

Πρόλογος

Ελπίζω να ανοίξω τα μάτια σας και να σας παρουσιάσω έναν συναρπαστικό, διανοητικά και οικονομικά σημαντικό κόσμο, εκείνον της χημείας. Πρέπει να παραδεχτώ πως η χημεία έχει δυσάρεστη φήμη. Οι περισσότεροι τη θυμούνται από τις μέρες του σχολείου σαν ένα αντικείμενο που ήταν σε μεγάλο βαθμό δυσνόητο, πλούσιο σε πληροφορίες αλλά φτωχό σε κατανόηση, δύσσομο, και τόσο απόμακρο από τον πραγματικό κόσμο των γεγονότων και των απολαύσεων που δεν φαινόταν να υπάρχει σημαντικός λόγος για να συμβιβαστεί κανείς με τις ρυπαρές της έννοιες, τα ξόρκια, τις συνταγές και τους κανόνες της. Σε μεταγενέστερες φάσεις της ζωής μας, η φήμη της συχνά γίνεται ακόμα πιο δυσάρεστη, καθώς κανείς συνειδητοποιεί τον περιβαλλοντικό αντίκτυπο των επικίνδυνων χημικών που διαφεύγουν στη φύση και φέρνουν την καταστροφή σε πρασινωπά, σκεπασμένα με τριφύλλι βουκολικά λιβάδια που κατοικούνταν από παπαρούνες που άστραφταν και πεταλούδες που χόρευαν, μετατρέπουν τις όχθες όπου κάποτε μεγάλωνε το άγριο θυμάρι σε αφιλόξενη λάσπη, παράγουν τοξικά λύματα και βλαβερή γλίτσα εκεί όπου κελάρυζαν διαυγή ρυάκια, αντικαθιστούν τον αρωματισμένο από αιολική τέρψη αέρα με καυστικές οσμές, και γενικά προκαλούν ένα χάλι.

Θέλω να τα ανατρέψω όλα αυτά. Θέλω να σας ενθαρρύνω να ξαναδείτε τη χημεία με σύγχρονη, απροκατάληπτη ματιά, διώχνοντας μακριά τέτοιες αναμνήσεις και αντιλήψεις και αντικαθιστώντας τες με κατανόηση και εκτίμηση. Θέλω να σας παρουσιάσω τον κόσμο μέσα από

τα μάτια του χημικού, να σας βοηθήσω να κατανοήσετε τις κεντρικές έννοιες της χημείας και να δείτε πώς συνεισφέρει ένας χημικός όχι μόνο στην υλική μας άνεση αλλά και στον ανθρώπινο πολιτισμό. Θέλω να εξηγήσω πώς σκέπτονται οι χημικοί και με ποιον τρόπο αυτά που αποκαλύπτουν για την ύλη –για όλες τις μορφές ύλης, από τα βράχια έως τους ανθρώπους– προσθέτουν ευχαρίστηση στο πώς αντιλαμβανόμαστε τον κόσμο. Θέλω να σας δείξω πώς οι χημικοί παίρνουν μια μορφή ύλης, αντλώντας την ή εξορύσσοντάς την από το έδαφος ή αποσπώντας την από τον αέρα, και τη μετατρέπουν σε μια άλλη μορφή, ίσως για να μας ντύσουν, να μας θρέψουν ή να μας προσφέρουν άνεση.

Θέλω να μοιραστώ μαζί σας τη σκέψη ότι η χημεία παρέχει τις υποδομές του σύγχρονου κόσμου. Σπάνια θα βρεθεί αντικείμενο της καθημερινής ζωής που δεν προέρχεται από αυτή ή δεν βασίζεται στα υλικά που έχει δημιουργήσει. Αφαιρώντας τη χημεία και τον λειτουργικό της βραχίονα, τη χημική βιομηχανία, αφαιρούμε τα μέταλλα και τα άλλα κατασκευαστικά υλικά, τους ημιαγωγούς των υπολογιστών και της επικοινωνίας, τα καύσιμα της θέρμανσης, της παραγωγής ενέργειας και των μεταφορών, τα υφάσματα του ρουχισμού και της επίπλωσης, και τις τεχνητές χρωστικές του εντυπωσιακά πολύχρωμου κόσμου μας. Αφαιρώντας τη συνεισφορά της στη γεωργία αφήνουμε ανθρώπους να πεθάνουν, καθώς η βιομηχανία παρέχει τα λιπάσματα και τα παρασιτοκτόνα που επιτρέπουν σε ολόένα και λιγότερα εδάφη να υποστηρίζουν αυξανόμενους πληθυσμούς. Αφαιρώντας τη φαρμακευτική της πτέρυγα, επιστρέφουμε στον πόνο μέσα από την εξάλειψη των αναισθητικών, και αρνούμαστε στην ανθρωπότητα την προοπτική της ανάρρωσης εξαιτίας της εξάλειψης των φαρμάκων. Φανταστείτε έναν κόσμο όπου δεν υπάρχουν προϊόντα της χημείας (συμπεριλαμβανομένου του καθαρού νερού): βρίσκεστε πριν την Εποχή του Χαλκού, στην Εποχή του Λίθου: κανένα μέταλλο, κανένα καύσιμο εκτός από το ξύλο, κανένα υφάσμα εκτός από δέρματα, κανένα φάρμακο εκτός από βότανα, καμία μέθοδος υπολογισμού εκτός από τα δάχτυλά σας, και πολύ λίγη τροφή.

Η τεχνολογική πρόοδος απαιτεί την ύπαρξη υλικών με νέες και εκλεπτυσμένες ιδιότητες (ηλεκτρικές, μαγνητικές, οπτικές, μηχανικές) είτε απλά υψηλότερης καθαρότητας. Η πρόοδος στη διατήρηση της

ανθρώπινης υγείας που θα δώσει τη δυνατότητα να μειωθεί η ζήτηση για τις φυσικές υποδομές των νοσοκομείων και για τον εκλεπτυσμένο, ακριβό εξοπλισμό τους εξαρτάται από την ανακάλυψη και την παρασκευή βελτιωμένων, πιο σύνθετων φαρμάκων. Επιπλέον, δεν μπορεί να υπάρξει πρόοδος στην παραγωγή, στη χρήση και στην εξοικονόμηση της ενέργειας χωρίς η χημεία να παρέχει την υλική της υποδομή.

Είναι, ωστόσο, αυτονόητο ότι η εκπληκτική διαφορά ανάμεσα στην πρωτόγονη και στη μετασχηματισμένη από τη χημεία φύση στη βελτίωση και την επέκταση της ζωής μας έχει κάποιο τίμημα, και αυτό ακριβώς το τίμημα είναι που μας προβληματίζει και αποτελεί δίκαια τη βάση της ανησυχίας μας για τον περιβαλλοντικό αντίκτυπο της χημείας. Στην πιο βάρβαρη μορφή τους, τα προϊόντα της χημείας αναβαθμίζουν την ικανότητά μας να σκοτώνουμε και να μακελεύουμε, αφού το οπλοστάσιό μας βελτιώνεται καθώς τελειοποιούνται νέα εκρηκτικά και άλλα μέσα. Συχνά, πιο μόνιμη και εκπεφρασμένη ανησυχία αποτελεί ο αναντίρρητος περιβαλλοντικός αντίκτυπος των προϊόντων και των διεργασιών παραγωγής. Η χημεία θέτει στα χέρια των κοινωνιών τη δυνατότητα για αποτελεσματικότερη διεξαγωγή πολέμου μέσω κυβερνητικών αποφάσεων, τη δυνατότητα για πιο επιθετική παραγωγή προϊόντων μέσω εμπορικών πιέσεων, και τη δυνατότητα για πιο αχαλίνωτη σπατάλη μέσω των προσωπικών μας επιλογών, με αποτέλεσμα να βλάπτεται το μοναδικό και αναντικατάστατο οικοσύστημά μας.

Στις σελίδες που ακολουθούν θα αντιμετωπίσω αυτή την ανησυχία, καθώς αποτελεί επακόλουθο της προόδου της χημικής βιομηχανίας, και της παρουσίας όχι μόνο των προϊόντων της αλλά και των αποβλήτων της στο περιβάλλον. Είναι σημαντικό όμως να έχουμε στον νου μας μια σφαιρική εικόνα της χημείας, όχι μια μονομερή, μαύρη όψη της. Δίχως τη χημεία η ζωή θα ήταν άσχημη, βάρβαρη και σύντομη. Με τη χημεία μπορεί να είναι άνετη, ευχάριστη και διατροφικά αυτόρκτης. Τα μέσα μεταφοράς μπορούν να είναι αποτελεσματικά, τα ρούχα μας ελκυστικά. Η ανθρώπινη ζωή μπορεί να διαρκεί περισσότερο. Χωρίς να αγνοούμε τη σκοτεινή και την αρνητική πλευρά της χημείας, θα σας παροτρύνω να εκτιμήσετε επίσης τη φωτεινή και τη θετική της όψη.

Σε όλες αυτές τις συνεισφορές υπάρχει και μια άλλη διάσταση: η κατανόηση. Η χημεία εξιχνιάζει αυτά που συμβαίνουν στην καρδιά της

ύλης, δείχνοντας πώς είναι τα πράγματα. Ένας χημικός μπορεί να κοιτάξει ένα τριαντάφυλλο και να κατανοεί γιατί είναι κόκκινο, να κοιτάζει ένα φύλλο και να κατανοεί γιατί είναι πράσινο. Ένας χημικός μπορεί να κοιτάζει το γυαλί και να κατανοεί γιατί είναι εύθραυστο και να κοιτάζει ένα υλικό και να κατανοεί γιατί είναι εύκαμπτο. Βέβαια, μπορούμε να βιώσουμε τις δόξες της φύσης και χωρίς αυτή την εσωτερική γνώση, ακριβώς όπως μπορεί κανείς να απολαύσει τη μουσική και χωρίς να την αναλύσει. Αλλά η διεισδυτική ματιά που προσφέρει η χημεία στις ιδιότητες της ύλης, σε όλες τις μορφές της, μπορεί να τεθεί σε χρήση εφόσον η στιγμή είναι κατάλληλη, προσφέροντας έτσι βαθύτερη τέρψη. Θα επιχειρήσω να μοιραστώ μαζί σας κάτι από αυτή τη βαθύτερη γνώση, και να δείξω ότι έστω και λίγη χημεία θα αυξήσει την καθημερινή σας ευχαρίστηση.

Αυτό είναι σε γενικές γραμμές το ταξίδι στο οποίο σας προσκαλώ. Θα προσπαθήσω να διασκεδάσω τις μισοξεχασμένες, ίσως δυσάρεστες αναμνήσεις των προηγούμενων συναντήσεών σας με τη χημεία. Διαβάζοντας αυτά τα κεφάλαια δεν θα αποκτήσετε πτυχίο χημείας, διότι η χημεία είναι βαθιά και πλατιά, ποσοτική και ποιοτική, περίτεχνη αλλά και επιφανειακή. Ελπίζω, όμως, ότι θα εκτιμήσετε τη δομή της, τις κεντρικές της έννοιες, και τη συνεισφορά της στον πολιτισμό, την ευχαρίστηση, την οικονομία και τον κόσμο.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή David Phillips στο Imperial College για τις χρήσιμες παρατηρήσεις του.

Peter Atkins
Οξφόρδη, 2014

Οι απαρχές της, το αντικείμενό της και η συγκρότησή της

Η απληστία. Η απληστία ενέπνευσε την ανθρωπότητα να ξεκινήσει ένα συναρπαστικό ταξίδι που αγγίζει σήμερα τον καθέναν από εμάς. Το ιδιαίτερο είδος απληστίας που έχω κατά νου ήταν αφ' ενός η αναζήτηση της αθανασίας και αφ' ετέρου η απόκτηση απεριόριστου πλούτου. Η υποτιθέμενη πορεία και προς τους δύο στόχους ήταν ο κατάλληλος χειρισμός της ύλης για να φτιαχτούν ελιξίρια που θα υπερνικούσαν τις σωματικές ασθένειες ώστε να επιτευχθεί η αθανασία και συνταγές που θα μετέτρεπαν λίγο-πολύ οτιδήποτε μοιάζει με τον χρυσό – είτε στο χρώμα, όπως τα ούρα και η άμμος, είτε στο βάρος, όπως ο μόλυβδος – σε πραγματικό χρυσό. Αν και κανένας από τους δύο στόχους δεν επιτεύχθηκε ποτέ, το ακατάπαυστο «μαστόρεμα» της ύλης από τους αλχημιστές τους εξοικείωσε σημαντικά μαζί της και τους παρείχε το λίπασμα, συχνά κυριολεκτικά, από το οποίο έμελλε να αναδυθεί μια πραγματική επιστήμη, η χημεία.

Το κύριο όργανο της μετάβασης από την αλχημεία στη χημεία ήταν ο ζυγός. Η ικανότητα της επακριβούς ζύγισης των πραγμάτων όπλισε την ανθρωπότητα με τη δυνατότητα να επισυνάπτει στην ύλη αριθμούς. Η σημασία αυτού του επιτεύγματος δεν θα πρέπει να υποτιμάται, διότι στην πραγματικότητα είναι ιδιαίτερα αξιοθαύμαστο ότι μπορούν να αποδοθούν αριθμοί με νόημα στον αέρα, το νερό, τον χρυσό και σε κάθε άλλο είδος ύλης. Με αυτό τον τρόπο, μέσω της απόδοσης αριθμών, η μελέτη της ύλης και των μετασχηματισμών που μπορεί να υποστεί (το τρέχον πεδίο της χημείας) εντάχθηκε στην επικράτεια των φυσικών επιστημών, όπου ποιοτικές έννοιες μπορούν να γίνουν ποσοτικές και να ελεγχθούν διεξοδικά σε αντιπαράβολή προς τις θεωρίες που τις περι-

βάλλουν και τις φωτίζουν. Η ζύγιση της ύλης πριν και μετά τον μετασχηματισμό της από μια ουσία σε κάποια άλλη οδήγησε στην κεντρική έννοια στην οποία βασίζονται όλες οι εξηγήσεις στη χημεία: το *άτομο*. Η έννοια του «ατόμου» ενδημούσε ατεκμηρίωτη στον ανθρώπινο νου από τότε που οι αρχαίοι Έλληνες είχαν εικάσει, χωρίς την παραμικρή απόδειξη, ότι υπάρχουν κάποιου είδους τελικοί αδιαίρετοι κόκκοι στον κόσμο. Η εικασία αυτή θεμελιώθηκε στο έδαφος της επιστήμης από τον John Dalton (1766–1844), που αναλύοντας τα βάρη ουσιών πριν και μετά από αντιδράσεις συμπέρανε ότι τα στοιχεία, τα βασικά «τουβλάκια» της ύλης, αποτελούνται από αμετάβλητα άτομα, τα οποία, μέσω της απλής μεθόδου της ζύγισης, μπορούσε κανείς να «παρακολουθεί» καθώς μια ουσία μετατρέποταν σε κάποια άλλη.

Τα άτομα αποτελούν τώρα το νόμισμα της χημείας. Σχεδόν κάθε εξήγηση στη χημεία παραπέμπει σε αυτά, είτε ως μεμονωμένες οντότητες είτε διασυνδεδεμένα στους συνδυασμούς που αποκαλούμε *μόρια*. Τα άτομα είναι τα συστατικά όλης της ύλης: οτιδήποτε μπορείτε να δείτε και να αγγίξετε είναι φτιαγμένο από άτομα. Όσο μικρά κι αν είναι, είναι λάθος να λέμε ότι είναι αόρατα με γυμνό μάτι. Κοιτάξτε ένα δέντρο: βλέπετε άτομα. Κοιτάξτε μια καρέκλα: βλέπετε άτομα. Κοιτάξτε αυτή τη σελίδα: βλέπετε άτομα (ακόμη κι αν διαβάζετε τη σελίδα σε μια οθόνη). Αγγίξτε το πρόσωπό σας: αγγίζετε άτομα. Αγγίξτε ένα ύφασμα: αγγίζετε άτομα. Βέβαια, ένα μεμονωμένο άτομο είναι πολύ μικρό για να το δούμε, αλλά η ύλη είναι φτιαγμένη από τάγματα ατόμων, και οι σχηματισμοί των ταγμάτων είναι ορατοί με γυμνό μάτι ως οι ουσίες που μας περιβάλλουν. Ωστόσο, αργότερα, στο Κεφάλαιο 5, θα εξηγήσω με ποιον τρόπο οι χημικοί μπορούν πλέον να δουν ακόμη και εικόνες *μεμονωμένων* ατόμων.

Υπάρχουν λίγο περισσότεροι από 100 διαφορετικοί τύποι ατόμων. Το τι εννοώ με τη λέξη «τύπο» θα το εξηγήσω στο Κεφάλαιο 2, όταν θα εξετάσουμε μαζί το εσωτερικό τους και θα εντοπίσουμε τις διαφορετικές εσωτερικές δομές τους που τα διακρίνουν το ένα από το άλλο. Έτσι, όπως υπάρχουν τα στοιχεία υδρογόνο, άνθρακας, σίδηρος κ.ο.κ., έτσι υπάρχουν άτομα υδρογόνου, άτομα άνθρακα, άτομα σιδήρου κ.ο.κ., μέχρι το στοιχείο που έχει ανακαλυφθεί πιο πρόσφατα, το οποίο το 2013 είναι το παντελώς άχρηστο και εξαιρετικά βραχύβιο 114ο στοι-

χείο, το λιβερμόριο. (για την ακρίβεια: πρόκειται για το στοιχείο 116, όμως δύο άλλα που βρίσκονται πριν από αυτό δεν έχουν ανακαλυφθεί ακόμη).* Η ιδέα-κλειδί στη χημεία είναι πως όταν μια ουσία μετατρέπεται σε κάποια άλλη, τα άτομα καθ'αυτά δεν αλλάζουν, απλώς αλλάζουν συνεταιίρους ή συναρμόζονται με νέες διατάξεις. Η χημεία είναι όλο γάμους και διαζύγια.

Παρόλο που «άτομο» σημαίνει «αυτό που δεν μπορεί να τμηθεί», τα άτομα μπορούν να τμηθούν. Το συμπέρασμα αυτό προκύπτει ακόμη και με πρόχειρη σκέψη, αφού η ύπαρξη διαφορετικών τύπων ατόμων σημαίνει την ύπαρξη διαφορετικών δομών, οπότε αντιλαμβάνεται κανείς πως είναι πιθανό ότι ένα άτομο μπορεί να διαμελιστεί και να προσδιοριστούν τα λεγόμενα *υποατομικά σωματίδια* από τα οποία αποτελείται. Η εικασία αυτή έχει επιβεβαιωθεί πειραματικά, και στο Κεφάλαιο 2 θα ρίξουμε μια ματιά στο εσωτερικό των ατόμων, και κατ'επέκταση στην προέλευση των διαφορετικών τους προσωπικοτήτων. Στο θέμα αυτό η χημεία αντλεί πολλά στοιχεία από τη φυσική, διότι οι φυσικοί ήταν αυτοί που αποκάλυψαν τις δομές των ατόμων, ενώ οι χημικοί χρησιμοποιούν τις πληροφορίες αυτές για να εξηγήσουν τα μόρια που σχηματίζουν και τις αντιδράσεις στις οποίες συμμετέχουν.

Αυτό το τελευταίο σχόλιο υποδεικνύει το γνωστικό πεδίο της χημείας. Σημαίνει ότι για να καταλάβει κανείς τη χημεία είναι απαραίτητο να εισαγάγει έννοιες από τη φυσική. Αυτό όντως ισχύει, και η χημεία βασίζεται καίρια σε πάμπολλες έννοιες που έχουν αναπτύξει οι φυσικοί (σε αντάλλαγμα, εμείς οι χημικοί τους παρέχουμε την ύλη επί της οποίας εκείνοι διατυπώνουν θεωρίες). Μεταξύ όλων αυτών των ανταλλαγών, υπάρχουν δύο εξαιρετικά σημαντικές εισφορές, μία που σχετίζεται με τη συμπεριφορά των μεμονωμένων ατόμων και των υποατομικών τους συστατικών, και μια άλλη που αφορά την ύλη σε μεγάλη κλίμακα, δηλαδή τις απτές, μεγάλες εκδοχές της, όπως μια καράφα νερό ή ένα κομμάτι σιδήρου. Σε τεχνικό επίπεδο, πρόκειται για την επικράτεια του *μικρόκοσμου* και του *μακρόκοσμου*, αντίστοιχα.

*Σ.τ.Μ: όταν εκδόθηκε το βιβλίο, το πιο πρόσφατο στοιχείο ήταν το λιβερμόριο (116). Το στοιχείο 113 είναι το νιχόνιο, ενώ το στοιχείο 115 ονομάζεται μωσκόβιο. Η IUPAC τα συμπεριέλαβε στον Περιοδικό Πίνακα μετά το λιβερμόριο.

Η κρίσιμη εισφορά που έχει γίνει από τη φυσική προκειμένου να εξηγηθούν οι ιδιότητες του μικρόκοσμου των μεμονωμένων ατόμων και των μορίων είναι η *κβαντομηχανική*. Παρόλο που μεγάλο μέρος της χημείας αναπτύχθηκε κατά το 19ο αιώνα, δεν ήταν ιδιαίτερα κατανοητό γιατί ορισμένα πράγματα συνέβαιναν ενώ άλλα όχι. Εκείνο τον καιρό, βασίλευε η «κλασική μηχανική» του Ισαάκ Νεύτωνα, που περιλαμβάνει τις μαθηματικές διαδικασίες οι οποίες διέπουν την κίνηση των σωμάτων, καθώς περιέγραφε με μεγάλη επιτυχία τις τροχιές των πλανητών και την πτήση σφαιρικών σωμάτων, και υπήρχε η προσδοκία ότι όταν οι πλανήτες και οι σφαίρες θα σμικρύνονταν σε άτομα θα βρίσκονταν εξηγήσεις και για τη χημεία, οπότε αυτή θα εντασσόταν επίσης στο βασίλειο του Νεύτωνα. Η άκαρπη εστίαση του Νεύτωνα σε αλληλικούς πειραματισμούς ίσως ήταν μια ένδειξη ότι αυτό πίστευε και ο ίδιος. Ωστόσο, στα τέλη του 19ου αιώνα και στις αρχές του 20ου, διαπιστώθηκε ότι η σμίκρυνση πλανητών και σφαιρών σε άτομα είχε ως αποτέλεσμα την πλήρη αποτυχία της κλασικής μηχανικής: ακόμη και οι έννοιες στις οποίες βασιζόταν η νευτώνεια μηχανική κατέρρεαν όταν εφαρμόζονταν στα άτομα και τα συστατικά τους. Τέτοιοι είναι οι κίνδυνοι της άκριτης προεκβολής.

Κατόπιν, στις πρώτες δεκαετίες του 20ου αιώνα, γύρω στο 1927, γεννήθηκε μια νέα μηχανική η οποία εξηγεί με εξαιρετική επιτυχία πώς κάνουν τις δουλιές τους τα άτομα και τα υποατομικά σωματίδια. Μέχρι σήμερα, η θεωρία αυτή, η κβαντομηχανική, δεν έχει ξεπεραστεί σε προβλεπτική ισχύ και αριθμητική ακρίβεια. Το γεγονός ότι παραμένει αρκετά δυσνόητη αποτελεί ομολογουμένως ένα εκνευριστικό μειονέκτημα, αλλά στην πορεία θα κάνω ό,τι μπορώ ώστε να αποστάξω από αυτή ό,τι χρειάζεται για να κατανοήσουμε τη συμπεριφορά των ατόμων και επομένως ολόκληρης της χημείας. Όπως θα δούμε, όταν οι χημικοί ανακατεύουν και βράζουν τα ρευστά τους, πειθαναγκάζουν τα άτομα να συμπεριφερθούν σύμφωνα με τους παράξενους νόμους της κβαντομηχανικής.

Η άλλη κρίσιμη εισφορά από τη φυσική, στην περίπτωση αυτή για την περιγραφή των ιδιοτήτων του μακροσκοπικού κόσμου της μεγάλης κλίμακας ύλης, είναι η *θερμοδυναμική*. Η θερμοδυναμική είναι η επιστήμη της ενέργειας και των μετατροπών που μπορεί να υποστεί.

Αναπτύχθηκε κατά κύριο λόγο μέσα από την εξάρτηση της βικτωριανής εποχής από την ατμομηχανή, η οποία ωθούσε τις κοινωνίες προς τα μπρος, τόσο κυριολεκτικά όσο και οικονομικά, αλλά σύντομα αναδείχθηκε σε σημαντικό στοιχείο της δομής της χημείας. Το υλικό συστατικό της χημείας είναι τα άτομα, αλλά οι μεταβολές που υφίστανται βρίσκονται υπό τον έλεγχο και την καθοδήγηση της ενέργειας. Όπως θα δούμε, η ενέργεια όχι μόνο εκλύεται όταν καίγεται ένα καύσιμο – μια προφανής, χρήσιμη, αλλά πρωτόγονη πλευρά της διασύνδεσής της με τη χημεία – αλλά επίσης διέπει τη συμπεριφορά των ατόμων εν γένει, τις δομές που μπορούν να σχηματίσουν, τις αλλαγές που μπορούν να υποστούν στην οργάνωσή τους καθώς και τον ρυθμό με τον οποίο μπορούν να συμβούν αυτές οι αλλαγές. Επιπλέον, η ενέργεια αναδεικνύεται με έναν περίτεχνο τρόπο σε κινούσα δύναμη της χημείας, υπό την έννοια ότι ωθεί τις αντιδράσεις προς τα μπρος με έναν τρόπο που θα εξηγήσω στο Κεφάλαιο 3. Επειδή η ενέργεια είναι τόσο στενά συνυφασμένη με την καθαυτό δομή της χημείας, δεν θα πρέπει να αποτελεί έκπληξη ότι η θερμοδυναμική παίζει σημαντικό ρόλο, παρά τις μηχανολογικές καταβολές της.

Παρότι η χημεία κατέρχεται στην επικράτεια της φυσικής για τις εξηγήσεις της (και μέσω της φυσικής καταδύεται ακόμη πιο κάτω στα μαθηματικά για τον ποσοτικό της φορμαλισμό), ανέρχεται στη βιολογία για πολλές από τις πιο εντυπωσιακές της εφαρμογές. Αυτό δεν πρέπει να μας εκπλήσσει, αφού η βιολογία είναι απλώς μια σύνθετη προέκταση της χημείας. Προτού οι βιολόγοι εκραγούν με αγανάκτηση σε αυτό το σχόλιο, που μπορεί να φαίνεται παρόμοιο με τον ισχυρισμό ότι η κοινωνιολογία είναι μια σύνθετη προέκταση της σωματιδιακής φυσικής, ας γίνω πιο ακριβής. Οι ζωντανοί οργανισμοί συγκροτούνται από άτομα και μόρια, και οι δομές αυτές εξηγούνται από τη χημεία. Οι οργανισμοί λειτουργούν, δηλαδή ζουν, χάρις στο περίπλοκο δίκτυο των αντιδράσεων που συντελούνται εντός τους, οι οποίες εξηγούνται από τη χημεία. Οι οργανισμοί αναπαράγονται κάνοντας χρήση μοριακών δομών και αντιδράσεων, οι οποίες αποτελούν μέρος της χημείας. Οι οργανισμοί ανταποκρίνονται στο περιβάλλον τους, όπως διαμέσου της όσφρησης και της όρασης, με μεταβολές στη μοριακή δομή, και συνεπώς αυτές οι αποκρίσεις (και οι πέντε ή κάπου τόσες αισθήσεις μας)

είναι σύνθετες προεκτάσεις της χημείας. Ακόμη κι αυτό το υπερμακροσκοπικό φαινόμενο, η εξέλιξη και η προέλευση των ειδών, μπορεί να θεωρηθεί ως σύνθετο αποτέλεσμα των επιπτώσεων του δεύτερου νόμου της θερμοδυναμικής, κι επομένως αποτελεί μια πτυχή της χημείας. Ορισμένοι οργανισμοί (έχω κατά νου κυρίως τα ανθρώπινα όντα) αναλογίζονται τη φύση του κόσμου, και οι νοητικές διεργασίες στις οποίες βασίζονται οι συγκεκριμένοι συλλογισμοί και οι οποίες εκδηλώνονται μέσω αυτών οφείλονται σε περίπλοκα δίκτυα χημικών αντιδράσεων. Συνεπώς, η βιολογία είναι όντως μια σύνθετη προέκταση της χημείας. Δεν θα ισχυριστώ, ό,τι κι αν πιστεύω στην πραγματικότητα, πως όλα τα ζητήματα που πραγματεύονται οι βιολόγοι, όπως η συμπεριφορά των ζώων εν γένει, είναι απλώς σύνθετη χημεία, αλλά θα περιοριστώ στον ισχυρισμό ότι όλες οι δομές, οι αποκρίσεις και οι διεργασίες των οργανισμών είναι χημικές. Επομένως, η χημεία διαποτίζει όλη τη βιολογία και έχει συνεισφέρει αφάνταστα στην κατανόησή μας για τους οργανισμούς.

Εμείς, οι κοινωνικά σύνθετοι οργανισμοί, οι άνθρωποι, χτίζουμε πράγματα. Κατασκευάζουμε τεχνουργήματα. Εξορύσσουμε τα πετρώματα της Γης, αντλούμε τα ρευστά από τα βάθη της, και συγκομίζουμε τα αέρια των αιθέρων με στόχο να μετατρέψουμε όλες αυτές τις πρώτες ύλες σε οτιδήποτε επιθυμούμε. Η μετατροπή αυτή των πρώτων υλών σε ουσίες που μπορούν να μορφοποιηθούν, να σφυρηλατηθούν, να υφανθούν, να συγκολληθούν, να φαγωθούν ή απλώς να καούν είναι μέρος της χημείας. Οι χημικοί μπορεί να παραμερίζουν και να αφήνουν τους καλουπατζήδες να καλουπώνουν, τους σιδεράδες να σφυρηλατούν και γενικά τους κατασκευαστές να κατασκευάζουν, να δημιουργούν το τελικό τεχνούργημα, αλλά είναι εκείνοι που έχουν παράσχει την πρώτη ύλη, την υποδομή της σύγχρονης τεχνολογικής κοινωνίας μας, και με τον τρόπο αυτό έχουν συνεισφέρει καιρία στις οικονομίες του κόσμου και στην εξέλιξη προσώπων και εθνών.

Όπως τόνισα στον Πρόλογο, ανάμεσα σε όλο αυτό το φως υπάρχουν ασφαλώς και μαύρες κηλίδες. Η χημεία έχει σίγουρα συνεισφέρει στην ικανότητα της ανθρωπότητας να σακατεύει και να σκοτώνει, και θα ήταν ανάρμοστο στην επισκόπηση αυτή για το τι είναι η χημεία να σκουπίσουμε κάτω από το χαλί των σελίδων της τις εκρηκτικές ύλες

και τα νευροτοξικά αέρια που έχει παράσχει, καθώς και τις ακούσιες και εκούσιες επιπτώσεις της στο εύθραυστο περιβάλλον μας. Θα αντι-μετωπίσω αυτά τα ζητήματα αργότερα, αλλά στο στάδιο αυτό –για να τονίσω τη σημασία της προσωπικής κρίσης– θα σας καλέσω να εξ-λείψετε νοερά όλη τη συνεισφορά της χημείας στον σύγχρονο κόσμο, κάτι που θα μας πάει πίσω στην επώδυνη, επικίνδυνη, άβολη και περιο-ρισμένων δυνατοτήτων Εποχή του Λίθου, και να αναρωτηθείτε κατά πόσο το σκοτάδι υπερβαίνει το φως.

Οι κλάδοι της χημείας

Επομένως, το πεδίο εφαρμογής της χημείας είναι τόσο ευρύ που αυτή η σύντομη εισαγωγή μου σε αυτό, καθώς και το ίδιο το αντι-κείμενο, θα τσαλαβουτούσαν άγαρμπα σαν μια αποπροσανατολισμέ-νη ασπόνδυλη φάλαινα αν δεν επιβαλλόταν κάποιου είδους δομή. Οι χημικοί έχουν υιοθετήσει μια δομή που τους βοηθάει να επιτε-λούν τις δραστηριότητές τους, να συναθροίζονται σε συνελεύσεις όπου πραγματεύονται ομοειδή θέματα και να αναπτύσσουν τις δια-δικασίες τους όπως τα διάφορα κράτη αναπτύσσουν τις πολιτικές και τις οικονομίες τους. Αντίθετα όμως με τα περισσότερα κράτη, τα σύνορα είναι θολά, και συχνά επιτυγχάνεται εντυπωσιακή πρό-οδος εκεί όπου αλληλοεπικαλύπτονται δύο κουλτούρες. Αυτή συμ-βαίνει κατά μείζονα λόγο στις περιπτώσεις όπου το αντικείμενο είναι τόσο ώριμο όσο η σύγχρονη χημεία, όπου κάθε πεδίο δραστηριότη-τας έχει εξερευνηθεί διεξοδικά και η έμπνευση μπορεί να προκύψει πιο δημιουργικά, ακριβώς όπως και στην τέχνη, στα γόνιμα αλλη-λοεπικαλυπτόμενα σύνορα και στα μέτωπα όπου η χημεία αλληλοε-πικαλύπτεται με άλλες επιστήμες.

Για τον δικό μας σκοπό, και για να κατανοήσουμε τη γενική δομή της χημείας στο πλαίσιο αυτής της εισαγωγής, είναι χρήσιμο να πα-ρουσιάσουμε τη διαίρεσή της σε κλάδους και να δούμε σε αδρές γραμ-μές τα αντικείμενά των κλάδων αυτών. Οι διάφοροι τομείς της χη-μείας εξακολουθούν να διέπουν πανεπιστημιακά τμήματα, προγράμ-ματα σπουδών, και τις επετηρίδες στις οποίες ανακοινώνονται οι ανα-καλύψεις, οπότε μια περιγραφή τους αποτελεί σημαντικό συστατικό

ενός έντυπου οδηγού για έναν επισκέπτη. Αλλά σας προειδοποιώ: τα σύνορα, τόσο τα νοητικά όσο και εκείνα των πανεπιστημιακών τμημάτων, λειώνουν.

Η *φυσικοχημεία* βρίσκεται στη διεπιφάνεια μεταξύ φυσικής και χημείας (εξ ου και η ονομασία της), και πραγματεύεται τις αρχές της χημείας, οι οποίες όπως είδαμε συνίστανται κυρίως στην κβαντομηχανική, για την ερμηνεία των δομών των ατόμων και των μορίων, και στη θερμοδυναμική, για την αξιολόγηση του ρόλου και της κατανομής της ενέργειας. Μελετάει επίσης την ταχύτητα με την οποία πραγματοποιούνται οι αντιδράσεις, τόσο στο μακροσκοπικό όσο και στο μικροσκοπικό επίπεδο. Στη μικροσκοπική κλίμακα, ειδικότερα, επιδιώκει να παρακολουθήσει τις ενδόμυχες διεργασίες μεμονωμένων μορίων, καθώς αυτά διαλύονται και ανασυντίθενται ως διαφορετικές ουσίες σε αντιδράσεις. Μια βασική δραστηριότητα της φυσικοχημείας είναι η συνεισφορά της στην ερμηνεία των διερευνητικών τεχνικών, και ιδιαίτερα της «φασματοσκοπίας».

Όπως θα δούμε στο Κεφάλαιο 5, η φασματοσκοπία χρησιμοποιεί διάφορα είδη φωτός για να φέρει πληροφορίες από το εσωτερικό των μορίων στα μάτια, τα όλο και πιο τεχνητά μάτια, του παρατηρητή. Είναι πλέον τέτοια η πολυπλοκότητα των τεχνικών αυτών που οι φυσικοχημικοί πρέπει να αξιοποιούν όλο τους το οπλοστάσιο, και ιδιαίτερα την κβαντομηχανική, για να ερμηνεύουν τα δεδομένα. Μάλιστα, οι δραστηριότητες χημικών και φυσικών στον τομέα αυτόν επικαλύπτονται τόσο πολύ που η ονομασία φυσικοχημεία συχνά μεταλλάσσεται σε *χημειοφυσική* για κάποιους που μελετούν τη συμπεριφορά μεμονωμένων μορίων με μια προσέγγιση που βρίσκεται κοντά σε εκείνη ενός φυσικού.

Η *οργανική χημεία* είναι το τμήμα της χημείας που ασχολείται με τις ενώσεις του άνθρακα. Το ότι ένα στοιχείο μπορεί να διοικεί έναν ολόκληρο κλάδο μαρτυρά το μεγάλο φάσμα δυνατοτήτων της μετριοτήτας που χαρακτηρίζει τον άνθρακα. Ο άνθρακας βρίσκεται στη μέση του Περιοδικού Πίνακα, που είναι ο χάρτης των χημικών ιδιοτήτων των στοιχείων, και σε μεγάλο βαθμό αδιαφορεί για το ποιες σχέσεις θα συνάψει. Ειδικότερα, είναι ικανοποιημένος όταν συνδέεται με τον εαυτό του. Χάρης στον ήπιο και μη επιθετικό του χαρακτήρα, είναι ικα-

νός να σχηματίζει αλυσίδες και δακτυλίους εντυπωσιακής πολυπλοκότητας. Η εντυπωσιακή πολυπλοκότητα είναι αυτό ακριβώς που χρειάζονται οι οργανισμοί προκειμένου να θεωρηθούν ζωντανοί, και επομένως οι ενώσεις του άνθρακα αποτελούν το δομικό και δραστικό υπόβαθρο της ζωής. Είναι τόσο πολυάριθμες οι ενώσεις του άνθρακα, οι οποίες αριθμούνται πλέον σε εκατομμύρια, που δεν προκαλεί έκπληξη ότι έχει αναπτυχθεί για τη μελέτη τους ένας ολόκληρος κλάδος της χημείας ο οποίος έχει αναπτύξει ειδικές τεχνικές, συστήματα ονοματολογίας και συμπεριφορές.

Πατί «οργανική»; Τα μόρια στα οποία συμμετέχει ο άνθρακας είναι τόσο περίπλοκα (εκτός από λίγες εξαιρέσεις, όπως το απλό διοξείδιο του άνθρακα) που κάποτε πίστευαν ότι μόνο η φύση μπορούσε να τα σχηματίσει. Σύμφωνα με αυτή τη «βιταλιστική» άποψη, αποτελούσαν προϊόντα ζωντανών οργανισμών. Η αρχή του τέλους του βιταλισμού ήρθε το 1828, όταν αποδείχθηκε ότι ένα απλό ορυκτό μπορούσε να μετατραπεί σε μια χαρακτηριστική «οργανική» ένωση (συγκεκριμένα σε ουρία). Αν και για κάποιο διάστημα υπήρξε σφοδρή αντιπαράθεση για το ζήτημα αυτό, από τότε ο όρος «οργανική» της οργανικής χημείας αποτελεί αρχαϊσμό. Ωστόσο, οι βολικοί αρχαϊσμοί απεμπολούνται δύσκολα, και έτσι ο όρος έχει επιβιώσει, αλλά πλέον δεν σημαίνει τίποτε περισσότερο από «ένωση του άνθρακα».

Οπότε απομένουν τα υπόλοιπα στοιχεία, τα περίπου εκατό στοιχεία εκτός του άνθρακα. Η μελέτη τους αποτελεί τον τομέα της *ανόργανης χημείας*. Όπως θα υπέθετε ίσως κανείς για τον κλάδο ενός αντικειμένου που ασχολείται με πάνω από εκατό στοιχεία με πολύ διαφορετικές προσωπικότητες, η ανόργανη χημεία είναι ένα σημαντικό αλλά άναρχο πεδίο μελέτης. Η αναρχία περιορίζεται κάπως από την καθιέρωση διάφορων υποδιαίρεσεων του αντικειμένου. Μια βασική υποδιαίρεση είναι η *χημεία στερεάς κατάστασης*, που έχει ως αντικείμενο τη μελέτη των ανόργανων στερεών, όπως είναι τα υλικά που δρουν ως υπεραγωγοί και οι ημιαγωγοί που έχουν καταστήσει εφικτή την παγκόσμια διάδοση των υπολογιστών. Είναι δύσκολο να αντισταθούμε στον πειρασμό να παραλληλίσουμε την ανόργανη χημεία με μια εκατονταμελή ορχήστρα, με τον χημικό ως μαέστρο-συνθέτη να σχεδιάζει συμφωνίες συνδυασμών, διευθύνοντας κατάλληλα τα όργανα.

Ο άνθρακας δεν είναι απαραίτητος για τα μάτια ενός ανόργανου χημικού που διατρέχουν όλο τον Περιοδικό Πίνακα. Ορισμένες από τις απλούστερες ενώσεις του άνθρακα, όπως το διοξείδιο του άνθρακα που έχω ήδη αναφέρει, το φονικό αέριο μονοξείδιο του άνθρακα, η κιμωλία και ο ασβεστόλιθος που δεσπόζουν στο φυσικό μας τοπίο, παραχωρούνται με ευκολία από τους οργανικούς χημικούς ως περιορισμένου ενδιαφέροντος και θεωρούνται κατά σύμβαση ανόργανες ενώσεις. Στα σύνορα μεταξύ των κατηγοριών, όμως, βρίσκονται ενώσεις που παρότι αποτελούν περίπλοκες διατάξεις ατόμων άνθρακα ωστόσο περιλαμβάνουν άτομα διάφορων μετάλλων. Αρκετές από τις ενώσεις αυτές είναι βασικοί καταλύτες της χημικής βιομηχανίας, ενώ άλλες είναι κρίσιμες για τη λειτουργία των οργανισμών. Εδώ κείται το διακλαδικό πεδίο της *οργανομεταλλικής χημείας*, το οποίο στην καλύτερη μορφή του αντιπροσωπεύει μια ιδιαίτερα γόνιμη συνεργασία μεταξύ ανόργανων και οργανικών χημικών.

Η αλληλοεπικάλυψη της χημείας με άλλες επιστήμες

Αυτοί είναι οι τρεις κύριοι κλάδοι της χημείας. Ο κατάλογος αυτός δεν εξαντλεί σε καμία περίπτωση όλους τους τρόπους με τους οποίους οι χημικοί τεμαχίζουν το αντικείμενό τους για να γίνει πιο εύπεπτο, αλλά όλοι οι άλλοι κλάδοι αντλούν τεχνικές, έννοιες και έμπνευση από αυτούς τους τρεις σε διαφορετικές αναλογίες και καρυκεύουν το μείγμα τους με θέματα άλλων γνωστικών αντικειμένων. Αν και η προσπάθεια να τους καταγράψουμε όλους θα μας οδηγούσε πολύ μακριά από τον στόχο μας, ωστόσο είναι θεμιτό να αναφέρουμε τους πιο κοινούς από αυτούς.

Η *αναλυτική χημεία* αποτελεί τον σύγχρονο απόγονο της πανάρχαιας εκστρατείας για την ανακάλυψη του τι υπάρχει κάπου. Τι υπάρχει σε ένα ορυκτό; Μήπως χρυσός ή μήπως άφνιο; Τι υπάρχει στο αργό πετρέλαιο; Τι βρίσκεται μέσα του εκτός από τους συνήθεις υδρογονάνθρακες, και ποιοι ακριβώς υδρογονάνθρακες; Τι είναι αυτή η ένωση που έφτιαξες; Μπορείς να προσδιορίσεις τη διάταξη των ατόμων της; Όλες αυτές είναι ερωτήσεις που πιθανόν να προσπαθήσουν να απαντήσουν οι αναλυτικοί χημικοί. Παρόλο που οι δοκιμαστικοί σωλή-

νες, οι φιάλες και οι αποστακτήρες εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται στις τεχνικές τους, πολλές από τις αναζητήσεις τους διεξάγονται πλέον σε πολύπλοκα μηχανήματα, ορισμένα από τα οποία χρησιμοποιούν τη φασματοσκοπία και άλλες μεθόδους που έχουν αναπτυχθεί από τους ανόργανους χημικούς και τους φυσικοχημικούς. Οι τεχνικές αυτές παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 4. Από την αναλυτική χημεία εκφύεται η *δικανική χημεία*, η οποία χρησιμοποιεί τις αναλυτικές τεχνικές για σκοπούς της δικαιοσύνης, για να εντοπίσει ή να αθώσει υπόπτους και για να αναλύσει τους τόπους των εγκλημάτων.

Η *βιοχημεία* αποτελεί ανταπόδοση δωρεάς από την οργανική χημεία στη βιολογία, μερικές φορές με την προσθήκη μιας δόσης από ανόργανη χημεία. Ασχολείται ολοκληρωτικά με τις δομές και τις αντιδράσεις που συνθέτουν τα έμβια όντα, προσδιορίζοντας τα μεταβολικά μονοπάτια που μετατρέπουν την τροφή σε δράση (συμπεριλαμβάνοντας τις δράσεις που περιορίζονται στον εγκέφαλο: τη σκέψη). Οι οργανισμοί εξακολουθούν να αποτελούν μια πολύ σημαντική δεξαμενή οργανικών μορίων, καθώς η φύση είχε στη διάθεσή της δεκατομμύρια χρόνια για να εξερευνήσει διάφορους δομικούς θώκους, και οι βιοχημικοί παίζουν κεντρικό ρόλο τόσο στο να ανακαλύψουν τι βρίσκεται εκεί όσο και στο να εξιχνιάσουν το πώς δημιουργήθηκε υπό τον έλεγχο των εργατριών-μελισσών του σώματος, των πρωτεϊνών που ονομάζουμε ένζυμα. Μια ανθρωποκεντρική αλλά σημαντική ανησυχία σχετικά με την εξαφάνιση ειδών είναι ότι εξαλείφει δεξαμενές περίτεχνων μορίων για τα οποία χρειάστηκαν εκατομμύρια χρόνια για να εμφανιστούν.

Το όνομα της *βιομηχανικής χημείας* μιλάει από μόνο του. Εδώ ο χημικός συναντά τον μηχανικό, και οι αντιδράσεις που εδραιώθηκαν σε δοκιμαστικούς σωλήνες και αντίστοιχα σκεύη μεγεθύνονται σε τεράστιο μέγεθος και καθίστανται κατάλληλες για να συνεισφέρουν στο εμπόριο. Οι βιομηχανικοί χημικοί έχουν τεράστια συνεισφορά στην οικονομία και στο εμπόριο μεταξύ κρατών. Στο Ηνωμένο Βασίλειο μόνο, τα χημικά συνεισφέρουν κατά 20% στο ακαθάριστο εγχώριο προϊόν, ενώ στις ΗΠΑ πάνω από το 96% από όλα τα βιομηχανικά αγαθά έχουν άμεση σχέση με τη χημεία. Αυτά τα αριθμητικά μεγέθη σχετικά με τα βιομηχανικά χημικά αναδίδουν σχεδόν κυριολεκτικά μια άσχημη οσμή.

Μια βασική μέριμνα για την τρέχουσα βιομηχανική χημεία είναι η ανάπτυξη της *πράσινης χημείας*, με στόχο να ελαχιστοποιηθούν τα απόβλητα, ώστε να βελτιωθεί η οικονομία, και να ελαχιστοποιηθούν οι επιπτώσεις στο περιβάλλον, ώστε να αυξηθεί η αποδοχή και η βιωσιμότητα.

Η συνεισφορά της χημείας σε άλλες επιστήμες

Η χημεία οφείλει πολλά στα αντικείμενα που την περιβάλλουν στο τοπίο της επιστήμης, αλλά κι εκείνα χρωστούν πολλά στη χημεία.

Η φυσική οφείλει πολλά, ιδιαίτερα στο πεδίο της ηλεκτρονικής και ολοένα και περισσότερο της φωτονικής (της χρήσης του φωτός αντί των ηλεκτρονίων για τη μεταφορά πληροφοριών και τον χειρισμό δεδομένων). Οι χημικοί δημιουργούν τους ημιαγωγούς χωρίς τους οποίους η χρήση των υπολογιστών θα περιοριζόταν στη βιομηχανική κλίμακα από την οποία ξεκίνησε. Επίσης, δημιουργούν τις υάλους που χρησιμοποιούνται στις οπτικές ίνες, χωρίς τις οποίες η μεταφορά της πληροφορίας θα χώλαινε.

Η βιολογία οφείλει πάρα πολλά στη χημεία, ειδικά μετά την εμφάνιση της *μοριακής βιολογίας*, που αναδύθηκε σε μεγάλο βαθμό από τον προσδιορισμό της δομής του DNA και την ερμηνεία του ως φορέα της γενετικής πληροφορίας από γενιά σε γενιά. Δεν είναι υπερβολικό να πει κανείς ότι η βιολογία έγινε μέρος των φυσικών επιστημών όταν προσδιορίστηκε το χημικό συστατικό του κυρίαρχου χαρακτηριστικού της, της αναπαραγωγής. Η μοριακή βιολογία είναι πραγματικά μια εκδοχή της χημείας, και η ωριμότητα της σύγχρονης χημείας επέτρεψε στη βιολογία να γίνει τόσο ζωντανή όσο ποτέ πριν. Η σύμπραξη της βιολογίας και της χημείας που ονομάζουμε *φαρμακοχημεία* αποτελεί μια από τις μεγάλες και αναντίρρητα αποδεκτές συνεισφορές της χημείας στην κοινωνία.

Η κοινωνία έχει ένα άλλο τεράστιο χρέος στη χημεία διότι, όπως είπα στον Πρόλογο, αξιοποιεί τις υλικές συνεισφορές της χημείας παντού, στην ιατρική, τη γεωργία, τις επικοινωνίες, τις μεταφορές, και σε όλες τις μορφές της οικοδόμησης, της βιομηχανικής παραγωγής και της διακόσμησης. Καθένας από εμάς έχει επίσης ένα προσωπικό

χρέος προς τη χημεία καθώς, όπως επίσης ανέφερα στον Πρόλογο, μας εφοδιάζει με ένα εσωτερικό μάτι για να απολαμβάνουμε τον κόσμο.

Όλα αυτά απορρέουν από την κατανόηση της χημείας, την οποία θα αρχίσω να αναπτύσσω αμέσως τώρα.