

Εισαγωγική Χημεία Λυκείου με βάση την Προσέγγιση Καταστάσεων της Ύλης (SOMA)

Η Προσέγγιση Καταστάσεων της Ύλης (Τσαπαρλής, 1998) [States-of-Matter Approach (SOMA), Tsaparlis 2000)] αποτέλεσε την βασική διδακτική πρόταση σε αναμορφωμένο πρόγραμμα σπουδών χημείας γενικής παιδείας του ενιαίου λυκείου που είχε συνταχθεί το 1997 από επταμελή επιτροπή που συγκροτήθηκε έπειτα από ανοικτή προκήρυξη από το Παιδαγωγικό Ινστιτούτο - Τσαπαρλής, 1998).¹ Σημειώνεται ότι, για λόγους πέρα από την επιστήμη και την παιδαγωγική, το πρόγραμμα δεν εγκρίθηκε και αντ' αυτού υιοθετήθηκε το ισχύον παραδοσιακό πρόγραμμα.

Σύμφωνα με την προσέγγιση SOMA, το μάθημα χωρίζεται σε τρεις μείζονες ενότητες, τις εξής:

- A. Ο αέρας, τα αέρια και η αέρια κατάσταση,**
- B. Το αλάτι, τα άλατα και η στερεά κατάσταση,**
- Γ. Το νερό, τα υγρά και η υγρή κατάσταση.**

Η προσέγγιση λαμβάνει υπόψη την ανάγκη να δίνουμε σημασία όχι μόνο στη λογική πλευρά (δομή) της χημείας, αλλά και στην ψυχολογική-παιδαγωγική πλευρά (Johnstone, 2000).

Πρώτη εισάγεται η αέρια κατάσταση ως η θεωρητικά λιγότερο πολύπλοκη και γι' αυτό η καλύτερα μελετημένη. Επιπλέον, τα στοιχεία και οι ενώσεις που σε συνήθειες συνθήκες είναι στην αέρια κατάσταση έχουν μόρια μικρά και απλά. Δουλεύουμε κατά κανόνα με λίγα αμέταλλα στοιχεία (H, O, N, C, S, αλογόνα και ευγενή αέρια) και τις αντίστοιχες ενώσεις τους (H_2O , O_3 , NH_3 , NO_x , CO , CO_2 , αέριο υδρογονάνθρακες, H_2S , SO_2 , HCl). Δεν έχουμε ιόντα και ιοντικούς δεσμούς. Ξεκινάμε με τον ομοιοπολικό δεσμό (Johnstone et al., 1981). Οι διαμοριακές δυνάμεις είναι απούσες. Κάνουμε μια ενοποιημένη αντιμετώπιση ανόργανης και οργανικής χημείας. Τέλος, μακροσκοπικά μη χειροπιαστή καθώς είναι, η αέρια κατάσταση είναι το πιο ταιριαστό πρελούδιο για τη μελέτη του αόρατου μικρόκοσμου των ατόμων και των μορίων.

Αν και η λογική συνέχεια της αέριας είναι η υγρή κατάσταση, προτιμήσαμε να προηγηθεί η στερεά κατάσταση διότι είναι απλούστερη από την υγρή κατάσταση, χαρακτηριζόμενη από την τέλεια οργάνωση

¹ Δ. Κατάκης, Γ. Τσαπαρλής, Ε. Ζαρωτιάδου, Χ. Μητσοπούλου, Α. Πανόπουλος, Π. Σαραντόπουλος και Γ. Φαντάκη.

σε αντίθεση με την αταξία της αέριας κατάστασης. Η υγρή κατάσταση είναι η δομικά πολυπλοκότερη, όντας ενδιάμεση ως προς την αταξία/τάξη. Σημειωτέον ότι στην ενότητα Γ' εντάσσονται και τα υγρά διαλύματα και τα οξέα και οι βάσεις. Σε όλο το βιβλίο, η χημεία (ιδιότητες και αντιδράσεις) κρατείται σε ένα μίνιμουμ που έχει σχέση με τις πρακτικές εφαρμογές.

Το διδακτικό εγχειρίδιο. Σε πρόσφατη εργασία (Πύργας & Τσαπαρλής, 2007), παρουσιάσαμε πειραματικό διδακτικό εγχειρίδιο (καθώς και τα αποτελέσματα προκαταρκτικής αξιολόγησής του από εκπαιδευτικούς) για το μάθημα χημείας της α' λυκείου. Το βιβλίο συντάχθηκε στα πλαίσια διατριβής μεταπτυχιακού διπλώματος ειδίκευσης του Ευαγγέλου Πύργα. Έχει έκταση 201 σελίδων (αέρια, 72 σ., στερεά, 48 σ., υγρά, 81 σ.). Τα Περιεχόμενα του Βιβλίου φαίνονται στο Παράρτημα, ενώ ακολουθεί υλικό σχετικό με την δραστηριότητα του PARSEL «Αλάτι: Το καλό, το κακό και το νόστιμο».

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΠΑΡΑΠΟΜΠΕΣ

- Πύργας Ε. & Τσαπαρλής Γ. (2007). Προσεγγίζοντας την χημεία μέσα από τις καταστάσεις της ύλης: Πειραματικό υλικό και προκαταρκτική αξιολόγησή του από εκπαιδευτικούς. *Διδακτική Φυσικών Επιστημών και Νέες Τεχνολογίες στην Εκπαίδευση*, 5 (B) 690-698. [Πρακτικά 5ου Συνεδρίου: <http://www.kodipheet.gr>]
- Τσαπαρλής, Γ. (1998). Χημική εκπαίδευση 2000: Ο κύκλος των χαμένων χημικών (ή της χαμένης χημείας;) *Χημικά Χρονικά*, Τεύχος 12, 340-343.
- Τσαπαρλής, Γ. (2001). Πρώτες και δεύτερες σκέψεις για την γυμνασιακή χημεία. *Πρακτικά Διημερίδας ΕΔΙΦΕ*, σελ. 93-104. Αθήνα: Εκδόσεις Γρηγόρη.
- Johnstone A.H. (2000). Teaching of chemistry – logical and psychological. *Chemistry Education Research and Practice*, 1, 9-15. [www.rsc.org/cerp]
- Tsaparlis, G. (2000). The States-Of-Matter Approach to Introductory Chemistry (SOMA). *Chemistry Education Research and Practice*, 1, 161-168. [<http://www.rsc.org/Education/CERP>]

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ: Τα Περιεχόμενα του διδακτικού βιβλίου
«ΧΗΜΕΙΑ για την Α΄ τάξη Λυκείου»**

ΕΝΟΤΗΤΑ Α: Ο ΑΕΡΑΣ, ΤΑ ΑΕΡΙΑ ΚΑΙ Η ΑΕΡΙΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

- A 1 Ο ατμοσφαιρικός αέρας.
- A 2 Τα άτομα και η ατομική δομή.
- A 3 Τα μόρια και η μοριακή δομή.
- A.4 Η χημική αντίδραση.
- A.5 Το οξυγόνο και τα ευγενή αέρια.
- A 6 Το ιδανικό αέριο και η καταστατική εξίσωσή του.
- A7 Η οργανική χημεία.
- A 8 Η ρύπανση του αέρα.

ΕΝΟΤΗΤΑ Β: ΤΟ ΑΛΑΤΙ, ΤΑ ΑΛΑΤΑ ΚΑΙ Η ΣΤΕΡΕΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

- B 1. Το αλάτι και η κρυσταλλική κατάσταση.
- B 2 Ο αριθμός οξείδωσης και ο περιοδικός πίνακας.
- B 3 Τα άλατα, τα οξείδια των μετάλλων και τα υδροξείδια των μετάλλων.
- B 4 Τα μοριακά στερεά. .
- B 5 Τα μέταλλα.
- B 6 Τα στερεά απόβλητα και η διαχείρισή τους.

ΕΝΟΤΗΤΑ Γ: ΤΟ ΝΕΡΟ, ΤΑ ΥΓΡΑ ΚΑΙ Η ΥΓΡΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

- Γ 1 Ο ρόλος της υγρής κατάστασης στη ζωή.
- Γ 2 Όρια θερμοκρασιών και πιέσεων της υγρής κατάστασης.
- Γ 3 Διαμοριακές δυνάμεις (δυνάμεις Van der Waals).
- Γ 4 Το νερό.
- Γ 5 Ο υδράργυρος και το βρώμιο: τα μοναδικά υγρά χημικά στοιχεία.
- Γ 6 Οργανική χημεία: υγρές οργανικές ουσίες.
- Γ 7 Τα διαλύματα.
- Γ 8 Οι προσθετικές ιδιότητες των διαλυμάτων.
- Γ 9 Τα οξέα και οι βάσεις.
- Γ 10 Πόσιμο νερό και ρύπανση του νερού

Ε Ν Ο Τ Η Τ Α Α	ο αέρας, τα αέρια και η αέρια κατάσταση
---	--

- A 1 ο ατμοσφαιρικός αέρας**
- A 2 τα άτομα και η ατομική δομή**
- A 3 τα μόρια και η μοριακή δομή**
- A 4 η χημική αντίδραση**
- A 5 το οξυγόνο και τα ευγενή αέρια**
- A 6 το ιδανικό αέριο και
η καταστατική εξίσωσή του**
- A 7 οι υδρογονάνθρακες**
- A 8 η ρύπανση του αέρα**



Α 1 Ο ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΣ ΑΕΡΑΣ

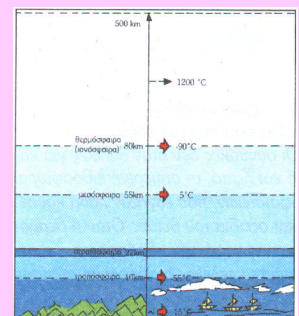
Α 1.1 Φυσική και χημική ταυτότητα του αέρα

Η Γη περιβάλλεται από ένα μείγμα αερίων που αποτελεί την ατμόσφαιρά της. Η **ατμόσφαιρα** εκτείνεται σε ύψος περίπου 1.000 χιλιομέτρων και η πυκνότητά της ελαττώνεται όσο απομακρυνόμαστε από την επιφάνεια της Γης. Η ατμόσφαιρα χωρίζεται στην *τροπόσφαιρα*, στη *στρατόσφαιρα*, στη *μεσόσφαιρα* και στη *θερμόσφαιρα*. Η τροπόσφαιρα έχει ύψος περίπου 10 km και περιέχει το 85-90% του αέρα. Τελικά, στα πρώτα 40 χιλιόμετρα περιέχεται το 99% της μάζας της. Η θερμοκρασία που επικρατεί στην ατμόσφαιρα ελαττώνεται με το ύψος.

Η ποιοτική και η ποσοτική ανάλυση του αέρα γίνεται με μεθόδους χημικής ανάλυσης. Η **ποιοτική ανάλυση** συνίσταται στην εύρεση του *ποια συστατικά υπάρχουν σε ένα μείγμα*. Η ποσοτική ανάλυση υπολογίζει τις ποσότητες από κάθε ουσία. Αυτό συχνά εκφράζεται ως επί τοις εκατό ποσοστιαία αναλογία, κατ' όγκον ή κατά βάρος. Στις εργαστηριακές δραστηριότητες (στο τέλος του βιβλίου) το Πείραμα 1 περιγράφει πειράματα για την ποιοτική και την ποσοτική ανάλυση του ατμοσφαιρικού αέρα.

Ο Πίνακας 1 δίνει τη σύσταση του αέρα στα βασικά του συστατικά. Πιο αναλυτικά στοιχεία για την κατ' όγκο σύσταση του καθαρού και ξηρού ατμοσφαιρικού αέρα κοντά στην επιφάνεια της θάλασσας δίνονται στον Πίνακα 2. Παρατηρούμε ότι το *άζωτο* και το *οξυγόνο* αποτελούν το 99% του όγκου του αέρα. Το υπόλοιπο 1% αποτελείται από *αργόν*, *διοξείδιο του άνθρακα* και άλλα αέρια. Στην ατμόσφαιρα υπάρχουν και *υδρατμοί*, η ποσότητα των οποίων εξαρτάται από τον τόπο και το κλίμα. Στους υδρατμούς οφείλεται η *υγρασία* του αέρα.

Χωρίς τον ατμοσφαιρικό αέρα, η ζωή στη Γη, τουλάχιστον έτσι όπως τη γνωρίζουμε σήμερα, θα ήταν αδύνατη, διότι ο ατμοσφαιρικός αέρας περιέχει το απαραίτητο για την αναπνοή οξυγόνο. Επίσης μας



Τα στρώματα της ατμόσφαιρας με τις θερμοκρασιακές συνθήκες που επικρατούν και τη σχετική τους έκταση, καθώς και τη δραστηριότητα σε αυτά.

προφυλάσσει από την επικίνδυνη ηλιακή και κοσμική ακτινοβολία, καθώς και από την πτώση μετεωριτών.

A 1.2 Ο αέρας ως μείγμα αερίων

Για την έκφραση πολύ μικρών περιεκτικοτήτων χρησιμοποιείται η μονάδα **μέρη ανά εκατομμύριο** (ppm, parts per million). Αυτή εκφράζει τα μέρη της ουσίας που περιέχονται σε 1 εκατομμύριο (10^6) μέρη του μείγματος.

Στον Πίνακα 2 οι περιεκτικότητες εκφράζονται σε % περιεκτικότητα ή ppm. Και στις δύο περιπτώσεις, η περιεκτικότητα εκφράζεται ως όγκος κατ' όγκον. Έτσι 1 ppm ισοδυναμεί με 1 cm^3 αερίου συστατικού σε 1 εκατομμύριο cm^3 αέρα, ενώ 1% v/v σημαίνει 1 cm^3 αερίου συστατικού σε 100 cm^3 αέρα που ισοδυναμεί με 10.000 ppm.

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 2 υπάρχουν τέσσερις κατηγορίες συστατικών του ατμοσφαιρικού αέρα με βάση την ποσότητά τους: τα κύρια συστατικά (*άζωτο* και *οξυγόνο*), τα λιγότερο κύρια συστατικά (*αργόν* και *διοξείδιο του άνθρακα*) τα ευγενή αέρια (νέον, κρυπτόν, ήλιον, ξένον) και τα ιχνοσυστατικά. Επιπλέον, ο ατμοσφαιρικός αέρας μπορεί να περιέχει *νερό* (υγρασία) σε περιεκτικότητες 0,1% - 5% v/v (συνήθως η περιεκτικότητα σε υδρατμούς κυμαίνεται μεταξύ 1% και 3% v/v.)

78,05%	N ₂
20,95%	O ₂
0,93%	Ar
0,03%	CO ₂
0,01%	υπόλοιπα αέρια

Πίνακας 2: Σύσταση καθαρού και ξηρού αέρα στην επιφάνεια της Γής

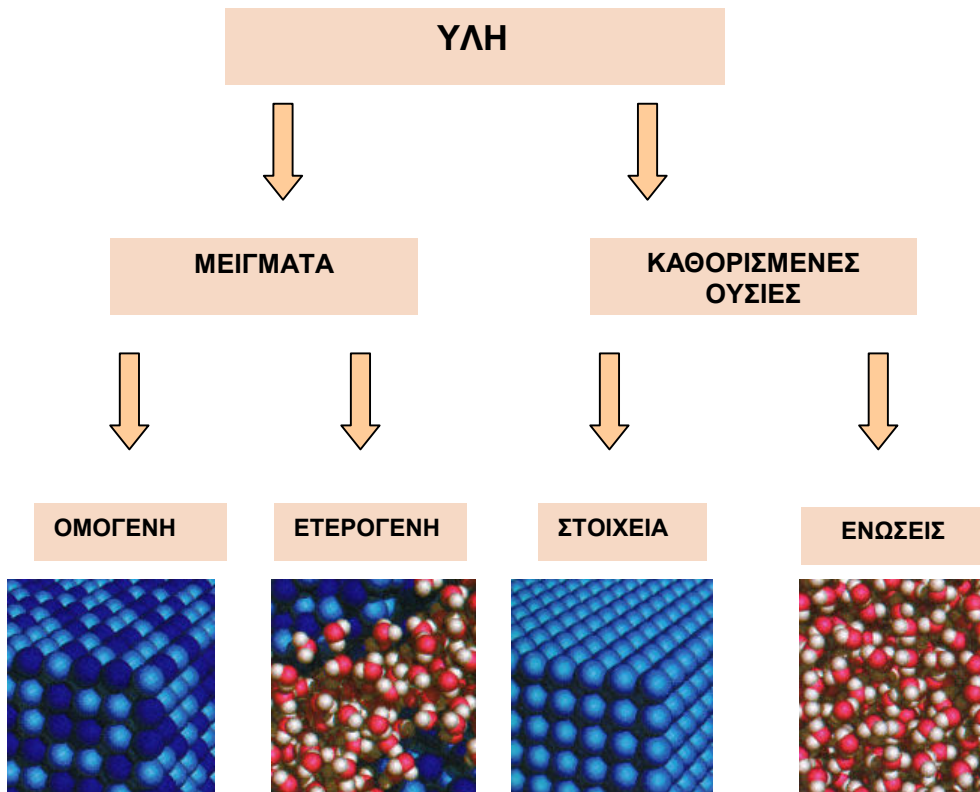
Συστατικό	Περιεκτικότητα	
	(%v/v ή ppm)	
Άζωτο (N ₂)	78,048	% v/v
Οξυγόνο (O ₂)	20,946	% v/v
Αργό (Ar)	0,934	% v/v
Διοξείδιο του άνθρακα (CO ₂)	340	ppm
Νέον (Ne)	18,18	ppm
Ήλιον (He)	5,24	ppm
Μεθάνιο (CH ₄)	1,3 – 1,6	ppm
Κρυπτόν (Kr)	1,14	ppm
Υδρογόνο (H ₂)	0,5	ppm
Διάζωτοξείδιο (N ₂ O)	0,25 – 0,35	ppm
Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)	0,12	ppm
Ξένον (Xe)	0,087	ppm
Όζον (O ₃)	0,025	ppm

Αμμωνία (NH ₃)	0,001	ppm
----------------------------	-------	-----

Α 1.3 Ταξινόμηση της ύλης: ουσίες, μείγματα, ενώσεις, στοιχεία

Ταξινόμηση της ύλης

Η ύλη, τα εκατομμύρια δηλαδή ουσιών που μας περιβάλλουν, μπορεί να ταξινομηθεί με βάση το παρακάτω σχήμα:



Καθαρές ουσίες και μείγματα ουσιών

Ξέρουμε ότι στη φύση, τα περισσότερα υλικά δεν αποτελούνται από μία μόνο καθαρή ουσία, αλλά είναι μείγματα πολλών ουσιών. Πώς μπορούμε να αποφασίσουμε αν ένα υλικό αποτελείται από μία καθαρή ουσία ή από ένα μείγμα ουσιών;

Ας πάρουμε ως παράδειγμα το νερό. Όλοι μας είμαστε εξοικειωμένοι με το νερό και όλοι το αναγνωρίζουμε εύκολα. Ξέρουμε την όψη του, τι αισθανόμαστε όταν το ακουμπάμε, πώς ρέει, σε ποια θερμοκρασία παγώνει και σε ποια βράζει, την πυκνότητά του, ότι διαλύει τη ζάχαρη, το αλάτι και πλήθος άλλες ουσίες. Οι χαρακτηριστικές αυτές και σταθερές ιδιότητες (οι φυσικές σταθερές) χαρακτηρίζουν μόνο το νερό. Για τον λόγο αυτόν, το νερό (το χημικώς καθαρό νερό) είναι μια καθαρή ουσία ή απλώς ουσία.

Ας πάρουμε ένα άλλο παράδειγμα, τη ζάχαρη. Η ζάχαρη που βρίσκουμε στα καταστήματα τροφίμων είναι σχεδόν καθαρή. Όπως το νερό, έτσι και η ζάχαρη έχει διάφορες χαρακτηριστικές ιδιότητες, π.χ.

γλυκιά γεύση, ορισμένη πυκνότητα, διαλύεται εύκολα στο νερό με καθορισμένη τιμή διαλυτότητας σε κάθε θερμοκρασία κ.ά.

Αν όμως πάρουμε ένα μείγμα, π.χ. υδατικό διάλυμα ζάχαρης, αυτό έχει γεύση, πυκνότητα, θερμοκρασία βρασμού, θερμοκρασία πήξεως και αρκετές άλλες ιδιότητες που εξαρτώνται από τη *σύστασή* του, ήτοι από πόση ζάχαρη είναι διαλυμένη σε ορισμένη ποσότητα νερού.

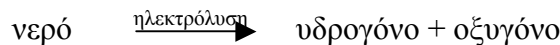
Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι:

- Κάθε ουσία έχει ορισμένες ιδιότητες και ορισμένες σταθερές (φυσικές σταθερές) που είναι πάντα ίδιες γι' αυτήν, ενώ αντίθετα
- τα μείγματα έχουν μεταβλητές ιδιότητες και φυσικές σταθερές, με τιμές που εξαρτώνται από τη μεταβλητή τους σύσταση, έχουν μεταβλητή σύσταση ανάλογα με τον τρόπο παρασκευής και την προέλευσή τους.

Τα περισσότερα από τα υλικά που συναντάμε είναι μείγματα, των οποίων η σύσταση ποικίλλει π.χ. το γάλα, το λάδι, το θαλασσινό νερό, ο ατμοσφαιρικός αέρας. Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι ο ατμοσφαιρικός αέρας δεν έχει παντού την ίδια σύσταση, π.χ. ο αέρας της πόλης έχει διαφορετική σύσταση από τον αέρα του βουνού.

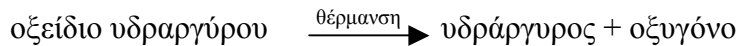
Χημικές ενώσεις και χημικά στοιχεία

Ξέρουμε ότι η ουσία νερό μπορεί να *διασπαστεί* με *ηλεκτρόλυση* σε δύο άλλες ουσίες με εντελώς διαφορετικές ιδιότητες, τα αέρια *υδρογόνο* και το *οξυγόνο*. Η **διάσπαση** αυτή του νερού είναι μια *χημική αντίδραση*:



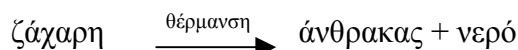
Κανένας όμως δεν έχει καταφέρει μέχρι τώρα να διασπάσει ούτε το υδρογόνο ούτε το οξυγόνο σε δύο ή περισσότερες άλλες ουσίες το καθένα.

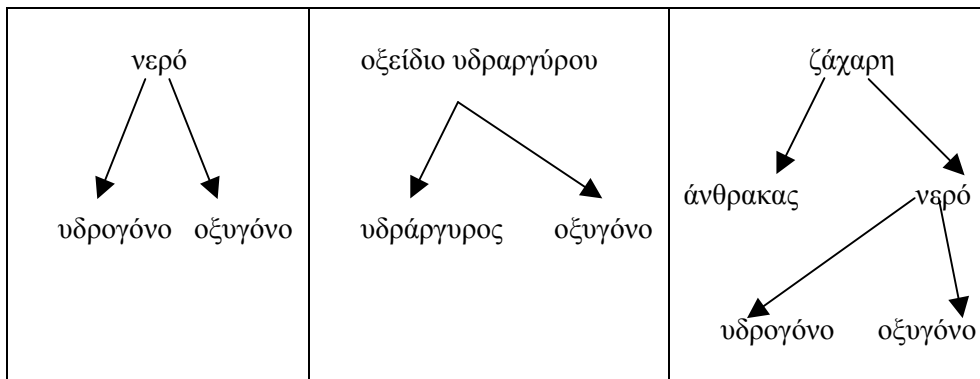
Όμοια μια άλλη ουσία, το κόκκινο στερεό *οξειδίο του υδραργύρου*, με ισχυρή θέρμανση διασπάται σε δύο διαφορετικές ουσίες, τον *υδράργυρο*, το μοναδικό υγρό μέταλλο, και το αέριο *οξυγόνο*.



Κανένας όμως δεν έχει καταφέρει μέχρι τώρα να διασπάσει τον υδράργυρο (και όπως αναφέραμε ήδη ούτε το οξυγόνο) σε δύο ή περισσότερες άλλες ουσίες.

Τέλος, αν θερμάνουμε ισχυρά *ζάχαρη* μέσα σ' ένα γυάλινο σωλήνα, η ζάχαρη διασπάται σε *άνθρακα* και σε *νερό*:





Σημειωτέον ότι η ζάχαρη δεν είναι μείγμα από άνθρακα και νερό, με άλλα λόγια δεν μπορούμε να φτιάξουμε ζάχαρη με το να αναμείξουμε απλώς κάρβουνο και νερό.

Το νερό, το οξείδιο του υδραργύρου, η ζάχαρη είναι ουσίες που διασπώνται μέσω χημικών αντιδράσεων σε δύο άλλες ουσίες η καθεμιά. Γι' αυτό τον λόγο, οι ουσίες αυτές λέγονται *σύνθετες ουσίες* ή **χημικές ενώσεις** ή απλώς **ενώσεις**. Αντίθετα, ουσίες όπως το υδρογόνο, το οξυγόνο, ο υδράργυρος και ο άνθρακας, που δεν μπορούν να διασπαστούν σε άλλες ουσίες, λέγονται *απλές ουσίες* ή **χημικά στοιχεία** ή απλώς **στοιχεία**.

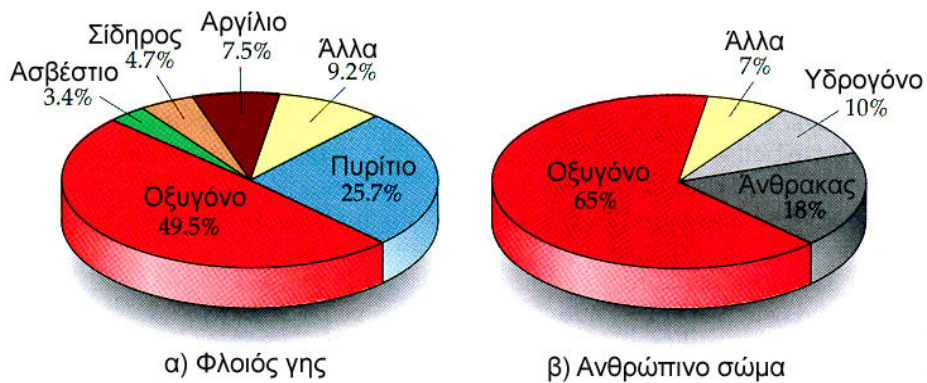
Πολλές χημικές ενώσεις είμαστε σε θέση να τις συνθέσουμε από τα χημικά στοιχεία στα οποία μπορούν να διασπαστούν, π.χ. από οξυγόνο και υδρογόνο μπορούμε να συνθέσουμε νερό. Λέμε ότι *οι απλές ουσίες ενώνονται χημικά και φτιάχνουν σύνθετες ουσίες*. Γι' αυτό οι σύνθετες ουσίες λέγονται **χημικές ενώσεις** ή απλώς **ενώσεις**.

Σήμερα είναι γνωστά περί τα 110 χημικά στοιχεία, από τα οποία τα 88 υπάρχουν στη φύση, ενώ τα υπόλοιπα είναι τεχνητά. Κάθε στοιχείο έχει διαφορετικές ιδιότητες και τα περισσότερα ποικίλες εφαρμογές. Εξάλλου, παρατηρούνται και ομοιότητες μεταξύ διαφόρων στοιχείων. Όπως τα 24 γράμματα του αλφαβήτου φτιάχνουν δεκάδες χιλιάδες λέξεις, έτσι και τα χημικά στοιχεία ενώνονται χημικά μεταξύ τους με διάφορους συνδυασμούς κι έτσι φτιάχνονται εκατομμύρια χημικές ενώσεις. Πολλές ενώσεις υπάρχουν στη φύση. Πολλές άλλες δεν υπάρχουν στη φύση, αλλά τις συνθέτουν οι χημικοί στα χημικά εργαστήρια. Οι ενώσεις αυτές έχουν διαφορετικές ιδιότητες η καθεμιά και ποικίλες εφαρμογές. Πολλές είναι ακίνδυνες, αλλά και πολλές επικίνδυνες. Πολλές είναι χρήσιμες ως φάρμακα, ως χρήσιμα υλικά. Και πολλές είναι βλαβερές. Τέλος, πολλές ενώσεις μένουν να ανακαλυφθούν ή να συντεθούν, με την ελπίδα ότι θα λύσουν διάφορα προβλήματα του ανθρώπου, όπως να θεραπεύσουν ασθένειες, να συμβάλουν στη βελτίωση του περιβάλλοντος και να λύσουν το ενεργειακό πρόβλημα.

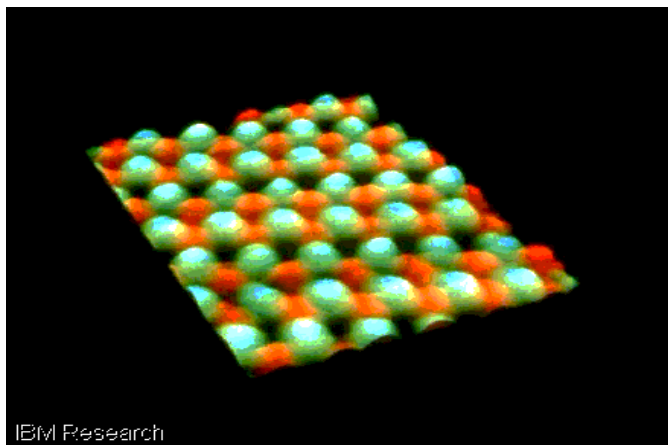
Με βάση τις γνώσεις μας για τη δομή της ύλης, ένα στοιχείο αποτελείται από ένα είδος ατόμων, ενώ μια ένωση αποτελείται από άτομα δύο ή περισσότερων διαφορετικών στοιχείων.

Πίνακας με τα σύμβολα και την ονομασία των στοιχείων δίνεται στο εμπρός εσώφυλλο του βιβλίου. Να παρατηρήσουμε ότι το μεγαλύτερο

μέρος της γης και του ανθρώπινου σώματος αποτελείται από 7 μόνο στοιχεία, όπως χαρακτηριστικά απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 1: Κατανομή χημικών στοιχείων στη γη και στον άνθρωπο



- Το άτομο είναι ένα απειροελάχιστο σωματίδιο, με μέγεθος που ξεπερνά τα όρια της φαντασίας μας. Ωστόσο, νέες τεχνικές στη μικροσκοπία επιτρέπουν την παρατήρηση του και τον προσδιορισμό του μεγέθους του. Δείτε στην διπλανή εικόνα την απεικόνιση των ατόμων στην επιφάνεια του κρυστάλλου του στοιχείου Γερμάνιο (Ge), μέσω μιας νέας τεχνικής (Scanning Tunneling Microscopy-STM) που αναπτύχθηκε τα τελευταία χρόνια.