

Επίπεδα εξηγήσεων και επίπεδα μοντέλων στις βασικές έννοιες της κβαντικής χημείας

Στεφανή Χ., Τσαπαρλής Γ.

Γενικό Πειραματικό Λύκειο Αναβρύτων, stefanih@otenet.gr
Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, Τμήμα Χημείας gtseper@cc.uoi.gr

Διερευνήσαμε τις γνωστικές δομές φοιτητών σε σχέση με βασικές έννοιες κβαντικής χημείας, δηλαδή τα ατομικά τροχιακά, η εξίσωση Schrödinger, τα μοριακά τροχιακά, ο υβριδισμός και ο χημικός δεσμός. Η θεωρία του Ausubel περί νοηματικής μάθησης αποτέλεσε το θεωρητικό πλαίσιο και η φαινομενογραφία τη μέθοδο της ανάλυσης. Τα δεδομένα προέκυψαν από ημιδομημένες συνεντεύξεις δεκαεννέα δευτεροετών φοιτητών του τμήματος χημείας. Διαπιστώσαμε τέσσερα επίπεδα εξηγήσεων στις απαντήσεις των φοιτητών, ενώ από τα επιστημονικά επιχειρήματα που χρησιμοποιούσαν αναδείχθηκαν τρία κύρια επίπεδα των μοντέλων. Από τον συνδυασμό των επιπέδων των εξηγήσεων και των επιπέδων των μοντέλων προέκυψαν τέσσερις κατηγορίες. Δύο από τις κατηγορίες αποτελούσαν τις δύο διαβαθμίσεις της διακύμανσης (shades of variation) στο άκρο της μηχανικής μάθησης του συνεχούς, ενώ οι άλλες δύο κατηγορίες βρίσκονται στο άκρο της νοηματικής ή πλήρους νοήματος μάθησης.

Εισαγωγή

Σύμφωνα με τους Driver et al. (1996, σ. 44): «Σκοπός της επιστήμης είναι να διατυπώσει ερμηνείες για τα φαινόμενα του φυσικού κόσμου». Για την ερμηνεία των φαινομένων η επιστήμη χρησιμοποιεί ευρεία ποικιλία μοντέλων και θεωριών. Οι εκπαιδευτικοί κατά τη διδακτική διαδικασία, εκτός των άλλων, καλούνται αφενός να προσφέρουν στους μαθητές εξηγήσεις που να έχουν νόημα για αυτούς, δηλαδή να είναι κατανοητές και προσαρμοσμένες στις δυνατότητές τους (Mortimer & Scott, 2003, Ogborn et al., 1996, Scott, Mortimer, & Aguiar, 2006) και αφετέρου να τους εξοικειώσουν με τα μοντέλα και τις θεωρίες της επιστήμης.

Η σχέση μεταξύ μοντέλων και θεωριών είναι ένα θέμα, για το οποίο δεν έχει διατυπωθεί μια άποψη κοινής αποδοχής στη βιβλιογραφία, είτε από την άποψη της γνωστικής ψυχολογίας, είτε από την άποψη της επιστημολογίας. Τα μοντέλα θεωρούνται είτε συστατικά στοιχεία των θεωριών (Kuhn 1970), είτε ως αφετηρία για τη διατύπωση θεωριών (Nersessian 1992). Σύμφωνα με τον Halloun (2007, σ. 665), «ένα επιστημονικό μοντέλο αποτελεί μια αναπαράσταση ενός συγκεκριμένου σχεδίου (pattern) του φυσικού κόσμου», ενώ «μια επιστημονική θεωρία είναι ένα εννοιολογικό σύστημα που αποτελείται από (α) ένα σύνολο μοντέλων και (β) ένα σύνολο κανόνων και θεωρητικών προτάσεων (αξιώματα, νόμοι κ.ά.), που είναι σχετικοί με τη συγκεκριμένη θεωρία και κατευθύνουν την οικοδόμηση, την ανάπτυξη και την αλληλοσυσχέτιση των μοντέλων, καθώς και τη συσχέτιση των μοντέλων με συγκεκριμένες δομές στον πραγματικό κόσμο (Halloun, 2007, σ. 664-665). Ένα επιστημονικό μοντέλο είναι για τη θεωρία ό,τι είναι για την ύλη τα στοιχειώδη σωματίδια. Κάθε στοιχειώδες σωματίδιο είναι βασικό για τη δομή της ύλης, αλλά η σημασία του δε μπορεί να γίνει αντιληπτή αν θεωρηθεί ανεξάρτητα από την αλληλεπίδρασή του με τα σωματίδια μέσα στο άτομο. Είναι το άτομο και όχι τα στοιχειώδη σωματίδια που μας δίνουν μια πλήρη εικόνα για την ύλη και είναι το άτομο που αναδεικνύει καλύτερα το ρόλο των στοιχειωδών σωματιδίων στην ύλη».



Ο Matthews (2007) θεωρεί ότι, προκειμένου να κατανοήσουμε το ρόλο των μοντέλων και των θεωριών στην επιστήμη, είναι απαραίτητο να κάνουμε ξεκάθαρη αντιδιαστολή ανάμεσα στα ‘πραγματικά αντικείμενα’ (real objects) και στα ‘θεωρητικά αντικείμενα’ (theoretical objects). Προκειμένου δε να αναπαραστήσει την μετάβαση από τα πραγματικά στα θεωρητικά αντικείμενα, ο Matthews χρησιμοποιεί τέσσερα επίπεδα. Στα μοντέλα του επιπέδου 4 ανήκουν τα γεγονότα και οι διαδικασίες στον πραγματικό κόσμο (τα πραγματικά αντικείμενα της επιστήμης). Στο επίπεδο 3 περιλαμβάνονται οι παρατηρήσεις και μετρήσεις που γίνονται στο πλαίσιο των διακριτών γεγονότων του πραγματικού κόσμου (τα δεδομένα). Το επίπεδο 2 αποτελείται από φαινόμενα που μπορούν να αναπαρασταθούν με μοντέλα (τα θεωρητικά αντικείμενα) και τέλος το επίπεδο 1 αποτελείται από τους νόμους της επιστήμης και τις υψηλού επιπέδου θεωρίες.

Οι θεωρίες αλλά και τα μοντέλα συγκροτούνται και συνδιαλέγονται μέσω των εννοιών. Μέσω των εννοιών εκφράζεται η κατανόηση ιδεών και φαινομένων σε συγκεκριμένο πεδίο (Franco κ.ά., 1999) αλλά το νόημα των εννοιών δεν είναι το ίδιο σε όλα τα ερμηνευτικά συστήματα. Οι έννοιες θεωρούνται ως ‘τμήματα γνώσης’ (‘pieces of knowledge’) που αντιστοιχούν σε τοπικές αναπαραστάσεις συγκεκριμένων γεγονότων και συνιστούν στατικές περιγραφές των συστημάτων. Τα νοητικά μοντέλα από την άλλη μεριά είναι γενικά, αποτελούνται από αλληλοσυνδεδεμένα στοιχεία και αναφέρονται σε δυναμικές καταστάσεις (DiSessa, 1988). Ο Halloun (2007) τοποθετεί τα μοντέλα μεταξύ των εννοιών και των επιστημονικών θεωριών και διατυπώνει την άποψη ότι η οικοδόμηση μιας επιστημονικής θεωρίας με επίκεντρο τα μοντέλα διασφαλίζει στη θεωρία συνεκτικότητα και συνέπεια από επιστημολογική άποψη και διευκολύνει την ανάπτυξη της επιστημονικής γνώσης από γνωστική άποψη.

Ένα βασικό θέμα που αφορά τη διδακτική της χημείας είναι η ποικιλία των ερμηνειών που δίνουν οι μαθητές/φοιτητές στην έννοια του μοντέλου. Οι Grosslight et al. (1991) σε έρευνα που αφορούσε μαθητές της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης και εξειδικευμένους επιστήμονες, κατηγοριοποίησαν σε τρία επίπεδα τις επιστημολογικές απόψεις, που κατέγραψαν ως προς την έννοια του μοντέλου. Στο επίπεδο 1 τα μοντέλα θεωρούνται αντίγραφα των πραγματικών οντοτήτων, στο επίπεδο 2 τα μοντέλα εξυπηρετούν συγκεκριμένο σκοπό, αλλά η έμφαση βρίσκεται και πάλι στην πραγματικότητα και στο επίπεδο 3 τα μοντέλα θεωρούνται διανοητικές κατασκευές που εξυπηρετούν συγκεκριμένους σκοπούς, όπως είναι για παράδειγμα ο έλεγχος των ιδεών. Σύμφωνα με την έρευνα αυτή, οι απόψεις των μαθητών ανήκαν στα επίπεδα 1 και 2, ενώ των ειδικών στο επίπεδο 3. Ερευνητικά δεδομένα αποδεικνύουν γενικότερα ότι οι μαθητές όλων των επιπέδων και οι φοιτητές προτιμούν τα συγκεκριμένα έναντι των αφηρημένων μοντέλων, όπως για παράδειγμα τα μοντέλα των συμπαγών σφαιρών για τα άτομα και τα μόρια (Harrison & Treagust, 1996), το μοντέλο του Bohr (Fishler & Lichtfeldt, 1992; Nicoll, 2001; Petri & Niedderer, 1998), τον κανόνα της οκτάδας (Coll & Taylor, 2002) και απλά μοντέλα για τον χημικό δεσμό (Coll & Treagust, 2001). Οι έρευνες αυτές έχουν επίσης δείξει ότι, αν και οι μαθητές και φοιτητές, καθώς μετακινούνται στα επίπεδα της εκπαίδευσης, διδάσκονται αφηρημένα μοντέλα ανώτερου επιπέδου και μεγαλύτερης εξηγητικής ισχύος, όπως το κβαντομηχανικό μοντέλο ή τα μοριακά τροχιακά, εξακολουθούν να καταφεύγουν συχνά σε αυτά τα πρωταρχικά μοντέλα τα οποία φαίνεται να είναι πολύ σταθερά.

Οι εκπαιδευτικοί έχουν να αντιμετωπίσουν κατά τη διδασκαλία το γεγονός ότι τα *μοντέλα* παίζουν πολύ σπουδαίο ρόλο στη διδακτική των φυσικών επιστημών (Gabel, 1998; Gilbert & Boulter, 1998a, 1998b; Justi & Gilbert, 2003), την ίδια στιγμή που μπορεί να είναι διαφορετικά τόσο στην επιστήμη όσο και στην καθημερινή ζωή (Johnson-Laird, 1983). Σύμφωνα με τους Gilbert, Boulter, & Elmer (2000), τα μοντέλα μπορούν να διακριθούν αφενός σε υλικά ή φυσικά ή συγκεκριμένα και αφετέρου σε αφηρημένα ή εννοιολογικά ή συμβολικά. Στα αφηρημένα ή

συμβολικά ανήκουν και οι μαθηματικές εξισώσεις και τύποι. Τα νοητικά μοντέλα (mental models) είναι δομές που ενσωματώνουν στην ήδη υπάρχουσα γνώση τη νέα, με τρόπο ώστε αυτή να αποκτήσει νόημα (Johnson-Laird, 1983). Η νέα γνώση εγκαθίσταται μέσα στην προϋπάρχουσα, με τρόπο ώστε να οικοδομούνται νοήματα προσωπικού χαρακτήρα. Τα νέα μοντέλα εξαιτίας τού ότι εμπεριέχουν στοιχεία από όλα τα προηγούμενα, χαρακτηρίζονται ως 'υβριδικά μοντέλα' (hybrid models) (Vosniadou & Brewer, 1992). Θεωρείται ότι πολλές φορές σκοπός των εκπαιδευτικών είναι οι μαθητές να αναπτύξουν κάποιο επίπεδο εξειδίκευσης, ώστε με την εφαρμογή της γνώσης που αποκτούν, να παράγουν *εξηγήσεις* και ιδιαίτερα να «(ανα)παράγουν συμβατικές εξηγήσεις της 'ορθόδοξης' επιστήμης ή να οικοδομούν εξηγήσεις συμβατές με το θεωρητικό σώμα της γνώσης που θεωρείται ως η σύγχρονη 'ορθόδοξη επιστήμη'» (Taber & Watts, 2000, σ. 332). Οι *εξηγήσεις* που χρησιμοποιούμε στο πλαίσιο αυτό διακρίνονται σε *πραγματικές* ή *αληθείς εξηγήσεις* και *ψευδοεξηγήσεις*, με τις αληθείς εξηγήσεις να διακρίνονται σε *επιστημονικές* και σε *εναλλακτικές εξηγήσεις* (Taber & Watts, 2000). Η γνώση και η κατανόηση της χημείας αναφέρονται σε μεγάλο βαθμό στο υπομικροσκοπικό επίπεδο. Σε αυτό το επίπεδο, η γνώση δεν οικοδομείται πάντοτε με επιστημονικά σωστό τρόπο, ώστε να οδηγεί σε εννοιολογική ή προτασιακή γνώση που είναι διαφορετική ή μη απολύτως συμβατή με την επιστημονικά αποδεκτή (Nicoll, Francisco, & Nakhleh, 2001). Για να περιγράψουμε αυτό το είδος της γνώσης, χρησιμοποιούμε τους όρους *εναλλακτικές ιδέες* ή *παρανοήσεις* (Stefani & Tsiipis, 2002, Tsaparlis, & Paparhotos (2002). Η κβαντομηχανική έχει φέρει έναν καινούριο *μαθηματικό και πιθανοκρατικό* τρόπο σκέψης, όσον αφορά το φυσικό κόσμο σε υπομικροσκοπικό επίπεδο. Έχει διατυπωθεί η άποψη ότι οι διανοητικές ικανότητες που απαιτούνται για μια επαρκή κατανόηση των εννοιών της κβαντομηχανικής και των πιθανοκρατικών θεμάτων ξεπερνούν την απαιτούμενη τυπική συλλογιστική κατά Piaget (Castro & Fernandez, 1987). Αυτή η *μετατυπική συλλογιστική* (post-formal operations) περιλαμβάνει ό,τι οι Birkhoff and von Neumann (1936) περιγράφουν ως *κβαντική λογική*.

Μεθοδολογία

Στο πλαίσιο ευρύτερης έρευνας (Στεφανή, 2007) που αφορούσε το πώς οικοδομούν οι φοιτητές τις βασικές έννοιες της κβαντικής χημείας, διερευνήθηκαν και οι εξηγήσεις καθώς και οι διαφορετικές εκφάνσεις διαχείρισης των μοντέλων στις οποίες προέβαιναν αυτοί. Τα δεδομένα προέκυψαν από ημιδομημένες συνεντεύξεις δεκαεννέα δευτεροετών φοιτητών του τμήματος χημείας του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων, με καλές επιδόσεις, τις οποίες συνέλεξε ο ένας εκ των ερευνητών (ΓΤ). Η θεωρία του Ausubel περί νοηματικής μάθησης αποτέλεσε το θεωρητικό πλαίσιο και η φαινομενογραφία τη μέθοδο της ανάλυσης για την παρούσα έρευνα. Κατά τη διαδικασία της ημιδομημένης συνέντευξης οι φοιτητές κλήθηκαν να χρησιμοποιήσουν τη γνώση τους ώστε να προβούν σε επιτυχείς εξηγήσεις επιστημονικών θεμάτων που περιελάμβαναν τις βασικές έννοιες της κβαντικής χημείας. Οι κατηγορίες που προέκυψαν τοποθετήθηκαν στο συνεχές της μάθησης σύμφωνα με τη θεωρία του Ausubel.

Ο Ausubel (1968, 2000, Ausubel, Novak, & Hanesian, 1978) θεωρεί ότι μέσω της νοηματικής μάθησης, το άτομο που μαθαίνει είναι σε θέση να χρησιμοποιήσει με επιτυχία τη γνώση του σε περιβάλλοντα διαφορετικά από αυτό στο οποίο την απέκτησε, σε αντίθεση με τη μηχανική ή μηχανιστική μάθηση, η οποία είναι επιφανειακή και δίνει τη δυνατότητα μόνο για απλή αναπαραγωγή έτοιμης γνώσης. Η μεθοδολογία της φαινομενογραφίας εξετάζει τις απαντήσεις - οι οποίες λαμβάνονται κατά προτίμηση μέσω ημιδομημένων συνεντεύξεων - στο σύνολό τους (Marton, 1981, Marton & Booth, 1997). Το υλικό των συνεντεύξεων εξετάζεται ως όλον και προκύπτουν οι κατηγορίες περιγραφής του φαινομένου που εξετάζεται. Οι κατηγορίες αυτές συνιστούν όλο το φάσμα της διακύμανσης του φαινομένου, όπως αυτό αναδεικνύεται από τα λόγια των υποκειμένων της έρευνας.



Οι έννοιες στις οποίες βασίστηκε η έρευνα είναι οι παρακάτω: ατομικά τροχιακά, μοριακά τροχιακά, η εξίσωση Schrödinger, ο υβριδισμός και ο χημικός δεσμός. Κατά την ημιδομημένη συνέντευξη οι ερωτήσεις εξελίσσονταν βαθμιαία από τις πιο απλές προς εκείνες που απαιτούσαν προσωπικές εξηγήσεις. Παράλληλα η πορεία των επιμέρους τμημάτων της συνέντευξης διαμορφώνονταν ανάλογα με τις προηγούμενες απαντήσεις των φοιτητών. [Περισσότερα στοιχεία για τη μεθοδολογία που ακολουθήθηκε και τα αποτελέσματα αναφέρονται αλλού: Στεφανή & Τσαπαρλής, 2004, Στεφανή, 2007, Stefani & Tsaparlis, 2009]

Αποτελέσματα

Επίπεδα εξηγήσεων

Όλες οι απαντήσεις των φοιτητών κωδικοποιήθηκαν με έναν από τους τέσσερις κωδικούς α, β, γ, δ, ανάλογα με το επίπεδο της εξήγησης, το οποίο αναδεικνύονταν.

Κατηγορία (α): Περιλαμβάνει τις απαντήσεις που συνιστούν *αναπαραγωγή λέξεων, όρων και μνημονικών κανόνων*. Για παράδειγμα, ο χαρακτηρισμός των ατομικών τροχιακών ως s , p , d ή f , η ηλεκτρονιακή δόμηση των ατόμων και η χρήση των σχετικών μνημονικών κανόνων, κωδικοποιούνται ως (α). Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το παρακάτω απόσπασμα, που έχει κωδικοποιηθεί ως επιπέδου εξήγησης (α) (Ε: Ερευνητής, Φ: Φοιτητής):

Ε: Έχεις υπ' όψιν σου διάφορα ατομικά τροχιακά;

Φ: τρεις κατηγορίες δεν είναι ;

Ε: Για γράψε τις τρεις κατηγορίες .

Φ: Είναι τα τροχιακά τα s , τα p , τα d και τα f .

Ε: Άρα, τέσσερις.

Φ: Τέσσερις, ναι.

Ε: Ωραία , τα p τα διακρίνουμε περαιτέρω ;

Φ: Τα p είναι τριπλώς εκφυλισμένα, είναι τα p_x , τα p_y και τα p_z .

Ε: Αυτά τα x, y, z τι είναι ; Από πού προέρχονται αυτά ;

Φ: Αυτά είναι κατά μήκος του άξονα x , του άξονα y και του άξονα z σε τρισδιάστατο σύστημα .

Ε: Είπες ότι με κάποιους μαθηματικούς υπολογισμούς βρίσκουμε τα τροχιακά..... θα σου θυμίσω αν θέλεις ότι λύνουμε μια εξίσωση..... Ξέρεις ποια εξίσωση ;

Φ: Του Schrödinger.

Είναι φανερό εδώ ότι ο φοιτητής απαντάει πολύ σύντομα ή μονολεκτικά.

Κατηγορία (β): Περιλαμβάνει τις απαντήσεις που δείχνουν στοιχεία *κατά λέξη αναπαραγωγής ορισμών ή προτάσεων/εξηγήσεων που περιλαμβάνονται αυτούσια στα βιβλία*. Ο ορισμός των ατομικών τροχιακών και η απάντηση ότι μπορούμε να εφαρμόσουμε την εξίσωση Schrödinger σε όλα τα άτομα κάνοντας τις κατάλληλες προσεγγίσεις κωδικοποιείται ως (β).

Οι απαντήσεις και των δύο κατηγοριών (α) και (β) είναι απλές και δεν περιλαμβάνουν αιτιότητα. Η διαχωριστική γραμμή μεταξύ των δύο συνίσταται στο γεγονός ότι η κατηγορία (α) περιλαμβάνει μόνο λέξεις και όρους ενώ η κατηγορία (β) περιλαμβάνει ορισμούς και προτάσεις.

Τα παρακάτω αποσπάσματα έχουν κωδικοποιηθεί ως επιπέδου εξήγησης (β):

- Τα ατομικά τροχιακά προέρχονται από τη λύση της κυματοσυνάρτησης του Shrodinger και εκφράζουν την πιθανότητα να βρεθούν τα ηλεκτρόνια μια δεδομένη χρονική στιγμή σε «εκείνο» το σημείο.
- Τα μοριακά τροχιακά προέρχονται από τον συνδυασμό των ατομικών τροχιακών....

Και τα δύο αποσπάσματα εμπεριέχουν απλή αναπαραγωγή ορισμών από τα βιβλία και άρα αποτελούν εξηγήσεις χαμηλού επιπέδου, χωρίς προσωπική χροιά, ενώ δεν περιλαμβάνουν αιτιότητα.

Κατηγορία (γ): Περιλαμβάνει επίσης απαντήσεις που περιέχουν γνώση αναπαραγόμενη μέσα από τα βιβλία, αλλά διακρίνονται από αυτές της κατηγορίας (β), διότι είναι υψηλότερης εξηγητικής ισχύος και περιλαμβάνουν αιτιότητα. Εδώ ακριβώς έγκειται και η διαφορά μεταξύ των κατηγοριών (β) και (γ). Το παρακάτω απόσπασμα έχει κωδικοποιηθεί ως επιπέδου εξήγησης (γ):

- *Όταν σχηματίζονται οι δεσμοί για να είναι ίδιας ενέργειας, ισοδύναμοι..... τα τροχιακά s και p π.χ. έχουν διαφορετική ενέργεια..... και επειδή οι δεσμοί θα έπρεπε να είναι ισοδύναμοι αυτά λέμε ότι υβριδοποιούνται.*

Είναι φανερό ότι ο φοιτητής χρησιμοποιεί εδώ την ερμηνεία που περιλαμβάνει αιτιότητα, την οποία αναπαράγει από τα βιβλία προκειμένου να εξηγήσει τον υβριδισμό. Η απάντηση αυτή είναι υψηλότερου επιπέδου από μια απάντηση που θα περιλάμβανε ορισμό, όπως: «υβριδισμός είναι...» και θα κωδικοποιούνταν ως επιπέδου (β).

Κατηγορία (δ): Περιλαμβάνει τις απαντήσεις που περιέχουν αιτιότητα αλλά δεν αποτελούν απευθείας αναπαραγωγή τμημάτων από τα βιβλία. Εδώ οι φοιτητές, με προσωπικό τρόπο και μη χρησιμοποιώντας προτάσεις απευθείας από τα βιβλία, εκφράζουν με λογική συνοχή και αιτιότητα, εξηγήσεις υψηλού επιπέδου. Για παράδειγμα, η παρακάτω απάντηση αποτελεί εξήγηση που περιλαμβάνει αιτιότητα, δεν είναι απλή αναπαραγωγή και αναδεικνύει προσωπικού χαρακτήρα εξηγήσεις.

- *«Νομίζω ότι σε μια ένωση του βηρυλλίου θέλαμε να εξηγήσουμε κάποια πράγματα θεωρητικά, αλλά το πείραμα δεν ήταν συμβατό με τη θεωρία, και σκεφθήκαμε να αλλάξουμε κάποια πράγματα για να έχουμε ικανοποιητικά αποτελέσματα»*

Η διαχωριστική γραμμή ανάμεσα στις κατηγορίες (γ) και (δ) βρίσκεται στο γεγονός ότι η κατηγορία (δ) περιλαμβάνει προτάσεις που εκφράζουν προσωπικά νοήματα και δεν είναι κατά λέξη αναπαραγωγή προτάσεων από τα βιβλία.

Τα παρακάτω αποσπάσματα έχουν επίσης κωδικοποιηθεί ως επιπέδου εξήγησης (δ):

Φ: Ένα ηλεκτρόνιο ανήκει στο μόριο και όχι στο άτομο.... ανήκουν από κοινού.

Ε: Πώς βρίσκουμε τα μοριακά τροχιακά;

Φ: Με συμβολή δύο ή περισσότερων ατομικών τροχιακών.

Ε: Μπορούμε να λύσουμε την εξίσωση Schrödinger γι' αυτή την ένωση και να βρούμε απευθείας τα μοριακά τροχιακά;

Φ: Όχι, διότι αυτή η εξίσωση στηρίζεται στο γεγονός ότι υπάρχει ένας πυρήνας, οπότε εδώ θα ήταν πιο πολύπλοκο πρόβλημα.

Ε: Άρα πώς βρίσκουμε τα μοριακά τροχιακά;

Φ: Πάλι χρησιμοποιούμε τη θεωρία των ατομικών τροχιακών για να τα βρούμε...

Ε: Και τι κάνουμε δηλαδή;

Φ: Και γίνεται συμβολή δύο τροχιακών.

Ε: Συμβολή με την έννοια της οπτικής... κύματα;

Φ: Και με την οπτική έννοια και με την έννοια της ενέργειας.

Φ: Στο μόριο τα ατομικά τροχιακά ενώνονται με αποτ.....

Ε: Με ποια μέθοδο;

Φ: Γραμμικό συνδυασμό

Ε: Δηλαδή;

Φ: Σε επίπεδο συναρτήσεων.

Το επίπεδο των μοντέλων

Οι απαντήσεις ανέδειξαν τρεις κύριες κατηγορίες απόψεων σε σχέση με την έννοια του μοντέλου, οι οποίες κωδικοποιήθηκαν με τους αριθμούς 1, 2 και 3.



Επίπεδο (1): Οι φοιτητές θεωρούν τα μοντέλα ως αντίγραφα των πραγματικών οντοτήτων. Για παράδειγμα, η απάντηση «μπορούμε να δούμε τα ηλεκτρονιακά νέφη και μπορούμε να δούμε ... πιο σκούρες περιοχές» κωδικοποιείται ως επίπεδο 1. Το παρακάτω απόσπασμα έχει επίσης κωδικοποιηθεί ως επιπέδου μοντέλων (1):

Φ: Φαντάζομαι ότι θα υπήρχε κάποιο σφαιρικό νέφος το οποίο θα προερχόταν από τα 1s και ειδικότερα από το 2s που είναι και μεγαλύτερο.

Ε: Και τα 2p;

Φ: Και από τα 2p κάποιους λοβούς.

Ε: Σαν αυτά που σχεδίασες εκεί;

Φ: Ναι

Ε: Θα τα έβλεπες δηλαδή αυτά τα πράγματα;

Φ: Ναι

Είναι φανερό ότι ο φοιτητής πιστεύει ότι θα μπορούσε να αντιληφθεί με τις αισθήσεις του, δηλαδή να δει τα σχήματα που περιλαμβάνονται στα βιβλία. Προφανώς συγχέει τα σχήματα με τις μικροσκοπικές οντότητες.

Επίπεδο (2): Οι φοιτητές δεν υιοθετούν απευθείας αντιστοίχιση των μοντέλων με τις φυσικές οντότητες. Παρόλα αυτά αποδίδουν απευθείας μακροσκοπικές ιδιότητες σε ό,τι συμβαίνει στον υπομικροσκοπικό κόσμο. Υιοθετούν απόψεις για το ότι τα μοντέλα είναι χρήσιμες κατασκευές των επιστημόνων, αλλά δεν απεμπλέκονται πλήρως από την πραγματικότητα. Για παράδειγμα, η ακόλουθη απάντηση κωδικοποιείται ως επιπέδου 2:

- «Δε νομίζω ότι μπορούμε να δούμε τα ηλεκτρονιακά νέφη ... διότι προκύπτουν θεωρητικά. Υποθέτω ότι αν είχαμε το κατάλληλο εργαλείο θα μπορούσαμε να τα δούμε».

Αν και διατυπώνει την άποψη ότι οι αναπαραστάσεις που χρησιμοποιούμε προέκυψαν θεωρητικά, εν τούτοις στη συνέχεια διατυπώνει την άποψη ότι πιθανόν η αδυναμία μας να αντιληφθούμε με τις αισθήσεις μας τις οντότητες οφείλεται σε αδυναμία της τεχνολογίας που έχουμε αναπτύξει. Τα παρακάτω αποσπάσματα έχουν επίσης κωδικοποιηθεί ως επιπέδου μοντέλων (2):

Ε: Θα μπορούσε κανείς να δει μέσα, θα διέκρινε αυτά τα σχήματα, σφαίρες κ,λπ,;

Φ: Εγώ νομίζω αυτά τα παίρνουμε θεωρητικά.

Ε: Τα έχουν φτιάξει οι άνθρωποι δηλαδή;

Φ: Εκτός αν με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο.....

Ε: Υποθέτεις ότι θα μπορούσαμε να τα δούμε με κάποιο όργανο;

Φ: Επειδή ο χώρος έχει πολλές διαστάσεις παίρνουμε το s σαν μια σφαίρα και τα p αντίστοιχα ...

Ε: Άρα θα μπορούσαμε να δούμε τέτοιο σχήμα;

Φ: Θα μπορούσαμεπιθανώς με κατάλληλα όργανα.

Ε: θα έπρεπε να διακρίνω κάτι από τους λοβούς;

Φ: Όχι δε νομίζω.

Ε: Δηλαδή αυτά εδώ είναι δικά μας κατασκευάσματα, αφού δεν τα βλέπουμε και δεν υπάρχουν.

Φ: Το ότι δεν τα βλέπουμε δε σημαίνει ότι δεν υπάρχουν.

Ε: Περιμένω ότι θα μπορούσα να τα δω;

Φ: Με γυμνό μάτι δεν μπορώ να τα δω. Φαντάζομαι ότι υπάρχουν κάποιες άλλες τεχνικές με τα φάσματα.

Επίπεδο (3): Οι φοιτητές θεωρούν τα μοντέλα επινοήσεις και κατασκευές των επιστημόνων. Οι κατασκευές αυτές διαθέτουν τις ιδιότητες που είτε προβλέπονται είτε επαληθεύονται από το πείραμα. Για παράδειγμα η απάντηση «Αυτά τα [ατομικά τροχιακά] είναι μαθηματικές εξισώσεις ...δεν υπάρχουν στη φύση ...επομένως δε μπορούμε να τα δούμε τα χρησιμοποιούμε μόνο για να μελετήσουμε» έχει κωδικοποιηθεί ως επιπέδου 3.

Τα παρακάτω απόσπασματα έχουν κωδικοποιηθεί επίσης ως επιπέδου (3):

Φ: Θα ξέραμε από τις εξισώσεις... θα ξέραμε πού θα είναι περισσότερο πυκνό ή όχι [το ηλεκτρονικό νέφος], αλλά δεν ξέρω αν θα μπορούσαμε να το δούμε κι όλας.

Ε: Δηλαδή αυτά τα πράγματα θεωρείς ότι είναι δημιουργήματα του ανθρώπουαυτά τα τροχιακά ;

Φ: Είναι κάποια μοντέλα.

Ε: Μοντέλα.....τι σημαίνει μοντέλα για σένα ;

Φ: Κάποιο πράγμα το οποίο το βάζεις σαν σαν να το δέχεσαι και από κει και πέρα πάνω σε αυτό κτίζεις διάφορα άλλα πράγματα.

Φ: Μάλλον δεν μπορούμε να τα δούμε...δεν μπορούμε να τα ξεχωρίσουμε, αυτά είναι μαθηματικές εξισώσεις. Δεν υπάρχουν στην πραγματικότητα κάποιες καθορισμένες s και p , δηλαδή δεν φαίνονται... δεν θα μπορούσαμε να τα δούμε.

Ε: Επομένως ποιος ο ρόλος τους;

Φ: Απλώς τα χρησιμοποιούμε για να μελετούμε.

Εκτός από τις παραπάνω κατηγορίες προέκυψαν και οι μεταβατικές καταστάσεις (2)3 και 2(3). Εδώ περιλαμβάνονται οι προτάσεις που δεν αναδεικνύουν μια ξεκάθαρη θέση για την έννοια του μοντέλου που να μπορεί να θεωρηθεί επιπέδου 3. Παρόλο ότι φαίνεται ότι οι φοιτητές αυτοί ισορροπούν ανάμεσα στα δύο επίπεδα, φαίνεται ότι δείχνουν προτίμηση στην άποψη που μπορεί να θεωρηθεί επιπέδου 3 ή 2. Επειδή η διάκριση ανάμεσα στις μεταβατικές καταστάσεις (2)3 και 2(3) είναι πολύ λεπτή, οι καταστάσεις αυτές θεωρούνται ισοδύναμες.

Από τη σύνθεση των παραπάνω κατηγοριών προέκυψαν τέσσερις κατηγορίες περιγραφής Α, Β, Γ και Δ, οι οποίες αποτελούν όλο το φάσμα της γνώσης και κατανόησης που αναδεικνύεται από τις απαντήσεις των φοιτητών της έρευνάς μας. Το φάσμα αυτό περιλαμβάνει τις τέσσερις κατηγορίες που μπορούν να διαταχθούν στο συνεχές του Ausubel, από την ακραία μηχανιστική (rote learning) έως την ακραία νοηματική (meaningful learning) μάθηση. Οι κατηγορίες Α και Β βρίσκονται στην περιοχή της μηχανιστικής μάθησης και οι Γ και Δ στην περιοχή της νοηματικής μάθησης. Ξεκινώντας από την ακραία μηχανιστική, που αντιστοιχεί στην κατηγορία Α [επίπεδο εξηγήσεων $\alpha(\beta)$, $\beta(\gamma)$, β και επίπεδο μοντέλων 1], προχωρούμε στην κατηγορία Β [επίπεδο εξηγήσεων β ή $\beta(\gamma)$ και επίπεδο μοντέλων 2], από εκεί στην κατηγορία Γ [επίπεδο εξηγήσεων $\beta(\gamma)$, γ , $\gamma(\delta)$ και επίπεδο μοντέλων 2 ή 2(3)] και τέλος στην ακραία νοηματική, που αντιστοιχεί κατηγορία Δ [επίπεδο εξηγήσεων δ , $\gamma(\delta)$ και επίπεδο μοντέλων 3 ή 2(3)]. Οι δεκαεννέα φοιτητές κατανέμονται στις κατηγορίες ως εξής: τρεις στην κατηγορία Α, τρεις στην κατηγορία Β, πέντε στην κατηγορία Γ και οκτώ στην κατηγορία Δ.

Συμπεράσματα

Είναι φανερό από τα αποτελέσματα της έρευνας ότι γνώση πλήρους νοήματος, δηλαδή γνώση που να δίνει στους φοιτητές και στους μαθητές τη δυνατότητα για προσωπικές εξηγήσεις υψηλού επιπέδου είναι εκείνη που περιλαμβάνει απόψεις για τα μοντέλα συμβατές με τις επιστημονικά αποδεκτές. Η αποτύπωση των κατηγοριών υπό το πρίσμα του συνεχούς του Ausubel μάς δίνει μια πληρέστερη εικόνα των εκφάνσεων των διαφορετικών τρόπων που οικοδομούν τη γνώση των βασικών κβαντικών εννοιών οι φοιτητές, ώστε να μας δοθεί η δυνατότητα να αναπτύξουμε κατάλληλες στρατηγικές διδασκαλίας.

Στην επιστήμη χρησιμοποιούμε ένα ή περισσότερα (θεωρητικά) μοντέλα που συχνά βρίσκονται σε σύγκρουση μεταξύ τους. «Στην περίπτωση αυτή η ενέργεια που έχει καίρια σημασία για τη διδασκαλία είναι οι εκπαιδευτικοί να αξιολογήσουν ποια από αυτές τις εναλλακτικές προσφέρει την πιο πειστική εξήγηση των επιμέρους φαινομένων του φυσικού



κόσμου» (Driver, Newton, & Osborne, 2000, p. 296). Και αυτό διότι όταν τα μοντέλα βρίσκονται σε σύγκρουση μεταξύ τους, τότε οι μαθητές επιλέγουν αυτό που φαίνεται να είναι πιο συγκεκριμένο και γι' αυτό περισσότερο λογικό (Taber, 2002).

Από την ευρύτερη έρευνα, (Στεφανή 2007, Stefani & Tsaparlis 2009), μέρος των αποτελεσμάτων της οποίας παρατίθενται εδώ, έχει βρεθεί (Stefani 2006) ότι χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το ότι μαθητές και φοιτητές επιλέγουν το μοντέλο του Bohr έναντι του κβαντομηχανικού, γεγονός που έχει σημειωθεί ως μία από τις κύριες αιτίες για τη δυσκολία προσέγγισης της κβαντικής χημείας. Η απομάκρυνση των απλών και ευρέως διαδεδομένων μοντέλων από το γνωστικό σύστημα των μαθητών και φοιτητών είναι πολύ δύσκολη, αφενός επειδή είναι πολλαπλά κατοχυρωμένα στο μυαλό τους εξ αιτίας της εξηγητικής ισχύος τους, αλλά και επειδή εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται στη διδασκαλία. Από την παρούσα και άλλες έρευνες (Van Driel & Verlor, 1999) έχει βρεθεί ότι και στην τριτοβάθμια εκπαίδευση οι φοιτητές διδάσκονται ανώτερου επιπέδου μοντέλα, αλλά παρόλα αυτά συχνά καταφεύγουν σε προηγούμενα απλούστερα μοντέλα, διότι μπορούν να τα διαχειρισθούν πιο εύκολα. Η εννοιολογική αλλαγή μέσω διδακτικών πρακτικών προτείνεται ως αποτελεσματική για την αποφυγή των ντετερμινιστικών απόψεων των μαθητών και φοιτητών (Tsaparlis & Paparhosis, 2008). Προτείνεται επίσης η διδασκαλία της σύγχρονης επιστήμης μέσω διαθεματικών προσεγγίσεων (Στεφανή 2007), η αποτελεσματικότητα των οποίων είναι ανάγκη να επιβεβαιωθεί μέσω εμπειρικών δεδομένων.

Βιβλιογραφία

Στεφανή Χ. (2007). Βασικές Έννοιες Κβαντικής Χημείας: Παρανοήσεις, διδακτικές προτάσεις και εναλλακτικές προσεγγίσεις. Διδακτορική Διατριβή. Τυπογραφείο Πανεπιστημίου Ιωαννίνων, Ιωάννινα 2007.

Στεφανή Χ. & Τσαπαρλής Γ. (2004). Φαινομενογραφική ανάλυση των ιδεών φοιτητών χημείας σε θέματα βασικής κβαντικής χημείας. Πρακτικά 4^{ου} Συνέδριου ΚΟΔΙΦΕΕΤ, σσ. Αθήνα 2004.

Ausubel, D. P. (1968). Educational psychology – A cognitive view. New York: Holt, Reinhart & Winston.

Ausubel, D.P. (2000). The acquisition and retention of knowledge: A cognitive view. Dordrecht, the Netherlands: Kluwer Academic.

Ausubel, D. P., Novak, J. D., & Hanesian, H. (1978). Educational psychology – A cognitive view. New York: Holt, Reinhart & Winston

Birkoff, G. & von Neumann, J. (1936) The logic of quantum mechanics. *Annals of Mathematics* 37 , pp. 835-843.

Castro, E. A. & Fernandez, F. M. (1987) Intellectual development beyond formal operations. *International Journal of Science Education* 9 ,441-447.

Coll, R.K. & Taylor, N. (2002). Mental models in chemistry: Senior chemistry students mental models of chemical bonding. *Chemistry Education Research and Practice*, 3, 175-184.

Coll, R.K. & Treagust, D.F. (2001). Learners' mental models of chemical bonding. *Research in Science Education*, 31, 357-382.

diSessa, A. (1988). Knowledge in pieces. In G. Formn & P. B. Pufall (Eds.), *Constructivism in the computer age* (pp. 49-70). Hillsdale: Erlbaum.

Driver, R., Leach, J., Millar, R., & Scott, P. (1996). *Young people's image of science*. Buckingham: Oxford University Press.

- Driver, R. Newton, & Osborne, (2000). Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. *Science Education*, 84, 287-312.
- Fishler, H. & Lichtfeldt, M. (1992). Modern physics and students' conceptions. *International Journal of Science Education*, 1992, 14, 181-190.
- Franco, C., Lins de Barros, H., Colinvaux, D., Krapas, S., Queiroz, G., & Alves, F. (1999). From scientists' and inventors' minds to some scientific and technological products: Relationship between theories, models, mental models, and conceptions. *International Journal of Science Education*, 21, 277-291.
- Gabel, D. (1998). The complexity of chemistry and implications for teaching. In B.J. Fraser & K.G. Tobin (Eds.), *International handbook of science education* (pp.265-295). Amsterdam: Kluwer Academic.
- Gilbert, J.K. & Boulter, C.J. (1998a). Models in explanations, Part 2: Whose voice? whose ears. *International Journal of Science Education*, 20, 187-203.
- Gilbert, J.K. & Boulter, C.J. (1998b). Learning science through models and modeling. In B.J. Fraser & K.G. Tobin (Eds.), *International handbook of science education* (pp. 53-66). Amsterdam: Kluwer Academic.
- Gilbert, J.K., Boulter, C.J., & Elmer, R. (2000). Positioning models in science education and in design and technology education. In J.K. Gilbert & C.J. Boulter (Eds.), *Developing models in science education* (pp. 3-18). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic.
- Grosslight, L., Unger, C., Jay, E., & Smith, C. (1991). Understanding models and their use in science: Conceptions of middle and high school students and experts. *Journal of Research in Science Teaching*, 29, 799-822.
- Halloun, I. A. (2007). Mediated modeling in science education. *Science & Education*, 16, 653-697.
- Harrison, A.G. & Treagust, D.F. (1996). Secondary student's mental models of atoms and molecules: Implications for teaching chemistry. *Science Education*, 80, 509-534.
- Harrison, A.G. & Treagust, D.F. (2000). Learning about atoms, molecules, and chemical bonds: A case study of multiple-model use in grade 11 chemistry. *Science Education*, 84, 352-381.
- Johnson,-Laird, P.N. (1983). *Mental models*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Justi, R.S. & Gilbert, J.K. (2003). Teachers' views on the nature of models. *International Journal of Science Education*, 25, 1369-1386.
- Kuhn, T. (1970). *The structure of scientific revolutions*, 2nd edn. Chicago: University of Chicago Press.
- Marton, F. (1981). Phenomenography – Describing conceptions of the world around us. *Instructional Science*, 10, 177-200.
- Marton, F. & Booth, S. (1997). *Learning and awareness*. Lawrence Erlbaum: Hillsdale, NJ.
- Matthews, M. R. (2007). Models in science and in science education. *Science & Education*, 16, 647-652.
- Mortimer, E. F., & Scott, P. (2003). *Meaning making in secondary science classroom*. Maidenhead: Open University Press.
- Nersessian, N. (1992). How do scientists think? Capturing the dynamics of conceptual change in science. In R. N. Giere (Ed.), *Minnesota studies in the philosophy of science*. Minneapolis: University of Minnesota Press.
- Nicoll, G. (2001). A report of undergraduates' bonding misconceptions. *International Journal of Science Education*, 23, 707-730.
- Nicoll, G., Francisco, J., & Nakhleh, M. (2001). A three-tier system for assessing concept map links: A methodological study. *International Journal of Science Education*, 8, 863-875.



- Ogborn, J., Kress, G., Martins, I., & McGillicuddy, K. (1996). *Explaining science in the classroom*. Milton Keynes: Open University Press.
- Petri, J. & Niedderer, H. (1998). A learning pathway in high-school level quantum atomic physics. *International Journal of Science Education*, 20, 1075-1088.
- Scott, P. H., Mortimer, E. F., & Aguiar, O. G. (2006). The tension between authoritative and dialogic discourse: A fundamental characteristic of meaning making interactions in high school science lessons. *Science Education*, 90, 605-631.
- Stefani C. (2006). University chemistry students' alternative ideas about atomic orbitals, molecular orbitals and hybridization. 8th European Conference on Research in Chemical Education (8th ECRICE). Budapest, Hungary.
- Stefani C. & Tsaparlis G. (2009). Students' Levels of Explanations, Models, and Misconceptions in Basic Quantum Chemistry: A Phenomenographic Study, *Journal of Research in Science Teaching*, Online Early View.
- Stefani, C. & Tsipis, C.A. (2002). Alternative conceptions and difficulties of students regarding the quantum mechanical model of the atom. 6th World Congress of Theoretically Oriented Chemists, Book of Abstracts, No. PA157. Lugano, Switzerland: The World Association of Theoretical and Computational Chemists
- Taber, K.S. (2002). Conceptualizing quanta - Illuminating the ground state of student understanding of atomic orbitals. *Chemistry Education Research and Practice*, 3, 145-158.
- Taber, K.S. & Watts, M. (2000). Learners' explanations for chemical phenomena. *Chemistry Education Research and Practice*, 1, 329-353.
- Tsaparlis, G., & Papaphotis, G. (2002). Quantum-chemical concepts: Are they suitable for secondary students? *Chemistry Education Research and Practice*, 2002, 3, 129-144.
- Tsaparlis, G., & Papaphotis, G. (2008). High-school students' conceptual difficulties and attempts at conceptual change: The case of basic quantum chemical concepts. *International Journal of Science Education*, 1-36.
- Van Driel, J.H. & Verlop N. (1999). Teachers' knowledge of models. *International Journal of Science Education*, 21, 1141-1153.
- Vosniadou, S. & Brewer, W.F. (1992). Mental models of the earth: A study of conceptual change in childhood. *Cognitive Psychology*, 24, 535-585.