



Οι πολλαπλές προσεγγίσεις της διδασκαλίας και της μάθησης της χημείας: έμφαση στο μακρο-επίπεδο και ο ρόλος της πρακτικής εργασίας

Τσαπαρλής Γ.

Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, Τμήμα Χημείας, gtseper@cc.uoi.gr

Το χημικό εργαστήριο και άλλες πρακτικές δραστηριότητες συνιστούν αναπόσπαστο τμήμα της χημικής εκπαίδευσης. Σε αυτήν την εισήγηση, η προσοχή μας συγκεντρώνεται σε εναλλακτικές προς την παραδοσιακή μορφές πειραματικής διδασκαλίας, η οποία έχει επικριθεί ότι δίνει λίγη έμφαση στη σκέψη. Ειδικότερα εξετάζουμε τις παρακάτω μορφές εργαστηρίου: μέσω διερώτησης (inquiry), βασισμένο σε εργασίες τύπου πρότζεκτ, βασισμένο στην επίλυση προβλημάτων, βασισμένο στη σύνδεση της χημείας με τη ζωή και τέλος τις συνεργατικές πρακτικές δραστηριότητες. Η γνώση του περιεχομένου αλλά και η κατάλληλη παρατήρηση των φαινομένων είναι κεντρικά στην εργαστηριακή εργασία. Τα πειράματα επίδειξης είναι ιδιαίτερα χρήσιμα για να κατευθύνουν την προσοχή των μαθητών στα σημαντικά παρατηρησιακά ερεθίσματα των πειραμάτων. Η εννοιολογική κατανόηση της χημείας παρέχεται τελικά μέσω του υπομικροσκοπικού και του συμβολικού επιπέδου. Όμως, η σύνδεση του μακροεπιπέδου με τα άλλα δύο επίπεδα είναι αναπόσπαστο αλλά δύσκολο εγχείρημα. Η ιστορία της επιστήμης μπορεί να έχει μεγάλη αξία εδώ. Η εισήγηση ολοκληρώνεται με μερικές μελλοντικές προοπτικές για την πρακτική εργασία.

Εισαγωγή

Η μελέτη της χημείας ασχολείται ουσιαστικά με τρεις κύριες πτυχές: τη μακροσκοπική προσέγγιση, την αναπαραστασιακή/συμβολική διάσταση και το υπομικροσκοπικό επίπεδο σκέψης (Johnstone, 1991, 2007). Στην ομιλία αυτή εξετάζουμε κυρίως τον ρόλο της μακροσκοπικής συνιστώσας, λαμβάνοντας όμως επίσης υπόψη και τα άλλα δύο επίπεδα.

Η πρόωγη εισαγωγή στη χημική εκπαίδευση άλλων επιπέδων εκτός από το μακροσκοπικό θεωρείται υπεύθυνη για τη φτωχή μάθηση της χημείας από τους νέους μαθητές και για την κακή εικόνα που σχηματίζουν για την επιστήμη αυτή. Ο Tsaparlis (1997) έχει χρησιμοποιήσει διάφορες θεωρήσεις της διδακτικής των φυσικών επιστημών (φ.ε.) (θεωρία του Piaget για τη γνωσιακή ανάπτυξη, θεωρία του Ausubel για τη νοηματική μάθηση, εναλλακτικές αντιλήψεις των μαθητών και μοντέλο επεξεργασίας πληροφοριών) για να δείξει ότι η αντίληψη των αφηρημένων εννοιών της ατομικής και μοριακής δομής είναι ένα πολύ δύσκολο έργο για τους μαθητές. Πρέπει να παραμείνουμε στο μακροεπίπεδο έως ότου οι μαθητές διαμορφώσουν τις νέες έννοιες προτού, προσπαθήσουμε να εισαγάγουμε «εξηγήσεις» βασισμένες σε υπομικροσκοπικές θεωρήσεις (Johnstone, 2007). Η εισαγωγή των δύο άλλων επιπέδων πρέπει να γίνει με μια βαθμιαία διαδικασία, που θα οδηγήσει τους μαθητές στον κόσμο του χημικού. Μια τέτοια προσέγγιση είναι σύμφωνη με τον εποικοδομισμό και ακολουθεί την αρχή της επαγωγής με τη μετάβαση από το μάκρο στο υπομίκρο επίπεδο. Σημειωτέον ότι η αντίθετη προσέγγιση, που αρχίζει από τη δομή της ύλης και ακολουθεί ένα μοντέλο παραγωγικής/παραληπτικής μάθησης, είναι πολύ συνηθισμένη στη χημική εκπαίδευση.

Οι Georgiadou και Tsaparlis (2000) πρότειναν και δοκίμασαν μια μέθοδο τριών κύκλων, η οποία πραγματεύεται χωριστά το μάκρο, το αναπαραστασιακό και το υπομίκρο επίπεδο. Στον μακροσκοπικό κύκλο, οι μαθητές εξοικειώθηκαν με τις χημικές ουσίες και τις ιδιότητές τους.



Κεντρική εδώ ήταν η χρήση του πειράματος, ενώ η χημική εξίσωση καθώς επίσης και τα άτομα και τα μόρια δεν περιελήφθησαν. Εφαρμόζοντας το σπειροειδές πρόγραμμα σπουδών, ο αναπαραστασιακός κύκλος κάλυψε το ίδιο υλικό του μαθήματος, με προσθήκη των χημικών τύπων και των χημικών εξισώσεων. Τέλος, ο υπομικροσκοπικός κύκλος έφερε στο παιχνίδι τα άτομα και τα μόρια. Η αξιολόγηση της μεθόδου, μέσω της τελικής ανακεφαλαιωτικής εξέτασης του μαθήματος στο τέλος του σχολικού έτους, καθώς επίσης και η επανάληψη των ίδιων τεστ στην αρχή του επόμενου σχολικού έτους, έδειξαν ότι η μέθοδος των τριών κύκλων είχε θετική επίδραση.

Οι Toomet, DePierro, και Garafalo (2001) ανέπτυξαν ένα καινούργιο πρόγραμμα σπουδών χημείας, στο οποίο το θέμα της ατομικής δομής καθυστερεί μέχρι το δεύτερο εξάμηνο. Στην ίδια γραμμή, ο Nelson (2002) συζήτησε έναν τρόπο για να διδάξει τη χημεία σταδιακά, αρχίζοντας από τις παρατηρήσεις σε μακροσκοπικό επίπεδο, ερμηνεύοντάς τις στο ατομικό και στο μοριακό επίπεδο, και έπειτα στο ηλεκτρονικό και στο πυρηνικό επίπεδο. Τέλος, οι Κολιούλης και Τσαπαρλής (2007) συνέγραψαν ένα εγχειρίδιο για τη χημεία της β' τάξης γυμνασίου, με έμφαση στα μακροσκοπικά φαινόμενα και τις έννοιες που αντιμετωπίζονται ποιοτικά, χρησιμοποιώντας μεθόδους εποικοδομικής και νοηματικής μάθησης, ενώ οι σωματιδιακές έννοιες εισάγονται στο τέλος.

Η χημεία είναι βασικά μια πειραματική επιστήμη και για τον λόγο αυτόν η επαφή, ειδικά μέσω του εργαστηρίου και της πρακτικής εργασίας, με συγκεκριμένα παραδείγματα των ουσιών, των αντιδράσεών τους, και των άλλων ιδιοτήτων τους, είναι ένα απαραίτητο και αναπόσπαστο τμήμα της χημικής εκπαίδευσης. Το εργαστήριο είναι επομένως η κατάλληλη θέση για να κρατηθεί η χημεία απτή.

Ο σκοπός και οι στόχοι της εργαστηριακής εργασίας

Οι όροι *εργαστηριακή εργασία* και *πρακτική εργασία* χρησιμοποιούνται στη βιβλιογραφία χωρίς ακριβή ορισμό για να συμπεριλάβουν τις πολυάριθμες δραστηριότητες κατά την διδασκαλία των φ.ε. Σύμφωνα με τον Hodson (1990), ο όρος «πρακτική εργασία» σημαίνει έργα κατά τα οποία οι μαθητές παρατηρούν ή χειρίζονται μόνοι τους (ατομικά ή σε μικρές ομάδες) πραγματικά αντικείμενα ή υλικά ή παρακολουθώντας πειράματα επίδειξης από τον καθηγητή. Υπό μια εκτεταμένη έννοια, η πρακτική εργασία περιλαμβάνει όχι μόνο την εργασία στο τυπικό εργαστήριο ή πειράματα επίδειξης χημείας, αλλά και οποιοδήποτε τύπο δραστηριότητας που περιλαμβάνει απτά αντικείμενα και παρέχει στους μαθητές την ευκαιρία να χειριστούν και να αλληλεπιδράσουν με τις χημικές ουσίες και να παρατηρήσουν τη χημεία εν δράσει. Κατά συνέπεια, συμπεριλαμβάνονται επίσης τα κιτ εκτέλεσης πειραμάτων από τους μαθητές στο σπίτι, καθώς και οι προσομοιώσεις πειραμάτων στον ηλεκτρονικό υπολογιστή.

Η διατύπωση των σκοπών και των στόχων των εργαστηριακών δραστηριοτήτων είναι πολύ χρήσιμη για τους σχεδιαστές μαθημάτων και για τους εκπαιδευτικούς. Γενικά γίνεται αποδεκτό ότι οι κύριοι σκοποί της εργαστηριακής εργασίας είναι να διδάξουν χειρωνακτικές δεξιότητες και να δείξουν τη σχετική θεωρία. Αφετέρου, οι στόχοι μιας τέτοιας εργασίας μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο κατηγορίες: (i) να διδάξουν το περιεχόμενο της επιστήμης (ii) και να διδάξουν τις μεθόδους της επιστήμης. Σύμφωνα με τον Hodson (1990), η πρακτική εργασία μπορεί: να παρακινήσει τους μαθητές με την πρόκληση του ενδιαφέροντος και της απόλαυσης, να διδάξει τις εργαστηριακές δεξιότητες, να ενισχύσει την εκμάθηση της επιστημονικής γνώσης, να επιδείξει την επιστημονική μέθοδο και να αναπτύξει την ικανότητα χρήσης της, να αναπτύξει «επιστημονικές στάσεις», όπως η ευρύτητα σκέψης και η αντικειμενικότητα.

Σημαντικοί είναι επίσης και οι συναισθηματικοί στόχοι: ενδιαφέρον για το μάθημα, απόλαυση του μαθήματος, αίσθηση της πραγματικότητας για τα φαινόμενα που συζητούνται στη θεωρία. Περαιτέρω, κάποιος πρέπει να διακρίνει μεταξύ των στάσεων απέναντι στην επιστήμη και των επιστημονικών στάσεων. Οι στάσεις απέναντι στην επιστήμη περιλαμβάνουν το ενδιαφέρον για το μάθημα, την απόλαυση του μαθήματος, την ικανοποίηση από το μάθημα, την εμπιστοσύνη και τα κίνητρα. Οι επιστημονικές στάσεις αναφέρονται σε μορφές της σκέψης, όπως η αντικειμενικότητα, η κριτική σκέψη, ο σκεπτικισμός και η προθυμία να λαμβάνονται υπόψη τα δεδομένα.

Μια ανάλυση περιεχομένου 11 εργαστηριακών οδηγιών γενικής χημείας που πραγματοποιήθηκε από τον Domin (1999a) κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η πλειονότητα απαιτούν από τους εκπαιδευόμενους να αναπτύξουν δραστηριότητες κυρίως στα τρία χαμηλότερα γνωσιακά επίπεδα ταξινόμησης του Bloom (γνώση, κατανόηση, και εφαρμογή), αφήνοντας έξω τα τρία υψηλότερα επίπεδα, την ανάλυση, τη σύνθεση και την αξιολόγηση. Κατά τον Domin (1999b), η έρευνα πρέπει να εξετάσει όχι μόνο τα επιτεύγματα των μαθητών, αλλά και τα ακόλουθα συγκεκριμένα μαθησιακά αποτελέσματα: εννοιολογική κατανόηση, συγκράτηση της γνώσης περιεχομένου, ικανότητες επιστημονικού συλλογισμού, υψηλότερου επιπέδου γνώση, εργαστηριακές χειρωνακτικές δεξιότητες, καλύτερη στάση απέναντι στην επιστήμη και καλύτερη κατανόηση της φύσης της επιστήμης.

Τύποι εργαστηριακής διδασκαλίας

Σημαντικά προβλήματα επισημαίνονται στη βιβλιογραφία της διδακτικής των φ.ε. για τα εργαστηριακά/πρακτικά μαθήματα, και ιδιαίτερα για την αναποτελεσματικότητα της εργαστηριακής διδασκαλίας για την ενίσχυση της εννοιολογικής κατανόησης (Hofstein, 2004 Hofstein & Lunetta, 1982, 2004). Ο τύπος της εργαστηριακής διδασκαλίας διαδραματίζει βεβαίως έναν σημαντικό ρόλο σε αυτήν την ανεπάρκεια.

Υπάρχουν διάφοροι τύποι ευδιάκριτων μορφών εργαστηριακής διδασκαλίας (Domin, 1999b): *περιγραφική (expository)*, *διερώτησης (inquire)*, *ανακαλυπτική (discovery)*, και *βασισμένη σε προβλήματα (problem-based)*. Σύμφωνα με τον Domin, οι μορφές αυτές μπορεί να διαφοροποιηθούν από: (i) το αποτέλεσμα τους (ii) την προσέγγισή τους και (iii) τη διαδικασία τους. Το αποτέλεσμα οποιασδήποτε εργαστηριακής δραστηριότητας είναι είτε προκαθορισμένο είτε ακαθόριστο. Τυπικά, οι περιγραφικές και οι βασισμένες σε προβλήματα δραστηριότητες ακολουθούν μια παραγωγική προσέγγιση, ενώ οι ανακαλυπτικές δραστηριότητες και οι δραστηριότητες διερώτησης είναι επαγωγικές. Ο Lunetta (1998) διακρίνει τις διάφορες μορφές σύμφωνα με δύο πτυχές: (1) την έκταση της εξωτερικής καθοδήγησης από τον εκπαιδευτικό και/ή το εγχειρίδιο, που οδηγεί (i) σε δομημένες μορφές με λεπτομερή συνταγή των δραστηριοτήτων των μαθητών, ή (ii) σε ανοικτές μορφές που επιτρέπουν στους μαθητές την ενεργητική προσωπική εμπλοκή τους. (2) Το φάσμα των δραστηριοτήτων που μπορεί να ποικίλει από το απλό στήσιμο του πειράματος έως την συμπερίληψη μιας πλήρους ακολουθίας διερώτησης.

Το παραδοσιακό επεξηγηματικό εργαστήριο

Ο συνηθέστερα εφαρμοζόμενος τύπος εργαστηριακής διδασκαλίας είναι το περιγραφικό, το οποίο είναι δασκαλοκεντρικό. Ο εκπαιδευόμενος πρέπει απλώς να ακολουθήσει τις οδηγίες του καθηγητή ή τη διαδικασία (από το εγχειρίδιο). Το αποτέλεσμα είναι προκαθορισμένο από τον καθηγητή και μπορεί επίσης να είναι εκ των προτέρων γνωστό στον εκπαιδευόμενο. Τα αποτελέσματα των πειραμάτων συγκρίνονται με τα αναμενόμενα αποτελέσματα, κι έτσι δεν



υπάρχει η πρόκληση της πρόβλεψης. Το περιγραφικό εργαστήριο ικανοποιεί την ανάγκη να ελαχιστοποιούνται οι απαιτούμενοι πόροι και ιδίως ο χρόνος, ο χώρος, ο εξοπλισμός και το προσωπικό.

Παρά αυτήν την αποτελεσματικότητα, η περιγραφική διδασκαλία έχει επικριθεί διότι δίνει λίγη έμφαση στη σκέψη: έχει τα χαρακτηριστικά ενός 'βιβλίου μαγειρικής' υπογραμμίζοντας τη μηχανική ακολουθία συγκεκριμένων διαδικασιών για τη συλλογή δεδομένων, προκειμένου να επιβεβαιωθούν ή να καταδειχθούν οι αρχές που περιγράφονται στα εγχειρίδια. Κατ' αυτόν τον τρόπο, είναι ένας ατελής τρόπος να δομηθούν έννοιες, και μη ρεαλιστικός στην απεικόνιση του επιστημονικού πειραματισμού, ενώ ελάχιστη εννοιολογική μάθηση μπορεί να πραγματοποιηθεί. Τέτοια εργαστηριακή εμπειρία διευκολύνει την ανάπτυξη κατώτερης τάξεως γνωστικών ικανοτήτων, όπως η αποστήθιση και η αλγοριθμική επίλυση προβλημάτων. Επιπλέον, «έχουν λίγη σχέση με την πραγματική ζωή και αποτυγχάνουν έτσι να προαγάγουν στους μαθητές ένα γνήσιο ενδιαφέρον και κίνητρα για την πρακτική εργασία» (Johnstone & Al-Shuaili, 2001, σ. 49).

Εργαστήριο διερώτησης (ανοικτή διερώτηση)

Οι βασισμένες σε διερώτηση δραστηριότητες έχουν μια ακαθόριστη έκβαση και απαιτούν από τους εκπαιδευόμενους να παραγάγουν τις δικές τους διαδικασίες. Οι μαθητές πρέπει να ασχοληθούν με ένα επιστημονικό πρόβλημα, για τη λύση του οποίου πρέπει να σχεδιάσουν και να διεξαγάγουν μια πειραματική έρευνα και να συναγάγουν ένα συμπέρασμα, το οποίο πρέπει να κοινολογήσουν κατά κάποιο τρόπο. Επομένως, το εργαστήριο διερώτησης είναι περισσότερο μαθητοκεντρικό και, σε σχέση με την παραδοσιακή μορφή εργαστηρίου, περιέχει λιγότερη καθοδήγηση και δίνει στο μαθητή περισσότερη υπευθυνότητα για την επιλογή των δυνατών διαδικασιών. Δίνει ουσιαστικά στους μαθητές την αίσθηση ιδιοκτησίας της εργαστηριακής δραστηριότητας, η οποία μπορεί να οδηγήσει στην παρουσίαση βελτιωμένης στάσης των μαθητών απέναντι στα εργαστήρια. Τέτοια ιδιοκτησία απαιτεί από τους εκπαιδευόμενους να διατυπώσουν το πρόβλημα, να συνδέσουν την έρευνα με προηγούμενες σχετικές εργασίες, να δηλώσουν τον σκοπό της έρευνας, να προβλέψουν το αποτέλεσμα, να προσδιορίσουν τη διαδικασία και να εκτελέσουν την έρευνα. Επιπλέον, αυτός ο τύπος εργαστηρίου έχει τη δυνατότητα να αναπτύξει στους μαθητές ικανότητες και δεξιότητες όπως οι παρακάτω: να διατυπώνουν ερωτήσεις επιστημονικά ορθές, να διαμορφώνουν υποθέσεις, να σχεδιάζουν και να διεξάγουν επιστημονικές έρευνες, να διατυπώνουν και να αναθεωρούν επιστημονικές εξηγήσεις και να είναι σε θέση να ανακοινώνουν και να υπερασπίζονται τα επιστημονικά τους επιχειρήματα.

Μερικές σχετικές εργασίες για το εργαστήριο χημείας στην τριτοβάθμια εκπαίδευση που χρησιμοποίησαν το εργαστήριο τύπου διερώτησης και/ή συνεργατική μάθηση διαπίστωσαν εν γένει ότι οι προτεινόμενες μέθοδοι ήταν αποτελεσματικές. Για παράδειγμα, οι φοιτητές φάνηκαν να αναπτύσσουν κριτική ικανότητα στο να σχεδιάζουν και να εκτελούν την εργασία τους, κέρδισαν αυτοπεποίθηση και δεξιότητες στη χρήση των οργάνων και ανέπτυξαν τις δυνατότητες στο τεχνικό γράψιμο. Ακόμη, θετικότερη στάση προς το εργαστήριο και προς τη χημεία σε τμήματα συνεργατικής μάθησης, ενδιαφέρον και κίνητρα καθώς επίσης και βαθύτερη σκέψη για τα πειράματα προτού να πραγματοποιηθούν και βαθύτερο αναστοχαστικό συλλογισμό ως προς τα αποτελέσματα από ό,τι συνήθως γινόταν με τις διαδικασίες τύπου 'συνταγής'.

Συνολικά τα περιγραφικά εργαστήρια χάνουν μερικούς από τους επιθυμητούς στόχους της εργαστηριακής εργασίας, ανήκοντας στις παραληπτικές μορφές διδασκαλίας και μάθησης. Το κίνημα αναμόρφωσης της εκπαίδευσης στις φ.ε., το οποίο είναι βασισμένο σε πρότυπα (standards) (National Research Council, 1996; 2000), συνιστά να ξεκόψουμε από αποκλειστικά



παραληπτικές μορφές διδασκαλίας. Από την άλλη, η βασισμένη στη διερώτηση πρακτική εργασία είναι χρονοβόρος, δυνάμει δαπανηρή και πολύ απαιτητική για εκείνους που πρέπει να οργανώσουν μεγάλα εργαστηριακές τάξεις μαθητών. Επομένως, τα καθ' ολοκληρίαν εργαστήρια διερώτησης είναι αυτήν την περίοδο πιθανώς ανέφικτα όχι μόνο στα σχολεία αλλά και στα πανεπιστήμια. Εντούτοις, οι Johnstone και Al-Shuaili (2001, σ. 49) υποστήριξαν τη χρήση της από καιρό σε καιρό και σε όλα τα επίπεδα: έτσι, «ένας πυρήνας περιγραφικών εργαστηρίων με ουσιαστικά ένθετα τύπου διερώτησης θα συμβάλουν αρκετά στην επίτευξη των επιθυμητών στόχων της εργαστηριακής εργασίας».

Εργαστηριακή διδασκαλία βασισμένη σε εργασίες τύπου project

Οι περιορισμοί του συμβατικού περιγραφικού εργαστηρίου καθώς επίσης και οι δυσκολίες στην πραγματοποίηση των βασισμένων σε διερώτηση δραστηριοτήτων μπορούν να ξεπεραστούν μέσω εργαστηριακής διδασκαλίας βασισμένης σε εργασίες τύπου project. Αυτές δεν απαιτούν νέες διαδικασίες αλλά απαιτούν από τους μαθητές να δοκιμάσουν ένα μοντέρνο πείραμα.

Οι Tsaparlis και Gorezi (2005, 2007) προσέθεσαν σε ένα συμβατικό επεξηγηματικό πανεπιστημιακό εργαστήριο φυσικοχημείας ένα τμήμα τύπου project, χρησιμοποιώντας πειράματα από το περιοδικό *Journal of Chemical Education*. Κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης των πειραμάτων, οι φοιτητές ήταν αφοσιωμένοι, υπομονετικοί, και ενθουσιώδεις. Η αξιολόγηση της εργασίας από τους μαθητές μέσω γραπτών ερωτηματολογίων έδειξε ότι μια μεγάλη πλειονότητα ήταν υπέρ της συλλογικής εργασίας. Η εργασία σε ομάδες των τεσσάρων ατόμων ήταν αποδεκτή. Από την άλλη, η άνιση κατανομή των μελών της ομάδας φάνηκε να είναι ένα σοβαρό πρόβλημα. Η εργασία με project κρίθηκε ανώτερη για την ανάπτυξη ικανοτήτων επικοινωνίας των μαθητών (αναζήτηση και χρήση αγγλικής βιβλιογραφίας, δημόσια παρουσίαση, συνεργασίας, κ.λπ.) και ικανοτήτων σχετικών με την ψυχολογία της μάθησης. Τέλος, πολύ ελκυστική αποδείχτηκε η σύνδεση της χημείας με την καθημερινή ζωή και τις σύγχρονες εφαρμογές (όπως οι μπαταρίες λιθίου, τα σαπούνια εμπορίου και η διάβρωση των μετάλλων). Να προστεθεί ότι για να είναι αποτελεσματική η εργασία με project πρέπει να επεκταθεί σε όλα πρακτικά μαθήματα.

Υποκείμενη παιδαγωγική για αποτελεσματικές πρακτικές δραστηριότητες

Σήμερα γίνεται ευρέως αποδεκτό ότι η διδακτική των φ.ε. υποστηρίζει μια εποικοδομική προσέγγιση στη διδασκαλία και τη μάθηση. Σύμφωνα με τον Vygotsky (1962), ο εκπαιδευόμενος κατασκευάζει ενεργά τη γνώση του/της, αλλά αυτή η διαδικασία υποβοηθείται πολύ από τις αλληλεπιδράσεις με τους συνομήλικους και με τον δάσκαλο που ενεργεί στη λεγόμενη *ζώνη εγγύτατης ανάπτυξης* των μαθητών. Ένα πλαίσιο κοινωνικού εποικοδομισμού έχει κατεξοχήν δυναμική να καθοδηγήσει τη διδασκαλία στο εργαστήριο. Επιπλέον, μπορεί να ενισχύσει τις θετικές στάσεις και τη γνωσιακή ανάπτυξη. Σημειωτέον ότι το κοινωνικό περιβάλλον σε ένα εργαστήριο είναι συνήθως λιγότερο τυπικό από ό, τι σε μια συμβατική τάξη ή ένα συμβατικό διδακτικό αμφιθέατρο.

Φάσεις της εργαστηριακής διδασκαλίας

Ο Lunetta (1998) έχει προτείνει μια ακολουθία τεσσάρων φάσεων για την εργαστηριακή διδασκαλία: (1) προγραμματισμός και σχεδιασμός, (2) εκτέλεση του πειράματος, (3) ανάλυση και ερμηνεία των δεδομένων και (4) εφαρμόζοντας την αποκτηθείσα εννοιολογική και



διαδικαστική γνώση στις νέες ερευνητικές ερωτήσεις. Σε μια παρόμοια προσέγγιση οι προηγούμενες τελευταίες δύο φάσεις ενώνονται, με συνέπεια να έχουμε τρεις φάσεις: (i) προπαραπειραματική, (ii) πειραματική, (iii) μεταπειραματική.

Ιδιαίτερης σπουδαιότητας είναι οι προπαραπειραματικές δραστηριότητες και η ικανότητα του σχεδιασμού πειραμάτων, που τα συμβατικά εργαστήρια τείνουν να παραλείπουν. Η παρακάτω σειρά πέντε διαδικαστικών βημάτων κρίνονται απαραίτητα για την προπαραπειραματική φάση: Παρατήρηση/φαινόμενο → Πρόσβαση της προγενέστερης γνώσης → Επιστημική ερώτηση (ή ερωτήσεις) → Προβλεπόμενη απάντηση /απαντήσεις → Σχεδιασμός για τη λήψη μαρτυρίας.

Τέλος, ύψιστης σημασίας για την κατάλληλη ερμηνεία των παρατηρήσεων στο εργαστήριο είναι η γνώση της σχετικής θεωρίας. Ο Hodson (1986) υποστήριξε ότι οι παρατηρήσεις εξαρτώνται από τη θεωρία και επομένως υπόκεινται σε σφάλμα και είναι προκατειλημμένες. Ακόμη και οι επιστήμονες οι ίδιοι έχουν προκατειλημμένες απόψεις για τον τρόπο που λειτουργεί από άποψη φυσικής ο κόσμος, και αυτές οι απόψεις έχουν επιπτώσεις στη δυνατότητά τους να κάνουν παρατηρήσεις («παρατηρήσεις επιβαρημένες από τη θεωρία»). Σύμφωνα με τους Johnstone και Al-Shuaili (2001, σ. 47) «η έρευνα εξαρτάται πολύ από τη γνώση και δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί σε ένα κενό γνώσης». Κατά συνέπεια, «οι μαθητές που στερούνται το απαραίτητο θεωρητικό υπόβαθρο δεν ξέρουν πού να κοιτάζουν ή πώς να κοιτάζουν, προκειμένου να κάνουν παρατηρήσεις κατάλληλες για το υπό εκτέλεση έργο ή πώς να ερμηνεύσουν αυτό που βλέπουν» (σ. 44).

Λύση προβλημάτων στο εργαστήριο

Είναι γνωστό ότι η λύση προβλημάτων είναι μια σύνθετη δραστηριότητα που περιλαμβάνει διάφορες γνωστικές λειτουργίες, εξαρτώμενες από τον αριθμό και την ποιότητα των διαθέσιμων λειτουργικών σχημάτων στη μακρόχρονη ή μνήμη και από την χωρητικότητα της εργαζόμενης μνήμης (Stamovlasis & Tsaparlis, 2001, Tsaparlis, 1998, Tsaparlis & Angelopoulos, 2000). Ένα πραγματικό/νέο πρόβλημα απαιτεί από αυτόν που θα το λύσει να είναι σε θέση να χρησιμοποιήσει ό, τι έχει περιγραφεί ως ανώτερης τάξεως γνωστικές ικανότητες (HOCS) (Tsaparlis & Zoller, 2003, Zoller, 1993, Zoller & Tsaparlis, 1997). Μια πιο λεπτομερής ταξινόμηση των τύπων προβλημάτων έχει γίνει από τον Johnstone (Johnstone, 1993; Tsaparlis & Angelopoulos, 2000).

Οι Kampourakis και Tsaparlis (2003) χρησιμοποίησαν μια εργαστηριακή δραστηριότητα που περιλαμβάνει το γνωστό πείραμα «το συντριβάνι της αμμωνίας», προκειμένου να ελέγξουν αν αυτό μπορεί να συμβάλει στη λύση ενός απαιτητικού προβλήματος χημείας στους νόμους των αερίων. Επιπλέον, μελέτησαν τον βαθμό στον οποίο η πρακτική δραστηριότητα (που εκτελέστηκε από τους μαθητές εργαζομένους σε μικρές ομάδες), μαζί με την συζήτηση/ερμηνεία που ακολούθησε στην τάξη, θα μπορούσε να συμβάλει στη βελτίωση της ικανότητας των μαθητών για λύση προβλημάτων. Σημειώθηκε σχετικά μικρή βελτίωση στην επίδοση για πολλούς μαθητές και αυτό εξηγήθηκε από το γεγονός ότι το πείραμα ήταν περίπλοκο, υπερφορτώνοντας την εργαζόμενη μνήμη των μαθητών. Επίσης, το αρκετά δραματικό φαινόμενο μπορεί να μην επέτρεψε στους μαθητές να κατανοήσουν πάρα πολύ τα υποκείμενα φυσικά και χημικά γεγονότα. Δύο άλλοι παράγοντες που πρέπει να συνέβαλαν στη χαμηλή επίδοση ήταν το γεγονός ότι οι μαθητές δεν είχαν καμιά προηγούμενη εμπειρία στο να χειρίζονται τις χημικές ουσίες και να πραγματοποιούν ή ακόμη και να παρατηρούν πειράματα, ενώ δεν είχαν κατανοήσει καλά τις έννοιες που αφορούσαν την εξίσωση του ιδανικού αερίου. Το συμπέρασμα είναι ότι η θεωρία της χημείας και τα πειράματα χημείας *μπορεί να αποτελούν* δύο ελάχιστα επικαλυπτόμενους χώρους, ειδικά στην περίπτωση πολύπλοκων πειραμάτων.

Η απλούστευση της οργάνωσης του πειράματος, με τη χρήση έτοιμης υγροποιημένης αμμωνίας (από μια φιάλη συνδεδεμένη με ένα μανόμετρο) μπορεί να βοηθήσει στο να μειώσει το 'θόρυβο' και να κάνει τους μαθητές να επικεντρωθούν στα πραγματικά σχετικά φαινόμενα. Από την άλλη, η χρήση των προσομοιώσεων σε ηλεκτρονικό υπολογιστή είναι ελπιδοφόρος για τέτοια προβλήματα. Εν πάση περιπτώσει, οι εκπαιδευτικοί χημικοί πρέπει να λάβουν υπόψη τις διαθέσιμες δυνατότητες και να επιλέξουν προσεκτικά τα πειράματά τους, έτσι ώστε χρησιμοποιούν αρχικά απλά πειράματα που περιλαμβάνουν λίγες έννοιες.

Εργαστήριο και επεξεργασία πληροφοριών

Αυτό που είχε περισσότερο ενδιαφέρον στη μελέτη των Καμπουράκη και Τσαπαρλή (2003) ήταν το γεγονός ότι η επιλεγείσα πρακτική δραστηριότητα ήταν περίπλοκη. Το «συντριβάνι της αμμωνίας» είναι πράγματι ένα θεαματικό και εντυπωσιακό πείραμα, αλλά αυτό το χαρακτηριστικό γνώρισμα μπορεί να είναι η αιτία της αποτυχίας των περισσότερων μαθητών να δώσουν προσοχή στα σχετικά με το πρόβλημα ερεθίσματα. Πράγματι, κάποιος θα μπορούσε να υποστηρίξει ότι τα σχετικά με το πρόβλημα ερεθίσματα δεν ήταν τα κυρίαρχα ερεθίσματα του πειράματος. Συγκεκριμένα, η παραγωγή της αμμωνίας στη φιάλη προκάλεσε επίσης υπερφόρτωση της εργαζόμενης μνήμης των μαθητών.

Τα εργαστηριακά πειράματα και τα πειράματα επίδειξης είναι συχνά περίπλοκα, θέτοντας μια μεγάλη απαίτηση από την ικανότητα του μαθητή να επεξεργαστεί τις πληροφορίες. Για να εισαγάγουν την έννοια της χημικής αντίδρασης, οι de Vos και Verdonk (1985, σ. 238) πρότειναν ότι τα πειράματα χρειάζεται να «μπορούν να διεγείρουν ουσιαστικά το ενδιαφέρον από την αλλαγή των ουσιών σε άλλες ουσίες, χωρίς όμως να αποσπούν την προσοχή με άλλα εντυπωσιακά συνοδά φαινόμενα. (Αντίθετα), οι μαθητές συναρπασμένοι (και τυφλωμένοι) από το φωτεινό φως του καψίματος του μαγνησίου, απέτυχαν να παρατηρήσουν την άσπρη σκόνη που αφήνεται πίσω με τη διαδικασία.»

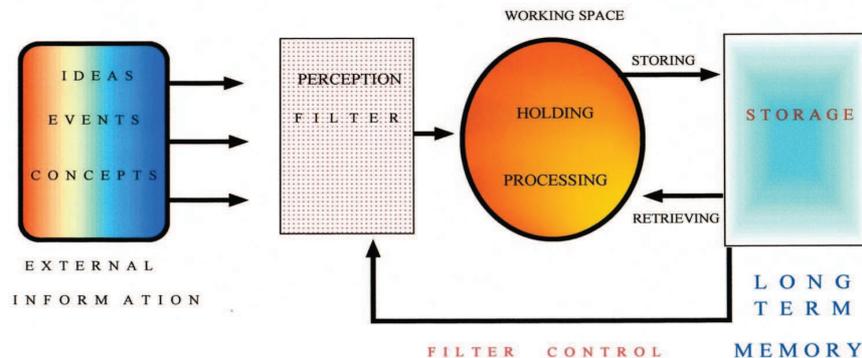
Ο Al-Shuaili (αναφέρεται σε Johnstone & Al-Shuaili, 2001, σ. 44) έδειξε ότι «το κυρίαρχο ερέθισμα μπορεί να χρειαστεί να μειωθεί αν υποβαθμίζει άλλες σημαντικές παρατηρήσεις. Αυτό δεν υπονοεί ότι ο δάσκαλος πρέπει να δώσει όλες τις απαντήσεις πριν από το εργαστήριο, αλλά μάλλον να προετοιμάζει τις παρατηρησιακές ικανότητες για αυτό που είναι να έρθει.» Μια περαιτέρω περίπλοκη στην παρατήρηση είναι ότι η συσκευή καλύπτει συχνά ένα φαινόμενο. Οι Johnstone και Al-Shuaili (2001) σύστησαν ότι οι καθηγητές πρέπει να εξηγεί τις συσκευές έτσι ώστε η τάξη να μπορεί να εστιάσει την προσοχή της στο φαινόμενο.

Μοντέλο επεξεργασίας πληροφοριών

Ιδιαίτερα σχετικός με την παραπάνω συζήτηση είναι ο τρόπος με τον οποίο αρχικά οι εκπαιδευόμενοι χειρίζονται τις εισερχόμενες πληροφορίες, όπως αυτές που παρουσιάζονται σε ένα μάθημα, ένα πείραμα επίδειξης, ή κατά τη διάρκεια της εργαστηριακής διδασκαλίας. Οι νέες πληροφορίες γίνονται αντιληπτές και φιλτράρονται αναφορικά με αυτά που ο μαθητής ξέρει ήδη και μπορεί να καταλάβει. Κατά συνέπεια, οι πληροφορίες δεν μεταφέρονται άθικτες από το μυαλό του δασκάλου στο μυαλό του μαθητή. Υποβάλλονται σε μια αρχική διαδικασία επιλογής (διήθηση) και ό, τι αναγνωρίζεται θα ποικίλει από πρόσωπο σε πρόσωπο. Μαθητές με ένα παρόμοιο υπόβαθρο θα τείνουν να επιλέξουν με παρόμοιο, αλλά όχι ταυτόσημο τρόπο (Johnstone, 2007). Ένα μοντέλο επεξεργασίας πληροφοριών παρουσιάζεται στο Σχήμα 1.



INFORMATION PROCESSING MODEL



Σχήμα 1. Το μοντέλο επεξεργασίας πληροφοριών (από Johnstone, 2007, κατόπιν αδείας).

Οι πληροφορίες που αναγνωρίζονται μέσω του φίλτρου πηγάζουν στο *χώρο εργασίας* (ή την *εργαζόμενη μνήμη*), το μέρος του μυαλού όπου οι νέες πληροφορίες αλληλεπιδρούν συνειδητά με αυτό που είναι ήδη γνωστό και κατανοητό, με στόχο να υποστεί επεξεργασία έτσι ώστε να είναι σε μια μορφή που να μπορεί να αποθηκευτεί για μεταγενέστερη χρήση (ή μπορεί να απορριφθεί μη όντας καμίας περαιτέρω χρήσης επειδή δεν έχει κανένα νόημα). Εντούτοις, αυτός ο χώρος εργασίας έχει ένα αυστηρό όριο στην ποσότητα πληροφοριών που μπορεί να φυλάξει και να επεξεργαστεί σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή. Για τους περισσότερους ανθρώπους, ο μέγιστος αριθμός πληροφοριών ή διαδικασιών, που μπορεί να χειριστεί επιτυχώς συγχρόνως, είναι πέντε. Εν κατακλείδι, υπάρχει ένας αριθμός μηνυμάτων από την έρευνα που, αν εφαρμόζονταν, θα καθιστούσαν την εμπειρία των μαθητών από την εργαστηριακή διδασκαλία πιο νοηματική, ευχάριστη και παρ' όλα αυτά νοητικώς απαιτητική και να ικανοποιητική (Johnstone, 2007):

- Ό, τι μαθαίνουμε ελέγχεται από ό, τι γνωρίζουμε ήδη.
- Οι μαθητές μπορούν να επεξεργαστούν μόνο έναν ορισμένο αριθμό πληροφοριών κάθε φορά.
- Οι έννοιες υφίστανται σε περισσότερα από ένα νοητικά επίπεδα.
- Πολλές έννοιες των φ.ε. είναι διαφορετικές από τις καθημερινές έννοιες.
- Οι μαθητές πρέπει να ξεκινούν με 'απτές' εμπειρίες που θα αναπτυχθούν αργότερα ώστε να περιλάβουν επαγόμενες έννοιες.

Προσεγγίσεις που βασίζονται στη σύνδεση της πρακτικής εργασίας με την καθημερινή ζωή

Οι προσεγγίσεις που βασίζονται στη σύνδεση της πρακτικής εργασίας με την καθημερινή ζωή (σύνδεση με το *συγκεκριμένο*) για τη διδασκαλία και τη μάθηση της χημείας, χρησιμοποιούν εφαρμογές ως αφετηρίες από τις οποίες αναπτύσσεται το θέμα. Η επιτυχία-τους αποδίδεται, τουλάχιστον εν μέρει, στα υψηλά επίπεδα ενδιαφέροντος και κινήτρων των μαθητών, μαζί με την αντίληψη των μαθητών για τη σχετικότητα των θεμάτων για τη ζωή τους. Οι πειραματικές δραστηριότητες αποτελούν αναπόσπαστο τμήμα όλων των συνδεδεμένων με τη ζωή προγραμμάτων σπουδών χημείας.

Σε ειδικό τεύχος του περιοδικού *International Journal of Science Education* (2006, Vol. 28, Number 9) έγινε ανασκόπηση των βασισμένων στο συγκεκριμένο προγράμματα σπουδών που



αναπτύχθηκαν σε πέντε χώρες. Ο Schwartz (2006) πραγματεύτηκε την αμερικανική εμπειρία στα *ChemCom: Chemistry in the Community*, και κυρίως στο *Chemistry in Context* (CiC). Οι Bennett και Lubben (2006) παρουσίασαν το *Salter's Advanced Chemistry* που αναπτύχθηκε στη Μεγάλη Βρετανία. Οι Hofstein και Kesner (2006) έκαναν έκθεση σχετικά με το ισραηλινό υλικό εστιάζοντας στη βιομηχανική χημεία ως το κύριο θέμα της σχολικής χημείας. Οι Parchmann και συν. (2006) εξέτασαν τη γερμανική εκδοχή του συγκεκριμένου, *Chemie im Kontext* (ChiK). Τέλος, οι Bulte και συν. (2006) έκαναν έκθεση σχετικά με μια ολλανδική ερευνητική προσέγγιση χρησιμοποιώντας αυθεντικές πρακτικές ως συγκεκριμένο. Είναι αξιοσημείωτο ότι κάποιες από τις παραπάνω προσεγγίσεις έχουν υιοθετηθεί σε διάφορες άλλες χώρες.

Από τον Σεπτέμβριο του 1997, το *Journal of Chemical Education* (JCE) δημοσιεύει σε τακτική βάση τη "δραστηριότητα στην τάξη", που βρίσκεται χωριστά σε ένα σκληρό φύλλο εργασίας, το οποίο περιλαμβάνει εκτός από την δραστηριότητα των μαθητών (στην μία πλευρά) και ένα φύλλο εργασίας με πληροφορίες για τον εκπαιδευτικό (στην πίσω πλευρά). Αυτές οι δραστηριότητες έχουν ως σκοπό να ασχοληθούν ενεργά οι μαθητές, ενώ τα θέματα που πραγματεύονται συνδέονται συνήθως με την καθημερινή ζωή και τις εφαρμογές (π.χ. όξινη βροχή, αφριστικά μπάνιου, οδοντόκρεμες, φιλτράρισμα του νερού, ανθοκυανίνες, αφανή δακτυλικά αποτυπώματα, κ.λπ.). Οι Λιάπη και Τσαπαρλής (2007) χρησιμοποίησαν τρεις από αυτές τις δραστηριότητες (όξινη βροχή, αφριστικά μπάνιου, οδοντόκρεμες) από κοινού με δύο σχετικές εργαστηριακές δραστηριότητες από τον σχολικό εργαστηριακό οδηγό (μερικές ιδιότητες των οξέων/μερικές ιδιότητες των βάσεων) σε μια τάξη της τρίτης Γυμνασίου στην Ελλάδα. Η αξιολόγηση των μαθητών παρουσίασε ένα πολύ θετικό συμπέρασμα υπέρ των δραστηριοτήτων του JCE: συνδέονται με τη ζωή και διαλαμβάνουν δημιουργικότητα από μέρους των μαθητών (Σχήμα 2).



Σχήμα 2. Ένα παράδειγμα από το πείραμα με την οδοντόκρεμα (αριστερά). Μία ενθουσιώδης μαθήτρια (δεξιά) παρουσιάζει στους μαθητές μιας άλλης ομάδας το αποτέλεσμα του πειράματός της με τα αφριστικά μπάνιου. (Φωτογραφίες του συγγραφέα.)

Το ευρωπαϊκό πρόγραμμα PARSEL

Το ευρωπαϊκό πρόγραμμα PARSEL έχει αναπτύξει και παρέχει με ελεύθερη πρόσβαση, μέσω του ιστοτόπου του, παιδαγωγικά σύγχρονο διδακτικό υλικό που στοχεύει στον επιστημονικό αλφαριθμητισμό των μαθητών, επιδιώκοντας να κάνει τις φυσικές επιστήμες σχετικές με τη ζωή και δημοφιλείς: Popularity And Relevance of Science Education for scientific Literacy (*Επιστημονικός Αλφαριθμητισμός μέσω δημοφιλών και σχετικών με τη ζωή Μαθημάτων Φυσικών*)



Επιστημών) [<http://www.parsel.uni-kiel.de/cms>]. Στο πρόγραμμα συνεργάστηκαν 6 πανεπιστήμια, 2 ερευνητικά ινστιτούτα και 1 διεθνής οργανισμός από 8 ευρωπαϊκές χώρες.

Τα μαθήματα-ενότητες (modules) καλύπτουν ένα ευρύτατο φάσμα των φ.ε. (φυσικής, χημείας, βιολογίας-βιοχημείας, γεωγραφίας και αστρονομίας) και χαρακτηρίζονται από σύνδεση με τη ζωή και το περιβάλλον και από διεπιστημονικότητα. Η δοκιμαστική εφαρμογή μαθημάτων στις συμμετέχουσες στο πρόγραμμα χώρες χαρακτηρίστηκε από εκπαιδευτικούς και μαθητές ως επιτυχής. Η χημεία αντιπροσωπεύεται σε μεγάλη έκταση στα μαθήματα, ενώ οι τίτλοι της ελληνικής συμμετοχής στο PARSEL μέσω του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων (που εστιάζουν περισσότερο στη χημεία) είναι οι εξής:

1. Το αέριο που «πίνουμε» – Το διοξείδιο του άνθρακα σε ανθρακούχα αναψυκτικά.
2. Αλάτι – Το ωραίο, το κακό και το νόστιμο.
3. Τα αφριστικά μπάνιου και η χημεία.
4. Βουρτσίζοντας τα δόντια μας με τη βοήθεια της χημείας.
5. Γάλα – Διατηρείτε το στο ψυγείο.
6. Καλλιέργεια φυτών – Παίζει ρόλο το χώμα;

Πειράματα επίδειξης

Κατά τη διάρκεια της πειραματικής εργασίας συμβαίνει συχνά ζωτικής σημασίας παρατηρήσεις να κρύβονται από ισχυρά, αλλά λιγότερο σημαντικά ερεθίσματα. Σε τέτοιες περιπτώσεις, τα πειράματα επίδειξης, παρά η ατομική εργαστηριακή εργασία, μπορούν να αποτελέσουν την καλύτερη διαδικασία. Σε ένα πείραμα επίδειξης ο καθηγητής έχει τον έλεγχο και μπορεί να στρέψει την προσοχή στις πιο αξιοσημείωτες παρατηρήσεις.

Συνεργατική πρακτική εργασία των μαθητών

Ένα σημαντικό συμπέρασμα της έρευνας της διδακτικής των φ.ε. είναι ότι οι ενεργητικές μέθοδοι διδασκαλίας και μάθησης πρέπει να αντικαταστήσουν τις παραδοσιακές διδακτικές μεθόδους. Η ενεργητική μάθηση μπορεί να εφαρμοστεί από μαθητές που εργάζονται από μόνοι τους (υπό την παρατήρηση και την καθοδήγηση του εκπαιδευτικού), αλλά αποτελεσματικότερα από τους μαθητές που συνεργάζονται σε μικρές ομάδες: τεσσάρων ή πέντε ατόμων, για να πραγματοποιήσουν μια ανατεθείσα κοινή εργασία / στόχο μάθησης. Σύμφωνα με τον Byers (2002, σ. 32), "η συζήτηση ανάμεσα σε όμοιες ομάδες κατά τη διάρκεια των προεργαστηριακών και μεταεργαστηριακών περιόδων ενθαρρύνει τη βαθύτερη σκέψη για τα πειράματα προτού αυτά πραγματοποιηθούν και βαθύτερη σκέψη για τα αποτελέσματα σε σχέση με αυτή που υπάρχει συνήθως στις διαδικασίες που ακολουθούν συνταγή."

Οι ενεργητικές και συνεργατικές μέθοδοι μάθησης είναι σύμφωνες με τον *κοινωνικό/πολιτιστικό εποικοδομισμό*, παρέχουν καλύτερο μαθησιακό περιβάλλον και συμβάλλουν στη βαθύτερη κατανόηση και ανάπτυξη των μαθησιακών ικανοτήτων. Αυτή η μορφή μάθησης χρησιμοποιείται παραδοσιακά στην εργαστηριακή εργασία. Ένα κρίσιμο ζήτημα στη συνεργατική εργασία είναι η *δυναμική* μέσα στην ομάδα (Stamovlasis, Dimos, & Tsaparlis, 2006), όπου κάθε άτομο που ασχολείται με τέτοια εργασία μπορεί να διαδραματίσει τρεις ρόλους: τον *μαθητή*, τον *μεσολαβητή* και τον *καθοδηγητή*.



Σύνδεση του μακρόκοσμου με τον μικρόκοσμο στο εργαστήριο

Πολυάριθμες μελέτες έχουν δείξει ότι οι μαθητές έχουν μεγάλες δυσκολίες όταν προσπαθούν να συλλάβουν έννοιες όπως αυτές του μορίου και του ατόμου, δηλαδή κατά την προσπάθειά τους να μεταφερθούν από το μακροσκοπικό στο υπομικροσκοπικό επίπεδο και αντίστροφα. Οι Herron (1978), Johnstone (1991), και Τσαπαρλής (1997) έχουν διατυπώσει τη θέση ότι οι μαθητές έχουν δυσκολίες με έννοιες και θέματα σχετικά με τη δομή της ύλης.

Η εργαστηριακή εκπαίδευση παρουσιάζεται συχνά στο μακροσκοπικό επίπεδο, με βασικό στόχο να περιγραφούν οι νόμοι και τα φαινόμενα. Στην συνέχεια η θεωρία και το υπομικροσκοπικό επίπεδο καλούνται να εξηγήσουν τις παρατηρήσεις στο μακροσκοπικό επίπεδο, αλλά λείπουν τα πειράματα που καταδεικνύουν άμεσα τη σύνδεση του μακροσκοπικού με το υπομικροσκοπικό επίπεδο. Η σύνδεση μεταξύ των τριών επιπέδων της χημείας θα συμβάλει αρκετά στην ανάπτυξη των ικανοτήτων σκέψης των μαθητών (Γεωργιάδου & Τσαπαρλής, 1998, Georgiadou & Tsaparlis, 2000, Johnstone, 2000), αλλά αυτή η σύνδεση είναι δύσκολη εργασία, όπως καταδεικνύουν τα ακόλουθα ανέκδοτα στοιχεία από ένα μάθημα για το οξυγόνο στους μαθητές της δευτέρας γυμνασίου σε ένα ελληνικό αστικό σχολείο. Ο καθηγητής έβαλε φωτιά σε μια ποσότητα θείου σε ένα πορσελάνινο χωνευτήριο πύρωσης και κάλεσε τον μαθητή να περιγράψει τι είχε παρατηρήσει:

Μαθητής: Το θείο έπιασε φωτιά και δημιουργήθηκε καπνός.

Καθηγητής: Μπορείς να γράψεις στον πίνακα τη χημική εξίσωση της αντίδρασης;

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

Καθηγητής: Πολύ καλά. Θα μπορούσες να περιγράψεις πάλι αυτό που παρατήρησες προηγουμένως;

Μαθητής: Το θείο έπιασε φωτιά, και το οξυγόνο πήγε μαζί, και...

Απαιτείται πραγματικά εκτενής και προσεκτικός πειραματισμός για να φανεί η εμπλοκή, η απομόνωση και η ταυτοποίηση των αερίων στις χημικές αντιδράσεις.

Τα αέρια και η σημασία της ιστορίας της χημείας

Τα παραπάνω στοιχεία μάς οδηγούν στη σημασία του πειραματισμού με τα αέρια για την κατανόηση της χημείας και την επιθυμητή σύνδεση με το αναπαστασιακό/συμβολικό και το υπομικροσκοπικό επίπεδο. Εδώ είναι ύψιστης σημασίας η ιστορία της χημείας.

Οι περισσότεροι χημικοί δεν ασχολήθηκαν με τα αέρια από τα χρόνια της αλχημείας ως τις αρχές του δέκατου όγδοου αιώνα. Χρειάστηκαν πολλά χρόνια και η ιδιοφυΐα διαφόρων επιστημόνων για να πάρουν τα αέρια όχι μόνο την κατάλληλη θέση τους στη μελέτη της χημείας, αλλά και για να παρέχουν τα μέσα για τη χημική επανάσταση και τη καθιέρωση της χημείας ως πραγματικής επιστήμης.

Κατασκευή του μοριακού μοντέλου της ύλης: μάκρο-μίκρο σχέσεις

Πολλές δυσκολίες που αντιμετωπίζουν οι μαθητές αρχίζοντας την χημεία, πηγάζουν από την ανεπαρκή κατανόηση του ατομικού μοντέλου και πώς αυτό χρησιμοποιείται για να εξηγήσει τη φαινομενολογία και τους νόμους της χημείας. Οι Meheut και Chomat (1990) προσπάθησαν να διδάξουν σε παιδιά ηλικίας 13-14 ετών πώς να κατασκευάσουν ένα μοριακό μοντέλο της ύλης με την επεξεργασία μιας ακολουθίας πειραματικών δεδομένων, ξεκινώντας από τις ιδιότητες των αερίων (συμπίεση, διάχυση), προχωρώντας στα στερεά και αφήνοντας στο τέλος τα υγρά. Από την άλλη πλευρά, ο Millar (1990) έδωσε έμφαση στη χρήση συγκεκριμένων (με βάση την προσέγγιση Salter: Hills et al., 1989), χρησιμοποιώντας, παραδείγματος χάριν, ένα κομμάτι



υφάσματος (φτιαγμένο από πανί, φτιαγμένο από νήματα, φτιαγμένο από ίνες) για να κινηθεί από το μακροσκοπικό προς το υπομικροσκοπικό επίπεδο.¹ Ο Millar πρότεινε ότι μπορεί να είναι ενδεδειγμένο να αρχίσουμε με τα στερεά και να αναβάλουμε τη μελέτη των αερίων για αργότερα: πολλά παιδιά χρειάζονται χρόνο και εμπειρία για να εκτιμήσουν ότι τα αέρια είναι πραγματικά ύλη. Τέλος, σε έναν συλλογικό τόμο, ο Nussbaum (1998), αφού έκανε κριτικό απολογισμό των διαφόρων σχετικών προτάσεων από το διεθνές σεμινάριο του 1990, συνέδεσε την *ιστορία και φιλοσοφία της επιστήμης* με την εποικοδομητική διδασκαλία των σωματιδιακών θεωριών. Η φυσική του κενού είναι, σύμφωνα με τον Nussbaum, η σωστή αφετηρία για τη σωματιδιακή φυσική. Μόνο η ύπαρξη του κενού μπορεί να δικαιολογήσει την ασυνέχεια της ύλης, και κατά συνέπεια τη σωματιδιακή της φύση. Επιπλέον, το κενό επιτρέπει την κίνηση των μορίων. Ο Nussbaum στήριξε την εισαγωγή του σωματιδιακού μοντέλου στη μελέτη του αέρα και των άλλων αερίων και υποστήριξε ότι η μελέτη του σωματιδιακού μοντέλου είναι μια μακροχρόνια διαδικασία εννοιολογικής αλλαγής, στην οποία οι λανθασμένες ιδέες των μαθητών μπορούν να παίξουν θετικό ρόλο.

Αν και επιδοκιμάζω 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 αρχίσουμε με τα στερεά και τα υγρά, τα οποία είναι συγκεκριμένα και απτά, και να αφήσουμε τα αέρια στο τέλος (σε συμφωνία με τον Millar). Έμφαση πρέπει να δοθεί στη συζήτηση των προαπαιτούμενων εννοιών και τεχνικών της φυσικής που κρίνονται απαραίτητες για την πραγματοποίηση του παραπάνω στόχου. Σχετικό με αυτό το θέμα είναι το πειραματικό βιβλίο για τη χημεία της δευτέρας γυμνασίου των Κολιούλη και Τσαπαρλή (2007), στο οποίο οι σωματιδιακές έννοιες αναβάλλονται μέχρι το τελευταίο τρίτο του βιβλίου και αναπτύσσονται σε επτά μαθήματα, ήτοι: η έννοια του μορίου στα στερεά και στα υγρά, αεικίνητα μόρια, η έννοια του μορίου στα αέρια, οι πρώτοι δύο νόμοι της χημείας [διατήρηση της ύλης (Lavoisier) και των σταθερών αναλογιών (Proust)], η έννοια του ατόμου (ατομική θεωρία του Dalton), νόμος των πολλαπλών αναλογιών, πείραμα των Gay-Lussac, υπόθεση του Avogadro, χημικοί τύποι και η έννοια του mole, η έννοια της χημικής εξίσωσης.

Συζήτηση και προοπτικές για το μέλλον

Η σημασία των πρακτικών δραστηριοτήτων για τη χημεία

Ένα μεγάλο μέρος ερευνητικών εργασιών έχουν εξετάσει την αποτελεσματικότητα της εργαστηριακής εργασίας για τη διδακτική των φ.ε. και ειδικότερα για την επίτευξη γνωστικών, συναισθηματικών και πρακτικών στόχων (Hofstein & Mamlok-Naaman, 2007). Μια θλιβερή διαπίστωση είναι ότι η έρευνα έχει αποτύχει να παρουσιάσει απλοϊκές σχέσεις ανάμεσα στις εργαστηριακές εμπειρίες και τα μαθησιακά αποτελέσματα (Hofstein & Mamlok-Naaman, 2007).

Αναμένεται ότι στο μέλλον θα δοθεί περισσότερη έμφαση στην έρευνα και στις προσεγγίσεις που βασίζονται στο εργαστήριο μέσω διερώτησης, στο εργαστήριο με εργασίες τύπου project και στο εργαστήριο που βασίζεται στα συγκείμενα. Οι μορφές συνεργατικής εργαστηριακής διδασκαλίας πρέπει σίγουρα να εξερευνηθούν περαιτέρω και συστηματικά, λαμβάνοντας υπόψη τις συστάσεις που βασίζονται στην έρευνα. Τα πειράματα επιδείξεως, σχεδιασμένα και εκτελεσμένα αποτελεσματικά, θα είναι επίσης χρήσιμα. Άλλες μη συμβατικές μέθοδοι μπορούν να υιοθετηθούν αποτελεσματικά, όπως η χρήση εργαστηριακών κιτ για την εκτέλεση

¹ Η χρήση μιας ίνας υφάσματος (η «δομική μονάδα» ενός υφάσματος), όπως και ενός τούβλου (η «δομική μονάδα» ενός τοίχου) είναι ανάλογα της δομικής μονάδας της ύλης και έχει χρησιμοποιηθεί επίσης από τον Τσαπαρλή (Tsaparlis, 1989).



πειραμάτων στο σπίτι, για τη διδασκαλία της γενικής χημείας μέσω της εκπαίδευσης από απόσταση (Kennerohl, 2007).

Εργαστηριακές δραστηριότητες του συμβατικού/περιγραφικού τύπου θα συνεχίσουν να είναι απαραίτητες για την ανάπτυξη των βασικών πειραματικών δεξιοτήτων των μαθητών, παρά την αναποτελεσματικότητά τους στο να παρέχουν ένα ρεαλιστικό επιστημονικό περιβάλλον και να προωθούν τη χρήση γνωστικών ικανοτήτων ανώτερης τάξεως. Ακόμη και οι υποστηρικτές του συμβατικού τύπου εργαστηρίου και του εργαστηριακού εγχειριδίου/οδηγού δεν υποστηρίζουν ότι πάντα χρησιμοποιούνται ορθά, ούτε υποστηρίζουν ότι πρέπει να χρησιμοποιούνται αποκλειστικά (Ault, 2002, 2004). Εντούτοις, το κυριότερο πρόβλημα είναι ότι παρά το γεγονός ότι η έρευνα έχει δείξει την ανωτερότητα των εργαστηριακών δραστηριοτήτων τύπου διερώτησης σε σχέση με τις εργαστηριακές δραστηριότητες επαλήθευσης/επιβεβαίωσης της θεωρίας, οι εργαστηριακές δραστηριότητες που είναι γραμμένες σαν μαγειρική συνταγή επικρατούν ακόμη σε πολλά σχολεία μέσης εκπαίδευσης και στο πανεπιστήμιο.

Η συμβολή της τεχνολογίας στην πρακτική εργασία στη χημεία

Η χρήση της τεχνολογίας, και ειδικά των υπολογιστών, μπορεί να συμβάλει στην καλύτερη διδασκαλία και μάθηση. Γενικά αναμένεται ότι η χρήση των μοντέλων, προσομοιώσεων και τεχνικές οπτικοποίησης μπορούν να βοηθήσουν τους μαθητές να έρθουν σε αντίθεση και να ξεπεράσουν τις κοινές παρανοήσεις. Το *Journal of Chemical Education* (JCE) παρέχει μια μεγάλη ποικιλία εκπαιδευτικού υλικού με Η/Υ, συμπεριλαμβανομένων των υπολογισμών και των οπτικοποιήσεων μέσω του Διαδικτύου.

Η σημασία του συναισθηματικού τομέα

Οι εκπαιδευτικοί δίνουν συνήθως έμφαση στους γνωσιακούς στόχους της πρακτικής εργασίας. Ισάξιας σημασίας είναι εντούτοις και οι παράγοντες του συναισθηματικού τομέα.

Η αξιολόγηση και τα πρότυπα (τα στάνταρ) αξιολόγησης στην πρακτική εργασία στη χημεία

Ένα πολύ σημαντικό ζήτημα που δεν εξετάσαμε σε αυτό την εισήγηση είναι αυτό της αξιολόγησης της πρακτικής εργασίας. Σίγουρα υπάρχει η ανάγκη για την ουσιαστική αξιολόγηση των πρακτικών εμπειριών όλων των ειδών, επειδή αν οι μαθητές ξέρουν ότι θα αξιολογηθούν σε αυτές, θα δώσουν περισσότερη προσοχή. Ο Kempa (1986) έχει θεωρήσει ότι τα ακόλουθα χαρακτηριστικά πρέπει να ληφθούν υπόψη στα σχήματα αξιολόγησης των πρακτικών δυνατοτήτων: (1) αναγνώριση και διατύπωση ενός προβλήματος, (2) σχεδιασμός και προγραμματισμός των πειραματικών διαδικασιών, (3) στήσιμο και εκτέλεση της πειραματικής εργασίας (χειρισμός), (4) ικανότητες παρατήρησης και μέτρησης (συμπεριλαμβανομένης της καταγραφής των δεδομένων και των παρατηρήσεων), (5) ερμηνεία και αξιολόγηση των πειραματικών δεδομένων και παρατηρήσεων. Η διαμορφωτική αξιολόγηση είναι καταλληλότερη, ώστε να μπορούμε να θεωρήσουμε ότι η συνολική/τελική αξιολόγηση είναι περιττή.

Ως αποτέλεσμα της έρευνας της διδακτικής των φ.ε., μια νέα εποχή μεταρρύθμισης στην διδασκαλία των φ.ε. έχει αρχίσει με τον νέο αιώνα. Νέα πρότυπα (στάνταρ) έχουν καθοριστεί (National Research Council, 1996, 2000). Το πρότυπο του *National Science Education Standards* (National Research Council, 1996) και το πρόγραμμα 2061 της *American Association for the Advancement of Science* (1989, 1990) θεωρούν ότι η έρευνα γενικά και η έρευνα στο πλαίσιο της πρακτικής εργασίας στην διδακτική των φ.ε. είναι κεντρική στην επίτευξη του επιστημονικού αλφαριθμητισμού (Hofstein & Ramlok-Naaman, 2007).



Οι πρακτικές δραστηριότητες πρέπει να ενσωματώσουν όσο καλύτερα γίνεται τις επιστημονικές διαδικασίες που έχουν καθοριστεί από την *American Association for the Advancement of Science*: παρατήρηση, ταξινόμηση, αριθμητικές σχέσεις, μετρήσεις, σχέσεις χρόνου-χώρου, επικοινωνία (προφορική, εικονογραφική, γραπτή), παραγωγή συμπερασμάτων, πρόβλεψη ("τι θα συνέβαινε εάν ..."), διατύπωση υποθέσεων, παραγωγή λειτουργικών ορισμών, ταυτοποίηση και έλεγχος μεταβλητών, το πείραμα και η εξήγηση των πειραματικών δεδομένων.

Βελτίωση της έρευνας στις πρακτικές δραστηριότητες

Τέλος, οι Hofstein και Mamlok-Naaman (2007) και οι Lunetta, Hofstein και Clough (2007) έχουν διατυπώσει διάφορες συστάσεις για τους μελλοντικούς ερευνητές των πρακτικών δραστηριοτήτων που μπορούν να αναπτύξουν την ποιότητα της έρευνας και τη δυνατότητα εφαρμογής των αποτελεσμάτων της. Οι προς δημοσίευση ερευνητικές εργασίες πρέπει να παρέχουν λεπτομερή περιγραφή της χρησιμοποιηθείσας μεθόδου, των μαθητών που συμμετέχουν (του αριθμού και του ρόλου τους), των καθηγητών, των τάξεων και των περιεχομένων του προγράμματος σπουδών. Πρέπει να αναφέρουν αν είναι μακροχρόνια ή βραχυχρόνια έρευνα, το χρονικό διάστημα που χρειάστηκαν οι μαθητές για τις εργαστηριακές δραστηριότητες και πώς αυτές ενσωματώθηκαν ή διαχωρίστηκαν από άλλη εργασία στο μάθημα των φ.ε. Οι ακόλουθες ερωτήσεις πρέπει επίσης να εξεταστούν: Τι αντιλαμβάνονται οι μαθητές ότι πρέπει να φέρουν εις πέρας με την εργαστηριακή δραστηριότητα; Πώς αντιλαμβάνονται ότι η εργαστηριακή επίδοσή τους θα αξιολογηθεί; Πόσο σημαντικές αντιλαμβάνονται οι μαθητές και οι καθηγητές ότι είναι οι εργαστηριακές δραστηριότητες; Άλλες μεταβλητές περιλαμβάνουν: στόχους μάθησης, φύση των οδηγιών που παρέχονται από τον καθηγητή και τον εργαστηριακό οδηγό, υλικά και εξοπλισμό διαθέσιμα για χρήση στην εργαστηριακή μελέτη, τη φύση των δραστηριοτήτων και τις αλληλεπιδράσεις μαθητή-μαθητή και καθηγητή-μαθητών κατά τη διάρκεια της εργαστηριακής εργασίας, ζητήματα αξιολόγησης, εργαστηριακές εκθέσεις μαθητών, προετοιμασία, στάσεις, γνώση και συμπεριφορά των καθηγητών.

Βιβλιογραφία

Γεωργιάδου, Α. & Τσαπαρλής, Γ. (1998). Διδασκαλία γυμνασιακής χημείας με μεθόδους που βασίζονται α) σε ψυχολογικές θεωρίες; Και β) στο μακροσκοπικό, το συμβολικό και το μικροσκοπικό επίπεδο της χημείας. Πρακτικά 1ου Πανελληνίου Συνεδρίου "Διδακτική των Φυσικών Επιστημών και Εφαρμογή των Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση", Θεσσαλονίκη, Εκδόσεις Χριστοδουλίδη, σσ. 65-70.

Κολιούλης Δ. & Τσαπαρλής Γ. (2007). Χημεία β' γυμνασίου, με έμφαση στη μακροσκοπική-εποικοδομητική προσέγγιση και στην νοηματική εισαγωγή των εννοιών του μορίου και του ατόμου – Διδακτικό βιβλίο και προκαταρκτική αξιολόγησή του από εκπαιδευτικούς. Διδακτική Φυσικών Επιστημών και Νέες Τεχνολογίες στην Εκπαίδευση, 5 (B) 680-689. [Πρακτικά 5ου Συνεδρίου: <http://www.kodipheet.gr>]

Ειρήνη Λιάπη, Γεώργιος Τσαπαρλής. Μαθητές γυμνασίου εκτελούν οι ίδιοι δημιουργικά πειράματα στα οξέα-βάσεις που συνδέονται με την καθημερινή ζωή – Μια πρώτη αξιολόγηση και σύγκριση με συμβατικά πειράματα Διδακτική Φυσικών Επιστημών και Νέες Τεχνολογίες στην Εκπαίδευση, 5 (B) 725-734. [Πρακτικά 5ου Συνεδρίου: <http://www.kodipheet.gr>]



American Association for the Advancement of Science (1989 & 1990). Project 2061: Science for all Americans. Washington, D.C.

Ault, A. (2002). What's wrong with cookbooks. *Journal of Chemical Education*, 79, 1177.

Ault, A. (2004). What's wrong with cookbooks (author's reply). *Journal of Chemical Education*, 81, 1569.

Bennett, J., & Lubben, F. (2006). Context-based chemistry: The Salters approach. *International Journal of Science Education*, 28, 999-1015.

Bulte, A. M. W., Westbroek, H. B., de Jong, O., & Pilot, A. (2006). A research approach to designing chemistry education using authentic practices as contexts. *International Journal of Science Education*, 28, 1063-1086.

de Vos, W., & Verdonk, A.H. (1985). A new road to reactions, Part I. *Journal of Chemical Education*, 62, 238-240.

Domin, D. S. (1999a). A content analysis of general chemistry laboratory manuals for evidence of higher-order cognitive tasks. *Journal of Chemical Education*, 76, 109-112.

Domin, D. S. (1999b). A review of laboratory instruction styles. *Journal of Chemical Education*, 76, 543-547.

Georgiadou, A., & Tsaparlis, 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, 217-216.

Gilbert, J. K. (2006). On the nature of "context" in chemical education. *International Journal of Science Education*, 28, 957-976.

Herron, J. D. (1978). Piaget in the classroom. *Journal of Chemical Education*, 55, 165– 170.

Hills, G., Holman, J., Lazonby, J., Raffan, J., & Waddington, D. (1989). *Introducing chemistry: The Salters' approach*. London: Heinemann Educational Books.

Hodson, D. (1986). The nature of scientific observation. *School Science Review*, 68 (242) 17-28.

Hodson, D. (1990). A critical look at practical work in school science. *School Science Review*, 70 (256), 33-40.

Hofstein, A. (2004). The laboratory in chemistry education: Thirty years of experience with developments, implementation and evaluation. *Chemistry Education Research and Practice*, 5, 247-264.

Hofstein, A., & Kempa, R. (1985). Motivational strategies in science education: Attempt at an analysis. *European Journal of Science Education*, 7, 221-229.



Hofstein, A., & Kesner, M. (2006). Industrial chemistry and school chemistry: Making chemistry studies more relevant. *International Journal of Science Education*, 28, 1017-1039.

Hofstein, A., & Lunetta, V. N. (1982). The role of the laboratory in science teaching: Neglected aspects of research. *Review of Educational Research*, 52, 201-217.

Hofstein, A., & Lunetta, V. (2004). The laboratory in science education: Foundations for the twenty-first century. *Science Education*, 88, 25-54.

Hofstein, A., & Mamlok-Naaman, R. (2007). The laboratory in science education: The state of the art. *Chemistry Education Research and Practice*, 8, 105-107.

Hofstein, A., Navon, O., Kipnis, M., & Mamlok-Naaman, R. (2005). Developing students' ability to ask more and better questions resulting from inquiry-type chemistry laboratories. *Journal of Research in Science Teaching*, 42, 791-806.

Johnstone, A. H. (1991). Thinking about thinking. *International Newsletter on Chemical Education*, No. 6, 7 – 11.

Johnstone, A. H. (1993). Introduction, in C. Wood & R. Sleet (Eds.), *Creative problem solving in chemistry* (pp. iv-vi). London: The Royal Society of Chemistry.

Johnstone, A. H. (2000). Teaching of chemistry – Logical or psychological? *Chemistry Education Research and Practice*, 1, 9 – 15.

Johnstone, A. H. (2007). Science education: We know the answers, let's look at the problems. *Proceedings of the 5th Greek Conference "Science education and new technologies in education"*, Vol. 1, pp. 1-11. [http://www.kodipheet.gr/fifth_conf/pdf_synedriou/teyxos_A/1_kentrikes_omilies/1_KO-4-Johnstone.pdf]

Johnstone, A. H., & Al-Shuaili, A. (2001). Learning in the laboratory: Some thoughts from the literature. *University Chemistry Education*, 5, 42-51.

Kampourakis, C., & Tsaparlis, G. (2003). A study of the effect of a practical activity on problem solving in chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, 4, 319-333.

Kempa R. (1986). *Assessment in science* (Ch. 5). Cambridge: Cambridge University Press.

Kennepohl, D. (2007). Using home-laboratory kits to teach general chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, 8, 337-346.

Lunetta, V. N. (1998). The school science laboratory: Historical perspectives and centers for contemporary teaching. In P. Fensham (Ed.). *Developments and dilemmas in science education* (pp. 169-188). London, Falmer Press.



Lunetta V. N., Hofstein, A., & Clough, M (2007). Learning and teaching in the school science laboratory: An analysis of research, theory, and practice. In N. Lederman., & S. Abel (Eds.), Handbook of research on science education (pp 393-441). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.

Meheut, M., & Chomat, A. (1990). The bounds of children's atomism, an attempt to make children build up a particulate model of matter. In P. L. Lijnse, P. Licht, W. DeVos, & A. J. Warlo (Eds.), Relating macroscopic phenomena to microscopic particles (pp. 266-282). Utrecht: CD-□ Press.

Millar, R. (1990). Making sense: What use are particle ideas to children. In P. L. Lijnse, P. Licht, W. DeVos, & A. J. Warlo (Eds.), Relating macroscopic phenomena to microscopic particles (pp. 283-293). Utrecht: CD-□ Press.

National Research Council (1996). National science education standards. Washington DC: National Academy Press.

National Research Council (2000). Inquiry and the national science education standards. Washington DC: National Academy Press.

Nelson, P. (2002). Teaching chemistry progressively: From substances, to atoms and molecules, to electrons and nuclei. Chemistry Education Research and Practice, 3, 215-228.

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 (Ch. 2). London: Academic Press.

Parchmann, I., Gräsel, C., Baer, A., Nentwig, P., Demuth, R., Ralle, B., & the Chik Project Group. (2006). "Chemie in Kontext". A symbiotic implementation of a context-based teaching and learning approach. International Journal of Science Education, 28, 1041-1062.

Stamovlasis, D., Dimos, A., & Tsapalis G. (2006). A study of group interactions in learning lower secondary physics. Journal of Research in Science Teaching, 43, 556-576.

Stamovlasis, D., & Tsapalis G. (2001). Application of complexity theory to an information processing model in science education, Nonlinear Dynamics in Psychology and Life Sciences, 5, 267-286.

Toomet, R, DePierro, E., & 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, 129-144.

Tsapalis, 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).

Tsapalis, G. (1997). Atomic and molecular structure in chemical education - A critical analysis from various perspectives of science education. Journal of Chemical Education, 74, 922-925.



Tsaparlis, G. (1998) Dimensional analysis and predictive models in problem solving, *International Journal of Science Education*, 20, 335-350.

Tsaparlis, G. (2008). Learning at the macro level: the role of practical work. In J.K. Gilbert and D.F. Treagust (Eds.), *Multiple representations in chemical education*. Springer, Chapter 5,

Tsaparlis, G., & Angelopoulos, V. (2000) A model of problem solving: its operation, validity and usefulness in the case of organic-synthesis problems. *Science Education*, 84, 131-153.

Tsaparlis, G., & Gorezi, M. (2005). Modification of a conventional expository physical chemistry laboratory to accommodate an inquiry/project-based component: Method and students' evaluation. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 5, 111-131.

Tsaparlis, G., & Gorezi, M. (2007). Addition of a project-based component to a conventional expository physical chemistry laboratory. *Journal of Chemical Education*, 84, 668-670.

Tsaparlis, G., & Zoller, U. (2003). Evaluation of higher vs. lower-order cognitive skills-type examinations in chemistry: Implications for university in-class assessment and examinations *University Chemistry Education*, 7 (2) 50-57.

Vygotsky, L. (1962). *Thought and language*. Cambridge, MA: MIT Press.

Zoller U. (1993). Are lecture and learning compatible? Maybe for LOCS unlikely for HOCS. *Journal of Chemical Education*, 70, 195-198.

Zoller, U., & Tsaparlis, G. (1997). Higher and lower-order cognitive skills: The case of chemistry. *Research in Science Education*, 27, 117-130.