

ΣΥΝΔΕΣΗ ΤΟΥ ΜΑΚΡΟΣΚΟΠΙΚΟΥ ΜΕ ΤΟ ΥΠΟΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΚΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΤΗΣ ΧΗΜΕΙΑΣ ΜΕΣΩ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ

Γεώργιος Τσαπαρλής

Ομότιμος Καθηγητής Διδακτικής Φυσικών Επιστημών, Τμήμα Χημείας

Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων

gtseper@uoi.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η χημεία έχει τρεις κύριες συνιστώσες/επίπεδα: (1) το μακροσκοπικό και απτό, (2) το συμβολικό και μαθηματικό ή αναπαραστασιακό και (3) το μοριακό και αόρατο ή υπομικροσκοπικό. Η ενασχόληση με το συμβολικό και το υπομικροσκοπικό επίπεδο νωρίς στο σχολείο καθιστά τη μάθηση δύσκολη ή αδύνατη λόγω της υπερφόρτωσης της εργαζόμενης μνήμης. Για να ξεπεράσουμε αυτή την υπερφόρτωση, πρέπει να παραμείνουμε στο μακροεπίπεδο «μέχρι οι μαθητές να διαμορφώσουν νέες έννοιες προτού επιχειρήσουμε να εισαγάγουμε "επεξηγήσεις" βασισμένες στο υπομικροεπίπεδο». Οι εργαστηριακές εμπειρίες παρέχουν άμεση επαφή με ουσίες και φαινόμενα, και έτσι «είναι ουσιαστικές σε όλη τη διδακτική των φυσικών επιστημών». Επιπλέον, τα πειράματα και οι επιδείξεις είναι ένα ισχυρό εργαλείο για τη σύνδεση των τριών επιπέδων της χημείας. Σε αυτό το κεφάλαιο, επιζητούμε να χρησιμοποιήσουμε πειράματα που μπορεί να βοηθήσουν στη δημιουργία της επιχειρούμενης μακρο-υπομικρο-σύνδεσης.

Λέξεις-κλειδιά: τρίγωνο χημείας, σύνδεση του μακροσκοπικού με το υπομικροεπίπεδο της χημείας, πειράματα και μοντέλα χημείας

Αναφορά: Τσαπαρλής, Γ. (2025). *Σύνδεση του Μακροσκοπικού με το Υπομικροσκοπικό Επίπεδο της Χημείας μέσω Πειραμάτων*, στο Κώτσης Κ.Θ. & Στύλος Γ., (Επιμέλεια), *Πείραμα και Διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών, Επετειακός Τόμος για τα 40 χρόνια του ΠΤΔΕ Ιωαννίνων*, Εργαστήριο Εκπαίδευσης και Διδασκαλίας της Φυσικής, Πανεπιστημίου Ιωαννίνων. ISBN: 978-618-82063-5-9

LINKING THE MACRO WITH THE SUBMICRO LEVELS OF CHEMISTRY BY MEANS OF EXPERIMENTS

Georgios Tsaparlis

*Professor Emeritus of Science Education, Department of Chemistry, University of
Ioannina*

gtseper@uoi.gr

ABSTRACT

Chemistry has three main components/levels: (1) the macroscopic and tangible, (2) the symbolic and mathematical or representational, and (3) the molecular and invisible or submicroscopic. Dealing with the symbolic and the submicro levels early in school makes learning difficult or impossible because of working-memory overload. To overcome this overload, we must stay with the macro level “until pupils have formed new concepts before we attempt to introduce ‘explanations’ based on submicro considerations”. Laboratory experiences provide direct contact with substances and phenomena, and so “are essential throughout science education.” In addition, experiments are a powerful tool for linking the three levels of chemistry. In this chapter, we seek to use experiments that can help make the attempted macro-submicro link.

Keywords: *Chemistry triangle, linking the macro with the submicron levels of chemistry, chemistry experiments and models, chemistry models*

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το περίφημο τρίγωνο Johnstone για τις φυσικές επιστήμες (Johnstone & Wham 1982 – βλ. Σχήμα 1) έχει σε μια από τις γωνίες του απτά πράγματα, που αποτελούν το «Μακροσκοπικό» ή «Μακρο Επίπεδο» της σχολικής χημείας. Τα δύο άλλα επίπεδα που διευκολύνουν την περαιτέρω κατανόηση είναι το «Συμβολικό και Μαθηματικό Επίπεδο», το οποίο περιλαμβάνει σύμβολα, μαθηματικές και χημικές εξισώσεις, καθώς και γραφήματα και υπολογισμούς, και το «Υπομικροσκοπικό» ή «Υπομικροεπίπεδο», που αναφέρεται σε οντότητες όπως άτομα και μόρια, που είναι τόσο μικροσκοπικά που δεν μπορούμε να τα παρατηρήσουμε ούτε απευθείας ούτε καν με τη βοήθεια ενός

ισχυρού μικροσκοπίου. Αυτές οι οντότητες είναι αντικείμενα σκέψης και εξάγουμε συμπεράσματα σχετικά με αυτές μέσα από τη λογική σκέψη και τα συμπεράσματα.¹



Σχήμα 1. Το τρίγωνο Johnstone που απεικονίζει τα τρία επίπεδα διδασκαλίας και εκμάθησης Φυσικών Επιστημών (Φυσική και Χημεία) (Johnstone 2007)

Λόγω της κατάρτισης, της εμπειρίας και της βαθιάς γνώσης, οι επιστήμονες και οι δάσκαλοι μπορούν να μεταπηδήσουν από επίπεδο σε επίπεδο, καθώς ασχολούνται με τις ιδέες που προσπαθούν να επικοινωνήσουν ή να διδάξουν. Ωστόσο, οι μαθητές αρχικά δεν μπορούν να το κάνουν αυτό. Επομένως, εάν ένας δάσκαλος απασχολεί όλα τα επίπεδα ταυτόχρονα πολύ νωρίς, αυτό είναι πιθανό να υπερφορτώσει την εργαζόμενη μνήμη των μαθητών και καταλήγει σε μη μάθηση ή σε κακή μάθηση. Για να αποφευχθεί αυτή η υπερφόρτωση, ο Johnstone συνέστησε να μείνουμε στο μακρο-επίπεδο, έως ότου οι μαθητές έχουν διαμορφώσει νέες έννοιες προτού να επιχειρήσουν να εισαγάγουν «εξηγήσεις» βασισμένες στις υπομίκρο καταστάσεις. Οι εμπειρίες που έχουν να κάνουν με χειροπιαστές οντότητες, για παράδειγμα κάνοντας εργαστηριακά πειράματα, είναι χρήσιμες και ουσιαστικές σε όλη την εκπαίδευση των φυσικών

¹Το υπομικροσκοπικό επίπεδο διακρίνεται περαιτέρω σε ένα που μελετά τις ιδιότητες των απομονωμένων μόριων (που αντιπροσωπεύονται στο υψηλότερο επίπεδο από την κβαντική χημεία) και ένα που μελετά τη στατιστική συμπεριφορά μεγάλων συνόλων μορίων (μελέτη με τις μεθόδους της στατιστικής θερμοδυναμικής) (Ben-Zvi, Silberstein, & Mamlok 1990).

επιστημών. Συμπερασματικά, τα ακόλουθα είναι τα κύρια αποτελέσματα από την παιδαγωγική έρευνα (Johnstone 2007, σελ. 10):

- Ό,τι μαθαίνουμε ελέγχεται από αυτό που ήδη γνωρίζουμε.
- Οι εκπαιδευόμενοι μπορούν να επεξεργαστούν μόνο έναν περιορισμένο όγκο πληροφοριών ταυτόχρονα.
- Οι επιστημονικές έννοιες υπάρχουν σε περισσότερα από ένα πνευματικά επίπεδα.
- Πολλές επιστημονικές έννοιες είναι διαφορετικού είδους από τις καθημερινές έννοιες.
- Οι εκπαιδευόμενοι πρέπει να ξεκινήσουν με έννοιες που δημιουργούνται από απτή εμπειρία και αναπτύσσονται αργότερα για να τις συμπεριλάβουν συνεπαγόμενες έννοιες.

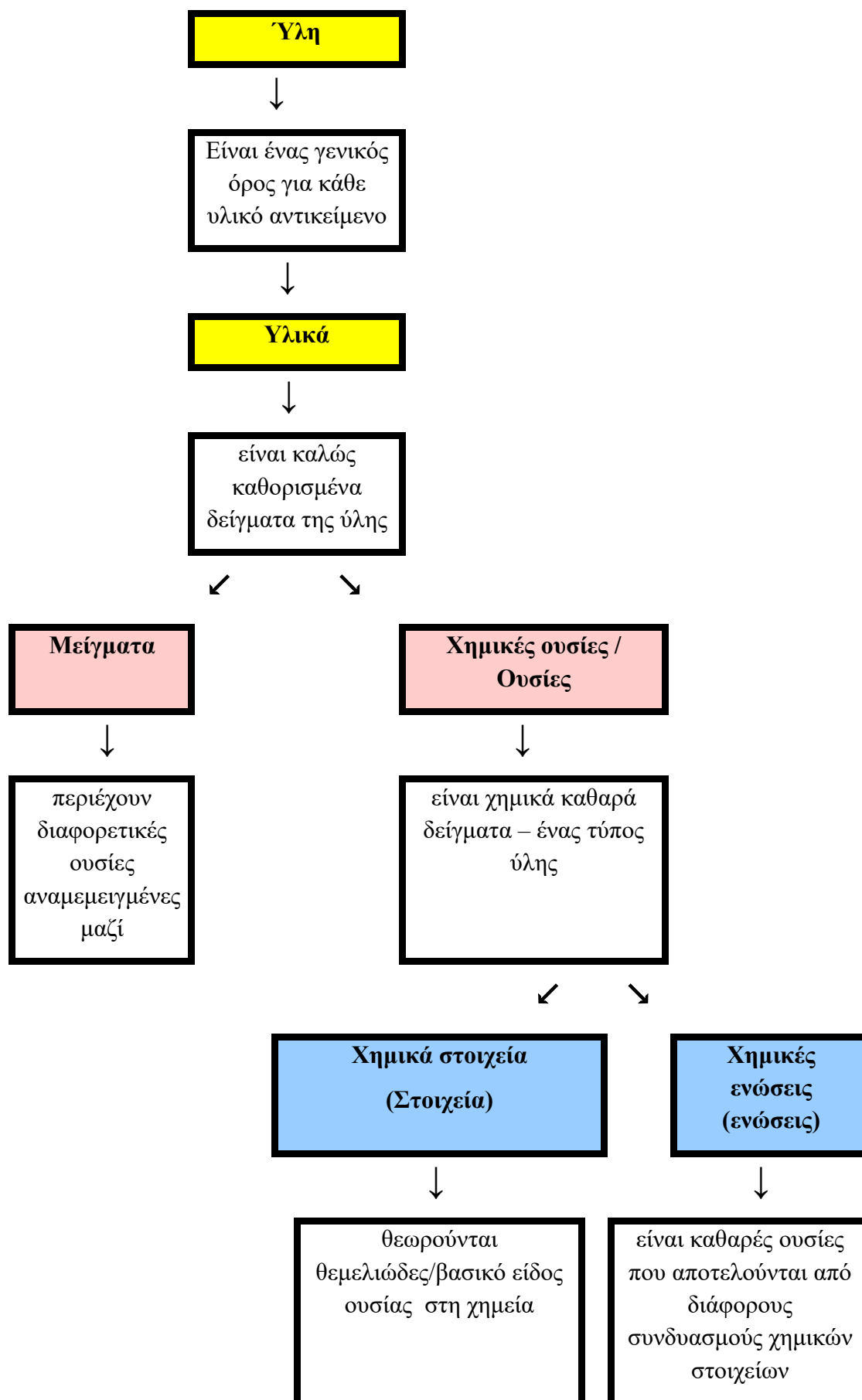
Ο Johnstone (2007, σελ. 10) πρότεινε ότι οι σχεδιαστές προγραμμάτων σπουδών, οι συγγραφείς σχολικών βιβλίων και οι διδάσκοντες θα πρέπει να εξετάσουν την ανάγκη «για μια σημαντική εισαγωγική περίοδο κατά την οποία οι μαθητές εξοικειώνονται με τη επιστημονική σκέψη μόνο μέσω της χρήσης μακροσκοπικών και απτών εμπειριών. Υπάρχει άφθονη καλή επιστήμη που μπορεί να μαθαίνεται χωρίς την «παρέμβαση» υπο-μικροθεωρήσεων. Η χημεία, ως μια επιστήμη των υλικών, που ασχολείται με τα πράγματα της καθημερινής εμπειρίας, έχει πολλά να προσφέρει». Μια τέτοια προσέγγιση είναι συνεπής με τον εποικοδομισμό και ακολουθεί την επαγωγική μέθοδο, μεταβαίνοντας από το μάκρο στο υπομίκρο επίπεδο. Σημειώστε ότι η αντίθετη πορεία, που ξεκινά από τη δομή της ύλης και ακολουθεί το μοντέλο της παραγωγικής/δεκτικής προσέγγισης, είναι αρκετά διαδεδομένη στη χημική εκπαίδευση.

Σε αυτό το άρθρο, επιχειρώ να χρησιμοποιήσω πειράματα που μπορεί να βοηθήσουν στη δημιουργία της επιζητούμενης μάκρο-υπομίκρο σύνδεσης. Το άρθρο βασίζεται κατά το μεγαλύτερο μέρος σε δύο κεφάλαια που συνέγραψα (Tsaparlis, 2009; 2014) για δύο συλλογικούς τόμους του εκδοτικού οίκου Springer (Gilbert & Treagust, 2009; Devetak & Glažar, 2014). Πρώτα όμως είναι χρήσιμο να αναφερθώ στις σχέσεις μεταξύ βασικών εννοιών στη χημεία (βλ. Σχήμα 2). Το σχήμα αυτό προτάθηκε από τον Taber (2012, Chapter 1, p. 5).

ΣΥΝΔΕΣΗ ΤΟΥ ΜΑΚΡΟΚΟΣΜΟΥ ΜΕ ΤΟΝ ΥΠΟΜΙΚΡΟΚΟΣΜΟ ΜΕΣΩ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Πολυάριθμες μελέτες έχουν δείξει ότι οι μαθητές έχουν μεγάλες δυσκολίες όταν προσπαθούν να αντιληφθούν έννοιες όπως αυτή του μορίου και του ατόμου, δηλαδή όταν προσπαθούν να μετακινηθούν από το μάκρο στο υπομίκρο επίπεδο και αντίστροφα. Διάφοροι ερευνητές (π.χ. Abraham, Williamson, & Westbrook 1994, Brook, Briggs, & Driver 1984, Haidar & Abraham 1991, Lee et al. 1993, Novick & Nussbaum 1981) έχουν διερευνήσει τις εναλλακτικές αντιλήψεις των μαθητών. Από την άλλη, οι Herron (1978), Johnstone (1991), και Tsaparlis (1997a) έχουν διατυπώσει

τη θέση ότι οι μαθητές δυσκολεύονται με έννοιες και θέματα σχετικά με τη δομή της ύλης.



Σχήμα 2. Σχέσεις μεταξύ βασικών εννοιών στη χημεία

Η εργαστηριακή/πειραματική διδασκαλία παρουσιάζεται συχνά στο μάκρο επίπεδο, με βασικό στόχο να επιδείξει νόμους και φαινόμενα. Η θεωρία και το υπομικροεπίπεδο χρησιμοποιούνται για να εξηγηθούν οι παρατηρήσεις σε μακροεπίπεδο, αλλά πειράματα που επιδεικνύουν άμεσα τη σύνδεση του μάκρο με το υπομίκρο-επίπεδο απουσιάζουν. Η σύνδεση μεταξύ των τριών επιπέδων της χημείας θα συμβάλει πολύ στην ανάπτυξη της νοητικών ικανοτήτων στους μαθητές (Georgiadou & Tsaparlis 2000; Johnstone 2000) αλλά αυτή η σύνδεση είναι ένα δύσκολο έργο, όπως επιδεικνύει το παρακάτω υλικό από ένα μάθημα διδασκαλίας του οξυγόνου σε μαθητές της β' τάξης γυμνασίου σε ελληνικό αστικό σχολείο.

- Ο καθηγητής έβαλε φωτιά σε μια ποσότητα θείου σε ένα χωνευτήριο πορσελάνης και ρώτησε τον μαθητή να περιγράψει αυτό που είχε παρατηρήσει.

Μαθητής: Το θειάφι πήρε φωτιά και δημιουργήθηκε καπνός.

Καθηγητής: Μπορείς να γράψεις στον πίνακα τη χημική εξίσωση για την αντίδραση;

Στη συνέχεια ο μαθητής έγραψε $S + \dots$, ο καθηγητής πρόσθεσε το O_2 και ο μαθητής ολοκλήρωσε επιτυχώς την εξίσωση $\rightarrow SO_2$.

Καθηγητής: Πολύ καλά. Μπορείς τώρα να περιγράψεις ξανά αυτό που παρατήρησες πριν;

Μαθητής: Το θείο πήρε φωτιά και το οξυγόνο πήγε μαζί του και...

Στην πραγματικότητα, απαιτείται εκτεταμένος και προσεκτικός πειραματισμός για να αποδειχθεί η εμπλοκή και να γίνει η απομόνωση και η ταυτοποίηση αερίων σε χημικές αντιδράσεις.

Τα αέρια και η σημασία της ιστορίας της χημείας

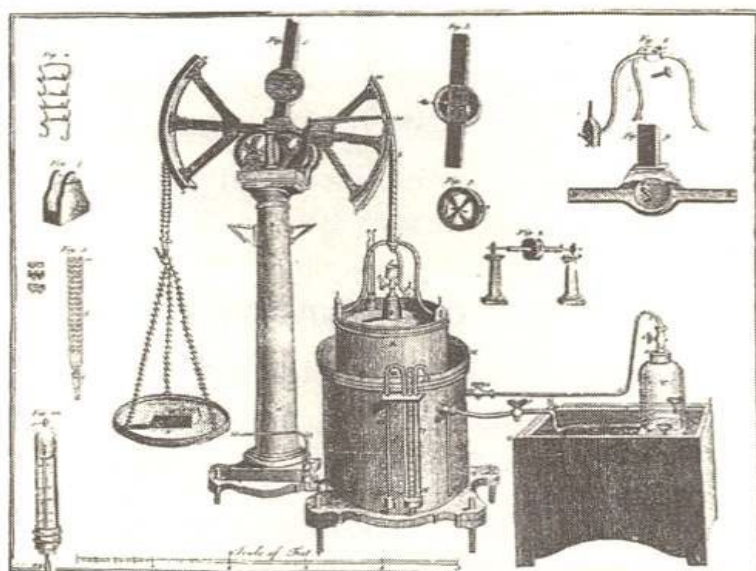
Τα παραπάνω στοιχεία μάς οδηγούν στην αξία του πειραματισμού με αέρια για την κατανόηση της χημείας και η επιθυμητή σύνδεση με το συμβολικό/αναπαραστασιακό και το υπομίκρο επίπεδα. Η ιστορία της χημείας είναι ύψιστης σημασίας εδώ. Πρώτον, πρέπει να αναγνωρίσουμε τη μεγάλη συμβολή του Robert Boyle (1627-1691) ως προς τον ρόλο του πειράματος στη χημεία. Κατά συνέπεια, κρίνεται απαραίτητη μια αναφορά στην ιστορία της μελέτης των αερίων.² Οι περισσότεροι χημικοί άφησαν στο περιθώριο τα αέρια από τα χρόνια της αλχημείας μέχρι τις αρχές του 18^{ου} αιώνα. Οι «αέρες» ή τα «αέρια» δεν θεωρήθηκαν ως μία μορφή χημικών ειδών. Ο λόγος ήταν ότι οι χημικοί δεν είχαν τα μέσα να εξετάζουν και να μετρούν τα αέρια όπως έκαναν με τα στερεά και τα υγρά. Στην Εγκυκλοπαίδεια (Encyclopédie) των Didot and D'Alembert (Έτος 1757, Τόμος 7, σελ. 520) αναφέρεται:

- «Η 'αντίσταση' των αερίων στη μέτρησή τους θα τα θέσει εκτός των ερευνών μας για πολύ καιρό ακόμη».

² Για πλήρη περιγραφή, δείτε το βιβλίο του Levere για την ιστορία της χημείας (Levere 2001), από το οποίο δανείζονται πληροφορίες στο παρόν άρθρο.

Χρειάστηκαν πολλά χρόνια και η ιδιοφυΐα των επιστημόνων ώστε τα αέρια όχι μόνο να καταλάβουν τη θέση που τους άξιζε στη μελέτη της χημείας, αλλά και να παρέχουν τα μέσα για την πραγματοποίηση της χημικής επανάστασης και την καθιέρωση της χημείας ως πραγματικής επιστήμης. Η σύλληψη και η κατασκευή καινοτόμων κατάλληλων συσκευών ήταν εκ των ων ουκ άνευ για τη μελέτη των αερίων.

Προκειμένου να μελετήσει «εκείνο το υπέροχο υγρό, που έχει τέτοια σημασία για τη ζωή των φυτών και των ζώων», ο Stephen Hale επινόησε το 1727 την «σκάφη των αερίων» (pneumatic trough, Levere 2001, σελ. 53). Εξάλλου, οι μελέτες του Joseph Black (1727-99) είναι υποδειγματικές για τη διερεύνηση των «αέρων». Ο Cavendish (1731-1810) επανέλαβε μερικά από τα πειράματα του Black, προσθέτοντας τις δικές του ποσοτικές παρατηρήσεις. Ο Joseph Priestley (1733-1804) ανακάλυψε νέα είδη αέρα, συμπεριλαμβανομένου του διοξειδίου του άνθρακα (σταθερός αέρας, fixed air) και του οξυγόνου. Η συσκευή του για τη μελέτη των αερίων (Levere 2001, σελ. 58) ήταν εξαιρετικά λειτουργική και απλή. Τέλος, ο Antoine-Laurent Lavoisier (1743-1794) πρότεινε τη θεωρία του οξυγόνου σε σχέση με την καύση, ανατρέποντας τη θεωρία του φλογιστού. Πράγματι, τα αέρια ήταν κεντρικής σημασίας για τη χημική επανάσταση και η σύνθεση του νερού από τον Lavoisier ήταν ένα από τα βασικά του πειράματα. Γι' αυτήν την έρευνα, εφηύρε το Γκαζόμετρο (Σχήμα 3), ένα όργανο που σύμφωνα με τον ίδιο ήταν απαραίτητο για κάθε είδους εργασία στη χημεία των αερίων. Ο τεράστιος όγκος δεδομένων που η χημεία των αερίων συνεισέφερε παρέσχε στον John Dalton τα εργαλεία για την ανάπτυξη της ατομικής θεωρίας, συνδέοντας έτσι το μακροεπίπεδο της χημείας με το υπομίκρο-επίπεδο. Το συμβολικό/αναπαράστασιακό επίπεδο συνέβαλε επίσης πολύ, οπότε δεν είναι περίεργο το γεγονός ότι ο Dalton είχε επινοήσει σύμβολα για τα άτομα (Levere 2001, σελ. 86).



Σχήμα 3. Το γκαζόμετρο του Λαβουαζιέ (από Antoine-Laurent Lavoisier, *Traité élémentaire de chimie*, 2 τόμοι, Παρίσι, 1789, Εικόνα 8).

ΔΟΜΗΣΗ ΤΟΥ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΤΗΣ ΥΛΗΣ: ΣΧΕΣΕΙΣ ΜΑΚΡΟ-ΜΙΚΡΟ

Επιστρέφοντας στη σύγχρονη εποχή, θα αναφερθούμε πρώτα σε ένα διεθνές σεμινάριο που ήταν αφιερωμένο στη σχέση των μακροσκοπικών φαινομένων με τα υπομικροσκοπικά σωματίδια (Lijnse et al, 1990). Οι Ben-Zvi, Silberstein και Mamlok (1990) επιβεβαίωσαν ότι πολλές από τις δυσκολίες που αντιμετωπίζουν οι αρχάριοι μαθητές της χημείας οφείλονται στην ελλιπή κατανόηση του ατομικού μοντέλου και πώς αυτό χρησιμοποιείται για να εξηγήσει τη *φαινομενολογία*³ και τους νόμους της χημείας. Κατάλληλα μοντέλα είναι επίσης απαραίτητα για να εξηγήσουν τη σχέση μεταξύ μεταφοράς ενέργειας και μεταβολής της θερμοκρασίας σε χημικές μεταβολές, καθώς και τη σύνδεση μεταξύ του μοριακού μοντέλου και της μεταφοράς ενέργειας. Έχοντας μελετήσει τις σχετικές απόψεις των μαθητών και τα προβλήματα τα σχετικά με τις μάκρο-υπομίκρο σχέσεις στον τομέα της δομής και της χημικής αντίδρασης, οι συγγραφείς προχώρησαν στο να προτείνουν μια διδακτική ενότητα που θα βοηθήσει να ξεπεραστούν οι δυσκολίες των μαθητών. Η ενότητα χρησιμοποίησε ένα πολύ γνωστό στατιστικό-θερμοδυναμικό μοντέλο, σε συνδυασμό με μηχανικά μοντέλα, για να εξηγήσει τις ενεργειακές μεταβολές που συνοδεύουν τις αντιδράσεις.

Οι Meheut και Chomat (1990) προσπάθησαν να διδάξουν σε παιδιά 13-14 ετών πώς να δημιουργήσουν ένα σωματιδιακό μοντέλο της ύλης μέσω της επεξεργασίας μιας ακολουθίας πειραματικών δεδομένων, ξεκινώντας από τις ιδιότητες των αερίων (συμπίεση, διάχυση) και στη συνέχεια προχωρώντας στα στερεά, αφήνοντας τα υγρά τελευταία. Από την άλλη πλευρά, ο Millar (1990) έδωσε έμφαση στη χρήση καθημερινών *συγκεκριμένων* (contexts) (με βάση την προσέγγιση Salters: Hills et al. 1989), χρησιμοποιώντας, για παράδειγμα, ένα ένδυμα (το οποίο είναι κατασκευασμένο από ύφασμα, που είναι φτιαγμένο από νήματα, που είναι κατασκευασμένα από ίνες) για να μετακινηθεί από το μάκρο στο υπομίκρο επίπεδο.⁴ Ο Millar πρότεινε ότι θα ήταν ίσως φρόνιμο να ξεκινήσουμε με τα στερεά υλικά και να αναβάλουμε την μελέτη των αερίων για αργότερα: πολλά παιδιά χρειάζονται χρόνο και εμπειρία για να αντιληφθούν ότι τα αέρια είναι πραγματική ύλη.

Τέλος, σε έναν συλλογικό τόμο, ο Nussbaum (1998), μετά από κριτική ανασκόπηση των διαφόρων σχετικών προτάσεων από το διεθνές σεμινάριο του 1990, συνδύασε την προσέγγιση της ιστορίας και της φιλοσοφίας της επιστήμης με την εποικοδομική διδασκαλία των σωματιδιακών θεωριών. Η φυσική του κενού είναι, σύμφωνα με τον Nussbaum, το σωστό σημείο εκκινήσεως για τη σωματιδιακή φυσική.

³ Η «φαινομενολογία» είναι μια φιλοσοφική μεθοδολογία, η οποία βασίζεται στη διερεύνηση των *φαινομένων*, δηλαδή των πραγμάτων που γίνονται άμεσα και συνειδητά αντιληπτά μέσω των αισθήσεων.

⁴ Η χρήση κλωστοϋφαντουργικού νήματος (που είναι η «δομική μονάδα» ενός κομματιού υφάσματος), καθώς και ενός τούβλου (που είναι η «δομική μονάδα» του τοίχου ενός σπιτιού), ως ανάλογα της δομικής μονάδας της ύλης, έχει επίσης χρησιμοποιηθεί από τον Tsaparlis (1989).

Μόνο η ύπαρξη του κενού μπορεί να δικαιολογήσει την ασυνέχεια της ύλης, εξ ου και τη σωματιδιακή φύση της. Επιπλέον, το κενό επιτρέπει την κίνηση των σωματιδίων. Ο Nussbaum βασίστηκε στην εισαγωγή του σωματιδιακού μοντέλου για τη μελέτη του αέρα και άλλων αερίων και υποστήριξε ότι η μελέτη του σωματιδιακού μοντέλου είναι μια μακρά διαδικασία εννοιολογικής αλλαγής, στην οποία οι λανθασμένες ιδέες των μαθητών μπορεί να παίζουν θετικό ρόλο.

Αν και συμφωνώ με τη θέση του Nussbaum ότι η έννοια του κενού είναι κεντρική για την εννοιολογική κατανόηση των σωματιδιακών εννοιών, για τους νεότερους μαθητές, είμαι υπέρ τού να ξεκινήσουμε με τα στερεά και τα υγρά, που είναι συγκεκριμένα και χειροπιαστά και να αφήσουμε τα αέρια τελευταία (σε συμφωνία με τον Millar). Έμφαση πρέπει να δοθεί στη συζήτηση των προαπαιτούμενων εννοιών και τεχνικών της φυσικής που θεωρούνται απαραίτητες για την υλοποίηση του παραπάνω στόχου. Σχετικό με αυτό το θέμα είναι το πειραματικό διδακτικό υλικό (βιβλίο) των Tsaparlis, Kolioulis, & Pappa (2010), για τη χημεία της β' τάξης γυμνασίου, στο οποίο οι σωματιδιακές έννοιες καθυστερούν να διδαχθούν μέχρι το τελευταίο τρίτο του βιβλίου και αναπτύσσονται σε επτά μαθήματα, ως εξής: Η έννοια του μορίου σε στερεά και υγρά / Αεικίνητα μόρια / Η έννοια του μορίου στα αέρια / Οι δύο πρώτοι νόμοι της χημείας [διατήρηση του ύλης (Lavoisier) και νόμος των σταθερών αναλογιών (Proust)] / Η έννοια του ατόμου (Η ατομική θεωρία του Dalton, ο νόμος πολλαπλών αναλογιών, το πείραμα του Gay-Lussac και η υπόθεση του Avogadro) / Χημικοί τύποι και η έννοια του μολ (mole) / Η έννοια της χημικής εξίσωσης.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΤΗΣ ΕΝΝΟΙΑΣ ΤΟΥ ΜΟΡΙΟΥ

Για να εισαγάγει κανείς την έννοια του μορίου χρειάζεται ορισμένες μακροσκοπικές έννοιες και φαινόμενα, όπως το φαινόμενο της διάχυσης, οι καταστάσεις της ύλης, η κινητική θεωρία, οι μεταβολές των καταστάσεων της ύλης και η έννοια της θερμοκρασίας. Σημειώστε ότι πολλές ιδέες που περιγράφονται παρακάτω προέρχονται από ένα εισαγωγικό κείμενο χημείας που στοχεύει σε μαθητές 12 χρονών (Johnstone & Morrison 1964).

Διάχυση

Είναι κοινή εμπειρία και γνώση ότι αν ανοίξουμε ένα μπουκάλι που περιέχει ένα πτητικό υγρό, π.χ. αιθέρα, οι ατμοί του αιθέρα διαφεύγουν και διαχέονται στην ατμόσφαιρα. Εξάλλου, αν τοποθετήσουμε έναν κρύσταλλο υπερμαγγανικού καλίου στην επιφάνεια νερού, θα παρατηρήσουμε ότι σύντομα θα αρχίσει να διαλύεται και να διαχέεται στο νερό. Αν κατόπιν προσθέσουμε νερό στο διάλυμα και ανακατεύσουμε, θα παρατηρήσουμε ότι το αρχικώς τοπικά πορφυρό χρώμα γίνεται ροζ και τελικά σχεδόν εξαφανίζεται. Ο κρύσταλλος μπορεί να έχει εξαπλωθεί μόνος του μέσα στο νερό περισσότερο από ένα εκατομμύριο φορές τον όγκο του! Τι συνέβη στον κρύσταλλο καθώς αυτός διαλύθηκε; Ο κρύσταλλος τεντώνεται σαν λάστιχο ή διασπάστηκε σε λεπτά κομμάτια («σωματίδια»), τα οποία διασκορπίζονται μόνα τους στο νερό;

Υπάρχει όριο σε αυτή την εξάπλωση; Αν κάποιος φυσήξει λίγη ελαφριά σκόνη, όπως λεπτή σκόνη κιμωλίας, στην επιφάνεια λίγου νερού που περιέχεται σε ένα μεγάλο πιάτο και μετά προσθέσει μια σταγόνα από ένα ελαιώδες υλικό στο κέντρο της επιφάνειας του νερού, το ελαιώδες υλικό (λάδι) απλώνεται στην επιφάνεια. Υπάρχει όριο στο πόσο διασπείρεται το λάδι; Και πάλι, το λάδι μπορεί να έχει απλωθεί σαν λαστιχένιο φύλλο και υπάρχει ένα όριο στο πόσο μακριά ένα φύλλο θα τεντωθεί. Η εικόνα των σωματιδίων είναι διαφορετική.

Μια αναλογία θα βοηθήσει εδώ. Αφήνουμε μικρές ξύλινες μπάλες να επιπλέουν σε νερό μέσα σε ένα μπολ. Οι μπάλες αντιπροσωπεύουν τη σκόνη στην επιφάνεια. Κατόπιν, αφήνονται στο κέντρο της επιφάνειας ένα ποτήρι με ξύλινες μπάλες διαφορετικού χρώματος (ίσως και μεγέθους) από τις προηγούμενες, που αντιπροσωπεύουν τα σωματίδια του λαδιού. Οι μπάλες δεν είναι η μία πάνω στην άλλη, αλλά σχηματίζουν ένα ενιαίο στρώμα. Το όριο για την εξάπλωση έρχεται όταν δεν υπάρχουν άλλες μπάλες στοιβαγμένες η μία πάνω από τις άλλες. Και πάλι δύο εικόνες φαίνεται να ταιριάζουν: (1) το λάδι έχει απλωθεί σαν λαστιχένιο φύλλο. (2) το λάδι έχει απλωθεί για να δώσει ένα στρώμα πάχους ενός σωματιδίου και έχει σπρώξει τη σκόνη μέχρι την άκρη του μπολ. [Ένα πείραμα που βασίζεται σε αυτήν την αρχή, χρησιμοποιώντας ένα φιλμ στεατικού οξέος, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό της τιμής της σταθεράς Avogadro (Ift & Roberts 1975).]

Μπαλόνια που Ξεφουσκώνουν

Τα αέρια μπορούν να μας βοηθήσουν να επιλύσουμε το παραπάνω δίλημμα ανάμεσα (α) σε ένα μακρο-υλικό που τεντώνεται σαν λάστιχο και (β) στη σωματιδιακή δομή. Δύο πανομοιότυπα μπαλόνια είναι φουσκωμένα στο ίδιο μέγεθος το ένα με αέρα και το άλλο με ήλιον και οι λαιμοί και των δύο μπαλονιών είναι αεροστεγώς κλειστοί. (Αυτό μπορεί να ελεγχθεί βουτώντας τους λαιμούς σε νερό και παρατηρώντας αν παρατηρείται διαρροή αερίου.) Στη συνέχεια, τα μπαλόνια αφήνονται μέχρι το επόμενο μάθημα χημείας, οπότε παρατηρούμε ότι τα μπαλόνια έχουν γίνει μικρότερα (έχουν εν μέρει ξεφουσκώσει), με το μπαλόνι με το ήλιον να είναι πολύ μικρότερο. Ελέγχοντας και αποκλείοντας την πιθανότητα διαρροής αερίου από τους λαιμούς των μπαλονιών, η εξήγηση που απομένει είναι ότι πρέπει να υπάρχουν πολύ μικρές τρύπες στο ελαστικό του μπαλονιού, οι οποίες επιτρέπουν στα αέρια να διαφεύγουν έξω από τα μπαλόνια. Ποιο από τα δύο μοντέλα μάς ταιριάζει τώρα; Η ιδέα των σωματιδίων είναι πιο κατάλληλη για την εξήγηση αυτού του πειράματος: τα σωματίδια του ηλίου είναι μικρότερα από αυτά του αέρα και πρέπει διαφεύγουν από τις τρύπες με μεγαλύτερο ρυθμό.

Αεικίνητα Σωματίδια

Στο πείραμα του κρυστάλλου του υπερμαγγανικού καλίου που τοποθετήθηκε στην επιφάνεια νερού, χωρίς καμιά ανάδευση, φαίνεται ότι ο κρύσταλλος σύντομα διαλύεται και διαχέεται στο νερό. Ποια είναι η αιτία της παρατηρούμενης κίνησης; Μια αναλογία μπορεί να βοηθήσει εδώ.

Σκεφτείτε ένα υπερπλήρες λεωφορείο. Ένας επιβάτης που θέλει να κατέβει σε μια συγκεκριμένη στάση δυσκολεύεται να μετακινηθεί προς την πόρτα του λεωφορείου και πρέπει να ζητήσει και ακόμη και να σπρώξει άλλους επιβάτες για να φτάσει στην πόρτα. Η περίπτωση ενός λεωφορείου με λίγους επιβάτες είναι αρκετά διαφορετική όπου η κίνηση του επιβάτη δεν συναντά εμπόδια.

Δοθέντος ότι παρατηρείται κίνηση στην περίπτωση της διάχυσης, χρειάζεται κανείς μια μικροεικόνα ενός αερίου ή ενός υγρού, που επιτρέπει την ύπαρξη κενών χώρων εκεί. Επειδή τα περισσότερα αέρια είναι άχρωμα και επομένως αόρατα, η περίπτωση του αερίου είναι πιο περίπλοκη. Ένα υγρό ωστόσο κάνει τα πράγματα ξεκάθαρα: σε ένα υγρό, αυτοί οι κενοί χώροι δεν είναι άμεσα παρατηρήσιμοι, αλλά αντίθετα αισθανόμαστε τη συνεχή παρουσία του μακρο-υλικού. Οι κενοί χώροι κάνουν απαραίτητη την παρουσία στο υλικό διακριτών σβώλων. Αυτοί οι σβώλοι μπορεί να οριστούν ως τα μόρια.

Η διάλυση αλατιού στο νερό ή η ανάμειξη αιθανόλης και νερού οδηγεί στο γεγονός ότι ο τελικός όγκος του διαλύματος είναι μικρότερος από τον συνδυασμένο όγκο του αλατιού και του νερού ή της αιθανόλης και του νερού. Ένα μοντέλο σωματιδίων μπορεί να βοηθήσει στην εξήγηση των παρατηρήσεων: γεμίστε ένα ποτήρι ζέσεως με μικρά μπαλάκια και ρίξτε άμμο για να γεμίσετε τα κενά — το επίπεδο των σφαιρών δεν φτάνει πάνω από την κορυφή του ποτηριού.

Γεμίστε κατά το ήμισυ ένα μικρό δοκιμαστικό σωλήνα με διάλυμα ζελατίνης σε νερό. Όταν η ζελατίνη πήξει (όπως τα γνωστά επιτραπέζια ζελέ (Jell-O), ρίξτε λίγο υδατικό διάλυμα κίτρινου χρωμικού καλίου από πάνω του. Πάρτε ένα άλλο δοκιμαστικό σωλήνα με ζελατίνη και τοποθετήστε από πάνω έναν κρύσταλλο μπλε θειικού χαλκού. Στην περίπτωση των στερεών υλικών, η διάχυση είναι πιο δύσκολη (ή και αδύνατη), και αυτό μπορεί να εξηγηθεί υποθέτοντας ότι τα μόρια είναι εγγύτατα πακεταρισμένα, φτιάχνοντας τους κρυστάλλους, αλλά αφήνοντας ακόμα κενά. Σημειώστε ότι οι ιδιότητες του κρυστάλλων καθιστούν επιτακτικό τα μόρια μιας ουσίας να είναι του ίδιου είδους και μεγέθους (Jones and Childers 1984).

Κίνηση Brown

Μπορεί κανείς να παρατηρήσει την κίνηση παρακολουθώντας κάτω από μία ύαλο ωρολογίου στο μικροσκόπιο πολύ λεπτά κομμάτια μπλε χρώματος που αιωρούνται στο νερό. Ομοίως, παρατηρήσεις είναι δυνατό να γίνουν χρησιμοποιώντας μερικά πολύ λεπτά κομμάτια καπνού στον αέρα, τοποθετημένου σε ένα μικρό κουτί το οποίο έχει δύο γυάλινα παράθυρα, με το φως να λάμπει στο πλάι και να παρατηρείται από μέσα από το άλλο παράθυρο μέσω μικροσκοπίου. Ένα τέτοιο μοντέλο βοηθά στην εξήγηση της κίνησης Brown. Αυτό το είδος κίνησης μπορεί να προκληθεί με τον «βομβαρδισμό» ενός μεγάλου σωματιδίου από πολλά μικρότερα σωματίδια. Ομοίως, η κίνηση του καπνού και του χρώματος μπορεί να οφείλονται στον βομβαρδισμό από αόρατο νερό ή εν κινήσει αέρα.

Από τα πειράματά μας και τη σκέψη μας, έχουμε την ακόλουθη εικόνα για τη σύσταση των υλικών:

(1) Η ύλη αποτελείται από πολύ μικρά σωματίδια, πολύ μικρά για να είναι ορατά από το ανθρώπινο μάτι.

(2) Τα σωματίδια διαφορετικών ουσιών μπορεί να έχουν διαφορετικά μεγέθη.

(3) Τα σωματίδια είναι εξαιρετικά ελαφριά.

(4) Τα σωματίδια είναι εν κινήσει, αλλά διαφορετικά είδη σωματιδίων μπορεί να κινούνται με διαφορετικές ταχύτητες.

Διαφορά Ιδιοτήτων Ουσίας και του Μορίου Της

Μπορούμε να επαναδιατυπώσουμε τον ορισμό μας για τα μόρια ως «τα δομικά στοιχεία» των χημικών ουσιών, με τον ίδιο τρόπο που τα τούβλα είναι τα δομικά στοιχεία των τοίχων ή οι κρίκοι μιας αλυσίδας, ή τα νήματα ενός υφάσματος. Ωστόσο, πολλοί μαθητές πιστεύουν ότι τα μόρια διατηρούν όλες τις (φυσικές και χημικές) ιδιότητες του μακροσκοπικού υλικού, π.χ. θερμοκρασία, φυσική κατάσταση, σκληρότητα, κ.λπ. Έτσι, ένα μόνο μόριο νερού υποτίθεται ότι είναι σαν μια πολύ μικροσκοπική σταγόνα νερού. Αυτό προκαλείται κυρίως από ένα εσφαλμένο ορισμό ενός μορίου ως: «το μικρότερο σωματίδιο μιας ουσίας που εξακολουθεί να διατηρεί όλες τις [φυσικές και χημικές] ιδιότητες μιας ποσότητας της ουσίας.» Ένας τέτοιος ορισμός δίνεται από ορισμένους συγγραφείς (π.χ. Fine 1978· Merrill 1973) ή υπονοείται από άλλους (π.χ. Sherman and Sherman 1983), και είναι παραπλανητικός, υποδηλώνοντας ότι οι μακροσκοπικές ιδιότητες μπορεί να αποδοθούν στα μεμονωμένα σωματίδια (IUPAC 1993). Οι αναλογίες μπορεί να είναι χρήσιμες από αυτή την άποψη: ένας τοίχος και τα τούβλα, μια αλυσίδα και οι κρίκοι της, ένα ύφασμα και οι ίνες του (Tsaparlis, 1989).

Θερμοκρασία

Ας εξετάσουμε δύο οπτικώς όμοια φλιτζάνια νερό, το ένα που να περιέχει νερό στους 5 °C, το άλλο στους 30 °C. Δεν υπάρχει τίποτε ορατό που να κάνει το νερό στα δύο φλιτζάνια να έχει διαφορετική θερμοκρασία. Γνωρίζουμε φυσικά την προέλευση της διαφοράς θερμοκρασίας (για παράδειγμα με ψύξη ή με θέρμανση του νερού), αλλά τι υπάρχει μέσα στο νερό που ευθύνεται για τη διαφορετική θερμοκρασία; Οι διαφορετικές ταχύτητες διάχυσης του υπερμαγγανικού καλίου σε κρύο και σε ζεστό νερό μπορεί να συνδεθούν με τις διαφορετικές ταχύτητες κίνησης των σωματιδίων λόγω της μεταβολής της θερμοκρασίας.

Αλλαγή Φυσικής Κατάστασης

«Η αλλαγή της φυσικής κατάστασης» είναι ένα θέμα που συνήθως μελετάται στη φυσική. Ωστόσο η σύνδεση με τη χημεία σε σχέση με τις έννοιες των μορίων και τη μεταβαλλόμενη κίνηση και αλληλεπίδραση στις τρεις φυσικές καταστάσεις είναι πολύ ισχυρή (Meheut & Chomat 1990). Μια αναλογία θα μπορούσε να βοηθήσει εδώ: ας εξετάσουμε έναν πλαστικό κύλινδρο που κάθεται σε έναν δονητή γεμάτο με μικρές μπάλες πολυστυρενίου. Αυτό αναπαριστά τη στερεά κατάσταση. Όταν ενεργοποιηθεί ο δονητής σε χαμηλή ισχύ, οι μπάλες αρχίζουν να κινούνται ελαφρώς και αυτό αναπαριστά την υγρή κατάσταση. Καθώς η εισροή ενέργειας αυξάνεται, οι μπάλες

αρχίζουν να χοροπηδούν και καθώς η εισροή ενέργειας αυξάνεται περαιτέρω, η κίνηση γίνεται εντονότερη. Αυτή η αναλογία λαμβάνει υπόψη τη φυσική κατάσταση και την αλλαγή φυσικής κατάστασης, καθώς και κάποια ιδέα μεταβολής της ενέργειας και της θερμοκρασίας.

Η Έννοια της Ενέργειας

Κατ' αρχήν, η ενέργεια είναι μια διεπιστημονική έννοια (Tsaparlis & Kampourakis 2000). Ωστόσο, μελετάται πιο συστηματικά στα μαθήματα φυσικής. Η έννοια της ενέργειας (ιδιαίτερα της *χημικής ενέργειας*) καθώς και η έννοια της *αλληλεπίδρασης* είναι πολύ δύσκολες για τους νεαρούς μαθητές (Duit 1986, Duit & Häußler 1994). Ωστόσο, είναι απαραίτητες για πολλές πτυχές της χημείας και της φυσικής. Για αυτό τον λόγο, το πρόγραμμα ενιαιοποιημένης φυσικής και χημείας που πρότειναν οι Tsaparlis και Kampourakis (2000) εισάγει την ενέργεια από το εισαγωγικό μάθημα. Η ενέργεια είναι απαραίτητη για τη μελέτη των μεταβολών της φυσικών καταστάσεων, της έννοιας της θερμοκρασίας, καθώς και των χημικών αντιδράσεων. Επιπλέον, απαιτείται ως διακριτικός παράγοντας για την κατανομή των ηλεκτρονίων στις ηλεκτρονιακές στιβάδες και στα τροχιακά.

Πολύ χρήσιμη για την κατανόηση της έννοιας της ενέργειας είναι η έννοια της βαρυτικής ενέργειας και ιδιαίτερα της βαρυτικής δυναμικής ενέργειας, δηλαδή της ενέργεια που προκύπτει από τη βαρυτική δύναμη (τη βαρυτική αλληλεπίδραση). Επιπλέον της δυναμικής ενέργειας, χρειαζόμαστε την αρχή της ελαχιστοποίησης της ενέργειας, για την πρόβλεψη της πιο σταθερής (της βασικής κατάστασης) ηλεκτρονιακής απεικόνισης ατόμων και μορίων.

Στα άτομα και τα μόρια, η δυναμική ενέργεια είναι ηλεκτροστατική και προκύπτει μέσω των δυνάμεων Coulomb. Οι βασικές έννοιες για την ηλεκτρική ενέργεια είναι απαραίτητες εδώ. Συνδέστε δύο φουσκωμένα μπαλόνια με ένα σπάγκο. Τρίψτε και τα δύο στα μαλλιά σας για να τους δώσετε το ίδιο ηλεκτρικό φορτίο και κρατήστε τη μέση του σπάγκου. Τα μπαλόνια απομακρύνονται το ένα από το άλλο, λόγω της άπωσης των ταυτόσημων ηλεκτρικών φορτίων. Μπορείτε να δείτε την έλξη τρίβοντας ένα μπαλόνι στα μαλλιά σας και στη συνέχεια απομακρύνοντας αργά το μπαλόνι από το κεφάλι σας. Τα μαλλιά έχουν φορτίο αντίθετο από το φορτίο του μπαλονιού, γι' αυτό τα μαλλιά σηκώνονται επειδή έλκονται από το μπαλόνι.

Σε αντίθεση με την περίπτωση της βαρυτικής ενέργειας (όπου συνήθως ορίζουμε το μηδέν στο επίπεδο εδάφους και επομένως η δυναμική ενέργεια σε σημεία πάνω από το έδαφος λαμβάνει θετικές τιμές), στην περίπτωση της ηλεκτροστατικής δυναμικής ενέργειας ορίζουμε το μηδέν σε άπειρη απόσταση από τον πυρήνα ενός ατόμου. Επομένως όλες οι ενεργειακές τιμές σε πεπερασμένες αποστάσεις από τον πυρήνα έχουν αρνητικό πρόσημο.

Τέλος, αναφορικά με τα θέματα τα σχετικά με τα μεγέθη των ιόντων και τα μοτίβα των ενεργειών ιονισμού, ο Taber (1998) κατέληξε στο συμπέρασμα ότι οι καθηγητές χημείας βασίζονται στις σχετικές παρουσιάσεις στις αρχές της ηλεκτροστατικής Coulomb. Ωστόσο, πολλοί μαθητές δεν έχουν το ίδιο υπόβαθρο στη φυσική με τον καθηγητή

τους, με αποτέλεσμα να εφαρμόζουν εναλλακτικές υποθέσεις στο πλαίσιο των αλληλεπιδράσεων στα άτομα και τα μόρια.

Δονητική Φασματοσκοπία και Περιστροφική Φασματοσκοπία

Είναι αλήθεια ότι τα φάσματα είναι ένα θέμα που συνήθως μελετάται στη φυσική, αλλά οι ισχυρές συνδέσεις του με τη χημεία δεν πρέπει να αγνοηθούν. Με πιο ώριμους μαθητές (λυκείου και γενικής χημείας στο πανεπιστήμιο), τα δονητικά φάσματα μπορεί να χρησιμοποιηθούν για την αιτιολόγηση της έννοιας της δόνησης στα μόρια. Τα περιστροφικά φάσματα (φάσματα μικροκυμάτων) ή η περιστροφική δομή στα δονητικά φάσματα αερίων μπορεί να χρησιμοποιηθούν για την εξήγηση της περιστροφής των μορίων.

Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΟΥ ΑΤΟΜΟΥ

Για να εισαγάγουμε με ενεργητική και νοηματική μεθοδολογία μάθησης την έννοια του ατόμου, είναι χρήσιμο να σταθούμε στις ιστορικές πτυχές αυτής της έννοιας. Ιστορικά και πειραματικά στοιχεία για την ύπαρξη ατόμων έχουν επικαλεστεί οι Jones & Childers (1984): ο νόμος των σταθερών αναλογιών του Proust, η ατομική θεωρία του Dalton, ο νόμος του Gay Lussac, η υπόθεση του Avogadro και ο νόμος της ηλεκτρόλυσης του Faraday. Οι Niaz και Rodriguez (2000) έχουν χρησιμοποιήσει παραδείγματα από τα θέματα της ατομικής δομής, της κινητικής θεωρίας, του ομοιοπολικού δεσμού και του νόμου του πολλαπλών αναλογιών, για να δείξουν πώς μπορεί μια προσέγγιση βασισμένη στην ιστορία και τη φιλοσοφία της επιστήμης να διευκολύνει την εννοιολογική κατανόηση των μαθητών.

Οι Toomey, DePierro και Garafalo (2001) έχουν διαμορφώσει ένα πρόγραμμα που ακολουθεί μια ιστορική προσέγγιση. Παρατηρήσεις σχετικά με αέρια, υγρά και στερεά χρησιμοποιούνται για την υποστήριξη της ατομικής θεωρίας. Επιπλέον, χρησιμοποιούνται οι νόμοι των σταθερών και των πολλαπλών αναλογιών για να προτείνουν ότι τα άτομα μπορεί να συνδέονται μεταξύ τους για να σχηματίσουν μόρια όταν σχηματίζεται μια ένωση. Οι νόμοι των αερίων εισάγονται στη συνέχεια και συνδέονται περαιτέρω με την κινητική θεωρία. Οι μαθητές συμπεραίνουν ότι ένα άτομο οξυγόνου πρέπει να έχει οκταπλάσια μάζα από ένα άτομο υδρογόνου, και εισάγεται η έννοια της μονάδας της σχετικής ατομικής μάζας. Ακολουθώντας, δίνονται στους μαθητές πειραματικές παρατηρήσεις σχετικά με τους όγκους των αερίων που αντιδρούν μεταξύ τους όταν η θερμοκρασία και η πίεση έχουν τις ίδιες αρχικές και τελικές τιμές. Εν συνεχεία, εισάγεται ο νόμος των συνδυασμένων όγκων, μαζί με την πληροφορία ότι δύο όγκοι των αερίων του προϊόντος παράγονται σε διάφορες αντιδράσεις. Ακολουθεί η υπόθεση του Avogadro και οι μαθητές καλούνται να χρησιμοποιήσουν την υπόθεση και τα πειραματικά δεδομένα σχετικά με τους συνδυασμένους όγκους για να εξαχθούν συμπεράσματα. Επιστρέφοντας στην κινητική θεωρία, οι σχετικές ταχύτητες διαφορετικών αερίων συγκρίνονται στην ίδια θερμοκρασία και οι σχετικές μάζες των σωματιδίων τους προβλέπονται, χρησιμοποιώντας τον νόμο του Graham.

Ο Nelson (2002) πρότεινε ότι οι μαθητές πρέπει να μνηθούν στα ακόλουθα φαινόμενα, τα οποία μπορούν να αποδειχθούν με κατάλληλα πειράματα (π.χ., Fowles 1957; Nelson 1996a; Sienko, Plane, & Marcus 1984): νόμος διατήρησης της μάζας, φαινόμενο σταθερής σύστασης, φαινόμενο πολλαπλών αναλογιών, φαινόμενο αναλογικών όγκων αερίων.

Υπάρχουν πολλές ενδείξεις ότι η ύλη μπορεί να αποτελείται από άτομα: Πολλά στερεά είναι κρυσταλλικά. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί από την άποψη της κανονικής διευθέτησης των μικρών σωματιδίων. Τα αέρια είναι πολύ πιο συμπίεσιμα από τα υγρά ή τα στερεά, και όταν αυτά συμπυκνώνονται υπάρχει μεγάλη μείωση του όγκου. Αυτές οι παρατηρήσεις μπορεί να εξηγηθούν εάν τα αέρια περιλαμβάνουν ξεχωριστά σωματίδια, τα οποία έρχονται το ένα κοντά στο άλλο στην υγρή ή στη στερεά κατάσταση. Τα σωματίδια αυτά μπορεί να είναι είτε άτομα είτε συστάδες ατόμων (μόρια). Όταν μια μικρή ποσότητα λαδιού χύνεται σε μια μεγάλη λεκάνη νερού, το λάδι απλώνεται μόνο πάνω σε μια περιορισμένη περιοχή της επιφάνειας. Αυτές οι εκτιμήσεις, μαζί με τα φαινόμενα της προηγούμενης παραγράφου, οδηγούν στην ακόλουθη θεωρία της ύλης, σύμφωνα με τον Dalton και τον Avogadro (Nelson 2002):

(1) Η ύλη αποτελείται από άτομα.

(2) Τα άτομα ενός στοιχείου είναι όλα τα ίδια και διαφέρουν από αυτά των άλλων στοιχείων (προσωρινό υπόθεση).

(3) Οι χημικές αντιδράσεις περιλαμβάνουν αλλαγές με τις οποίες τα άτομα συνδυάζονται, χωρίς να μεταβάλλονται ως προς τον αριθμό τους.

(4) Τα άτομα διαφορετικών στοιχείων συχνά συνδυάζονται με διαφορετικές αναλογίες.

(5) Τα κλάσματα αυτών των αναλογιών είναι συχνά μικροί ακέραιοι αριθμοί.

(6) Η υπόθεση του Avogadro.

Αυτή η θεωρία εξηγεί τους νόμους της διατήρησης της μάζας, της σταθερής σύστασης, των πολλαπλών αναλογιών, και των ανάλογων όγκων των αερίων, καθώς και το γεγονός ότι στην αντίδραση μεταξύ υδρογόνου και χλωρίου για να σχηματιστεί υδροχλώριο, οι όγκοι είναι σε αναλογία 1:1:2. Αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι το υδρογόνο αποτελείται από μόρια υδρογόνου H_{2m} , το χλώριο αποτελείται από μόρια χλωρίου Cl_{2n} και το υδροχλώριο να αποτελείται από μόρια υδροχλωρίου H_mCl_n (με το m να μην είναι απαραίτητως ίσο με n). Επίσης, η υπόθεση (6) επιτρέπει τη σύγκριση των μαζών των μορίων. Για παράδειγμα, η πυκνότητα του υδρογόνου σε STP (τυπική θερμοκρασία και πίεση) είναι 0,08988 g/L και του οξυγόνου 1,4290 g/L, άρα $1,4290/0,08988 = 15,899$. Το αποτέλεσμα είναι προσεγγιστικό λόγω της πίεσης: η οριακή τιμή σε χαμηλές πιέσεις είναι 15,875. Αν η μάζα ενός μορίου υδρογόνου (μ) γίνει προσωρινά η μονάδα μάζας για άτομα και μόρια, η μάζα ενός μορίου οξυγόνου είναι επομένως περίπου 16 μ .

Για να καθοριστεί η ατομική σύνθεση ενός μορίου, μια περαιτέρω αρχή απαιτείται να προστεθεί σύμφωνα με τον Cannizzaro. Αυτή είναι: *Η μάζα του ατόμου ενός στοιχείου*

είναι η μικρότερη μάζα του στοιχείου που βρίσκεται σε οποιοδήποτε μόριο που το περιέχει.

Το συμπέρασμα ότι η ύλη αποτελείται από άτομα και μόρια υποστηρίζεται από τα αποτελέσματα της κινητικής θεωρίας των αερίων. Η μικροσκοπία ηλεκτρονίων σήραγγος (electron tunneling microscopy) μπορεί να είναι χρήσιμη σε αυτό το σημείο με την παροχή εικόνων διατάξεων ατόμων σε μεταλλικές επιφάνειες, ενώ τα φάσματα μάζας (για τον φασματογράφο μάζας βλ. παρακάτω) είναι χρήσιμα για τον σύγχρονο τρόπο καθορισμού των σχετικών ατομικών μαζών (ΣΑΜ), καθώς και των σχετικών μοριακών μαζών (ΣΜΜ). Επιπλέον, τα μοτίβα της περίθλασης ακτίνων Χ μπορεί να χρησιμοποιηθούν με μαθητές λυκείου (Tsaparlis 2004).

Η μέθοδος του Canizzaro για τον προσδιορισμό των Σχετικών Ατομικών Μαζών

Ο Ιταλός χημικός S. Canizzaro, το 1858, παρουσίασε μια μέθοδο με την οποία κατάφερε να φτιάξει μια κλίμακα Σχετικών Ατομικών Μαζών (ΣΑΜ) ως προς το υδρογόνο. Η μέθοδος βασιζόταν στην υπόθεση του Avogadro, σε δεδομένα πυκνότητας ατμών διαφόρων ουσιών και σε δεδομένα περιεκτικότητας κατά βάρος των ουσιών σε υδρογόνο. Επιπλέον, λαμβάνεται υπόψη ότι το μόριο του υδρογόνου είναι διατομικό (H_2), κάτι που είχε ήδη προκύψει ως συνέπεια του νόμου των αέριων όγκων του Gay-Lussac και της υπόθεσης του Avogadro.

Νόμος των αέριων όγκων του Gay-Lussac. Σε μια χημική αντίδραση αερίων, οι όγκοι των αντιδρώντων και των προϊόντων, μετρημένοι στις ίδιες συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης, έχουν μεταξύ τους σχέση μικρών ακέραιων αριθμών: Π.χ. 2 L υδρογόνου αντιδρούν με 1 L χλωρίου και παράγονται 2 L υδροχλωρίου. Ομοια, 2 L υδρογόνου αντιδρούν με 1 L οξυγόνου και παράγονται 2 L υδρατμών.

Ας θεωρήσουμε τις ενώσεις υδροχλώριο, νερό, αμμωνία και μεθάνιο, καθώς και το στοιχείο υδρογόνο. Ο Πίνακας 1 δίνει δεδομένα για τον προσδιορισμό μιας κλίμακας ΣΑΜ ως προς το υδρογόνο (για το οποίο η ΣΑΜ λαμβάνεται ίση με 1), με βάση τις πυκνότητες σε g/L των παραπάνω αέριων ουσιών. Σημειωτέον ότι σύμφωνα με την υπόθεση του Avogadro, στις ίδιες συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης, οι μάζες των ουσιών σε g/L είναι οι μάζες ίσων αριθμών μορίων από κάθε ουσία.

Πίνακας 1. Δεδομένα για τον προσδιορισμό μιας κλίμακας Σχετικών Ατομικών Μαζών ως προς το υδρογόνο.

Αέρια ουσία	Πυκνότητα * (g/L)	ΣΜΜ*	% Υδρογόνου	Σχετική μάζα περιεχόμενο υ υδρογόνου	Αριθμός ατόμων Η στο μόριο	Μοριακό Τύπος	ΣΑΜ (H = 1)
Υδρογόνο	0,0659	2	100	2,00	2	H ₂	H = 1

Υδροχλώρι ο	1,19	36,12	2,76	1,00	1	HCl	Cl = 35,1 2
Νερό	0,589	17,88	11,7	2,09	2	H ₂ O	O = 15,8 8
Αμμωνία	0,557	16,90	17,7	2,99	3	NH ₃	N = 13,9 0
Μεθάνιο	0,524	15,90	25,1	3,99	4	CH ₄	C = 11,9 0

* Σε θερμοκρασία 100°C και πίεση 1 atm.

** Σχετική Μοριακή Μάζα (ΣΜΜ) ως προς το υδρογόνο, για το οποίο Σχετική Ατομική Μάζα (ΣΑΜ) = 1, άρα ΣΜΜ = 2. Π.χ. για το υδροχλώριο έχουμε ΣΜΜ = $2 \times (1,19 / 0,0659) = 36,12$. (Σύμφωνα με την υπόθεση του Avogadro, οι μάζες των ουσιών σε g/L είναι οι μάζες ίσων αριθμών μορίων από κάθε ουσία.)

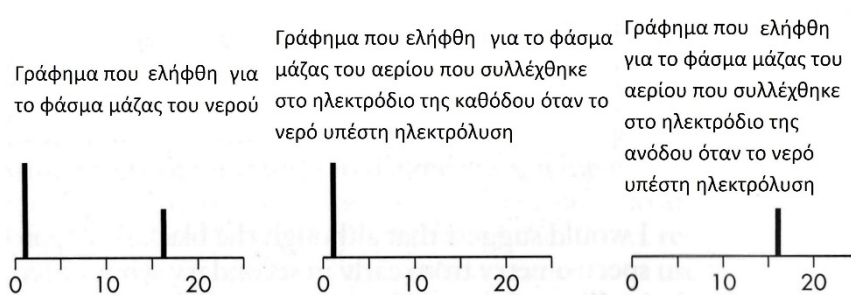
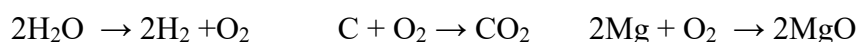
Διάκριση Χημικού Στοιχείου από Χημική Ένωση: Ο Στοιχειακός Αναλυτής των Χημικών

Ο φασματογράφος μάζας. Οι χημικοί διαθέτουν ένα όργανο, τον φασματογράφο μάζας, με το οποίο είναι σε θέση να προσδιορίσουν αν μια ουσία είναι στοιχείο ή ένωση. Η μέθοδος βασίζεται σε τεχνικές φυσικού διαχωρισμού με χρήση ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων, αλλά προτού καταστεί αυτό δυνατό, το δείγμα πρέπει να αποσυντεθεί χημικά. Κατά συνέπεια, ο φασματογράφος μάζας είναι μια τεχνική που αποσυνθέτει ενώσεις (ένα χημικό βήμα) και ακολουθεί ο φυσικός διαχωρισμός (Taber 2012, p. 22-26).

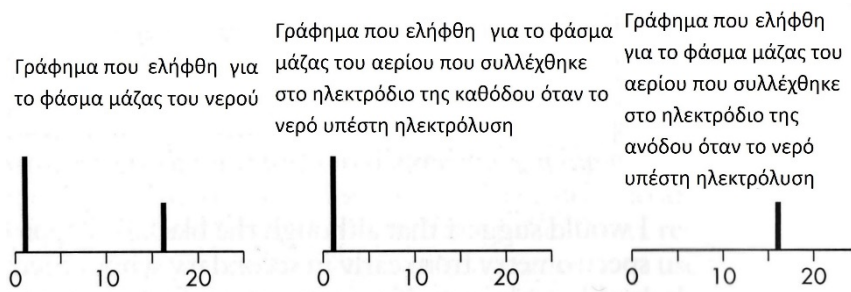
Με τον φασματογράφο μάζας επιτυγχάνεται: η διάσπαση ενός μορίου (είτε αυτό είναι μιας μεμονωμένης ουσίας είτε βρίσκεται σε ένα μείγμα ουσιών) που οδηγεί στην παραγωγή διακεκριμένων ατομικών ιόντων, τα οποία μπορεί να ανιχνευθούν από τις διαφορετικές μάζες τους — από τεχνική άποψη, από τον λόγο μάζα/ηλεκτρικό φορτίο (m/z), αλλά τα περισσότερα παραγόμενα ιόντα έχουν συνήθως μοναδιαίο φορτίο.

Αν ένα δείγμα υποστεί επεξεργασία τέτοια που οδηγεί σε πλήρη ατομικοποίηση, το φάσμα που προκύπτει αποκαλύπτει την ποικιλία και τον σχετικό αριθμό των παριστάμενων ατόμων. Κάθε άτομο ταυτοποιείται από τον *ατομικό αριθμό* του που σημειώνεται ως τετμημένη (στον άξονα x του φάσματος). Επομένως, ο φασματογράφος μάζας μεταβάλλει χημικά μια μεμονωμένη ουσία η οποία είναι ένωση στα στοιχεία της. Έτσι, ο ατομικός φασματογράφος μάζας δρα ως στοιχειακός αναλυτής. Το πλεονέκτημα της αναφοράς στον φασματογράφο μάζας είναι ότι παρέχει τη βάση για να δεχθούμε ότι τα στοιχεία είναι διακριτές πρωταρχικές μονάδες που μπορούμε να τα ταυτοποιούμε στις ενώσεις.

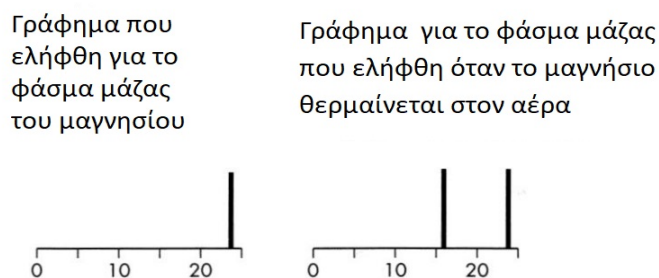
Το Σχήμα 4 δείχνει τα φάσματα μάζας της ένωσης νερό και των συστατικών στοιχείων της υδρογόνου και οξυγόνου. Οι γραμμικές κορυφές αντιστοιχούν στα επιμέρους χημικά στοιχεία, με τη θέση των κορυφών να αντιστοιχούν στη σχετική μοριακή μάζα του καθενός χημικού στοιχείου. Το Σχήμα 5 αναφέρεται στην ένωση διοξείδιο του άνθρακα. Τέλος, το Σχήμα 6 αναφέρεται στην ένωση οξείδιο του μαγνησίου. Οι στοιχειομετρικές εξισώσεις που αντιστοιχούν στα τρία φάσματα είναι:



Σχήμα 4. Τα φάσματα μάζας της ένωσης νερό και των συστατικών στοιχείων της υδρογόνου και οξυγόνου. Η ηλεκτρόλυση του νερού οδηγεί σε διάσπασή του σε δύο χημικά στοιχεία.

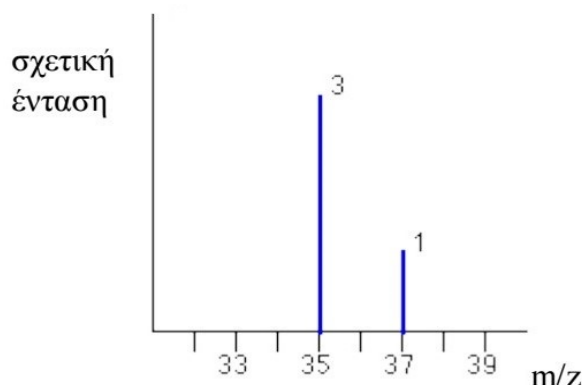


Σχήμα 5. Τα φάσματα μάζας της ένωσης διοξείδιο του άνθρακα και των συστατικών στοιχείων της άνθρακα και οξυγόνου.



Σχήμα 6. Τα φάσματα μάζας του στοιχείου μαγνήσιο και της ένωσης που προκύπτει όταν το μαγνήσιο θερμαίνεται στον αέρα. Το προϊόν περιέχει ένα επιπλέον χημικό στοιχείο.

Αναφέραμε παραπάνω ότι η φασματοσκοπία μάζας χρησιμοποιείται και για τον προσδιορισμό σχετικών μοριακών μαζών καθώς και στη χημική ανάλυση. Σημειωτέον ότι η ένταση (το ύψος) των γραμμών στο φάσμα εξαρτάται από την ποσότητα της εξεταζόμενης ουσίας. Στην περίπτωση ισοτόπων, το σχετικό ύψος καθορίζει τη σχετική φυσική αφθονία των ισοτόπων, π.χ. το φυσικώς απαντών χλώριο αποτελείται από 75% ^{35}Cl και 25% ^{37}Cl (Σχήμα 7). Για τον λόγο αυτόν, η σχετική μοριακή μάζα (ΣΜΜ) του φυσικώς απαντώντος χλωρίου είναι ο σταθμισμένος μέσος όρος των ΣΜΜ του $^{35}\text{Cl}_2$ και του $^{37}\text{Cl}_2$: $(75/100)\times 35 + (25/100)\times 37 = 35,5$.



Σχήμα 7. Φάσμα μάζας του φυσικώς απαντώντος στοιχειακού χλωρίου (Cl₂).

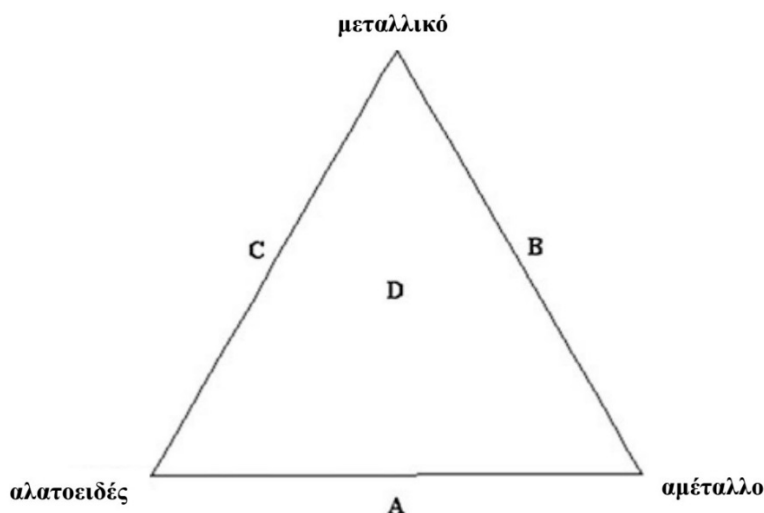
Ηλεκτρόνια και ηλεκτρονιακές απεικονίσεις

Κατά τη μέθοδο που πρότειναν οι Toomey, Pietro και Garafalo (2001), τα ηλεκτρόνια δεν εισάγονται μέχρι την εβδομάδα 12, ενώ ο ατομικός αριθμός δεν εισάγεται μέχρι την εβδομάδα 1 του δεύτερου εξαμήνου. Από την άλλη, θέματα όπως οι κβαντικοί αριθμοί και τα τροχιακά έχουν εξαλειφθεί και αντικατασταθεί στο δεύτερο εξάμηνο με παρουσιάσεις που χρησιμοποιούν σύγκριση ενεργειών ιοντισμού για να δείξουν την ύπαρξη διαφορετικών ενεργειακών επιπέδων στα άτομα. Τα κλασικά πειράματα που απέδειξαν την ύπαρξη ηλεκτρονίων και καθόρισαν το φορτίο και τη μάζα του (Thomson, Millikan) είναι χρήσιμα για τους μαθητές λυκείου. Ομοίως το πείραμα του Goldsteins που απέδειξε την ύπαρξη πρωτονίων. Μοντέλα και προσομοιώσεις υπολογιστή μπορεί να είναι πολύ χρήσιμα εδώ. Επιπλέον, τα ατομικά φάσματα, οι σωλήνες φθορισμού με αδρανή αέρια, καθώς και ο χρωματισμός μιας φλόγας από μέταλλα και άλατα συνιστούν χρήσιμο υλικό για τη διδασκαλία.

Ο ΧΗΜΙΚΟΣ ΔΕΣΜΟΣ

Ο Nelson (1994) διέκρινε μεταξύ τριών «οριακών τύπων» δυαδικών ενώσεων: μεταλλικός, αλατοειδής (ιοντικός) και αμετάλλων. Οι τύποι αυτοί αντιπροσωπεύουν τα άκρα, ενώ οι περισσότερες δυαδικές ενώσεις βρίσκονται κάπου ανάμεσα σε αυτά τα άκρα. Στην πράξη, ο καθορισμός του βαθμού του χαρακτήρα άλατος είναι δύσκολος, επειδή απαιτεί ακριβείς ηλεκτροχημικές μετρήσεις σε υψηλές θερμοκρασίες με

τήγματα. Το διάγραμμα του Σχήματος 2 τοποθετεί τους τρεις οριακούς τύπους στις κορυφές ενός τριγώνου. Από το τρίγωνο, συμπεραίνουμε ότι υπάρχουν τέσσερις ενδιάμεσοι τύποι, οι A, B, C και D (βλ. επίσης Πίνακα 2). Οι ιδιότητες των ενδιάμεσων τύπων μπορούν να συναχθούν από τις ιδιότητες των οριακών τύπων. Για περισσότερα, βλ. Nelson (1994) ή Tsaparlis (2014).



Σχήμα 8. Αναπαράσταση των τριών τύπων δυαδικών ενώσεων στις κορυφές ενός τριγώνου [μεταλλική, αλατοειδής (ιοντική) και αμέταλλο], καθώς και των τεσσάρων ενδιάμεσων τύπων, σύμφωνα με τον Nelson (1994) (βλ. και Πίνακα 1).

Πίνακας 2. Τύποι δυαδικών ενώσεων (κατά τον Nelson, 1994). Εκτός από το όνομα, δείχνεται και ο ηλεκτρικός χαρακτήρας των ενώσεων.

ΤΥΠΟΣ	ΧΗΜΙΚΟ ΟΝΟΜΑ	ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΑΣ
Μεταλλικός	Μέταλλο	Αγωγός
Αμέταλλο	Αμέταλλο	Μονωτής
Αλατοειδής (salt-like)	—	Ηλεκτρολύτης
Τύπος A	—	Ημι-ηλεκτρολύτης
Τύπος B	Ημιμέταλλο	Ημιαγωγός
Τύπος C	—	Μεικτός αγωγός
Τύπος D	—	Μεικτός αγωγός

Η διάκριση μεταξύ μοριακών και μη μοριακών ουσιών είναι σημαντική στη χημεία και μπορεί να γίνει χωρίς να χρειάζεται να προσφύγουμε στην κρυσταλλογραφία ακτίνων X, ταξινομώντας τις ουσίες με βάση την πητικότητα και τη διαλυτότητα (Nelson 1996b). Τέλος, η αναλογία του ομοιοπολικού χημικού δεσμού σαν μιας «ατομικής

διελκυστίνδας» (Tsaparlis 1984) είναι χρήσιμη για τη διδασκαλία της έννοιας του ομοιοπολικού δεσμού, καθώς και τη διάκριση μεταξύ πολικών και μη πολικών ομοιοπολικών δεσμών.

Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΠΟΣΟΤΗΤΑΣ ΟΥΣΙΑΣ

Κεντρική θέση στη σχολική χημεία καταλαμβάνουν οι αριθμητικοί/στοιχειομετρικοί υπολογισμοί που προσδιορίζουν τις μάζες (και στην περίπτωση των αερίων των όγκων) των ουσιών που καταναλώνονται και/ή παράγονται κατά τις χημικές αντιδράσεις (Schmidt 1994). Θεμελιώδης είναι εδώ η έννοια της ποσότητας ουσίας (mole). Τις δεκαετίες του 1970, του 1980 και του 1990 υπήρξε μεγάλη βιβλιογραφία που εστίασε στην πολυπλοκότητα αυτής της έννοιας και στις δυσκολίες που αντιμετωπίζουν μαθητές και εκπαιδευτικοί στην αντιμετώπιση και χρησιμοποίησή της (π.χ. Bent 1985, Cervellati et al. 1982, Dierks 1981, Duncan & Johnstone 1978; Furió et al. 2000, Ingle & Shayer 1971, Stromdahl, Tulberg, & Lybeck 1994, Tulberg, Stromdahl, & Lybeck 1994). Παρακάτω περιγράφονται μια σειρά πειραμάτων επίδειξης που στοχεύουν στη δόμηση της έννοιας της ποσότητας ουσίας ως ενοποιητικής έννοιας στη χημεία. Τα πειράματα αυτά χρησιμοποιήθηκαν από τον Johnstone:

- Συγκρίνετε τους όγκους ίσων μολ μιας οργανικής ομόλογης σειράς (π.χ. μεθανόλη, αιθανόλη, προπανόλη, βουτανόλη, πεντανόλη) για να δείτε μοτίβα.
- Συγκρίνετε μολ σακχάρων για να «δείτε» μονοσακχαρίτες και δισακχαρίτες.
- Συγκρίνετε τους όγκους ίσων μολ λεπτοαλεσμένων αλογονιδίων με το ίδιο κατιόν (π.χ. NaCl, NaBr, NaI) για να «δείτε» τα σχετικά μεγέθη ιόντων αλογονιδίου.
- Ψάξτε για παρτενέρ στις μολικές θερμοχωρητικότητες. Πάρτε, για παράδειγμα, τα μέταλλα Li, Mg και Al. Οι ειδικές θερμοχωρητικότητές τους είναι αντίστοιχα: 3,390 / 1,030 / 0,900 J kg⁻¹ K⁻¹. Πολλαπλασιάζοντας καθεμία από αυτές τις τιμές με την αντίστοιχη σχετική ατομική μάζα, βρίσκουμε τις ακόλουθες τιμές για τις μολικές θερμοχωρητικότητες: 23,530 / 25,034 / 24,284 J kmol⁻¹ K⁻¹, που είναι πολύ κοντά η μία στην άλλη. Παρόμοιες τιμές βρίσκονται και για άλλα στοιχεία.
- Ομοίως, ας ψάξουμε για μοτίβα τους μολικούς όγκους αερίων. Για το αέρια στοιχεία H₂, He, N₂ και Ne, οι αντίστοιχες πυκνότητες υπό STP είναι: 0,09 / 0,18 / 1,25 / 0,90 gL⁻¹. Αν διαιρέσουμε την αντίστοιχη σχετική μοριακή μάζα με καθεμία από αυτές τις τιμές, βρίσκουμε τις ακόλουθες τιμές αντιστοίχως για τους μολικούς όγκους υπό STP: 22,4 / 22,2 / 22,4 / 22,2 Lmol⁻¹. Παρόμοιες τιμές βρίσκονται για άλλα είδη.
- Συγκρίνετε ένα δοχείο όγκου 20 L (κατά προσέγγιση τον όγκο 1 mol υδρατμών) με 1 mol (18 mL) υγρού νερού).

ΚΒΑΝΤΟΧΗΜΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

Τα ατομικά και τα μοριακά τροχιακά και οι σχετικές έννοιες είναι εξαιρετικά αφηρημένες, και η εισαγωγή τους στο μάθημα χημείας της γ' λυκείου μπορεί να είναι

προβληματική (Papaphotis & Tsaparlis 2008a, b, Tsaparlis 1997a, b, Tsaparlis & Papaphotis 2002). Προτιμότεροι μπορεί να είναι εναλλακτικοί τρόποι που αποφεύγουν τα τροχιακά τόσο σε επίπεδο λυκείου όσο και σε επίπεδο γενικής χημείας. Ο Gillespie υποστηρίζει ότι οι δομές Lewis και το μοντέλο VSEPR είναι αρκετά για το λύκειο, ενώ το μοντέλο ηλεκτρονικής περιοχής (electron domain model) είναι αρκετό για τη γενική χημεία, με την έμφαση να δίδεται στην ηλεκτρονική πυκνότητα παρά στα τροχιακά (Gillespie 1991, 1992a, b, c, Gillespie et al. 1994, Gillespie, Spencer, & Moog 1996; Gillespie & Mata 2001). Για παράδειγμα, χρησιμοποιώντας τη φυσική απώθηση μπαλονιών (π.χ. δύο, τριών, τεσσάρων φουσκωμένων μπαλονιών που είναι δεμένα μεταξύ τους) μπορεί να μας οδηγήσει στο μοντέλο VSEPR και έτσι θα μπορούσαμε να πάμε πολύ μακριά στην οργανική και την ανόργανη χημεία (Johnstone, Morrison, & Reid 1981), χωρίς την ανάγκη να εισαχθούν τα τροχιακά και ο υβριδισμός.

ΤΕΛΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Για να έχουν καλή εννοιολογική κατανόηση των σωματιδιακών και δομικών εννοιών, οι μαθητές χρειάζονται μια σταθερή αντίληψη των υποκείμενων εννοιών της φυσικής, για τις οποίες η χρήση της ιστορίας και της φιλοσοφίας της επιστήμης είναι πολύ χρήσιμη. Σύμφωνα με τους Niaz και Rodriguez (2000), αυτό μπορεί να εισαχθεί στην τάξη όχι απαραίτητα μέσω ξεχωριστού μαθήματος ιστορίας της χημείας ή μέσω σχολίων, περιγραφών και πληροφοριών, αλλά μάλλον με το να ενσωματώνουμε «ευρηματικές αρχές» που καθοδήγησαν τους επιστήμονες να επεξεργαστούν τις θεωρίες τους. Από την άλλη πλευρά, οι σύγχρονες τεχνικές (φασματοσκοπία μάζας, ηλεκτρονιακή, δονητική και περιστροφική φασματοσκοπία, μικροσκοπία ηλεκτρονικής σήραγγας, περίθλαση ακτίνων X) μπορεί να συμβάλουν στην ενεργητική/εποικοδομική και νοηματική μαθησιακή προσέγγιση. Αυτά όμως θα πρέπει να προορίζονται κυρίως για τους πιο προχωρημένους μαθητές του λυκείου και για φοιτητές πανεπιστημιακής γενικής χημείας.

Είναι σημαντικό να συνειδητοποιήσουμε ότι χρειαζόμαστε περισσότερο καταρτισμένους δασκάλους, με σεβασμό στο περιεχόμενο της επιστήμης. Επιπλέον απαιτούνται ενεργητικές/εποικοδομικές και νοηματικές μεθοδολογίες μάθησης. Μάλιστα, σύμφωνα με τις Οδηγίες της Αμερικανικής « Ένωσης για την Πρόοδο των Φυσικών Επιστημών» (Association for the Advancement of Science) (NCRTL 1994), οι μελλοντικοί εκπαιδευτικοί πρέπει να ξέρουν τις φυσικές επιστήμες και το αντικείμενο της ειδικότητάς τους (φυσική, χημεία, βιολογία) πιο βαθιά από ό,τι συμβαίνει συνήθως. Από την άλλη πλευρά, ο Gillespie (1997) πρότεινε να γραφτούν νέα εγχειρίδια χημείας που να στοχεύουν αφενός να είναι ενδιαφέροντα για τη *συντριπτική πλειονότητα των μαθητών*, αφετέρου να προσφέρουν στους μαθητές κατανόηση της χημείας.

Σε τελική ανάλυση, πότε η κατανόηση (π.χ. της ατομικής δομής) είναι αρκετά καλή και πλήρης; Αυτή η ερώτηση αναδεικνύει ένα παράδοξο: «Όσο περισσότερα μαθαίνει κανείς για κάποια πτυχή του φυσικού κόσμου, τόσο περισσότερο είναι πιθανό να συνειδητοποιήσει κανείς το βάθος της άγνοιάς του. Αυτό δεν σημαίνει απαραίτητα ότι,

ως συνέπεια της μάθησης, η κατανόηση στην πραγματικότητα μειώνεται, αλλά απλώς ότι η αντίληψή του για την πολυπλοκότητα αυτής της πτυχής του φυσικού κόσμου είναι πιθανό να αυξηθεί — κάτι που μπορεί να συνιστά, τελικά μια καλύτερη κατανόηση μιας θεμελιώδους αντίληψης’’ (Rop 1999, σελ. 233).

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να αφιερώσω αυτό το άρθρο στη μνήμη του καθηγητή Alex H. Johnstone, για το έργο και τις ιδέες του που μεταλαμπάδευσε σε μένα μέσα από το έργο του και τα γραπτά του και μέσα από τις συχνές συζητήσεις που είχα μαζί του κατά τη διάρκεια των μεταδιδακτορικών μου σπουδών στο Κέντρο Διδακτικής Φυσικών Επιστημών του Πανεπιστημίου της Γλασκόβης που ίδρυσε και διηύθυνε. Όλα αυτά επηρέασαν σε μεγάλο βαθμό όχι μόνο το παρόν άρθρο, αλλά και ολόκληρο το επιστημονικό μου έργο. Επίσης, μνημονεύω τον αείμνηστο καθηγητή John K. Gilbert και ευχαριστώ τους καθηγητές David Treagust, Iztok Devetak και Saša Aleksihj Glažar για την τιμητική τους πρόσκληση σε μένα να συμμετάσχω στη συγγραφή των δύο συλλογικών τόμων του εκδοτικού οίκου Springer που επιμελήθηκαν (Gilbert & Treagust 2009, Devetak & Glažar 2014). Τέλος ευχαριστώ και τον πρώην μεταπτυχιακό και διδακτορικό φοιτητή μου Δρα Ευάγγελο Πύργα, εκπαιδευτικό χημικό δημόσιας μέσης εκπαίδευσης, για τη μετατροπή κειμένων σε σχήματα του άρθρου αυτού από τα Αγγλικά στα Ελληνικά.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Abraham, M., Williamson, V., & Westbrook, S. (1994). A cross-age study of the understanding of five chemistry concepts. *Journal of Research in Science Teaching*, 31(2), 147-165.
- Bent, H. A. (1985). Should the mole concept be X-rated? *Journal of Chemical Education*, 62(1), 59.
- Ben-Zvi, R., Silberstein, J., & Mamlok, R. (1990). Macro-micro relationships: A key to the world of chemistry. In P. L. Lijnse, P. Licht, W. De Vos, & A. J. Waarlo (Eds), *Relating macroscopic phenomena to microscopic particles* (pp. 183–197). University of Utrecht, Centre for Science and Mathematics Education.
- Brook, A., Briggs, H., & Driver, R. (1984). *Aspects of secondary students' understanding of the particulate nature of matter*. University of Leeds: Centre for Studies in Science and Mathematics Education.
- Cervellati, R., Montuschi, A., Perugini, D., Grimellini-Tomasini, N., & Pecori Balandi, B. (1982). Investigation of secondary school students' understanding of the mole concept in Italy. *Journal of Chemical Education*, 59(10), 852–856.
- Devetak, I. & Glažar, S. A. (Eds.) 2014. *Learning with understanding in the chemistry classroom*. Springer.
- Dierks, W. (1981). Teaching the mole. *European Journal of Science Education*, 3(2), 145–158.
- Duit, R. (1986). In search of an energy concept. In R. Driver & R. Millar (Eds), *Energy matter* (pp. 67–101). University of Leeds.

- Duit, R., & Häußler, P. (1994). Learning and teaching energy. In P. J. Fensham, R. F. Gunstone, & R. T. White (Eds), *The content of science: A constructivist approach to its teaching and learning* (pp. 185–200). London: The Falmer Press.
- Duncan, I. M., & Johnstone, A. H. (1978). The mole concept in chemistry. *Education in Chemistry*, 10(6), 213–214.
- Fine, L. W. (1978). *Chemistry* (2nd edn). Baltimore: Williams & Wilkins.
- Fowles, G. (1957). *Lecture experiments in chemistry* (4th edn). Bell.
- Furió, C., Azcona, R., Guisasola, J., & Ratcliffe, M. (2000). Difficulties in teaching the concepts ‘amount of substance’ and ‘mole’. *International Journal of Science Education*, 22(12), 1285–1304.
- Georgiadou, A., & Tsaparis, G. (2000). Chemistry teaching in lower secondary school with methods based on: a) Psychological theories; b) the macro, representational, and submicro levels of chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, 1(2), 217–226.
- Gilbert, J. K., & Treagust, D. F. (Eds) (2009). *Multiple representations in chemical education*. Springer.
- Gillespie, R. J. (1991). What is wrong with the general chemistry course? *Journal of Chemical Education*, 68(3), 192–194.
- Gillespie, R. J. (1992a). The VSEPR model revisited. *Chemical Society Reviews*, 21(1), 59–68.
- Gillespie, R. J. (1992b). Multiple bonds and the VSEPR model. *Journal of Chemical Education*, 69(2), 116–121.
- Gillespie, R. J. (1992c). Electron densities and the VSEPR model of molecular structure. *Canadian Journal of Chemistry*, 70(3), 742–750.
- Gillespie, R. J. (1997). Reforming the general chemistry textbook. *Journal of Chemical Education*, 74(5), 484–485.
- Gillespie, R. J., Eaton, D. R., Humphreys, D. A., & Robinson, E. A. (1994). *Atoms, molecules and reactions: An introduction to chemistry*. Prentice-Hall.
- Gillespie, R. J., & Matta, C. F. (2001). Teaching the VSEPR model and electron densities. *Chemistry Education Research and Practice*, 2(2), 73–90.
- Gillespie, R. J., Spencer, J. N., & Moog, R. S. (1996). *Demystifying introductory chemistry*, Parts 1 & 2. *Journal of Chemical Education*, 73(7), 617–626.
- Herron, J. D. (1978). Piaget in the classroom. *Journal of Chemical Education*, 55(3), 165–170.
- Haidar, A., & Abraham, M. (1991). A comparison of applied and theoretical knowledge of concepts based on the particulate nature of matter. *Journal of Research in Science Teaching*, 28, 919–938.
- Hills, G., Holman, J., Lazonby, J., Raffan, J., & Waddington, D. (1989). *Introducing chemistry: The Salters’ approach*. Heinemann Educational Books.
- Ift, J. B., & Roberts, J. L, Jr. (1975). *Frantz/Malm’s essentials of chemistry in the laboratory*. Freeman.

- Ingle, R., & Shayer, M. (1971). Conceptual demand in Nuffield 'O' level chemistry. *Education in Chemistry*, 8(5), 182–183.
- IUPAC (1993). Recommendations for language, symbols and representation in chemistry: Atom. *International Newsletter on Chemical Education*, (39), 7–10.
- Johnstone, A. H. (1991). Thinking about thinking. *International Newsletter on Chemical Education*, (6), 7–11.
- Johnstone, A. H. (2000). The presentation of chemistry—Logical or psychological? *Chemistry Education Research and Practice*, 1(1), 9–15.
- Johnstone, A. H. (2007). Science education: We know the answers, let's look at the problems. In *Proceedings of the 5th Greek Conference Science Education and New Technologies in Education* (Vol. 1, pp. 1–13). Retrieved from: http://www.kodipheet.gr/fifth_conf/pdf_synedriou/teyxos_A/1_kentrikes_omilies/1_KO-4-Johnstone.pdf
- Johnstone, A. H., & Morrison, T. I. (1964). *Chemistry takes shape* (Vol. 1). Heinemann.
- Johnstone, A. H., Morrison, T. I., & Reid, N. (1981). *Chemistry about us*. Heinemann
- Johnstone, A. H., & Wham, A. J. B. (1982). The demands of practical work. *Education in Chemistry*, 19(3), 71–73.
- Jones, E. R, Jr, & Childers, R. L. (1984). Experimental evidence for the existence of atoms. *The Physics Teacher*, 22(6), 354–360.
- Lee, O., Eichinger, D. C., Anderson, C. W., & Berkheime, G. D. (1993). Changing middle school student's conceptions of matter and molecules. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(3), 249-270.
- Levere, T. H. (2001). *Transforming matter – A history of chemistry from alchemy to the buckyball*. John Hopkins University Press.
- Lijnse, P. L., Licht, P., DeVos, W., & Warlo, A. J. (Eds). (1990). *Relating macroscopic phenomena to microscopic particles*. CD- b Press.
- Meheut, M., & Chomat, A. (1990). The bounds of children's atomimism: An attempt to make children build up a particulate model of matter. In P. L. Lijnse, P. Licht, P., DeVos, W., & Warlo, A. J. (Eds), *Relating macroscopic phenomena to microscopic particles* (pp. 226-282). CD- b Press.
- Merrill, M. A. (1973). *Chemistry: Process and prospect*. Bell & Howell.
- Millar, R. (1990). Making sense: What use are particle ideas to children. In P. L. Lijnse, P. P., DeVos, W., & Warlo, A. J. (Eds), *Relating macroscopic phenomena to microscopic particles* (pp. 283-293). CD- b Press.
- NCRTL (National Center for Research on Teaching and Learning) (1994). *A blueprint for the education of project 2061 science teachers*. Michigan State University.
- Nelson, P. G. (1994). Classifying substances by electrical character. *Journal of Chemical Education*, 71(1), 24–26.
- Nelson, P. G. (1996a). Demonstrating constant composition. *Education in Chemistry*, 33(1), 22.

- Nelson, P. G. (1996b). To be a molecule, or not to be? *Education in Chemistry*, 33(5), 129–130.
- Nelson, P. G. (2002). Teaching chemistry progressively: From substances, to atoms and molecules, to electrons and nuclei. *Chemistry Education Research and Practice*, 3(2), 215–228.
- Niaz, M., & Rodriguez, M. A. (2000). Teaching chemistry as rhetoric of conclusions or heuristic principles—A history and philosophy of science perspective. *Chemistry Education Research and Practice*, 1(3), 315–322.
- Novick, S., & Nussbaum, J. (1981). Pupils understanding of the nature of matter: A cross age study. *Science Education*, 65(2), 187-196.
- Nussbaum, J. (1998). History and philosophy of science and the preparation for constructivist teaching: The case of particle theory. In J. J. Mintzes, J. H. Wandersee, & J. D. Novak (Eds), *Teaching science for understanding—A human constructivist view* (pp. 165–194). Academic Press.
- Papaphotis, G., & Tsaparlis, G. (2008a). Conceptual versus algorithmic learning in high school chemistry: The case of quantum chemical concepts. Part 1, Statistical analysis of a quantitative study. *Chemistry Education Research and Practice*, 9(4), 323–331.
- Papaphotis, G., & Tsaparlis, G. (2008b). Conceptual versus algorithmic learning in high school chemistry: The case of quantum chemical concepts. Part 2, Students' common errors, misconceptions, and difficulties in understanding. *Chemistry Education Research and Practice*, 9(4), 332–340.
- Rop, J. (1999). Student perspectives on success in high school chemistry. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(2), 221–237.
- Schmidt, H. J. (1994). Stoichiometric problem solving in high school chemistry. *International Journal of Science Education*, 16(2), 191–200.
- Sherman, A., & Sherman, S. J. (1983). *Chemistry and our changing world*. Prentice Hall.
- Sienko, M. J., Plane, R. A., & Marcus, S. T. (1984). *Experimental chemistry* (6th edn). McGraw-Hill.
- Stromdahl, H., Tulberg, A., & Lybeck, L. (1994). The quantitatively different conceptions of 1 mole. *International Journal of Science Education*, 16(1), 17–26.
- Taber, K. S. (1998). The sharing-out of nuclear attraction: Or I can't think about physics in chemistry. *International Journal of Science Education*, 20(8), 1001–1014.
- Taber, K. S. (Ed.) (2012) *Teaching secondary chemistry* (2nd edn, Ch. 8). Association for Science Education / Hodder Education.
- Toomey, R., DePierro, R., & Garafalo, F. (2001). Helping students to make inferences about the atomic realm by delaying the presentation of atomic structure. *Chemistry Education Research and Practice*, 2(3), 183–202.
- Tsaparlis, G. (1984). The chemical bond as an atomic tug-of-war. *Journal of Chemical Education*, 61(8), 677.
- Tsaparlis, G. (1989). What a single molecule does not look like—Two analogies and their effect on learning. *Abstracts of papers of the American Chemical Society*, 198, 176-CHED.

- Tsaparlis, G. (1997a). Atomic and molecular structure in chemical education. *Journal of Chemical Education*, 74(8), 922–926.
- Tsaparlis, G. (1997b). Atomic orbitals, molecular orbitals, and related concepts: Conceptual difficulties among chemistry students. *Research in Science Education*, 27(2), 271–287.
- Tsaparlis, G. (2004). Atomic structure. In J. J. Lagowski (Ed), *Chemistry: Foundations and applications* (Vol. 1, pp. 78–87). MacMillan Reference-Thomson Gale.
- Tsaparlis, G. (2009). Learning at the macro level: The role of practical work. In J. K. Gilbert & D. Treagust, D. F. (Eds) *Multiple representations in chemical education* (pp. 109-136). Springer.
- Tsaparlis, G. (2014). Linking the macro with the submicro levels of chemistry: demonstrations and experiments that can contribute to active/meaningful/conceptual learning. In Devetak, I. & Glažar, S. A. (Eds) *Learning with understanding in the chemistry classroom* (pp. 41-61). Springer.
- Tsaparlis, G., & Kampourakis, K. (2000). An integrated physical-science (physics and chemistry) introduction for lower-secondary level (grade 7). *Chemistry Education Research and Practice*, 1(2), 277–290.
- Tsaparlis, G., Kolioulis, D., & Pappa, E. (2010). Lower-secondary introductory chemistry course: A novel approach based on science-education theories, with emphasis on the macroscopic approach, and the delayed meaningful teaching of the concepts of molecule and atom. *Chemistry Education Research and Practice*, 11(2), 107–117.
- Tsaparlis, G., & Papaphotis, G. (2002). Quantum-chemical concepts: Are they suitable for secondary students? *Chemistry Education Research and Practice*, 3(2), 129–144.
- Tulberg, A., Stromdahl, H., & Lybeck, L. (1994). Students' conceptions of 1 mole and educators' conceptions of how they teach the "mole". *International Journal of Science Education*, 16(2), 145–156.