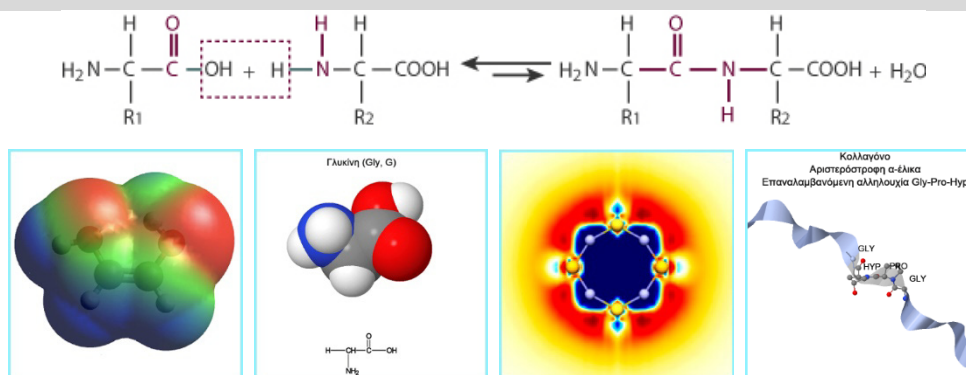


ΠΟΛΥΜΕΣΙΚΗ ΜΑΘΗΣΗ & ΧΗΜΙΚΕΣ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΕΙΣ



Μέρος της Διδακτορικής Διατριβής του κ. Βασίλη Κουταλά, στο Τμήμα Χημείας του Α.Π.Θ. (επιβλέπων Μιχάλης Σιγάλας)

1 Γνωστική Ψυχολογία & Εκπαιδευτικό Λογισμικό.....	2
1.1 Δομές Μνήμης	7
1.2 Διαχείριση γνωστικού φορτίου	14
1.3 Ο Ρόλος της Οπτικοχωρικής Ικανότητας.....	19
1.4 Ο Ρόλος των Θεωριών Μάθησης στον Σχεδιασμό Λογισμικού	25
2 Ο Ρόλος των Πολυμέσων στη Σύγχρονη Εκπαίδευση.....	33
2.1 Διδακτικά Προβλήματα & Αποτελεσματικός Σχεδιασμός Εκπαιδευτικού Λογισμικού .	36
2.2 Προσομοιώσεις και Διαδικτυακές Πολυμεσικές Εφαρμογές	39
2.3 Πολυαναπαραστασιακά Περιβάλλοντα Μάθησης.....	42
3 Οι Αναπαραστάσεις στη Χημεία	56
3.1 Ο ρόλος των αναπαραστάσεων.....	58
3.2 Τα Τρία Επίπεδα Αναπαραστάσεων	60
3.3 Επιστημονικά Μοντέλα & Νοητικό Μοντέλο	64
3.4 Στατικές και Δυναμικές Αναπαραστάσεις.....	70
3.5 Δισδιάστατες Διαγραμματικές Αναπαραστάσεις.....	73
4 Κατανόηση των Χημικών Αναπαραστάσεων.....	76
4.1 Δυσκολίες Κατανόησης και Χειρισμού των Αναπαραστάσεων.....	78
4.2 Επιστημονική Εμπειρία & Αναπαραστασιακή Δεξιότητα.....	81
4.3 Επίλυση Προβλημάτων Κατανόησης Αναπαραστάσεων	86
4.4 Στρατηγικές Επίλυσης Προβλημάτων με Αναπαραστάσεις.....	90
Βιβλιογραφία	93

1 Γνωστική Ψυχολογία & Εκπαιδευτικό Λογισμικό

Οι πολυμεσικές εκπαιδευτικές εφαρμογές και κατ' επέκταση η πολυμεσική μάθηση αποτελούν κεντρικό στοιχείο της διδασκαλίας διαφόρων επιστημονικών θεμάτων, ιδιαίτερα στον τομέα των θετικών επιστημών. Η φύση της διδασκαλίας των θετικών επιστημών απαιτεί εργαλεία ικανά να απεγκλωβίσουν την ίδια την επιστήμη από τη μη ορατή φύση του μικρόκοσμου, ώστε να αποσαφηνίσουν φαινόμενα που λαμβάνουν χώρα σε αυτό το επίπεδο.

Τα πολυμέσα ορίζονται σαν ο συνδυασμός κειμένου, ήχου και στατικών ή κινούμενων εικόνων, δηλαδή είναι η ταυτόχρονη και συνδυαστική συνύπαρξη λεκτικής και οπτικής πληροφορίας (Mayer, 2005). Η λεκτική πληροφορία έχει τη μορφή προφορικού ή γραπτού λόγου, ενώ η οπτική πληροφορία έχει τη μορφή οπτικών αναπαραστάσεων που περιλαμβάνουν γραφικές απεικονίσεις, εικόνες, σχεδιοκινήσεις και βίντεο. Ως *πολυμεσική μάθηση* ορίζεται η μαθησιακή-εκπαιδευτική διαδικασία η οποία περιλαμβάνει τη χρήση πολυμεσικού υλικού για τη δημιουργία ενός πλαισίου ικανού να βελτιώσει την κατανόηση του διδασκόμενου αντικειμένου (Mayer, 2005).

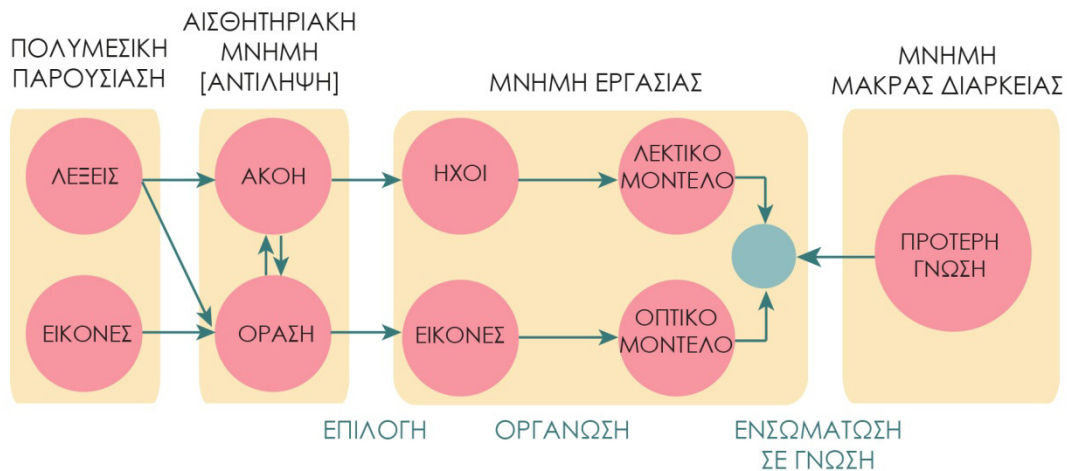
Η πολυμεσική μάθηση, έχει κεντρίσει το ενδιαφέρον και έχει αποτελέσει αντικείμενο μελέτης της γνωστικής ψυχολογίας, ειδικότερα τις τελευταίες δεκαετίες. Διάφορες έρευνες συνέβαλαν στην ανάπτυξη μιας θεωρίας, που καθορίζει τον τρόπο που χρησιμοποιούνται τα πολυμέσα στη διδακτική διαδικασία και τον τρόπο που συμμετέχουν στις νοητικές διεργασίες για τη μάθηση των εννοιών. Το έργο του Richard E. Mayer ήταν καθοριστικό και έθεσε τις βάσεις τόσο για την πολυμεσική μάθηση, όσο και για την παραπέρα μελέτη του τρόπου και του βαθμού συμμετοχής των πολυμέσων στη μάθηση μέσω της χρήσης τους.

Ο Mayer R. E., κατά τη δεκαετία του '90 ξεκίνησε να αναπτύσσει τη *γνωστική θεωρία για την πολυμεσική μάθηση CTML (Cognitive Theory of Multimedia Learning)* (Mayer, 2005). Βασίστηκε σε προγενέστερες έρευνες σχετικές με τη δυνατότητα των ανθρώπων να λαμβάνουν πληροφορία χρησιμοποιώντας τις αισθήσεις τους και επιτελώντας γνωστικές διεργασίες. Η κεντρική ιδέα πίσω από τη θεωρία πολυμεσικής μάθησης, έχει να κάνει με την εγκαθίδρυση εννοιολογικών σχέσεων ανάμεσα στις λέξεις

και τις εικόνες και το γεγονός ότι ο διδασκόμενος μπορεί να αποκτήσει ουσιαστικότερη μάθηση σε σύγκριση με τις μεμονωμένες λεκτικές και οπτικές πληροφορίες.

Η γνωστική θεωρία πολυμεσικής μάθησης (CTML) είναι το σημαντικότερο απόσταγμα μιας σειράς ερευνών των Baddeley, Sweller και Paivio, οι οποίοι είναι ερευνητές που προηγήθηκαν του Mayer. Θα ήταν εύστοχο να αναφερθεί ότι το εγχείρημα της CTML στηρίζεται σε τρεις βασικούς πυλώνες:

Ο **πρώτος** πυλώνας είναι η *θεωρία της διπλής κωδικοποίησης* (Εικόνα 1.1) που αναφέρεται στην επεξεργασία οπτικής και ακουστικής πληροφορίας από διαφορετικές γνωστικές οδούς, κατά τη διάρκεια πολυμεσικών μαθησιακών διεργασιών. Η θεωρία της διπλής κωδικοποίησης αναπτύχθηκε από τον Paivio (1986), αλλά βασίζεται σε άρθρα και σε μελέτες του Baddeley σχετικά με τη μνήμη εργασίας. Περιγράφει ότι λέξεις και εικόνες προσλαμβάνονται μέσω των αντίστοιχων αισθήσεων και επεξεργάζονται παράλληλα στη μνήμη εργασίας, αναπτύσσοντας δύο διαφορετικά μοντέλα. Παλιότερες μελέτες αναλύουν λεπτομερώς τη διαδικασία κωδικοποίησης της πληροφορίας (Baddeley, 1999; Paivio, 1986) και την ενσωμάτωσή της στην πρότερη γνώση.



Εικόνα 1.1: Η Θεωρία Πολυμεσικής Μάθησης του Mayer. Λήψη της πληροφορίας μέσω δύο διαφορετικών καναλιών. Επιλογή, οργάνωση και ενσωμάτωση της γνώσης μέσω της περιορισμένης χωρητικότητας της μνήμης εργασίας.

Ο **δεύτερος** πυλώνας των μελετών του Mayer, είναι η *υπόθεση περιορισμένης χωρητικότητας*. Οι άνθρωποι δεν έχουν τη δυνατότητα να επεξεργαστούν απεριόριστη ποσότητα πληροφορίας. Σύμφωνα με τον Mayer (2002), καθώς και άλλους ερευνητές, τα κανάλια επεξεργασίας της πληροφορίας της ανθρώπινης μνήμης έχουν περιορισμένη

χωρητικότητα και δεν μπορούν να επεξεργάζονται ταυτόχρονα πολλές και διαφορετικές πληροφορίες (Baddeley, 1999; Sweller, 1999; Baddeley, 1992; Chandler & Sweller, 1991). Όταν ζητείται από κάποιο άτομο να αντιληφθεί ταυτόχρονα μια πληθώρα οπτικών ερεθισμάτων, τότε το οπτικό κανάλι υπερφορτώνεται και τα ερεθίσματα που λαμβάνει δεν έχουν τελικά το ζητούμενο αποτέλεσμα. Η *θεωρία του γνωστικού φορτίου* (Sweller, 1994) εξετάζει το γεγονός ότι κάθε υπό-σύστημα της μνήμης εργασίας είναι περιορισμένο και θα αναλυθεί εκτενέστερα παρακάτω.

Ο **τρίτος** πυλώνας είναι η θεωρία της ενεργούς επεξεργασίας (*active processing*), σύμφωνα με την οποία ο διδασκόμενος θα πρέπει μέσω διάφορων διαδικασιών να συμμετέχει ενεργά στη μαθησιακή διαδικασία και να επεξεργάζεται την πληροφορία που του παρέχεται, ώστε να επιτευχθεί ουσιαστική μάθηση. Είναι απαραίτητο ο διδασκόμενος να συνδυάζει τις πληροφορίες, να τις οργανώνει και παράλληλα να ανακαλεί την πρότερη γνώση του. Η θεωρία αυτή υποστηρίζει ότι οι άνθρωποι έχουν τη δυνατότητα να κατανοήσουν μια πληροφορία όταν τη μελετούν και ασχολούνται μέσω διάδρασης με εκπαιδευτικό υλικό, όταν την οργανώνουν σε συναφείς δομές και τελικά την ενοποιούν με την πρότερη γνώση τους.

Η ενσωμάτωση στην πολυμεσική διδασκαλία εικόνων, σχεδιοκινήσεων (*animation*), μοντέλων και άλλων πολυμεσικών στοιχείων μπορεί να βελτιώσει αρκετά σύμφωνα με τον Mayer, τόσο τις διδακτικές πρακτικές, όσο και την αξιολόγηση της μάθησης. Τα αποτελέσματα της χρήσης των πολυμέσων και ο βαθμός μετάδοσης της πληροφορίας ποικίλουν και εξαρτώνται τόσο από το είδος του θέματος που εξετάζεται, όσο και από τα χαρακτηριστικά του διδασκόμενου που δέχεται τα ερεθίσματα.

Σύμφωνα με την CTML η *ουσιώδης* επεξεργασία της πληροφορίας διαχωρίζεται από τη *μη ουσιώδη*. Η πρώτη αναφέρεται σε επεξεργασία υλικού που είναι ικανό να οδηγήσει στη μάθηση, ενώ η δεύτερη αναφέρεται σε επεξεργασία υλικού το οποίο αποτυγχάνει στους μαθησιακούς του στόχους. Η *υπερβολική χρήση λέξεων*, εικόνων και οπτικοακουστικών εφέ, μπορεί να επιβαρύνει τους διδασκόμενους (Mayer, 2001, Chandler & Sweller, 1991). Επίσης, ο *ακατάλληλος σχεδιασμός* και εφαρμογή ακατάλληλου πολυμεσικού εκπαιδευτικού υλικού θα μπορούσαν να αποσπάσουν την προσοχή του διδασκόμενου (Lin & Li, 2003). Ο τρόπος και ο χρόνος επισήμανσης συγκεκριμένων χαρακτηριστικών και η επιλογή κατάλληλων αναπαραστάσεων είναι

ιδιαίτερα σημαντικά σημεία του σχεδιασμού, που εξαρτώνται από την εμπειρία και την ικανότητα χειρισμού των ατόμων στα οποία απευθύνονται.

Σύμφωνα με τη γνωστική θεωρία για την πολυμεσική μάθηση, ο βασικός στόχος των πολυμεσικών εφαρμογών είναι να αναπτυχθούν συγκεκριμένες νοητικές αναπαραστάσεις στις γνωστικές δομές του διδασκόμενου (Schnotz & Bannert, 2003; Mayer, 2005). Για τον λόγο αυτό, ο Mayer ανέπτυξε το 2002, οκτώ αρχές που αφορούν την πολυμεσική μάθηση και είναι σημαντικό να λαμβάνονται υπόψη κατά τον σχεδιασμό διδακτικών πολυμεσικών εφαρμογών. Σύμφωνα με αυτές, βαθύτερη μάθηση επιτυγχάνεται όταν:

1. Οι λέξεις και οι εικόνες χρησιμοποιούνται συνδυαστικά. Τα μαθησιακά αποτελέσματα είναι σαφώς καλύτερα συγκρινόμενα με τη μεμονωμένη χρήση λεκτικής πληροφορίας (*Πολυμεσική αρχή*).

2. Οι λέξεις και οι εικόνες έχουν ταυτόχρονη και όχι διαδοχική παρουσία (*Αρχή της συνάφειας*).

3. Οι περιττές λέξεις, ήχοι και εικόνες δε συμπεριλαμβάνονται (*Αρχή συνοχής*).

4. Οι λέξεις χρησιμοποιούνται σαν αφηγηματικός και όχι σαν γραπτός λόγος (*Αρχή της μορφοποίησης*).

5. Η λεκτική πληροφορία υπάρχει μόνο ως αφήγηση και όχι με δύο μορφές, δηλαδή ως αφήγηση και ως κείμενο στην οθόνη (*Αρχή του πλεονασμού*).

6. Οι διδασκόμενοι έχουν τη δυνατότητα του ελέγχου της παρουσίασης της πληροφορίας (*Αρχή της αλληλεπίδρασης*).

7. Τα βασικά βήματα μιας διεργασίας είναι επισημασμένα (*Αρχή της επισήμανσης*).

8. Η λεκτική πληροφορία παρουσιάζεται υπό μορφή διαλόγου (*Αρχή της προσωποποίησης*).

Τα αποτελέσματα της χρήσης των εκπαιδευτικών λογισμικών, εκτός από τους μαθησιακούς στόχους, που φαίνεται να επιτυγχάνονται ευκολότερα σε σύγκριση με τα παραδοσιακά μέσα, σχετίζονται επίσης με την ανάπτυξη κοινωνικότητας, την κινητικότητα, τη διέγερση, την προσωπική ευχαρίστηση, καθώς και την εμπειρία ροής^{1*} (Lee *et al.*, 2014). Γνωστικοί, κοινωνικοί και συναισθηματικοί παράγοντες επηρεάζονται

¹ Η εμπειρία ροής είναι μια κατάσταση κινητικότητας που συνδέεται με τον έλεγχο που έχει ο χρήστης πάνω στο περιβάλλον. Αυτή η κατάσταση είναι ιδανική για τη μάθηση μέσω λογισμικών και προϋποθέτει ο χρήστης να είναι ικανοποιημένος από τη δραστηριότητα στην οποία υποβάλλεται (Csikszentmihalyi, 1990).

από τις πρακτικές διδασκαλίας και από την ποιότητα της εισήγησης (Nitz *et al.*, 2014). Ακατάλληλη χρήση των πολυμεσικών εκπαιδευτικών εργαλείων επηρεάζει αρνητικά και τα συναισθήματα και την προθυμία των μαθητών μέσω της αύξησης του γνωστικού φορτίου (Mayer, 2001), επιβαρύνει τις γνωστικές διεργασίες και εμποδίζει τα μαθησιακά αποτελέσματα. Ο ρόλος της συναισθηματικής αξίας των εργαλείων, ο βαθμός κινητικότητας, καθώς και ο τρόπος αξιολόγησης των συναισθημάτων των μαθητών, έχουν αποδειχθεί ιδιαίτερα σημαντικοί παράγοντες σε μια μαθησιακή διαδικασία. Ο βαθμός ικανοποίησης των μαθητών κατά τη διάρκεια της εκπαιδευτικής διαδικασίας είναι προάγγελος της καλής επίδοσης τους κατά τη χρήση ψηφιακών εκπαιδευτικών περιβαλλόντων (Lee *et al.*, 2014), ενώ τα στοιχεία που αποσπούν την προσοχή των χρηστών από το διδασκόμενο θέμα είναι προτιμότερο να μην υπάρχουν στο υλικό (Bussey & Orgill, 2015).

Πρόσφατα, ο Mayer (2009, 2014) παρουσιάζει μετά από μελέτες, ορισμένες προηγμένες αρχές για την πολυμεσική μάθηση, οι οποίες συμπληρώνουν τις προηγούμενες οκτώ και συνδέονται με κοινωνικούς και συναισθηματικούς στόχους:

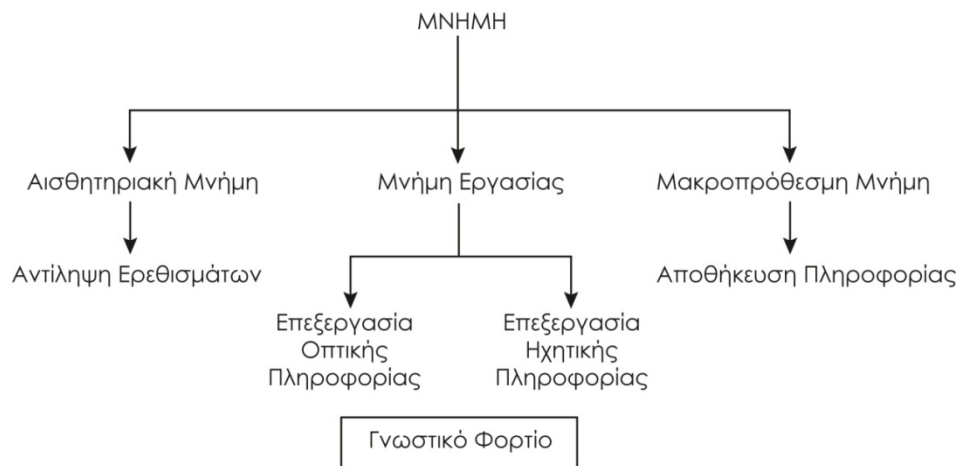
1. Για την επίτευξη ουσιαστικότερης μάθησης από μια πολυμεσική παρουσίαση δεν είναι απαραίτητο να παρουσιάζεται η εικόνα του εισηγητή στην οθόνη (*Αρχή εικόνας*).
2. Καλύτερη μάθηση επιτυγχάνεται όταν η προφορική πληροφορία παρουσιάζεται από μια φιλική ανθρώπινη φωνή και όχι από μηχανική φωνή του υπολογιστή (*Φωνητική αρχή*).
3. Είναι προτιμότερο, η εικονική και γραπτή πληροφορία που αναφέρονται στις ίδιες έννοιες, να βρίσκονται στον ίδιο χώρο της πολυμεσικής πληροφορίας από το να βρίσκονται σε διαφορετικό χώρο (*Αρχή χωρικής συνέχειας*).
4. Βαθύτερη μάθηση επιτυγχάνεται όταν οι διδασκόμενοι έχουν τη δυνατότητα να περάσουν από μια φάση εξάσκησης και να αποκτήσουν οικειότητα με τα ονόματα, τα χαρακτηριστικά και τα βασικά στοιχεία του διδασκόμενου θέματος (*Αρχή πρότερης εξάσκησης*).
5. Καλύτερη μάθηση επιτυγχάνεται όταν το πολυμεσικό μήνυμα είναι τμηματοποιημένο και οι χρήστες το διαχειρίζονται μόνοι τους και όχι όταν παρουσιάζεται σαν μια ολότητα (*Αρχή τμηματοποίησης*).

Σύμφωνα με τους Kozma & Russell (2005), οι αρχές που σχετίζονται σημαντικά και επηρεάζουν τη μάθηση της χημικής πληροφορίας είναι η πολυμεσική αρχή, η αρχή της συνάφειας, της μορφοποίησης, της επισήμανσης και της διάδρασης. Η γενικότερη εικόνα που υπάρχει από τη χρήση των πολυμέσων στη διδασκαλία της Χημείας, είναι ότι στις περισσότερες περιπτώσεις προσφέρουν σημαντική βοήθεια (Sanger & Greenbowe, 2000). Τα ευρήματα των πολυάριθμων ερευνών στη Χημεία που αφορούν τα πολυμέσα, έχουν επιδράσεις στη γνωστική θεωρία, τον διδακτικό σχεδιασμό και τη διδακτική πρακτική.

1.1 Δομές Μνήμης

Ο καλός σχεδιασμός, τόσο της πληροφορίας που προορίζεται για διδασκαλία, όσο και της πολυμεσικής πληροφορίας, βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στις γνώσεις των επιστημόνων για τις ανθρώπινες γνωστικές δομές και στον τρόπο με τον οποίο δομείται η γνωστική αρχιτεκτονική (Sweller, 2005). Στη βιβλιογραφία αναφέρονται τρία είδη ανθρώπινης μνήμης όπως τις αποδέχεται η θεωρία της πολυμεσικής μάθησης του Mayer. Ο Sweller (2005) ορίζει τις τρεις αυτές διαφορετικές δομές ως εξής (Εικόνα 1.2):

- Η αισθητηριακή/διαισθητική μνήμη είναι ο παράγοντας της γνωστικής αρχιτεκτονικής που μας επιτρέπει να αντιλαμβανόμαστε τη νέα πληροφορία.
- Η μνήμη εργασίας είναι η γνωστική δομή που επεξεργάζεται την πληροφορία.
- Η μακροπρόθεσμη μνήμη είναι η γνωστική δομή που αποθηκεύει την πληροφορία για μεγάλο χρονικό διάστημα.



Εικόνα 1.2: Διαφορετικά Είδη Ανθρώπινης Μνήμης

Αισθητηριακή Μνήμη (Sensory Memory)

Η αισθητηριακή μνήμη, είναι ένα τμήμα της μνήμης που αποθηκεύει προσωρινά εικόνες και *εικονοποιημένα* τμήματα κειμένου, που προσλαμβάνονται ως οπτικά ερεθίσματα. Σε αυτό το τμήμα της μνήμης διατηρούνται επίσης λέξεις και ήχοι που προσλαμβάνονται μέσω της ανθρώπινης ακοής σαν ακουστικές εικόνες, για κάποιο μικρό χρονικό διάστημα.

Η αισθητηριακή μνήμη, αποτελείται από: α) την ηχητική αισθητηριακή μνήμη, β) την απτική αισθητηριακή μνήμη και γ) την οπτική (ή εικονική) αισθητηριακή μνήμη. Η αισθητηριακή μνήμη είναι αυτή που επιτρέπει στα άτομα να διατηρούν τις πληροφορίες για κάποιο χρονικό διάστημα, ανεξάρτητα από το εάν το αρχικό ερέθισμα εξακολουθεί να υφίσταται ή όχι.

Μακροπρόθεσμη μνήμη (Long-Term Memory)

Ο Sweller (2003) παρομοιάζει τον τρόπο που λειτουργεί το ανθρώπινο γνωσιακό σύστημα, με τον τρόπο που εξελίχθηκαν τα είδη, βάσει της φυσικής επιλογής. Σύμφωνα με αυτόν, ο ρόλος της μακροπρόθεσμης μνήμης ή μνήμης μακράς διάρκειας κατά τη μελέτη των ανθρώπινων γνωστικών δομών είναι τόσο βασικός, όσο είναι και ο γενετικός κώδικας για την επιστήμη της βιολογίας. Η πληροφορία που υπάρχει στον γενετικό κώδικα είναι πολύ μεγάλη και κάτι ανάλογο συμβαίνει με την πληροφορία που υπάρχει στη μακροπρόθεσμη μνήμη του ανθρώπου. Σύμφωνα με τους Atkinson και Shiffrin (1968) η μακροπρόθεσμη μνήμη είναι ο χώρος όπου τα δεδομένα μπορούν να αποθηκευτούν για μεγάλες χρονικές περιόδους και αποτελεί το θεμέλιο της γνώσης μας (Sweller, 2005). Ο άνθρωπος είναι σε θέση να συνειδητοποιήσει μόνο εκείνη την πληροφορία που από τη μακροπρόθεσμη μνήμη ανακαλείται στη μνήμη εργασίας.

Η δομή της μνήμης μακράς διάρκειας αποτελείται από μικρότερα τμήματα στα οποία συγκετρώνονται διαφορετικές πληροφορίες. Μια γενική ταξινόμηση είναι:

α) *Συγκεκριμένη - Σαφής* (explicit). Περιλαμβάνει όλες τις πληροφορίες που είναι διαθέσιμες στο συνειδητό τμήμα της μνήμης (Spaniol et al., 2006). Αυτό το τμήμα της μνήμης τμηματοποιείται σε ακόμη μικρότερα, όπως η επεισοδιακή μνήμη (episodic), η σημασιολογική (semantic) και η αυτοβιογραφική (autobiographical).

β) *Απεριόριστη - Διαδικαστική* (implicit). Περιλαμβάνει πληροφορίες για τη χρήση αντικειμένων, όπως είναι για παράδειγμα η χρήση διάφορων χημικών σκευών κατά την εργαστηριακή διαδικασία (Wood et al., 2011).

Ο Sweller το 2005 αναφέρει, ότι κάθε ανθρώπινη γνωστική ενέργεια καθορίζεται κατά κάποιον τρόπο από την πληροφορία που υπάρχει στη μακροπρόθεσμη μνήμη. Η μάθηση είναι μια διαδικασία που στηρίζεται σε παραμέτρους και μεταβολές που επιτυγχάνονται σε αυτό το γνωστικό τμήμα του ανθρώπου. Στην περίπτωση που η μαθησιακή διαδικασία δεν οδηγεί σε μεταβολές στη μακροπρόθεσμη μνήμη η μάθηση δεν επιτυγχάνεται. Η ισχυροποίηση του δεσμού της μακροπρόθεσμης μνήμης με τη μνήμη εργασίας και η δημιουργία των «δρόμων» και μεθόδων μεταφοράς της πληροφορίας είναι σημαντικά στοιχεία για τις γνωστικές δομές ενός ατόμου. Η σχέση αυτή ισχυροποιείται μέσω μεγαλύτερου χρόνου επεξεργασίας της πληροφορίας.

Μνήμη Εργασίας (Working Memory)

Στη γνωστική ψυχολογία σήμερα υπάρχουν διαφορετικές προσεγγίσεις για τη μελέτη της μνήμης εργασίας. Κάποιοι ερευνητές υποστηρίζουν ότι η μνήμη εργασίας αντικατοπτρίζει τις πτυχές της μνήμης μικρής διάρκειας που σχετίζονται με την εστίαση της προσοχής ενός ατόμου (Engle 2002, παράθεση σε Fenesi *et al.*, 2014), ενώ κάποιοι άλλοι υποστηρίζουν ότι υπάρχει μόνο μία «αποθήκη μνήμης» και ουσιαστικά η μνήμη εργασίας περιλαμβάνει και επεξεργάζεται μόνο το ενεργοποιημένο τμήμα των πληροφοριών (Cowan 2008, παράθεση σε Fenesi *et al.*, 2014). Το επικρατέστερο όμως μοντέλο (Baddeley & Hitch, 1974) θεωρεί ότι η μνήμη εργασίας αποτελεί διαφορετικό τμήμα από τη μακροπρόθεσμη μνήμη και διαθέτει συγκεκριμένη δομή για την επεξεργασία της πληροφορίας (Baddeley & Hitch 1974).

Ο όρος της μνήμης εργασίας εισήχθη από τον Miller (Miller, 1960) και αρχικά αντικατέστησε τον όρο «μνήμη μικρής διάρκειας». Με την αντικατάσταση του όρου, υποδεικνύεται σημειολογικά ότι στη μνήμη εργασίας επιτυγχάνεται η επεξεργασία της πληροφορίας με τη συνειδητή αποθήκευση και επεξεργασία μικρού όγκου πληροφορίας, ώστε να είναι εύκολα προσβάσιμη. Η μνήμη εργασίας επηρεάζει τις λειτουργίες της μνήμης, όπως π.χ. η αναπόληση, η διατήρηση μιας ιδέας στο συνειδητό τμήμα ή η δυνατότητα της ανάκλησης μιας ιδέας (Cowan, 2014). Η χρήση της μνήμης εργασίας είναι απαραίτητη επίσης για συγκεκριμένες γνωστικές λειτουργίες, όπως είναι η

κατανόηση, η μάθηση και η ανάπτυξη συλλογισμών, κριτικής ικανότητας και αιτιολόγησης (Cowan, 2014; Baddeley, 1999), ο τρόπος επεξεργασίας της πληροφορίας ή επίλυσης προβλημάτων. Στη μνήμη εργασίας διατηρείται προσωρινά και διαχειρίζεται η πληροφορία που πηγάζει είτε από εξωτερικούς παράγοντες, είτε από την πρότερη γνώση του ανθρώπου (Fenesi *et al.*, 2014). Στη μνήμη εργασίας επιτυγχάνεται η σύνδεση της λεκτικής πληροφορίας με τις εικόνες (Εικόνα 1.3), ενώ παρέχεται η δυνατότητα στο γνωστικό σύστημα να συνδυάζει σκέψεις και ιδέες που είναι ενεργές και να τις ομαδοποιεί με άλλες πληροφορίες (Fenesi *et al.*, 2014). Παρά τη σημαντική λειτουργία που επιτελεί, η μνήμη εργασίας διαθέτει περιορισμένη χωρητικότητα και χρονικό όριο στη διάρκεια συγκράτησης πληροφορίας, ιδιαίτερα όταν η πληροφορία που δέχεται είναι νέα και δε σχετίζεται με την πρότερη γνώση του ατόμου (Sweller, 2005).



Εικόνα 1.3: Εργασίες που επιτελούνται στη μνήμη εργασίας.

Η προσωρινή διατήρηση μιας σκέψης στη μνήμη εργασίας, είναι αρκετά περιορισμένη και μπορεί να συμβεί μόνο για λίγα θέματα ταυτόχρονα, αντίθετα με την απεριόριστη αποθήκευση γνώσης που συμβαίνει στη μακροπρόθεσμη μνήμη (Cowan, 2014). Ο Miller (1956) υπέδειξε ότι η μνήμη εργασίας μπορεί να συγκρατήσει περίπου επτά στοιχεία πληροφορίας. Για την ακρίβεια, πρότεινε ότι τα ταυτόχρονα επεξεργαζόμενα στοιχεία μπορούν να είναι «επτά συν ή πλην δυο». Υπάρχουν όμως αρκετοί λόγοι για τους οποίους αυτή η προσέγγιση θεωρείται σήμερα ξεπερασμένη. Η μνήμη εργασίας διαθέτει πολλαπλούς μηχανισμούς, καθένας από τους οποίους είναι σε θέση να ανακαλεί και να επεξεργάζεται πληροφορία, ενώ οι μηχανισμοί της διαφέρουν από άτομο σε άτομο. Πιο σύγχρονες προσεγγίσεις στη γνωστική ψυχολογία αναφέρουν ότι τα στοιχεία τα οποία η μνήμη εργασίας μπορεί να χειριστεί, να συγκρίνει και να συνδυάσει, δεν μπορεί να είναι παραπάνω από δύο ως τέσσερα. Επίσης, αυτή η πληροφορία των τεσσάρων στοιχείων, δεν μπορεί να συγκρατηθεί για πάνω από είκοσι

δευτερόλεπτα (Sweller, 2005). Η περιορισμένη χωρητικότητα της μνήμης εργασίας σύμφωνα με τον Sweller (2005) δεν αποκλείεται να είναι ο λόγος στον οποίο οφείλεται η αποδοτική λειτουργία της. Μια υποθετική γνωστική αρχιτεκτονική που να μπορεί να επεξεργαστεί με ακρίβεια πολλά δεδομένα θα ήταν πιθανότερο να αποτυγχάνει στη λειτουργία της (Sweller, 2005).

Η δομή της μνήμης εργασίας, όπως περιγράφεται από το επικρατέστερο μοντέλο του Baddeley (1992) αποτελείται από δύο διαφορετικές υπομονάδες (όπως αναφέρει και ο Mayer στην CTML), οι οποίες έχουν να κάνουν με την επεξεργασία της οπτικοχωρικής και της ακουστικής πληροφορίας αντιστοίχως (De Jong, 2010). Σύμφωνα με αυτό το μοντέλο, η μνήμη εργασίας αποτελείται από τρία βασικά τμήματα (Εικόνα 1.4).

α. Το κεντρικό-εκτελεστικό τμήμα (central executive), που θεωρείται ως το κέντρο ελέγχου της προσοχής.

β. Το οπτικοχωρικό τμήμα (visuospatial sketchpad), που έχει να κάνει με την αντίληψη των εικόνων και των δισδιάστατων και τρισδιάστατων οπτικών αντικειμένων.

γ. Το φωνολογικό τμήμα (phonological loop), που αποθηκεύει και επεξεργάζεται τη λεκτική πληροφορία (γραπτό ή προφορικό λόγο) (Sweller, 2005).



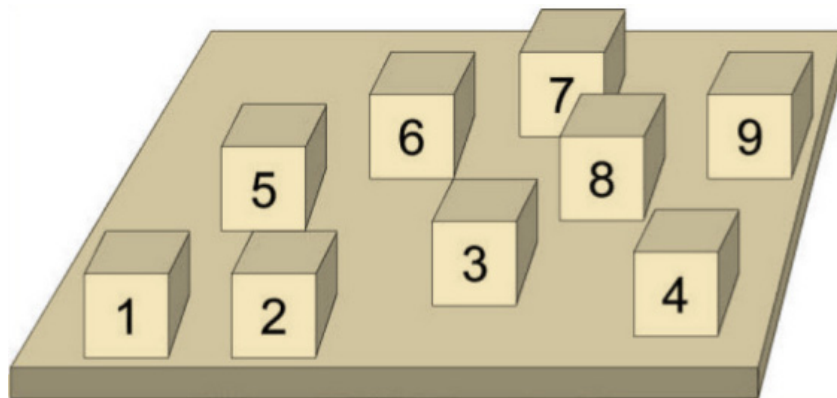
Εικόνα 1.4: Υποσυστήματα Επεξεργασίας της Πληροφορίας στη Μνήμη Εργασίας. Σχήμα από Daneman & Carpenter (1980).

Η κατάλληλη χρήση και ο συνδυασμός του οπτικοχωρικού και του φωνολογικού υποσυστήματος, μπορεί να βοηθήσει στην αύξηση της χωρητικότητας της μνήμης εργασίας. Γι' αυτό, κατά τον σχεδιασμό των πολυμεσικών εφαρμογών αναζητείται ο βέλτιστος τρόπος ενεργοποίησης και των δύο υποσυστημάτων.

Τα αποτελέσματα ερευνών έχουν δείξει πως το τμήμα της μνήμης εργασίας που ευθύνεται για τη δημιουργία των νοητικών μοντέλων είναι συγκεκριμένο. Η κατασκευή των νοητικών μοντέλων επηρεάζεται περισσότερο από την καταληψιμότητα του οπτικοχωρικού υποσυστήματος και όχι τόσο από το φωνολογικό υποσύστημα (Friedman & Miyake, 2000), καθώς είναι περισσότερο εξαρτημένη από την επεξεργασία της χωρικής - γνωστικής πληροφορίας (Sims & Hegarty, 1997). Η οπτική αντίληψη και η χωρική συλλογιστική βασίζονται σε διαφορετικές μεθόδους νοητικής επεξεργασίας.

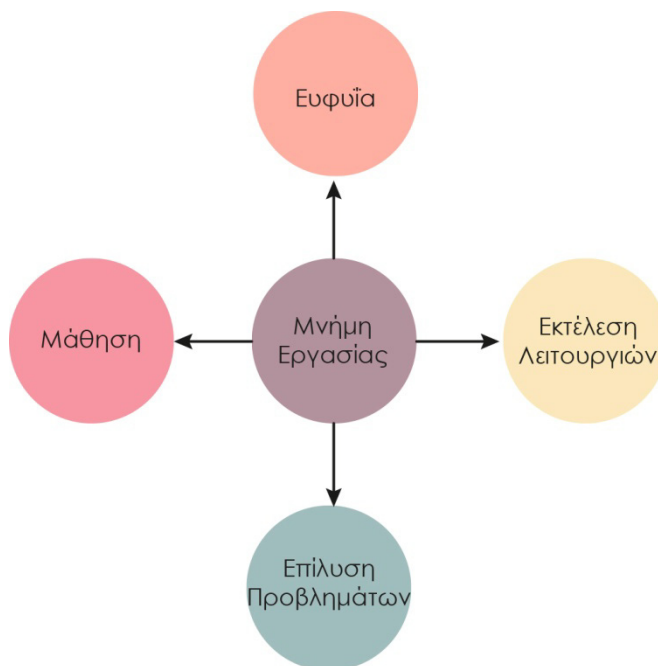
Αυτό προϋποθέτει και τον διαχωρισμό ανάμεσα στην οπτική μνήμη εργασίας για τη διαχείριση των εικόνων και τη χωρική μνήμη εργασίας για τη δημιουργία του νοητικού μοντέλου (Schnotz, 2005).

Οι δυνατότητες της μνήμης εργασίας μπορούν να αξιολογηθούν με τη χρήση διαφόρων έγκυρων και εμπειριστατωμένων τεστ (Redick *et al.*, 2013; Piccardi *et al.*, 2008; Corsi, 1972). Οι σχετικές δοκιμασίες ασχολούνται κυρίως με την ανάκληση μιας λίστας αντικειμένων με τη σωστή σειρά, ή τη γρήγορη απομνημόνευση συγκεκριμένων εικόνων, όπως επίσης και την απομνημόνευση μιας αλληλουχίας σχημάτων μέσα σε ένα σύνολο σχημάτων διαφορετικών χαρακτηριστικών. Διαφορετικά ερωτήματα μέσα σε αυτά τα τεστ αφορούν τη συγκράτηση ή την επεξεργασία πληροφορίας. Ένα τεστ που χρησιμοποιείται εκτενώς για τη μνήμη εργασίας, το οποίο έχει υποστεί αρκετές παραλλαγές για να επικαιροποιηθεί ή για να ικανοποιήσει διαφορετικούς ερευνητικούς σκοπούς, είναι και το Corsi (Corsi, 1972) (Εικόνα 1.5).



Εικόνα 1.5: Τεστ μέτρησης της μνήμης εργασίας Corsi Block-Tapping (CBT).

Το Corsi-Block-Tapping (τεστ που βασίζεται στην απομνημόνευση και επιλογή συγκεκριμένων block) (Εικόνα 1.5), χρησιμοποιείται για να προσδιορίσει κυρίως την οπτικοχωρική μνήμη εργασίας. Η πρώτη του εκδοχή περιείχε μονάδες τοποθετημένες μέσα σε ένα ξύλινο πένακα, αλλά σήμερα έχει αντικατασταθεί από σύγχρονες ψηφιακές εκδόσεις που παρέχουν στον χρήστη και τον αναλυτή τα θετικά της ψηφιοποίησης, καθώς και διάφορες εναλλακτικές επιλογές.



Εικόνα 1.6: Γνωστικές λειτουργίες που εξαρτώνται από τη μνήμη εργασίας.

Η μνήμη γενικότερα, αλλά πολύ περισσότερο η μνήμη εργασίας, είναι ένα δυναμικό σύστημα που επιδέχεται αλλαγών και εξέλιξης (Fenesi *et al.*, 2014). Σχετίζεται με την ευφυΐα ενός ατόμου, με τον τρόπο και την ευχέρεια μάθησης, καθώς και με άλλους μαθησιακούς παράγοντες (Εικόνα 1.6). Η χωρητικότητα της μνήμης εργασίας και ο τρόπος με τον οποίο αυτή συνδέεται με τις επιδόσεις σε επιστημονικής φύσης θέματα, έχει γίνει αντικείμενο πολλών μελετών τις τελευταίες δεκαετίες.

Ο τρόπος με τον οποίο κάθε άνθρωπος ανταποκρίνεται στα μαθησιακά ερεθίσματα, εξαρτάται και αυτός από τις ικανότητες της μνήμης εργασίας του. Ανάλογα και η ενδοσχολική μάθηση που επιτυγχάνεται μέσω διδασκαλίας και επεξεργασία πληροφορίας, επηρεάζεται από τη μνήμη εργασίας (Fenesi *et al.*, 2014). Πτυχές της ακαδημαϊκής επιτυχίας, όπως είναι η μελέτη, η συγγραφή κειμένων ή η μάθηση δεύτερης γλώσσας και οι επιδόσεις στα μαθηματικά, παρουσιάζουν μέτρια έως μεγάλη συσχέτιση με επιδόσεις σε τεστ που αφορούν τη μνήμη εργασίας (Engle *et al.*, 1999). Η εξάσκηση της μνήμης εργασίας και η οργάνωση της γνώσης μπορούν να διευκολύνουν τη μάθηση και την ανάπτυξη δεξιοτήτων και να μειώσουν το γνωστικό φορτίο της μνήμης, καθώς τα τμήματα της γνώσης δε χρειάζεται να διατηρούνται κατακεραματισμένα στη μνήμη. Τα τελευταία χρόνια στις γνωστικές επιστήμες έχει δημιουργηθεί ένα πλαίσιο για την ανάπτυξη συγκεκριμένων εκπαιδευτικών παρεμβάσεων.

Η μη εξασκημένη μνήμη, μπορεί να προκαλέσει μια ποικιλία **μαθησιακών προβλημάτων**, καθώς διαδραματίζει πολύ σημαντικό ρόλο στη σύνδεση σκέψεων και ιδεών. Ο βαθμός καταληψιμότητας και η ολική χωρητικότητα της μνήμης εργασίας είναι σημαντικοί παράγοντες, από τους οποίους εξαρτώνται συγκεκριμένα χαρακτηριστικά της μάθησης, όπως είναι για παράδειγμα η περίοδος συγκράτησης της πληροφορίας και η ακαδημαϊκή επιτυχία (Dehn, 2008). Η αξιολόγηση των επιδόσεων της μνήμης ενός ατόμου είναι σημαντική και για τους εκπαιδευτικούς, και μπορεί να οδηγήσει σε στοχευμένες παρεμβάσεις για την κάλυψη συγκεκριμένων ελλείψεων (Fenesi *et al.*, 2014).

Η περιορισμένη χωρητικότητα της μνήμης πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψη κατά τη διάρκεια μιας διδακτικής διαδικασίας και κατά τη μελέτη μέσα σε ένα διδακτικό-πολυμεσικό περιβάλλον. Πολλά περιβάλλοντα μάθησης αποτυγχάνουν τους στόχους τους, επειδή σχεδιάστηκαν χωρίς αναφορές στη μνήμη εργασίας και χωρίς να ληφθούν υπόψη οι περιορισμοί που αυτή διαθέτει (Kalyuga, 2011; Sweller *et al.*, 1998). Μεγάλος όγκος πληροφορίας μπορεί να υπερφορτώσει τη μνήμη εργασίας και πιο συγκεκριμένα το οπτικό κανάλι επεξεργασίας, οδηγώντας σε φτωχή κατανόηση του διδασκόμενου θέματος. Είναι προτιμότερο λοιπόν, η διαδικασία να είναι τμηματοποιημένη. Κάθε τμήμα της πρέπει να αποτελείται από οργανωμένη πληροφορία που μπορεί να επεξεργασθεί στη μνήμη εργασίας, χωρίς να την υπερφορτώσει (Suits, 2015).

1.2 Διαχείριση γνωστικού φορτίου

Η συνολική νοητική προσπάθεια που θα πρέπει να καταβάλει η μνήμη εργασίας, ώστε να επεξεργαστεί την πληροφορία που έχει συγκεντρωθεί σε αυτήν, έχει άμεση συσχέτιση με το γνωστικό φορτίο της. Η Θεωρία του Γνωστικού Φορτίου, (CLT, Cognitive Load Theory) αναπτύχθηκε από τον John Sweller στα τέλη της δεκαετίας του 1980. Συνεχείς αναφορές στο γνωστικό φορτίο, όσο και στη θεωρία του Sweller γίνονται από σχεδιαστές εκπαιδευτικού λογισμικού, καθώς περιγράφονται τρόποι ελάττωσης του γνωστικού φορτίου για την επίτευξη καλύτερων μαθησιακών αποτελεσμάτων.

Για να αναπτύξει τη θεωρία του ο Sweller, βασίστηκε σε δυο επιστημονικές παρατηρήσεις: 1) στο γεγονός ότι η ανθρώπινη *μνήμη εργασίας είναι περιορισμένη*, ενώ η μακροπρόθεσμη μνήμη έχει απεριόριστες δυνατότητες για αποθήκευση πληροφορίας και

2) στη δόμηση της πληροφορίας σε *νοητικά σχήματα* και στον ρόλο που αυτά διαδραματίζουν στην εγκαθίδρυση της γνώσης.

Συνοπτικά, ο Sweller αναφέρει ότι η ανθρώπινη γνωστική αρχιτεκτονική (Cognitive Architecture) είναι ένας επεξεργαστής πληροφορίας και καθορίζεται από πέντε βασικά στοιχεία (*έννοιες και αρχές*) (Sweller, 2011; Wong *et al.*, 2012):

1. *Την αρχή αποθήκευσης της πληροφορίας στη μακροπρόθεσμη μνήμη* (De Groot, 1965). Σύμφωνα με αυτήν, η λειτουργία της μακροπρόθεσμης μνήμης χρησιμεύει στο ανθρώπινο γνωστικό σύστημα για την αποθήκευση της πληροφορίας.

2. *Τη θεωρία για τα νοητικά σχήματα και την αρχή για τη μεταφορά και την επαναταξινόμηση της πληροφορίας*. Περιγράφουν τον τρόπο με τον οποίο αποκομίζεται πληροφορία από άλλα άτομα.

3. *Τον ρόλο της επίλυσης προβλημάτων και την αρχή για την τυχαιότητα δημιουργίας (randomness as genesis) της γνώσης*. Για τη δημιουργία πρωτότυπης γνώσης (όταν δεν υπάρχει πρότερη εμπειρία) κάποιο άτομο επιλέγει, επεξεργάζεται την πληροφορία και καταλήγει μόνο του σε συμπεράσματα.

4. *Την αρχή για τα στενά όρια μεταβολής που αφορά τη μνήμη εργασίας*. Σύμφωνα με αυτή την αρχή, η τυχαία αναπαραγωγή πληροφορίας αποτρέπεται για την προστασία της αποθήκευσης πληροφορίας.

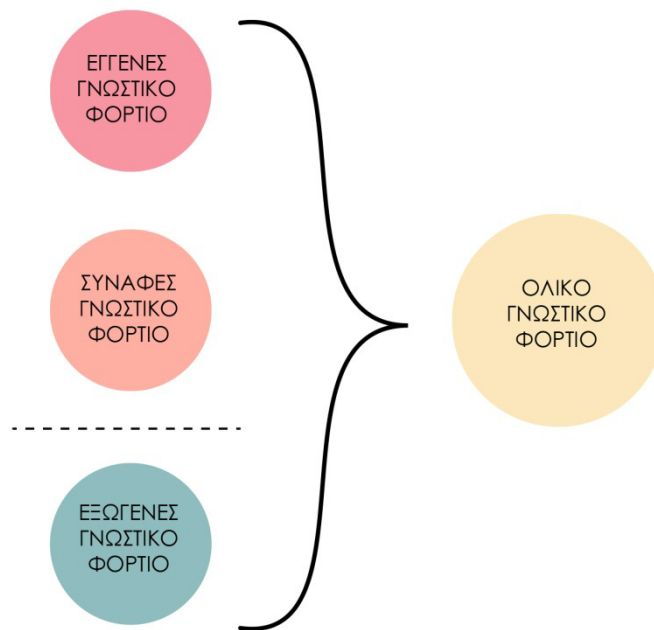
5. *Την αρχή της οργάνωσης της πληροφορίας και των σχέσεων, που αφορά τη μακροπρόθεσμη μνήμη (environmental organizing)*. Ο χρήστης διδακτικών εργαλείων χρησιμοποιεί την αποθηκευμένη πληροφορία για να καθορίσει μια κατάλληλη ενέργεια μέσα σε κάποιο περιβάλλον (Sweller, 2011).

Το γνωστικό φορτίο μπορεί πολλές φορές να αναφέρεται σαν μια ολότητα, χωρίς κάποιον άλλο διαχωρισμό, αλλά σύμφωνα με τη γνωστική ψυχολογία χωρίζεται σε τρεις διαφορετικές κατηγορίες. Σύμφωνα με τη θεωρία του γνωστικού φορτίου (Sweller *et al.*, 1998) οι τρεις διαφορετικοί τύποι γνωστικού φορτίου (Εικόνα 1.7) αθροίζονται και «επιβαρύνουν» τη μνήμη εργασίας (De Jong, 2010):

α) το *εγγενές γνωστικό φορτίο* το οποίο δημιουργείται από τη διάδραση του διδασκόμενου με τη φύση του υλικού το οποίο διδάσκεται και εξαρτάται κυρίως από την πολυπλοκότητα της διδασκόμενης πληροφορίας (Chandler & Sweller, 1991, Sweller *et al.*, 2011). Το εγγενές φορτίο παραμένει χαμηλό για τα στοιχεία για τα οποία δεν

απαιτείται ιδιαίτερη διάδραση και πρότερη γνώση για την εκμάθησή τους καθώς η επεξεργασία της μνήμης λόγω των εγγενών διεργασιών παραμένει σε χαμηλά επίπεδα. Είναι συγκεκριμένο και αμετάβλητο και δεν μπορεί να μειωθεί με χρήση εναλλακτικών μεθόδων διδασκαλίας ή από ένα κατάλληλα σχεδιασμένο λογισμικό. Η ελάττωση του, δεν αποτελεί τον στόχο των σχεδιαστών λογισμικού, αλλά η τμηματοποίηση διάφορων νοητικών σχημάτων ενδέχεται να βοηθάει (Kirschner *et al.*, 2006).

β) το *εξωγενές γνωστικό φορτίο*, που έχει να κάνει με παράγοντες που δεν είναι συναφείς και κεντρικοί στο υλικό το οποίο διδάσκεται και επηρεάζεται από τη διδακτική διαδικασία (Chandler & Sweller, 1991, Sweller *et al.*, 2011). Το εξωγενές γνωστικό φορτίο είναι επιβαρυντικό κατά τη μάθηση. Αποτελεί το περιττό τμήμα του γνωστικού φορτίου που προσπαθούμε να αποφύγουμε κατά τον σχεδιασμό της διδακτικής διαδικασίας και στην ελάττωση του οποίου στοχεύουν οι κατάλληλες μέθοδοι διδασκαλίας και τα ψηφιακά εκπαιδευτικά μέσα.



Εικόνα 1.7: Κατηγορίες Γνωστικού φορτίου (Τρία είδη: εγγενές, συναφές και εξωγενές).

γ) Το *συναφές γνωστικό φορτίο*. Το συναφές είναι εκείνο το τμήμα του γνωστικού φορτίου που δημιουργείται εξαιτίας των νοητικών διεργασιών και της προσπάθειας για την κατασκευή νοητικών σχημάτων και μοντέλων που υποστηρίζουν τη μάθηση και οργανώνουν την πληροφορία στη μνήμη (Paas & Van Marriënboer, 1994). Σύμφωνα με τους Sweller *et al.* (1998) και αυτό το είδος γνωστικού φορτίου επιδέχεται μεταβολής μέσω διδακτικών παρεμβάσεων αν και δεν δημιουργείται από τα διδακτικά μέσα

(Sweller *et al.*, 2011). Επειδή όμως, είναι = ωφέλιμο τμήμα του γνωστικού φορτίου που μπορεί να λειτουργήσει επικερδώς ως προς τη μάθηση, συνήθως επιθυμούμε την αύξηση και όχι τη μείωση του, μέσα στα πλαίσια μιας διδακτικής διαδικασίας. Φυσικά, η αύξηση του συναφούς γνωστικού φορτίου θα πρέπει να γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι αφομοιώσιμο και όχι να επιβαρύνει τον διδασκόμενο. Στα διδακτικά εργαλεία, είναι σημαντικό να χρησιμοποιείται η μέγιστη δυνατή πληροφορία που μπορεί να επεξεργαστεί και να δράσει διδακτικά. Διαφορετικά, έχει αντίθετο ρόλο από αυτόν που θα έπρεπε και αποτελεί εμπόδιο στη μάθηση.

Ο κατάλληλος σχεδιασμός της διδακτικής διαδικασίας και συγκεκριμένες διδακτικές δραστηριότητες, όπως για παράδειγμα η χρήση λυμένων παραδειγμάτων ή η χρήση διδακτικών εφαρμογών, ενδέχεται να αυξήσουν το γνωστικό φορτίο στο σύνολο του. Εξαιτίας του γεγονότος ότι αυξάνουν κυρίως το συναφές γνωστικό φορτίο, έχουν θετικό αντίκτυπο στη μάθηση, οργανώνουν την πληροφορία σε νοητικά σχήματα και θεωρούνται πολύτιμες για τη διδακτική διαδικασία.

Τα νοητικά σχήματα και ο ρόλος τους για το γνωστικό φορτίο

Σύμφωνα με τη *θεωρία των νοητικών σχημάτων*, τα σχήματα αποτελούν τη μορφή και τον τρόπο οργάνωσης της πληροφορίας στη μακροπρόθεσμη μνήμη. Ένα σχήμα ταξινομεί την πληροφορία, ανάλογα με τον τρόπο που αυτή πρόκειται να χρησιμοποιηθεί (Sweller *et al.*, 1998). Αυτή όμως δεν είναι και η μοναδική λειτουργία που επιτελούν τα σχήματα. Τα σχήματα λειτουργούν ως συντονιστές της παρεχόμενης πληροφορίας και των περιορισμών που διαθέτει (Greeno, 1998). Κατά τη διδακτική διαδικασία, τα νοητικά σχήματα έχουν τη δυνατότητα να μειώνουν το φορτίο της μνήμης εργασίας. Η μνήμη εργασίας μπορεί να επεξεργαστεί ταυτόχρονα ένα πεπερασμένο αριθμό από αντικείμενα πληροφορίας (ανεξάρτητα από το μέγεθος, την πολυπλοκότητα τους και τη φιλοσοφία τους) και τα σχήματα μπορούν να παίξουν σημαντικό ρόλο, αφού αντιμετωπίζονται από τη μνήμη σαν μια και μοναδική οντότητα.

Η πληροφορία μπορεί να επεξεργαστεί, είτε ενσυνείδητα, είτε αυτοματοποιημένα (Shiffrin & Schneider, 1977). Η αυτοματοποίηση των σχημάτων είναι μια διαδικασία σημαντική για τη μνήμη και είναι δυνατό να επιτευχθεί μετά από εξάσκηση /ενασχόληση με το εξεταζόμενο θέμα (Sweller *et al.*, 1998). Η αυτοματοποιημένη επεξεργασία πληροφορίας δεν επιβαρύνει τη μνήμη εργασίας, ούτε αυξάνει το γνωστικό φορτίο.

Η εμπειρία των διδασκόντων ή των έμπειρων επιστημόνων πάνω σε ένα συγκεκριμένο θέμα, προσφερόμενη σε κατάλληλη μορφή, μπορεί να λειτουργήσει ως ο παράγοντας εκείνος που θα οργανώσει την πληροφορία που υπάρχει στη μνήμη ενός ατόμου. Πολλές διδακτικές πρακτικές ενθαρρύνουν την οργάνωση της πληροφορίας. Η διδακτική καθοδήγηση μπορεί να λειτουργήσει ως υποκατάστατο στην έλλειψη σχημάτων και να βοηθήσει στην ανάπτυξη τους.

Γνωστικό Φορτίο και Σχεδιασμός Πολυμεσικού Υλικού

Ο τρόπος διάδρασης και επεξεργασίας του υλικού για κάθε άτομο, εξαρτάται φυσικά από τα χαρακτηριστικά του και την εξάσκηση των γνωστικών δομών του. Οι εισηγητές και οι σχεδιαστές είναι βασικό να λαμβάνουν υπόψη ότι πριν την οργάνωση του υλικού στη μακροπρόθεσμη μνήμη ο διδασκόμενος το επεξεργάζεται στη μνήμη εργασίας του, που διαθέτει περιορισμένη χωρητικότητα.

Η σημαντικότητα της θεωρίας γνωστικού φορτίου για τον σχεδιασμό λογισμικού, φαίνεται από το γεγονός ότι συνεχώς διατυπώνονται νέες προτάσεις για τον σχεδιασμό και την υποβοήθηση της πολυμεσικής διδασκαλίας. Το σύνολο των προτάσεων των διάφορων μοντέλων επεξεργασίας, αποβλέπει στην ανάπτυξη και την πιο επιτυχή δόμηση νοητικών σχημάτων κατά τη διδασκαλία, γιατί αυτό είναι που βοηθά στην κατανόηση και τη συγκράτηση της πληροφορίας. Σύμφωνα με τον Sweller (2011) σημαντικές διδακτικές δραστηριότητες για τον σχεδιασμό πολυμεσικού υλικού είναι η χρήση προβλημάτων ανοικτού τύπου, προβλημάτων συμπλήρωσης, όπως επίσης και η παρουσίαση λυμένων παραδειγμάτων. Επιπρόσθετα, οι Chandler & Sweller, σε άρθρο τους (1991) αναφέρουν πως εκτός από την εκτεταμένη χρήση λυμένων παραδειγμάτων, είναι σημαντική η σαφής διατύπωση των θεωρητικών οδηγιών με ενιαία και όχι τμηματοποιημένη μορφή. Θεωρούν ότι, οι πολλαπλές πηγές πληροφορίας, θα πρέπει να είναι συγκεντρωμένες και να μην επιζητείται από τον διδασκόμενο να κάνει ο ίδιος τις νοητικές διεργασίες για την ενοποίηση τους.

Συνοψίζοντας, βασικό μέλημα του σχεδιασμού πολυμεσικού υλικού, όπως και οποιουδήποτε τύπου υλικού διδασκαλίας, είναι η μείωση του εξωγενούς γνωστικού φορτίου που δημιουργείται από ακατάλληλες τεχνικές. Η μείωση του εξωγενούς γνωστικού φορτίου απελευθερώνει τη μνήμη εργασίας και μπορεί να οδηγήσει στην

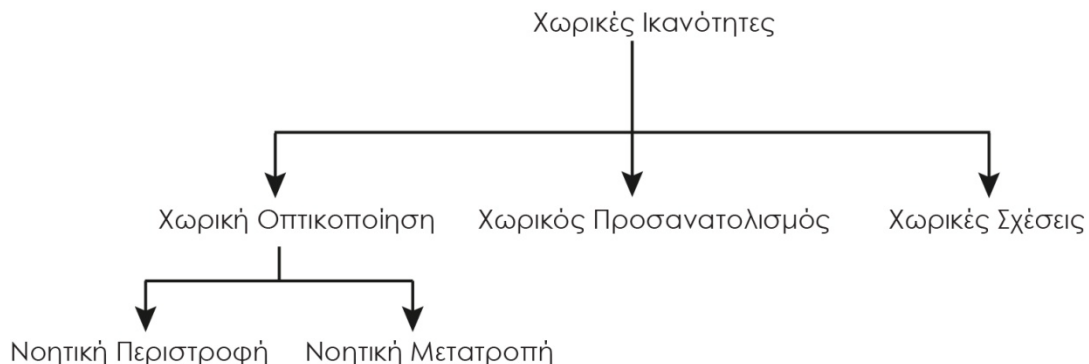
αύξηση του συναφούς γνωστικού φορτίου, κάτι που είναι ιδιαίτερα σημαντικό όταν το υλικό είναι περίπλοκο και απαιτείται καταπόνηση της μνήμης εργασίας.

1.3 Ο Ρόλος της Οπτικοχωρικής Ικανότητας

Ορισμοί και Δομή Οπτικοχωρικής Αντίληψης

Η χωρική ικανότητα είναι μια γνωστική δεξιότητα σημαντική σε όλες τις εκφάνσεις της καθημερινότητας του ανθρώπου. Ο Lohman (1993) ορίζει τη χωρική ικανότητα σαν την ικανότητα παραγωγής, διατήρησης, ανάκτησης και χειρισμού αφηρημένων οπτικών εικόνων. Ο διαχωρισμός του χωρικού παράγοντα από το υπόλοιπο τμήμα της ευφυΐας έγινε μέσω ψυχομετρικών μελετών από το 1880 έως το 1940. Ακολούθησε η μελέτη των πολλαπλών χωρικών παραγόντων, οι ψυχομετρικές μελέτες σε γνωστικά θέματα και θέματα ανάπτυξης. Οι σύγχρονες μελέτες αφορούν την επίδραση της τεχνολογίας στη μέτρηση, εξέταση και βελτίωση της χωρικής ικανότητας (Mohler, 2008).

Στο πιο βασικό της επίπεδο, η χωρική σκέψη συνδέεται με την ικανότητα κωδικοποίησης, απομνημόνευσης, μετατροπής της χωρικής πληροφορίας και την ικανότητα ταύτισης ερεθισμάτων με αυτήν (Harle & Towns, 2010). Σύμφωνα με τον Kimura (1999), με τον όρο χωρική αντίληψη εννοούμε μια πληθώρα ευρύτερων δεξιοτήτων, όπως είναι ο χωρικός προσανατολισμός, η ανάκληση συγκεκριμένης θέσης, η αντίληψη της πορείας ενός αντικειμένου, η ικανότητα απεικόνισης στον χώρο σε σύγκριση με κάποιο στατικό αντικείμενο, η ενσωμάτωση μιας δομής σε μια μεγαλύτερη και τέλος η αντίληψη των κατευθύνσεων (οριζόντια - κατακόρυφη).



Εικόνα 1.8: Σχήμα για τις χωρικές ικανότητες (Sorby, 1999)

Οι βασικότεροι παράγοντες που επηρεάζουν την οπτικοχωρική αντίληψη ενός ατόμου

είναι τρεις, κατά τον Lohman (παράθεση Harle & Towns, 2010):

α) Οι *χωρικές σχέσεις*, οι οποίες αφορούν διεργασίες που απαιτούν νοητική περιστροφή ενός αντικείμενου σε κάποιο επίπεδο ή εκτός του επιπέδου στον τρισδιάστατο χώρο, ενώ η ταχύτητα περιστροφής δεν αποτελεί μεταβλητή αυτού του παράγοντα.

β) Ο *χωρικός προσανατολισμός*, ο οποίος αναφέρεται στην ικανότητα ενός ατόμου να φαντάζεται ένα αντικείμενο ή ένα διάνυσμα υπό διαφορετική οπτική (Seabra & Santos, 2008). Ο χωρικός προσανατολισμός είναι δύσκολα ανιχνεύσιμος, γιατί διάφορα προβλήματα που απαιτούν τέτοιου είδους επεξεργασία μπορούν να απαντηθούν με μεταβολή του ίδιου του αντικείμενου και όχι με χρήση διαφορετικής οπτικής γωνίας.

γ) Η *χωρική οπτικοποίηση*, η οποία σχετίζεται με διεργασίες που έχουν να κάνουν με χαρακτηριστικά των χωρικών εικόνων, όπως είναι μια κίνηση ή αλλαγή θέσης των αντικειμένων μιας εικόνας. Αφορά περιπλοκότερες διεργασίες από αυτές των δύο προηγούμενων παραγόντων. Η χωρική οπτικοποίηση συναποτελείται από τις ικανότητες νοητικής περιστροφής και μετατροπής (Sorby, 1999) (Εικόνα 1.8).

Η έρευνα πάνω στους παράγοντες και τις πτυχές των χωρικών ικανοτήτων συνεχίζεται και το πλήθος των παραγόντων που την επηρεάζουν αυξάνεται με το πέρασμα των χρόνων (Yilmaz, 2009). Οι νέες ερευνητικές μελέτες οδήγησαν στην προσθήκη άλλων τριών καθοριστικών παραγόντων:

α) Η ικανότητα αναγνώρισης ενός αντικείμενου που κατά ένα μέρος του είναι κρυμμένο ή ασαφές χωρίς να γνωρίζουμε εκ των προτέρων το ίδιο το αντικείμενο.

β) Η ικανότητα εύρεσης κάποιας συγκεκριμένης, κρυμμένης μορφής που είναι ενσωματωμένη σε ένα μεγαλύτερο σύνολο και

γ) Η ταχύτητα εύρεσης ενός μοναδικού αντικείμενου σε ένα σύνολο πανομοιότυπων αντικειμένων μιας αλληλουχίας ή η ακριβής σύγκριση μιας ή και περισσότερων αλληλουχιών όταν τα αντικείμενα ή οι αλληλουχίες δεν είναι κρυμμένα από κάτι άλλο.

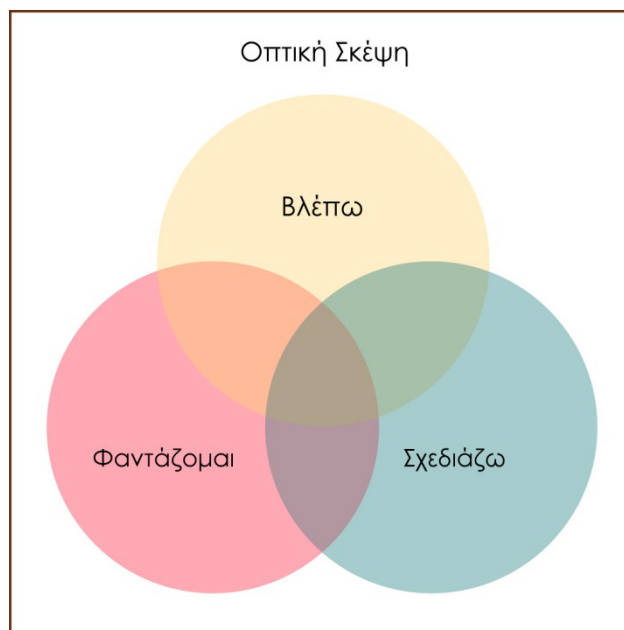
Τρόποι Μέτρησης Χωρικής Ικανότητας

Η χωρική ικανότητα, είναι δυνατόν να μετρηθεί μέσω συγκεκριμένων τεστ που έχουν σχεδιαστεί για αυτόν το λόγο. Για την ανίχνευση του παράγοντα των χωρικών σχέσεων συχνά χρησιμοποιείται το Purdue Visualization of Rotation Test (PVROT) που σχεδιάστηκε από τους Bodner και Guay και το τεστ των Vandenburg και Kuse που

ονομάζεται Mental Rotations Test (MRT) (Peters *et al* 1995). Ο χωρικός προσανατολισμός ανιχνεύεται με το Purdue Spatial Visualization Test (PSVT) που σχεδιάστηκε και αυτό από τον Guay, όπως και το Perspective Taking/Spatial Orientation Test από τους Hegarty, Kozhevnikov και Waller (Kozhevnikov & Hegarty, 2001; Hegarty & Waller, 2004). Ο Guay σχεδίασε και ερωτήματα ανίχνευσης του παράγοντα της χωρικής οπτικοποίησης των οπτικοχωρικών ικανοτήτων. Ανάλογη εργασία έχουν κάνει και οι Guilford και Lacy με το Paper Folding Test (French *et al.*, 1963). Η χωρική οπτικοποίηση ανιχνεύεται επίσης και με το Differential Aptitude Test: Space Relations (Bennett *et al.*, 1974).

Αντικείμενο έρευνας έχουν αποτελέσει οι ατομικές διαφορές που επηρεάζουν την οπτικοχωρική αντίληψη του κάθε ατόμου. Το φύλο σύμφωνα με κάποιους ερευνητές, είναι ένας παράγοντας που φαίνεται να επηρεάζει τις χωρικές ικανότητες των ατόμων (Harle & Towns, 2010) ανεξάρτητα από άλλες παραμέτρους, όπως είναι το οικονομικό επίπεδο, η εθνικότητα, η ηλικία και οποιοσδήποτε άλλος δημογραφικός παράγοντας (Eals & Silverman, 1994). Οι διαφορές των δύο φύλων οφείλονται τόσο σε βιολογικούς όσο και σε παράγοντες του περιβάλλοντος που επηρεάζουν διαφορετικά την εξέλιξη των δύο φύλων. Κάποιοι ερευνητές ωστόσο, θεωρούν κυρίως βιωματικούς τους λόγους της ύπαρξης διαφορών και θεωρούν ότι μπορούν να εξομαλυνθούν με ίσες ευκαιρίες σε πρακτική (Rafi *et al.*, 2008; Titus & Horseman, 2009; Piburn *et al.*, 2001), ενώ ορισμένοι ερευνητές θεωρούν ότι δεν υπάρχει ουσιαστική διαφορά μεταξύ των δύο φύλων (Newcombe & Stieff, 2012).

Σύμφωνα με τον McKim (1980), η οπτική σκέψη καθορίζεται από αυτά που οι άνθρωποι βλέπουν, αυτά που φαντάζονται και αυτά που σχεδιάζουν. Επίσης, θεωρεί ότι οι έμπειροι, έχουν μάθει να εργάζονται μέσω της οπτικής σκέψης και χρησιμοποιούν αυτές τις ικανότητες με έναν ευέλικτο και διαδραστικό τρόπο (Εικόνα 1.9).



Εικόνα 1.9: Σχήμα για την οπτική σκέψη (McKim, 1980)

Ο βαθμός στον οποίο τα άτομα χρησιμοποιούν το αριστερό ή το δεξί τμήμα του εγκεφάλου, είναι επίσης ένας σημαντικός παράγοντας που διερευνάται για τον ρόλο που διαδραματίζει στη διαμόρφωση οπτικοχωρικής αντίληψης (Mohler, 2008).

Μεγάλο ερευνητικό ενδιαφέρον έχει παρουσιάσει και η εξέλιξη της οπτικοχωρικής αντίληψης κατά την ηλικιακή ανάπτυξη των ατόμων. Κατά τους Piaget και Inhelder (1971), οι φάσεις εξέλιξης της οπτικοχωρικής αντίληψης είναι τρεις. Αρχικά, τα παιδιά έχουν μόνο ικανότητες που αφορούν τις δύο διαστάσεις. Σταδιακά, αντιλαμβάνονται την έννοια του χώρου και ξεκινούν να έχουν επαφή με τα τρισδιάστατα αντικείμενα. Εξασκούνται σε διαφορετικές οπτικές γωνίες, καθώς και στην περιστροφή των αντικειμένων. Στο τελευταίο στάδιο, αποκτούν την ικανότητα μετάβασης από τον δισδιάστατο στον τρισδιάστατο χώρο και το αντίθετο (Mohler, 2008). Ο τρόπος με τον οποίο γίνεται η μετάδοση των χωρικών ικανοτήτων, ενδέχεται να επηρεάζει τον τρόπο ανίχνευσής τους. Έτσι, τόσο η γλώσσα όσο και οι αναπαραστάσεις, μπορούν να διευκολύνουν ή και να εμποδίσουν τον τρόπο ανίχνευσης των χωρικών ικανοτήτων, αλλά όχι τη χωρική σκέψη, αυτή καθ' αυτή (Newcombe & Stieff, 2012).

Οπτικοχωρικές Ικανότητες στις επιστήμες και στη Χημεία

Η χωρική ικανότητα, φαίνεται να σχετίζεται με τη μνήμη, τη συγκράτηση της πληροφορίας και να επηρεάζει έμμεσα ή άμεσα τις επιδόσεις στις επιστήμες και τη μηχανική (Onyancha *et al.*, 2009). Οι οπτικοχωρικές αντιλήψεις θεωρούνται σημαντικές

για την επιτυχία σε πολλούς τομείς των επιστημών της τεχνολογίας, της μηχανικής, των μαθηματικών και της γεωγραφίας (Jenkins *et al.*, 1997; Dong & El-Sayed, 2011; Titus & Horsman, 2009; Coleman & Gotch, 1998; Harle & Towns, 2010, Seabra & Santos, 2008). Ο ρόλος τόσο της **οπτικής σκέψης**, όσο και των **χωρικών ικανοτήτων** που συνθέτουν την οπτικοχωρική αντίληψη, μπορεί να βοηθήσει στην κατανόηση αρκετών θεμάτων και να αποτελέσει παράγοντα που προβλέπει τις επιδόσεις των φοιτητών σε συγκεκριμένα επιστημονικά θέματα (Wu & Shah, 2004).

Όπως πολλοί επιστήμονες, έτσι και ένα μεγάλο μέρος των χημικών, έχουν αντιληφθεί την επίδραση των οπτικοποιήσεων στη διδασκαλία και την εκπαίδευση και αναγνωρίζουν τη σημασία των οπτικοχωρικών αντιλήψεων. Η μάθηση στη Χημεία, βασίζεται κατά πολύ στην «οπτική παιδεία» των διδασκομένων, γιατί πολλά θέματα ερμηνεύονται και βασίζονται στις οπτικοποιήσεις και τις αναπαραστάσεις (δεσμοί, μεταφορά ηλεκτρονίων, ενέργεια, κρυσταλλογραφία) (Ozdemir, 2010). Η οπτικοχωρική αντίληψη και γενικότερα η οπτική γλώσσα, θα μπορούσε να κάνει πιο προσιτές τις σχέσεις μεταξύ των τριών αναπαραστασιακών επιπέδων και να βελτιώσει τις αναπαραστασιακές δεξιότητες. Η στοχευμένη εξάσκηση και ενασχόληση με οπτικοχωρικά ζητήματα, μπορούν να βελτιώσουν τις επιδόσεις σε χωρικά και σε μη χωρικά προβλήματα Χημείας (Wu & Shah, 2004). Παραδείγματα από βασικές ενότητες Χημείας στις οποίες η οπτικοχωρική αντίληψη κρίνεται χρήσιμη έως απαραίτητη είναι: α) η Οργανική Χημεία με τις αναπαραστάσεις στικτών - έντονων γραμμών και τις προβολές Fischer και Newman να έχουν αποτελέσει αντικείμενο αρκετών ερευνών (Olimpo *et al.* 2015; Kumi *et al.*, 2013; Stieff & Rajee, 2010; Wu & Shah, 2004), β) η Ανόργανη Χημεία με τους κανόνες VSEPR και τις Δομές των Συμπλοκών και γ) η Θεωρία Ομάδων και η Στερεοχημεία κ.α..

Τρόποι Βελτίωσης των Χωρικών Ικανοτήτων

Από έρευνες φαίνεται ότι η οπτικοχωρική αντίληψη είναι δυνατό να βελτιωθεί με την πάροδο των χρόνων και με κατάλληλες διδακτικές παρεμβάσεις (Barke & Enginda, 2001; Mohler, 2008; Sorby, 2009). Περίπου στην ηλικία των 14 ετών η χωρική αντίληψη έχει αναπτυχθεί σε ένα τέτοιο βαθμό, που οι μαθητές έχουν τη δυνατότητα να κατανοήσουν ένα δισδιάστατο σχέδιο κύβου, τετραέδρου ή οκταέδρου καθώς και τη χωρική διευθέτηση του (Barke & Enginda, 2001).

Ψηφιακές τεχνολογίες, όπως είναι τα τρισδιάστατα μοντέλα ή οι τεχνολογίες εικονικής και επαυξημένης πραγματικότητας (Gutierrez *et. al.*, 2015) και οι διάφορες προσομοιώσεις, είναι δυνατό να συμμετέχουν στη δόμηση ψηφιακών περιβαλλόντων που θα βοηθήσουν στην ανάπτυξη και τη διερεύνηση της οπτικοχωρικής αντίληψης (Rafi *et al.*, 2008). Η χωρική αντίληψη από την άλλη μεριά, είναι ένας παράγοντας ο οποίος επηρεάζει την αντίληψη, τη χρήση και το είδος της πληροφορίας που αποκομίζει ο φοιτητής από τα ψηφιακά μοντέλα (Marunic & Glazar, 2012). Δηλαδή τα ψηφιακά μοντέλα βοηθούν την οπτικοχωρική αντίληψη και αυτή βοηθά με τη σειρά της την κατανόηση των μοντέλων. Κάτι ανάλογο συμβαίνει και με τη διδασκαλία διάφορων επιστημονικών θεμάτων. Η οπτικοχωρική αντίληψη είναι δυνατό να βελτιωθεί με στοχευμένη εκπαίδευση ή με διδασκαλία διαφόρων επιστημονικών θεμάτων, για τα οποία είναι απαραίτητη η χρήση της χωρικής ικανότητας (Newcombe & Stieff, 2012).

Η εκπαίδευση σε αυτές τις ικανότητες φαίνεται να γίνεται πιο ουσιαστική με τη χρήση οπτικοποιήσεων, σχεδιοκινήσεων και ψηφιακών διαδραστικών μοντέλων. Σημαντική είναι επίσης και η εισαγωγή του χωρικού συλλογισμού στην τάξη, που μπορεί να επιτευχθεί μέσω: α) της διδασκαλίας των χωρικών στρατηγικών, β) της παρουσίασης της διαδικασίας λύσης χωρικών προβλημάτων και της επιλογής των χωρικών στρατηγικών, γ) της μελέτης εξωτερικών ερεθισμάτων και δ) της παρότρυνσης των διδασκόμενων να ελέγχουν μόνοι τη δική τους πρόοδο (His *et al.*, 1997).

Ακόμη πιο συγκεκριμένες ιδέες που έχουν μελετηθεί ερευνητικά για τη βελτίωση της οπτικοχωρικής αντίληψης είναι για παράδειγμα η μελέτη τεχνικού σχεδίου (Prieto & Velasco, 2009) και η ενασχόληση με φυσικά μοντέλα χημικών ενώσεων. Τέτοιου είδους πρακτικές στη Χημεία είναι δυνατό να βελτιώσουν τις οπτικοχωρικές ικανότητες και ειδικότερα την αντίληψη των χωρικών σχέσεων (Barke & Enginda, 2001). Η διάδραση με τρισδιάστατα αντικείμενα μπορεί να αναπτύξει καλύτερη αντίληψη του χώρου, των χωρικών διευθετήσεων και να οδηγήσει σε καλύτερη οπτικοποίηση. Ειδικότερα, η παρουσίαση κατάλληλων μεταφράσεων από 2D σε 3D για την αποκωδικοποίηση πληροφοριών που προσφέρουν οι δισδιάστατες αναπαραστάσεις και αφορούν τον τρισδιάστατο χώρο, μπορούν να δράσουν σαν καλό εργαλείο εξάσκησης. Διαδραστικά εργαλεία που απαρτίζονται από ψηφιακά μοντέλα ή περιβάλλοντα εικονικής πραγματικότητας, μπορούν επίσης να βοηθήσουν τη χωρική αντίληψη των διδασκόμενων

(Rafi *et al.* 2008, Onyancha *et al.*, 2009). Συγκεκριμένα χαρακτηριστικά της χωρικής αντίληψης μπορούν να βελτιωθούν ακόμη και με εργαλεία που δε δρουν στοχευμένα πάνω σε αυτά τα χαρακτηριστικά (Wright *et al.*, 2008), όπως θα ήταν για παράδειγμα τα τρισδιάστατα ψηφιακά παιχνίδια (videogames) ή άλλες ανάλογες δραστηριότητες.

Συγκεκριμένα για τη Χημεία, η χρήση κατάλληλου εκπαιδευτικού λογισμικού οπτικοποίησης μπορεί να καλλιεργήσει δεξιότητες όπως η οπτικοχωρική αντίληψη, και να ενισχύσει τις χρησιμοποιούμενες γνωστικές στρατηγικές (θα αναλυθούν σε επόμενο κεφάλαιο) κατά την επίλυση ανάλογων προβλημάτων Χημείας (Stieff, 2011; Cohen & Hegarty, 2014). Τα άτομα με χαμηλές χωρικές ικανότητες παρουσιάζουν πρόβλημα κατά τη μεταβολή του οπτικού πεδίου, σε σχέση με αυτά που παρουσιάζουν υψηλές χωρικές ικανότητες. Η σύγκριση των σύγχρονων σχεδιοκινήσεων με τις στατικές εικόνες των βιβλίων, παρουσιάζει ενδιαφέρον. Η μάθηση από τις εικόνες των βιβλίων απαιτεί χωρικές ικανότητες και καθορίζεται από ανάλογες συμβάσεις, με αποτέλεσμα οι διδασκόμενοι που διαθέτουν χαμηλές χωρικές ικανότητες να αντιμετωπίζουν προβλήματα. Αντίθετα, η μάθηση με χρήση των σχεδιοκινήσεων σε συγκεκριμένες περιπτώσεις δεν απαιτεί ανεπτυγμένες χωρικές ικανότητες (Hoffler & Leutner, 2007).

1.4 Ο Ρόλος των Θεωριών Μάθησης στον Σχεδιασμό Λογισμικού

Ο σχεδιασμός και η ανάπτυξη λογισμικών, αλλά και η χρήση τους κατά τη διδακτική διαδικασία, καθορίζονται από τις θεωρίες μάθησης και τα ρεύματα διδασκαλίας που αναπτύχθηκαν τον προηγούμενο αιώνα.

Ο *συμπεριφορισμός*, ή αλλιώς το *παραδοσιακό ρεύμα διδασκαλίας*, ήταν το κυρίαρχο ρεύμα ως τα μέσα περίπου του προηγούμενου αιώνα. Ο δάσκαλος/καθηγητής αποτελούσε το κεντρικό πρόσωπο στη διαδικασία της διδασκαλίας. Ήταν ο κάτοχος των γνώσεων και των δεξιοτήτων και μέσω της διδακτικής διαδικασίας επιχειρούσε να τις μεταφέρει και στους μαθητές του. Η επιστημονική γνώση ως εκείνη την εποχή θεωρούνταν από την επιστημονική κοινότητα ως η μόνη και αδιάσειστη αλήθεια. Η επιτυχία της διδακτικής διαδικασίας κρινόταν από την ποσότητα της πληροφορίας που μπορούσε να μεταδώσει ο διδάσκων και να συγκρατήσουν οι διδασκόμενοι. Τα εργαλεία διδασκαλίας φυσικά ήταν λιγότερα, με τα διδακτικά εγχειρίδια να αποτελούν τη

σημαντικότερη πηγή και ταυτόχρονα να διαδραματίζουν τον δεύτερο σημαντικότερο ρόλο (μετά από αυτόν του καθηγητή) στη διαδικασία της μάθησης. Σύμφωνα με τον Skinner, που είναι βασικός εκφραστής του συμπεριφορισμού (Gredler, 2001):

1. Η μάθηση είναι μεταβολή της συμπεριφοράς ενός ατόμου.
2. Υπάρχει σύνδεση ανάμεσα στη μεταβολή συμπεριφοράς ενός ατόμου με τα γεγονότα του περιβάλλοντος.
3. Η παρατήρηση των μεταβολών γίνεται σε ελεγχόμενες συνθήκες.
4. Οι πηγές πληροφορίας είναι μόνο τα πειραματικά δεδομένα.
5. Η συμπεριφορά ενός ατόμου είναι πηγή δεδομένων.
6. Η αλληλεπίδραση ενός ατόμου με το περιβάλλον έχει την ίδια δυναμική με όλα τα υπόλοιπα όντα.

Σύμφωνα με τη θεωρία που ανέπτυξε ο Skinner, για να μελετήσουμε τα αποτελέσματα μιας διδακτικής διαδικασίας πρέπει να παρατηρήσουμε εκτενώς τη συμπεριφορά των ατόμων και όχι τις εσωτερικές νοητικές διεργασίες, αφού η μάθηση είναι αυτή που σηματοδοτεί τη μεταβολή της συμπεριφοράς ενός ατόμου. Η βάση για ανάλογου τύπου μελέτες είναι η σχέση που υπάρχει ανάμεσα στο ερέθισμα και την ενέργεια που εκτελείται (Gredler, 2001). Εκτός από τον Skinner, άλλοι κύριοι εκφραστές του συμπεριφορισμού είναι ο John Watson και ο Edward Thorndike. Ο δεύτερος, αναγνώρισε τρία βασικά στοιχεία για τη μελέτη της μεταβολής της ανθρώπινης συμπεριφοράς και συγκεκριμένα α) τη συγκυρία κατά την οποία συμβαίνει, β) την ίδια τη συμπεριφορά και γ) τις επιπτώσεις της συμπεριφοράς (παράθεση Gredler, 2001).

Από τη δεκαετία του 1960 και έπειτα, η εξέλιξη της *γνωστικής ψυχολογίας* άνοιξε νέους ορίζοντες στη διερεύνηση και ερμηνεία των μηχανισμών μάθησης και επηρέασε τις θεωρίες μάθησης και τα ρεύματα διδασκαλίας. Η γνώση θεωρήθηκε ότι οικοδομείται προσωπικά από τον κάθε μαθητή. Παράλληλα, με την ανάπτυξη της γνωστικής ψυχολογίας, άρχισε να αναπτύσσεται και η θεώρηση ότι οι μαθητές έχουν τη δυνατότητα, μέσω της *ανακαλυπτικής* οδού, να οδηγηθούν μόνοι τους στη γνώση των φυσικών επιστημών. Δηλαδή, οι μαθητές βασιζόμενοι σε έναν επαγωγικό συλλογισμό, στον οποίο τους οδηγούσε κυρίως η παρατήρηση, προσπαθούσαν να κατακτήσουν τη γνώση. Οι εργαστηριακές ασκήσεις έγιναν περισσότερες, όπως και τα περιβάλλοντα που

μπορούσαν να παρέχουν ερεθίσματα και να ωθήσουν τους μαθητές στην ανακάλυψη των απαντήσεων (Mathews, 1994).

Οι βάσεις για την ανάλυση των ανθρώπινων γνωστικών δομών και του τρόπου λειτουργίας της ανθρώπινης μνήμης άρχισαν να αναπτύσσονται εκείνη την εποχή. Ο τρόπος με τον οποίο ο άνθρωπος επεξεργάζεται την πληροφορία και δομεί τα νοητικά μοντέλα και αναπαραστάσεις, ο ρόλος των επισημάνσεων και του βέλτιστου τρόπου παρουσίασης του υλικού, έγιναν αντικείμενο έρευνας και ταυτόχρονα αποτέλεσαν τη βάση για την εγκαθίδρυση της γνώσης. Η μελέτη πάνω στον ανθρώπινο παράγοντα που λειτουργεί ως επεξεργαστής πληροφορίας, καθώς και στον τρόπο επεξεργασίας της πληροφορίας από τις ανθρώπινες γνωστικές δομές, είναι κατάκτηση της γνωστικής ψυχολογίας και μελετών που ξεκίνησαν και αναπτύχθηκαν μετά την εδραίωσή της. Κατά τη διδασκαλία, χρησιμοποιήθηκαν νέα για εκείνη την εποχή διδακτικά εργαλεία, όπως οι εργαστηριακές δραστηριότητες σχεδιασμένες ώστε να οδηγήσουν τον διδασκόμενο στην ανακάλυψη της γνώσης. Από τη δασκαλοκεντρική προσέγγιση, η διδακτική επιστημονική κοινότητα πέρασε στην αμιγώς μαθητοκεντρική προσέγγιση. Αποτέλεσμα της εξέλιξης της επιστήμης της γνωστικής ψυχολογίας, ήταν η ανάπτυξη των συναισθηματικών και των ψυχοκινητικών στόχων αλλά και των κατάλληλων διδακτικών σχεδιασμών που συνέβαλαν σημαντικά και στην ανάπτυξη του επόμενου ρεύματος.

Το *εποικοδομητικό ρεύμα* για τη διδασκαλία και τη μάθηση των φυσικών επιστημών αναπτύχθηκε λίγο αργότερα, όταν θεωρήθηκε ότι οι μαθητές μπορούν να δομήσουν ενεργά τη γνώση, βασιζόμενοι σε πρότερες ιδέες και εμπειρίες τους. Οι προϋπάρχουσες γνώσεις και ο τρόπος δόμησης ή αναδόμησης της γνώσης με βάση αυτές, χαρακτηρίζει ούτως ή άλλως τις μελέτες σε επίπεδο γνωστικής ψυχολογίας από τη δεκαετία του '80 και μετά. Το *εποικοδομητικό ρεύμα*, εκτός από τη μελέτη της πρότερης γνώσης, εισήγαγε τον όρο της μεταγνωστικής διαδικασίας. Η επίγνωση από τον διδασκόμενο της γνωστικής πορείας που ακολούθησε, ο τρόπος με τον οποίο επηρέασε τις δικές του γνώσεις, όπως επίσης και το ποσοστό της γνώσης που αποκτήθηκε από όλη τη διαδικασία, έγιναν αντικείμενα μελέτης. Παράλληλα, ξεκίνησαν και οι έρευνες πάνω στον τρόπο διδασκαλίας και τα αποτελέσματα αυτής για διάφορα θέματα φυσικών επιστημών.

Γύρω από τον *εποικοδομητισμό* αναπτύχθηκαν *δύο βασικά ρεύματα* (Mathews, 2001):

α) Το ρεύμα του Piaget αφορά κυρίως τον **ψυχολογικό** εποικοδομητισμό. Σύμφωνα με αυτόν, η μάθηση είναι μια διαδικασία προσωπικής οικοδόμησης και προκύπτει από τις δραστηριότητες του ατόμου μέσα στον κόσμο. Ένα τμήμα αυτών των δραστηριοτήτων, είναι και οι μαθησιακές και διδακτικές διαδικασίες που παρέχονται από διάφορα εκπαιδευτικά ιδρύματα.

β) Το δεύτερο ρεύμα, έχει τις ρίζες του στον Emile Durkheim και τον Vygotsky, αναφέρεται ως *κοινωνιολογικός εποικοδομητισμός* και υποστηρίζει ότι η επιστημονική γνώση κατασκευάζεται και εξετάζεται κοινωνικά. Ερευνά τις περιστάσεις και τη δυναμική εγκαθίδρυσης της γνώσης κατά τη διδασκαλία φυσικών επιστημών, χωρίς να βασίζεται ιδιαίτερα σε ατομικούς και ψυχολογικούς μηχανισμούς. Εστιάζει περισσότερο στις κοινωνικές δομές και περιστάσεις, ισχυριζόμενο ότι αυτές καθορίζουν τις πεποιθήσεις των ατόμων.

Οι δύο βασικές θέσεις του εποικοδομητισμού, που είναι κοινές και για τα δύο ρεύματα είναι οι παρακάτω:

α) Η γνώση κατασκευάζεται ενεργά και δε λαμβάνεται παθητικά από το περιβάλλον.

β) Η προσέγγιση στη μάθηση ενός θέματος είναι μια προσαρμοστική διαδικασία που οργανώνει τον κόσμο της εμπειρίας κάποιου ατόμου. Δηλαδή, ο διδασκόμενος δεν ανακαλύπτει έναν «νέο, άγνωστο κόσμο» (Lerman, 1989).

Και στα δύο ρεύματα η διαδικασία της μάθησης περνά από συγκεκριμένα στάδια (Driver & Oldman, 1986). Αρχικό στάδιο είναι αυτό του προσανατολισμού, ακολουθούμενο από το στάδιο της ανάδειξης των ιδεών, ενώ στη συνέχεια ο διδασκόμενος περνάει από το στάδιο της αναδόμησης. Σε αυτό το στάδιο, γίνονται η διευκρίνιση ή ανταλλαγή ιδεών, η οικοδόμηση και η αξιολόγηση νέων ιδεών. Ακολουθούν το στάδιο της εφαρμογής των νέων ιδεών, καθώς και το στάδιο της ανασκόπησης.

Σύμφωνα με τους Brooks & Brooks (1993) συγκεκριμένες διδακτικές τακτικές που μπορούν να κατευθύνουν τον διδάσκοντα προς μια πιο εποικοδομητική προσέγγιση, είναι η χρήση πρωτογενών πηγών παράλληλα με διαδραστικά ψηφιακά ή φυσικά εργαλεία, η χρήση ορολογίας της γνωστικής ψυχολογίας (*ανάλυση, πρόβλεψη, δημιουργία*), η ευελιξία, ώστε οι απαντήσεις των διδασκόμενων να μπορούν να μεταβάλλουν τις διδακτικές πρακτικές και το περιεχόμενο των μαθημάτων, η ενθάρρυνση του διαλόγου, η

παρότρυνση διατύπωσης αποριών και η επεξεργασία των αρχικών ιδεών των φοιτητών. Επίσης, η πρόκληση σύγκρουσης με τις αρχικές τους υποθέσεις, η παροχή χρόνου αναμονής μετά από τη διατύπωση των ερωτημάτων και το ενδιαφέρον για τον βαθμό κατανόησης και τις εναλλακτικές ιδέες, αποτελούν στοιχεία μιας εποικοδομητικής προσέγγισης. Η παροχή του απαιτούμενου χρόνου για τη δημιουργία σχέσεων και μεταφορών, καθώς και η γαλούχηση της φυσικής περιέργειας των μαθητών μέσα από συχνή χρήση του μοντέλου του κύκλου μάθησης (ανακάλυψη, εισαγωγή στην έννοια, εφαρμογή της έννοιας) θεωρούνται απαραίτητες πρακτικές.

Σε σύγκριση με την εποικοδομητική, η ανακαλυπτική μέθοδος βοηθά τον διδασκόμενο να δημιουργήσει ένα είδος επαγωγικών συλλογισμών, να αναπτύξει αιτιολόγηση και να προσεγγίσει τα προβλήματα των επιστημών (Girelli *et al.*, 2004). Αντίθετα, στο εποικοδομητικό μοντέλο διδασκαλίας οι παρεμβάσεις του καθηγητή είναι σημαντικές, όπως επίσης και η διαδικασία της αναδόμησης και αξιολόγησης της γνώσης. Ο εποικοδομητισμός ουσιαστικά, είναι μια θεωρία που περιγράφει τα όρια της ανθρώπινης γνώσης, προτείνοντας ότι δεν μπορούμε να έχουμε καμιά έμμεση ή άμεση επίγνωση της αντικειμενικής πραγματικότητας και ότι αυτό που μπορούμε να κάνουμε, είναι η οικοδόμηση της κατανόησης μέσω της εμπειρίας που επηρεάζεται από τη γνωστική μας οπτική (Confrey, 1990).

Λογισμικά & Θεωρίες Μάθησης

Τα εκπαιδευτικά λογισμικά, μπορούν να λειτουργήσουν στα πλαίσια μιας διδακτικής διαδικασίας, αλλά δεν αποκλείεται ο κάθε μαθητής ή διδασκόμενος, μεμονωμένα και έξω από τη διδακτική διαδικασία, να αναζητήσει την πληροφορία και να κατακτήσει μόνος του τη γνώση. Το φαινόμενο αυτό είναι πιο έντονο όταν η πληροφορία και οι πολυμεσικές εφαρμογές διατίθενται από εκπαιδευτικούς ιστότοπους. Οι εκπαιδευτικές εφαρμογές ενός λογισμικού, αποτελούν βάση για δόμηση διαφορετικών διδακτικών σεναρίων και έτσι κατά τον σχεδιασμό του λογισμικού θα πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψη συγκεκριμένα στοιχεία των θεωριών μάθησης. Σύμφωνα με τους Duffy & Jonassen (1992) ο διδακτικός σχεδιασμός θα πρέπει να βασίζεται σε κάποια θεωρία μάθησης. Ο αποτελεσματικός σχεδιασμός είναι δυνατόν να επιτευχθεί μόνο αν η ανάπτυξη του υλικού στηρίζεται συνειδητά σε μια θεωρητική βάση και έτσι ο σχεδιαστής του λογισμικού θα πρέπει να διατηρεί συγκεκριμένο θεωρητικό υπόβαθρο.

Η μετάδοση της πληροφορίας με τον βέλτιστο τρόπο, είναι σημαντικό ζήτημα κατά τον σχεδιασμό εκπαιδευτικών εφαρμογών. Έτσι, εφαρμογές συμπεριφοριστικού τύπου τείνουν να εστιάζουν προς ένα σχεδιασμό μαθησιακών περιβαλλόντων, που επιτρέπει τη μετάδοση μεγάλου όγκου πληροφορίας ή τουλάχιστον του μεγαλύτερου δυνατού που θα μπορούσε ο διδασκόμενος να αφομοιώσει.

Ο συμπεριφορισμός στον σχεδιασμό εκπαιδευτικού λογισμικού, εκφράζεται μέσω της θεωρίας της προγραμματισμένης διδασκαλίας του Skinner, σύμφωνα με την οποία το υλικό θα πρέπει να είναι τμηματοποιημένο σε μικρές διδακτικές μονάδες (Skinner, 1958). Οι μονάδες αυτές θα πρέπει να ακολουθούν η μία την άλλη βάσει συγκεκριμένης αλληλουχίας και η πλοήγηση του διδασκόμενου να βασίζεται σε σωστές απαντήσεις. Δηλαδή, θα πρέπει ο διδασκόμενος να απαντάει σωστά, ώστε να έχει τη δυνατότητα να προχωρήσει στην επόμενη διδακτική ενότητα. Ένα μέρος των σημερινών λογισμικών βασίζονται στον Skinner και τη θεωρία που ανέπτυξε και εφάρμοσε μέσω των «μηχανών διδασκαλίας». Η πληροφορία σε αυτές τις μηχανές παρουσιάζοταν σαν μια αλληλουχία περιεχομένου, στην οποία παρεμβάλλονταν συγκεκριμένες ερωτήσεις με σκοπό την ανίχνευση απόκτησης της γνώσης. Διαφορετικού τύπου είναι εκείνα τα λογισμικά, στα οποία το περιεχόμενο δεν ακολουθεί τον γραμμικό σχεδιασμό, αλλά υπάρχει ταξινομημένη η πληροφορία και ο χρήστης καλείται να εκτελέσει μια συγκεκριμένη αποστολή, ενώ παράλληλα εκτίθεται στην πληροφορία.

Η ανάπτυξη της γνωστικής ψυχολογίας, καθώς και του ανακαλυπτικού ρεύματος παρείχαν πληροφορίες που αποτέλεσαν τη βάση για τον σχεδιασμό εκπαιδευτικού λογισμικού που ακολούθησε στις μετέπειτα δεκαετίες. Η οργάνωση του περιεχομένου σε συγκεκριμένες κατηγορίες βάσει του νοήματος τους, όπως επίσης και η παρουσίαση διαφόρων τύπων αναπαραστάσεων, βασίζεται κυρίως στις αντιλήψεις και τα νοητικά μοντέλα των έμπειρων επιστημόνων. Ο σχεδιασμός βασίζεται στον τρόπο μετάδοσης της πληροφορίας, όπως μελετήθηκε από τους γνωστικούς ψυχολόγους. Η αλληλεπίδραση του ανθρώπου με τον υπολογιστή και ο σχεδιασμός του εκπαιδευτικού λογισμικού καθορίστηκε από τη γνωστική ψυχολογία, και εξακολουθεί να αποτελεί αντικείμενο μελέτης της.

Η θεωρία του εποικοδομητισμού είχε να προσφέρει διαφορετικά στοιχεία στον σχεδιασμό του εκπαιδευτικού λογισμικού, όπως για παράδειγμα τον τρόπο με τον οποίο

τα παρεχόμενα εργαλεία και συμβολισμοί μπορούν να υποστηρίξουν τη μάθηση. Ο εποικοδομητισμός επισημαίνει ότι η μάθηση λαμβάνει χώρα μέσα σε συγκεκριμένα μαθησιακά πλαίσια, ενώ η τεχνολογία έχει τη δυνατότητα του καθορισμού του περιβάλλοντος ενασχόλησης των διδασκόμενων (Gilakjani *et al.*, 2013). Το γεγονός ότι για τον εποικοδομητισμό ο κάθε μαθητής είναι μια διαφορετική περίπτωση με διαφορετικές ανάγκες, λαμβάνεται υπόψιν κατά τον σχεδιασμό και αναζητούνται κατάλληλες τακτικές που να εστιάζουν στα ενδιαφέροντα και τον χαρακτήρα του κάθε μαθητή (Keengwe *et al.*, 2009). Οι καλύτερες δυνατές ευκαιρίες μάθησης και οι δυνατότητες ανάπτυξης ικανοτήτων για τον καθένα, είναι κεντρικές στον σχεδιασμό των μαθησιακών εφαρμογών (Keengwe *et al.*, 2009). Ειδικότερα, η ανάπτυξη δεξιοτήτων αποτελεί σημαντικό τμήμα της στοχοθεσίας και βοηθά στη σύνδεση των εμπειριών από την καθημερινότητα με τη νέα γνώση. Η αντίληψη ότι η γνώση είναι αποτέλεσμα κατασκευής που βασίζεται στην πρότερη γνώση του διδασκόμενου συμβάλλει σημαντικά στον σχεδιασμό. Τέλος, οι διάφορες κοινωνικές αλληλεπιδράσεις, όπως και οι ψυχολογικοί παράγοντες, μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά τη μάθηση και γι' αυτό επιδιώκεται συνεχώς η ενεργός συμμετοχή του διδασκόμενου στη μαθησιακή διαδικασία (η διερεύνηση, η ενθάρρυνση, η επίλυση προβλημάτων, η χρήση κριτικής σκέψης και η ομαδοσυνεργατική μάθηση).

Στα εποικοδομητικά σενάρια, οι τεχνολογίες έχουν πιο διευρυμένη παρουσία και ίσως χρησιμοποιούνται με περισσότερο αποτελεσματικούς τρόπους στη θετική αξιοποίηση τους (Barak & Dori, 2005). Οι μαθητοκεντρικές προσεγγίσεις και σχεδιασμοί πολυμεσικών εφαρμογών, εστιάζουν στη μετάβαση από την παθητική προς την ενεργό μάθηση. Βασικά χαρακτηριστικά αυτής της προσέγγισης είναι ότι οι μαθητές ενθαρρύνονται να αναζητούν και να επεξεργάζονται την πληροφορία, να εξάγουν νόημα, να δημιουργούν νοητικές αναπαραστάσεις (Schnotz & Bannert, 2003), να κατασκευάζουν και να ανακατασκευάζουν νέα γνώση, όπως επίσης και δικές τους αναπαραστασιακές δομές (Keengwe *et al.*, 2009), μέσω της ενεργούς εμπειρίας. Γνωστικές συγκρούσεις και ασυνέπειες με την πρότερη γνώση είναι τμήμα αυτής της ενεργούς διαδικασίας. Το κοινωνικό πλαίσιο που τίθεται από αρκετά πολυμεσικά περιβάλλοντα αποτελεί και αυτό κομμάτι της διδασκαλίας.

Ρόλος Τεχνολογίας & Διδασκόντων στη σύγχρονη διδασκαλία

Η ψηφιακή τεχνολογία σαν εργαλείο, μπορεί να λειτουργήσει θετικά τόσο στην εξάσκηση των μαθησιακών ικανοτήτων όσο και στη διευκόλυνση της διάδρασης με περίπλοκο υλικό (Gibbons & Fiarweather, 1998). Η τεχνολογία γενικότερα, προσφέρει πολλές ευκαιρίες για μαθητοκεντρικές και ανακαλυπτικές μεθόδους.

Στα ψηφιακά περιβάλλοντα μάθησης, ο ρόλος του διδάσκοντα μπορεί να είναι υποστηρικτικός ως προς τη μαθησιακή διαδικασία, δηλαδή να ενεργεί καθοδηγητικά (Jonassen *et al.* 1999). Ο διδάσκοντας θα πρέπει να είναι εξοικειωμένος με τις τεχνολογίες, ικανός να τις εφαρμόσει με κατάλληλο τρόπο (Keengwe *et al.*, 2009). Οι παιδαγωγικές πτυχές που μπορεί να επηρεάσει ένας καθηγητής είναι διάφορες, όπως η έμφαση στην προσωπικότητα κάθε μαθητή, η παροχή εργαλείων και περιβαλλόντων που είναι κατάλληλα για ενεργό μάθηση και η προσαρμογή του μαθήματος για την ενσωμάτωση νέων τεχνολογιών.

Η παράμετρος του χρόνου μπορεί να καθορίσει σε μεγάλο βαθμό την έκβαση του αποτελέσματος κατά τη διδακτική διαδικασία με τη χρήση νέων τεχνολογιών. Κατά τους Keengwe *et al.* (2009) δεν είναι σημαντική μόνο η ένταξη νέων τεχνολογιών στη διδακτική διαδικασία αλλά και ο χρόνος που αφιερώνεται για ανάπτυξη σεναρίων και στρατηγικών που να εμπλέκουν την τεχνολογία με «ενεργό» τρόπο.

Η διδασκαλία στοχεύει στην ανάπτυξη της κάθε προσωπικότητας, μέσω μετασχηματιστικών διαδικασιών. Οι καλές παιδαγωγικές πρακτικές μπορούν να οδηγήσουν σε ουσιαστική μάθηση τον κάθε διδασκόμενο. Οι διδασκόμενοι, θα πρέπει να συνδυάζουν τις διεργασίες, την επιστημονική γνώση, τις τεχνολογίες, την κριτική σκέψη και την επιστημονική αιτιολόγηση, για να αναπτύξουν την κατανόηση της ίδιας της επιστήμης. Το τρίπτυχο, *κριτική σκέψη-επίλυση προβλήματος-εγκαθίδρυση γνώσης*, μοιάζει να είναι η αποτελεσματικότερη οδός για την διεύρυνση και επιτυχία των νέων τεχνολογιών στο αναλυτικό πρόγραμμα (Gooden, 1996). Η συνειδητοποίηση του γεγονότος ότι οι υπολογιστές και η τεχνολογία δεν είναι υποκατάστατα των διδασκόντων είναι απαραίτητη καθώς έχουν συμπληρωματικό χαρακτήρα κατά τη διδασκαλία και δεν μπορούν να λειτουργήσουν θετικά, χωρίς την ταυτόχρονη οργάνωση της πληροφορίας από τον καθηγητή.

2 Ο Ρόλος των Πολυμέσων στη Σύγχρονη Εκπαίδευση

Ο Kozma το 1991 χρησιμοποιεί τον όρο *πολυμέσα*, όχι σαν ένα όρο που αναφέρεται στο λειτουργικό ρόλο των λογισμικών, αλλά για να επεξηγήσει την πληθώρα συμβολικών συστημάτων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν, ώστε να αναπαράγουν την πληροφορία με διαφορετικούς τρόπους. Ο όρος *πολυμεσικό υλικό* χρησιμοποιείται συνήθως για τη λεκτική πληροφορία που προσφέρεται μέσω πολυμέσων παράλληλα με οπτικοποιήσεις. Η λεκτική πληροφορία συνυπάρχει ως γραπτό κείμενο ή ως ηχογραφημένο ακουστικό υλικό με τις χρησιμοποιούμενες οπτικοποιήσεις που παρέχονται με τη μορφή στατικών εικόνων ή σχεδιοκινήσεων, γραφημάτων, πινάκων, μαθηματικών τύπων κ.α. (Seufert, 2003).

Τα περισσότερα σύγχρονα εκπαιδευτικά λογισμικά προσφέρουν *πολλαπλές αναπαραστάσεις*. Στα πρώτα ψηφιακά περιβάλλοντα μάθησης το κείμενο και οι εικόνες χρησιμοποιούνταν σαν στατικά ερεθίσματα, ανάλογα με τα διδακτικά εγχειρίδια. Έτσι, τα συμπεράσματα των αρχικών ερευνών, που αφορούσαν τις στατικές αναπαραστάσεις των βιβλίων, ανταποκρινόταν και στη χρήση των πρώτων ψηφιακών περιβαλλόντων μάθησης.

Στα μοντέρνα ψηφιακά περιβάλλοντα υπάρχουν δυναμικές αναπαραστάσεις όπως *video*, ηχητικά μηνύματα, σχεδιοκινήσεις, δυναμικά μεταβαλλόμενα γραφήματα και πίνακες (Lowe, 2003), όπως επίσης και διαδραστικά δυναμικά ερεθίσματα. Αυτή η εξέλιξη έθεσε νέες βάσεις στη διδακτική φυσικών επιστημών, αλλά ταυτόχρονα και νέα ερευνητικά ερωτήματα. Προέκυψε έτσι και συνεχίζει να αναπτύσσεται ένα νέο είδος έρευνας πάνω στις ψηφιακές διαδραστικές αναπαραστάσεις.

Το πολυμεσικό υλικό σήμερα γίνεται όλο και περισσότερο ευέλικτο. Μεγαλύτερο ποσοστό πληθυσμού και ανάμεσα τους διδάσκοντες και διδασκόμενοι, διαθέτουν εξοικείωση με τα ψηφιακά μέσα και είναι σε θέση να τα χρησιμοποιούν κατάλληλα για τις εκπαιδευτικές τους ανάγκες. Η διαδικασία παραγωγής του υλικού έχει γίνει ευκολότερη και τα σύγχρονα εκπαιδευτικά εργαλεία είναι αρκετά πιο εύχρηστα, κάτι που οφείλεται σε μεγάλο βαθμό και στην έρευνα που τα αφορά.

Τα πολυμέσα και γενικότερα το πολυμεσικό υλικό, μπορούν να χρησιμοποιηθούν σήμερα με διάφορους τρόπους. Οι βασικότεροι από αυτούς αναφέρονται παρακάτω:

α) *Ως εργαλεία μοντελοποίησης.* Η μοντελοποίηση είναι μια διαδικασία απόλυτα συνυφασμένη με τη σύγχρονη πρακτική και διδακτική των επιστημών και της Χημείας.. Η δημιουργία, η ανάπτυξη και η αξιολόγηση των νοητικών οπτικοποιήσεων που δημιουργούνται με χρήση πολυμέσων αποτελούν σημαντικούς παράγοντες της σύγχρονης εκπαίδευσης. Ο ρόλος τους στην ανάπτυξη των σχέσεων ανάμεσα στα αναπαραστασιακά επίπεδα που επηρεάζουν τη χημική γνώση είναι πολύ καίριος.

β) *Ως εργαλεία μάθησης και εκπαιδευτικά εργαλεία* κατά τη διαδικασία της διδασκαλίας. Το σύγχρονο εκπαιδευτικό λογισμικό, έχει τη δυνατότητα να βοηθήσει τους μαθητές και μπορεί να λειτουργήσει θετικά ακόμη και για μεμονωμένες περιπτώσεις. Διαφορετικοί τρόποι εισήγησης θα μπορούσαν να ανταποκριθούν αποτελεσματικότερα σε διαφορετικούς μαθητές, ανάλογα με τις μαθησιακές τους ανάγκες. Οι δυναμικές οπτικοποιήσεις, τα στατικά γραφικά ή οι διασυνδεδεμένες δυναμικές οπτικοποιήσεις, μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατάλληλα και συνδυαστικά ανά περίπτωση. Υπάρχουν περιπτώσεις ατόμων, τα οποία μαθαίνουν ευκολότερα μέσω ανάγνωσης της λεκτικής πληροφορίας, ενώ άλλα άτομα μαθαίνουν μέσω της ακουστικής οδού είτε μέσω άλλων οπτικοποιήσεων. Το εκπαιδευτικό λογισμικό είναι σε θέση να ικανοποιήσει διαφορετικά προφίλ διδασκόμενων. Οι μαθητές διαθέτουν τη δυνατότητα επισκόπησης παραδειγμάτων, εξαγωγής συμπερασμάτων, ανάλυσης, χειρισμού ή τροποποίησης μιας δομής, ώστε να καταλήξουν στη μάθηση (Chiu, Wu, 2009).

γ) *Ως ερευνητικά εργαλεία* (χορήγηση και ανάλυση ερωτηματολογίων). Με τη χρήση της τεχνολογίας και μέσω ψηφιακών τεστ, έχουμε ακριβέστερα και καλύτερα ερευνητικά αποτελέσματα. Υπάρχουν αναλυτικότερες καταγραφές για τις επιδόσεις, ακριβέστεροι χρόνοι, λιγότερες απώλειες κ.α. Μπορούμε να κατανοήσουμε τον τρόπο σκέψης των φοιτητών, τον τρόπο εργασίας και επικοινωνίας, όπως και τις δεξιότητες που αναπτύσσονται κατά την ομαδική εργασία. Μπορούμε να αντιληφθούμε ευκολότερα και να συγκεκριμενοποιήσουμε τα λανθασμένα νοητικά μοντέλα ή τις παρανοήσεις.

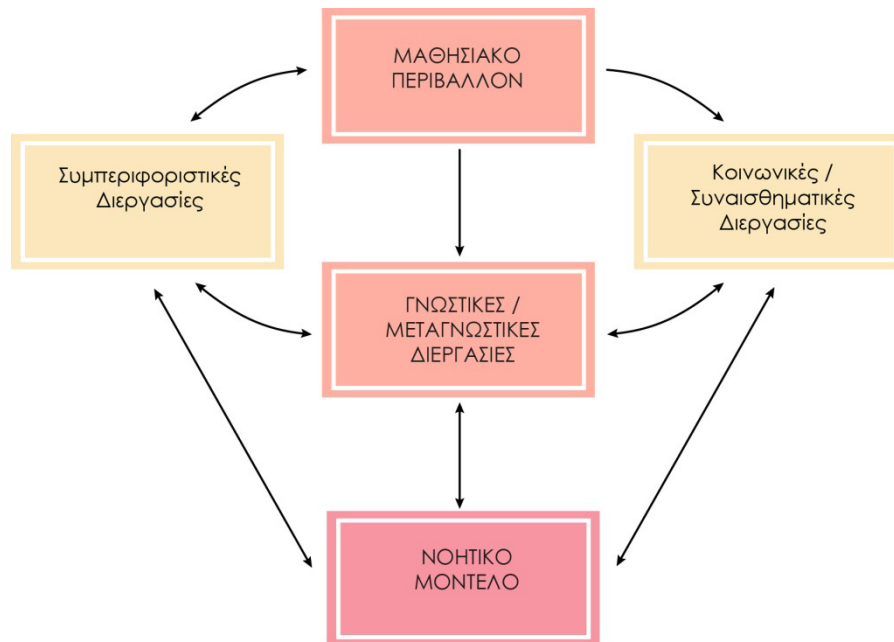
Οι κοινωνικές πτυχές των πολυμέσων

Η έρευνα πάνω στα περιβάλλοντα που περιέχουν διαδραστικό υλικό δείχνει ότι είναι τουλάχιστον τόσο αποτελεσματικά όσο είναι και οι παραδοσιακές μέθοδοι διδασκαλίας,

ενώ σε αρκετές περιπτώσεις καταλήγουν σε καλύτερα μαθησιακά αποτελέσματα από αυτά των παραδοσιακών μεθόδων (Bayraktar, 2002). Ποιοι είναι όμως οι λόγοι που οδηγούν τις διδακτικές πολυμεσικές εφαρμογές στην επίτευξη του στόχου τους;

Μελέτες έχουν δείξει ότι οι διδασκόμενοι βιώνουν διαφόρων ειδών συναισθήματα κατά την ενασχόληση τους με εκπαιδευτικά λογισμικά ή με μεμονωμένες προσομοιώσεις και αυτό έχει αντίκτυπο στους γνωστικούς στόχους και τα μαθησιακά αποτελέσματα (Plass *et al.*, 2014). Η μάθηση από προσομοιώσεις μπορεί να βελτιώσει την αυτεπάρκεια και τις διαπροσωπικές κοινωνικό-συμπεριφοριστικές πτυχές του χαρακτήρα ενός ατόμου. Συγκεκριμένα στοιχεία, καταδεικνύουν τη σημαντικότητα των πολυμέσων στη μάθηση και στηρίζουν την ανάπτυξη ενός ερευνητικού πεδίου που αφορά τη γνωστική επιρροή της μάθησης από τα πολυμέσα (Moreno & Mayer, 2007; Plass *et al.*, 2014).

Η πληθώρα των διερευνητικών δραστηριοτήτων που παρέχουν τα πολυμεσικά περιβάλλοντα έχει τη δυνατότητα να εισάγει τον χρήστη σε μια ιδιαίτερη μορφή κινητικότητας (εμπειρία ροής) (Webster, 2003). Η αίσθηση του ελέγχου, η συγχώνευση δράσης και ευαισθητοποίησης, η αυτοτελική εμπειρία, η συγκεκριμένη στοχοθεσία, η άμεση ανατροφοδότηση, η συνέπεια ανάμεσα στις προκλήσεις και τις δεξιότητες των χρηστών είναι κάποια από τα χαρακτηριστικά των καλά σχεδιασμένων εφαρμογών, που έχουν τη δυνατότητα να οδηγήσουν στην εμπειρία ροής (Lee *et al.*, 2014).



Εικόνα 1.10: Μοντέλο Interact (Domagk et al. 2010)

Διάφορες κοινωνικές διεργασίες λαμβάνονται υπ' όψη και περιλαμβάνονται όλο και περισσότερο κατά τον σχεδιασμό πολυμεσικών εφαρμογών και την ενσωμάτωσή τους στην εκπαιδευτική διαδικασία. Ένας τύπος διαδραστικού μοντέλου (Interact) αναπτύχθηκε από τους Domagk *et al.* (2010) (Εικόνα 1.10). Εκεί, τονίζεται το γεγονός ότι η διάδραση είναι μια δυναμική διαδικασία που βασίζεται τόσο σε συμπεριφοριστικές και συναισθηματικές διεργασίες, όσο και σε γνωστικές και μεταγνωστικές και επισημαίνεται ότι οι διάφορες διεργασίες έχουν τη δυνατότητα να αλληλοεπηρεάζονται. Δηλαδή, τα κοινωνικά και τα συναισθηματικά στοιχεία επηρεάζουν τις γνωστικές διεργασίες αλλά και το αντίθετο.

Συγκεκριμένα χαρακτηριστικά κοινωνικής διασύνδεσης, όπως η ενθάρρυνση των συνεργασιών και κάποια στοιχεία προερχόμενα από τον κόσμο των παιχνιδιών (Barab *et al.*, 2000; Barab *et al.*, 2005; Klopfer *et al.*, 2004, 2005), αποτελούν χαρακτηριστικά των ψηφιακών περιβαλλόντων. Σημαντικός κρίνεται επίσης και ο ρόλος της παρεχόμενης καθοδήγησης και της παρότρυνσης για ομαδοσυνεργατικό τρόπο εργασίας, αφού τα εκπαιδευτικά περιβάλλοντα μπορούν να οδηγήσουν σε κοινωνικές συμπεριφορές, παράλληλα με τις γνωστικές διεργασίες.

2.1 Διδακτικά Προβλήματα & Αποτελεσματικός Σχεδιασμός Εκπαιδευτικού Λογισμικού

Η αποτύπωση της τρισδιάστατης πληροφορίας στα βιβλία Χημείας όπως και σε άλλες συναφείς επιστήμες, γίνεται συνήθως μέσω δισδιάστατων γραφικών. Οι δισδιάστατες αναπαραστάσεις μπορούν να λειτουργήσουν σαν προσεγγίσεις των τρισδιάστατων οντοτήτων και φαινομένων. Πολλές φορές όμως, ενδέχεται να δημιουργηθούν στρεβλωμένα νοητικά μοντέλα και να εμποδίσουν την επιθυμητή μάθηση (Stieff *et al.*, 2005) οδηγώντας σε παρανοήσεις. Οι μαθητές της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης σπάνια έχουν την ευκαιρία να εξετάσουν τα μόρια σε τρισδιάστατες μορφές, κάτι που είναι πολύ σημαντικό για την κατανόηση χημικών φαινομένων σε μικροσκοπικό επίπεδο (Wu *et al.*, 2001). Μελέτες έχουν δείξει ότι ένα μεγάλο ποσοστό των φοιτητών εισάγεται στην τριτοβάθμια εκπαίδευση χωρίς να έχει την ικανότητα κατασκευής ενός «ορθού» νοητικού μοντέλου για τις χημικές οντότητες (Mammino, 2008) ή τη δυνατότητα να φανταστεί μια δισδιάστατη αναπαράσταση ως τρισδιάστατη, με αποτέλεσμα να

αντιμετωπίζουν σημαντικά προβλήματα κατανόησης των φαινομένων που λαμβάνουν χώρα στον μικρόκοσμο (Al-Balushi *et al.*, 2012).

Σημαντικό ρόλο διαδραματίζουν επίσης οι ατομικές διαφορές των διδασκόμενων. Αρκετές είναι οι περιπτώσεις διδασκόμενων που μπορούν να δημιουργούν νοητικά μοντέλα και να τα εξωτερικεύουν, αλλά στην πραγματικότητα δεν αντιλαμβάνονται τα φαινόμενα. Ενδέχεται να είναι σε θέση να παρέχουν λεκτικές εξηγήσεις, χωρίς όμως να αντιλαμβάνονται επακριβώς το νόημα τους (Suits, 2015). Ο τρόπος αντίληψης της ίδιας πληροφορίας διαφέρει ανάμεσα στους διδασκόμενους και κάτι ανάλογο συμβαίνει και με τις αναπαραστάσεις. Συγκεκριμένα χαρακτηριστικά των ατόμων που συμμετέχουν στη διδασκαλία, όπως είναι η ηλικία και οι πρότερες γνώσεις, μπορεί να επηρεάζουν την οπτική του κάθε χρήστη για μια αναπαράσταση.

Διδασκόμενοι με υψηλότερη οπτικοχωρική αντίληψη μαθαίνουν ευκολότερα από πολυμεσικές σχεδιοκινήσεις (animations) ενώ διδασκόμενοι με μικρότερη οπτικοχωρική αντίληψη χρειάζονται μεγαλύτερη καθοδήγηση μέσω εισήγησης για τη μείωση του γνωστικού φορτίου (Suits, 2015). Το φύλο των διδασκόμενων είναι ένας παράγοντας που ενδεχομένως επηρεάζει τις επιδόσεις κατά τη διερεύνηση του πολυμεσικού υλικού (Suits, 2015), ενώ θετικά μπορεί να δράσει η παροχή σχεδιοκινήσεων και καθοδήγησης. Ο βαθμός και η ποιότητα της καθοδήγησης, μπορούν επίσης να επηρεάζουν τις επιδόσεις.

Η πολυμεσική μάθηση μπορεί να συνεισφέρει στις παραπάνω δυσκολίες και τη βελτίωση των ενδεχόμενων ατομικών προβλημάτων, με χρήση συγκεκριμένου τύπου δραστηριοτήτων προσαρμοσμένων στον χαρακτήρα των διδασκόμενων. Η μετάδοση της πληροφορίας μπορεί να επιτευχθεί μέσω νοητικών μοντέλων, η δημιουργία των οποίων διευκολύνεται από τη χρήση κατάλληλων πολυμεσικών εφαρμογών (O' Keefe, 2014). Για παράδειγμα, υπάρχουν δραστηριότητες κατά τις οποίες οι διδασκόμενοι ελέγχουν μέσω διάδρασης ένα μοντέλο (*διερευνητικές*), ενώ άλλες στις οποίες οι διδασκόμενοι κατασκευάζουν το μοντέλο (*διαισθητικές*) (Mellar & Bliss, 1994). Τα πολυμέσα έχουν τη δυνατότητα να διευκολύνουν τη δημιουργία νοητικών συνδέσεων. Συγκεκριμένα στοιχεία των πολυμέσων είναι ικανά να ενθαρρύνουν τη μάθηση, όπως για παράδειγμα οι επισημάνσεις, η χρήση χρωμάτων και βελών, οι sliders, κ.τ.λ. Η πληροφορία συμβολισμών ή επισημάνσεων ή άλλων πολυμεσικών ερεθισμάτων, μπορεί να οδηγήσει σε επεξεργασία του διδασκόμενου υλικού και σύνδεση ανάμεσα σε αναπαραστάσεις ή

πληροφορίες (Grove *et al.*, 2012). Άλλα περιβάλλοντα επιτρέπουν σε πολλούς συμμετέχοντες να διερευνούν την πληροφορία ταυτόχρονα, είτε σε συνεργασία, είτε με τη μορφή διαγωνισμού ανάμεσα στους συμμετέχοντες. Η *πολυσυμμετοχικότητα* μπορεί να αποτελέσει σημαντικό και ευεργετικό παράγοντα κατά την ενασχόληση με τα πολυμέσα.

Κατάλληλες μεταγνωστικές διαδικασίες μπορεί να έχουν σαν αποτέλεσμα την ενίσχυση των θετικών αποτελεσμάτων στη δημιουργία των νοητικών μοντέλων και την κατανόηση μιας θεματικής ενότητας ή την αντίληψη της ίδιας της φύσης της επιστήμης (Schwarz & White, 2005; Petridou *et al.*, 2012). Μπορούν να αναδείξουν ενδεχόμενες προϋπάρχουσες παρανοήσεις (Suits, 2015) και να δώσουν το έναυσμα για σχεδιασμό νέων πολυμεσικών εφαρμογών για την άρση τους. Η μεταγνωστική ενημέρωση που παρουσιάζεται σε μια προσομοίωση, σχετικά με τη φύση των μοντέλων και τον σκοπό τους δίνει τη δυνατότητα στους διδασκόμενους να αποκτήσουν έλεγχο και γνώση σχετικά με τις μεταβολές που εκτελούν (Petridou *et al.*, 2012).

Συνήθως ο σχεδιασμός του διδακτικού πολυμεσικού υλικού είναι πιο πετυχημένος όταν βασίζεται στην εξωτερίκευση των μοντέλων των έμπειρων επιστημόνων. Τα σχεδιαστικά χαρακτηριστικά αποτυπώνονται σε κατάλληλες οπτικοποιήσεις που μπορούν να οδηγήσουν στην ανάπτυξη νοητικών μοντέλων για τα φαινόμενα και την επιστημονική γνώση (Suits, 2015).

Για την ανάπτυξη σύνθετων δεξιοτήτων, προτείνεται η χρήση τεσσάρων στοιχείων κατά τον σχεδιασμό και την ανάπτυξη του υλικού (Van Merriënboer & Kester, 2005):

1. **Διδακτικά εργαλεία** (εφαρμογές, στοιχεία, μονάδες, ερωτήματα - Learning Tasks). Δραστηριότητες που βασίζονται στη σύνδεση με την καθημερινή ζωή είναι λειτουργικές και συνήθως επιζητούνται κατά τον σχεδιασμό των ασκήσεων.

2. **Υποστηρικτικό υλικό και πληροφορίες** (Supportive Information). Πληροφορία που είναι υποστηρικτική για τη μάθηση και σημαντική για ζητήματα επίλυσης προβλημάτων και αιτιολόγησης. Η καλύτερη οργάνωσή της οδηγεί και σε βέλτιστα αποτελέσματα.

3. **Διαδικαστικές πληροφορίες** (Procedural Information). Πληροφορία η οποία είναι προαπαιτούμενη για τη μάθηση και τη διαδικασία των μαθησιακών εργασιών και προσδιορίζει τον τρόπο που πρέπει να απαντηθούν τα ερωτήματα και να εκτελεστούν οι μαθησιακές εργασίες. Πρέπει να είναι δομημένη σε μικρά τμήματα πληροφορίας και να

παρουσιάζεται στους διδασκόμενους ακριβώς όταν τη χρειάζονται κατά την ενασχόληση τους με τις μαθησιακές διαδικασίες.

4. **Τμηματική πρακτική** (Part-task Practice). Επιπρόσθετες ασκήσεις θεμάτων ρουτίνας των μαθησιακών εργαλείων, για τα οποία χρειάζεται ένας υψηλός βαθμός αυτοματοποίησης μετά τη διδασκαλία. Είναι απαραίτητες μόνο στην περίπτωση που οι μαθησιακές οντότητες (ασκήσεις) δεν παρέχουν επαναληψιμότητα σε ικανοποιητικό βαθμό, ώστε να αποκτηθεί ο απαραίτητος βαθμός αυτοματοποίησης.

2.2 Προσομοιώσεις και Διαδικτυακές Πολυμεσικές Εφαρμογές

Εκπαιδευτικές Προσομοιώσεις

Οι παιδαγωγικές προσομοιώσεις είναι υψηλά διαδραστικές εφαρμογές, που βοηθούν και καθοδηγούν τις μαθησιακές διεργασίες (Suits, 2015) έχοντας τη δυνατότητα να απεικονίζουν συγκεκριμένα φαινόμενα, διεργασίες και συστήματα του μικρόκοσμου και του μακρόκοσμου. Μέσα σε μια προσομοίωση, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα μέσω της διεπαφής να χειριστεί ψηφιακά μοντέλα, να μεταβάλλει παραμέτρους, να παρατηρήσει στατικές εικόνες και να μελετήσει διαγράμματα. Η διάδραση φυσικά δεν κατευθύνεται μόνο από τον χρήστη προς το λογισμικό, αλλά είναι αμφίδρομη. Μετά από την εκτέλεση ενεργειών και την παρατήρηση, ο χρήστης μπορεί να φτάσει σε κάποιο επίπεδο κατανόησης του αποδιδόμενου μοντέλου (de Jong, van Joolingen, 1998). Η μάθηση ενισχύεται μέσω της διαδικασίας της πρόβλεψης, του ελέγχου και της επεξήγησης. Η χρήση των προσομοιώσεων σε συγκεκριμένα φαινόμενα βοηθά τους αρχάριους διδασκόμενους να κατανοήσουν τον τρόπο με τον οποίο αντιλαμβάνονται και χειρίζονται την πληροφορία και τα μοντέλα, κάτι που είναι αποτέλεσμα ελέγχων και προσωπικής εμπειρίας (Crawford & Cullin, 2004).

Οι προσομοιώσεις γενικότερα, μπορούν να χαρακτηριστούν ως μοντέλα του κόσμου που αναπαριστούν και μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες: α) τα *εννοιολογικά μοντέλα* (conceptual models), τα οποία εστιάζουν σε αρχές, θέματα και γεγονότα και β) τα *λειτουργικά μοντέλα* (operational models), τα οποία παρουσιάζουν στον χρήστη μια σειρά από διαδικασίες και διεργασίες (Plass & Schwartz 2014).

Η μάθηση και η διαδικασία κατανόησης μέσω προσομοιώσεων, απαιτεί διερεύνηση μέσω ενός πλαισίου που δομείται από μια σειρά βημάτων (Plass & Schwartz 2014):

1. Το πρώτο και βασικότερο από αυτά τα βήματα είναι συνήθως η παρατήρηση του περιβάλλοντος από τους διδασκόμενους, καθώς και η ανάπτυξη συγκεκριμένων προβληματισμών.

2. Οι διδασκόμενοι παράγουν ερωτήματα και κάνουν υποθέσεις για την επίλυση τους.

3. Οι προσομοιώσεις χρησιμοποιούνται και ταυτόχρονα παρατηρείται και αναλύεται η συμπεριφορά του συστήματος.

4. Μετά τη χρήση των προσομοιώσεων, οι διδασκόμενοι καταλήγουν σε επιβεβαίωση ή απόρριψη των αρχικών τους υποθέσεων συσχετίζοντας τις παρατηρήσεις τους με τις επεξηγήσεις που αρχικά έδωσαν.

Η αποτελεσματικότητα των προσομοιώσεων είναι κατά πολύ εξαρτώμενη από τον τρόπο με τον οποίο αυτές εισάγονται στη διδακτική πρακτική (Hegarty, 2004). Μια σημαντική αρχή για τον σχεδιασμό τους είναι οι ξεκάθαροι διδακτικοί στόχοι και ο κατάλληλος σχεδιασμός, που οφείλει να είναι προσανατολισμένος σύμφωνα με τους στόχους. Έχει βρεθεί ότι οι προσομοιώσεις είναι αποτελεσματικότερες όταν: α) συμμετέχουν υποστηρικτικά σε μια διδακτική διαδικασία (Ruten *et al.*, 2012; Smetana & Bell, 2012), β) προσφέρουν υψηλής ποιότητας υποστηρικτικό υλικό, γ) ενθαρρύνουν την ανάπτυξη συλλογισμών, δ) προωθούν τη γνωστική ασυμφωνία των διδασκόμενων (Smetana & Bell, 2012).

Για την ανάπτυξη πολυμεσικών εφαρμογών-προσομοιώσεων απαιτείται μέριμνα σε διάφορους τομείς. Κάποιοι από αυτούς αφορούν το περιβάλλον, όπως ο σχεδιασμός της διεπαφής, η κατάστρωση της διάδρασης, η χρήση επισημάνσεων και τα συναισθηματικά στοιχεία του σχεδιασμού. Άλλοι αφορούν την ίδια την πληροφορία, όπως ο σχεδιασμός της, η επιλογή του κατάλληλου τύπου αναπαράστασης ή πολλαπλών αναπαραστάσεων και τέλος κάποιοι αφορούν τη διαδικασία όπως ο τρόπος της καθοδήγησης κατά τη διάδραση και η ανατροφοδότηση.

Οι χημικές προσομοιώσεις είναι δυναμικές οπτικοποιήσεις φαινομένων οι οποίες παρέχουν τη δυνατότητα για χειρισμό παραμέτρων και παρατήρηση ενός συστήματος (Suits, 2015). Οι έμπειροι χημικοί διαθέτουν την ικανότητα δημιουργίας και χειρισμού νοητικών «μοντέλων» μέσω διάφορων μηχανισμών χωρίς να χρησιμοποιούν κάποιο βοηθητικό animation. Οι έμπειροι προτιμούν τις περιεκτικές, ρεαλιστικές σχεδιοκινήσεις, καθώς περιέχουν μεγάλη ποσότητα πληροφορίας, αλλά αυτές επιβαρύνουν με γνωστικό

φορτίο τη μνήμη εργασίας των διδασκόμενων. Οι αρχάριοι διδασκόμενοι διατηρούν θετικές στάσεις ως προς τις προσομοιώσεις και συχνά προτιμούν να παρατηρούν μια δυναμική σχεδιοκίνηση από το να επεξεργάζονται λεκτική πληροφορία ή να ελέγχουν μετρήσεις σε πίνακες ώστε να αντιληφθούν ένα φαινόμενο (Suits, 2015). Οι διδασκόμενοι με υψηλή χωρική αντίληψη έχουν την ευχέρεια της μετατροπής μιας σχεδιοκίνησης σε νοητικό μοντέλο, το οποίο να μπορούν να αναπαράγουν επανειλημμένα, ώστε να οδηγούνται σε βαθύτερη κατανόηση (Suits, 2015).

Σχεδιασμός Διαδικτυακών Μαθησιακών Περιβαλλόντων για Βελτίωση της Μάθησης

Η διαδικτυακή εκπαίδευση είναι ιδιαίτερα δημοφιλής στις μέρες μας. Οι σύγχρονοι καθηγητές, ακολουθώντας τις νέες διδακτικές προσεγγίσεις δημοσιοποιούν το υλικό τους στο διαδίκτυο και συμμετέχουν σε μια διαδραστική - πολυσυμμετοχική διαδικασία μετάδοσης και υποστήριξης του υλικού τους. Αυτή είναι μια διαδικασία που ξεκίνησε και εξελίχθηκε κατά τις προηγούμενες δεκαετίες (Foust *et al.*, 1999). Παράλληλα, είναι ραγδαία η εξάπλωση των Μαζικά Ελεύθερων Διαδικτυακών Μαθήματων MOOCs (Massive Open Online Courses) στην παγκόσμια εκπαιδευτική κοινότητα. Αυτή η απελευθέρωση και παγκοσμιοποίηση της ακαδημαϊκής γνώσης, ανοίγει μεγάλες προοπτικές για τη διερεύνηση και την αξιολόγηση αυτού του τρόπου μετάδοσης της γνώσης, καθώς και ενδεχόμενης βελτίωσής του.

Όσον αφορά την έκβαση της διδακτικής διαδικασίας, τα διαδικτυακά διαδραστικά μαθήματα φαίνεται να έχουν συγκεκριμένα προτερήματα έναντι της παραδοσιακής διδασκαλίας. Για την επιτυχημένη μάθηση από διαδικτυακές εφαρμογές, καθώς και για τη βελτίωση της, οι Sitzman *et al.* (2008) προτείνουν έξι βασικά σημεία:

1. Ενεργός συμμετοχή των διδασκόμενων κατά τη διδασκαλία
2. Χρήση μεγάλου εύρους διδακτικών πρακτικών
3. Προσφορά γνώσεων που αφορούν προσόντα χρήσης του διαδικτύου
4. Πρόσβαση των εμπλεκόμενων σε ελεύθερα παρεχόμενες διαδικτυακές σημειώσεις.
5. Παροχή ταυτόχρονης/σύγχρονης αλληλεπίδρασης
6. Σχεδιασμός υλικού, ώστε οι εκπαιδευόμενοι να έχουν έλεγχο πάνω στο περιεχόμενο, την ταχύτητα παρουσίασης της πληροφορίας και την αλληλουχία.

Νωρίτερα από τα μέσα της προηγούμενης δεκαετίας, οι διαδικτυακές εφαρμογές ήταν ευρέως διαδεδομένες, τόσο για ακαδημαϊκά μαθήματα, όσο και για μαθήματα εκπαίδευσης του προσωπικού των εταιρειών. Τα εκπαιδευτικά ιδρύματα ξεκίνησαν την ίδια εποχή να παρέχουν μαζικά διαδικτυακά μαθήματα με μεγάλη συμμετοχή των διδασκομένων. Από τότε έως σήμερα αυτό το φαινόμενο έχει αυξηθεί κατά πολύ. Βασικά ερευνητικά ζητήματα που απασχολούν κυρίως τη διδακτική κοινότητα είναι:

α) η αποτελεσματικότητα αυτών των μεθόδων σε σύγκριση με την παραδοσιακή διδασκαλία μέσα στην τάξη,

β) η ύπαρξη διαφορών που προκύπτουν, είτε από το μέσο μετάδοσης της πληροφορίας, είτε από την εκπαιδευτική διαδικασία και

γ) η εύρεση συγκεκριμένων τρόπων βελτίωσης της μάθησης.

2.3 Πολυαναπαραστασιακά Περιβάλλοντα Μάθησης

Εισαγωγή στα Πολυαναπαραστασιακά Περιβάλλοντα

Οι πολλαπλές αναπαραστάσεις διαδραματίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στη διαδικασία της μάθησης, ειδικότερα όταν πρόκειται για πολύπλοκα επιστημονικά θέματα και συστήματα. Όταν χρησιμοποιούνται με τον σωστό τρόπο, μπορούν να λειτουργήσουν θετικά κατά τη διαδικασία της μάθησης και ο ευεργετικός τους ρόλος έχει γίνει γνωστός από πολλές έρευνες που αναφέρονται σε αυτές. Αυτός είναι ο λόγος που χρησιμοποιούνται σε μεγάλο βαθμό παράλληλα με τις νέες τεχνολογίες και συμμετέχουν στη δόμηση πολυαναπαραστασιακών πολυμεσικών περιβαλλόντων.

Σύμφωνα με τον Woolgar, (1988) (παράθεση σε Kozma *et. al*, 2000) το μήνυμα μιας αναπαράστασης δεν είναι πάντοτε άμεσα μεταδιδόμενο. Σε μεγάλο βαθμό το μήνυμα εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της ίδιας της αναπαράστασης, τα στοιχεία που οι επιστήμονες αναμένουν να παρατηρήσουν και τις συγκρίσεις των χαρακτηριστικών αυτών με άλλες αναπαραστάσεις. Οι πολλαπλές αναπαραστάσεις είναι διαφορετικοί τρόποι απεικόνισης του ίδιου θέματος και μπορούν να εξετάζουν διαφορετικές όψεις του ίδιου φαινομένου. Διάφορες απεικονίσεις ενός φαινομένου μπορεί να είναι λεκτικές, γραφικές, διαγραμματικές, αριθμητικές, με το νόημα πολλές φορές να παράγεται από τον συντονισμό των χαρακτηριστικών αναπαραστάσεων ή διαφορετικά, την *ενοποίηση* των αναπαραστάσεων. Βασικοί λόγοι για τους οποίους προκύπτει η ενοποίηση αυτή, είναι

κυρίως η καλύτερη αναπαράσταση μιας ιδέας, η παρουσίαση ενός συλλογισμού ή η επεξήγηση μιας έννοιας (Prain & Waldrip, 2008).

Παραδείγματα πολυμεσικών και πολυαναπαραστασιακών εκπαιδευτικών περιβαλλόντων, μπορούν να δοθούν για όλες τις επιστήμες και ένα κοινό χαρακτηριστικό τους είναι η πολυμορφία. Ο όρος «πολυμορφικός» αναφέρεται στην παράλληλη χρήση (ενοποίηση) των διάφορων αναπαραστασιακών μορφών (Hilton & Nichols, 2011). Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα με εκτεταμένη χρήση πολυαναπαραστασιακών εφαρμογών είναι ο ιστότοπος του Phet (του πανεπιστημίου του Colorado) (Wieman *et al.*, 2008, Lancaster *et al.*, 2013) για τη Φυσική και τη Χημεία, όπου υπάρχει μια σειρά από πολυμεσικές πολυαναπαραστασιακές εφαρμογές. Κάτι ανάλογο συμβαίνει και στα Μαθηματικά (Preiner, 2008; De Jong *et al.*, 1998; Cukierman *et al.*, 2014; Hohenwarter *et al.*, 2008), όπου διαγράμματα, ραβδογράμματα και γραφήματα πίττας είναι απαραίτητα για την απόδοση εννοιών, για τη μετεωρολογία (Mayer *et al.*, 1995), για τη γεωλογία κ.τ.λ. Η επιστήμη της Χημείας εξαιτίας της σωματιδιακής της φύσης, καθώς και των τριών αναπαραστασιακών επιπέδων, διαθέτει πληθώρα από εφαρμογές και διδακτικούς ιστότοπους, που εξυπηρετούν την ανάγκη οπτικοποίησης των φαινομένων (Lancaster *et al.*, 2013; Charistos *et al.*, 2005; Stieff, 2005; Russell *et al.*, 2000; Stern *et al.*, 2008), στοχεύουν στην εκμάθηση συγκεκριμένων εννοιών Χημείας και συνήθως ενσωματώνουν στοιχεία από διαφορετικού τύπου αναπαραστάσεις. Στα περισσότερα περιβάλλοντα Χημείας συμμετέχουν μοριακές προσομοιώσεις, στην προσπάθεια να γίνουν ορατά τα αόρατα μοριακά φαινόμενα και αισθητές οι διάφορες μοριακές διεργασίες. Οι δομές κατά Lewis, οι χάρτες ηλεκτροστατικού δυναμικού και τα μοντέλα σφαιρών-ράβδων (ball & stick) χρησιμοποιούνται παράλληλα και συνδυαστικά με διαγράμματα, πίνακες δεδομένων, χημικές εξισώσεις κ.α. (Stieff *et al.*, 2011; Kozma *et al.*, 2000) και δομούν αυτού του είδους τα πολυαναπαραστασιακά περιβάλλοντα.

Η συμβολή των πολυαναπαραστασιακών περιβαλλόντων στην κατανόηση εννοιών και στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών, είναι ότι μπορούν να διευκολύνουν τη μαθησιακή διαδικασία και να επιτυγχάνουν βαθύτερη κατανόηση των εννοιών, όταν χρησιμοποιούνται με τον κατάλληλο τρόπο. Οι επιδόσεις των διδασκομένων είναι σημαντικά καλύτερες όταν οι αναπαραστασιακές συμβάσεις και οι χωρικές σχέσεις είναι εμφανείς (Kumi *et al.*, 2013). Για τον σκοπό αυτό, οι διδάσκοντες της Χημείας,

χρησιμοποιούσαν αρκετά χρονιά πριν μοντέλα σε φυσική μορφή, τα οποία τώρα μπορούν να αντικατασταθούν από τα ψηφιακά. Οι σύγχρονες έρευνες στη Χημεία, εξετάζουν τα θετικά στοιχεία που μπορούν να αποκομίσουν οι διδασκόμενοι όταν έχουν πρόσβαση σε ψηφιακά μοντέλα και τα αντιπαραβάλλουν με άλλες διδακτικές μεθόδους (Stull *et al.*, 2012; Williamson *et al.*, 2013).

Οι σχετικά πιο πρόσφατες προσεγγίσεις στη διδασκαλία προσανατολίζονται στη χρήση συμβολικών αναπαραστάσεων, οι οποίες βοηθούν ιδιαίτερα στην επικοινωνία, καθώς αποτελούν κοινή γλώσσα ανάμεσα σε καθηγητές και μαθητές. Άλλος καθοριστικός παράγοντας είναι ο συνδυασμός με τις πρότερες εμπειρίες, που αποτελεί ένα ιδιαίτερα σημαντικό εργαλείο για τις επιστημονικές έννοιες, καθώς διευκολύνει την κατανόηση τους και μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση συγκεκριμένων μεμονωμένων συμβολικών συστημάτων ή με τη χρήση πολλαπλών διασυνδεόμενων αναπαραστάσεων. Οι γνώσεις των αρχάριων διδασκόμενων επηρεάζονται από μορφές, σχήματα και γενικότερα πληροφορίες που είναι ενσωματωμένες στο συμβολικό επίπεδο. Αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο διαφορετικές αναπαραστάσεις ενδέχεται να έχουν και διαφορετικό αντίκτυπο στη μάθηση. Η σαφής και ολοκληρωμένη κατανόηση και επικοινωνία μέσω των αναπαραστάσεων, αποτελεί βασικό στοιχείο του επιστημονικού εγγραμματισμού (scientific literacy) (Madden *et al.*, 2011).

Σύμφωνα με τον Greeno (1989), η συμβολική έκφραση δεν είναι μόνο ένας τρόπος ώστε να μεταδοθεί μια έννοια ή μια γνώση, αλλά είναι ο τρόπος με τον οποίο οι άνθρωποι κατανοούν ο ένας τον άλλον. Ένα και μοναδικό συμβολικό σύστημα όμως, δεν επαρκεί πάντα για τη μετάδοση ενός νοήματος. Έτσι, οδηγούμαστε στα πολυαναπαραστασιακά περιβάλλοντα μάθησης. Κατά την Ainsworth (2008), για την επιτυχή κατανόηση ενός θέματος μέσω των πολυαναπαραστασιακών περιβαλλόντων, απαιτούνται η κατανόηση της μορφής μιας αναπαράστασης, η κατανόηση του τρόπου επιλογής και κατασκευής μιας κατάλληλης αναπαράστασης και η κατανόηση των σχέσεων μεταξύ των αναπαραστάσεων και του θέματος το οποίο διδάσκεται.

Αναφερόμενοι στη διαδικασία κατανόησης οι Kozma *et al.* (1996) υποστηρίζουν ότι η κατανόηση ενός φαινομένου από κάποιον φοιτητή, βασίζεται στα χαρακτηριστικά μιας από τις χρησιμοποιούμενες πολλαπλές αναπαραστάσεις που στη συνέχεια, εμπλουτίζεται από τα χαρακτηριστικά μιας δεύτερης αναπαράστασης. Τα χαρακτηριστικά συγκρίνονται

και αντιστοιχίζονται και όταν είναι κοινά μπορούν εύκολα να συσχετισθούν και να ανακληθούν. Η δυνατότητα ανάκλησης για τους αρχάριους φοιτητές σχετίζεται κυρίως με το υλικό που έχουν κατανοήσει. Στο τέλος της διαδικασίας, οι φοιτητές έχουν αποκτήσει κάποιο βαθμό κατανόησης που επηρεάζεται κατά πολύ από τον αριθμό των χαρακτηριστικών μιας αναπαράστασης που αντιστοιχούν στα στοιχεία μιας ή περισσότερων αναπαραστάσεων.

Διάφοροι τύποι αντιστοιχίσεων που πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν κατά τη δημιουργία πολυαναπαραστασιακών περιβαλλόντων, όπως τους αναλύουν οι Kozma et al. (1996) είναι:

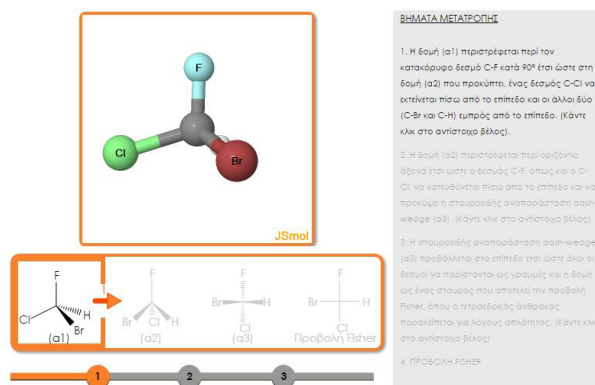
1. *Συμβολικό-πραγματικό.* Για την αναπαράσταση ενός φαινομένου χρειάζεται ένας κόσμος που αναπαρίσταται, καθώς και μια οντότητα που αναπαριστά αυτόν τον κόσμο (αναπαράσταση). Κάποιες πτυχές του πρώτου κόσμου απεικονίζονται από στοιχεία του δεύτερου. Η αντιστοίχιση των δύο κόσμων (αναπαραστασιακού και αναπαριστώμενου) είναι εξαιρετικά σημαντική για την κατανόηση ενός φαινομένου (Goldin, 1987). Για παράδειγμα, η περιστροφή ενός μορίου γύρω από έναν άξονα που φαίνεται σε μια τρισδιάστατη απεικόνιση, μπορεί να γίνει κατανοητή μέσω των πολλών αναφορών που υπάρχουν στον πραγματικό κόσμο.

2. *Συμβολικό-εννοιολογικό.* Οι διάφορες χημικές εκφράσεις ή σύμβολα μπορούν να γίνουν κατανοητά βάσει των διάφορων νοητικών μοντέλων που έχει δημιουργήσει ο διδασκόμενος λόγω της πρότερης εμπειρίας του. Είναι σημαντικό οι αναπαραστάσεις με αναφορές σε νοητικά μοντέλα να περιέχουν στοιχεία τα οποία να ταυτίζονται με τα χαρακτηριστικά των γνωστικών δομών των έμπειρων χημικών.

3. *Συσχετίσεις σε ενδοαναπαραστασιακό επίπεδο.* Οι χρήστες κάνουν αντιστοιχίσεις βασιζόμενοι στις παρεχόμενες συμβολικές εκφράσεις δημιουργώντας συνειρμούς και συσχετίσεις. Χωρίς αυτή τη συσχέτιση, οι παράμετροι του αναπαραστασιακού υλικού μπορεί να παραμείνουν μη εμφανείς και ουσιαστικά αχρησιμοποίητοι κατά τη μαθησιακή διαδικασία.

Το μεγαλύτερο μέρος της υπάρχουσας έρευνας πάνω στις αναπαραστάσεις, έχει να κάνει με τη μάθηση από πολλαπλές εξωτερικές αναπαραστάσεις και λίγες είναι αυτές

που αφορούν στη μάθηση από πολλαπλές γραφικές αναπαραστάσεις² (Rau *et al.*, 2014, Ainsworth & Loizou, 2003; Bodemer *et al.*, 2005). Σημαντικό στοιχείο είναι το γεγονός ότι οι περισσότεροι διδασκόμενοι διαθέτουν ευχέρεια στη νοητική επεξεργασία του κειμένου. Το κείμενο καθοδηγεί την οπτική προσοχή τους όσο επεξεργάζονται τις γραφικές αναπαραστάσεις και εκτελούν τις απαραίτητες διασυνδέσεις ή συσχετίσεις. Αντίθετα, στην περίπτωση των πολλαπλών γραφικών αναπαραστάσεων, δεν υπάρχει η κυρίαρχη οικεία αναπαράσταση του κειμένου και εξαρτάται από την πρότερη εμπειρία των διδασκόμενων το αν διαθέτουν εξοικείωση με την επεξεργασία των γραφικών αναπαραστάσεων (Rau *et al.*, 2014). Για να γίνουν οι συνδέσεις ανάμεσα στις πολλαπλές γραφικές αναπαραστάσεις, οι διδασκόμενοι θα πρέπει να χαρτογραφήσουν τα χαρακτηριστικά και να αντιληφθούν τις σχέσεις ανάμεσα σε διαφορετικές αναπαραστάσεις, καθοδηγούμενοι από τον σχεδιασμό του λογισμικού (Rau *et al.*, 2014).



Εικόνα 1.11: Πολλαπλές Αναπαραστάσεις από το Λογισμικό Χημείας που αναπτύχθηκε.

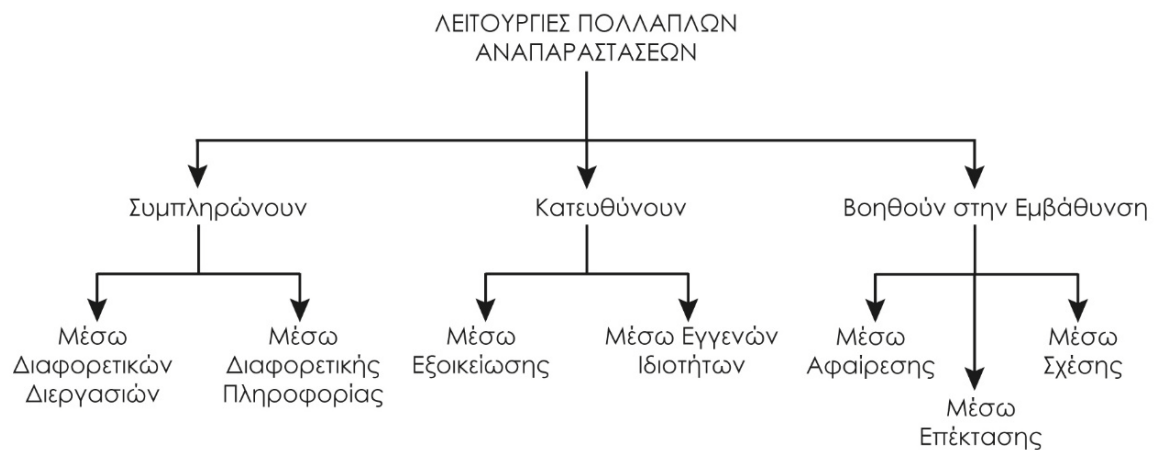
Η ανάπτυξη συλλογιστικής και δεξιοτήτων για τις επιστημονικές αναπαραστάσεις είναι απαραίτητες για την εκμάθηση των επιστημών. Σύμφωνα με τους Kozma και Russell (2005) δύο από τις βασικές δεξιότητες που απαιτούνται για την κατανόηση, τη δόμηση, τη μετάφραση και την αποτίμηση (evaluation) των αναπαραστάσεων αφορούν στην επεξεργασία περισσότερων της μίας αναπαραστάσεων καθώς τα περισσότερα μαθησιακά περιβάλλοντα περιέχουν δύο ή και περισσότερες πολλαπλές αναπαραστάσεις που έχουν κάποιες σχέσεις μεταξύ τους (διασυνδέσεις). Η πρώτη είναι η σύγκριση και

² Αντικείμενο έρευνας έχει αποτελέσει η σύγκριση ανάμεσα στη χρήση **πολλαπλών γραφικών αναπαραστάσεων** και τη χρήση **πολλαπλών εξωτερικών αναπαραστάσεων** που είναι και οι συνηθέστερα χρησιμοποιούμενες (Rau *et al.*, 2014). Η διαφορά ανάμεσα στις δύο κατηγορίες έχει να κάνει με την ύπαρξη ή όχι του κειμένου ως αναπαράσταση. Οι δεύτερες συνήθως, εμπεριέχουν κείμενο ως την κυρίαρχη αναπαράσταση.

αντιπαραβολή διαφορετικών αναπαραστάσεων και των πληροφοριών που εμπεριέχουν και η δεύτερη, η σύνδεση και επεξήγηση σχέσεων μεταξύ διαφορετικών αναπαραστάσεων (Kozma & Russell, 2005, Nitz *et al.*, 2014). Ο συνδυασμός δύο αναπαραστάσεων, όπως για παράδειγμα το γραπτό κείμενο και μια εικόνα, είναι πολύ συχνός στις πολυμεσικές εφαρμογές (Εικόνα 1.11) και μπορεί να οδηγήσει σε κατανόηση του θέματος, εάν το άτομο κατανοεί τη μορφή των αναπαραστάσεων και εκτελεί τις κατάλληλες νοητικές διεργασίες, ώστε να είναι σε θέση να αναγνωρίσει σχέσεις και αναλογίες. Το αποτέλεσμα είναι η δημιουργία μιας συνολικής νοητικής αναπαράστασης από το κείμενο και την εικόνα. Φυσικά, η προσοχή του χρήστη θα μπορούσε να περιοριστεί μόνο σε μία από τις δύο αναπαραστάσεις, κάτι που συνήθως δεν είναι επιθυμητό στα πολυαναπαραστασιακά περιβάλλοντα μάθησης.

Ο Ρόλος των Πολλαπλών Αναπαραστάσεων

Από τον συνδυασμό των αναπαραστάσεων μέσα σε μια εκπαιδευτική διαδικασία ή από το νοητικό συνδυασμό των αναπαραστάσεων, απορρέουν πολλά θετικά για τη μάθηση και τη διδασκαλία (Ainsworth, van Labeke, 2004; Stieff *et al.*, 2010; Al-Balushi & Coll, 2013). Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι πολλαπλές αναπαραστάσεις προσδίδουν συγκεκριμένα χαρακτηριστικά στη μαθησιακή διαδικασία.



Εικόνα 1.12: Λειτουργία Πολλαπλών Αναπαραστάσεων (Ainsworth, 2006)

Οι βασικές λειτουργίες των πολλαπλών αναπαραστάσεων είναι τρεις σύμφωνα με την Ainsworth (1999):

α) *Συμπληρωματικότητα*. Κάθε είδος αναπαράστασης έχει τη δυνατότητα να παρουσιάζει διαφορετικά στοιχεία του διδασκόμενου θέματος ή πολλές φορές τα ίδια

στοιχεία με διαφορετικό τρόπο (Complementary Role). Γίνεται εύκολα αντιληπτό λοιπόν, ότι διαφορετικοί τύποι αναπαραστάσεων μπορεί να είναι χρήσιμοι για διαφορετικούς σκοπούς (Εικόνα 1.12) γιατί μπορεί να διαφέρουν είτε στον τρόπο που αναπαριστούν, είτε στους βαθμούς ελευθερίας που παρέχουν στον χρήστη (Larkin & Simon, 1987). Κατ' επέκταση, διαφορετικές αναπαραστάσεις, μπορεί να ανταποκρίνονται σε διαφορετικές γνωστικές ανάγκες και επομένως σε άλλους τύπους χρηστών.

Τα κείμενα και οι εικόνες μπορούν να λειτουργήσουν επεξηγηματικά και να εισάγουν τον διδασκόμενο στο θέμα. Τα διαγράμματα έχουν ποιοτικό χαρακτήρα και προσφέρουν ανάλογο τύπου πληροφορία, ενώ τα γραφήματα και οι αριθμητικές αναπαραστάσεις χρησιμεύουν στην ανάλυση κυρίως της ποσοτικής πληροφορίας. Οι διδασκόμενοι σε περιβάλλοντα που περιέχουν πολλαπλές αναπαραστάσεις, αναμένεται να επωφεληθούν με διαφορετικό τρόπο από κάθε αναπαράσταση (Ainsworth *et al.*, 2002; Seufert, 2003; van Labeke & Ainsworth, 2001).

β) *Καθοδήγηση*. Μια άλλη βασική ιδιότητα των πολλαπλών αναπαραστάσεων είναι ότι μια αναπαράσταση μπορεί να **καθοδηγήσει** (Constrain Interpretation) ή να βοηθήσει στην κατανόηση κάποιας άλλης. Μια σχεδιοκίνηση (animation) για παράδειγμα, θα μπορούσε να παρέχει το έναυσμα για την κατανόηση ενός γραφήματος. Έχει αναφερθεί ότι πολλοί διδασκόμενοι έχουν την τάση να αντιμετωπίζουν τα γραφήματα ως εικόνες και όχι σαν συμβολικές αναπαραστάσεις (Karut *et al.*, 1989). Για παράδειγμα, ένα ενεργειακό διάγραμμα που παρουσιάζει τη μεταβολή της ενέργειας κατά την περιστροφή της εσωτερικής διέδρης γωνίας ενός μορίου, θα μπορούσε να αντιμετωπιστεί σαν μια απλή εικόνα από κάποιον που δε διαθέτει το απαραίτητο γνωστικό υπόβαθρο. Με τη συμμετοχή όμως μιας διαφορετικού τύπου αναπαράστασης, για παράδειγμα μιας σχεδιοκίνησης ή ενός διαδραστικού τρισδιάστατου μορίου (τα οποία παρουσιάζουν την εσωτερική περιστροφή του μορίου), το διδακτικό μήνυμα γίνεται σαφέστερο. Η παρατήρηση με αυτόν τον τρόπο είναι καθοδηγούμενη από τη δεύτερη αναπαράσταση που δεν έχει σκοπό την παροχή νέας πληροφορίας, αλλά την ανάπτυξη του συλλογισμού του διδασκόμενου σχετικά με τη λιγότερο οικεία του αναπαράσταση.

γ) *Εμβάθυνση*. Άλλο ένα χαρακτηριστικό που απορρέει από τη χρήση των πολλαπλών αναπαραστάσεων και ταυτόχρονα ένας βασικός της ρόλος, είναι το γεγονός ότι μέσω αυτής, οι διδασκόμενοι χτίζουν αφαιρετικές δομές. Μπορούν έτσι να οδηγηθούν

ευκολότερα σε **βαθύτερη κατανόηση** και να καταλήξουν σε νοητικά μοντέλα των διδασκόμενων εννοιών (Ainsworth & van Labeke, 2004). Οι Mayer και Anderson (1992) μελέτησαν τα αποτελέσματα στη μάθηση από διαφορετικούς συνδυασμούς εικόνων και κειμένων και κατέληξαν ότι οι μαθητές στους οποίους χορηγήθηκαν συνδυαστικά σχεδιοκινήσεις και λεκτική πληροφορία με τη μορφή κειμένου, είχαν καλύτερες επιδόσεις και μπορούσαν να παρέχουν πιο άρτιες επιστημονικές εξηγήσεις.

Ουσιαστικά, η αποτελεσματικότερη χρήση των πολλαπλών αναπαραστάσεων αποτελεί ζήτημα γνωστικής οικονομίας. Ο ρόλος του σχεδιαστή ενός διδακτικού μηνύματος είναι να μειώσει το γνωστικό φορτίο που δημιουργεί η επεξεργασία των πολλαπλών αναπαραστάσεων του εκπαιδευτικού υλικού μέσω διάφορων διαδικασιών όπως:

α) Η κωδικοποίηση χρώματος (Kalyuga *et al.*, 1998).

β) Η δυναμική Διασύνδεση (Scanlon, 1998; Ainsworth, 2008).

γ) Η χρήση υπερσυνδέσεων στο κείμενο, οι οποίες παρέχουν πρόσθετη βοήθεια κατά τη διάδραση (Brunken *et al.*, 2003; Seufert & Brunken, 2004).

Δυναμική Διασύνδεση

Το γεγονός ότι κάποιος διδασκόμενος δεν αντιλαμβάνεται τη σύνδεση των στοιχείων μεταξύ δύο ή περισσότερων αναπαραστάσεων, πολλές φορές μπορεί να οδηγήσει σε λανθασμένες αντιλήψεις ή σε παρανοήσεις (Mokros & Tinker, 1987). Είναι σημαντικό να γίνεται συσχετισμός στοιχείων των αναπαραστάσεων σε περίπτωση που αυτές, ακόμη και τμηματικά, παρουσιάζουν το ίδιο είδος πληροφορίας. Ο συσχετισμός αυτός ονομάζεται διασύνδεση (linking) των αναπαραστάσεων.

Η *δυναμική διασύνδεση* των αναπαραστάσεων επιτυγχάνεται όταν μέσα στο πολυμεσικό υλικό κατά την εκτέλεση μιας μεταβολής σε μια αναπαράσταση, ο χρήστης μπορεί να παρατηρήσει τον αντίκτυπο αυτής της μεταβολής και σε άλλες συνδεδεμένες αναπαραστάσεις (Ainsworth, 2008). Η μεταβολή μιας τιμής σε ένα πεδίο ενός λογισμικού που προκαλεί ταυτόχρονη μεταβολή σε ένα διάγραμμα, σε μια σχεδιοκίνηση (animation) ή σε ένα τρισδιάστατο μοντέλο, αποτελεί παράδειγμα διασύνδεσης. Αυτή η διαδικασία μπορεί να βοηθήσει σημαντικά στην κατανόηση της πληροφορίας (van der Meij & de Jong, 2006; Kaput, 1989). Μέσω των πολλαπλά και δυναμικά διασυνδεδεμένων αναπαραστάσεων μπορεί να επιτευχθεί:

α) η αναφορική επέκταση του περιεχομένου μέσω μεταφράσεων ανάμεσα στις αναπαραστάσεις ή ανάμεσα σε αναπαραστάσεις και σε άλλα εξωτερικά συστήματα (μη αναπαραστασιακά).

β) η ενσωμάτωση του περιεχομένου των αναπαραστάσεων στις προηγούμενες γνώσεις που διαθέτει ο διδασκόμενος (Karut, 1989). Η τελική αφομοίωση επιτυγχάνεται μέσω νοητικής επεξεργασίας των διεργασιών.

Μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζει ο τρόπος με τον οποίο οι δυναμικά διασυνδεδεμένες αναπαραστάσεις επηρεάζουν το γνωστικό φορτίο (van der Meij & de Jong, 2006). Με την κατάλληλα σχεδιασμένη δυναμική διασύνδεση, θεωρείται ότι το γνωστικό φορτίο μειώνεται, γιατί το λογισμικό μεταφράζει τις εκτελούμενες ενέργειες και ο διδασκόμενος μπορεί να μείνει συγκεντρωμένος στο αποτέλεσμα των ενεργειών του (Ainsworth, 2008). Ο καθοδηγητικός ρόλος των αναπαραστάσεων, μπορεί να δράσει καταλυτικά προς τη μείωση του γνωστικού φορτίου. Η εξοικείωση με μια ομάδα αναπαραστάσεων, βοηθά τον διδασκόμενο και στην εξοικείωση με άλλους αναπαραστασιακούς τύπους (Ainsworth, 2008).

Διδακτικό υλικό που παρέχει πολλαπλές συμβολικές αναπαραστάσεις, οι οποίες ως μεμονωμένα ερεθίσματα μπορεί να κατανοούνται ατελώς από τους αρχάριους, μπορεί να λειτουργήσει σαν ένα καλό εκπαιδευτικό εργαλείο. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση της δυναμικής διασύνδεσης, αλλά και με τη χορήγηση ανατροφοδότησης κατά την αναγνώριση κάποιας παρανόησης από τους φοιτητές. Σύμφωνα με τον Harpor (2003), η κατάλληλη χρήση των πολλαπλών διασυνδεδεμένων αναπαραστάσεων, διευκολύνει την εκτέλεση νοητικών διεργασιών και μπορεί εύκολα να οδηγήσει σε πληρέστερη κατανόηση.

Η άντληση της πληροφορίας και ο τρόπος που λειτουργεί και την εισπράττει ο κάθε διδασκόμενος, θεωρείται πολύ σημαντική για τα περιβάλλοντα που περιέχουν πολλαπλά διασυνδεδεμένες αναπαραστάσεις. Ο διδασκόμενος αντιπαραβάλλει συνεχώς τα θετικά που αποκομίζει από τη χρήση των αναπαραστάσεων με το κόστος των νοητικών απαιτήσεων που έχει το διδακτικό υλικό και ασυνείδητα ελέγχει αν η διαδικασία στην οποία εμπλέκεται είναι συμφέρουσα για τον ίδιο. Σημαντική είναι επίσης και η επιρροή του κοινωνικού περιβάλλοντος των διδασκόμενων (Ainsworth *et al.*, 1997).

Για την επίτευξη της *νοητικής διασύνδεσης* των αναπαραστάσεων μπορούν να χρησιμοποιηθούν δύο διαφορετικές στρατηγικές (Kozma & Russell, 1997):

α) οι διδασκόμενοι μπορεί να βασιστούν σε εντελώς επιφανειακά χαρακτηριστικά των αναπαραστάσεων που θα λειτουργήσουν σαν δείκτες για να επιτευχθεί η ζητούμενη βαθύτερη κατανόηση (μια διαδικασία που ακολουθείται συνήθως από τους αρχάριους) (diSessa *et al.*, 1991; Kozma & Russell, 1997). Ο μηχανισμός εργασίας των χρηστών για την αναγνώριση των ομοιοτήτων μεταξύ αναπαραστάσεων και την αντίληψη του φαινομένου, συνήθως ακολουθεί τα βήματα της παρατήρησης, του χειρισμού της πληροφορίας για την κατανόηση και τέλος, της επιστροφής στις αναπαραστάσεις για περισσότερη πληροφορία. Στο επόμενο στάδιο πραγματοποιείται ο έλεγχος των συμβολικών συστημάτων που χρησιμοποιούνται, η διάδραση με ένα σύστημα και ο έλεγχος των αποτελεσμάτων σε κάποιο άλλο. Σημαντική έχει αποδειχθεί επίσης για το μηχανισμό της σκέψης, η σύνδεση των συμβολικών χαρακτηριστικών με στοιχεία της καθημερινότητας.

β) οι διδασκόμενοι μπορεί να ακολουθήσουν εκτενή έλεγχο των στοιχείων των αναπαραστάσεων και ουσιαστικότερη ανάλυση μέσω βαθύτερων δομικών στοιχείων (Kozma *et al.*, 2000). Βασικά στοιχεία ελέγχου θεωρούνται *τα συμβολικά χαρακτηριστικά των αναπαραστάσεων* και η *χρονική έναρξη των γεγονότων*. Ο χρήστης μπορεί να αναγνωρίσει την αντιστοιχία διάφορων στοιχείων των αναπαραστάσεων, όπως ο αριθμός και η θέση κάποιων συμβόλων ή χρωμάτων ενώ παράλληλα, διάφορες αλληλουχίες γεγονότων μπορούν να οδηγήσουν συμπερασματικά σε διάφορες συνδέσεις. Όπως για παράδειγμα, το γεγονός ότι δύο κινήσεις γίνονται ταυτόχρονα ή διαδοχικά.

Με τη χρήση της πρώτης στρατηγικής, είναι πολύ πιθανό να δημιουργηθούν παρανοήσεις ή να μην εκτελεστούν οι κατάλληλες νοητικές διεργασίες για την κατανόηση. Χρυσή τομή για τη δημιουργία μάθησης μέσω των πολλαπλών αναπαραστάσεων, είναι η επεξεργασία όλων των σημαντικών δεδομένων και η χρήση αφαιρετικής σκέψης. Οι διδασκόμενοι συνδυάζουν διαδικασίες και παραμέτρους και έτσι είναι σε θέση να δομήσουν υψηλότερα επίπεδα οργάνωσης της πληροφορίας (Wu *et al.*, 2015; Ainsworth, 1999).

Σε ένα μεγάλο μέρος περιπτώσεων, η δυναμική διασύνδεση έρχεται να υπερκεράσει τις βασικές διαφορές, όπως το επίπεδο εμπειρίας των χρηστών κατά τη νοητική

διασύνδεση των αναπαραστάσεων. Ζητήματα που προαναφέρθηκαν, όπως ο επιφανειακός έλεγχος των αναπαραστάσεων, οι προβληματικές συσχετίσεις ή το μεγάλο γνωστικό φορτίο αρκετές φορές αντιμετωπίζονται μέσω της διασύνδεσης.

Προβλήματα στη Μάθηση με Πολλαπλές Αναπαραστάσεις

Οι επιζητούμενες συνδέσεις που είναι απαραίτητες για το μοντέλο των πολλαπλά διασυνδεδεμένων αναπαραστάσεων, είναι πιθανό φυσικά να μη συμβούν ποτέ. Αυτό μπορεί να οφείλεται σε αντιληπτικής ή εννοιολογικής φύσεως αίτια, καθώς η κατανόηση του υλικού μέσω των πολλαπλών αναπαραστάσεων έχει ιδιαίτερες απαιτήσεις από τον διδασκόμενο. Είναι πιθανό επίσης, ο αρχάριος φοιτητής να μην καταλάβει ότι υπάρχουν οι συνδέσεις ή να μην έχει κατανοήσει το περιεχόμενο, επομένως να μην είναι σε θέση να παρακολουθήσει τις συνδέσεις ανάμεσα στις αναπαραστάσεις.

Όταν κάποια πολυαναπαραστασιακή εφαρμογή χρησιμοποιείται παρουσία εκπαιδευτικού, συνήθως παρέχεται και σαφής αντιστοίχιση μεταξύ των αναπαραστάσεων. Παράλληλα, πολύ συχνά παρέχονται λεκτικές επεξηγήσεις, αναπτύσσονται απορίες, γίνονται προβλέψεις και γενικότερα, γίνεται επεξεργασία της πληροφορίας. Αν το περιβάλλον δε λειτουργεί θετικά προς την κατεύθυνση ικανοποίησης των παραπάνω αναγκών, υπάρχει ο κίνδυνος να δημιουργήσει πρόβλημα παρά να διευκολύνει τους διδασκόμενους. Για αυτό απαιτείται προσεκτικός σχεδιασμός και συγκεκριμένη στοχοθεσία, ώστε ένα πολυαναπαραστασιακό πολυμεσικό περιβάλλον να είναι αξιοποιήσιμο και πραγματικά χρήσιμο στη διδακτική διαδικασία.

Κατά τους Al-Balushi & Al-Hajri (2014), το γεγονός ότι πολλές φορές οι αναπαραστάσεις μπορεί να μην αποδεικνύονται διδακτικές οφείλεται σε τρεις λόγους:

1. Οι πολλαπλές αναπαραστάσεις έχουν αυξημένες γνωστικές απαιτήσεις. Κάποιες έρευνες βρίσκουν πλεονεκτήματα στον χωρικό διαχωρισμό των αναπαραστάσεων (Gutwill *et al.*, 1999) και όχι στη συνύπαρξή τους (Chandler & Sweller, 1991) μέσα στο διδακτικό υλικό, καθώς βρέθηκε ότι οι διδασκόμενοι είχαν έτσι καλύτερες επιδόσεις στα τελικά τεστ που χρησιμοποίησαν. Το νοητικό φορτίο που προκύπτει από τη συνύπαρξη των αναπαραστάσεων θα πρέπει να είναι κατάλληλο, ώστε να οδηγήσει σε ουσιώδη επεξεργασία της πληροφορίας (O' Keefe *et al.*, 2014).

2. Οι διδασκόμενοι ενδέχεται να παρουσιάσουν σύγχυση όταν χρησιμοποιούνται παραπάνω από μια εξηγήσεις ενός φαινομένου.

3. Οι διδασκόμενοι μπορεί να μην καταφέρουν να κατανοήσουν τα θέματα που εξετάζουν οι πολλαπλές αναπαραστάσεις ενός φαινομένου λόγω του βαθμού αφαίρεσης, του τρόπου παρουσίασης ή του τρόπου διασύνδεσης.

Με άλλα λόγια, ένας περιοριστικός παράγοντας των πολλαπλά διασυνδεόμενων αναπαραστάσεων, είναι το γεγονός ότι απαιτείται οπτική αντίληψη και ιδιαίτερη προσοχή, ώστε ο χρήστης να κατανοήσει τόσο τις συνδέσεις όσο και τα φαινόμενα. Ο δεύτερος εξίσου σημαντικός περιοριστικός παράγοντας, είναι η δημιουργία μεγάλου γνωστικού φορτίου για τους χρήστες, το οποίο επιβαρύνεται περαιτέρω από την ανάγκη πολλών και παράλληλων παρατηρήσεων και την πολυπλοκότητα των διάφορων αναπαραστάσεων.

Η άρση των περιορισμών αυτών θα μπορούσε να επιτευχθεί κατά τον Kozma και με τη μεταφορά ενός μέρους των απαιτήσεων στο ακουστικό τμήμα επεξεργασίας των ανθρώπινων γνωστικών δομών (Kozma & Russell, 2005). Τόσο οι ήχοι, όσο και διάφορα οπτικά εφέ, μπορούν να δράσουν διδακτικά κατά την εκτέλεση μιας ενέργειας. Προτείνεται λοιπόν, για τα πολυαναπαραστασιακά συστήματα να επιδιώκεται ενίσχυση της προσοχής από λεκτικές αναπαραστάσεις προφορικού λόγου. Μια βασική πρόταση του Kozma (Kozma & Russell, 2005) στον σχεδιασμό ανάλογων περιβαλλόντων είναι η διατήρηση των αναπαραστάσεων στο απλούστερο δυνατό επίπεδο. Αυτό, μπορεί να επιτευχθεί με την απεικόνιση σε αυτές μόνο των ουσιωδών στοιχείων.

Η νοητική διασύνδεση πολλές φορές προϋποθέτει τη διαδικασία της νοητικής μετάφρασης, η οποία είναι ιδιαίτερα απαιτητική για τους αρχάριους φοιτητές (Tabachneck *et al.*, 1994) και έτσι δεν είναι λίγοι αυτοί που παρουσιάζουν αδυναμία να ενοποιήσουν τις πολλαπλές αναπαραστάσεις με επιτυχία (van Someren, 1998). Το φαινόμενο αυτό είναι εντονότερο για εκείνους που διαθέτουν περιορισμένη πρότερη γνώση (Seufert & Brunken, 2004; O' Keefe *et al.*, 2014) και παρατηρείται επίσης κατά τη δυναμική διασύνδεση πολλαπλών αναπαραστάσεων μέσα σε διδακτικό υλικό.

Το βασικό πρόβλημα της κατανόησης των πολλαπλά διασυνδεόμενων αναπαραστάσεων συνοψίζεται στη μη ουσιώδη επεξεργασία της εξωγενούς πληροφορίας, που οφείλεται κυρίως σε τρεις παράγοντες (O' Keefe *et al.*, 2014):

1. Συνήθως, στα λογισμικά ο χρήστης είναι σε θέση να επανεξετάσει την πληροφορία, ενώ σε εφαρμογές που εμπεριέχουν δυναμικά διασυνδεόμενες οπτικοποιήσεις αυτό

δεν είναι πάντα εφικτό και οδηγεί σε επιβάρυνση της μνήμης εργασίας του διδασκόμενου.

2. Πολλές αναπαραστάσεις όταν είναι χωροταξικά διαχωρισμένες μέσα στο λογισμικό (όπως τα διαγράμματα), μπορεί να οδηγήσουν στο φαινόμενο της διασπώμενης προσοχής (split attention effect)..
3. Τα διαδραστικά στοιχεία αρκετών οπτικοποιήσεων, συχνά δημιουργούν επιπρόσθετες απαιτήσεις από τη μνήμη εργασίας στην περίπτωση των ψηφιακών προσομοιώσεων (O' Keefe *et al.*, 2014).

Άλλα προβλήματα τα οποία έχουν να κάνουν κυρίως με κάποια χαρακτηριστικά ορισμένων αναπαραστάσεων, είναι τα εξής:

1. Σχετίζονται ελάχιστα ή με έναν επιφανειακό τρόπο με το σύστημα το οποίο εξετάζουν και
2. Αποτυγχάνουν να μεταδώσουν στους αρχάριους το μήνυμα με σαφή και ακέραιο τρόπο (Goodman, 1976).

Οι έμπειροι επιστήμονες διαθέτουν διαφορετική εικόνα από τους αρχάριους για τα φαινόμενα που παρατηρούν. Οι έμπειροι χημικοί για παράδειγμα, παρατηρώντας ένα ίζημα που προκύπτει από μια αντίδραση, δημιουργούν ένα νοητικό μοντέλο βασιζόμενοι όμως κατά ένα μεγάλο μέρος στην πρότερη τους γνώση. Οι διδασκόμενοι, έχοντας μικρότερη πρότερη γνώση και διακατεχόμενοι από ελλιπείς πληροφορίες, μπορεί να καταλήξουν σε ελλιπή συμπεράσματα. Κάτι ανάλογο μπορεί να συμβεί και με τις αναπαραστάσεις, δηλαδή να παρερμηνεύσουν ή να παραλείψουν διάφορα συμβολικά χαρακτηριστικά και να καταλήξουν σε λανθασμένη νοητική αναπαράσταση.

Πολλές φορές υπάρχει αδυναμία αναγνώρισης των **δυναμικών** χαρακτηριστικών μιας αναπαράστασης ή ενός φαινομένου που μπορεί να είναι εύκολα αναγνωρίσιμο μετά από κάποιο βαθμό εμπειρίας. Οι συμβολισμοί, δεν είναι πάντοτε σε θέση να παρέχουν στον αρχάριο τη δυναμικότητα μιας πληροφορίας και εκεί είναι που μπορούν να βοηθήσουν οι πολλαπλές αναπαραστάσεις. Στις προβολές Fischer για παράδειγμα, θα μπορούσε να παρερμηνευθεί η χρήση των κάθετων και οριζόντιων γραμμών λόγω της συμβολικής τους ομοιότητας με τους απλούς χημικούς δεσμούς. Το ίδιο μπορεί να συμβεί και στις προβολές Newman, όπου ένα αρχάριο χημικός ενδέχεται να μη γνωρίζει τη χρήση του κύκλου για τον συμβολισμό των κεντρικών ανθράκων.

Η ικανότητα των φοιτητών να μαθαίνουν από τις πολλαπλές αναπαραστάσεις, εξαρτάται από την ικανότητα τους να παρατηρούν τις συνδέσεις ανάμεσα στις διαφορετικές αναπαραστάσεις (Ainsworth, 2006; Bodemer & Faust, 2006, Seufert & Brunken, 2006; van der Meij & de Jong, 2006). Πολλές φορές όμως οι νοητικές διεργασίες που οδηγούν στην κατανόηση (μέσω συνδέσεων ανάμεσα στις προσλαμβανόμενες πληροφορίες), είναι πολύ απαιτητικές και είναι δύσκολο για τους διδασκόμενους να τις εκτελέσουν (Seufert, 2003). Έτσι, δεν είναι λίγες οι φορές που ενώ μέσα στο υλικό υπάρχουν πολλαπλές αναπαραστάσεις, δε χρησιμοποιούνται από τους διδασκόμενους. Ο χρήστης μπορεί να επικεντρωθεί σε μια, η οποία του φαίνεται πιο ξεκάθαρη ή οικεία. Έτσι, δεν ακολουθεί τα απαραίτητα βήματα της επεξεργασίας, της αφαίρεσης, της εξοικείωσης και της κατανόησης και ο ρόλος των πολλαπλών αναπαραστάσεων καθίσταται μη χρηστικός. Η δημιουργία των συνδέσεων είναι δύσκολη και συνήθως δε συμβαίνει αυθόρμητα, αν και είναι απαραίτητη για τη μάθηση των φοιτητών (Ainsworth, 2002; Rau *et al.*, 2012).

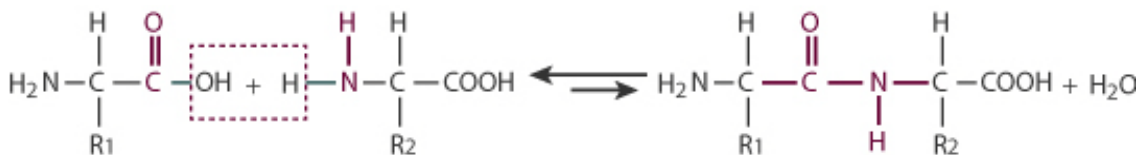
3 Οι Αναπαραστάσεις στη Χημεία

Η Χημεία είναι μια επιστήμη που βασίζεται κατά πολύ στην παρατήρηση και την ερμηνεία των χημικών εννοιών και διεργασιών που επιτελούνται στον κόσμο που μας περιβάλλει. Οι χημικοί έχουν ανάγκη να οπτικοποιούν τα χημικά φαινόμενα και να αποδίδουν τα χημικά μόρια και τις περίπλοκες χημικές μεταβολές με τη χρήση ψηφιακών ή φυσικών αναπαραστάσεων (Zare, 2002). Για αυτόν τον λόγο, έχει αναπτυχθεί ένα μεγάλο συμβολικό «οπλοστάσιο» που είναι άρρηκτα συνδεδεμένο με την ερμηνεία, κατανόηση και διδασκαλία της χημικής γνώσης. Για την περιγραφή διαφορετικών εννοιών, χρησιμοποιούνται και διαφορετικού τύπου αναπαραστάσεις. Ταυτόχρονα, οι αναπαραστάσεις καθίστανται αντικείμενο μελέτης σε ό,τι αφορά τα αίτια και τη μεθοδολογία δημιουργίας και χρήσης τους, καθώς και τον ιστορικό τους ρόλο (Kozma *et al.*, 2000). Οι επιδόσεις των φοιτητών Χημείας στις σπουδές τους συνδέονται με αρκετές δεξιότητες, πολλές από τις οποίες αφορούν τον τρόπο με τον οποίο κατανοούν ή χειρίζονται τις αναπαραστάσεις.

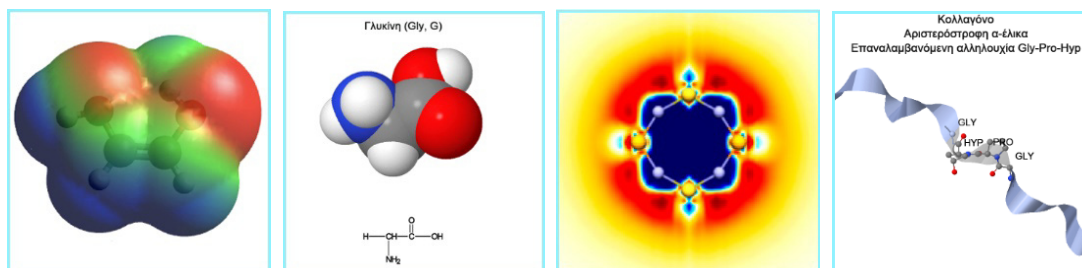
Οι χημικές αναπαραστάσεις μεταβάλλονται παράλληλα με την πρόοδο που επιτελείται στην επιστήμη της Χημείας, καθώς προκύπτουν νέες ανάγκες για την απεικόνιση και τη μελέτη νέων φαινομένων. Για παράδειγμα, η απεικόνιση της χημικής αντίδρασης μέσω χημικών εξισώσεων αποτελεί μια από τις πρώτες χημικές αναπαραστάσεις, ενώ τα ψηφιακά τρισδιάστατα μοντέλα, οι χάρτες ηλεκτροστατικού δυναμικού και η απεικόνιση μαγνητικών πεδίων είναι μεταγενέστερες (Εικόνα 1.13α). Αναπαραστάσεις όπως αυτή της *α-έλικας* (Εικόνα 1.13ε), είναι πιο πρόσφατες (1948) και δεν υπήρχαν στα αρχικά στάδια ανάπτυξης της επιστήμης, γιατί πολύ απλά τα φαινόμενα τα οποία οπτικοποιούν δεν αποτελούσαν τότε αντικείμενο μελέτης. Επομένως, η κάθε αναπαραστάση έρχεται να καλύψει μια καινούρια ανάγκη απεικόνισης, ευχρηστίας και επικοινωνίας του φαινομένου και της έννοιας που μελετάται.

Οι χημικές αναπαραστάσεις μπορούν να ταξινομηθούν σε διάφορες κατηγορίες και με διάφορα κριτήρια. Έτσι, υπάρχουν δισδιάστατες και τρισδιάστατες αναπαραστάσεις, οι οποίες απεικονίζουν άλλες φορές μικροσκοπικά ενώ άλλες μακροσκοπικά φαινόμενα, όπως επίσης υπάρχουν και στατικές ή δυναμικές αναπαραστάσεις. Μια βασική

κατηγοριοποίηση με κριτήριο τον τρόπο χρήσης και λειτουργίας τους, είναι ο διαχωρισμός τους σε εσωτερικές και εξωτερικές αναπαραστάσεις.



α



β

γ

δ

ε

Εικόνα 1.13: Διαφορετικές Αναπαραστάσεις στη Χημεία: α) χημική εξίσωση, β) χάρτης ηλεκτροστατικού δυναμικού, γ) χωροπληρωτικό μοντέλο, δ) μαγνητικό πεδίο εφαρμοσμένο σε κυκλικό μόριο και (ε)αριστερόστροφη α-έλικα κολλαγόνου.

Εσωτερικές (Internal Representations) ονομάζονται οι αναπαραστάσεις που δημιουργούνται στη μνήμη εργασίας³ του διδασκόμενου κατά τη νοητική επεξεργασία και συμμετέχουν στην κατασκευή των κατάλληλων νοητικών δομών για την κατανόηση ενός φαινομένου (Al-Balushi & Al Hajri, 2014).

Οι *εξωτερικές αναπαραστάσεις (External Representations)* είναι τα εξωτερικά ερεθίσματα που χρησιμοποιούνται κατά την εκπαιδευτική διαδικασία για την περιγραφή και την αποσαφήνιση εννοιών και φαινομένων (Χαριστός, 2005; Nahum, 2004; Nitz-Ainsworth, 2014; Ainsworth, 2006) και διαμορφώνουν το συμβολικό αναπαραστασιακό επίπεδο που θα περιγραφεί στη συνέχεια.

Μια δεύτερη κεντρική κατηγοριοποίηση των αναπαραστάσεων θα μπορούσε να γίνει με βάση την τροπικότητα (modality) τους, σε τρεις βασικές κατηγορίες:

- *Λεκτικές αναπαραστάσεις*, δηλαδή αναπαραστάσεις προφορικού ή γραπτού λόγου.
- *Οπτικές ή Γραφικές αναπαραστάσεις* με περαιτέρω διαχωρισμό τους σε *πραγματικές* και *λογικές* αναπαραστάσεις (Schnotz, 2005).
- *Συμβολικές αναπαραστάσεις*, στις οποίες περιλαμβάνονται τα χημικά σύμβολα και

³ Η ανθρώπινη γνωστική δομή που επεξεργάζεται την πληροφορία

οι εξισώσεις (Wu & Puntambekar, 2012; Gilbert, 2005).

Τέλος, ανάλογα με το επίπεδο αφαίρεσής τους, αλλά και την έκφραση του φαινομένου που αναπαριστούν, οι αναπαραστάσεις κατατάσσονται σε τρία διαφορετικά επίπεδα αναπαραστάσεων, το *μακροσκοπικό*, το *μικροσκοπικό* και το *συμβολικό* (Johnstone, 1993). Αυτά τα επίπεδα έχουν σημαντική σχέση μεταξύ τους, η οποία είναι σημαντικό να γίνεται ξεκάθαρη κατά τη διδασκαλία της Χημείας. Ο δρόμος προς την κατάκτηση της επιστήμης, περνάει μέσα από την αποσαφήνιση της σχέσης αυτών των τριών επιπέδων.

3.1 Ο ρόλος των αναπαραστάσεων

Ο ρόλος των αναπαραστάσεων στην επιστήμη της Χημείας, είναι τριπλός. Βοηθούν την *επικοινωνία* μεταξύ των χημικών, βοηθούν στην καταγραφή και την *ερμηνεία* των ερευνητικών αποτελεσμάτων, ενώ παράλληλα διευκολύνουν τη *διδασκαλία* και *κατανόηση* της Χημείας.

Επικοινωνία

Οι χημικές αναπαραστάσεις αποτελούν τη γλώσσα των χημικών (Hoffman & Laszlo, 1991). Ο ρόλος των μοριακών τύπων στη γλώσσα της Χημείας θα μπορούσε να παραλληλισθεί με τον ρόλο των λέξεων στον γραπτό και τον προφορικό λόγο. Η επιστήμη της Χημείας, έχει μεταβεί από την επιφανειακή εξέταση και παρατήρηση των φαινομένων στην ενδεδεχθή αναζήτηση των αιτίων και των μηχανισμών τους. Αυτό έχει οδηγήσει και σε ανάλογη διεύρυνση των αναπαραστασιακών τύπων. Μέσω των σύγχρονων αναπαραστάσεων μπορούν να αποδοθούν φαινόμενα, αντιδράσεις, διεργασίες και μηχανισμοί, μεμονωμένες ενώσεις και ιδιότητες των ενώσεων αυτών, λειτουργίες συστημάτων, πειραματικές διαδικασίες, χημικά και φυσικά φαινόμενα κ.α. (Chiu & Wu, 2009).



Εικόνα 1.14: Διαφορετικές Αναπαραστάσεις του μορίου του αιθανίου.

Η κατάλληλη αναπαράσταση καθορίζεται συνήθως από το μεταδιδόμενο μήνυμα. Για παράδειγμα, το μόριο του αιθανίου θα μπορούσαμε να το εκφράσουμε με πολλούς και

διαφορετικούς τρόπους, αλλά ο τρόπος με τον οποίο απεικονίζουμε ένα μόριο εξαρτάται και από την πληροφορία που επιθυμούμε να μεταδώσουμε.

Ερμηνεία

Η ερμηνεία των αποτελεσμάτων ενός πειράματος στα πλαίσια της ερευνητικής διαδικασίας, βασίζεται πολλές φορές στις αναπαραστάσεις. Ένα διάγραμμα ή μια εικόνα ενός μορίου μπορεί να βοηθήσει στην εξαγωγή συμπερασμάτων και να οδηγήσει στην κατανόηση των φαινομένων. Ο τύπος της αναπαράστασης που χρησιμοποιείται κάθε φορά βοηθά στην ανάλυση των αποτελεσμάτων και την παρουσίαση τους στην επιστημονική κοινότητα. Για παράδειγμα, μια δυναμική αναπαράσταση ενός δονούμενου μορίου, μπορεί να είναι πιο αποτελεσματική για την ερμηνεία ενός φαινομένου από ένα διάγραμμα ή ένα πίνακα τιμών.

Διδασκαλία & Κατανόηση

Για τη διδασκαλία διαφορετικών μοριακών ιδιοτήτων και διεργασιών, ο χημικός καλείται να χρησιμοποιήσει διαφορετικού τύπου αναπαραστάσεις. Υπάρχουν αναπαραστάσεις που περιγράφουν την κατανομή του φορτίου, τον μηχανισμό των χημικών αντιδράσεων, τον τρόπο δόνησης των μορίων κ.α. οι οποίες λειτουργούν επεξηγηματικά σε οποιαδήποτε θεματική ενότητα. Ο ρόλος των αναπαραστάσεων στην εκπαιδευτική διαδικασία αφορά κυρίως στη βοήθεια του διδασκόμενου, με την πρόκληση των κατάλληλων ερεθισμάτων και νοητικών διεργασιών, οι οποίες τον καθοδηγούν στην κατανόηση του διδασκόμενου θέματος.

Οι εμπειρογνώμονες χημικοί σε αντίθεση με τους αρχάριους, διαθέτουν ανεπτυγμένες δεξιότητες για τον νοητικό χειρισμό των μοριακών αναπαραστάσεων (Kozma & Russell, 2005). Αυτό αποτελεί μια ουσιαστική διαφορά, ανάμεσα στις δύο αυτές ομάδες χημικών. Απαραίτητη προϋπόθεση για να μεταβεί ένας φοιτητής από το επίπεδο του αρχάριου σε ένα επίπεδο μεγαλύτερης εμπειρίας, είναι η ανάπτυξη μιας σημαντικής εξοικείωσης με τις χημικές αναπαραστάσεις (Kozma & Russell, 2005). Όταν δεν υπάρχει αυτή η εξοικείωση, ο διδασκόμενος αντιμετωπίζει δυσκολία στην επικοινωνία του με την επιστημονική κοινότητα, στη μετάδοση των απόψεών του και στην ενημέρωσή του σχετικά με την εξέλιξη της επιστήμης του. Η επιτυχία στη Χημεία είναι άμεσα συνυφασμένη με την κατανόηση και τον χειρισμό διαφορετικού τύπου αναπαραστάσεων.

3.2 Τα Τρία Επίπεδα Αναπαραστάσεων

Από τη φύση της, η επιστήμη της Χημείας, έχει να κάνει με στοιχεία και φαινόμενα του *μακρόκοσμου* τα οποία είναι παρατηρήσιμα, απτά και αισθητά, όσο και με αντικείμενα και φαινόμενα του *υπο-μικροσκοπικού* κόσμου όπως τα άτομα, τα μόρια, τα ιόντα και οι αλληλεπιδράσεις τους (Jaber & Boujaoude, 2012).

Η σύνδεση ανάμεσα στο *μακροσκοπικό* και το *μικροσκοπικό* επίπεδο, δηλαδή ανάμεσα στα παρατηρήσιμα και τα μη παρατηρήσιμα φαινόμενα, επιτυγχάνεται μέσω του *συμβολικού* αναπαραστασιακού επιπέδου, που αποτελείται από τύπους, εξισώσεις, γραφήματα, διαγράμματα κ.α. (Johnstone, 2000).

Μακροσκοπικό επίπεδο αναπαραστάσεων

Το πρώτο επίπεδο αναπαραστάσεων, εκτός από μακροσκοπικό θα μπορούσε να χαρακτηριστεί και φαινομενολογικό. Τα φαινόμενα που περιλαμβάνονται στο επίπεδο αυτό μπορούν να ανιχνευθούν και να παρατηρηθούν μέσω των ανθρώπινων αισθήσεων όπως η όραση, η αφή, η όσφρηση και η ακοή (Gilbert & Treagust, 2009).

Στο μακροσκοπικό επίπεδο συμπεριλαμβάνονται ιδανικά ή απλουστευμένα παραδείγματα, τα οποία λειτουργούν ως ερεθίσματα ή αντικείμενα προς διερεύνηση από τους διδασκόμενους (Gilbert *et al.*, 2000). Παραδείγματα ανάλογων ερεθισμάτων αποτελούν οι εμπειρικές ιδιότητες των στερεών, των υγρών, των κολλοειδών, των αερίων και των αερολυμάτων όπως η μάζα, η συγκέντρωση, η πυκνότητα, η θερμοκρασία και η ωσμωτική πίεση (Gilbert & Treagust, 2009). Οι ιδιότητες αυτές γίνονται εύκολα αντιληπτές, τόσο κατά τη διάρκεια μιας εργαστηριακής άσκησης, όσο και στην καθημερινότητα των διδασκόμενων και είναι ιδιαίτερα διδακτικές για θέματα που στηρίζονται κατά πολύ στην παρατήρηση εργαστηριακών αποτελεσμάτων (Treagust *et al.* 2003). Ο ρόλος τους στη χημική εκπαίδευση είναι σημαντικός, καθώς μέσω της παρατήρησης αναπτύσσονται οι απορίες. Μακροσκοπικά ερεθίσματα από την καθημερινότητα ή από τον κόσμο που περιβάλλει τον διδασκόμενο, λειτουργούν ιδανικά ως εναρκτήριο έναυσμα της διδακτικής διαδικασίας, ενώ παράλληλα παρέχουν πληροφορία που αφορά και τα υπόλοιπα δύο επίπεδα.

Μικροσκοπικό επίπεδο αναπαραστάσεων.

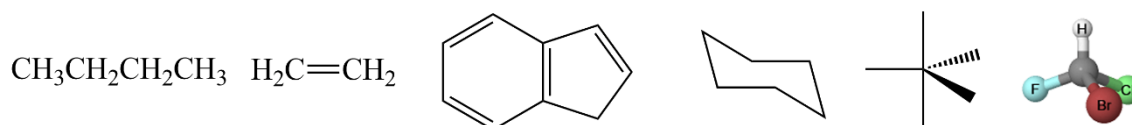
Το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της επιστήμης της Χημείας, είναι το γεγονός ότι ένα μεγάλο φάσμα από μοντέλα και αναπαραστάσεις αφορά οντότητες που είναι πολύ μικρές

και αδύνατο να γίνουν αισθητές μέσω της αισθητηριακής οδού. Επομένως, η παραγωγή υλικού για την ερμηνεία των «μικροσκοπικών» φαινομένων, είναι απολύτως απαραίτητη. Οι ερμηνείες αφορούν κυρίως τη συμπεριφορά ατόμων, ιόντων, τροχιακών ή μη ορατών χημικών διεργασιών (Jaber & BouJaoude, 2012).

Το μικροσκοπικό επίπεδο, μπορεί να μη γίνεται αντιληπτό μέσω των ανθρώπινων αισθήσεων, αλλά είναι αυτό στο οποίο επιτελούνται οι χημικές διεργασίες. Έτσι, π.χ. ο μηχανισμός μιας αντίδρασης είναι πολύ σημαντικός για τη χημική γνώση, αλλά ο άνθρωπος δεν είναι σε θέση να τον παρατηρήσει μέσω της αισθητηριακής οδού. Το γεγονός ότι μια ένωση είναι στερεή και κάποια άλλη υγρή, μπορεί επίσης να ερμηνευτεί μέσω μοντέλων που αφορούν τον μικρόκοσμο της Χημείας. Διάφορα φαινόμενα και η μεταβολή των ιδιοτήτων χημικών ουσιών συνδέονται με την κατανομή των ηλεκτρονίων, δηλαδή με την κατανομή της ηλεκτρονιακής πυκνότητας ή τη μορφή των ατομικών και των μοριακών τροχιακών. Οι ερμηνείες και οι περιγραφές θα μπορούσαν να αποδοθούν μέσω διαγραμμάτων, γραφημάτων και μοριακών μοντέλων, όπως για παράδειγμα το χωροπληρωτικό ή το μοντέλο σφαιρών-ράβδων. Ο μικρόκοσμος είναι η βάση των χημικών φαινομένων, άλλα λόγω της αδυναμίας παρατήρησής του, εκφράζεται και οπτικοποιείται από το τρίτο επίπεδο αναπαραστάσεων, το συμβολικό.

Συμβολικό Επίπεδο Αναπαραστάσεων

Το τρίτο επίπεδο αφορά τη χρήση συμβόλων για την αναπαράσταση των χημικών ειδών και των ιδιοτήτων τους. Σε αυτό το αναπαραστασιακό επίπεδο περιλαμβάνονται εξωτερικές αναπαραστάσεις που μπορεί να είναι εικονιστικές, αλγεβρικές, φυσικές και ψηφιακές απεικονίσεις, όπως γραφήματα, μηχανισμοί αντιδράσεων, διάφορες αναλογίες και μοριακά μοντέλα (Treagust *et al.* 2003). Παραδείγματα στη Χημεία από τη χρήση αυτού του επιπέδου, είναι η χρήση γραμμάτων (*s*, *l*, *g*) για τον συμβολισμό της φυσικής κατάστασης των χημικών ενώσεων ως στερεά, υγρά ή αέρια, οι συντακτικοί τύποι, οι χημικές αντιδράσεις που αναπαρίστανται με τις ιοντικές χημικές εξισώσεις, καθώς και η χρήση των απαραίτητων συντελεστών που υποδεικνύουν τη διατήρηση της μάζας κατά την αντίδραση, οι αναφορές του ατομικού φορτίου και οι δείκτες που χαρακτηρίζουν τον αριθμό των ατόμων σε κάποια ένωση.



Εικόνα 1.15: Διαφορετικές συμβολικές αναπαραστάσεις στην Χημεία

Το συμβολικό επίπεδο αναπαράστασης θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως αναφορά του μακροσκοπικού επιπέδου όταν έχουμε να κάνουμε με ογκώδεις ποσότητες αντιδραστηρίων, ή με αναπαραστάσεις του μικροσκοπικού επιπέδου που περιγράφουν φυσικές ή χημικές μεταβολές και αντιδράσεις. Το μεγαλύτερο μέρος της Χημείας όμως αφορά τον μικρόκοσμο, γι' αυτό και η χρήση των συμβόλων για την ερμηνεία τους καθίσταται απαραίτητη. Τα χημικά σύμβολα εκτείνονται από πολύ απλά ως πολύ σύνθετα και η μορφή τους εξαρτάται από την πληροφορία που θέλουν να μεταδώσουν. Υπάρχουν απλοί μοριακοί και συντακτικοί τύποι, αναπαραστάσεις στικτών και έντονων γραμμών (που στοχεύουν στην παρουσίαση της διευθέτησης των ατόμων στον χώρο) χάρτες ηλεκτροστατικού δυναμικού, τρισδιάστατες αναπαραστάσεις κ.α. (Εικόνα 1.15).

Ο πολυεπίπεδος τρόπος σκέψης που απαιτείται για την κατανόηση της Χημείας, μπορεί να παρασταθεί μέσω ενός τριγώνου με τα τρία αναπαραστασιακά επίπεδα να καταλαμβάνουν τις κορυφές του (Εικόνα 1.16). Το καθένα από αυτά τα επίπεδα έχει έναν διαφορετικό στόχο κατά τη διαδικασία μάθησης των χημικών εννοιών, αλλά και τα τρία μαζί συμβάλλουν στη δόμηση της κατανόησης. Ουσιαστικά σε αυτό το τρίγωνο απεικονίζεται ένα μοντέλο σκέψης το οποίο πρότεινε πρώτος ο Johnstone το 1982 και το ανέπτυξε διεξοδικότερα σε επόμενες μελέτες του (Johnstone, 1982).



Εικόνα 1.16: Η σχέση ανάμεσα στα τρία επίπεδα αναπαραστάσεων: Μακροσκοπικό, Μικροσκοπικό και Συμβολικό (Johnstone, 1982)

Στη Χημεία, όπως και σε άλλες συναφείς επιστήμες, η σύνδεση ανάμεσα στα τρία επίπεδα αναπαραστάσεων είναι πολύ σημαντική για την κατανόηση των βασικών αρχών

της επιστήμης και για τη δόμηση ισχυρών θεμελίων για την περαιτέρω εμφάνιση σε συγκεκριμένα πεδία της Επιστήμης. Η εμπειρία στην επιστήμη της Χημείας συνδέεται με την ευχέρεια χειρισμού των αναπαραστασιακών επιπέδων.

Πολλοί ερευνητές πρότειναν διαφορετικές ορολογίες για τον χαρακτηρισμό των αναπαραστασιακών επιπέδων. Όροι που κατά καιρούς έχουν χρησιμοποιηθεί για την περιγραφή των αναπαραστασιακών επιπέδων, είναι: *μακροσκοπικό, μικροσκοπικό και συμβολικό επίπεδο* (Ben-Zvi *et al.*, 1987; Gabel *et al.*, 1987) *μακροσκοπικός και ατομικός κόσμος* (Anderson, 1986; Bodner, 1992), *μάκρο-, υπο-μίκρο, και συμβολικό επίπεδο* (Johnstone, 1993), *μακροσκοπικό, μικροσκοπικό αλγεβρικό και συμβολικό σύστημα* (Nakhleh & Krajcik, 1994), *μάκρο-, υπομίκρο και αναπαραστασιακό* (Johnstone, 2000) και τέλος *μακροσκοπικό, υπομικροσκοπικό και συμβολικό επίπεδο* (Treagust *et al.*, 2003).

Παρά τις εναλλακτικές ορολογίες και κάποιες διαφορές στον ορισμό τους, η πλειοψηφία των ερευνητών χρησιμοποιεί ένα επίπεδο που περιγράφει τα μακροσκοπικά-αντιληπτά φαινόμενα, ένα επίπεδο που περιγράφει τα φαινόμενα τα οποία δε γίνονται αντιληπτά λόγω της μικροσκοπικής-σωματιδιακής τους φύσης και ένα επίπεδο που ουσιαστικά διαμεσολαβεί μεταξύ των άλλων και αποτελείται κυρίως από συμβολισμούς.



Εικόνα 1.17: Σύγχρονες Παραλλαγές του Τριγώνου του Johnstone.

Ο Mahaffy το 2006 τροποποίησε το τρίγωνο σε τετράεδρο, ώστε να συμπεριλάβει και τον ανθρώπινο παράγοντα, καθώς η αντιμετώπιση των αναπαραστασιακών επιπέδων από διαφορετικές ομάδες ατόμων (π.χ. από τους διδάσκοντες, τους φοιτητές και τους μαθητές της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης) δεν είναι η ίδια (Εικόνα 1.17) (Mahaffy, 2006).

Η Mei-Hung Chiu (2012) πρόσθεσε ένα επιπλέον στοιχείο, αυτό της γλώσσας, το οποίο θεώρησε σημαντικό, γιατί πολλές φορές βοηθά και κατευθύνει τους διδασκόμενους στην αντίληψη συγκεκριμένων φαινομένων (Εικόνα 1.17). Πολλοί φοιτητές βασιζόμενοι σε διαφορετικούς προφορικούς τρόπους περιγραφής των

φαινομένων, μπορεί να σχηματίσουν εναλλακτική αντίληψη ως προς τα φαινόμενα. Για την εννοιολογική επέκταση του τριγώνου, η Chiu μετέβαλε τον όρο *μίκρο-* σε *μέσο-* για να δείξει τη σχέση που υπάρχει ανάμεσα στο μακροσκοπικό επίπεδο και ένα άλλο επίπεδο αναφοράς, το οποίο (κατά την άποψη της) δεν είναι απαραίτητα το μικροσκοπικό (Chiu, 2012).

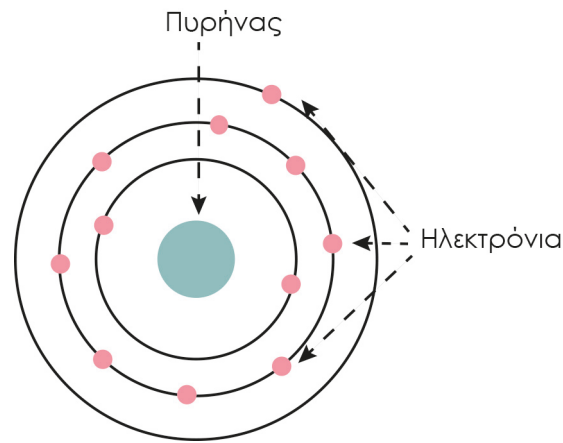
Συνοψίζοντας τα παραπάνω, παρόλο που τα μακροσκοπικά και ανιχνεύσιμα χημικά φαινόμενα αποτελούν το έναυσμα για τη διδασκαλία της Χημείας, οι ερμηνείες των φαινομένων βασίζονται στο υπομικροσκοπικό επίπεδο, το οποίο εκφράζεται μέσω του συμβολικού επιπέδου των αναπαραστάσεων. Στη διαδικασία της ερμηνείας και κατανόησης επιδρούν διάφοροι παράγοντες όπως οι γνώσεις, η ηλικία, η καταληψιμότητα της μνήμης, τα ερέθισμα που έχει κάποιο άτομο κ.α. (Treagust, 2003).

3.3 Επιστημονικά Μοντέλα & Νοητικό Μοντέλο

Σύμφωνα με τη γνωστική ψυχολογία, η γνώση στην επιστημονική εκπαίδευση στηρίζεται στη δημιουργία και την ανάπτυξη μοντέλων, ενώ η κατανόηση της επιστήμης περιλαμβάνει απαραίτητα την κατανόηση της φύσης των μοντέλων και της μοντελοποίησης. Το **μοντέλο** μπορεί να οριστεί ως η φυσική, εικονική, ψηφιακή στατιστική ή νοητική αναπαράσταση μιας ιδέας, ενός αντικειμένου ή πολλών αντικειμένων, ενός γεγονότος, μιας διεργασίας, ενός φαινομένου ή ενός συστήματος (Gilbert *et al.*, 2000; Rapp & Sengupta, 2012). Μπορεί να περιγραφεί μέσω αναπαραστάσεων κανόνων και αιτιολογήσεων. Οι Gilbert & Boulter, όπως και άλλοι ερευνητές, έχουν ασχοληθεί με τη μάθηση στη Χημεία και τη μοντελοποίηση και θεωρούν πως είναι μια επιστήμη που κυριαρχείται από τη δημιουργία μοντέλων (Gilbert *et al.*, 2000; Nahum, 2004). Στη Χημεία τα περισσότερα μοντέλα και η μοντελοποίηση αναφέρονται σε μια φυσική (απτή) ή ψηφιακή αναπαράσταση της δομής ή και της σύστασης ενός μορίου (Kozma & Russell, 2005).

Τα μοντέλα παράγονται από μια «πηγή» που ενδέχεται να είναι μια ιδέα ή ένα αντικείμενο με χρήση κάποιας μεταφοράς και αυτό που αναπαριστούν φαίνεται σε πρώτο επίπεδο να έχει στοιχεία της πηγής που το παρήγαγε (Nahum, 2004). Το μοντέλο θα μπορούσε να θεωρηθεί ως ενδιάμεσο στάδιο ανάμεσα στις αφαιρετικές περιγραφές της θεωρίας και τις ενέργειες που απαιτεί η διεξαγωγή ενός πειράματος. Για αυτό το λόγο

μπορεί να βοηθήσει ώστε να γίνουν προβλέψεις, να καθοδηγήσει την περιέργεια, να συνοψίσει δεδομένα, να δικαιολογήσει συμπεράσματα και να διευκολύνει την επικοινωνία (Jaber & Boujaoude, 2012).



Εικόνα 1.18: Το «πρότυπο» του Bohr

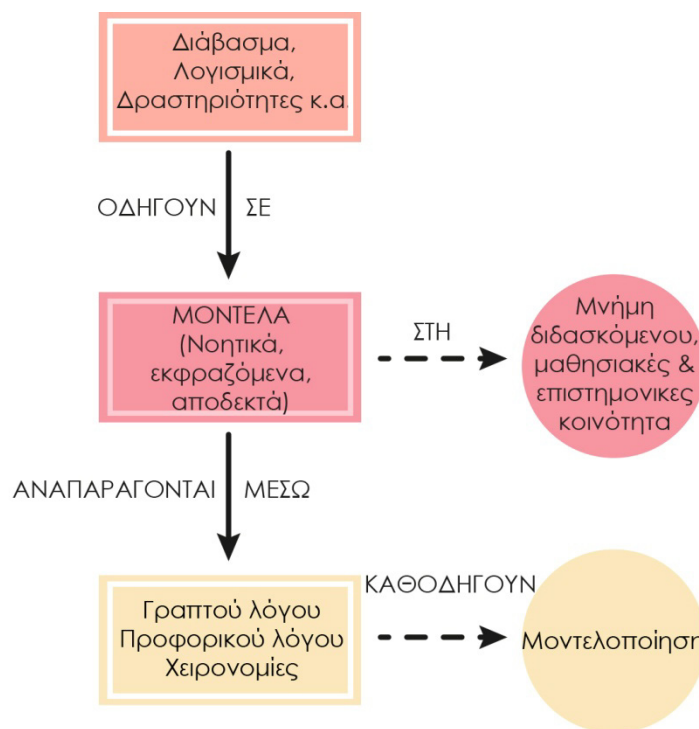
Το **επιστημονικό μοντέλο** ορίζεται σαν μια αναπαράσταση που είναι αφαιρετική και απλοποιεί ένα σύστημα, εστιάζοντας στα σημαντικά χαρακτηριστικά του, με στόχο την επεξήγηση και την πρόβλεψη επιστημονικών φαινομένων (Schwartz *et al.*, 2009). Τα μοντέλα είναι εργαλεία που εξωτερικεύουν τις επιστημονικές θεωρίες και δίνουν τη δυνατότητα για χειρισμό, περιγραφή, πρόβλεψη και επεξήγηση (Rapp & Sengupta, 2012). Κάποια παραδείγματα γνωστών και χρησιμοποιούμενων μοντέλων στις επιστήμες είναι το ατομικό πρότυπο του Bohr (Εικόνα 1.18), το σωματιδιακό μοντέλο της ύλης, ο κύκλος του νερού, η τροφική αλυσίδα κ.α.

Σχεδόν όλα τα μοντέλα στη Χημεία είναι μεταφορικά μοντέλα (Nahum, 2004). Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό κατά την εκπαιδευτική διαδικασία, καθώς στις περισσότερες περιπτώσεις τα μοντέλα δεν μπορούν να μεταδοθούν απευθείας αλλά μέσω ενός αναλογικού και συμβολικού τρόπου. Χρησιμοποιούνται ως **εργαλεία** τα οποία αναπαράγουν, μεταφέρουν, κατοπτρίζουν την πραγματικότητα και διευκολύνουν την επεξήγηση ή την πρόβλεψη φαινομένων.

Μια γενική ταξινόμηση των διαφόρων ειδών μοντέλων μπορεί να γίνει σε τέσσερις βασικές κατηγορίες (Treagust *et al.*, 2004). Ο ρόλος και των τεσσάρων κατηγοριών είναι να ερμηνεύσουν και να αναπαραστήσουν ένα εξεταζόμενο σύστημα, μέσω μιας συγκεκριμένης διαδικασίας (Εικόνα 1.19) : α) *κοινώς αποδεκτά* επιστημονικά μοντέλα, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν από κοινωνικές και επιστημονικές ομάδες και για τα οποία

υπάρχει μια «καθολική» αποδοχή της επιστημονικής τους αξίας, β) *διδασκτικά* μοντέλα, τα οποία έχουν δομηθεί με τέτοιο τρόπο ώστε να βοηθούν στην κατανόηση των κοινώς αποδεκτών μοντέλων, γ) *νοητικά* μοντέλα, τα οποία είναι προσωπικές ατομικές αναπαραστάσεις μιας κατάστασης και δ) *εκφραζόμενα* μοντέλα, τα οποία εξωτερικεύονται από κάποιο άτομο μέσω ενεργειών, προφορικού ή γραπτού λόγου.

Από τις παραπάνω κατηγορίες μοντέλων, μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζεται για τον ρόλο και τη χρήση του *νοητικού μοντέλου*. Ο Craik το 1943 όρισε το νοητικό μοντέλο ως ένα είδος νοητικής αναπαράστασης ή προσομοίωσης του κόσμου στον οποίο κάποιος θα μπορούσε να κάνει αναφορές, να αναπαράγει ενέργειες ή να συσχετίσει σύμβολα (Chiu & Wu, 2009). Ο ρόλος των νοητικών μοντέλων είναι πολύ σημαντικός και για τις διαδικασίες επίλυσης προβλημάτων στη Χημεία. Η ενθάρρυνση του μαθητή να ασχοληθεί με διάφορες αναπαραστάσεις, τον βοηθά στην αναγνώριση της απαραίτητης πληροφορίας για τη λύση προβλημάτων.



Εικόνα 1.19: Ο ρόλος των διαφόρων ειδών μοντέλων (Gilbert & Boulter, 1998)

Στη βιβλιογραφία αναφέρονται δύο τύποι **νοητικών** μοντέλων. Ο πρώτος τύπος αφορά στην αναπαράσταση μιας κατάστασης ή πολλών καταστάσεων, που περιγράφονται από μια σειρά υποθέσεων. Ο δεύτερος αναφέρεται στον χαρακτηρισμό

της γνώσης και των γνωστικών διεργασιών, ο οποίος επιτρέπει στους ανθρώπους να κατανοούν και να προβλέπουν τη συμπεριφορά μηχανικών, ηλεκτρονικών και βιολογικών συστημάτων (Hegarty *et al.* 2013).

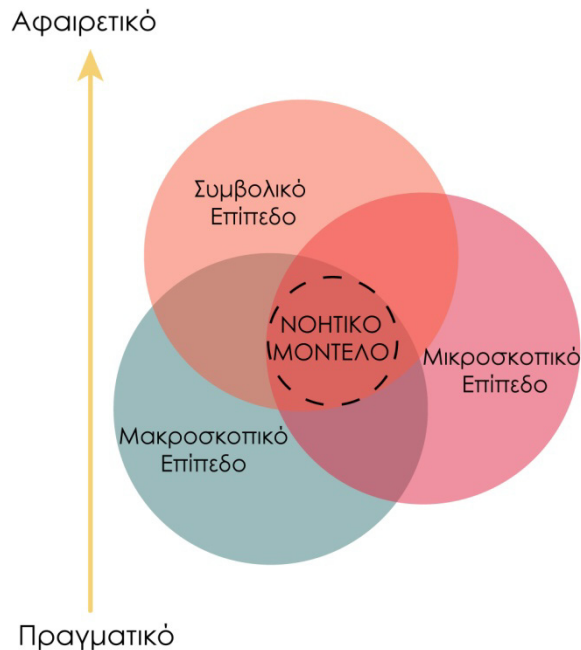
Αρκετοί ερευνητές θεωρούν τη δημιουργία των νοητικών μοντέλων ως κομβικό σημείο στη διαδικασία κατανόησης οποιουδήποτε φαινομένου ή πληροφορίας (Chiu & Wu, 2009). Συνεπώς, η έμφαση στη διαδικασία σχηματισμού των μοντέλων, στον σκοπό που επιτελούν και στη χρήση παραδειγμάτων για τη διευκόλυνση του σχηματισμού τους, είναι σημαντική πρακτική κατά την εκπαιδευτική διαδικασία και τη συστηματοποίηση της επίλυσης προβλημάτων (Harrison & Treagust, 2002).

Ο μηχανισμός κατά τον οποίο δημιουργούνται τα νοητικά μοντέλα είναι συγκεκριμένος. Κατά τους Vosniadou & Brewer, τα νοητικά μοντέλα είναι δυναμικές δομές που σχηματίζονται κατά την απάντηση ερωτήσεων ή τη λύση προβλημάτων (Vosniadou & Brewer, 1992). Κρίνεται σημαντικό να γίνεται αναφορά στη φύση και τον ρόλο του μοντέλου κατά τη διδακτική διαδικασία, να αποσαφηνίζεται η λειτουργικότητα τους (Justi & Gilbert, 2002) και να επιτυγχάνεται η διασύνδεση των εξωτερικών αναπαραστάσεων με τις εσωτερικές και τα φαινόμενα (Buckley & Boulter, 2000).

Οι συνδέσεις και η επικοινωνία ανάμεσα στα διαφορετικά επίπεδα αναπαραστάσεων, είναι αυτές που τελικά βοηθούν στη δημιουργία των νοητικών μοντέλων (Chiu & Wu, 2009). Ο συνδυασμός των τριών επιπέδων των αναπαραστάσεων και η εύκολη μετάβαση από το ένα στο άλλο, οδηγεί στην κατανόηση και των τριών αναπαραστασιακών επιπέδων που με τη σειρά της δομεί ένα ξεκάθαρο λειτουργικό και αξιοποιήσιμο νοητικό μοντέλο. Η επίτευξη όμως αυτής της σύνδεσης δεν είναι απλή. Οι ιδιαίτερα απαιτητικές νοητικές διεργασίες που πρέπει να επιτευχθούν, μπορεί να αποτελέσουν σημαντικό εμπόδιο κατά τη μάθηση της Χημείας. Απαιτείται ενασχόληση και βαθύτερη κατανόηση των εννοιών, καθώς οι χημικές αναπαραστάσεις οι οποίες λειτουργούν ως ενδιάμεσος «κρίκος» ανάμεσα στον μικρόκοσμο και τον μακρόκοσμο, δεν είναι μόνο οπτικά διαγράμματα αλλά είναι και **εννοιολογικές κατασκευές** (Hoffman & Laszlo, 91; Wu *et al.*, 2001, Sim *et al.*, 2014). Οι σχέσεις ανάμεσα στα τρία επίπεδα καθώς και τον σχηματισμό του νοητικού μοντέλου, μπορούν να αναπαρασταθούν μέσω του παρακάτω τρίπτυχου με το νοητικό μοντέλο στο κέντρο των τριών αναπαραστασιακών επιπέδων (Εικόνα 1.20). Τοποθετώντας τα τρία επίπεδα αναπαραστάσεων που συμμετέχουν στη

δημιουργία του νοητικού μοντέλου σε μια κλίμακα από το πραγματικό προς το αφαιρετικό (Εικόνα 1.20) είναι προφανές ότι:

- Το μακροσκοπικό επίπεδο που εκφράζεται στη διδασκαλία μέσω εργαστηριακών παρατηρήσεων χημικών φαινομένων είναι το πιο κοντινό επίπεδο στα πραγματικά φαινόμενα.
- Το μικροσκοπικό επίπεδο θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως ένα ενδιάμεσο επίπεδο αναπαράστασης, από το πραγματικό στο εντελώς αφαιρετικό επίπεδο.
- Το συμβολικό επίπεδο είναι το πιο αφαιρετικό από τα τρία επίπεδα αναπαράστασης.



Εικόνα 1.20: Το νοητικό μοντέλο διαδραματίζει κεντρικό ρόλο στη βοήθεια των φοιτητών για τη σύνδεση των τριών επιπέδων χημικών αναπαράστασεων (Suits, 2015)

Δυσκολίες στη δημιουργία νοητικού μοντέλου

Πολύ συχνά, οι φοιτητές Χημείας ή ακόμη και οι απόφοιτοι αδυνατούν να κάνουν χρήση των αναπαράστασεων ή να διδαχθούν από αυτές και αρκετοί δεν είναι σε θέση να σχηματίσουν ένα ακριβές νοητικό μοντέλο ενός συστήματος (Petridou *et al.*, 2012).

Οι διδάσκοντες σε πολλές περιπτώσεις έχουν λανθασμένες αντιλήψεις σχετικά με τα μοντέλα, καθώς τα αντιμετωπίζουν με μηχανικό τρόπο και θεωρούν ότι είναι πραγματικές εικόνες των μη ανιχνεύσιμων φαινομένων και ιδεών. Αρκετοί εστιάζουν τις πρακτικές τους στο περιεχόμενο συγκεκριμένων μοντέλων και όχι τόσο στη φύση των

μοντέλων και τη μοντελοποίηση (Van Driel & Verloop, 1998). Η επιστημονική μοντελοποίηση, σπάνια χρησιμοποιείται σε διδακτικές πρακτικές πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης. Πολλοί καθηγητές έχουν μικρή εμπειρία με τα επιστημονικά μοντέλα και δε διαθέτουν τη γνώση που χρειάζεται για τη μετάδοσή τους (Schwartz, 2009). Κατά τον Johnstone (1982), συχνά οι διδάσκοντες θεωρούν ότι οι διδασκόμενοι έχουν την ευχέρεια να μεταβαίνουν με ευκολία ανάμεσα στα διαφορετικά επίπεδα αναπαραστάσεων παρερμηνεύοντας κάποιες δεξιότητες τους (Treagust et al. 2003). Δηλαδή, ο βαθμός κατανόησης από τους διδασκόμενους του ρόλου κάθε αναπαραστασιακού επιπέδου, όπως και των σχέσεων ανάμεσα στα διαφορετικά επίπεδα, δεν είναι απολύτως ξεκάθαρος στους καθηγητές (Treagust et al., 2003) και έτσι δε δίνουν το απαραίτητο βάρος κατά τη διδασκαλία της τριπλής σχέσης. Συνεπώς, δε δομείται ένα ξεκάθαρο νοητικό μοντέλο, ούτε πλήρης κατανόηση της θεματικής ενότητας, ενώ ο διδασκόμενος μπορεί να έχει κατανοήσει μόνο το ένα από τα τρία επίπεδα.

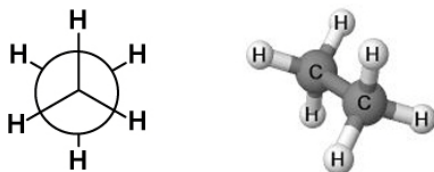
Ο αποτελεσματικός σχεδιασμός για τη μάθηση της επιστήμης, απαιτεί να λαμβάνονται υπόψη τα στοιχεία της πρακτικής των εμπειριών καθηγητών, που θα ήταν χρήσιμα για τους διδασκόμενους (Schwartz, 2009). Βοηθάει επίσης, η εστίαση στην επιστημονική πρακτική και όχι τόσο στις επιστημονικές ιδέες, όπως είναι για παράδειγμα η σωματιδιακή φύση της ύλης (Smith *et al.* 2006 παράθεση σε Schwartz, 2009). Τα μοντέλα δεν είναι οι σωστές απαντήσεις στα ερωτήματα που αφορούν την επιστημονική κοινότητα, αλλά είναι η προσπάθεια των επιστημόνων και των καθηγητών να αναπαραστήσουν δύσκολα και αφαιρετικά φαινόμενα (Nahum, 2004).

Ουσιαστικά, το ζητούμενο από τους φοιτητές Χημείας, αλλά και από τους μαθητές της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης, είναι να μπορούν να διατηρούν και να χρησιμοποιούν ένα αφαιρετικό επίπεδο σκέψης. Η έννοια του μοντέλου δε λειτουργεί υποστηρικτικά στην ανάπτυξη αφαιρετικής σκέψης και αναπόφευκτα οδηγεί σε παρανοήσεις και αποτελεί εμπόδιο στη μάθηση και την κατανόηση της Χημείας όταν αντιμετωπίζεται σαν υλικό αντικείμενο....

Συνοψίζοντας, οι διδασκόμενοι που έχουν κατανοήσει τις σχέσεις μεταξύ τριών επιπέδων, μπορούν να μετακινηθούν βάσει των προσόντων τους και να συνδέσουν εννοιολογικά τα διάφορα χημικά θέματα. Για να το κάνουν αυτό, θα πρέπει να έχουν εκτελέσει τις απαραίτητες νοητικές ασκήσεις. Σε αυτό μπορεί να βοηθήσει ο σχεδιασμός

δυναμικών αναπαραστάσεων για την αποσαφήνιση της σχέσης των τριών επιπέδων και την ενίσχυση της εννοιολογικής κατανόησης σε θέματα Χημείας (Bodner & Domin, 2000; Justi & Gilbert, 2002; Kozma, 2000).

3.4 Στατικές και Δυναμικές Αναπαραστάσεις



Εικόνα 1.21: Δισδιάστατη Διαγραμματική & Τρισδιάστατη Αναπαράσταση του Αιθανίου

Για πολλά χρόνια, οι αναπαραστάσεις που χρησιμοποιούσαν οι χημικοί για τη μετάδοση της χημικής πληροφορίας ήταν αμιγώς στατικές. Οι κυρίαρχες αναπαραστάσεις ήταν εικόνες δισδιάστατων μορίων, γραφικά και γραφήματα χωρίς κάποια δυναμικότητα, καθώς ο περιορισμός των τεχνολογικών μέσων που διέθεταν δεν επέτρεπε στους σχεδιαστές των εκπαιδευτικών «εργαλείων» να χρησιμοποιήσουν δυναμικά στοιχεία. Παράλληλα, τα διδακτικά εγχειρίδια περιορίζονταν μόνο, και σε μεγάλο βαθμό εξακολουθούν να περιορίζονται, σε στατικές εικόνες και γραφικά. Η Χημεία όμως, περιγράφει δυναμικά φαινόμενα και για τον λόγο αυτόν ήταν σημαντικό να απεγκλωβιστεί από τη στατικότητα των εγχειριδίων και ακολουθώντας τις νέες τεχνολογίες, να παρέχει διευκολύνσεις και κίνητρα σε καθηγητές και διδασκόμενους. Η δυναμική φύση των μορίων αλλά και των φαινομένων στα οποία συμμετέχουν, είναι σημαντικό να αναφέρεται και να παρουσιάζεται κατά την περιγραφή τους είτε απεικονίζονται στις δύο είτε στις τρεις διαστάσεις (Εικόνα 1.21).

Πολλές μελέτες έχουν ασχοληθεί με τις οπτικές αναπαραστάσεις στη διδασκαλία της Χημείας και με τον τρόπο με τον οποίο αυτές εκλαμβάνονται. Υπάρχουν έρευνες που αφορούν τα τρισδιάστατα μοριακά μοντέλα (Nakhleh *et al.*, 2000; Barnea & Dori, 1996), τις μοριακές σχεδιοκινήσεις (Williamson & Abraham, 1995; Sanger & GreenBowe, 2000), τις διαγραμματικές αναπαραστάσεις (Kumi *et al.*, 2013; Olimpo *et al.*, 2015) και τον συνδυασμό αναπαραστάσεων (Kozma & Russell, 1997; Bussey & Orgill, 2015).

Με την εξέλιξη των τεχνολογιών, ξεκίνησε και η ανάπτυξη νέων εργαλείων μάθησης που περιείχαν περισσότερα δυναμικά στοιχεία και παρείχαν τη δυνατότητα για ανάπτυξη

συγκεκριμένων απεικονίσεων και προσομοιώσεων, οι οποίες αφενός απέδιδαν με σαφέστερο τρόπο τα νοητικά μοντέλα που επιθυμούσε να μεταδώσει ο εκπαιδευτικός και αφετέρου, λόγω της δυναμικότητάς τους, έδιναν το έναυσμα για διάδραση και ευκολότερη αποσαφήνιση εννοιών, όπου ήταν απαραίτητο. Σήμερα, με τη χρήση πολυμέσων κατά τη διδασκαλία, οι εξωτερικές αναπαραστάσεις εκτείνονται από συμβολικές αναπαραστάσεις χημικών εξισώσεων σε γραφικά διαγράμματα εμπειρικών δεδομένων, από στατικές εικόνες σε δυναμικές σχεδιοκινήσεις και από απλές απεικονίσεις σε πολύπλοκες πολυμεσικές παρουσιάσεις (Bussey & Orgill, 2015).

Δυναμικές καλούνται οι αναπαραστάσεις οι οποίες παρουσιάζουν φαινόμενα και διεργασίες που μεταβάλλονται με τον χρόνο. Ο όρος της δυναμικής αναπαράστασης, αρκετές φορές θεωρείται ταυτόσημος με τον όρο της σχεδιοκίνησης (animation), αλλά στην πραγματικότητα η σχεδιοκίνηση αποτελεί υποσύνολο των δυναμικών αναπαραστάσεων (Ainsworth, VanLabeke, 2004). Η αποτελεσματικότητα της σχεδιοκίνησης στην εκπαιδευτική διαδικασία είναι γνωστή από τις πολυάριθμες έρευνες που έχουν γίνει έως σήμερα στο πεδίο αυτό (Schnotz *et al.*, 1999; Price, 2002). Σύμφωνα τους Ainsworth και VanLabeke (2004) υπάρχουν τρία είδη δυναμικών αναπαραστάσεων:

α. Οι **σταθερές με τον χρόνο** (time-persistent) που εκφράζουν τη σχέση τουλάχιστον μιας παραμέτρου με τον χρόνο και αναπαριστούν τη χρονική μεταβολή της. Αυτό το είδος της δυναμικής αναπαράστασης είναι το κοντινότερο στις στατικές αναπαραστάσεις. Σε αρκετές περιπτώσεις, η μόνη διαφορά ανάμεσα σε αυτού του είδους την αναπαράσταση και μια στατική εικόνα, είναι ότι τα δεδομένα παρουσιάζονται σταδιακά και όχι εξ' ολοκλήρου από την αρχή.

β. Οι **υπονοούμενου χρόνου** (time-implicit) που παρουσιάζουν ένα φάσμα από παραμέτρους και τη σχέση αναμεσα τους, αλλά όχι τον χρόνο στον οποίο μεταβάλλονται. Σε αντίθεση με την πρώτη κατηγορία, εδώ η κλίμακα του χρόνου γίνεται αντιληπτή μόνο κατά την εξέλιξη της δυναμικής παρουσίασης.

γ. Οι **μοναδιαίου χρόνου** (time-singular) που παρουσιάζουν μία ή περισσότερες μεταβλητές σε μια χρονική στιγμή. Σε αυτό το είδος ανήκει και ο κλασικός τύπος σχεδιοκίνησης που είναι συνεχώς μεταβαλλόμενος. Αυτού του είδους οι αναπαραστάσεις προβάλλουν μόνο μια κατάσταση ενός συστήματος και περιέχουν μικρότερο όγκο πληροφορίας για κάθε διάσταση, σε σύγκριση με τα άλλα δύο είδη αναπαραστάσεων.

Χρησιμοποιούνται όταν η πληροφορία που περιγράφουν είναι ιδιαίτερα πολύπλοκη και απαιτεί τη συμμετοχή αρκετών διαδραστικών στοιχείων.

Κατά τον σχεδιασμό των δυναμικών αναπαραστάσεων, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι οι διδασκόμενοι θα πρέπει να επικεντρώνονται σε συγκεκριμένα σημαντικά σημεία των αναπαραστάσεων και να μην αποσπώνται από περιφερειακά στοιχεία. Επίσης, θα πρέπει οι οπτικοποιήσεις να είναι κατάλληλα σχεδιασμένες, ώστε να μη δημιουργούν παρανοήσεις. Ο σχεδιασμός και η χρήση των δυναμικών αναπαραστάσεων θα πρέπει να επικεντρώνονται στη δημιουργία διαδραστικών μαθησιακών περιβαλλόντων που παρέχουν ένα φάσμα από στόχους και αφορούν ζητήματα από την ερμηνεία εννοιών ως την επεξήγηση χημικών φαινομένων (Suits, 2015).

Ο ρόλος των **στατικών αναπαραστάσεων** παραμένει ως σήμερα σημαντικός στην εκπαιδευτική διαδικασία και έχει γίνει αντικείμενο αρκετών μελετών (Cheng & Gilbert, 2009; Stroud & Schwartz, 2010; Kumi *et al.*, 2013). Οι Cheng & Gilbert θεωρούν σημαντικό να γίνονται ξεκάθαρες οι συμβάσεις που χρησιμοποιούνται από τις στατικές διαγραμματικές αναπαραστάσεις, καθώς αυτό βοηθά ταυτόχρονα και τη διδασκαλία φαινομένων σχετικών με τη μικροσκοπική φύση της επιστήμης. Επισημαίνεται η αναγκαιότητα να αντιληφθούμε τις νοητικές διεργασίες που επιτυγχάνονται κατά τη νοητική μετάφραση των διαγραμμάτων σε άλλου είδους αναπαραστάσεις. Οι Stroud & Schwartz χρησιμοποιούν τον όρο «*μεταφορικά γραφικά*» για αναπαραστάσεις όπως τα *διαγράμματα* και αναλύουν τον τρόπο που αυτά μπορούν να δράσουν ευεργετικά, όταν οι συμβάσεις και τα χαρακτηριστικά τους είναι γνωστά στους διδασκόμενους. Θεωρούν ότι σε αναπαραστάσεις όπως είναι οι προβολές Fischer και Newman, συνδυάζονται τόσο η έννοια του γραφικού όσο και η έννοια της μεταφοράς.

Οι δυναμικές αναπαραστάσεις συχνά εμπεριέχουν ή χρησιμοποιούνται παράλληλα με στατικές οπτικοποιήσεις, οι οποίες δίνουν τη δυνατότητα στους διδασκόμενους να κάνουν έλεγχο σε δικό τους χρόνο και με δική τους πρωτοβουλία. Μπορούν να συνδυάζουν τα στατικά στοιχεία με κάποιο animation ή video που εξελίσσεται ταυτόχρονα (Ainsworth και VanLabeke, 2004). Ο ρόλος των στατικών αναπαραστάσεων μέσα σε δυναμικές προσομοιώσεις, είναι διαφορετικός από αυτόν που έχουν σε στατικά περιβάλλοντα. Οι σχεδιαστές λογισμικού μπορούν να καθορίσουν τον τρόπο και τον

χρόνο στον οποίο εξετάζεται μια στατική αναπαράσταση, καθώς και να προσδώσουν σε αυτές χαρακτηριστικά που υποστηρίζουν τη δυναμικότητα του περιεχομένου.

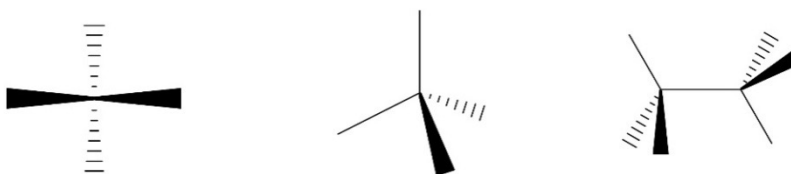
Είναι προφανές ότι η εύρεση της κατάλληλης αναπαράστασης για επεξήγηση ενός θέματος, αλλά και ο βαθμός της δυναμικότητας ή διάδρασης που θα εξυπηρετεί την κάθε περίπτωση, διαδραματίζει σημαντικό ρόλο για τους διδάσκοντες της Χημείας. Κατά τον Schnotz (2002), όταν οι διδασκόμενοι ελέγχουν την πληροφορία σε μορφή διαγράμματος, η πρότερη γνώση που διαθέτουν και αφορά το διάγραμμα, ενεργοποιείται από τη μακροπρόθεσμη μνήμη και συνδυάζεται με το γραφικό για να οδηγήσει σε ισχυρότερη διπλή κωδικοποίηση. Επίσης, το αποτέλεσμα του μεταφορικού γραφικού φαίνεται να ενισχύεται όταν συνδυάζεται με μικρή λεκτική-γραπτή πληροφορία (Stroud & Schwartz, 2010; Mayer & Johnson, 2008). Γι' αυτό, θεωρείται απαραίτητος ο κατάλληλος συνδυασμός και η αναλογία δυναμικών και στατικών αναπαραστάσεων.

3.5. Δισδιάστατες Διαγραμματικές Αναπαραστάσεις

Η ανάπτυξη των εικονικών οπτικοποιήσεων και της ψηφιακής μοντελοποίησης έχει φέρει επανάσταση στον τρόπο με τον οποίο διερευνάται ο χημικός κόσμος και έχει μεταβάλει τον τρόπο που οι χημικοί μελετούν, εξάγουν συμπεράσματα, επικοινωνούν και μεταδίδουν την πληροφορία. Ανεξάρτητα όμως από αυτές τις εξελίξεις, οι δισδιάστατες διαγραμματικές αναπαραστάσεις παραμένουν μια πολύ σημαντική και ευρέως χρησιμοποιούμενη μορφή αναπαραστάσεων στη Χημεία (Bodner & Domin, 2000) καθώς, είτε μόνες τους ή κατά το βέλτιστο, σε συνδυασμό με άλλους τύπους αναπαραστάσεων, μπορούν να μεταδώσουν «συμπυκνωμένη», μεγάλη ποσότητα χημικής πληροφορίας. Τρεις ευρέως χρησιμοποιούμενοι τύποι είναι: α) τα διαγράμματα στικτών-έντονων γραμμών, β) οι προβολές Fischer και γ) οι προβολές Newman. Η μελέτη αυτών των αναπαραστάσεων παρέχει στον διδασκόμενο συγκεκριμένα πλεονεκτήματα, ειδικότερα σε θέματα μοριακής δομής και στερεοχημείας.

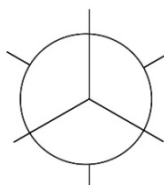
- Οι αναπαραστάσεις *στικτών και έντονων γραμμών* (Dashed-Wedge diagrams, DW) χρησιμοποιούνται για να δείξουν τη χωρική διεύθυνση των υποκαταστατών ενός ατόμου σε ένα μόριο (Εικόνα 1.22). Το κεντρικό άτομο τοποθετείται πάνω στο επίπεδο του χαρτιού ή της οθόνης. Οι απλές γραμμές αντιπροσωπεύουν δεσμούς που ταυτίζονται με το επίπεδο του χαρτιού ή της οθόνης. Οι έντονες γραμμές είναι δεσμοί που

κατευθύνονται προς τον παρατηρητή, ενώ οι στικτές γραμμές είναι δεσμοί που απομακρύνονται από αυτόν.



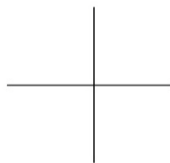
Εικόνα 1.22: Διαφορετικές αναπαραστάσεις με στικτές και έντονες γραμμές (DW1, DW2, DW3).

- Οι *προβολές κατά Newman* (Newman Projection, **NP**) αναπαριστούν τη σχετική χωρική διεύθυνση των υποκαταστατών δύο τετραεδρικών ατόμων άνθρακα που συνδέονται με σ -δεσμό και παρέχουν τη δυνατότητα αναπαράστασης των μεταβολών της διεδρής γωνίας ενός μορίου (Εικόνα 1.23). Τα δύο άτομα άνθρακα βρίσκονται εκατέρωθεν του επιπέδου του χαρτιού ή της οθόνης. Ο κύκλος αντιπροσωπεύει τον δεσμό μεταξύ των δύο ατόμων του άνθρακα (αποκρύπτοντας τους δεσμούς άνθρακα-υποκαταστατών πίσω από το επίπεδο του χαρτιού ή της οθόνης), ενώ οι υποκαταστάτες βρίσκονται γύρω από τον κύκλο και αντιστοιχούν τρεις σε κάθε άτομο άνθρακα.



Εικόνα 1.23: Προβολή τύπου Newman (NP)

- Η *προβολή κατά Fischer* (Fischer Projection, **FP**) παρουσιάζει τις διαφορετικές στερεοχημικές σχέσεις ανάμεσα σε μέλη της ίδιας οικογένειας υδρογονανθράκων, αναπαριστώντας τη σχετική χωρική σχέση των υποκαταστατών του τετραεδρικού άνθρακα. Το κεντρικό άτομο βρίσκεται επί του επιπέδου του χαρτιού ή της οθόνης. Οι οριζόντιες γραμμές αντιπροσωπεύουν δεσμούς που κατευθύνονται προς τον παρατηρητή, ενώ οι κατακόρυφες αντιπροσωπεύουν δεσμούς που απομακρύνονται από αυτόν. Οι θέσεις των υποκαταστατών στον χώρο είναι σημαντικές, γιατί καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό και τις ιδιότητες της χημικής ένωσης (Εικόνα 1.24).



Εικόνα 1.24: Προβολή τύπου Fischer (FP)

Οι δισδιάστατες διαγραμματικές αναπαραστάσεις χρησιμοποιούν διαφορετικές γραφικές συμβάσεις και καθεμία παρουσιάζει το μόριο από διαφορετική χωρική οπτική (Stull *et al.*, 2012). Κάθε διαγραμματική αναπαράσταση εμπεριέχει διαφορετικό βαθμό χωρικής αφάιρησης. Οι FP για παράδειγμα, δε διαθέτουν καμιά πληροφορία βάθους (ο τρισδιάστατος χώρος στην προβολή Fischer εννοείται, χωρίς να φαίνεται μέσω κάποιας ένδειξης πάνω στην αναπαράσταση), ενώ οι DW και NP ακολουθούν διαφορετικού τύπου χωρικές συμβάσεις οπτικοποίησης του βάθους. Η μετάφραση μεταξύ των τριών αναπαραστασιακών τύπων είναι πολύ βασική δεξιότητα, καθώς συχνά ζητείται από τους αρχάριους να εκτελέσουν ανάλογες διεργασίες. Γι' αυτό έχουν αποτελέσει αντικείμενο έρευνας, τόσο η ικανότητα εξαγωγής χωρικής πληροφορίας από τις δισδιάστατες διαγραμματικές αναπαραστάσεις (Bodner & Domin, 2000; Olimpo *et al.*, 2012), όσο και γενικότερα η ευελιξία των αρχάριων στον χειρισμό και την κατανόησή τους (Wu & Shah, 2004; Stieff, 2007; Stieff, 2011, Kumi *et al.*, 2013; Olimpo *et al.*, 2015). Κοινό συμπέρασμα όλων των ερευνών είναι ότι η επιτυχία στη Χημεία εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ικανότητα μετάβασης μεταξύ των διαφορετικών αναπαραστάσεων.

Τόσο οι αρχάριοι όσο και οι έμπειροι χημικοί, επιστρατεύουν μια σειρά από στρατηγικές για την επίλυση προβλημάτων που αφορούν στον χειρισμό και στην κατανόηση των δισδιάστατων διαγραμματικών αναπαραστάσεων (Stieff, 2011). Η εμπειρία και κάποιες ατομικές δεξιότητες επηρεάζουν τον τρόπο που οι χημικοί αντιλαμβάνονται τις διαγραμματικές, όπως και τις υπόλοιπες αναπαραστάσεις και επηρεάζουν τις χρησιμοποιούμενες στρατηγικές επίλυσης σχετικών προβλημάτων. Η ανίχνευση και βελτίωση αυτών των στρατηγικών αποτελούν επίσης αντικείμενο εκτεταμένης έρευνας (Stieff *et al.*, 2014; Gutierrez *et al.*, 2009, Gutierrez *et al.*, 2015).

4 Κατανόηση των Χημικών Αναπαραστάσεων

Ένας από τους κύριους στόχους της εκπαίδευσης στις φυσικές επιστήμες είναι να ενεργοποιήσει στους διδασκόμενους την ανάγκη να συμμετέχουν στη λήψη αποφάσεων και τη δημόσια συζήτηση που αφορά στα επιστημονικά θέματα. Επειδή όμως το αναπαραστασιακό επίπεδο της Χημείας είναι πολυτροπικό και πολυμορφικό για την εμπλοκή των αρχάριων φοιτητών στη συζήτηση, απαιτείται η ευχέρεια στη χρήση των αναπαραστάσεων.

Μια βασική χρήση που ήδη αναλύθηκε είναι η επεξήγηση των μακροσκοπικών φαινομένων, για την οποία είναι απαραίτητη η αιτιολόγηση που βασίζεται σε μικροσκοπικά φαινόμενα. Η απόδοση της εξήγησης επιτυγχάνεται συνήθως μέσω μοριακών τύπων και εξισώσεων και επομένως, μέσω του συμβολικού επιπέδου (Wu, 2003), με χρήση μιας ή και περισσότερων αναπαραστάσεων. Ο βαθμός στον οποίο κάποιος άνθρωπος έχει αναπτύξει τις ικανότητες αντίληψης των αναπαραστάσεων, μπορεί να εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως είναι η ηλικία, οι πρότερες γνώσεις πάνω στο διδασκόμενο πεδίο, το επίπεδο της μόρφωσης, το φύλο, αλλά και οι οπτικοχωρικές του ικανότητες.

Το είδος μιας αναπαράστασης είναι σημαντικό για τον τρόπο με τον οποίο αυτή προσλαμβάνεται και γίνεται αντιληπτή. Οι *λεκτικές αναπαραστάσεις*, όπως το γραπτό κείμενο, αποτελούνται από χαρακτηριστικά που έχουν αυθαίρετες συνδέσεις με τον πραγματικό κόσμο τον οποίο περιγράφουν. Έτσι, προσλαμβάνονται βάσει των πρότερων γνώσεων που διαθέτει όποιος τις μελετά και βάσει των συμβάσεων τις οποίες γνωρίζει (Rau *et al.*, 2014). Οι *γραφικές αναπαραστάσεις* αποτελούνται από αντιληπτά χαρακτηριστικά που αναγνωρίζονται βάσει της αντιστοιχίας τους με τον πραγματικό κόσμο τον οποίο παριστούν. Γι' αυτό, οι γραφικές αναπαραστάσεις μπορούν να κωδικοποιηθούν με βάση το νόημα το οποίο έχουν. Για παράδειγμα, το μεθάνιο απεικονίζεται με χρήση πέντε σφαιρών, γιατί πέντε είναι και τα άτομα από τα οποία αποτελείται (Rau *et al.*, 2014).

Η μελέτη του τρόπου αντίληψης και κατανόησης των αναπαραστάσεων οδήγησε στην εισαγωγή της έννοιας του *οπτικού εγγραμματισμού* ή αλλιώς της *οπτικής παιδείας*

(visual literacy), που αποτελεί σημαντικό πεδίο μελέτης, ιδιαίτερα για τις φυσικές επιστήμες (Lowe, 2003). Σύμφωνα με τον Hortin (παράθεση Schönborn & Anderson, 2009), η οπτική παιδεία περιλαμβάνει: α) την ικανότητα κατανόησης και εξαγωγής νοήματος μέσω της παρατήρησης, β) την ικανότητα γραφής και σχεδιασμού, γ) την ικανότητα δημιουργίας σκέψης και μάθησης και δ) την ικανότητα έκφρασης μέσω εικόνων. Κατά τους Schönborn & Anderson (2009) υπάρχουν 8 γνωστικές δεξιότητες που είναι κεντρικές στην ανάπτυξη της οπτικής παιδείας:

1. *Αποκωδικοποίηση* της συμβολικής γλώσσας σχηματισμού μιας αναπαράστασης.
2. *Αξιολόγηση* της ισχύος, των περιορισμών και της ποιότητας μιας αναπαράστασης.
3. *Κατανόηση και χρήση* μιας αναπαράστασης για την επίλυση ενός προβλήματος.
4. *Χωρικός χειρισμός* μιας αναπαράστασης για την κατανόηση του θέματος στο οποίο αναφέρεται.
5. *Κατασκευή* μιας αναπαράστασης για επεξήγηση ενός θέματος ή λύση ενός προβλήματος.
6. *Οριζόντια μετάφραση* μεταξύ πολλαπλών αναπαραστάσεων του ίδιου αναπαραστασιακού επιπέδου για την κατανόηση ενός θέματος.
7. *Κάθετη μετάφραση* μεταξύ των αναπαραστάσεων διαφορετικού αναπαραστασιακού επιπέδου, απεικόνιση διάφορων θεμάτων και πολυπλοκότητας.
8. *Νοητική οπτικοποίηση* τάξεων μεγέθους, σχετικού μεγέθους και κλίμακας.

Το επίπεδο δυσκολίας μιας θεματικής ενότητας για κάποιον διδασκόμενο, εξαρτάται αρκετές φορές από το επίπεδο κατανόησης των διαφορετικών αναπαραστασιακών επιπέδων (Gabel, 1999). Φυσικά, οι δυσκολίες και η δημιουργία παρανοήσεων είναι περισσότερο εμφανείς στους αρχάριους φοιτητές Χημείας.

Η νοητική οπτικοποίηση είναι άλλο ένα κεντρικό ζήτημα για την εκμάθηση των επιστημών που συσχετίζεται με την κατανόηση των «εξωτερικών» αναπαραστάσεων. Ο όρος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ένα μεγάλο φάσμα ικανοτήτων. Ο Tufte (2001) την ορίζει ως τη συστηματική και εστιασμένη ικανότητα απεικόνισης νοητικής πληροφορίας (με χρήση πινάκων, γραφημάτων, διαγραμμάτων) για την αναπαράσταση χημικών δομών.

4.1 Δυσκολίες Κατανόησης και Χειρισμού των Αναπαραστάσεων

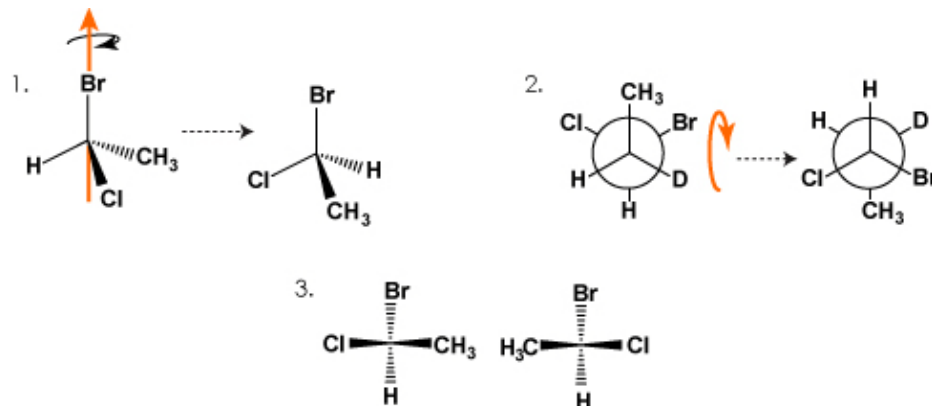
Τα κυριότερα θέματα Χημείας στα οποία οι διδασκόμενοι εμφανίζουν παρανοήσεις σε όλες τις βαθμίδες εκπαίδευσης είναι: α) η σωματιδιακή φύση και σύσταση του μικρόκοσμου, β) οι μεταβολές των φάσεων, γ) η κινητική των αντιδράσεων, δ) τα μόρια και οι ενδομοριακές δυνάμεις, ε) οι καταστάσεις της ύλης κ.α. (Nakhleh, 1992; Ben-Zvi *et al.*, 1987; Gabel *et al.*, 1987; Cros *et al.*, 1988). Οι δυσκολίες σε όλα αυτά τα θέματα συνδέονται άρρηκτα με την ελλιπή κατανόηση των αναπαραστάσεων. Η ευχέρεια «πλοήγησης» ανάμεσα σε αναπαραστάσεις διαφορετικού τύπου και η δυνατότητα απεικόνισής τους με διάφορους τρόπους είναι βασικές δεξιότητες, ώστε οι φοιτητές να δομήσουν τη γνώση και να επικοινωνήσουν με βάση την κατανόηση της επιστήμης (Nitz & Ainsworth, 2014, Grove *et al.*, 2012).

Ίσως η σημαντικότερη από τις παραπάνω παρανοήσεις είναι αυτή που αφορά τη σωματιδιακή φύση της ύλης και εμφανίζεται σε όλα τα επίπεδα της σύγχρονης εκπαίδευσης. Φαίνεται να υπάρχει μεγάλη διαφορά επίδοσης των φοιτητών ανάμεσα σε αλγοριθμικού τύπου ερωτήματα και σε ερωτήματα που αφορούν έννοιες μιας συγκεκριμένης θεματικής ενότητας (Williamson *et al.*, 2013). Σύμφωνα με τους ίδιους ερευνητές, αυτό μπορεί να προέρχεται από την αδυναμία που παρουσιάζουν οι διδασκόμενοι να κάνουν μεταφράσεις ανάμεσα σε πολλαπλές αναπαραστάσεις της Χημείας (Williamson *et al.*, 2013).

Από σειρά ερευνητικών αποτελεσμάτων σχετικά με τις οπτικοχωρικές ικανότητες στη Χημεία, προκύπτει η συσχέτισή τους με την κατανόηση, την ερμηνεία και τη μετάφραση των μοριακών αναπαραστάσεων (Harle & Towns, 2011). Πολλοί είναι οι διδασκόμενοι που δεν έχουν τη δυνατότητα να παρέχουν μια ισοδύναμη αναπαράσταση στη θέση μιας άλλης που τους δίνεται. Αυτό συνηθώς οφείλεται σε ανεπαρκή γνώση του περιεχομένου, ή σε έλλειψη οπτικοχωρικών ικανοτήτων (Harle & Towns, 2011). Έχει βρεθεί ότι, ακόμη και εκείνοι που μπορούν με ευκολία να μεταφράσουν μια τρισδιάστατη αναπαράσταση σε δισδιάστατη, αδυνατούν να εκτελέσουν άλλου τύπου μετατροπές (Wu & Krajcik, 2000). Ως βασική δεξιότητα θεωρείται η αναγνώριση των χαρακτηριστικών των αναπαραστάσεων που υποδεικνύουν το βάθος και την ταυτόχρονη μεταβολή στον χώρο. Οι λόγοι εξαιτίας των οποίων οι διδασκόμενοι φαίνεται να παρουσιάζουν προβλήματα με τη χρήση αλλά και με την κατανόηση των αναπαραστάσεων μπορούν να συνοψισθούν

στους παρακάτω (Gabel, 1999; Kozma & Russell, 1997; Wu *et al.*, 2001):

α) Κατά τον χειρισμό των αναπαραστάσεων οι διδασκόμενοι χρειάζεται να είναι σε θέση να μπορούν να επιτελέσουν συγκεκριμένες διεργασίες πάνω στις αναπαραστάσεις. Παραδείγματα βασικών μεταβολών που εφαρμόζονται πολύ συχνά στα χημικά μόρια είναι οι κατοπτρισμοί και οι περιστροφές (Εικόνα 1.25). Ο νοητικός χειρισμός κατά τον οποίο ο φοιτητής πρέπει να φανταστεί ένα χημικό μόριο να περιστρέφεται, εξετάζεται μέσω στερεοχημικών συγκρίσεων (Stieff, 2010), όπου επισημαίνεται και ο θετικός ρόλος που μπορεί να διαδραματίσει η εισήγηση στην κατανόηση των νοητικών μεταφράσεων. Όπως προαναφέρθηκε, η κατανόηση των μετατροπών, η ικανότητα εφαρμογής τους και οι ενδεχόμενοι τρόποι βελτίωσης αυτών των δεξιοτήτων είναι πολυπαραγοντικό ζήτημα και γι' αυτό έχουν αποτελέσει αντικείμενο συστηματικής έρευνας.



Εικόνα 1.25: Διάφορες μεταβολές των διδιάστατων διαγραμματικών αναπαραστάσεων. Παρατηρούμε δύο περιστροφές (1,2) και έναν κατοπτρισμό (3).

β) Πολύ συχνά δεν απαιτείται από τον χημικό μόνο η κατανόηση μιας αναπαράστασης ή ενός μόνο φαινομένου (Harrison & Treagust, 2000; Wu *et al.*, 2001), αλλά και η μετάφρασή της σε άλλες αναπαραστάσεις. Η ικανότητα μετάφρασης τόσο οριζόντια όσο και κάθετα, θεωρείται σημαντική δεξιότητα για τους χημικούς (Al-Balushi & Al-Hajri, 2014). Οι μεταφράσεις μπορούν να αποδοθούν μέσω λεκτικής πληροφορίας ή μέσω διαφορετικού τύπου αναπαραστάσεων (Stull *et al.*, 2012). Σε αρκετές περιπτώσεις για παράδειγμα, οι αρχάριοι φοιτητές αδυνατούν να κατανοήσουν ότι ένα διάγραμμα αποτελεί αναπαράσταση που αφορά ένα εξεταζόμενο φαινόμενο ή διεργασία και όχι απλά μια εικόνα (Stull *et al.*, 2012).

Στη βιβλιογραφία μελετώνται αναλυτικά οι στρατηγικές αναπαραστασιακής μετάφρασης που χρησιμοποιούν οι χημικοί (Hegarty *et al.*, 2013) και έχει βρεθεί ότι οι

φοιτητές Χημείας πολλές φορές δυσκολεύονται στην εκτέλεση συγκεκριμένων μεταφράσεων. Οι χημικοί στην καθημερινότητά τους εκτελούν πολλές φορές διαδικασίες νοητικών μεταφράσεων για να ελέγξουν ή να μεταδώσουν μια πληροφορία και να στηρίξουν ισχυρισμούς (Kozma & Russell, 2005). Στη μετάφραση των αναπαραστάσεων στηρίζεται κατά πολύ η κατανόηση αρκετών χημικών εννοιών (Εικόνα 1.26) και επηρεάζεται η διδακτική διαδικασία, ο τρόπος νοητικής επεξεργασίας της πληροφορίας για τον κάθε διδασκόμενο και οι στρατηγικές κατά την επίλυση προβλημάτων (Wu & Shah, 2004), με τη χωρική σκέψη να αποτελεί βασικό στοιχείο αυτής της διαδικασίας.



Εικόνα 1.26: Διάφορες μεταφράσεις των δισδιάστατων διαγραμματικών αναπαραστάσεων.

γ) Πολλοί αρχάριοι φοιτητές Χημείας παρουσιάζουν δυσκολία στην αναγνώριση των συνδέσεων ανάμεσα σε αναπαραστάσεις. Αυτό είναι πιθανό να συμβαίνει γιατί έχουν αποκτήσει αποσπασματική κι όχι ολοκληρωμένη γνώση και οι πληροφορίες είναι διάσπαρτες, ως θραύσματα χωρίς συνοχή στη μνήμη τους (Sim *et al.*, 2014).

δ) Συχνά ο χρόνος που αφιερώνεται στις αναπαραστάσεις κατά την εκπαιδευτική διαδικασία δεν επαρκεί για την εξοικείωση των φοιτητών με αυτές. Άλλες φορές δε συνδέεται απόλυτα η κατανόησή τους με την κατανόηση του φαινομένου.

Σύμφωνα με κάποια βασικά ερευνητικά συμπεράσματα των Jaber & Boujaoude (2012), οι περισσότεροι διδασκόμενοι είναι ικανοί να κατανοήσουν τις χημικές αντιδράσεις σε μακροσκοπικό επίπεδο. Κάποιες δυσκολίες που παρουσιάζονται θα μπορούσαν να αποδοθούν στην ακατάλληλη εφαρμογή μακροσκοπικής λογικής για την επεξήγηση φαινομένων που έχουν να κάνουν με το μικροσκοπικό-αφαιρετικό επίπεδο. Επίσης, οι διδασκόμενοι εμφανίζουν δυσκολίες κατανόησης της επιστημονικής φύσης των μοντέλων, ενώ η ανάπτυξη της κατανόησης των σχέσεων ανάμεσα στα τρία αναπαραστασιακά επίπεδα μπορεί να βασιστεί στη σαφή διδασκαλία της φύσης της χημικής γνώσης και για τα τρία επίπεδα καθώς και των μεταξύ τους σχέσεων.

Συνοψίζοντας, θα μπορούσαμε να πούμε ότι ο ρόλος που διαδραματίζει η κατανόηση και ο χειρισμός των αναπαραστάσεων στη Χημεία είναι σημαντικό να μελετηθεί

εκτενέστερα και να στηριχτεί με τη δημιουργία, σχεδίαση και ανάπτυξη νέων διδακτικών εργαλείων με δυνατότητα επικαιροποίησης.

4.2 Επιστημονική Εμπειρία & Αναπαραστασιακή Δεξιότητα

Έμπειροι – Αρχάριοι

Ο διαφορετικός τρόπος χειρισμού των αναπαραστάσεων, εξαρτάται από πολλαπλούς παράγοντες και από διαφορετικές δεξιότητες, ικανές να διαχωρίσουν τους έμπειρους από τους αρχάριους χημικούς (Kozma & Russell, 1997; Kozma & Russell, 2005). Οι αναπαραστάσεις πολλές φορές χρησιμοποιούνται σαν τρόπος επικοινωνίας και μετάδοσης των χημικών ιδεών, γι' αυτό και οι αναπαραστασιακές δεξιότητες είναι πολύ σημαντικές για έναν χημικό. Συνηθισμένη είναι η πρακτική των χημικών να σχεδιάζουν αναπαραστάσεις στο χαρτί, προσπαθώντας να αποδώσουν την τρισδιάστατη δομή χημικών ενώσεων ή διεργασιών. Κατά την ερμηνεία αποτελεσμάτων ή κατά τη διδασκαλία, χρησιμοποιούνται ανάλογες πρακτικές και διάφορες επιστημονικές συμβάσεις και τεχνάσματα, ώστε να αποδοθούν τα φαινόμενα, κάτι που συχνά δημιουργεί προβλήματα κατανόησης στους αρχάριους (Zare, 2002).

Η κατανόηση από ένα άτομο ενός τμήματος της χημικής γνώσης συνίσταται στην κατανόηση των σχετικών χημικών οντοτήτων και των μεταξύ τους σχέσεων. Παρατηρούνται διαφορετικά επίπεδα δεξιοτήτων που επηρεάζουν την κατανόηση των διαφόρων θεμάτων (Kozma & Russell, 1997; Gilbert, 2005). Οι δυσκολίες μπορεί να γίνουν εντονότερες όταν πρέπει να συσχετιστούν ή να μεταφράσουν διαφορετικές αναπαραστάσεις διαφορετικών επιπέδων για την εξαγωγή συμπερασμάτων (Kozma, 2000), ενώ χωρίς τη συσχέτιση και τη διασύνδεση της πληροφορίας, υπάρχει ο κίνδυνος οι διδασκόμενοι να αναπτύξουν κατακερματισμένη γνώση (Stull *et al.*, 2012).

Η συγκεκριμενοποίηση και επίλυση των διαφορών ανάμεσα στους αρχάριους και τους έμπειρους χημικούς είναι σημαντική, ώστε να επιλυθούν προβλήματα που αφορούν στην επικοινωνία και στην ακαδημαϊκή πορεία των φοιτητών (Kumi *et al.*, 2013; Olimpo *et al.*, 2015). Σε διάφορα επιστημονικά πεδία, όπως η βιολογία, η φυσική, η χημεία, η γεωλογία, κ.α., οι αρχάριοι αντιμετωπίζουν δυσκολία στον χειρισμό και στη χρήση αναπαραστάσεων (Olimpo *et al.*, 2015), εστιάζοντας συνήθως στα επιφανειακά χαρακτηριστικά, όπως είναι το μέγεθος ή το σχήμα (Linn *et al.*, 1994; diSessa *et al.*,

1991; Kozma & Russell, 1997). Ένα από τα βασικά ζητήματα είναι ότι οι διαγραμματικές οπτικοποιήσεις αντιμετωπίζονται σαν στατικές και όχι σαν δυναμικές απεικονίσεις των φαινομένων ή των συστημάτων που αποτυπώνονται (Van Driel & Verloop, 2002), κάτι που εμποδίζει τη μάθηση και την εκπαιδευτική διαδικασία. Μια σημαντική ικανότητα των εμπειρών, είναι η αντίληψη των περιορισμών που διαθέτει κάποια αναπαράσταση. Μόνο όσοι διαθέτουν ευχέρεια είναι σε θέση να αντιληφθούν ότι μια αναπαράσταση δεν είναι κατάλληλη για επεξήγηση συγκεκριμένων φαινομένων ή στήριξη ισχυρισμών, για επίλυση προβλημάτων ή για δημιουργία υποθέσεων (Kozma *et al.* 2000; Kozma & Russell, 1997; Kozma & Russell, 2005). Αρκετά συχνά, οι δυσκολίες που αντιμετωπίζουν οι φοιτητές με τις αναπαραστάσεις επιδεινώνονται από το γεγονός ότι οι αναπαραστασιακές συμβάσεις είναι αφαιρετικές και έχουν ασαφή φύση (Olimpro *et al.*, 2015). Αναφέρθηκε επίσης, ότι αρκετοί διδασκόμενοι δυσκολεύονται να δημιουργήσουν ένα νοητικό μοντέλο που θα τους βοηθήσει και θα τους καθοδηγήσει. Τα λάθη και οι δυσκολίες κατανόησης των μαθητευόμενων χημικών απορρέουν από το γεγονός ότι οι αναπαραστάσεις δε θα πρέπει να λειτουργούν ως απλά οπτικά ερεθίσματα. Εμπεριέχουν πληροφορία και έχουν εννοιολογική αξία, όπως συμβαίνει για παράδειγμα με ένα κείμενο που περιγράφει μια έννοια ή με τον προφορικό λόγο (Keig & Rubba, 1993; Wu & Shah, 2004; Kozma & Russell, 1997). Η νοητική οπτικοποίηση της δυναμικής φύσης των χημικών φαινομένων φαίνεται να είναι ένα εμπόδιο για τους διδασκόμενους (Ben-Zvi *et al.*, 1988), όπως επίσης και η μετάβαση στις τρεις διαστάσεις από κάποια δισδιάστατη αναπαράσταση (Tuckey *et al.*, 1991).

Από ρητές αναφορές (verbal protocols) των φοιτητών φαίνεται ότι συχνά δε διαθέτουν την ικανότητα να χρησιμοποιήσουν τις αναπαραστάσεις κατά την επίλυση προβλημάτων. Αυτό μπορεί να οφείλεται είτε στο περιεχόμενο της θεματικής ενότητας, είτε σε ελλείψεις δεξιότητες (Kozma & Russell, 1997; Wu, 2003). Σε άλλες περιπτώσεις, οι φοιτητές φαίνεται να έχουν τελειοποιήσει τις συμβολικές ικανότητες τους, χωρίς αυτό όμως να συμβαίνει. Συχνά, παρά την ύπαρξη δυσκολιών και παρανοήσεων, μαθαίνουν κάποια μέθοδο για την επίλυση προβλημάτων, ενώ αδυνατούν να χειριστούν νοητικά τις αναπαραστάσεις, δεν έχουν αναπτύξει κατάλληλες δεξιότητες και δεν κατανοούν πλήρως τη θεματική ενότητα στην οποία αναφέρονται τα προβλήματα αυτά (Keig & Rubba, 1993). Για παράδειγμα, οι διδασκόμενοι συχνά χειρίζονται τη στοιχειομετρία των

χημικών αντιδράσεων μηχανικά (Krajcik, 1991) σαν να είναι μαθηματική αναλογία, χωρίς να αντιλαμβάνονται τη χημική εξίσωση σαν αναπαράσταση μιας δυναμικής χημικής διαδικασίας (Kozma & Russell, 1997).

Οι Kozma και Russell (1997) εστιάζουν σε συγκεκριμένες ομοιότητες και διαφορές ανάμεσα στους εμπειρογνώμονες και αρχάριους στο πεδίο της Χημείας, σε ό,τι αφορά τη χρήση διάφορων αναπαραστάσεων κατά τη λύση προβλημάτων στο εργαστήριο, με στόχο την περιγραφή του ρόλου των πολλαπλών αναπαραστάσεων και τον σχεδιασμό πολυμεσικών περιβαλλόντων. Επισημαίνουν ότι οι έμπειροι χημικοί είναι ικανότεροι στην παροχή λεκτικών περιγραφών, ίσως λόγω της βαθύτερης γνώσης περιεχομένου και κατανόησης των κανόνων του γνωστικού αντικειμένου.

Από την άλλη μεριά, οι Bodner & Domin (2000) διαφωνούν στον διαχωρισμό ανάμεσα σε αρχάριους και έμπειρους επιστήμονες και προτείνουν ότι θα ήταν πιο ξεκάθαρος και πιο σημαντικός για την ερμηνεία των αποτελεσμάτων μιας έρευνας, ένας διαχωρισμός ανάμεσα σε επιτυχημένους και μη επιτυχημένους λύτες συγκεκριμένων προβλημάτων. Αυτός είναι ένας διαχωρισμός που είναι σύμφωνος και με άλλους ερευνητές (Smith, 1984). Έτσι, οι επιτυχημένοι λύτες συγκεκριμένων προβλημάτων είναι αυτοί που έχουν αναπτύξει σε κάποιο βαθμό συγκεκριμένες δεξιότητες, ενώ οι μη επιτυχημένοι, χρήζουν περεταίρω βοήθειας για την ανάπτυξη ικανοτήτων.

Είναι σημαντικό για τον φοιτητή να αναγνωρίζει τα αντιληπτά χαρακτηριστικά των αναπαραστάσεων, στα οποία πρέπει να ανατρέχει και να κατακτήσει τον τρόπο κατανόησης και χαρτογράφησης αυτών των χαρακτηριστικών, ώστε να τα συνδέει επιτυχώς με άλλου είδους αναπαραστάσεις. Για παράδειγμα, στις απεικονίσεις σφαιρών και ράβδων (ball & stick) θα πρέπει να γνωρίζει ότι το χρώμα αποδίδει την ταυτότητα των ατόμων, ενώ στους χάρτες ηλεκτροστατικού δυναμικού το ίδιο χρώμα μπορεί να παρουσιάζει περιοχές με υψηλή ηλεκτρονιακή πυκνότητα. Δύο είναι τα είδη της κατανόησης που χρειάζονται, ώστε ο διδασκόμενος να αποκτήσει σφαιρική άποψη για κάποιο θέμα που μελετά:

α. Η *κατανόηση των μέσων* (Εικόνα 1.27), δηλαδή η κατανόηση του **τρόπου** με τον οποίο συμβαίνουν τα φαινόμενα, η οποία γίνεται εφικτή μέσω της κατανόησης των αναπαραστάσεων (Skemp, 1976). Σε αυτό το επίπεδο κατανόησης, ο διδασκόμενος έχει κατακτήσει ένα νόμο ή κάποιο τύπο αναπαράστασης και είναι σε θέση να τον

χρησιμοποιήσει/εφαρμόσει όταν τον χρειαστεί (Treagust, 2003).

β. Η *κατανόηση των σχέσεων*, δηλαδή η γνώση του **λόγου** για τον οποίο συμβαίνουν τα διάφορα φαινόμενα, στην οποία οδηγείται ο μαθητής μέσω της αποσαφήνισης της σχέσης ανάμεσα στις χημικές αναπαραστάσεις (Skemp, 1976).



Εικόνα 1.27: Διαφορετικοί τύποι κατανόησης του διδασκόμενου πεδίου και οι σχέσεις τους με τα επίπεδα αναπαραστάσεων (Treagust, 2003)

Αναπαραστασιακή Δεξιότητα

Από την πρώτη τους επαφή με τη Χημεία, οι διδασκόμενοι εισάγονται σε πολλαπλά αναπαραστασιακά συστήματα, που χρησιμοποιούνται σαν η κοινή γλώσσα ανάμεσα τους. Σύμφωνα με τον Stieff (2011), οι φοιτητές Χημείας μπορούν να αναπαραστήσουν ένα μόριο με περισσότερους από 15 τρόπους. Για να ανταπεξέλθουν στις απαιτήσεις που έχει το επιστημονικό τους πεδίο θα πρέπει, παράλληλα και ταυτόχρονα με τις υπόλοιπες γνώσεις τους, να αναπτύξουν κάποιες δεξιότητες στην κατανόηση και τον χειρισμό των χημικών αναπαραστάσεων. Από αρκετούς ερευνητές αυτά τα προσόντα, ονομάζονται συνολικά, *αναπαραστασιακή δεξιότητα* (Kozma & Russell, 1997; Kozma *et al.* 2000; Wu *et al.*, 2001). Το θέμα της *αναπαραστασιακής δεξιότητας* έχει απασχολήσει πολύ τους χημικούς και έχουν γραφεί πολλά για τις δυσκολίες που παρουσιάζουν οι φοιτητές στην κατανόηση και τη μετάβαση από το μακροσκοπικό στο συμβολικό επίπεδο.

Η *αναπαραστασιακή δεξιότητα* είναι ένας όρος που περικλείει μια σειρά από πρακτικές που επιτρέπουν σε κάποιον να χρησιμοποιεί διαφόρων ειδών αναπαραστάσεις ή οπτικοποιήσεις, μεμονωμένα ή όλες μαζί, για να σκεφτεί, να επικοινωνήσει και να ενεργήσει πάνω σε χημικά φαινόμενα προσπαθώντας να αποσαφήνισι βαθύτερες ιδιότητες και διεργασίες, που μπορεί να συμβαίνουν αλλά δε γίνονται πάντα αντιληπτές (Kozma, 2000; Kozma & Russell, 1997).

Ικανότητες όπως η κατανόηση, η μετατροπή, η κατασκευή και η αξιολόγηση διαφορετικών επιστημονικών αναπαραστάσεων (Nitz & Ainsworth, 2014) είναι αυτές που συνιστούν την αναπαραστασιακή δεξιότητα, συμμετέχοντας σε μεγάλο βαθμό και στην ανάπτυξη του επιστημονικού εγγραμματισμού (Kozma & Russell, 2005; Kozma *et al.*, 1997, Norris & Phillips, 2003; Yore, 2007). Μέσω της συμμετοχής του ατόμου σε κάποιου είδους αναπαραστασιακή ενέργεια, επικυρώνεται ταυτόχρονα και η προσπάθειά του για εξαγωγή νοήματος από μια εικόνα ή ένα διάγραμμα (Kozma & Russell, 2005). Αναλυτικότερα, σύμφωνα με τους Kozma & Russell (2005), η αναπαραστασιακή δεξιότητα χαρακτηρίζεται από μια σειρά ικανότητες:

1. Ικανότητα χρήσης μοριακών αναπαραστάσεων για περιγραφή και διερεύνηση χημικών φαινομένων.
2. Ικανότητα επιλογής ή κατασκευής μιας αναπαράστασης και επεξήγησης του λόγου για τον οποίο είναι κατάλληλη για κάποιο συγκεκριμένο σκοπό.
3. Χρήση λεκτικών περιγραφών για αναγνώριση και ανάλυση των χαρακτηριστικών μιας συγκεκριμένης αναπαράστασης όπως και των αλληλουχιών χαρακτηριστικών της (patterns of features).
4. Ικανότητα περιγραφής του λόγου για τον οποίο διαφορετικές αναπαραστάσεις έχουν τη δυνατότητα να περιγράψουν ίδια φαινόμενα, με διαφορετικό όμως τρόπο και επεξήγησης του λόγου για τον οποίο μια αναπαράσταση μπορεί να περιγράψει κάτι συγκεκριμένο που δεν μπορεί να εξηγηθεί διαφορετικά.
5. Ικανότητα αντιπαραβολής και αντιστοίχισης ανάμεσα σε διαφορετικές αναπαραστάσεις. Μέσω της χαρτογράφησης των χαρακτηριστικών των αναπαραστάσεων, μπορούν να βρεθούν αντιστοιχίες και να γίνει επεξήγηση της μεταξύ τους σχέσης.
6. Ικανότητα επιστημονικής τοποθέτησης στο γεγονός ότι οι αναπαραστάσεις αντιστοιχούν και περιγράφουν συγκεκριμένα φαινόμενα, αλλά διαφέρουν από αυτά.
7. Ικανότητα χρήσης των αναπαραστάσεων σε συγκεκριμένες κοινωνικές εκδηλώσεις σαν αποδείξεις για τη στήριξη ισχυρισμών.

Κατά τους Kozma και Russell (2005), υπάρχουν συγκεκριμένα επίπεδα στην ανάπτυξη της αναπαραστασιακής δεξιότητας. Στο *πρώτο επίπεδο*, αντιλαμβανόμαστε τις αναπαραστάσεις σαν απλές εικόνες. Σε *δεύτερο επίπεδο*, αναπτύσσονται οι πρόωρες

συμβολικές ικανότητες. Το φαινόμενο και πάλι αναπαρίσταται βάσει των φυσικών του χαρακτηριστικών αλλά και κάποιων συμβόλων. Στο *τρίτο επίπεδο* αναπτύσσεται η συντακτική χρήση των αναπαραστάσεων. Το άτομο κάνει χρήση αναπαραστάσεων, βασιζόμενο σε παρατηρήσιμα ή όχι φυσικά χαρακτηριστικά, οντότητες ή διεργασίες ακόμα και αν το αναπαραστασιακό σύστημα δεν είναι εντελώς επιστημονικό. Στο *τέταρτο επίπεδο* έχουμε τη σημασιολογική χρήση των αναπαραστάσεων. Το άτομο χρησιμοποιεί το επιστημονικά «ορθό» σύστημα αναπαραστάσεων, για να αναπαραστήσει μη παρατηρήσιμες οντότητες και διεργασίες. Σε αυτό το επίπεδο, μπορεί να κάνει συνδέσεις ανάμεσα σε διαφορετικές αναπαραστάσεις ή να εκτελέσει μετατροπές των αναπαραστάσεων. Στο *πέμπτο επίπεδο* έχουμε την αντανakλαστική και ρητορική χρήση των αναπαραστάσεων. Σε αυτό το επίπεδο το άτομο έχει τη δυνατότητα να χρησιμοποιήσει μια ή περισσότερες αναπαραστάσεις για να περιγράψει ένα φαινόμενο. Μπορεί να επιλέξει ή να κατασκευάσει μια κατάλληλη αναπαράσταση για οποιαδήποτε κατάσταση.

4.3 Επίλυση Προβλημάτων Κατανόησης Αναπαραστάσεων

Σύμφωνα με πολλούς ερευνητές (Gilbert, 2005, 2008; Kozma & Russell, 2005; Schönborn & Anderson, 2010, Al-Balushi & Al-Hajri, 2014), η ανάπτυξη συγκεκριμένων δεξιοτήτων μπορεί να ενισχύσει σε σημαντικό βαθμό την οπτική παιδεία (visual literacy) του ατόμου, ώστε να είναι σε θέση να κάνει χρήση τόσο των εξωτερικών όσο και των νοητικών αναπαραστάσεων. Η ανάπτυξη της οπτικής παιδείας εμπεριέχει τη δυνατότητα κατανόησης με σχετική ευκολία της συμβολικής πληροφορίας, την απόκτηση ευχέρειας στη χωρική διαχείριση των αναπαραστάσεων, καθώς και τη δυνατότητα αναπαραγωγής και χρήσης τους παράλληλα με άλλες αναπαραστάσεις.

Υπάρχουν τρεις βασικοί παράγοντες που καθορίζουν την κατανόηση και την ερμηνεία των εξωτερικών αναπαραστάσεων από τους φοιτητές (Al-Balushi & Al Hajri, 2014). Αυτοί είναι: α) η ικανότητα συλλογισμού και αιτιολόγησης που διαθέτουν οι φοιτητές, β) ο βαθμός κατανόησης του θέματος που μελετούν και γ) το ύφος και η καταλληλότητα των αναπαραστάσεων.

Τα πολλαπλά επίπεδα αναπαραστάσεων μπορούν να δράσουν θετικά σε μια διδακτική διαδικασία εάν ο διδασκόμενος τα έχει κατακτήσει. Σε διαφορετική περίπτωση

υπάρχει η πιθανότητα να αυξήσουν ή να δημιουργήσουν παρανοήσεις (Johnstone, 1991). Για την παράκαμψη αυτών των εμποδίων και την επίλυση των παρανοήσεων, έχουν αναπτυχθεί πολλά πολυμεσικά εργαλεία. Το αντικείμενο των περισσότερων εργαλείων είναι η ανάπτυξη των ικανοτήτων της κατανόησης και χειρισμού των αναπαραστάσεων, καθώς και της μετάφρασης μεταξύ των τριών αναπαραστασιακών επιπέδων. Οι τεχνολογίες της πληροφορικής είναι ιδανικές για την ανάπτυξη περιβαλλόντων που εμπεριέχουν συμβολικά συστήματα και μοντέλα. Ο σχεδιασμός των επιφανειακών χαρακτηριστικών των περιβαλλόντων αυτών πρέπει να είναι κατάλληλος για την καθοδήγηση των διδασκομένων στη μάθηση (Kozma & Russell, 1997).

Από το 2004 οι Dori & Barak αναφέρθηκαν στη συχνή χρήση του διαδικτύου κατά την εκπαίδευση και τη διδασκαλία. Η ανάπτυξη κατάλληλων διαδικτυακών εφαρμογών μπορεί πραγματικά να βοηθήσει, καθώς δεν υπάρχουν χρονικοί και γεωγραφικοί περιορισμοί κατά τη χρήση τους και το διαδίκτυο χρησιμοποιείται από ένα μεγάλο ποσοστό των ανθρώπων ως πηγή πληροφορίας. Έτσι, ολοένα και περισσότερα περιβάλλοντα μάθησης αναπτύσσονται χρόνο με τον χρόνο από τις αρχές της νέας χιλιετίας (Barak & Rafaeli, 2004; Donovan & Nakhleh, 2001) συνδυάζοντας οπτικά μοντέλα (Kozma & Russell, 1997) με τις πολλαπλές δυνατότητες του διαδικτύου και των τεχνολογιών.

Η ευέλικτη χρήση της διαδικτυακής τεχνολογίας μπορεί πια να δημιουργήσει συνθήκες προσαρμοσμένες στις ανάγκες του κάθε μαθήματος, καθώς και του κάθε διδασκόμενου (Dori & Barak, 2004). Υπάρχουν αρκετές εφαρμογές και εκπαιδευτικές σελίδες που αφορούν στην επιστήμη της Χημείας. Σημαντική δεξιότητα των φοιτητών, αποτελεί πλέον η σωστή αναζήτηση για εύρεση της κατάλληλης πληροφορίας, κάτι που πρέπει να αποτελεί μέρος της εκπαίδευσης τους.

Πολλοί είναι οι επιστήμονες που κάνουν χρήση φυσικών/απτών ψηφιακών μοριακών μοντέλων, ώστε να βοηθήσουν τους φοιτητές στην κατανόηση του μικρόκοσμου και της σωματιδιακής φύσης της Χημείας (Dori & Barak, 2004). Η χρήση των ψηφιακών μοντέλων βοηθά στην κατανόηση της τρισδιάστατης μοριακής δομής, καθώς και στην ανάπτυξη της οπτικοχωρικής ικανότητας, έχοντας ως απώτερο σκοπό την ουσιαστική μάθηση (Barnea & Dori, 1996; Dori & Barak, 2001; Barak & Dori, 2005; Donovan & Nakhleh, 01). Για την ανάπτυξη των αναπαραστασιακών δεξιοτήτων, η πρόσφατη έρευνα

επικεντρώνεται στα θετικά αποτελέσματα της πρόσβασης των διδασκόμενων σε ανάλογα εργαλεία για χρήση σε μεταφράσεις διαγραμματικών αναπαραστάσεων (Wu *et al.*, 2001; Olimpo *et al.* 2015).

Σύμφωνα με τις εποικοδομητικές προσεγγίσεις, θα πρέπει να δίνεται μεγάλη βάση στις πρότερες γνώσεις των φοιτητών, στις δεξιότητες τους και στις εναλλακτικές προσεγγίσεις που ίσως διαθέτουν (Hilton & Nichols, 2011).

Σειρά μελετών έχει δείξει ότι παρουσιάζεται βελτίωση της μάθησης με τη χρήση πολυαναπαραστασιακών περιβαλλόντων (Wu *et al.*, 2001; Stieff & McCombs, 2006; Ainsworth, 2006) και δυναμικών πολυαναπαραστασιακών οπτικοποιήσεων. Αυτά τα περιβάλλοντα έχουν σκοπό να αποσαφηνίσουν την πληροφορία των εξωτερικών αναπαραστάσεων, μέσω διαδραστικών οπτικών ερεθισμάτων. Οι φοιτητές που μαθαίνουν Χημεία με τη χρήση πολυαναπαραστασιακών περιβαλλόντων, παρουσιάζουν μεγάλη βελτίωση στην ικανότητα τους να αναπαράγουν ακριβείς χημικές αναπαραστάσεις και να τις χρησιμοποιούν κατάλληλα για την περιγραφή μη ορατών αλληλεπιδράσεων. Η χρήση δυναμικών αναπαραστάσεων, μπορεί να βοηθήσει τους διδασκόμενους στην κατανόηση περίπλοκων επιστημονικών ζητημάτων (Newcombe & Stieff, 2012) με έμφαση στη σχέση ανάμεσα στα φαινόμενα που αναπαρίστανται και τις διάφορες εξωτερικές αναπαραστάσεις.

Ο ρόλος του διδάσκοντα στην ανάπτυξη των αναπαραστασιακών δεξιοτήτων είναι ιδιαίτερα σημαντικός. Οι καθηγητές κατά τη διδασκαλία μπορούν να αιτιολογούν τον τρόπο με τον οποίο βοηθούν οι αναπαραστάσεις και το πώς οι ίδιοι τις χρησιμοποιούν. Στα πλαίσια ενός κανονικού μαθήματος, θα πρέπει να αναπτύσσονται μια σειρά από δεξιότητες για την κατασκευή, κατανόηση, μετατροπή εξωτερικών αναπαραστάσεων για τη μάθηση και την επίλυση προβλημάτων (Stieff *et al.*, 2011). Σημαντικός είναι και ο ρόλος τους στη γεφύρωση του χάσματος ανάμεσα σε αφελείς και επιστημονικά ορθές οπτικές ενός θέματος. Οι πρακτικές του καθηγητή είναι αυτές που θα προάγουν τις συζητήσεις στην κοινότητα των μαθητών, θα ενθαρρύνουν διερευνητικές δραστηριότητες, θα παρέχουν ανάλογες ευκαιρίες, και θα αποτελέσουν το θεμέλιο για τη χρήση της επιστημονικής γλώσσας και την κατασκευή της γνώσης (Hilton & Nichols, 2011).

Η χρήση υποσημειώσεων και η απεικόνιση διεργασιών με επισημασμένες ενδείξεις και βέλη, είναι πολύ δυνατά εργαλεία για τους διδασκόμενους και τους διδάσκοντες. Χρησιμοποιούνται για την οπτικοποίηση διάφορων διαδικασιών με αλληλουχίες βημάτων, όπως για παράδειγμα τον τρόπο μετατροπής των αντιδρώντων σε προϊόντα κατά τη διαδικασία των χημικών αντιδράσεων. Παρόλα αυτά, πρακτικές όπως η χρήση πολυμορφικών απεικονίσεων και πολυαναπαραστασιακών περιβαλλόντων δεν αποτελούν μέρος διδασκαλίας του συνόλου των καθηγητών Χημείας.

Η ενασχόληση των διδασκόμενων με τις αναπαραστάσεις, ειδικότερα ομαδοσυνεργατικά σε μικρές ομάδες ή ζευγάρια, μπορεί να λειτουργήσει θετικά, αφού η μεταξύ τους επικοινωνία μέσω περιγραφών, συνεργασίας και διαλόγου μπορεί να έχει ως τελικό αποτέλεσμα την κατανόηση. Σύμφωνα με πολλούς ερευνητές, πολλές φορές, απαιτείται εστίαση στην ανάπτυξη των επικοινωνιακών προσόντων των φοιτητών (Prain *et al.*, 2009; Hilton & Nichols, 2011), αφού ανάλογες κοινωνικές προσεγγίσεις είναι απαραίτητες για την εμπλοκή των φοιτητών σε επιστημονικές πρακτικές και η παροχή ευκαιριών για κοινωνική αλληλεπίδραση μπορεί να οδηγήσει στη μάθηση.

Η αξιολόγηση της διδακτικής διαδικασίας βοηθά να αντιληφθούμε τους μηχανισμούς μέσω των οποίων οι διδασκόμενοι κατανοούν τις αναπαραστάσεις και να αποσαφηνιστεί ο βαθμός συσχέτισης της αναπαραστασιακής δεξιότητας με τη γνώση του διδασκόμενου θέματος (Nitz & Ainsworth, 2014). Τα νέα εργαλεία που αναπτύσσονται δεν επιτρέπουν μόνο τη βελτίωση της μάθησης των διδασκόμενων, αλλά παρέχουν και διερευνητικές μεθόδους, ώστε να γνωρίσουμε τον τρόπο με τον οποίο οι διδασκόμενοι κατανοούν και χρησιμοποιούν τις αναπαραστάσεις για επίλυση προβλημάτων. Το υλικό που χρησιμοποιείται και οι γνώσεις που αποκομίζονται από αυτό, θα πρέπει να αξιολογούνται ώστε να βελτιώνονται και να εμφανίζονται ενδεχόμενα κενά ή λάθη στη διαδικασία. Η αξιολόγηση θα πρέπει να γίνεται εστιασμένα και με προσοχή, επειδή η κατανόηση ενός διδασκόμενου θέματος και η οπτική παιδεία είναι μεγέθη αλληλεξαρτώμενα και συχνά δεν είναι διακριτό ποιο μέγεθος βελτιώθηκε και σε ποιο βαθμό (Linenberg & Holme, 2014).

4.4 Στρατηγικές Επίλυσης Προβλημάτων με Αναπαραστάσεις

Ο νοητικός χειρισμός των μοντέλων ή και των διάφορων αναπαραστάσεων, μπορεί να εξωτερικευτεί κατά την επίλυση προβλημάτων, μέσω των χρησιμοποιούμενων στρατηγικών επίλυσης. Η διαδικασία ανίχνευσης των στρατηγικών, επιτυγχάνεται μέσω συνεντεύξεων ή με τη χρήση οφθαλμικών καταγραφών. Οι διαφορετικοί τρόποι συλλογιστικής (reasoning) που οδηγούν και σε διαφορετικές στρατηγικές (strategies) επίλυσης προβλημάτων, οφείλονται στο γεγονός ότι οι λύτες προβλημάτων αναπαράγουν τα συστήματα που μελετούν, μέσω νοητικών μοντέλων που ποικίλουν από πολύ συγκεκριμένα και εικονιστικά (imagistic) έως πολύ αφαιρετικά και αναλυτικά (analytic). Άτομα με διαφορετικό επιστημονικό υπόβαθρο, όπως και δεξιότητες ή ατομικά χαρακτηριστικά (φύλο, ηλικία κ.τ.λ.), χρησιμοποιούν διαφορετικού τύπου στρατηγικές κατά την επίλυση του ίδιου προβλήματος.

Η **αναλυτική** συλλογιστική βασίζεται στον κατακερματισμό του εξεταζόμενου συστήματος και την εφαρμογή συγκεκριμένων κανόνων για εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τη συμπεριφορά του (Hegarty *et al.*, 2013). Επιτυγχάνεται δηλαδή η αποσύνθεση μιας εικόνας ή ενός διαγράμματος και η ανάπτυξη συλλογιστικής μέσω κανόνων που εφαρμόζονται συχνά στις εξωτερικές αναπαραστάσεις (Stieff, 2010).

Οι **εικονιστικές** στρατηγικές, αναφέρονται κυρίως στην ικανότητα επεξεργασίας και χειρισμού, μιας εικόνας κατά την επίλυση προβλημάτων. Μαζί με την οπτικοχωρική αντίληψη, η ανάπτυξη της εικονιστικής συλλογιστικής θεωρείται σημαντικός παράγοντας για τη μάθηση των επιστημών (Stieff, 2010). Κατά την εφαρμογή των εικονιστικών στρατηγικών, επιτυγχάνεται ένα είδος μηχανικής σκέψης. Από το ερέθισμα που δέχεται ο εξεταζόμενος, κατασκευάζει μια νοητική εικόνα του συστήματος χρησιμοποιώντας αναλογική επεξεργασία, όπως είναι για παράδειγμα οι νοητικές περιστροφές ή οι κατοπτρισμοί και δίνει την απάντηση του βασιζόμενος σε αυτή τη νοητική εικόνα και τον χειρισμό της (Hegarty *et al.*, 2013). Ένας οργανικός χημικός για παράδειγμα, που ασχολείται με τη σύνθεση ενώσεων, θα μπορούσε να φανταστεί με αυτό τον τρόπο τη δομή ενός μορίου και να κάνει τους κατάλληλους χειρισμούς στον χώρο ώστε να εξηγήσει διάφορες ιδιότητες του μορίου, ή να τοποθετηθεί σχετικά με τις ιδιότητες ενός αντιδραστηρίου βάσει της στερεοχημείας του.

Στη Χημεία υπάρχουν διάφορων τύπων στρατηγικές που συμπληρώνουν όλο το

φάσμα, από πολύ εικονιστικές ως πολύ αφαιρετικές στρατηγικές που απαιτούν τη χρήση κανόνων. Από έρευνα του Stieff (2007), βρέθηκε ότι οι έμπειροι χημικοί για τη λύση συγκεκριμένων συστημάτων χρησιμοποιούσαν αναλυτικές στρατηγικές που βασιζόταν κυρίως σε συγκεκριμένους κανόνες, ενώ οι αρχάριοι, που δεν τους γνώριζαν, αντιμετώπιζαν δυσκολίες και χρειαζόντουσαν περισσότερο χρόνο κατά την επίλυση.

Η μεταβολή της συμπεριφοράς των φοιτητών κατά την επίλυση και η χρήση μεγαλύτερου φάσματος συλλογισμών, βασίζονται στη διαδικασία εκμάθησης των κανόνων καθώς και στην έκθεση τους σε περισσότερους τύπους στρατηγικών επίλυσης, που επιτυγχάνεται κυρίως μέσω της διδακτικής διαδικασίας, παρά το γεγονός ότι οι διδασκόμενες στρατηγικές δεν υιοθετούνται πάντοτε με ευκολία (Stieff, 2011).

Οι Hegarty *et al.* (2013) εκτός από τις εικονιστικές στρατηγικές που βασίζονται στην ύπαρξη και χειρισμό ενός νοητικού μοντέλου (σε αυτές το άτομο φαντάζεται το μοντέλο και το χειρίζεται νοητικά), κάνει λόγο για **διαγραμματικές** στρατηγικές, όπου το άτομο βασίζεται κυρίως σε εξωτερικές οπτικοχωρικές αναπαραστάσεις. Η διαγραμματική συλλογιστική και οι στρατηγικές αναφέρονται στην εφαρμογή κάποιων κανόνων, ευρημάτων ή αλγορίθμων σε συγκεκριμένα διαγράμματα που αφορούν μελετώμενες θεματικές ενότητες για τον περιορισμό ενδεχόμενων περίπλοκων χωρικών μεταβολών και της χρήσης νοητικών οπτικοποιήσεων. Μέσω διάφορων διεργασιών (ελέγχου και συγκρίσεων στοιχείων), γίνεται επεξεργασία της πληροφορίας των αναπαραστάσεων ή αναπαραγωγή του προβλήματος σε διαφορετικού τύπου διαγραμματικές αναπαραστάσεις, χωρίς όμως να γίνεται νοητικός χειρισμός των αναπαραστάσεων. Από αυτή τη διαδικασία το άτομο καταλήγει σε διάφορα συμπεράσματα.

Στη βιβλιογραφία αναφέρονται επίσης και οι **χωρικές-αναλυτικές** (spatial analytic) στρατηγικές (Hegarty *et al.*, 2013), στις οποίες συμμετέχουν κανόνες και ευρετικές τεχνικές (heuristics) για την επεξεργασία της χωρικής πληροφορίας που προκύπτει από ένα διάγραμμα ή μια φράση. Τέλος, υπάρχουν οι **αλγοριθμικές** στρατηγικές (algorithmic) που βασίζονται σε κανόνες και ευρήματα, τα οποία όμως δεν έχουν σχέση με καμιά χωρική πληροφορία. Η επίλυση προβλημάτων με χρήση αλγοριθμικών στρατηγικών είναι συχνή, ιδιαίτερα για τους έμπειρους χημικούς που φαίνεται να εφευρίσκουν κατάλληλους αλγορίθμους για λύσεις συγκεκριμένων προβλημάτων.

Γενικότερα, παρατηρείται πιο συχνή χρήση εικονιστικών στρατηγικών όταν το

ερέθισμα είναι μια πολύ ρεαλιστική εικόνα, ενώ όταν το σύστημα περιγράφεται από μια πιο αφαιρετική εικόνα, όπως είναι ένα διάγραμμα, τότε οι αναλυτικού τύπου στρατηγικές έχουν τον κύριο λόγο. Η ύπαρξη ενός διαγράμματος για παράδειγμα, οδηγεί σε αποσπασματικές στρατηγικές, γιατί προσφέρει μια εξωτερική αναπαράσταση που μπορεί να εξεταστεί τμηματικά, ενώ η ύπαρξη ενός τρισδιάστατου μοντέλου μπορεί να οδηγήσει σε εικονιστικές στρατηγικές, αφού βοηθά στη δημιουργία και τον χειρισμό της νοητικής εικόνας (Schwartz & Black, 1996; Hegarty *et al.*, 2013).

Οι έμπειροι χημικοί διαθέτουν την ικανότητα να χρησιμοποιούν ανεξάρτητα και σε συνδυασμό τις εικονιστικές και τις διαγραμματικές στρατηγικές και να επιλέγουν την κατάλληλη, ανάλογα με το πρόβλημα (Stieff & Raju, 2010). Εφαρμόζουν συχνά διαγραμματικές στρατηγικές για προβλήματα που αφορούν στη στερεοχημεία και τους μηχανισμούς αντιδράσεων (Stieff & Raju, 2010), αλλά ταυτόχρονα με ευχέρεια χειρίζονται και τις εικονιστικές στρατηγικές σε ζητήματα μοριακής δομής, διερευνώντας ένα ανάλογο πρόβλημα. Οι διδασκόμενοι από την άλλη, δε χρησιμοποιούν πάντοτε με ευκολία ούτε τις διαγραμματικές αλλά ούτε και τις εικονιστικές στρατηγικές. Πολλές φορές, βασίζονται κυρίως σε εικονιστικές στρατηγικές παρά το γεγονός ότι έχουν διδαχθεί και τις διαγραμματικές. Άλλες έρευνες δείχνουν ότι οι φοιτητές Χημείας χρησιμοποιούν ένα συνδυασμό στρατηγικών κατά την επίλυση προβλημάτων και συνήθως διαδοχικά εφαρμοζόμενες. Συχνά χρησιμοποιούνται στρατηγικές που περιλαμβάνουν και αναλυτική συλλογιστική παράλληλα με διαγραμματικές συγκρίσεις (Schwartz & Black, 1996; Stieff, 2007). Εκτός από τη διαφοροποίηση που εμφανίζεται ανάμεσα στους έμπειρους και τους αρχάριους, διαφορές εμφανίζονται και στον τρόπο που χρησιμοποιούν τις στρατηγικές τα δύο φύλα (Stieff *et al.*, 2014).

Η εικονιστική συλλογιστική στη Χημεία φαίνεται να είναι μια πολύ βασική και χρήσιμη δεξιότητα, ειδικότερα σε πανεπιστημιακό επίπεδο. Ο βασικός της ρόλος είναι προφανής. Είναι πολύ σημαντική τόσο για τη σχέση ανάμεσα στα τρισδιάστατα χαρακτηριστικά των μορίων όσο για τις χημικές και φυσικές τους ιδιότητες. Η εικονιστική συλλογιστική παράλληλα με την οπτικοχωρική σκέψη, είναι αυτή που πολλές φορές μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικές επιστημονικές «τοποθετήσεις» (Rothenberg, 1995). Η διαγραμματική συλλογιστική από την άλλη, είναι και αυτή σημαντική για τις ίδιες τις αρχές της επιστήμης της Χημείας.

Βιβλιογραφία

Ainsworth, S., Bibby, P. A., & Wood, D. J. (1997). Information technology and multiple representations: New opportunities—new problems. *Journal of Information Technology for Teacher Education*, 6(1), 93–104.

Ainsworth, S. (1999). The functions of multiple representations. *Computers & Education*, 33, 131–152.

Ainsworth, S. E., Bibby, P., & Wood, D. (2002). Examining the effects of different multiple representational systems in learning primary mathematics. *Journal of the Learning Sciences*, 11(1), 25–61.

Ainsworth, S., Loizou, A. Th. (2003). The effects of self-explaining when learning with text or diagrams. *Cognitive Science*, 27, 669–681

Ainsworth, S., & VanLabeke, N. (2004). Multiple forms of dynamic representation. *Learning and Instruction*, 14(3), 241–255.

Ainsworth, S. (2006). DeFT: A conceptual framework for considering learning with multiple representations. *Learning and Instruction* 16, 183–198.

Ainsworth, S. (2008). The Educational Value of Multiple-representations when Learning Complex Scientific Concepts, In J. K. Gilbert, M. Reiner, & M. Nakhleh (Eds.), *Visualization: Theory and Practice in Science Education*, Dodrecht: Springer, 191–208.

Al-Balushi, S. M., & Coll, R. K. (2013). Exploring Verbal, Visual and Schematic Learners' Static and Dynamic Mental Images of Scientific Species and Processes in Relation to Their Spatial Ability. *International Journal of Science Education*, 35(3), 460–489.

Al-Balushi, S. M., & Al-Hajri, S. H. (2014). Associating animations with concrete models to enhance students' comprehension of different visual representations in organic chemistry. *Chem. Educ. Res. Pract.* Chem. Educ. Res. Pract, 15(15), 47–58.

Andersson, B. (1986). Pupils' explanations of some aspects of chemical reactions. *Science Education*, 70, 549–563.

Andrews, M., Squire, C., & Tamboukou, M. (eds) (2008). *Doing Narrative Research*, London: Sage

Arthur, W., Tubre, T., Paul, D., Edens, P. (2003). Teaching Effectiveness: The relationship between reaction and learning evaluation criteria. *Educ. Psychology* 23 (3).

Atkinson, R.C.; Shiffrin, R. M. (1968). Chapter: Human memory: A proposed system and its control processes. In Spence, K.W.; Spence, J.T. *The psychology of learning and motivation* (Volume 2). New York: Academic Press, 89–195.

Baddeley, A. D., & Hitch, G. J. (1974). Working memory. In G. H. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation* (Vol. 8, pp. 47–89). New York: Academic.

Baddeley, A.D. (1992). Working memory. *Science*, 255, 556–559

Baddeley, A. D. (1999). *Human memory*. Boston: Allyn & Bacon.

Barab, S. A., Hay, K. E., Squire, K., Barnett, M., Schmidt, R., Karrigan, K., Yamagata-Lynch, L., and Johnson, C. (2000). The virtual solar system: Learning through a technology-rich, inquiry-based, participatory learning environment. *J. Sci. Educ. Technol.* 9(1), 7–25.

Barab, S., Thomas, M., Dodge, T., Carteaux, R., & Tuzun, H. (2005). Making learning fun: Quest Atlantis, a game without guns. *Educational Technology Research and Development*, 53(1), 86–107.

Barak, M., & Dori, Y. J. (2005). Enhancing undergraduate students' chemistry understanding through project-based learning in an IT environment. *Science Education*, 89(1), 117–139.

Barke, H.D. & Engida, T. (2001). Structural chemistry and spatial ability in different cultures. *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, 2(2), 227–239.

Barnea, N., & Dori, Y. J. (1996). Computerized molecular modeling as a tool to improve chemistry teaching. *Journal of Chemical Information and Computer Science*, 36, 629–636.

Bayraktar, S. (2002). A meta-analysis of the effectiveness of computer-assisted instruction in science education. *Journal of Research on Technology in Education*, 34(2), 173–188.

Bennett, G. K., Seashore, H. G., & Wesman, A. G. (1974). *Manual for the Differential Aptitude Test* (5th ed.). New York: The Psychological Corporation.

- Ben-Zvi, R., Eylon, B.-S., & Silberstein, J. (1987). Students' visualization of some chemical reactions. *Education in Chemistry*, 24, 117–120.
- Ben-Zvi, R., Eylon, B., & Silberstein, J. (1988). Theories, principles and laws. *Education in Chemistry*, 89-92.
- Bodemer, D., & Faust, U. (2006). External and mental referencing of multiple representations. *Computers in Human Behavior*, 22(1), 27-42.
- Bodemer, D., Ploetzner, R., Bruchmuller, K., & Hacker, S. (2005). Supporting learning with interactive multimedia through active integration of representation. *Instructional Science*, 33, 73–95.
- Bodner, G. M. (1992). Refocusing the general chemistry curriculum. *Journal of Chemical Education*, 69, 186–190.
- Bodner, G. M., & Domin, D. S. (2000). Mental Models : The Role of Representations in Problem Solving in Chemistry, 4(1).
- Boucheix, J.-M., & Lowe, R. K. (2010). An eye tracking comparison of external pointing cues and internal continuous cues in learning with complex animations. *Learning and Instruction*, 20(2), 123-135.
- Brandt, S. A., & Stark, L. W. (1997). Spontaneous eye movements during visual imagery reflect the content of the visual scene. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 9, 27-38.
- Brooks, J. & Brooks, M. (1993). In search of understanding: the case for constructivist classrooms. Alexandria, VA: Association for Supervision and Curriculum Development. Brown, J.S., Collins, A. & Duguid, P. (1989). Situated cognition and the culture of learning. *Educational Researcher* 18, 32-42.
- Brunken, R., Plass, J. L., & Leutner, D. (2003). Direct measurement of cognitive load in multimedia learning. *Educational Psychologist*, 38, 53–61.
- Bussey, T. J., & Orgill, M. (2015). What do biochemistry students pay attention to in external representations of protein translation? The case of the Shine–Dalgarno sequence. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 16, 714-730.
- Canham, M., & Hegarty, M. (2010). Effects of knowledge and display design on comprehension of complex graphics. *Learning and Instruction*, 20,155-165.
- Chandler, P., & Sweller, J. (1991). Cognitive load theory and the format of instruction. *Cognition and Instruction*, 8(4), 293-332.
- Charistos, N., D., Tsipis, C., A., & Sigalas, M., P. (2005). 3D Molecular Symmetry Shockwave: Three-dimensional Perception of Molecular Symmetry, *J. Chem. Educ.*, 82(11), 1741.
- Chen, S.-C., She, H.-C., Chuang, M.-H., Wu, J.-Y., Tsai, J.-L., & Jung, T.-P. (2014). Eye movements predict students' computer-based assessment performance of physics concepts in different presentation modalities. *Computers & Education*, 74, 61-72.
- Cheng, M., & Gilbert, J. K. (2009). Towards a better utilization of diagrams in research into the use of representative levels of chemical education. In J. K. Gilbert, & D. Treagust (Eds.), *Multiple representations in chemical education: Models and modeling in science education* (Vol. 4, pp. 55–73). Dordrecht, NL: Springer.
- Chiu, M., & Wu, H. (2009). The roles of multimedia in the teaching and learning of the triplet relationship in chemistry. In J. K. Gilbert, & D. Treagust (Eds.), *Multiple representations in chemical education* (pp. 251–283). New York, NY: Springer.
- Chiu, M. H. (2012). Localization, regionalization, and globalization of chemistry education. *Australian Journal of Education in Chemistry*, 72, 23–29.
- Coleman S. L. and Gotch A. J. (1998). Spatial perception skills of chemistry students, *J. Chem. Educ.*, 75, 206-209.
- Cohen, C. A., & Hegarty, M. (2014). Visualizing cross sections: Training spatial thinking using interactive animations and virtual objects. *Learning and Individual Differences*, 33, 63-71.
- Confrey, J. (1990). A review of the research on student conceptions in mathematics, science and programming. In C. Cazden (Ed.), *Review of research in education* (Vol. 16, pp. 3-56). Washington, DC: American Educational Research Association.
- Conway, M. A., Pleydell-Pearce, C. W. (2000). The construction of autobiographical memories in the

self-memory system. *Psychological Review*, 107(2): 261-288.

Corsi, P.M. (1972). *Human memory and the medial temporal region of the brain* (Ph.D.). McGill University.

Cowan, N. (2014). Working Memory Underpins Cognitive Development, Learning, and Education. *Educational Psychology Review*, 26(2), 197-223.

Crawford, B. & Cullin, M. (2004). Supporting Prospective Teachers' Conceptions of Modelling in Science. *International Journal of Science Education*, 26(11), 1379-1401.

Cros, D., Chastrette, M., & Fayol, M. (1988). Conceptions of second year university students of some fundamental notions in chemistry. *International Journal of Science Education*, 10(3), 331-336.

Csikszentmihalyi, M. (1990) *Flow: The Psychology of Optimal Experience*, New York: Harpers Perennial.

Cukierman, U., Arnal, P., Cerasulo, P., Esperon, G., Fuertes, B., Agüero, M., Badaro, S. (2014). Playing with Maths GeoGebra Application for Meaningful Education. *International Conference on Interactive Collaborative Learning (ICL)*, 3-6 December, 2014

Daneman, M., & Carpenter, P. A. (1980). Individual differences in working memory and reading. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 19(4), 450-466.

De Groot, A., (1965), *Thought and choice in chess*. The Hague, The Netherlands: Mouton.

Dehn, M. J. (2008). *Working memory and academic learning: assessment an intervention*. Hoboken, NJ: Wiley & Sons.

De Jong, T., Ainsworth, S. E., Dobson, M., Van der Meij, J., Levonen, J., Reimann, P., *et al.* (1998). Acquiring knowledge in science and mathematics: the use of multiple representations in technology-based learning environments. In M. W. Van Someren, W. Reimers, H. P. A. Boshuizen, & T. de Jong (Eds.), *Learning with multiple representations*. Bingley, UK: Emerald Group Publishing Limited.

De Jong, T., & Van Joolingen, W. (1998). Scientific discovery learning with computer simulations of conceptual domains. *Review of Educational Research*, 68(2), 179–201.

De Jong, T., (2010), Cognitive load theory, educational research, and instructional design: some food for thought. *Instr. Sci.* (2010), 38, 105-134.

De Koning, B. B., Tabbers, H. K., Rikers, R. M. J. P., & Paas, F. (2010). Attention guidance in learning from a complex animation: seeing is understanding? *Learning and Instruction*, 20(2), 111-122.

diSessa, A. A., Hammer, D., Sherin, B. L., & Kolpakowski, T. (1991). Inventing graphing: Meta-representational expertise in children. *Journal of Mathematical Behavior*, 10, 117–160.

diSessa, A. A. (1993). Toward an Epistemology of Physics. *Cognition & Instruction*, 10(2-3), 105-225.

Domagk S., Schwartz R. N., Plass J. L. (2010). Interactivity in multimedia learning: An integrated model. *Computers in Human Behavior*, 26 (5), 1024- 1033.

Dong, Y., & El-Sayed, J. A. (2011, June). Engage Engineering and Science Students by Improving Their Spatial Visualization Skills Paper presented at 2011 Annual Conference & Exposition, Vancouver, BC.

Donovan, W. J., & Nakhleh, M. B. (2001). Students' use of web-based tutorial materials and their understanding of chemistry concepts. *Journal of Chemical Education*, 78, 975-980.

Driver, R & Oldham, V. (1986). A Constructivist Approach to Curriculum Development in Science. *Studies in science education*, 13, 105-122.

Duffy, T. M., & Jonassen, D., eds. (1992). *Constructivism and the technology of instruction: a conversation*. Hillsdale NJ: Erlbaum.

Eals, M., & Silverman, I. (1994). The Hunter-Gatherer Theory of Spatial Sex Differences: Proximate Factors Mediating the Female Advantage in Recall of Object Arrays, 15, 95-105.

Elling, S., Lentz, L., de Jong, M. (2011). Retrospective think-aloud method: using eye movements as an extra cue for participants' verbalizations. In *CHI 2011 Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 1161–1170. ACM, New York (2011).

Engbert, R., Nuthmann, A., Richter, E., & Kliegl, R. (2005). SWIFT: a dynamical model of saccade generation during reading. *Psychological Review*, 112, 777-813.

- Engle, R. W., Tuholski, S. W., Laughlin, J. E., & Conway, A. R. A. (1999). Working memory, short term memory, and general fluid intelligence: a latent variable approach. *Journal of Experimental Psychology: General*, 128,309–331.
- Foust R. D., Cruickshank B., Stringer M., Olander J. (1999). The benefits of using Web-based enhancements in an Environmental Chemistry class. *The Chemical Educator*, 4, 108-111.
- Fenesi, B., Sana, F., Kim, J. A., & Shore, D. I. (2015). Reconceptualizing Working Memory in Educational Research, *Educational Psychology Review*, 27(2), 333-351.
- Fitzpatrick, J.L, Sanders, J.R., & Worthen, B.R. (2004). *Program evaluation: Alternative approaches and practical guidelines* (3rd edition). Upper Saddle River, NJ: Pearson Education Inc.
- Friedman, N. P., & Miyake, A., (2000), Differential roles for visuospatial and verbal working memory in situation model construction, *Journal of Experimental Psychology: General*, 129. 61-83.
- French, J. W., Ekstrom, R. B., & Price, L. A. (1963). *Kit of reference tests for cognitive factors*. Princeton, NJ: Educational Testing Service.
- Gabel D. L., Samuel K. V. and Hunn D. (1987). Understanding the particulate nature of matter, *J. Chem. Educ.*, 64(8), 695-697.
- Gabel, D. L. (1999). Improving teaching and learning through chemistry education research: A look to the future. *Journal of Chemical Education*, 76, 548-554.
- Gibbons, A.S. and Fairweather, P.G. (1998). *Computer-based Instruction: Design and Development*. Englewood Cliffs, NJ: Educational Technology Publications.
- Gilakjani, A. P., Leong, L.-M., & Ismail, H. N. (2013). Teachers' Use of Technology and Constructivism. *Modern Education and Computer Science*, 4(4), 49–63.
- Gilbert, J. K. & Boulter, C. (1998). Learning science through models and modelling. In B.J. Fraser and K.G. Tobin (eds.) *International Handbook of Science Education* (Dordrecht, Kluwer Academic Press), 53–67.
- 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: Kluwer.
- Gilbert J., (2005), Visualization: a metacognitive skill in science and science education, in Gilbert J. K. (ed.), *Visualization in science education* (pp. 9–27), Dordrecht, the Netherlands: Springer,.
- Gilbert J., (2008), Visualization: an emergent field of practice and enquiry in science education, in Gilbert J., Reiner M. and Nakhleh M. (ed.), *Visualization: theory and practice in science education* (pp. 3–24), Dordrecht: Springer.
- Gilbert, J. K. and Treagust, D. F. (2009). Introduction: Macro, submicro and symbolic representations and the relationship between them: Key Models in Chemical Education. In J. K. Gilbert & D. F. Treagust (Eds.). *Multiple representations in chemical education (Models and modeling in science education)*, Vol. 4, pp. 1-8, Dordrecht: Springer.
- Girelli, L., Semenza, C., & Delazer, M. (2004). Inductive reasoning and implicit memory: Evidence from intact and impaired memory systems. *Neuropsychologia*, 42(7), 926-938.
- Goldberg J. H. & Helfman, J. (2014). Eye tracking on visualization: Progressive extraction of scanning strategies. In Huang (Ed.), *Handbook of Human Centric Visualization*, 337-372.
- Goldin, G.A. (1987). Cognitive representational systems for mathematical problem solving. In C. Janvier (Ed.), *Problems of representation in the teaching and learning of mathematics* (pp. 125-145). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Gooden, A. (1996). *Computers in the classroom: How teachers and students are using technology to transform learning*. San Francisco: Jossey-Bass.
- Goodman, N. (1976). *Languages of art*. Hackett Publishing Company
- Greeno, J. (1998). The situativity of knowing, learning, and research. *American Psychologist*, 53, 5-26
- Greeno, F. G. (1989). Situation models, mental models, and generative knowledge. In D. Klahr & K. Kotovsky (Eds.), *Complex informatron processing: The impact of Herbert A. Simon* (pp. 285-3 18). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.

- Gredler E., M. (2001). *Learning and Instruction: Theory into Practice*, Merrill, Prentice Hall, New Jersey
- Grove, N. P., Cooper, M. M., & Rush, K. M. (2012). Decorating with Arrows: Toward the Development of Representational Competence in Organic Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 89, 844-849.
- Gutiérrez, M. J., Luís Saorín, J., Contero, M., Alcañiz, M., Pérez-López, D. C., & Ortega, M. (2010). Design and validation of an augmented book for spatial abilities development in engineering students. *Computers & Graphics*, 34(1), 77–91.
- Gutiérrez, J. M., Dominguez, M. G., Gonzalez, C. R. (2015). Using 3D Virtual technologies to Train Spatial Skills in Engineering. *International Journal of Engineering Education*, 31(1), 323-334.
- Gutwill, J. P., Frederiksen, J. R., & White, B. Y. (1999). Cognition and Instruction Making Their Own Connections: Students' Understanding of Multiple Models in Basic Electricity. *Cognition and Instruction*, 173, 249-282.
- Harle, M., & Towns, M. (2011). A Review of Spatial Ability Literature, Its Connection to Chemistry, and Implications for Instruction. *J. Chem. Educ.*, 88 (3), 351-360.
- Harrison A. G., & Treagust D. F. (2002). The particulate nature of matter: challenges in understanding the submicroscopic world, In J. K. Gilbert, O. De Jong, R. Justi, D. F. Treagust and J. H. Van Driel (Eds.), *Chemical education: towards research-based practice* (pp. 213-234), Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Harrop, A. (2003). Multiple Linked Representations and Calculator Behaviour: The Design of a computer-based Pedagogy. *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*. 22(3) (pp. 241-260). Norfolk, VA: ACE.
- Hegarty, M., Mayer, R. E., & Monk, C. A. (1995). Comprehension of arithmetic word problems: A comparison of successful and unsuccessful problem solvers. *Journal of Educational Psychology*, 87, 18-32.
- Hegarty, M. (2004). Diagrams in the mind and in the world: Relations between internal and external visualizations. In A. Blackwell, K. Mariott & A. Shimojima (Eds.), *Diagrammatic Representation and Inference. Lecture Notes in Artificial Intelligence 2980* (1-13). Berlin: Springer–Verlag.
- Hegarty, M., & Waller, D. (2004). A dissociation between mental rotation and perspectivetaking spatial abilities. *Intelligence*, 32, 175-191.
- Hegarty, M., Stieff, M., & Dixon, B. L. (2013). Cognitive change in mental models with experience in the domain of organic chemistry. *Journal of Cognitive Psychology*, 25(2), 220-228.
- Henderson, J. M. (2003). Human gaze control during real-world scene viewing. *Trends in Cognitive Sciences*, 7, 498-504.
- Hilton, A., & Nichols, K. (2011). Representational Classroom Practices that Contribute to Students' Conceptual and Representational Understanding of Chemical Bonding. *International Journal of Science Education*, 33(16), 2215–2246.
- Hodgson, T. L., Bajwa, A., Owen, A. M., & Kennard, C. (2000). The strategic control of gaze direction in the tower of London task. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12, 894-907.
- Höffler, T. N., & Leutner, D. (2007). Instructional animation versus static pictures: A meta-analysis. *Learning and Instruction*, 17(6), 722-738.
- Hoffmann, R., & Laszlo, P. (1991). Representations in chemistry. *Angewante Chemie*, 30(1), 1-16.
- Hohenwarter, J., Hohenwarter, M. & Lavicza, Z. (2009). Introducing Dynamic Mathematics Software to Secondary School Teachers: the Case of GeoGebra. *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, 28(2), 135-146.
- Hyönä, J. (2009). The use of eye movements in the study of multimedia learning. *Learning and Instruction*, 20, 172-176.
- Jaber, L. Z., & Boujaoude, S. (2012). A Macro–Micro–Symbolic Teaching to Promote Relational Understanding of Chemical Reactions. *International Journal of Science Education*, 34(7), 1464–5289.
- Jenkins, M., Browne, T., W Hsi, S., Linn, M. C., Bell, J. E. (1997). The Role of Spatial Reasoning in Engineering and the Design of Spatial Instruction, *Journal of Engineering Education* 30(1), 1-16.

- Jarodzka, H., Scheiter, K., Gerjets, P., & Van Gog, T. (2010). In the eyes of the beholder: how experts and novices interpret dynamic stimuli. *Learning and Instruction*, 20(2), 146-154.
- Johnstone, A. H. (1982). Macro- and micro-chemistry. *School Science Review*, 64, 377-379.
- Johnstone, A. H. (1991). Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. *Journal of Computer- Assisted Learning*, 7, 75-83.
- Johnstone, A. H. (1993). The Development of Chemistry Teaching: A Changing Response to Changing Demand. Symposium on revolution and Evolution in Chemical Education. Centre for Science Education, The University, Glasgow, Scotland.
- Johnstone, A. H. (1993). The development of chemistry teaching: A changing response to a changing demand. *Journal of Chemical Education*, 70(9), 701-705.
- Johnstone, A. H. (2000). Teaching of chemistry: Logical or psychological? *Chemical Education: Research and Practice in Europe*, 1(1), 9-15.
- Jonassen, D. H., Peck, K. L., & Wilson, B. G. (1999). *Learning with technology: A constructivist perspective*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall. Kent.
- Just, M. A., & Carpenter, P. A. (1980). A theory of reading: From eye fixations to comprehension. *Psychological Review*, 87, 329-354.
- Justi, R., Gilbert, J. K. (2002). Modelling, teachers' views on the nature of modelling, and implications for the education of modellers. *International Journal of Science Education*, 24(4), 369-388.
- Kaput, J. J. (1989). Linking representations in the symbol systems of algebra. In S. Wagner & C. Kieran (Eds.), *Research issues in the learning and teaching of algebra* (pp. 167-194). Hillsdale, NJ: LEA.
- Kalyuga, S., Chandler, P., & Sweller, J. (1998). Levels of expertise and instructional design. *Human Factors*, 40, 1-17.
- Kalyuga, S., Chandler, P., & Sweller, P. (1999). Managing split-attention and redundancy in multimedia instruction. *Applied Cognitive Psychology*, 13, 351-372.
- Kalyuga, S. (2011). Cognitive Load Theory: How Many Types of Load Does It Really Need? *Educ. Psychol. Rev.*, 23, 1-19.
- Keig, P. F., & Rubba, P. A. (1993). Translation of Representations of the Structure of Matter and its Relationship to Reasoning, Gender, Spatial Reasoning, and Specific Prior Knowledge. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(8), 883-903.
- Keengwe, J., Onchwari, G., & Onchwari, J. (2009). Technology and student learning toward a learner-centered teaching model. *Association for the Advancement of Computing in Education Journal*, 17(1), 11-22
- Kimura, D. (1999) *Sex and cognition*. MIT Press/Bradford Books: Cambridge MA.
- Kirschner, P. A., Sweller, J., and Clark, R. E. (2006). Why minimal guidance during instruction does not work: an analysis of the failure of constructivist, discovery, problem-based, experiential, and inquiry-based teaching. *Educational Psychologist*, 41(2) 75-86.
- Klopfer, E., S. Yoon, & L. Rivas. (2004). Comparative Analysis of Palm and Wearable Computers for Participatory Simulations. In review for *Journal of Computer Assisted Learning*, 20, 347-359
- Klopfer, E., Yoon, S., & Um, T. (2005). Teaching complex dynamic systems to young students with StarLogo. *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, 24 (2), 157-178.
- Kozma, R. B. (1991). Learning with media. *Review of Educational Research*, 61, 179-212.
- Kozma, R. B., Russell, J., Jones, T., Marx, N., & Davis, J. (1996). The use of multiple linked representations to facilitate science understanding. In S. Vosniadou, R. Glaser, E. De Corte, & H. Mandl (Eds.), *International perspective on the design of technology-supported learning environments* (pp. 41-60). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Kozma, R., & Russell, J. (1997). Multimedia and understanding: Expert and novice responses to different representations of chemical phenomena. *Journal of Research in Science Teaching*, 34, 949-968.
- Kozma, R., Chin, E., Russell, J., & Marx, N. (2000). The Roles of Representations and Tools in the Chemistry Laboratory and Their Implications for Chemistry Learning. *The Journal of the Learning*

Sciences, 9(2), 105–143.

Kozma, R. B. (2000). The Use of Multiple Representations and the Social Construction of Understanding in Chemistry. In M. Jacobson & R. Kozma (Eds.), *Innovations in science and mathematics education: Advanced designs for technologies of learning* (pp. 11-46). Mahwah, NJ: Erlbaum.

Kozma, R., Russell, J. (2005). Multimedia learning of chemistry. In R. Mayer (Ed.), *Cambridge Handbook of Multimedia Learning*, (pp. 409-428). New York: Cambridge University Press.

Kozma, R. B., & Russell, J., (2005), Students becoming chemists: Developing representational competence. In J. K. Gilbert (Ed.), *Visualization in science education* (pp. 121–146), Dordrecht, the Netherlands: Springer.

Kozhevnikov, M., & Hegarty, M. (2001). A dissociation between object-manipulation and perspective-taking spatial abilities. *Memory & Cognition*, 29, 745-756.

Kumi, B. C., Olimpo, J. T., Bartlett, F., & Dixon, B. L. (2013). Evaluating the effectiveness of organic chemistry textbooks in promoting representational fluency and understanding of 2D–3D diagrammatic relationships. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 14(14), 177–187.

Krajcik, J. S., 1991, Developing students' understanding of chemical concepts, in S. Glynn, R. Yeany, and B. Britton (Eds.), *The psychology of learning science* (pp.117-147), Erlbaum, Hillsdale, NJ.

Lancaster, K., Moore, E. B., Parson, R., & Perkins, K. K. (2013). Insights from Using PhET's Design Principles for Interactive Chemistry Simulations. In J.P. Suits and M.J. (Eds.), *Pedagogic Roles of Animations and Simulations in Chemistry Courses ACS Symposium Series*, American Chemical Society, Washington, 1142, 97-126.

Larkin, J.H., & Simon, H. A. (1987). Why a diagram is (sometimes) worth 10000 words. *Cognitive Science*, 11(1), 65–99.

Lee, Y.-H., Hsiao, C., & Ho, C.-H. (2014). The effects of various multimedia instructional materials on students' learning responses and outcomes: A comparative experimental study. *Computers in Human Behavior*, 40, 119-132.

Leuthold, S., Schmutz, P., Bargas-Avila, J. a., Tuch, A. N., & Opwis, K. (2011). Vertical versus dynamic menus on the world wide web: Eye tracking study measuring the influence of menu design and task complexity on user performance and subjective preference. *Computers in Human Behavior*, 27(1), 459–472.

Lerman, S. (1989). Constructivism, mathematics and mathematics education. *Educational Studies in Mathematics*, 20(2), 211–223

Lin, C. C., & Li, H. Y. (2003). A study of media delivery for web-based instruction. *Instructional Technology & Media*, 65, 34–58.

Linn, M. C., diSessa, A., Pea, R. D., & Songer, N. B. (1994). Can Research on Science Learning and Instruction Inform Standards for Science Education? 1. *Journal of Science Education and Technology*, 3(1).

Linenberger, K. J., & Holme, T. A. (2014). Results of a National Survey of Biochemistry Instructors To Determine the Prevalence and Types of Representations Used during Instruction and Assessment, *Journal of Chemical Education*, 91, 800-806.

Lohman, D. F. (1993). Spatial Ability and G. Paper presented at the first Spearman Seminar, University of Plymouth.

Lowe, R. (2003). Animation and learning: Selective processing of information in dynamic graphics. *Learning and Instruction*, 13, 157-176.

Madden, S. P., Jones, L. L., & Rahm, J. (2011). The role of multiple representations in the understanding of ideal gas problems. *Chem. Educ. Res. Pract*, 12, 283–293.

Mathews, M. R. (1994). *Science Education and Culture: The Role of History and Philosophy of Science*. Routledge, New York.

Mayer, R. E., & Anderson, R. B. (1992). The instructive animation: Helping students build connections between words and pictures in multimedia learning. *Journal of Educational Psychology*, 84(4), 444–452.

Mayer, R. E., Steinhoff, K., Bower, G., & Mars, R. (1995). Agenerative theory of textbook design: Using annotated illustrations to foster meaningful learning of science text. *Educational Technology Research and Development*, 43(1), 3 1-44

- Mayer, R. E. (2001). *Multimedia learning*. New York: Cambridge University Press.
- Mayer, R. E., Heiser, J., & Lonn, S., (2001), Cognitive constraints on multimedia learning: When presenting more material results in less understanding. *Journal of Educational Psychology*, 93(1), 187-198.
- Mayer, R. E., Moreno, R., (2002), Aids to computer-based multimedia learning. *Learning and Instruction*, 12, 107–119.
- Mayer, R. E. (2002). Cognitive Theory and the Design of Multimedia Instruction: An Example of the Two-Way Street Between Cognition and Instruction, in *New Directions for Teaching and Learning*. Spring, 89, 55-71.
- Mayer, R. E. (2005). Cognitive theory of multimedia learning. In R.E. Mayer (Ed.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*. New York: Cambridge University Press.
- Mayer, R.E. (2005). Introduction to multimedia learning. In R.E. Mayer (Ed.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*. New York: Cambridge University Press.
- Mayer, R. E., & Johnson, C. I. (2008). Revising the Redundancy Principle in Multimedia Learning. *Journal of Educational Psychology*, 100(2), 380-386.
- Mayer, R. E. (2009). *Multimedia learning* (2nd ed). New York: Cambridge University Press.
- Mayer, R. E. (2014). Research-Based Principles for Designing Multimedia Instruction Overview of Multimedia Instruction. In Benassi, V., A., Overson, C., E., Hakala, C., M., (Eds.), *Applying Science of Learning in Education*, American Psychological Association, pp. 59–70.
- Maxwell, J. A. (1996). *Qualitative research design: An interpretive approach*. Thousand Oaks, CA: Sage.
- Mammino L. (2008). Teaching chemistry with and without external representations in professional environments with limited resources, in Gilbert J., Reiner M. and Nakhleh M. (Eds.), *Visualization: theory and practice in science education*, Dordrecht, the Netherlands: Springer, 3, 155–185.
- Mahaffy, P. (2006). Moving Chemistry Education into 3D: A Tetrahedral Metaphor for Understanding Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 83(1), 49-56.
- Marunic, G., & Glazar, V. (2013). Spatial ability through engineering graphics education. *International Journal Of Technology & Design Education*, 23(3), 703-715.
- Mears, C. L. (2009). *Interviewing for Education and Social Science Research: The Gateway Approach*. New York: Palgrave Macmillan.
- Mellar, H., Bliss, J., Boohan, R., Ogborn, J., & Tompsett, C. (Eds.). (1994). *Learning with artificial worlds: Computer based modeling in the curriculum*. Washington, DC: The Falmer Press.
- Mertens, D. M. (2010). *Research and evaluation in education and psychology* (3rd ed.). Thousand Oaks, CA: Sage.
- Mertens, D. M., (1989). Developing focus group questions for needs assessment. In D.M Mertens (Eds), *Creative ideas for teaching evaluation*, (pp. 213-219), Boston: Kluwer Academic.
- Meyer, K., Rasch, T., & Schnotz, W. (2010). Effects of animation's speed of presentation on perceptual processing and learning. *Learning and Instruction*, 20(2), 136-145.
- McKim, R. H. (1980). *Experiences in visual thinking* (2nd edition). Wadsworth Publishing Company, Belmont CA.
- Mirtich, Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 63,81–97.
- Mohler, J. L. (2008). A Review of Spatial Ability. *Engineering Design Graphics Journal*, 72(3), 1-15.
- Mokros, J.R. & Tinker,R.F. (1987).The impact of microcomputer-based labs on children's ability to interpret graphs. *Journal of Research in Science Teaching*, 24(4), 369–383.
- Moreno, R., & Mayer , R. (2007). Interactive multimodal learning environments. *Educational Psychology Review*, 19(3), 309–326.
- Nahum, T., L., Hofstein, A., Mamlok-Naaman, R., & Bar-Dov, Z. (2004). Can final examinations amplify students' misconceptions in chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, 5(3), 301–325.
- Nakhleh, M. (1992). Why some students don't learn chemistry: Chemical misconceptions. *J. Chem. Educ.*, 1992, 69 (3), 191.

- Nakhleh M. B., & Krajcik, J. S. (1994). Influence of levels of information as presented by different technologies on students' understanding of acid, base, and pH concepts. *Journal of Research in Science Teaching*, 31(10), 1077–1096.
- Nakhleh, M. B., Donovan, W. J., & Parrill, A. L. (2000). Evaluation of Interactive Technologies for Chemistry Websites : Educational Materials for Organic Chemistry Web Site (EMOC). *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, 19(4), 355–378.
- Newcombe, N. S., & Stieff, M. (2012). Six Myths About Spatial Thinking. *International Journal of Science Education*, 34(6), 955–971.
- Nitz, S., Ainsworth, S. E., Nerdel, C., & Precht, H. (2014). Do student perceptions of teaching predict the development of representational competence and biological knowledge? *Learning and Instruction*, 31, 13–22.
- Norris, S. P., & Phillips, L. M. (2003). How literacy in its fundamental sense is central to scientific literacy. *Science Education*, 87, 224-240.
- O'Keefe, P. A., Letourneau, S. M., Homer, B. D., Schwartz, R. N., & Plass, J. L. (2014). Learning from multiple representations: An examination of fixation patterns in a science simulation. *Computers in Human Behavior*, 35, 234–242.
- Olimpo, J. T., Kumi, B. C., Wroblewski, R., & Dixon, B. L. (2015). Examining the relationship between 2D diagrammatic conventions and students' success on representational translation tasks in organic chemistry. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 16(1), 143–153.
- Onyancha, R. M., Derov, M., & Kinsey, B. L. (2009). Improvements in spatial ability as a result of targeted training and computer-aided design software use: Analyses of object geometries and rotation types. *Journal of Engineering Education*, 157-167.
- Özdemir, G. (2010). Exploring visuospatial thinking in learning about mineralogy: Spatial orientation ability and spatial visualization ability. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 8(4), 737-759.
- Ozcelik, E., Karakus, T., Kursun, E., & Cagiltay, K. (2009). An eye-tracking study of how color coding affects multimedia learning. *Computers & Education*, 53(2), 445–453.
- Paas, F. G. W. C., & Van Merriënboer, J. G. (1994). Instructional control of cognitive load in the training of complex cognitive tasks. *Educational Psychology Review*, 6, 351-372.
- Paivio, A., (1986), *Mental representations: A dual coding approach*. Oxford, England: Oxford University Press.
- Pawson, R. (1996). *Evaluation Research: Back to Basics*, in G. Mair (Ed.), *Evaluating the Effectiveness of Community Penalties*, (pp. 151-173). London: Avebury
- Peters, M., Laeng, B., Latham, K., Jackson, M., Zaiyounda, R., & Richardson, C. (1995). A redrawn Vandenberg and Kuse mental rotations test: Different versions and factors that affect performance. *Brain and Cognition*, 28(1), 39-58.
- Peterson, J., Pardos, Z., Rau, M., Swigart, A., Colin, G., McKinsey, J. (2015). Understanding Student Success in Chemistry using Gaze Tracking & Pupillometry. *Artificial Intelligence in Education, Lecture Notes in Computer Science*, 9112, 358-366.
- Petridou, E., Psillos, D., Hatzikraniotis, E. & Kallery, M. (2013). A study on the exploratory use of microscopic models as investigative tools: The case of electrostatic polarization. In Tsapalis, G.; Sevian, H. (Eds.), *Concepts of Matter in Science Education, Series: Innovations in Science Education and Technology*, 19, 199-212.
- Piaget, J., & Inhelder, B. (1971). *Mental imagery in the child: A study of the development of imaginal representation* (P. A. Chilton, Trans.). New York: Basic Books.
- Piburn, M. D., Reynolds, S. J., Leedy, D. E., Mcauliffe, C. M., Birk, J. P., & Johnson, J. K. (2002). *The Hidden Earth: Visualization of Geologic Features and their Subsurface Geometry*. Science Teaching.
- Piccardi, L., Iaria, G., Ricci, M., Bianchini, F., Zompanti, L., & Guariglia, C. (2008). Walking in the Corsi test: Which type of memory do you need? *Neuroscience Letters*. 432 (2), 127-131.
- Plass, J. L. & Schwartz, R. N., (2014), 30 *Multimedia Learning with Simulations and Microworlds*. In R. E. Mayer (Ed.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (2nd edition), 729-761

- Plass, J. L., Heidig, S., Hayward, E. O., Homer, B. D., & Um, E. J. (2014). Emotional design in multimedia learning: Effects of shape and color on affect and learning. *Learning and Instruction*, 29, 128-140.
- Pollatsek, A., Reichle, E. D., & Rayner, K. (2006). Tests of the E-Z Reader model: Exploring the interface between cognition and eye movement control. *Cognitive Psychology*, 52, 1-56.
- Poole, A., Ball, L.J. (2005). Eye Tracking in Human-Computer Interaction and Usability Research: Current Status and Future. Prospects. Chapter in Ghaoui, C. (Ed.) *Encyclopedia of Human-Computer Interaction*. Idea Group Inc, Pennsylvania, 211-219.
- Prain, V., & Waldrip, B. (2008). A study of teachers' perspectives about using multimodal representations of concepts to enhance science learning. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 8(1), 5-24.
- Preiner, J. (2008). *Introducing Dynamic Mathematics Software to Mathematics Teachers: the Case of GeoGebra*. PhD thesis, University of Salzburg, Austria.
- Prieto, G., & Velasco, A. D. (2010). Does spatial visualization ability improve after studying technical drawing? *Quality and Quantity*, 44(5), 1015-1024.
- Price, S. J. (2002). *Diagram Representation: The Cognitive Basis for Understanding Animation in Education (Technical Report 553)*: School of Computing and Cognitive Sciences, University of Sussex.
- Rafi, A., Samsudin, K. A., & Soh Said, C. (2008). Training in spatial visualization: The effects of training method and gender. *Educational Technology & Society*, 11(3), 127-140.
- Rapp, D. N., & Sengupta, P. (2012). Models and modeling in science learning. In N.M. Seel (Ed.), *Encyclopedia of the Sciences of Learning* (pp. 2320-2322). New York, NY: Springer.
- Raschke, M., Blascheck, T., Burch, M. (2014). Visual Analysis of Eye Tracking Data. In Huang (Ed.), *Handbook of Human Centric Visualization*. 391-409
- Rau, M. A., Michaelis, J. E., & Fay, N. (2015). Connection making between multiple graphical representations: A multi-methods approach for domain-specific grounding of an intelligent tutoring system for chemistry. *Computers & Education*, 82, 460-485.
- Rayner, K. (1998). Eye movements in reading and information processing: twenty years of research. *Psychological Bulletin*, 124(3), 372-422.
- Rayner, K., Chace, K. H., Slattery, T. J., & Ashby, J. (2006). Eye movements as reflections of comprehension processes in reading. *Scientific Studies of Reading*, 10(3), 241-255.
- Redick, T. S., Shipstead, Z., Harrison, T. L., Hicks, K. L., Fried, D. E., *et al.* (2013). No evidence of intelligence improvement after working memory training: A randomized, placebo-controlled study. *Journal of Experimental Psychology: General*, 142(2), 359.
- Rothenberg, A. (1995). Creative cognitive processes in Kekule's discover of the structure of the benzenemolecule. *American Journal of Psychology*, 108(3), 419-438.
- Rutten, N., van Joolingen, W. R., & van der Veen, J. T. (2012). The learning effects of computer simulations in science education. *Computers & Education*, 58(1), 136-153.
- Russell, J., Kozma, R., Becker, D., & Susskind, T. (2000). *SMV: Chem - Synchronized Multiple Visualizations in Chemistry*. New York: JohnWiley.
- Sanger, M. J., & Greenbowe, T. J. (2000). Addressing student misconceptions concerning electron flow in aqueous solutions with instruction including computer animations and conceptual change strategies. *International Journal of Science Education*, 22(5), 521-537.
- Scanlon, E. (1998). How beginning students use graphs of motion. In M. W. Van Someren, P. Reimann, H. P. A. Boshuizen, & T. de Jong (Eds.), *Learning with multiple representations* (pp. 9-40). Amsterdam: Elsevier Science.
- Schmidt-Weigand, F., Kohnert, A., & Glowalla, U. (2010). A closer look at split visual attention in system- and self-paced instruction in multimedia learning. *Learning and Instruction*, 20(2), 100-110.
- Schnotz, W., Bockheler, J., & Grzondziel, H. (1999). Individual and co-operative learning with interactive animated pictures. *European Journal of Psychology of Education*, 14, 245-265.
- Schnotz, W. (2002). Enabling, facilitating and inhibiting effects in learning from animated pictures.

Paper presented at the Workshop for Dynamic Visualizations, Knowledge Media Research Center, Tübingen.

Schnotz, W., & Bannert, M. (2003). Construction and interference in learning from multiple representations. *Learning and Instruction*, 13(2), 141-156.

Schnotz, W. (2005). An Integrated Model of Text and Picture Comprehension. In R. E. Mayer (Ed.), *Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (pp. 49–69). New York: Cambridge University Press.

Schönborn, K. J., & Anderson, T. R. (2009). A Model of Factors Determining Students' Ability to Interpret External Representations in Biochemistry. *International Journal of Science Education*, 31(2), 193–232.

Schonborn K. and Anderson T., (2010), Bridging the educational research-teaching practice gap: foundations for assessing and developing biochemistry students' visual literacy. *Biochem. Mol. Biol. Educ.*, 38(5), 347-354.

Schwartz, D. L., & Black, J. B. (1996). Shuttling Between Depictive Models and Abstract Rules: Induction and Fallback. *Cognitive Science*, 20(4), 457-497.

Schwartz, C. V., & White, B.Y. (2005). Metamodeling knowledge: Developing students' understanding of scientific modeling. *Cognition and Instruction*, 23(2), 165-205.

Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., Achér, A., Fortus, D., Krajcik, J. (2009). Developing a learning progression for scientific modeling: Making scientific modeling accessible and meaningful for learners. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 632–654.

Schutz, A. (1967). *The Phenomenology of the Social World*. Evanston, 2: Northwestern University Press.

Seabra, R. D., & Santos, E. T. (2008). Evaluation of the Spatial Visualization Ability of Entering Students in a Brazilian Engineering Course. *Journal for Geometry and Graphics*, 12(1), 99–108.

Seidman, I. (2006). *Interviewing as Qualitative Research: A guide for researchers in education and the social sciences*. New York: Teachers College Press.

Seufert, T., & Brünken, R. (2004). Supporting coherence formation in multimedia learning. In P. Gerjets, P. A. Kirschner, J. Elen, & R. Joiner (Eds.), *Instructional design for effective and enjoyable computer-supported learning: Proceedings of the first joint meeting of the EARLI SIG's Instructional Design and Learning and Instruction with Computers* (pp. 138147). Tübingen, Germany: Knowledge Media Research Center.

Seufert, T. (2003). Supporting coherence formation in learning from multiple representations. *Learning and Instruction*, 13(2), 227–237.

Seufert, T., & Brünken, R. (2006). Cognitive load and the format of instructional aids for coherence formation. *Applied cognitive psychology*, 20(3), 321-331.

She, H.-C., & Chen, Y.-Z. (2009). The impact of multimedia effect on science learning: Evidence from eye movements. *Computers & Education*, 53(4), 1297-1307.

Shiffrin, R., & Schneider, W. (1977). Controlled and automatic human information processing: II. Perceptual learning, automatic attending, and a general theory. *Psychol. Rev.* 84(1) 127-190.

Sim, J. H., Daniel, E. G. S., & Elwood, J. (2014). Representational competence in chemistry: A comparison between students with different levels of understanding of basic chemical concepts and chemical representations. *Cogent Education*, 1(1).

Sims, V., & Hegarty, M. (1997). Mental animation in the visuospatial sketchpad: Evidence from dual-task studies. *Memory & Cognition*, 25(3), 321-332.

Sitzmann, T., Ely, K., & Wisher, R. (2008). Designing web-based training courses to maximize learning. In K. L. Orvis, A. L. R. Lassiter, P. A. Hershey (Eds.). *Computer-supported collaborative learning: Best practices and principles for instructors* (3rd edition) (pp. 1-19). Information Science Publishing.

Skemp, R. R. (1976). Relational understanding and instrumental understanding. *Mathematics Teaching*, 77, 20–26.

Skinner, B. F. (1958). Teaching machines. *Science*, 128, 969-977.

Smetana, L.K. & Bell, R.L. (2012). Computer simulations to support science instruction and learning: A critical review of the literature. *International Journal of Science Education*, 34(9), 1337-1370.

Smith, M. U., Good, R. (1984), Problem solving and classical genetics: Successful versus unsuccessful performance. *Journal of Research in Science Teaching*, 21(9), 895-912.

Smith, C. L., Wisner, M., Anderson, C. W., & Krajcik, J. (2006). Implications of research on children's learning for standards and assessment: A proposed learning progression for matter and the atomic-molecular theory, *Measurement: Interdisciplinary Research & Perspective*, 4 (1&2), 1-98.

Sorby, S. A. (2009). Education research in developing 3-D spatial skills for engineering students. *International Journal of Science Education*, 31(3), 459-480.

Spaniol, J.; Madden, D. J.; Voss, A. (2006). A Diffusion Model Analysis of Adult Age Differences in Episodic and Semantic Long-Term Memory Retrieval". *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition* 32 (1): 101-117.

Stern, L., Barnea, N., & Shauli, S. (2008). The effect of a computerized simulation on middle school students' understanding of the kinetic molecular theory. *Journal of Science Education and Technology*, 17(4), 305-315.

Stroud, S. M. J., & Schwartz, N. H. (2010). Summoning Prior Knowledge Through Metaphorical Graphics: An Example in Chemistry Instruction. *The Journal of Educational Research*, 103(5), 351-366.

Stieff, M. (2005). Visualization and diagrammatic reasoning in genuine scientific problem solving. In T. Barkowsky, C. Freksa, M. Hegarty, & R. Lowe (Eds.), *Reasoning with mental and external diagrams: computation modeling and spatial assistance* (AAAI Tech. Rep. SS-05-06, pp. 121-126). Menlo Park, CA: AAAI Press.

Stieff, M., & McCombs, M. (2006). Increasing representational fluency with visualization tools. In S. Barab, K. E. Hay, & D.T. Hickey (Eds.), *Proceedings of the Seventh International Conference of the Learning Sciences (ICLS)* (Vol. 1, pp. 730-736). Mahwah, NJ: Erlbaum.

Stieff, M. (2007). Mental rotation and diagrammatic reasoning in science. *Learning and Instruction*, 17(2), 219-234.

Stieff, M., & Raje, S. (2010). Expert Algorithmic and Imagistic Problem Solving Strategies in Advanced Chemistry. *Spatial Cognition & Computation*, 10(1), 53-81.

Stieff, M. (2011). When is a molecule three dimensional? A task-specific role for imagistic reasoning in advanced chemistry. *Science Education*, 95(2), 310-336.

Stieff, M. (2011). Improving representational competence using molecular simulations embedded in inquiry activities. *Journal of Research in Science Teaching*, 48(10), 1137-1158.

Stieff, M., Dixon, B. L., Ryu, M., Kumi, B. C., & Hegarty, M. (2014). Strategy Training Eliminates Sex Differences in Spatial Problem Solving in a STEM Domain. *Journal of Educational Psychology*, 106(2), 390-402.

Stull, A. T., Hegarty, M., Dixon, B., & Stieff, M. (2012). Representational Translation With Concrete Models in Organic Chemistry. *Cognition & Instruction*, 30(4), 404-434.

Suits, J. P. (2015). Design of Dynamic Visualizations to Enhance Conceptual Understanding in Chemistry Courses. In J. Garcia-Martinez, E. Serrano-Torregrosa (Eds.) *Chemistry Education: Best Practices, Innovative Strategies and New Technologies*, (Chapter 24, pp. 571-596).

Sweller, J., (1994), Cognitive load theory, learning difficulty, and instructional design, *Learning and Instruction*, 4(4), 295-312.

Sweller, J., van Merriënboer, J. J., & Paas, F. G. (1998). Cognitive architecture and instructional design. *Educational Psychology Review*, 10(3), 251-296.

Sweller, J. (1999). *Instructional design in technical areas*. Melbourne: ACER Press.

Sweller, J. (2003). Evolution of Human Cognitive Architecture. *Psychology of Learning and Motivation*, 43, 215-266.

Sweller, J. (2005). Implications of Cognitive Load Theory for Multimedia Learning, In R.E. Mayer (Ed.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (pp. 19-30). New York: Cambridge University Press.

- Sweller, J. (2011). Cognitive Load Theory. *The Psychology of Learning and Motivation*, 55, 37-76.
- Sweller J., Ayres P., Kalyuga S. (2011) Intrinsic and Extraneous Cognitive Load. In: *Cognitive Load Theory. Explorations in the Learning Sciences, Instructional Systems and Performance Technologies*, vol 1. Springer, New York, NY
- Tabachneck, H. J. M., Leonardo, A. M., & Simon, H. A. (1994). How does an expert use a graph? A model of visual and verbal inferencing in economics. In A. Ram, & K. Eiselt (Eds.), 16th annual conference of the cognitive science society (pp. 842-847). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Titus, S., Horsman, E., (2009) Characterizing and Improving Spatial Visualization Skills. *Journal of Geoscience Education*, 57(4), 242-254.
- Treagust, D. F., Chittleborough, G., & Mamiala, T. (2003). The role of submicroscopic and symbolic representations in chemical explanations. *International Journal of Science Education*, 25(11), 1353–1368.
- Treagust, D. F., Chittleborough, G. D., & Mamiala, T. L. (2004). Students' Understanding of the Descriptive and Predictive Nature of Teaching Models in Organic Chemistry. *Research in Science Education*, 34(1), 1–20.
- Tsai, M.-J., Hou, H.-T., Lai, M.-L., Liu, W.-Y., & Yang, F.-Y. (2012). Visual attention for solving multiple-choice science problem: An eye-tracking analysis. *Computers & Education*, 58(1), 375–385.
- Tufte, E. R. (2001). *The Visual Display of Quantitative Information*, 2nd edition. Graphics Press: Cheshire.
- Tuckey, H., Selvaratnam, M., & Bradley, J. (1991). Identification and rectification of student difficulties concerning three-dimensional structures, rotations, and reflection. *Journal of Chemical Education*, 68(6), 460-464.
- Van der Meij, J., & de Jong, T. (2006). Supporting students' learning with multiple representations in a dynamic simulation-based learning environment. *Learning and Instruction*, 16(3), 199–212.
- Van Merriënboer, J. J. G., & Kester, L. (2005). The Four-Component Instructional Design Model: Multimedia Principles in Environments for Complex Learning. In R. E. Mayer. *The Cambridge handbook of multimedia learning* (pp. 71–93). New York: Cambridge University Press.
- Van Driel, J. H., & Verloop, N. (2002). Experienced teachers' knowledge of teaching and learning of models and modelling in science education. *International Journal of Science Education*, 24(12), 1255-1272.
- Van Labeke, N., & Ainsworth, S. (2001). Applying the DeFT framework to the design of multi-representational instructional simulations. In J. D. Moore, C. L. Redfield, & W. L. Johnson (Eds.), *Proceedings of the 10th international conference on AI in education* (pp. 314–321). Amsterdam: IOS Press.
- Van Someren, M. W., Reimann, P., Boshuizen, H. P. A., & de Jong, T. (Eds.). (1998). *Learning with multiple representations*. Amsterdam: Pergamon.
- Vosniadou, S., & Brewer, W. F. (1992). Mental models of the earth: A study of conceptual change in childhood. *Cognitive Psychology*, 24(4), 535–585.
- Vygotsky, L. S. (1987, Original work published 1934). Thinking and speech. In R.W. Rieber & A.S. Carton (Eds.), *The collected works of L.S. Vygotsky, Volume 1: Problems of general psychology* (pp. 39–285). New York: Plenum Press.
- Wengraf, T. (2001). *Qualitative research interviewing: Biographic narrative and semistructured methods*. Thousand Oaks, CA: Sage.
- Williamson, V. M., & Abraham, M. R. (1995). The effects of computer animation on the particulate mental models of college chemistry students. *Journal of Research in Science Teaching*, 32(5), 521–534.
- Williamson, V. M., Hegarty, M., Deslongchamps, G., Williamson, K. C., & Shultz, M. J. (2013). Identifying Student Use of Ball-and-Stick Images versus Electrostatic Potential Map Images via Eye Tracking. *Journal of Chemical Education*, 90(2), 159–164.
- Wieman, C. E., Adams, W. K., & Perkins, K. K. (2008). PhET Simulations That Enhance Learning, 322(October), 1–3.
- Wu, H.-K., Kuo, C.-Y., Jen, T.-H., & Hsu, Y.-S. (2015). What makes an item more difficult? Effects of modality and type of visual information in a computer-based assessment of scientific inquiry abilities. *Computers & Education*, 85(3), 35–48.

- Wu, H. K., Krajcik, J. S., & Soloway, E. (2001). Promoting understanding of chemical representations: Students' use of a visualization tool in the classroom. *Journal of Research in Science Teaching*, 38(7), 821–842.
- Wu, H. K. (2003). Linking the microscopic view of chemistry to real-life experiences: Intertextuality in a high-school science classroom. *Science Education*, 87(6), 868–891.
- Wu, H.-K., & Shah, P. (2004). Exploring visuospatial thinking in chemistry learning. *Science Education*, 88(3), 465–492.
- Wu, H., Krajcik, J. S., & Soloway, E. (2000). Using Technology to Support the Development of Conceptual Understanding of Chemical Representations, Fourth International Conference of the Learning Sciences, (pp.121-128), Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Wu, H.-K., & Puntambekar, S. (2012). Pedagogical affordances of multiple external representations in scientific processes. *Journal of Science Education and Technology*, 21(6), 754-767.
- Wright, R., Thompson, W. L., Ganis, G., Newcombe, N. S., & Kosslyn, S. M. (2008). Training generalized spatial skills. *Psychonomic Bulletin & Review*, 15(4), 763–771.
- Wong, A., Leahy, W., Marcus, N., & Sweller, J. (2012). Cognitive load theory, the transient information effect and e-learning. *Learning and Instruction*, 22(6), 449–457.
- Wood, R.; Baxter, P.; Belpaeme, T. (2011). A review of long term memory in natural and synthetic systems. *Adaptive Behavior*, 20(2): 81–103.
- Yen, M.-H., Yang, F.-Y. (2016). Methodology and Application of Eye-Tracking Techniques in Mei-Hung Chiu (Ed.), *Science Education Research and Practices in Taiwan*, (pp 249-277), Springer.
- Yilmaz, H. B., (2009). On the development and measurement of spatial ability. *International Electronic Journal of Elementary Education*, 1(2), 83-96.
- Yore, L. D., Pimm, D., & Tuan, H.-L. (2007). The literacy component of mathematical and scientific literacy. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 5(4), 559-589.
- Zare, R. N. (2002). Visualizing Chemistry. *Chemical Education Today Journal of Chemical Education*, 79(11), 1290.
- Χαριστός, Ν. (2005). Ανάπτυξη Εκπαιδευτικού Λογισμικού Τρισδιάστατης Μοριακής Οπτικοποίησης Ιδιοτήτων της Μοριακής Δομής. Διδακτορική Διατριβή, Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Χημείας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.