί αυτό, οι ελεύθερες ρίζες αναστέλλουν τις κανονικές λειτουργίες των ενζύμων και των βιταμινών και προκαλούνται έτσι νοσηρές καταστάσεις. Η φύση όμως ή μάλλον η ζωή που είναι υπόθεση περίπου 4 εκατομμυρίων ετών μέσα σε αυτό το μεγάλο χρονικό διάστημα, με τα ανθρώπινα πρότυπα, έχει βρει λύσεις και γι' αυτό χρησιμοποιεί το χαλκό. Ο χαλκός, υπό τη μορφή χαλκοπρωτεϊνών, συνεργαζόμενος και με τη βιταμίνη C καταστρέφει αυτές τις ελευθερες ρίζες. Έτσι εδώ βλέπουμε ότι ο χαλκός και ο σίδηρος είναι κάπως ανταγωνιστικοί, αλλά σε άλλες διεργασίες ο χαλκός και ο σίδηρος συνεργάζονται ή μάλλον οι χαλκοπρωτεϊνες και οι σιδηροπρωτεΐνες συνεργάζονται για να παραγάγουν ένα ειδικό μόριο, γνωστό με τα αρχικά ATP που είναι το ακρωνύμιο του αδενοσινοτριφωσφορικού οξέως. Το ATP είναι μόριο στο οποίο αποταμιεύεται μεγάλη ποσότητα ενέργειας. Για το λόγο αυτό το ATP έχει χαρακτηριστεί από τους βιολόγους ως το ενεργειακό νόμισμα με παγκόσμια κυκλοφορία, διότι δεν υπάρχει κύτταρο χωρίς ATP.

Είδαμε λοιπόν πως η φύση με τις πρωτεΐνες και τα μέταλλα λύνει προβλήματα. Δηλαδή κάνει χημεία, διεξάγει χημικές αντιδράσεις μέσα σε πολύ

σύντομο χρονικό διάστημα και υπό πάρα πολύ ήπιες συνθήκες. Ο χημικός λοιπόν προσπαθεί να μιμηθεί τη φύση και χρησιμοποιεί και εκείνος τα μέταλλα, για να κάνει πιο εύκολη τη ζωή του. Πιο εύκολη σημαίνει ότι μια αντίδραση η οποία απαιτεί πολλά χρόνια ίσως και χιλιάδες χρόνια για να ολοκληρωθεί, με τη χρήση των μετάλλων, ολοκληρώνεται μέσα σε ένα λογικό χρονικό διάστημα. Αυτή η διεργασία λέγεται κατάλυση. Πρέπει να πω τώρα ότι οι περισσότερες βιομηχανικές μέθοδοι παραγωγής χημικών υλών είναι καταλυτικές μέθοδοι για προφανείς λόγους. Διότι είναι οικονομία αντί να ολοκληρώνεται μια αντίδραση σε π.χ. εκατό χρόνια χωρίς καταλύτη, με καταλύτη να ολοκληρώνεται σε μερικά λεπτά. Θα ήθελα να σας δώσω ένα παράδειγμα από την πρόσφατη χημική βιβλιογραφία. Είναι συχνά αναγκαίο να προκαλούμε τη διάσπαση του χημικού δεσμού ανάμεσα σε φωσφόρο, οξυγόνο και άνθρακα, αντιδρώντας με νερό. Η διεργασία αυτή που λέγεται υδρόλυση, απαιτεί 8.500 χρόνια και μάλιστα μόνο τα μισά μόρια θα έχουν διασπαστεί σ' αυτή τη χρονική περίοδο. Χρησιμοποιώντας λοιπόν ως καταλύτη μια ουσία που περιέχει δημήτριο, συντομεύομε το χρόνο της χημικής αντίδρασης από τα 8.500 χρόνια στα είκοσι λεπτά. Καταλαβαίνετε λοιπόν ότι χωρίς αυτή τη δυνατότητα της κατάλυσης με τα μέταλλα θα θέλαμε πολλές γενιές χημικών για να τελειώσουν αυτή τη δουλειά, πράγμα που φυσικά θα ήταν ανέφικτο.

Θα ήθελα να τελειώσω τώρα με κάτι που ενδιέφερε εμένα προσωπικά. Δηλαδή με τις τελευταίες επιστημονικές ανακαλύψεις σε ό,τι αφορά την μεταλλική κατάσταση. Φαίνεται ότι δεν έχουμε απλώς μέταλλα και μη μέταλλα ή αμέταλλα. Υπήρξαν επιστήμονες που διατύπωσαν την άποψη ότι οποιοδήποτε στοιχείο υπό τις κατάλληλες συνθήκες –κυρίως πίεσης, μεγάλης πίεσης– μπορούν να αποκτήσουν μεταλλικές ιδιότητες. Αυτό ξεκίνησε από το γεγονός ότι ένας πυρήνας στη γήινη σφαίρα διαμέτρου 3.600 χιλιομέτρων αποτελείται από 90% σίδηρο και 10% υδρογόνο. Όλοι γνωρίζουμε ότι το υδρογόνο είναι ένα αέριο. Επίσης γνωρίζουμε ότι τα μέταλλα σχηματίζουν κράματα, δηλαδή "μίγματα" μετάλλων. Κατά πάσα πιθανότητα, ο πρώτος που υποστήριξε ότι ακόμα και το υδρογόνο υπό μεγάλη πίεση μπορεί να αποκτήσει μεταλλικές ιδιότητες ήταν ο Bernal, το 1935. Συνεπώς το υδρογόνο, εκείνο το 10% στον κεντρικό πυρήνα της γης, επειδή βρίσκεται υπό τρομερά μεγάλη πίεση, ευρίσκεται σε μεταλλική κατάσταση, άρα υπό μορφή κράματος με το σίδηρο. Αυτή λοιπόν η δυνατότητα να μετατρέπει κανείς οποιοδήποτε υλικό, οποιοδήποτε στοιχείο σε μέταλλο έχει αποδειχθεί πολύ πρόσφατα με το υδρογόνο πρώτα, που υπό πάρα πολύ υψηλές πιέσεις απο-

κτά ηλεκτρική αγωγιμότητα. Ακόμη πιο πρόσφατα ανακοινώθηκε η μετατροπή ενός άλατος που λέγεται ιωδιούχο καίσιο, και που είναι ανάλογο προς το μαγειρικό άλας, το οποίο υπό πίεση πολλών τόνων ανά τετραγωνικό εκατοστόμετρο αποκτά και αυτό μεταλλικές ιδιότητες. Βλέπουμε λοιπόν ότι η υπόθεση του Bernal επαληθεύεται, δηλαδή οποιοδήποτε υλικό υπό τις κατάλληλες συνθήκες πίεσης μπορεί να αχθεί στη μεταλλική κατάσταση. Εδώ ο Bernal λειτούργησε όπως λειτουργούν οι ποιητές, που έχουν το χάρισμα να βλέπουν την αλήθεια με τα μάτια της ψυχής.