

ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΧΗΜΕΙΑΣ

ΘΕΜΑΤΑ ΔΙΔΑΚΤΙΚΗΣ ΤΗΣ ΧΗΜΕΙΑΣ

Σάλτα Κατερίνα

ΑΘΗΝΑ
2011

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1. ΔΙΔΑΚΤΙΚΗ ΤΗΣ ΧΗΜΕΙΑΣ ΚΑΙ ΨΥΧΟΛΟΓΙΑ	4
1.1 Συμπεριφορισμός	4
1.2 Η θεωρία του Piaget	5
1.3 Η θεωρία του Vygotsky	9
1.4 Η θεωρία του Ausubel.....	10
1.5 Η Θεωρία Επεξεργασίας Πληροφοριών.....	13
1.6 Εποικοδομισμός	17
2. ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΙΔΕΕΣ Ή ΠΑΡΑΝΟΗΣΕΙΣ ΤΩΝ ΜΑΘΗΤΩΝ	21
2.1 Ορισμοί.....	21
2.2 Χαρακτηριστικά των μαθητών που οδηγούν σε παρανοήσεις.....	22
2.3 Η μάθηση ως εννοιολογική αλλαγή	23
2.4 Διάφορες προσεγγίσεις της εννοιολογικής αλλαγής.....	25
2.5 Ο ρόλος της γλώσσας στη δημιουργία παρανοήσεων.....	28
2.6 Παρανοήσεις σχετικές με έννοιες της Χημείας.....	30
2.6.1 Παρανοήσεις σχετικές με τη σωματιδιακή σύσταση της ύλης	30
2.6.2 Παρανοήσεις σχετικές με τη χημική αντίδραση	31
2.6.3 Παρανοήσεις σχετικές με τα οξέα, τις βάσεις και το pH	34
3. ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΗΣ ΧΗΜΕΙΑΣ ΚΑΙ ΔΙΔΑΚΤΙΚΗ ΤΗΣ ΧΗΜΕΙΑΣ.....	36
3.1 Ιστορία της Χημείας και Χημική Εκπαίδευση.....	36
3.1.1 Προσεγγίσεις ενσωμάτωσης της Ιστορίας της Χημείας στη διδασκαλία	37
3.2 Ιστορική οργάνωση των χημικών εννοιών.....	39
3.2.1 Η πρώτη διάσταση: σύσταση/δομή.....	40
3.2.2. Η δεύτερη διάσταση: ενέργεια	42
3.2.3 Η τρίτη διάσταση: χρόνος	44
3.2.4 Συνδέσεις μεταξύ των τριών επιπέδων	44
3.3 Οι χημικές επαναστάσεις.....	46
4. ΕΠΙΠΕΔΑ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗΣ ΧΗΜΙΚΩΝ ΕΝΝΟΙΩΝ	49
4.1 Μακροσκοπικό επίπεδο – Πειράματα, εργαστηριακές ασκήσεις	51
4.1.1 Η διδακτική αξία των πειραμάτων	51
4.1.2 Ταξινόμηση πειραμάτων	53
4.1.3 Η ένταξη των πειραμάτων στη διδασκαλία.....	56
4.1.4 Γνωστικές δεξιότητες στόχοι των πειραμάτων	57
4.1.5 Εργαστηριακή άσκηση βασισμένη στον εποικοδομητισμό	58
4.2 Υπομικροσκοπικό Επίπεδο	60
4.2.1 Μοντέλα στη διδασκαλία της Χημείας	60
4.2.2 Το σωματιδιακό μοντέλο της ύλης.....	61
4.3 Συμβολικό επίπεδο	71
4.3.1 Ο χημικός συμβολισμός ως γλώσσα	71
4.3.2 Ευρύτερος χημικός συμβολισμός.....	73
4.3.3 Οι χημικές εξισώσεις.....	74
4.3.4 Μάθηση των συμβόλων και της ορθογραφίας.....	74
4.3.5 Μάθηση της βασικής γραμματικής	74
4.3.6 Δυσκολίες και προβλήματα με τη συμβολική γλώσσα της Χημείας	79
5. ΑΝΑΛΥΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΚΑΙ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑ.....	83
5.1 Προγράμματα σπουδών.....	83
5.2 Αναλυτικό Πρόγραμμα	83
5.3 Οργάνωση Αναλυτικού Προγράμματος.....	84
5.4 Σκοποί και στόχοι των Αναλυτικών Προγραμμάτων και της διδασκαλίας	85
5.4.1 Γενικοί σκοποί και στόχοι.....	86

5.4.2	Ειδικοί ή αντικειμενικοί στόχοι διδασκαλίας.....	87
5.5	Ταξινομίες γνωστικών δεξιοτήτων που αποτελούν διδακτικούς στόχους.....	89
5.5.1	Ταξινόμια του Bloom.....	89
5.5.2	Ταξινόμια της International Association for the Evaluation of Educational Achievement (IEA)	91
5.5.3	Ταξινομίες στην ελληνική βιβλιογραφία	92
5.6	Ωριαία διδασκαλία	94
5.6.1	Προγραμματισμός της διδασκαλίας.....	94
5.6.2	Σχεδιασμός της διδασκαλίας.....	95
5.6.3	Οργάνωση της διδασκαλίας.....	96
5.6.4	Διεξαγωγή της διδασκαλίας.....	96
6.	ΔΙΔΑΚΤΙΚΕΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΙΣ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗΣ.....	99
6.1	Εισαγωγή.....	99
6.2	Επιστημονική έρευνα και διδακτικές προσεγγίσεις διερεύνησης.....	100
6.2.1	Χαρακτηριστικά γνωρίσματα της επιστημονικής έρευνας.....	101
6.3	Τύποι δραστηριοτήτων διερεύνησης.....	103
6.3.1	Εργαστηριακές δραστηριότητες.....	103
6.3.2	Προσομοιώσεις πειραμάτων στον Υπολογιστή	104
6.3.3	Δραστηριότητες με βάσεις δεδομένων.....	105
6.3.4	Δραστηριότητες αξιολόγησης στοιχείων	106
6.3.5	Σχεδιασμός έρευνας-μελέτης	107
7.	ΧΑΡΤΕΣ ΕΝΝΟΙΩΝ	109
7.1	Τα στοιχεία του χάρτη εννοιών.....	109
7.2	Είδη χαρτών εννοιών.....	112
7.2.1	Ιεραρχικοί χάρτες (hierarchy concept maps)	112
7.2.2	Αραχνοειδείς χάρτες (spider concept maps)	112
7.2.3	Κυκλικοί χάρτες εννοιών	113
7.3	Αξιοποίηση των χαρτών εννοιών.....	115
8.	ΕΠΙΛΥΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΣΤΗ ΧΗΜΕΙΑ	119
8.1	Εισαγωγή.....	119
8.2	Μοντέλα επίλυσης προβλημάτων	120
8.3	Η μάθηση μέσω επίλυσης προβλήματος.....	122
8.3.1	Χαρακτηριστικά της μάθησης μέσω επίλυσης προβλήματος.....	123
9.	ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑ ΜΕΣΩ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΕΝΝΟΙΩΝ.....	126
9.1	Χημικές έννοιες και χαρακτηριστικά γνωρίσματα	126
9.2	Ανάλυση εννοιών	127
9.3	Ανάλυση της έννοιας άτομο.....	127
10.	ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΟΣΗΣ ΤΩΝ ΜΑΘΗΤΩΝ.....	129
10.1	Ορισμός της αξιολόγησης των μαθητών.....	129
10.2	Βασικές αρχές της αξιολόγησης επίδοσης.....	129
10.3	Μεθοδολογία αξιολόγησης επίδοσης.....	130
10.3.1	Ερωτήσεις που περιλαμβάνονται στα τεστ επίδοσης.....	130
10.3.2	Επικρίσεις και βελτιώσεις για τις ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής.....	137
10.4	Ανάλυση και αξιολόγηση ενός τεστ.....	139
10.4.1	Εγκυρότητα ενός τεστ	140
10.4.2	Αξιοπιστία ενός τεστ	141
10.4.3	Αντικειμενικότητα ενός τεστ	143
10.4.4	Πρακτικότητα ενός τεστ.....	144
10.4.5	Δυσκολία ενός τεστ.....	144
10.4.6	Επιλεκτικότητα - διαφοροποίηση ενός τεστ	145

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α	147
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β	148

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ως Διδακτική της Χημείας ορίζεται ο επιστημονικός κλάδος, ο οποίος ασχολείται με την έρευνα και την επίλυση προβλημάτων της διδασκαλίας της Χημείας στη δευτεροβάθμια και τριτοβάθμια εκπαίδευση. Ειδικότερα, η Διδακτική ερευνά τους όρους υπό τους οποίους η μεθόδευση της διδακτικής διαδικασίας έχει τα επιδιωκόμενα αποτελέσματα. Αυτό σημαίνει ότι η Διδακτική, ως επιστημονικός κλάδος, έχει δικό της αντικείμενο και ότι διαθέτει εννοιολογικές κατηγορίες με τις οποίες περιγράφει και αναλύει το αντικείμενό της, καθώς και στρατηγικές έρευνας, δηλαδή επιστημονική μέθοδο.

Η διδασκαλία είναι ένα ανθρωπολογικό και κοινωνικό φαινόμενο. Υπάρχει και έχει αποτελέσματα άσχετα από τη Διδακτική. Αντικείμενο έρευνας γίνεται από τη στιγμή που υπάρχει το θεωρητικό ενδιαφέρον και ο επιστημονικός προβληματισμός για τους παράγοντες που επηρεάζουν την αποτελεσματικότητά της. Με την έννοια αυτή η διδασκαλία αποτελεί αντικείμενο έρευνας και εφαρμογής της Διδακτικής.

Η διδασκαλία περιλαμβάνει πρωτίστως τρία στοιχεία, το *διδάσκοντα*, το *μαθητή* και το *αντικείμενο διδασκαλίας*. Διδάσκων είναι το άτομο εκείνο που έχει τύχει ειδικής εκπαίδευσης και ασκεί το επάγγελμά του (διεξαγωγή της διδασκαλίας) στα πλαίσια της οργανωμένης και συστηματικής παιδευτικής προσπάθειας (εκπαίδευση). Μαθητής είναι το άτομο το οποίο δέχεται την επίδραση της διδασκαλίας στα πλαίσια, επίσης, της εκπαίδευσης. Αντικείμενο διδασκαλίας είναι στην περίπτωσή μας τα θέματα της Χημείας που διδάσκονται. Το αντικείμενο της διδασκαλίας μπορεί να παρουσιαστεί με πολλούς τρόπους, μεταξύ των οποίων κυρίαρχη θέση κατέχει η *γλώσσα*. Η αποτελεσματικότητα της διδασκαλίας εξαρτάται από τη δομή της γλώσσας που χρησιμοποιεί ο διδάσκων σε σχέση με το αναπτυξιακό επίπεδο των μαθητών (αφηρημένη σκέψη, συμβολική αναπαράσταση του αντικειμένου διδασκαλίας, κατανόηση σχέσεων) και τη δομή της γλώσσας του μαθητή, που καθορίζεται από κοινωνικοπολιτισμικούς παράγοντες.

Ο ρόλος της γλώσσας στην οργάνωση και τη διεξαγωγή της διδασκαλίας συνήθως παραβλέπεται, παρόλο που η διδακτική και μαθησιακή διαδικασία οργανώνεται και ενεργοποιείται μέσω του λόγου. Ο παράγοντας αυτός δεν έχει μέχρι σήμερα ερευνηθεί στην έκταση που θα επέτρεπε την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων. Ένα από τα αντικείμενα της Διδακτικής της Χημείας είναι και η έρευνα των όρων υπό τους οποίους η χρήση της γλώσσας επηρεάζει την αποτελεσματικότητα της διδασκαλίας.

Οι *διδακτικές ενέργειες* είναι όλα εκείνα τα μέτρα που παίρνει ο διδάσκων κατά την προπαρασκευή και τη διεξαγωγή της διδασκαλίας με σκοπό να δημιουργήσει ευνοϊκούς

όρους και κατάλληλες προϋποθέσεις μάθησης. Οι **μαθησιακές διαδικασίες** είναι οι τρόποι σκέψης και πράξης που χρησιμοποιεί ο μαθητής κατά τη διδασκαλία προκειμένου να κατακτήσει το σκοπό της (γνώσεις, δεξιότητες, στάσεις). Οι διδακτικές ενέργειες και οι μαθησιακές διαδικασίες νοούνται μεταξύ τους και σε σχέση με το αντικείμενο διδασκαλίας ως σχέσεις αλληλεξάρτησης και αλληλεπίδρασης, οι οποίες μπορούν να περιγραφούν και να ερμηνευτούν με τη χρήση της εμπειρικής μεθόδου. Οι **μορφές διδασκαλίας** προκαλούν μεταβολές στις παραπάνω σχέσεις προσδιορίζοντας το ρόλο του διδάσκοντα και το ρόλο του μαθητή (μετωπική διδασκαλία, εργασία κατά ομάδες, εργαστηριακή εργασία).

Η διδασκαλία είναι σκόπιμη πράξη. Χρειάζεται, επομένως, να γίνεται σύμφωνα με κάποιο σχέδιο και να εξελίσσεται σε φάσεις. Σκόπιμη ενέργεια σημαίνει ότι έχω κατά νου μου ένα σκοπό – στόχο και ότι σε σχέση με αυτόν επιλέγω τον τρόπο και τα μέσα για να τον πετύχω. Με την έννοια αυτή ένα από τα στοιχεία της διδακτικής διαδικασίας είναι οι **στόχοι της διδασκαλίας**. Αντικείμενο έρευνας της Διδακτικής είναι η εξειδίκευση, το περιεχόμενο, η ταξινόμηση και η ιεράρχηση των στόχων της διδασκαλίας, καθώς και των όρων υπό τους οποίους πραγματοποιούνται οι στόχοι αυτοί.

Τέλος, ένα άλλο στοιχείο της διδασκαλίας είναι η **αξιολόγηση** (διδασκαλίας – μαθητή). Αποτελεί αναπόσπαστο μέρος της όλης διδακτικής διαδικασίας και της διαδικασίας της μάθησης και επομένως δεν είναι έξω από το πεδίο έρευνας της Διδακτικής. Αντικείμενα έρευνας αποτελούν η εγκυρότητα και η αξιοπιστία των τρόπων και των τεχνικών αξιολόγησης, καθώς και οι όροι υπό τους οποίους η αξιολόγηση επιδρά στην αποτελεσματικότητα της διδασκαλίας. Το βάρος που δίνεται στην αξιολόγηση και ο τρόπος με τον οποίο γίνεται είναι ο δείκτης ποιότητας της εκπαίδευσης που παρέχει ένα εκπαιδευτικό σύστημα.

Η δομή της Χημείας ως αντικείμενο διδασκαλίας (δηλαδή η διδακτική ύλη) συνίσταται:

- (α) Στην ανάλυση των στοιχείων τα οποία συνθέτουν σε ενιαίο σύνολο ένα θέμα Χημείας, (φαινόμενα, βασικές αρχές, νόμοι, προβλήματα, μέθοδοι, τεχνικές).
- (β) Στον καθορισμό των λογικών και λειτουργικών εξαρτήσεων που υπάρχουν ανάμεσα στα στοιχεία αυτά.
- (γ) Στον καθορισμό της λογικής με την οποία διαστρωματώνεται το περιεχόμενο της διδακτέας ύλης, των λόγων που υπαγορεύουν τη διαστρωμάτωση αυτή και στον καθορισμό της σημασίας της.
- (δ) Στον καθορισμό της ευρύτερης επιστημονικής περιοχής στην οποία ανήκει το κάθε θέμα Χημείας, της θέσης του σε αυτήν και των γνώσεων που προϋποθέτει η διδασκαλία του.

(ε) Στην εξακρίβωση της ιδιοτυπίας της διδακτέας ύλης, που ενδεχομένως δυσκολεύει την πρόσκτησή της από το μαθητή, και

(στ) στον καθορισμό του ελαχίστου ορίου γνώσεων και δεξιοτήτων που είναι απαραίτητα να αποκτήσει ο μαθητής, ώστε το αντικείμενο να έχει για αυτόν μορφωτική και πρακτική αξία.

Η Διδακτική της Χημείας, είναι ένας γνήσια διαεπιστημονικός κλάδος. Η Φιλοσοφία της Χημείας καθώς και η Ιστορία της Χημείας παρέχουν τρόπους σκέψης ώστε να αναλυθεί η φύση της Χημείας και η συγκεκριμένη συνεισφορά της Χημείας στην κατανόηση του “κόσμου”, για παράδειγμα της φύσης και της τεχνολογίας. Η Παιδαγωγική και η Ψυχολογία παρέχουν τα μέσα για να κρίνουμε αν ένα συγκεκριμένο θέμα αξίζει να διδαχθεί καθώς και να διεξάγουμε διάφορες εμπειρικές έρευνες για το αν το θέμα αυτό μπορεί να γίνει κατανοητό από τους μαθητές. Επίσης, κάποιο ρόλο παίζουν και άλλες επιστήμες όπως η Γλωσσολογία η οποία παρέχει τις βάσεις για να αναλύσουμε τη συζήτηση στην τάξη, ή για να προσεγγίσουμε τη Χημεία ως εισαγωγή σε μια νέα γλώσσα, η Κοινωνιολογία και η Ανθρωπολογία.

Η διεπιστημονική φύση της Διδακτικής της Χημείας είναι υπεύθυνη για τις συγκεκριμένες προκλήσεις στην διεξαγωγή της έρευνας. Βέβαια, η επάρκεια στη Χημεία είναι απαραίτητη, αλλά απαιτούνται επίσης σημαντικές δεξιότητες από άλλους επιστημονικούς κλάδους. Είναι αξιοσημείωτο, πώς οι χημικοί εκπαιδευτικοί χρειάζονται ένα ευρύ φάσμα δεξιοτήτων για να μυήσουν τους μαθητές στη Χημεία, καθώς δεν αρκεί μόνο η καλή γνώση της Χημείας για να την διδάξουν. Κάποια ελάχιστη βασική γνώση της φύσης της Χημείας, που παρέχεται από τη Φιλοσοφία και την Ιστορία της Χημείας, σε συνδυασμό με την εξοικείωση στις πρόσφατες μεθόδους αποτελεσματικής διδασκαλίας και μάθησης που προσφέρονται από την παιδαγωγική και την ψυχολογία.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Ματσαγκούρας Η., *Θεωρία και Πράξη της Διδασκαλίας, τόμος Β΄, Στρατηγικές Διδασκαλίας*, Gutenberg, Αθήνα, 1998
- Χριστιάς Ι. *Θεωρία και μεθοδολογία της διδασκαλίας*, Γρηγόρης, Αθήνα, 2001

1. ΔΙΔΑΚΤΙΚΗ ΤΗΣ ΧΗΜΕΙΑΣ ΚΑΙ ΨΥΧΟΛΟΓΙΑ

Η Ψυχολογία είναι μια εμπειρική επιστήμη που χρησιμοποιεί την παρατήρηση και κυρίως το πείραμα για να περιγράψει και να εξηγήσει τη συμπεριφορά και τις νοητικές διεργασίες κυρίως του ανθρώπου. Από τους βασικούς τομείς έρευνας της Ψυχολογίας η Διδακτική σχετίζεται με την Αναπτυξιακή, τη Γνωστική και την Εκπαιδευτική Ψυχολογία. Η Αναπτυξιακή Ψυχολογία ασχολείται με την περιγραφή και εξήγηση των αλλαγών της συμπεριφοράς του ανθρώπου κατά τη διάρκεια της ζωής του από τη σύλληψη έως το θάνατο (οντογενετικές αλλαγές). Οι αλλαγές αυτές είναι αποτέλεσμα βιολογικών και περιβαλλοντικών παραγόντων. Η Γνωστική μελετά τις νοητικές διεργασίες της αντίληψης, προσοχής, μνήμης, λύσης προβλημάτων, γλώσσας κ.λπ. Η Εκπαιδευτική Ψυχολογία στηριζόμενη στην Αναπτυξιακή και Γνωστική διερευνά και αναπτύσσει θεωρίες για τη μάθηση. Τα αποτελέσματα των ερευνών των εκπαιδευτικών ψυχολόγων εφαρμόζονται στην εκπαίδευση για την αναμόρφωση αναλυτικών προγραμμάτων και διδακτικών μεθόδων που διευκολύνουν τη μάθηση.

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναπτύξουμε τις κυριότερες θεωρίες των παραπάνω κλάδων της Ψυχολογίας που επέδρασαν στη Διδακτική των Φυσικών Επιστημών γενικότερα και στη Διδακτική της Χημείας ειδικότερα.

1.1 Συμπεριφορισμός

Η πρώτη θεωρητική προσέγγιση της μάθησης είναι αυτή του συμπεριφορισμού. Στα πλαίσια αυτού του ρεύματος η συμπεριφορά θεωρείται ως αντίδραση σε ερεθίσματα και η μάθηση ορίζεται ως αλλαγή αντιδράσεων. Στη συμπεροφοριστική προσέγγιση διακρίνονται δύο βασικά είδη μάθησης: η κλασική εξάρτηση [Ivan Pavlov (1849-1936), John Watson (1874-1949)] και η συντελεστική [Edward Thorndike (1874- 1049)] ή λειτουργική [Burrhus F. Skinner (1904-1990)] εξάρτηση και σύμφωνα με αυτά ένας οργανισμός μπορεί να μάθει μια νέα συμπεριφορά όταν αυτή ακολουθείται από μια αμοιβή. Συγκεκριμένα, σύμφωνα με την κλασική εξάρτηση, η μάθηση βασίζεται σε γνώση που προσκτάται βιωματικά, στο πλαίσιο της **αντίδρασης** σε συγκεκριμένο και σταθερά επαναλαμβανόμενο **ερέθισμα**. Σύμφωνα με τη συντελεστική εξάρτηση, η μάθηση βασίζεται σε δομημένη γνώση που προσκτάται βιωματικά, στο πλαίσιο της **αντίδρασης** σε συγκεκριμένο και σταθερά επαναλαμβανόμενο **ερέθισμα** και εξελίσσεται (θετικά ή αρνητικά) ανάλογα με την **ενίσχυση** της.

Άμεση εφαρμογή του συμπεριφορισμού στη διδακτική είναι η προγραμματισμένη μάθηση, η οποία επινοήθηκε κυρίως για την αντιμετώπιση προβλημάτων στην τάξη, όπως ο μεγάλος αριθμός μαθητών. Οι αρχές της προγραμματισμένης μάθησης είναι οι εξής:

- Η ύλη ή η διαδικασία που πρόκειται να διδαχθεί πρώτα ορίζεται σαφώς και στη συνέχεια αναλύεται στα συστατικά της στοιχεία
- Το υλικό παρουσιάζεται σταδιακά σε μια προσεκτικά προσχεδιασμένη σειρά
- Σε κάθε στάδιο δίνονται στο μαθητή τόσες πληροφορίες όσες του χρειάζονται για μια ενεργή αντίδραση, πριν προχωρήσει στο επόμενο βήμα
- Ο μαθητής δέχεται άμεση επιβεβαίωση των αποτελεσμάτων κάθε αντίδρασής του (ενίσχυση των σωστών απαντήσεων – αποφυγή του λάθους).

Η διδακτική πρακτική που έχει ως βάση τη συμπεριφοριστική θεωρία της μάθησης θεωρεί το μαθητή ως άγραφη πλάκα (tabula rasa) στο μυαλό του οποίου ο διδάσκων μπορεί να εγγράψει τη γνώση. Επίσης, θεωρεί ότι το περιεχόμενο και ο ρυθμός της μάθησης και της ανάπτυξης καθορίζεται από εξωτερικές συνθήκες. Κατά τους συμπεριφοριστές η μάθηση είναι παθητική διαδικασία, δηλαδή η γνώση μεταδίδεται από το διδάσκοντα και το εγχειρίδιο στο μαθητή. Έμφαση δίνεται στην ποσότητα και το εύρος της γνώσης και στην εξάσκηση με επίλυση ασκήσεων (μάθηση μέσω δοκιμής – λάθους). Η αποτελεσματικότητα της μάθησης ελέγχεται με τεστ προόδου που δίνουν έμφαση στην κατοχή του περιεχομένου (στην πληροφορία που δίνεται στο μάθημα και όχι στην παραγωγική και δημιουργική σκέψη). Το διδακτικό μοντέλο που στηρίζεται στη θεωρία του συμπεριφορισμού είναι δασκαλοκεντρικό και είναι αυτό που χρησιμοποιείται στο παραδοσιακό σχολείο. Ο δάσκαλος θεωρείται αυθεντία και οι μαθητές οφείλουν να αναπαράγουν τη γνώση όπως αυτή υπάρχει στα σχολικά εγχειρίδια και μεταδίδεται από αυτόν στην τάξη.

Η βασική θέση του συμπεριφορισμού, ότι η ψυχολογία πρέπει να ασχοληθεί μόνο με τη μελέτη της παρατηρήσιμης συμπεριφοράς και όχι των νοητικών καταστάσεων, άρχισε να αμφισβητείται στην Κεντρική Ευρώπη όπου αναπτύχθηκαν θεωρίες για την εξήγηση των νοητικών λειτουργιών. Οι πιο γνωστές από αυτές είναι οι θεωρίες της αναπτυξιακής ψυχολογίας των J. Piaget και L. Vygotsky.

1.2 Η θεωρία του Piaget

Ο Jean Piaget (1894-1984) γεννήθηκε στην Ελβετία όπου και σπούδασε βιολογία. Δούλεψε στο εργαστήριο του Alfred Binet και ενδιαφέρθηκε για την ψυχολογία και την ανάπτυξη της νοημοσύνης. Υποστηρίζει ότι η γνωστική ανάπτυξη ακολουθεί μια καλά προκαθορισμένη

ακολουθία η οποία χαρακτηρίζεται από τέσσερα διαφορετικά στάδια, όπως περιγράφονται στον πίνακα 2.1

Το κάθε στάδιο αποτελείται από μία διαφορετική δομή γνώσης και χαρακτηρίζεται από διαφορετικές συμπεριφορές. Ο Piaget έχει δώσει ιδιαίτερη σημασία στην έννοια της προσαρμογής και υποστηρίζει ότι υπάρχουν αναλογίες ανάμεσα στη φυλογενετική ανάπτυξη (αλλαγές στη συμπεριφορά των έμβιων όντων κατά τη διάρκεια της μακράς πορείας εξέλιξής τους) και την οντογενετική ανάπτυξη (αλλαγές στη συμπεριφορά των οργανισμών από τη στιγμή της γέννησης μέχρι το τέλος της ζωής τους). Κατά τη φυλογενετική ανάπτυξη δημιουργούνται νέα, ποιοτικά διαφορετικά είδη ως αποτέλεσμα διαδικασιών βιολογικής προσαρμογής στο περιβάλλον. Αντίστοιχα, η οντογενετική ανάπτυξη χαρακτηρίζεται από τη δημιουργία διαφορετικών δομών γνώσεων που πηγάζουν από την ενεργητική προσπάθεια του ανθρώπου να προσαρμόσει τη συμπεριφορά του στις απαιτήσεις του περιβάλλοντος.

Πίνακας 1. 1 Τα στάδια της νοητικής ανάπτυξης σύμφωνα με τη θεωρία του Piaget

ΣΤΑΔΙΟ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΠΑΙΔΙΩΝ
1. Αισθησιοκινητικό (από τη γέννηση έως 2 ετών)	Διαφοροποιεί τον εαυτό του από τους άλλους. Αναπτύσσει την έννοια της μονιμότητας του αντικειμένου: αντιλαμβάνεται ότι τα πράγματα συνεχίζουν να υπάρχουν ακόμα και όταν δεν είναι παρόντα.
2. Προεγνωσιολογικό (2 έως 7 ετών)	Μαθαίνει να χρησιμοποιεί τη γλώσσα και να αναπαριστάνει τα αντικείμενα με εικόνες και λέξεις. Η σκέψη του είναι ακόμα εγωκεντρική: έχει δυσκολία να λάβει υπόψη του τη γνώμη των άλλων.
3. Συγκεκριμένων λογικών ενεργειών (7 έως 12 ετών)	Μπορεί να σκέφτεται λογικά για τα αντικείμενα και τα γεγονότα. Επιτυγχάνει τη διατήρηση του αριθμού (6 ετών), της μάζας (7 ετών) και του βάρους (9 ετών).
4. Τυπικών λογικών ενεργειών (12 ετών και άνω)	Μπορεί να σκέφτεται λογικά για αφηρημένες έννοιες και να ελέγχει τις υποθέσεις συστηματικά. Αρχίζει να ενδιαφέρεται για υποθετικά, μελλοντικά και ιδεολογικά προβλήματα.

Σύμφωνα με τη θεωρία του Piaget η διαδικασία απόκτησης γνώσης, δηλαδή η μάθηση, μπορεί να θεωρηθεί ως μια διαδικασία **προσαρμογής**. Το αναπτυσσόμενο παιδί αλληλεπιδρά με το περιβάλλον, οργανώνει την εμπειρία του και προσαρμόζεται σε αυτό. Η διαδικασία της προσαρμογής περιγράφεται από τρεις έννοιες:

Το **σχήμα** (schema) που θεωρείται μια εσωτερική νοητική αναπαράσταση του εξωτερικού κόσμου, η οποία υφίσταται μια συνεχή και συστηματική αλλαγή με την ανάπτυξη.

Την **αφομοίωση** (assimilation) που αναφέρεται στην ενσωμάτωση των νέων δεδομένων στις προϋπάρχουσες νοητικές δομές.

Τη **συμμόρφωση** (accommodation) που αντιστοιχεί στην τροποποίηση των νοητικών σχημάτων και οδηγεί στην προσαρμογή.

Στη θεωρία του Piaget οι έννοιες που μπορεί ο μαθητής να αναπαραστήσει και ο τρόπος που το πραγματοποιεί καθορίζονται από το είδος των νοητικών λογικών ενεργειών που το άτομο είναι σε θέση να εκτελέσει στο συγκεκριμένο στάδιο. Καθώς ο μαθητής περνά σε ανώτερο στάδιο λογικών ενεργειών καθίσταται ικανός να αναπαραστήσει έννοιες πιο σύνθετες σε όλο και πιο αφηρημένο επίπεδο.

Τα στάδια που ενδιαφέρουν τη Διδακτική της Χημείας είναι:

Το στάδιο των συγκεκριμένων λογικών ενεργειών

Το στάδιο αυτό ονομάζεται έτσι επειδή τα παιδιά σκέπτονται και μαθαίνουν μέσα από συγκεκριμένες εμπειρίες. Κατά τη διάρκεια του σταδίου αυτού το παιδί αναπτύσσει δύο σημαντικές ικανότητες: την ταξινόμηση και τη διατήρηση. Και οι δύο ακολουθούν μια ιεραρχική ανάπτυξη.

Στο στάδιο των συγκεκριμένων λογικών ενεργειών το παιδί μπορεί να κάνει αιτιολόγησή μόνο για συγκεκριμένα αντικείμενα και για τις μεταξύ τους σχέσεις, για τις οποίες έχει προσωπική εμπειρία. Χωρίς άμεση εμπειρία το παιδί δεν μπορεί να συλλογιστεί. Αυτό σημαίνει ότι για να κατανοήσει τη Χημεία έχει ανάγκη από εποπτεία, πειράματα τα οποία όχι μόνο να παρακολουθεί ως θεατής, αλλά και να είναι ο ίδιος εκτελεστής.

Το στάδιο των αφηρημένων (τυπικών) λογικών ενεργειών

Η σημαντικότερη κατάκτηση στο στάδιο των αφηρημένων λογικών ενεργειών είναι η προτασιακή λογική, η ικανότητα συλλογισμού με φράσεις, με υποθέσεις και όχι με αντικείμενα παρόντα. Η νόηση κάνει χρήση των ίδιων νοητικών σχημάτων όπως και στο στάδιο των συγκεκριμένων λογικών ενεργειών, αλλά τώρα αυτά είναι ενοποιημένα σε νέες δομές σκέψης, οι οποίες επιτρέπουν στο άτομο να συλλογίζεται, χωρίς να αναφέρεται σε συγκεκριμένα αντικείμενα. Το κύριο χαρακτηριστικό του σταδίου αυτού είναι η θέση του πιθανού στη σκέψη του μαθητή.

Πολλές έρευνες έχουν επιβεβαιώσει την ύπαρξη των σταδίων αυτών, αλλά τονίζουν ότι το εύρος των σταδίων είναι μεγαλύτερο από αυτό που προσδιόρισε ο Piaget. Δηλαδή, στις περισσότερες των περιπτώσεων υπάρχει μια καθυστέρηση διέλευσης από τα στάδια ανάπτυξης. Η έρευνα έδειξε επίσης ότι η σειρά με την οποία τα παιδιά περνάνε τα στάδια είναι η ίδια και δεν μπορεί κανένα άτομο να παρακάμψει ένα στάδιο. Ωστόσο, ο ρυθμός με τον οποίο τα άτομα περνάνε τα στάδια ποικίλλει αξιοσημείωτα και εξαρτάται από την κουλτούρα του ατόμου. Έτσι πολλά παιδιά είναι ένα ή περισσότερα χρόνια πίσω από το στάδιο, το αντίστοιχο με την ηλικία τους. Σε κάθε σχολική τάξη, επομένως, οι μαθητές δεν ανήκουν στο ίδιο στάδιο ανάπτυξης, με αποτέλεσμα να σκέφτονται και να ενεργούν διαφορετικά ο ένας από τον άλλο.

Η θεωρία του Piaget, αν και υπήρξε για πολλά χρόνια αντικείμενο μελέτης αλλά και οδηγός πολλών διδακτικών διαδικασιών, έγινε αντικείμενο αυστηρής κριτικής. Τα κυριότερα σημεία αυτής της κριτικής είναι:

- Η θεωρία του είναι περισσότερο μια θεωρία ανάπτυξης και όχι θεωρία μάθησης.
- Δεν λαμβάνει υπόψη την επίδραση του κοινωνικού – πολιτισμικού στοιχείου.
- Υπάρχουν προβλήματα με το στάδιο των τυπικών λογικών ενεργειών, καθώς από έρευνες που έχουν γίνει προκύπτει ότι στην ηλικία των 16 ετών το 50% των μαθητών δεν έχουν φθάσει ακόμα στο στάδιο αυτό.

Παρόλα αυτά, η συμβολή του Piaget στη Διδακτική είναι μεγάλη, καθώς αυτός πρώτος υποστήριξε ότι ο μαθητής δεν δέχεται παθητικά τα ερεθίσματα από το περιβάλλον, αλλά ότι είναι ένας ενεργός πλάστης της γνώσης. Παρά τη κριτική που δέχθηκε, δεν πρέπει να ξεχνάμε ότι ήταν από τους πρώτους που ερμήνευσε την απόκτηση γνώσεων ως αποτέλεσμα της δράσης των μαθητών στα αντικείμενα που το περιβάλλουν και υποστήριξε ότι οι γνώσεις αυτές είναι διαφορετικές από αυτές των ενηλίκων. Ο Piaget θεωρείται από τους πρώτους κωνστροκτιβιστές (εποικοδομιστές), από την άποψη ότι υποστήριξε ότι η γνώση είναι ένα δημιουργήμα αυτού που μαθαίνει ως αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης εγγενών και περιβαλλοντικών παραγόντων. Οι προεκτάσεις της θεωρίας του Piaget στο χώρο της εκπαίδευσης είναι ότι, πρέπει να ενθαρρύνουμε τους μαθητές να μαθαίνουν προσφέροντάς τους εμπειρίες οι οποίες λειτουργούν με διαφορετικό τρόπο στα διαφορετικά στάδια ανάπτυξης. Καθώς πληθαίνουν οι εμπειρίες τους, οι μαθητές αλλάζουν «αυθόρμητα». Στη φάση της εφηβείας η γνώση αυτή μετατρέπεται σε γνώση που είναι σύμφωνη με την επιστημονική.

1.3 Η θεωρία του Vygotsky

Η έννοια του σταδίου αντιμετωπίζεται διαφορετικά στη θεωρία του Ρώσου ψυχολόγου Lev Vygotsky, ο οποίος γεννήθηκε το 1896 στη Λευκορωσία και πέθανε από φυματίωση το 1934. Ο Vygotsky υποστήριξε ότι ο μηχανισμός της ατομικής ψυχολογικής αλλαγής έχει τις ρίζες του στην κοινωνία και τον πολιτισμό. Αρχικά, οι ανθρώπινες λειτουργίες είναι άμεσες αντιδράσεις σε ερεθίσματα του περιβάλλοντος. Η ανάπτυξη συντελείται σε ένα κοινωνικοπολιτισμικό περιβάλλον που προσφέρει στον άνθρωπο συμβολικά συστήματα (όπως η γλώσσα και τα μαθηματικά) τα οποία διαμεσολαβούν στα ερεθίσματα του περιβάλλοντος και προκαλούν έμμεσες ψυχολογικές αντιδράσεις. Η συμπεριφορά φτάνει σε ένα ποιοτικά διαφορετικό στάδιο ανάπτυξης όταν τα σύμβολα αυτά εσωτερικεύονται, πράγμα που χαρακτηρίζει τις ανώτερες ψυχολογικές διεργασίες.

Ο Vygotsky συμφωνεί με τον Piaget στον ενεργητικό ρόλο που ο μαθητής διαδραματίζει για τη διαμόρφωση της γνώσης του. Παράλληλα όμως, αποδίδει μεγάλη σημασία στο παιδαγωγικό και πολιτισμικό περιβάλλον του μαθητή και θεωρεί ότι διαμέσου της γλώσσας αναπτύσσεται η σκέψη του. Ο ρόλος που αποδίδει ο Vygotsky στο κοινωνικό και πολιτισμικό περιβάλλον για την εξέλιξη της σκέψης του μαθητή είναι η βασικότερη διαφορά ανάμεσα στη θεωρία του και σε αυτή του Piaget. Η σημασία που αποδίδει ο Vygotsky στην επίδραση του κοινωνικοπολιτισμικού περιβάλλοντος στη μάθηση φαίνεται από την κεντρική θέση που έχει στη θεωρία του η *ζώνη της επικείμενης ανάπτυξης*, δηλαδή η διαφορά ανάμεσα στην πραγματική νοητική ηλικία του μαθητή και στο επίπεδο στο οποίο μπορεί να φτάσει υποβοηθούμενος από το διδάσκοντα.

Ο Vygotsky κάνει διάκριση ανάμεσα στις *καθημερινές έννοιες* και στις *επιστημονικές έννοιες* και διερευνά τη σχέση ανάμεσά τους στους μαθητές. Καθημερινές έννοιες είναι εκείνες που αναπτύσσονται ως αποτέλεσμα της πρακτικής δραστηριότητας και επαφής του μαθητή με ανθρώπους του περιβάλλοντός του. Η μετάδοση των επιστημονικών εννοιών στους μαθητές πραγματοποιείται στα πλαίσια της εκπαίδευσης.

Οι καθημερινές έννοιες παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές με τις επιστημονικές. Χαρακτηριστικό γνώρισμα τους είναι ότι δεν είναι συνειδητές και οι μαθητές λειτουργούν αυθόρμητα με αυτές. Η έλλειψη της συνειδητοποίησης τους οφείλεται στο ότι οι καθημερινές έννοιες δεν βρίσκονται σε ένα σύστημα εννοιών. Οι επιστημονικές έννοιες, αντίθετα, όπως διδάσκονται στο σχολείο, γίνονται αντικείμενο μελέτης ως ξεχωριστές έννοιες αλλά και ως μέρη ενός εσωτερικά ιεραρχημένου συστήματος εννοιών. Η εξέλιξη των καθημερινών εννοιών συνδέεται στενά με την εξέλιξη των επιστημονικών εννοιών. Ο Vygotsky θεωρεί ότι η διδασκαλία των επιστημονικών εννοιών βοηθά το παιδί να συνειδητοποιήσει και

ακολουθώς να συστηματικοποιήσει τις καθημερινές έννοιες που διαθέτει. Αντίστροφα οι επιστημονικές έννοιες, οι οποίες αναπαριστώνται από το μαθητή ξεχωριστά από τις καθημερινές, αλληλεπιδρώντας με αυτές, συνδέονται βαθμιαία με τις εμπειρίες του μαθητού και αποκτούν έτσι συγκεκριμένο περιεχόμενο.

Ο Vygotsky έδωσε διαφορετική διάσταση από τον Piaget στο ρόλο της εκπαίδευσης όσον αφορά στη μάθηση. Τόνισε τον ενεργό ρόλο που παίζει ο μαθητής, αλλά και την κοινωνική γένεση της μάθησης. Έδωσε έμφαση στην κοινωνική ένταξη μέσω της οποίας επιτυγχάνεται η ανάπτυξη της νοημοσύνης. Αναγνώρισε τη διδασκαλία ως την κύρια διαδικασία της εξέλιξης των εννοιών στο μαθητή και γενικότερα της γνωσιακής του ανάπτυξης. Τα τελευταία χρόνια εμφανίζεται η τάση να συνδεθούν τα αποτελέσματα ερευνών για τη μάθηση και τη διδασκαλία με τις απόψεις κοινωνικο-γνωστικών ψυχολόγων, όπως ο Vygotsky.

1.4 Η θεωρία του Ausubel

Ο David Ausubel ανέπτυξε το 1963 τη **Θεωρία της Αφομοίωσης** (assimilation theory) με την οποία τονίζει το ρόλο της γνωστικής δομής του μαθητή στην απόκτηση νέων πληροφοριών. Λέγοντας **γνωστική δομή** (cognitive structure) εννοούμε την ατομική οργάνωση, σαφήνεια και σταθερότητα της γνώσης κάποιου σε ένα συγκεκριμένο πεδίο σε κάθε δεδομένη στιγμή. Ο Ausubel υποστήριξε ότι οι νέες ιδέες και έννοιες μπορούν να μαθευτούν αποτελεσματικά μόνο μέσα από την **αφομοίωση** τους σε προϋπάρχουσες έννοιες και ιδέες, οι οποίες παρέχουν το απαραίτητο νοητικό στήριγμα. Συνεπώς, μια γνωστική δομή που είναι σαφής και καλά οργανωμένη διευκολύνει τη μάθηση και τη διατήρηση νέων πληροφοριών. Από την άλλη πλευρά, μια γνωστική δομή που είναι συγκεχυμένη, εμποδίζει τη μάθηση και τη διατήρησή της, μπορεί όμως να βελτιωθεί ενισχύοντας τις σχετικές έννοιες. Μια καλά οργανωμένη γνωστική δομή είναι για τον Ausubel, "η πιο σημαντική, ανεξάρτητη μεταβλητή που επηρεάζει την ικανότητα του μαθητή να αποκτά περισσότερη νέα γνώση στο ίδιο αντικείμενο". Μέσα από αυτή τη διαδικασία της ουσιαστικής συσχέτισης νέων πληροφοριών με ιδέες που ήδη γνωρίζει, ο μαθητής επιτυγχάνει τη **μάθηση με κατανόηση** (meaningful learning).

Ως μάθηση με κατανόηση χαρακτηρίστηκε από τον Ausubel (1963) ο σχηματισμός μη αυθαίρετων συνδέσεων μεταξύ των ιδεών στο μυαλό των μαθητών και αποτελεί την κεντρική ιδέα στη θεωρία του Ausubel. Η μάθηση με κατανόηση είναι μια εποικοδομητική διαδικασία κατά την οποία ο μαθητής πρέπει να δημιουργήσει συνδέσεις μεταξύ παλαιών και νέων ιδεών. Ο μαθητής αναζητά τις σχέσεις μεταξύ των εννοιών και οργανώνει μια δομή στη νέα γνώση που είναι μοναδική σε αυτόν.

Η θεωρία μάθησης του Ausubel θεωρεί δεδομένη την ύπαρξη μιας ιεραρχικής δομής της γνώσης. Τα πεδία των πληροφοριών οργανώνονται "με τις πιο γενικές ιδέες στην κορυφή και τις πιο συγκεκριμένες ιδέες υπαγόμενες σε αυτές". Αυτή αποτελεί για τον Ausubel τη διαδικασία της **υπαγωγής** (subsumption) στη μάθηση και αποτελεί έναν από τους τρόπους με τους οποίους μαθαίνουμε σύμφωνα με τη θεωρία της αφομοίωσης. Εκτός από την υπαγωγή, δύο ακόμη απαραίτητες διαδικασίες για τη μάθηση αποτελούν η **προοδευτική διαφοροποίηση** (Progressive Differentiation) των εννοιών σε ειδικότερες και λεπτομερέστερες έννοιες, καθώς και η **οργανική ένταξη** (Integrative Reconciliation), σύμφωνα με την οποία οι έννοιες σε δύο γνωστικές περιοχές που δε φαίνεται να σχετίζονται άμεσα, αναγνωρίζονται είτε ως παρόμοιες και συσχετιζόμενες είτε ως ξεκάθαρα διαφορετικές και επομένως μη συσχετιζόμενες και η οποία απαιτεί και την ενεργό εργασία του μαθητή.

Ιδιαίτερης σημασίας είναι η διάκριση που έκανε ο Ausubel μεταξύ **μηχανικής μάθησης** (rote learning) και **μάθησης με κατανόηση**. Κατά την **επιφανειακή** ή **μηχανική μάθηση** (surface ή rote learning), οι μαθητές δε δημιουργούν σχέσεις μεταξύ των εννοιών, ούτε συνδέουν τις νέες έννοιες με την προϋπάρχουσα γνώση τους. Αντίθετα, βασίζονται σχεδόν αποκλειστικά στην απομνημόνευση και στη μηχανική αναπαραγωγή της πληροφορίας, προσεγγίζοντας τη μάθηση τελείως επιφανειακά. Από την άλλη πλευρά, στο πλαίσιο της σε βάθος ή με κατανόηση μάθησης (deep ή meaningful learning), καταπιάνονται με κατάλληλες μαθησιακές δραστηριότητες προσπαθώντας να κάνουν συσχετισμούς ανάμεσα σε νέες και σε προηγούμενες έννοιες. Για αυτό, η βαθιά προσέγγιση στη μάθηση χαρακτηρίζεται από μια πρόθεση κατανόησης και ανάλυσης της διδασκόμενης ύλης, μέσω της διασύνδεσης των διαφόρων εννοιών που μελετώνται. Αντίθετα, μια επιφανειακή προσέγγιση χαρακτηρίζεται από μια πρόθεση αναπαραγωγής της διδασκόμενης ύλης μέσω διαδικασιών ρουτίνας.

Η μηχανική μάθηση είναι αναποτελεσματική για μακροχρόνια διατήρηση και εφαρμογή της γνώσης. Υπάρχει ελάχιστη ή καθόλου ενσωμάτωση της νέας γνώσης με την υπάρχουσα, με αποτέλεσμα α) η γνώση που μαθαίνεται μηχανικά τείνει να ξεχαστεί γρήγορα και β) η δομή γνώσης του μαθητή δεν ενισχύεται ή δεν τροποποιείται, με συνέπεια οι παρερμηνείες εννοιών να παραμένουν και η γνώση που μαθαίνεται να μην έχει δυνατότητα μετέπειτα εφαρμογής. Η μάθηση με κατανόηση αντιπροσωπεύει το ένα άκρο μιας συνέχειας με τη μηχανική μάθηση στο άλλο άκρο.

Η γνωστική ψυχολογία έχει δείξει ότι ο τρόπος που δομείται η γνώση στη μνήμη προσδιορίζει και την ικανότητα διατήρησης, ανάκλησης, καθώς και χρησιμοποίησης της κατά την επίλυση προβλημάτων. Μηχανική μάθηση συμβαίνει όταν ο μαθητής κάνει μικρή ή και

καθόλου προσπάθεια να συσχετίσει τη νέα πληροφορία με την ήδη υπάρχουσα γνώση ή με νέες καταστάσεις. Αντίθετα, η μάθηση με κατανόηση λαμβάνει χώρα όταν ο μαθητής «μεταφράζει» τη νέα πληροφορία, τη συνδέει με προϋπάρχουσα γνώση και τη χρησιμοποιεί στην επίλυση νέων προβλημάτων.

Σύμφωνα με τον Ausubel προκειμένου να επιτευχθεί η μάθηση με κατανόηση είναι απαραίτητο ο διδασκόμενος:

1. *Να εμπλέκεται σε μαθησιακές διαδικασίες-δραστηριότητες που έχουν κάποιο νόημα.* Αυτό το κριτήριο σχετίζεται με τη διδακτική προσέγγιση που πρόκειται να ακολουθηθεί. Προϋποθέτει η διδασκόμενη ύλη να είναι εννοιολογικά ξεκάθαρη και να παρουσιαστεί με τρόπο ώστε να συνδέεται με το γνωστικό υπόβαθρο (προϋπάρχουσα γνώση) του διδασκόμενου, δηλαδή με έναν τρόπο που έχει νόημα για τον ίδιο.
2. *Να κατέχει σχετική προϋπάρχουσα γνώση,* δηλαδή να διαθέτει ένα εννοιολογικό υπόβαθρο με το οποίο θα συνδέσει τις νέες έννοιες που θα διδαχθεί.
3. *Να προσεγγίσει τη μάθηση σκοπεύοντας στην κατανόηση.* Για να ικανοποιήσει αυτό το κριτήριο, ο μαθητής πρέπει ο ίδιος να προσπαθήσει να συσχετίσει τις καινούριες έννοιες, πληροφορίες ή καταστάσεις προκειμένου να επιτύχει την κατανόηση. Με άλλα λόγια, αυτό το κριτήριο προϋποθέτει ο μαθητής να *επιλέξει* να συνδέσει τη νέα γνώση με έννοιες που ήδη κατέχει και συνδέεται άμεσα με το μαθησιακό προσανατολισμό (μαθησιακή προσέγγιση ή μαθησιακό στυλ) του μαθητή.

Συνοψίζοντας τα παραπάνω, οι Novak & Gowin (1984) υποστήριξαν ότι η μάθηση με κατανόηση είναι το αποτέλεσμα που μπορεί να προκύψει όταν ένα πρόσωπο με προσανατολισμό στη μάθηση με κατανόηση και επαρκή προϋπάρχουσα γνώση αλληλεπιδρά με κάποιο περιεχόμενο, το οποίο έχει την ιδιότητα να μπορεί να γίνει αντιληπτό με έναν τρόπο που έχει κάποιο νόημα για το πρόσωπο αυτό.

Ο Ausubel (1960) περιέγραψε επίσης τη διδακτική στρατηγική των *προ-οργανωτών* (*advance organizers*), δηλαδή πρωταρχικών μαθησιακών διαδικασιών που βοηθούν την ενεργοποίηση σχετικών σχημάτων που υπάρχουν στο γνωστικό υπόβαθρο του μαθητή και τον καθοδηγούν στο να παρατηρήσει συγκεκριμένα από σχετικά γεγονότα ή αντικείμενα. Οι προ-οργανωτές είναι σφαιρικές επισκοπήσεις της ύλης που πρόκειται να διδαχθεί. Σύμφωνα με τον Ausubel, οι προ-οργανωτές ενισχύουν τη μάθηση με κατανόηση διότι παρακινούν το μαθητή να εστιάσει σε υπερκείμενες έννοιες που υπάρχουν ήδη στη γνωστική του δομή και παρέχουν ένα πλαίσιο γενικών εννοιών, στο οποίο ο μαθητής μπορεί να εισάγει προοδευτικά

διαφοροποιητικές λεπτομέρειες. Αυτές οι προ-οργανωτικές διαδικασίες παρέχουν τη δυνατότητα στο μαθητή να αναγνωρίσει νέες κανονικότητες σε γεγονότα ή αντικείμενα, να αναδιαμορφώσει τα νοήματα των λέξεων ή συμβόλων των εννοιών και να σχηματίσει νέες προτάσεις που έχουν νόημα για αυτόν, χρησιμοποιώντας σχετικά στοιχεία που υπάρχουν στη γνωστική του δομή. Θεωρητικά, οι προ-οργανωτές είναι πιο αποδοτικοί εάν ξεκαθαρίζουν τις σχέσεις ανάμεσα σε έννοιες που γνωρίζει ήδη ο μαθητής, παρέχοντας έτσι μια δομή στην οποία μπορούν να συνδεθούν οι νέες έννοιες.

Καταλήγοντας, θα μπορούσαμε να αναφέρουμε μία σειρά βασικών μαθησιακών αρχών που είναι βασισμένες στη γνωστική ψυχολογία του Ausubel:

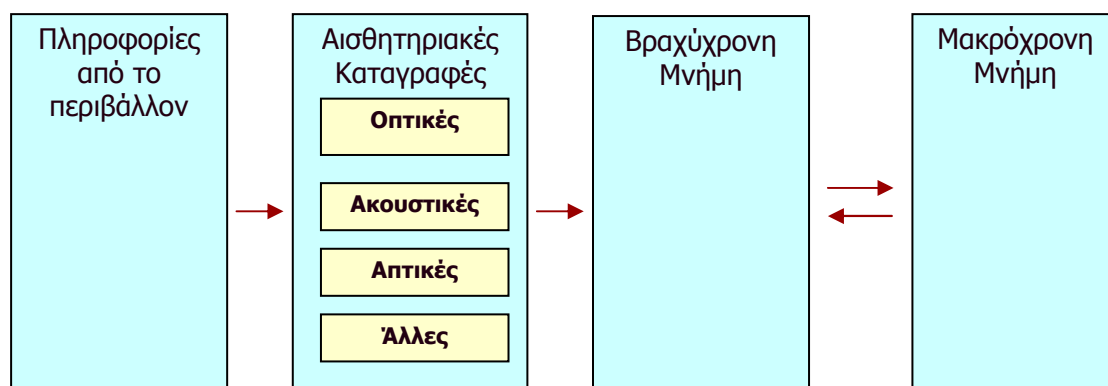
1. Η μάθηση με κατανόηση είναι απαραίτητη για την ανάπτυξη της εννοιολογικής κατανόησης.
2. Η νέα γνώση πρέπει να δομηθεί σε σχετικές προηγούμενες έννοιες και προτάσεις που κατέχει ο μαθητής.
3. Ο μαθητής πρέπει να ενθαρρύνεται να μαθαίνει με νόημα.
4. Η μάθηση είναι υψηλά ιδιοσυγκρασιακή και προχωρά με τον καιρό.
5. Υψηλής ποιότητας μάθηση με κατανόηση οδηγεί σε δόμηση καλά ενσωματωμένων εννοιολογικών δομών, που προάγουν καλύτερα τη μάθηση και τη δημιουργική επίλυση προβλημάτων

Αυτές οι θεμελιώδεις ιδέες του Ausubel αποτέλεσαν το θεμέλιο για την ερευνητική ομάδα του Novak, η οποία προσπάθησε να αναπαραστήσει τη γνώση ως μια ιεραρχική δομή εννοιών και προτάσεων, αναπτύσσοντας με τον τρόπο αυτό τους χάρτες εννοιών.

1.5 Η Θεωρία Επεξεργασίας Πληροφοριών

Το κύριο μοντέλο εντός του οποίου διεξάγεται η έρευνα στη γνωστική ψυχολογία είναι το μοντέλο της *επεξεργασίας των πληροφοριών*. Σύμφωνα με το μοντέλο αυτό, πληροφορίες από το περιβάλλον με τη μορφή ερεθισμάτων εισέρχονται στο γνωστικό σύστημα και γίνονται αντικείμενο επεξεργασίας από μια σειρά επιμέρους συστημάτων όπως η αντίληψη, και η μνήμη.

Η αντίληψη είναι η διαδικασία ερμηνείας των πληροφοριών που εισέρχονται στον εγκέφαλο μέσω των αισθητηρίων οργάνων, για τη σχηματοποίηση αντικειμένων, εικόνων, ήχων, προτάσεων κ.λπ.



Σχήμα 1. 1 Μοντέλο επεξεργασίας πληροφοριών

Η μνήμη θεωρείται ως μια λειτουργία που αποτελείται από τρία στάδια: την *κωδικοποίηση*, την *αποθήκευση* και την *ανάσυρση*. Με την κωδικοποίηση οι εισερχόμενες αισθητηριακές πληροφορίες τοποθετούνται μέσα στο μνημονικό σύστημα σε διάφορους μνημονικούς κώδικες, οι οποίοι είναι νοητικές αναπαραστάσεις των φυσικών ερεθισμάτων. Η αποθήκευση αναφέρεται στη διατήρηση των πληροφοριών για μεγάλο χρονικό διάστημα. Τέλος, ανάσυρση των αποθηκευμένων πληροφοριών γίνεται με την *αναγνώριση*, η οποία υποβοηθείται από ενδείξεις (π.χ. οι εναλλακτικές προτάσεις που δίνονται σε μια ερώτηση πολλαπλής επιλογής) και την *ανάκληση* που γίνεται χωρίς ιδιαίτερη βοήθεια.

Η σημαντικότερη λειτουργία της μνήμης είναι να συγκρατήσει τις πληροφορίες για αρκετό χρόνο, με σκοπό να τις επεξεργαστεί περαιτέρω. Αυτή η δουλειά είναι των *αισθητηρίων καταγραφών*, των οποίων η ικανότητα αποθήκευσης εξασφαλίζει μια σχεδόν ολοκληρωμένη αναπαράσταση του αισθητηρίου ερεθίσματος. Η *βραχύχρονη μνήμη* ή *μνήμη εργασίας* είναι το μέρος του μνημονικού μας συστήματος που επιτρέπει λεπτομερέστερη αναπαράσταση και ανάλυση των πληροφοριών που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν με κάποιο τρόπο. Η ικανότητα συγκράτησης πληροφοριών στην βραχύχρονη μνήμη είναι 7 ± 2 *τμήματα πληροφορίας*. Το εύρος της πληροφορίας που μπορεί να αποθηκευτεί σε ένα τμήμα πληροφορίας μεταβάλλεται ανάλογα με τις προϋπάρχουσες γνώσεις και την ικανότητα κωδικοποίησης της πληροφορίας που έχει το κάθε άτομο.

Για παράδειγμα, ο τύπος $\text{H}-\underset{\text{H}}{\overset{\text{H}}{\text{C}}}-\underset{\text{H}}{\overset{\text{H}}{\text{C}}}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{O}-\underset{\text{H}}{\overset{\text{H}}{\text{C}}}-\text{H}$ μπορεί να θεωρηθεί ως

27 τμήματα πληροφοριών εάν κάποιος αρχάριος μαθητής προσπαθήσει να απομνημονεύσει το κάθε σύμβολο και τον κάθε δεσμό ξεχωριστά. Αυτό είναι πολύ πέρα από τη χωρητικότητα της μνήμης εργασίας του. Κάποιος πιο προχωρημένος μαθητής μπορεί να δει τον τύπο ως

ένα μεθύλιο, ένα μεθυλένιο, ένα καρβονύλιο, ένα άτομο οξυγόνου και ένα μεθύλιο καθώς και τέσσερις δεσμούς μεταξύ τους που είναι 9 τμήματα πληροφοριών τα οποία μπορούν να επεξεργαστούν στην βραχύχρονη μνήμη. Ένας πολύ πιο προχωρημένος μαθητής θα μπορούσε να το δει ως ένα τμήμα, προπανικός μεθυλεστερας, ικανό να αποθηκευτεί μαζί με πολλές άλλες παρόμοιες δομές ταυτόχρονα.

Επομένως, η ικανότητα συγκράτησης πληροφοριών στη μνήμη εργασίας είναι πολύ καλύτερη όταν η προϋπάρχουσα γνώση μας βοηθάει να κωδικοποιήσουμε αποτελεσματικότερα τις εισερχόμενες πληροφορίες. Αυτό μας επιτρέπει να κατανοήσουμε γιατί μερικοί μαθητές μαθαίνουν πιο γρήγορα από άλλους. Ο μέγιστος χρόνος αποθήκευσης στη μνήμη εργασίας είναι 18 sec. Σε αντίθεση με τη μνήμη εργασίας, η ικανότητα αποθήκευσης της **μακρόχρονης μνήμης** είναι εξαιρετικά μεγάλη. Η θεωρία της διπλής κωδικοποίησης υποστηρίζει ότι θυμόμαστε καλύτερα τις πληροφορίες όταν αυτές αναπαριστάνονται και οπτικά και σημασιολογικά.

Το μοντέλο επεξεργασίας πληροφοριών μας επιτρέπει να καταλάβουμε το ιδιότυπο φιλτράρισμα που λαμβάνει χώρα στο μυαλό των μαθητών και με το οποίο τα πράγματα που διδάσκουμε κρίνονται ως σημαντικά ή ασήμαντα, ως κατανοητά ή παραπλανητικά, ως ενδιαφέροντα ή βαρετά. Όλα αυτά ελέγχονται από τις γνώσεις που έχουν ήδη αποθηκευτεί στη μακρόχρονη μνήμη. Επιπλέον, το μοντέλο πηγαίνει ένα βήμα παραπάνω παρατηρώντας τις συνδέσεις μεταξύ της βραχύχρονης και μακρόχρονης μνήμης. Το διπλό βέλος στο Σχήμα 1.1 δείχνει μια ισορροπία ανάμεσα στα στοιχεία που πάνε και έρχονται μεταξύ των δύο αυτών περιοχών. Υλικό που έχει επεξεργαστεί στη μνήμη εργασίας εισέρχεται στη μακρόχρονη μνήμη για αποθήκευση και στον ίδιο χρόνο υλικό ανακαλείται από τη μακρόχρονη μνήμη για να βοηθήσει την επεξεργασία που γίνεται στη βραχύχρονη. Αυτές είναι οι διαδικασίες απομνημόνευσης και ανάκλησης πάνω στις οποίες στηρίζονται τόσες νοητικές λειτουργίες.

Για να περιγράψουν επαρκώς τις διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα κατά τη διάρκεια της γνωστικής δραστηριότητας οι ψυχολόγοι εξετάζουν τον τρόπο με τον οποίο οι γνώσεις αναπαρίστανται και οργανώνονται στη μνήμη μακράς διάρκειας. Υποθέτουν ότι τα θεμελιώδη στοιχεία από τα οποία αποτελείται το γνωστικό σύστημα είναι οι **έννοιες**, οι οποίες είναι οργανωμένες σε ευρύτερες **εννοιολογικές δομές**.

Έννοιες: Η πιο διαδεδομένη πρόταση σχετικά με τη φύση των εννοιών, γνωστή και ως *κλασική άποψη*, περιγράφει τις έννοιες ως ένα σύνολο αναγκαίων και επαρκών καθοριστικών γνωρισμάτων (ιδιοτήτων) που ορίζουν σαφώς ποιες περιπτώσεις ανήκουν σε μια δεδομένη

εννοιολογική κατηγορία και ποιες όχι. Προκειμένου να συμφωνεί καλύτερα με τα δεδομένα της εμπειρικής έρευνας, η κλασική άποψη τροποποιήθηκε και έτσι θεωρούμε ότι οι έννοιες αποτελούνται όχι μόνο από καθοριστικά γνωρίσματα αλλά και από ορισμένα *χαρακτηριστικά γνωρίσματα*. Τα καθοριστικά γνωρίσματα μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελούν τον κεντρικό ορισμό μιας έννοιας, ενώ τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα προσδιορίζουν πόσο τυπικό ή πόσο αντιπροσωπευτικό είναι ένα μέλος μιας εννοιολογικής κατηγορίας.

Εννοιολογικές δομές: Μία από τις πρώτες προτάσεις σχετικά με τον τρόπο οργάνωσης των εννοιών είναι το *σημασιολογικό δίκτυο*. Σε ένα σημασιολογικό δίκτυο οι έννοιες είναι οργανωμένες στη μνήμη μακράς διάρκειας σε ιεραρχικές δομές, όπου κάποιες έννοιες είναι υπερκείμενες και κάποιες άλλες υποκείμενες (ζώο, πτηνό, καναρίνι). Κάθε έννοια έχει έναν αριθμό καθοριστικών γνωρισμάτων που κληροδοτούνται από τις υπερκείμενες της έννοιες.

Μια διαφορετική πρόταση, που προσπαθεί να περιγράψει τον τρόπο με τον οποίο οι άνθρωποι κατανοούν σύνθετες αλληλουχίες γεγονότων, είναι ότι οι έννοιες οργανώνονται σε δομές που είναι γνωστές ως *σχήματα*. Η θεωρία των σχημάτων δεν είναι αναγκαστικά αντιφατική με τη θεωρία των σημασιολογικών δικτύων, καθώς είναι δυνατόν να συνυπάρχουν. Τα σχήματα είναι εννοιολογικές δομές που σκοπό έχουν να περιγράψουν τη δομή καθημερινών δραστηριοτήτων.

Άλλοι ερευνητές έχουν επιχειρηματολογήσει υπέρ της αναγκαιότητας πιο σύνθετων, επεξηγηματικών, εννοιολογικών δομών που έχουν τη μορφή *θεωρίας*. Ο όρος «θεωρία» χρησιμοποιείται όχι με την έννοια μιας καλά διαμορφωμένης επιστημονικής θεωρίας, αλλά για να χαρακτηρίσει την ύπαρξη κάποιου επεξηγηματικού πλαισίου που αποσκοπεί στην ερμηνεία ενός ή περισσότερων φαινομένων. Συχνά η ονομασία που δίνεται είναι *αφελείς θεωρίες (naive theories)* ή *θεωρίες του κοινού νου*. Οι θεωρίες του κοινού νου είναι δομές που περιέχουν αφηρημένες έννοιες και παρέχουν αιτιώδεις συνήθως εξηγήσεις που ερμηνεύουν αποδεικτικά φαινόμενα. Σε αυτό διαφέρουν από τα σχήματα. Τα σχήματα είναι εμπειρικές γενικεύσεις, κατηγοριοποιήσεις που ταξινομούν την εμπειρία αλλά δεν την ερμηνεύουν.

Νοητικά μοντέλα: Η έννοια του μοντέλου έχει χρησιμοποιηθεί με δύο τρόπους. Μερικοί ερευνητές θεωρούν τα νοητικά μοντέλα ως μια μορφή οργάνωσης και αποθήκευσης των γνώσεων στη μνήμη, ενώ άλλοι ερευνητές τα θεωρούν ως μεταβατικές αναπαραστάσεις που σχηματίζονται στη στιγμή για να αντιμετωπίσουν συγκεκριμένες καταστάσεις. Η Βοσνιάδου υποστηρίζει ότι είναι πιθανόν το νοητικό μοντέλο ως μια μορφή μεταβατικής αναπαράστασης να παίρνει πιο μόνιμη μορφή εννοιολογικής δομής στη μακρόχρονη μνήμη στις περιστάσεις που οι συνθήκες της καθημερινής ζωής απαιτούν τη συχνή χρήση του.

Τα νοητικά μοντέλα είναι αναλογικές αναπαραστάσεις που διατηρούν τη δομή αυτού που αναπαριστούν. Τα νοητικά μοντέλα μπορεί να είναι χωρικά μοντέλα, που συλλαμβάνουν απόψεις του φυσικού κόσμου, όπως το νοητικό μοντέλο της Γης, ή μπορεί να αναπαριστάνουν με αναλογικό τρόπο τη δομή μιας αλληλουχίας γεγονότων. Σε αντίθεση με τις νοητικές εικόνες, τα νοητικά μοντέλα δεν περιορίζονται στο να συλλαμβάνουν τις συγκεκριμένες ιδιότητες των αντικειμένων του πραγματικού κόσμου μέσω της αντίληψης. Πρόκειται για υψηλού επιπέδου νοητικά κατασκευάσματα που σκοπό έχουν να αναπαριστούν τη δομή αντικειμένων, πεποιθήσεων ή θεωριών που ίσως δεν έχουν γίνει ποτέ ορατά, όπως το νοητικό μοντέλο του ηλιακού συστήματος, και περιορίζονται από ένα μικρό αριθμό προϋποθέσεων. Οι προϋποθέσεις είναι έμφυτοι ή εμπειρικά αποκτημένοι περιορισμοί, που καθοδηγούν την πορεία απόκτησης γνώσεων. Διακρίνονται τρία είδη νοητικών μοντέλων: τα *δαισθητικά*, τα *συνθετικά* και τα *επιστημονικά*. Το χαρακτηριστικό των δαισθητικών μοντέλων είναι ότι παρουσιάζουν τη μικρότερη δυνατή απόκλιση από το φυσικό κόσμο, όπως αυτός γίνεται φαινομενικά αντιληπτός, χωρίς να διαφαίνεται σε αυτά η επίδραση των επιστημονικών απόψεων. Επιστημονικά είναι τα νοητικά μοντέλα που είναι σύμφωνα με τις επιστημονικές απόψεις. Τα συνθετικά μοντέλα είναι αποτέλεσμα της προσπάθειας των ατόμων να αφομοιώσουν τις επιστημονικές απόψεις στις υπάρχουσες (δαισθητικές) δομές.

1.6 Εποικοδομισμός

Για πολλά χρόνια, το αποδεκτό μοντέλο για τη διδασκαλία βασίστηκε στην υπόθεση ότι η γνώση μπορεί να μεταφερθεί άθικτη από το μυαλό του δασκάλου στο μυαλό του μαθητή. Δυστυχώς, και η πρακτική και η έρευνα της Διδακτικής απέδειξε ότι η διδασκαλία και η μάθηση δεν είναι συνώνυμα: μπορούμε να διδάσκουμε, και να διδάσκουμε καλά, χωρίς οι μαθητές να μαθαίνουν.

Το σύγχρονο μοντέλο για τη διδασκαλία αποτελεί ο εποικοδομισμός ο οποίος στηρίζεται σε μια βασική υπόθεση: *η γνώση κατασκευάζεται στο μυαλό του μαθητή*. Η γνώση σπάνια μεταφέρεται άθικτη από το μυαλό του δασκάλου στο μυαλό του μαθητή. Ο εποικοδομισμός υποθέτει ότι η γνώση προκύπτει από μια συνεχή διαδικασία στην οποία κατασκευάζεται και εξετάζεται συνεχώς και πρέπει να είναι βιώσιμη, λειτουργική. Επομένως, η γνώση πρέπει πλέον να αξιολογείται εάν είναι ικανοποιητικά λειτουργική στο πλαίσιο που παρήχθη.

Ο εποικοδομισμός απαιτεί μια λεπτή μετατόπιση του διδάσκοντα, από αυτόν που «διδάσκει» σε αυτόν που διευκολύνει τη μάθηση, από τη διδασκαλία με επιβολή στη διδασκαλία με μεσολάβηση. Όπως το εξέφρασε ο Dudley Herron: *η σημαντικότερη επίπτωση που είχε η έρευνα στην ψυχολογία και την διδακτική στη διδασκαλία μου είναι στο ποσοστό του χρόνου*

που ξοδεύω λέγοντας στους σπουδαστές τι σκέφτομαι σε σχέση με το ποσοστό του χρόνου που ξοδεύω ρωτώντας τους τι σκέφτονται.

Η Rosalind Driver έχει υποστηρίξει ότι οι δάσκαλοι που υιοθετούν τον εποικοδομισμό εκθέτουν την ακόλουθη συμπεριφορά:

- Εξετάζουν τις απαντήσεις των μαθητών, εάν είναι λανθασμένες ή σωστές, για να σιγουρευτούν ότι οι ίδιες λέξεις χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν τα ίδια φαινόμενα.
- Επιμένουν να εξηγούν οι μαθητές τις απαντήσεις που δίνουν.
- Δεν επιτρέπουν στους μαθητές να χρησιμοποιούν λέξεις ή εξισώσεις χωρίς να τις εξηγούν.
- Ενθαρρύνουν τους μαθητές να συλλογίζονται (σκέπτονται) τις απαντήσεις τους, το οποίο είναι βασικό μέρος της διαδικασίας μάθησης.

Υπάρχουν διαφορετικές μορφές εποικοδομισμού που εστιάζουν σε διαφορετικές πτυχές της διαδικασίας με την οποία κατασκευάζεται η γνώση. Οι κυριότερες μορφές εποικοδομισμού είναι:

Ο ατομικός κονστρουκτιβισμός: μια προσέγγιση που δίνει έμφαση στην ιδέα ότι η κατασκευή της γνώσης είναι κάτι που γίνεται από τα άτομα για να ικανοποιήσουν τις ανάγκες τους, και βασίζεται στη θεωρία του Piaget για τις γνωστικές δομές. Η θεωρία του ατομικού κονστρουκτιβισμού χρησίμευσε ως βάση για μεγάλο μέρος της εργασίας που έχει γίνει στην εννοιολογική αλλαγή, η οποία περιλαμβάνει την ανάπτυξη εμπειριών διδασκαλίας και μάθησης που βοηθά τους μαθητές να κατανοήσουν μια έννοια μέσω μιας διαδικασίας αλλαγών, ανάλογες με αυτές που απαιτηθήκαν για να μετακινηθούμε από την αριστοτελική στην νευτώνεια ή από την νευτώνεια στην σχετιστική αντίληψη. Ο Posner και οι συνεργάτες τους, για παράδειγμα, έχουν αναπτύξει ένα μοντέλο εννοιολογικής αλλαγής που στηρίζεται στη θεωρία του Piaget.

Ο ριζοσπαστικός κονστρουκτιβισμός: μια μορφή εποικοδομισμού που συνδέεται με την εργασία του Ernst von Glasersfeld, ο οποίος έχει στηρίξει την άποψη του σε δύο αρχές. Πρώτον, η γνώση δεν παραλαμβάνεται παθητικά, αλλά κατασκευάζεται ενεργά από το άτομο. Δεύτερον, ο στόχος της γνώσης είναι να οργανωθεί η εμπειρία μας για τον κόσμο και να αποκτήσει αυτή η εμπειρία σημασία.

Ο κοινωνικός κονστρουκτιβισμός: μια προσέγγιση που εστιάζει στους τρόπους με τους οποίους οι κοινωνικές αλληλεπιδράσεις επηρεάζουν τη διαδικασία με την οποία κατασκευάζεται η γνώση. Σημαντική θέση στον κοινωνικό κονστρουκτιβισμό κατέχει η

εργασία της Joan Solomon, η οποία προσπάθησε να ενσωματώσει στον κονστρουκτιβισμό το ρόλο που έχουν οι κοινωνικές επιδράσεις στην τροποποίηση των ιδεών που κατασκευάζουν τα άτομα.

Οι Peter Taylor, William Cobern, και Kenneth Gergen έχουν υιοθετήσει διαφορετικές προσεγγίσεις επεκτείνοντας την άποψη της Solomon για τις κοινωνικές επιρροές στην μάθηση. Ο κριτικός κονστρουκτιβισμός του Taylor συνδυάζει τον κοινωνικό κονστρουκτιβισμό με την κριτική θεωρία και αναπτύσσει ένα μοντέλο για το πώς οι διαδικασίες της διδασκαλίας και της μάθησης κατασκευάζονται κοινωνικά. Το μοντέλο του Taylor εξετάζει τα εμπόδια που πρέπει να υπερνικηθούν για να δημιουργηθεί ένα εποικοδομιστικό περιβάλλον μάθησης (σχολική τάξη) και προτείνει τεχνικές για την υπερνίκηση αυτών των εμποδίων. Ο βασισμένος στο πλαίσιο κονστρουκτιβισμός του Cobern θεωρεί την επίδραση του πολιτισμού και της παγκόσμιας αντίληψης ως κεντρικές δυνάμεις στην ανάπτυξη και την οργάνωση των ιδεών των μαθητών. Ο κοινωνικός κονστρουκτιβισμός του Gergen εστιάζει στο ρόλο της γλώσσας στην ανάπτυξη της γνώσης.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Ausubel, D.P. (1960) The Use of Advance Organizers in the Learning and Retention of Meaningful Verbal Material, *Journal of Educational Psychology*, vol. 51, no. 5, 67-272.
- Ausubel, D.P., (1963). *The Psychology of Meaningful Verbal Learning*, Grune & Stratton: New York.
- Ausubel, David P. (1968). *Educational Psychology, A Cognitive View*. New York: Holt, Rinehart and Winston, Inc.
- Bodner G., Klobuchar M., and Geelan D., 2001. The Many Forms of Constructivism. *Journal of Chemical Education*, 78 (8), 1107.
- Βοσνιάδου Σ., *Εισαγωγή στη Ψυχολογία*, τόμος Α, Gutenberg, Αθήνα 2001
- Βοσνιάδου Σ., *Γνωσιακή Ψυχολογία*, Gutenberg, Αθήνα 1998
- Daley, B. J., Canas, A. J. & Stark-Schweitzer (2007). Cmaps Tools: Integrating teaching, learning, and evaluation in online courses. *New Directions for Adult and Continuing Education*, no. 113, Spring, Wiley Periodicals, Inc.
- Driver R., Guesne E. and Tiberghien A., *Οι ιδέες των παιδιών στις φυσικές επιστήμες*, εκδ., Ένωση Ελλήνων Φυσικών – Τροχαλία, Αθήνα, 1985

- Herron, J. D., *The Chemistry Classroom*, American Chemistry Society, Washington, DC 1996
- Michael J. (2001) In pursuit of meaningful learning. *Advanced Physiology Education*, 25, 145–158.
- Novak, J. D., Gowin, D. B. (1984). *Learning How to Learn*. New York and Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Novak, J. D. (1998). *Learning, Creating, and Using Knowledge: Concept Maps as Facilitative tools in Schools and Corporations*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum and Associates
- Novak, J. D.(2002). Meaningful learning: the essential factor for conceptual change in limited or appropriate propositional hierarchies (LIPHs) leading to empowerment of learners. *Science Education*, **86**(4): 548-571.
- Μάνιου – Βακάλη Μ., Μάθηση – Μνήμη – Λήθη, Art of Text, Θεσσαλονίκη, 1995
- Κόκκοτας Π., Διδακτική των Φυσικών Επιστημών, Γρηγόρης, Αθήνα, 1999
- Τσαπαρλής Γ., Θέματα Διδακτικής Φυσικής και Χημείας στη Μέση Εκπαίδευση, Γρηγόρης, Αθήνα, 1991
- Shayer M., Adey P., Towards a science of science teaching, Heinemann Educational Books, Oxford, 1989
- Vygotsky L. S., Νους στην κοινωνία (επιμ. Βοσνιάδου Σ), Gutenberg, Αθήνα 1996

2. ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΙΔΕΕΣ Ή ΠΑΡΑΝΟΗΣΕΙΣ ΤΩΝ ΜΑΘΗΤΩΝ

2.1 Ορισμοί

Με βάση τις εργασίες των αναπτυξιακών ψυχολόγων (Piaget και Vygotsky) και σύμφωνα με το μοντέλο επεξεργασίας των πληροφοριών, που είναι το κύριο θεωρητικό πλαίσιο εντός του οποίου διεξάγεται η έρευνα στη γνωστική ψυχολογία έχουμε ως δεδομένα ότι κατά τη μάθηση:

- η γνώση δεν μπορεί να μεταβιβασθεί από το ένα άτομο σε άλλο άτομο με οποιοδήποτε τρόπο, αλλά το κάθε άτομο οικοδομεί τη γνώση
- η διαδικασία οικοδόμησης της νέας γνώσης αρχίζει με θεμέλιο οτιδήποτε είναι ήδη γνωστό στο άτομο
- συντελείται με εσωτερικές γνωστικές διαδικασίες, που δρουν σε ερεθίσματα του περιβάλλοντος, καθώς και
- με τη διαμεσολάβηση κοινωνικοπολιτισμικών παραγόντων

Το αποτέλεσμα της μάθησης είναι νοητικά μοντέλα του πραγματικού κόσμου που μπορεί να χρησιμοποιηθούν στην επίλυση προβλημάτων. Αυτά τα μοντέλα μπορεί να είναι ορθά ή ελλιπώς καθορισμένα. Σε κάθε περίπτωση και καθώς το άτομο συνεχίζει να μαθαίνει, θα τροποποιηθούν και θα βελτιωθούν. Όταν τα νοητικά μοντέλα των μαθητών οδηγούν σε διαφορετική κατανόηση των πραγμάτων από την επιστημονικά κυρίαρχη, τότε οι ιδέες των μαθητών ονομάζονται από τους ερευνητές ως:

- *διαισθητικές ιδέες* (intuitive notions) και δηλώνεται η καταγωγή των ιδεών,
- *αντιλήψεις* (conceptions) και υπαινίσσεται η γενικότητα χρήσης των ιδεών αυτών,
- *εναλλακτικές αντιλήψεις* (alternative conceptions) ή ως *παρανοήσεις* (misconceptions) και δίνεται έμφαση στη διαφορά μεταξύ των ιδεών των μαθητών και της αποδεκτής επιστημονικής άποψης.

Όποιο όνομα και να τους δοθεί, περιγράφουν ένα είδος εννοιολογικής δυσκολίας που αντιμετωπίζει ο μαθητής. Θα χρησιμοποιούμε τον όρο *παρανοήσεις* ή *λανθασμένες αντιλήψεις* όταν αναφερόμαστε σε τέτοιες λανθασμένες γνώσεις. Η σημασία των παρανοήσεων είναι ότι η παρουσία τους αναπόφευκτα εμποδίζει την προσπάθεια του μαθητή να ενσωματώσει τη νέα, σωστή γνώση που πρέπει να μάθει σε αυτό που ήδη γνωρίζει. Η μάθηση απαιτεί την αναδιοργάνωση των νοητικών μοντέλων, που ήδη υπάρχουν, για να διορθωθούν οι

παρανοήσεις και συγχρόνως απαιτεί την επέκταση των μοντέλων ώστε να συμπεριληφθούν οι νέες έννοιες. Έτσι, η μάθηση συχνά αναφέρεται ως διαδικασία εννοιολογικής αλλαγής.

2.2 Χαρακτηριστικά των μαθητών που οδηγούν σε παρανοήσεις

Όταν διδάσκουμε Χημεία καθοδηγούμε τους μαθητές να «δουν» φαινόμενα και πειραματικές καταστάσεις με τους ιδιαίτερους τρόπους που τα «βλέπουν» οι επιστήμονες. Αυτό εμπλέκει τους μαθητές στη δόμηση νοητικών μοντέλων για οντότητες που δεν γίνονται άμεσα αντιληπτές, όπως τα σωματίδια της ύλης. Η διαδικασία αυτή της μοντελοποίησης είναι σύνθετη και απαιτεί από τους μαθητές να κατασκευάσουν νοητικά και να χρησιμοποιούν ορισμένες *οντότητες*, οι οποίες μπορεί να είναι σύνολα αντικειμένων ή συστήματα, να τις περιγράφουν με ακριβείς τρόπους χρησιμοποιώντας ορισμένες παραμέτρους (π.χ. μάζα, θερμοκρασία, χημική ένωση) και να εξηγούν τις διαδικασίες της *αλληλεπίδρασης* ανάμεσα στις παραμέτρους με περιγραφή των μεταξύ των σχέσεων (π.χ. θερμότητα, χημική αντίδραση). Η δόμηση τέτοιων πολύπλοκων μοντέλων απαιτεί σημαντική προσπάθεια από μέρους των μαθητών και συνήθως παίρνει χρόνο. Η δημιουργία των παρανοήσεων των μαθητών, κατά τη διαδικασία δόμησης επιστημονικών μοντέλων, έχει να κάνει, σύμφωνα με τους ερευνητές της διδακτικής, με ορισμένα χαρακτηριστικά των μαθητών όπως:

A. Σκέψη κυριαρχούμενη από την αισθητηριακή αντίληψη. Οι μαθητές, όταν έρχονται αντιμέτωποι με ένα πρόβλημα, έχουν την τάση να βασίζονται αρχικά τους συλλογισμούς τους στα παρατηρούμενα χαρακτηριστικά.

B. Περιορισμένη εστίαση. Οι μαθητές έχουν την τάση να επικεντρώνονται σε περιορισμένες όψεις μιας δεδομένης κατάστασης και να εξηγούν τα φαινόμενα περισσότερο με όρους απόλυτων ιδιοτήτων που αποδίδονται σε αντικείμενα, παρά με όρους αλληλεπίδρασης ανάμεσα στα στοιχεία κάποιου συστήματος. Για παράδειγμα, οι χημικοί αντιλαμβάνονται την αντίδραση της καύσης ως αλληλεπίδραση μεταξύ της καιγόμενης ουσίας και του οξυγόνου, ενώ οι μαθητές έχουν την τάση να ερμηνεύουν το φαινόμενο ως ιδιότητα αυτής της ίδιας της ουσίας, η οποία εκδηλώνεται με ή χωρίς την παρουσία του οξυγόνου.

Γ. Εστίαση περισσότερο σε αλλαγές, παρά σε σταθερές καταστάσεις. Οι μαθητές παρουσιάζουν την τάση να εστιάζουν την προσοχή τους σε ακολουθίες γεγονότων ή σε μεταβολές καταστάσεων με το χρόνο. Αυτό σημαίνει ότι τείνουν να εστιάζουν σε παροδικές (μεταβαλλόμενες) καταστάσεις ενός συστήματος μάλλον παρά σε καταστάσεις ισορροπίας, επειδή στις τελευταίες δεν υπάρχει μεταβολή με το χρόνο.

Δ. Γραμμικός αιτιώδης συλλογισμός. Όταν οι μαθητές εξηγούν τις αλλαγές, οι συλλογισμοί τους τείνουν να ακολουθούν μια γραμμική αιτιώδη ακολουθία. Υιοθετούν μια *αιτία* που

παράγει μια αλυσίδα *αποτελεσμάτων* ως μια ακολουθία εξαρτώμενη από το χρόνο. Μια συνέπεια της τάσης των μαθητών να σκέπτονται με τον τρόπο αυτόν και να έχουν μια προτιμώμενη κατεύθυνση, όταν αιτιολογούν τα γεγονότα, είναι ότι οι διαδικασίες, που ένας επιστήμονας βλέπει ως αντιστρεπτές, δεν αντιμετωπίζονται απαραίτητα με αυτόν τον τρόπο από τους μαθητές. Για παράδειγμα, οι μαθητές μπορούν να καταλάβουν ότι απορρόφηση ενέργειας μπορεί να αλλάξει ένα στερεό σε ένα υγρό, αλλά δεν μπορούν να εκτιμήσουν τι συμβαίνει όταν το υγρό μετατρέπεται σε στερεό.

Ε. *Έννοιες που δεν διαχωρίζονται.* Οι μαθητές χρησιμοποιούν έννοιες, δίνοντάς τους σημασίες διαφορετικές και σημαντικά πιο εκτεταμένες από αυτές που δίνουν οι επιστήμονες. Το γεγονός ότι οι σημασίες που δίνουν οι μαθητές στις έννοιες είναι περισσότερο περιεκτικές και σφαιρικές από εκείνες των επιστημόνων έχει ως αποτέλεσμα, σε μερικές περιπτώσεις, οι μαθητές να διολισθαίνουν από τη μία σημασία στην άλλη, χωρίς αναγκαστικά να το συνειδητοποιούν. Για παράδειγμα, οι μαθητές χρησιμοποιούν εναλλακτικά τις έννοιες μάζα, βάρος και πυκνότητα χωρίς να διακρίνουν τη σημασία τους.

ΣΤ. *Εξάρτηση από το πλαίσιο.* Οι μαθητές συχνά, χρησιμοποιούν διαφορετικές ιδέες για να ερμηνεύσουν «παρόμοιες» καταστάσεις που ένας επιστήμονας θα εξηγούσε με τον ίδιο τρόπο. Οι ιδέες που θα χρησιμοποιήσουν οι μαθητές εξαρτώνται από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά, δηλαδή το πλαίσιο της κατάστασης.

Ένα από τα προβλήματα που εμπλέκονται στη διερεύνηση των παρανοήσεων των μαθητών, είναι η επινόηση τρόπων για την ανίχνευση της σκέψης των μαθητών. Αν δηλαδή οι απαντήσεις των μαθητών προέρχονται από ιδέες που συγκροτούν ένα ενιαίο σύνολο στη σκέψη τους ή παράγονται με έναν ειδικό τρόπο, ως απόκριση του μαθητή στην κοινωνική πίεση να δώσει απάντηση σε ένα τεστ.

2.3 Η μάθηση ως εννοιολογική αλλαγή

Οι υπάρχουσες εννοιολογικές δομές δεν είναι στάσιμες, αλλά αλλάζουν διαρκώς καθώς αποκτάται νέα γνώση. Η μάθηση είναι μια ενεργή διαδικασία που εξαρτάται από το ήδη υπάρχον πλαίσιο γνώσεων του μαθητή. Ο μαθητής στηρίζεται σε έννοιες που ήδη κατέχει προκειμένου να οργανώσει τις νέες πληροφορίες. Η αναδιοργάνωση των γνώσεων απαιτεί τη διαδικασία της εννοιολογικής αλλαγής και απαιτεί μεγάλη προσπάθεια.

Συγκεκριμένα, ο όρος *εννοιολογική αλλαγή* χρησιμοποιείται για να χαρακτηρίσει το είδος της μάθησης που απαιτείται όταν οι νέες πληροφορίες που πρόκειται να μαθευτούν έρχονται σε σύγκρουση με την προϋπάρχουσα γνώση των μαθητών η οποία έχει αποκτηθεί συνήθως από τις καθημερινές τους εμπειρίες. Τότε απαιτείται μια μεγαλύτερη αναδιοργάνωση της

προϋπάρχουσας γνώσης, η εννοιολογική αλλαγή. Κάποια παραδείγματα στα οποία απαιτείται εννοιολογική αλλαγή είναι όταν: (α) η επιστημονική έννοια της δύναμης έρχεται σε αντιπαράθεση με την καθημερινή έννοια της δύναμης ως ιδιότητα των φυσικών αντικειμένων, (β) το μοντέλο του Κοπέρνικου για το ηλιακό σύστημα έρχεται σε αντιπαράθεση με το γεωκεντρικό μοντέλο, (γ) η έννοια του κλάσματος απαιτεί ριζική αλλαγή της προϋπάρχουσας έννοιας του φυσικού αριθμού.

Γιατί πρέπει να ονομάζουμε αυτόν τον τύπο της μάθησης «εννοιολογική αλλαγή» και όχι απλώς «μάθηση»; Η εννοιολογική αλλαγή είναι αναντίρρητα μια μορφή μάθησης, αλλά είναι σημαντικό να διαφοροποιηθεί (διακριθεί) από τα άλλα είδη μάθησης επειδή απαιτεί διαφορετικούς μηχανισμούς και διαφορετικές διδακτικές παρεμβάσεις για να πραγματοποιηθεί. Η περισσότερη μάθηση είναι αθροιστική και ως τέτοια εμπεριέχει τον εμπλουτισμό της προϋπάρχουσας γνώσης. Η εννοιολογική αλλαγή δεν μπορεί ωστόσο να επιτευχθεί μέσω αθροιστικών μηχανισμών. Αντίθετα, η χρήση αθροιστικών μηχανισμών σε καταστάσεις όπου απαιτείται εννοιολογική αλλαγή είναι μία από τις κύριες αιτίες των παρανοήσεων.

Ένας κοινός τύπος παρανοήσεων προκύπτει όταν η νέα πληροφορία προστίθεται σε μια ασυμβίβαστη βάση γνώσεων. Είναι σημαντικό κατά τη διαδικασία της διδασκαλίας να διακρίνονται οι περιπτώσεις που απαιτούν εννοιολογική αλλαγή και να προειδοποιούνται οι μαθητές για την ανεπάρκεια της χρήσης αθροιστικών μηχανισμών σε αυτές τις περιπτώσεις. Σήμερα οι περισσότεροι ερευνητές συμφωνούν ότι η εννοιολογική αλλαγή είναι κάτι που δεν γίνεται αποκλειστικά στον εγκέφαλο του καθενός αλλά είναι μια διαδικασία που μπορεί να προάγεται ή να παρακωλύεται από κοινωνικούς/ πολιτισμικούς παράγοντες και το εκπαιδευτικό περιβάλλον. Με σκοπό να κατανοήσουμε πλήρως την εννοιολογική αλλαγή πρέπει να διερευνήσουμε πως τα άτομα μαθαίνουν στο κοινωνικό πλαίσιο. Πιο συγκεκριμένα, μια πλήρης θεωρία εννοιολογικής αλλαγής πρέπει να παρέχει πληροφορίες για τις ακόλουθες τέσσερις μεταβλητές:

1) ατομικές εννοιολογικές αλλαγές: όπως αλλαγές στις πεποιθήσεις, στις διαδικασίες συλλογισμού, και στις στρατηγικές που υιοθετούνται κατά τη διάρκεια της εννοιολογικής αλλαγής

2) ατομικές παρακινητικές και συναισθηματικές μεταβλητές: όπως οι απόψεις και οι στάσεις των μαθητών απέναντι στις Φυσικές Επιστήμες, τα κίνητρά τους για να ασχοληθούν με τις σχολικές εργασίες, τις αντιλήψεις τους για το ρόλο τους ως μαθητές, τους στόχους τους, τα ενδιαφέροντα τους κλπ.

3) το εκπαιδευτικό περιβάλλον στο οποίο πραγματοποιείται η διδασκαλία των Φ.Ε: αν δίνει έμφαση στην απομνημόνευση ή στην κατανόηση, στη διερεύνηση ή στη μάθηση από αυθεντίες, αν επιτρέπει στους μαθητές να ελέγχουν σε κάποιο βαθμό τη μάθησή τους ή όχι, αν υποστηρίζει μια εποικοδομητική άποψη της γνώσης, αν στηρίζει τη μεταγνώση, την αυτοεπίγνωση και την ηθελημένη μάθηση κλπ.

4) το ευρύτερο κοινωνικό και πολιτισμικό περιβάλλον στο οποίο ζουν και μαθαίνουν οι μαθητές: αν είναι περιβάλλον επιστημονικά εγγράμματων ενηλίκων με υψηλό βαθμό επιστημονικών γνώσεων ή όχι. Αν η επιστημονική γνώση είναι κάτι που παρουσιάζεται στις καθημερινές συζητήσεις ή η επιστημονική γνώση δεν εκτιμάται ή δεν αναγνωρίζεται.

2.4 Διάφορες προσεγγίσεις της εννοιολογικής αλλαγής

Η προσέγγιση της εννοιολογικής αλλαγής μεταφέρθηκε στο χώρο της μάθησης και της διδασκαλίας από αυτόν της Φιλοσοφίας και της Ιστορίας των Επιστημών από τους ψυχολόγους και τους ερευνητές της Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών που διαπίστωσαν ορισμένες αναλογίες ανάμεσα στις αλλαγές θεωριών κατά την ανάπτυξη των Φυσικών Επιστημών και στη μάθηση των Φυσικών Επιστημών. Από τη δεκαετία του 70 οι ερευνητές αντιλήφθηκαν ότι οι μαθητές είχαν λανθασμένες αντιλήψεις (παρανοήσεις) που ήταν σταθερές και δύσκολα μπορούσαν να εξαλειφθούν. Ο Posner και οι συνεργάτες του αντιμετώπισαν αυτές τις λανθασμένες αντιλήψεις ως θεωρίες (αφελείς) που έπρεπε να αντικατασταθούν από τις πρόσφατα αποδεκτές, ορθές επιστημονικές απόψεις μέσα από μια διαδικασία εννοιολογικής αλλαγής. Εμπνεόμενοι από τους επιστημολόγους, ο Posner και οι συνεργάτες του υποστήριξαν ότι προκειμένου οι μαθητές να μπορέσουν να αντικαταστήσουν τις λανθασμένες αντιλήψεις τους με τις πρόσφατα αποδεκτές επιστημονικές απόψεις πρέπει να ικανοποιούνται τέσσερις συνθήκες:

(α) Πρέπει οι μαθητές να δυσφορούν με τις υπάρχουσες έννοιες (*γνωστική σύγκρουση*). Η διαδικασία της δόμησης της νέας γνώσης, η της τροποποίησης μιας ήδη υπάρχουσας απαιτεί ενεργή συμμετοχή και προσπάθεια από τη μεριά του μαθητή.

(β) Η νέα έννοια πρέπει να είναι κατανοητή (σαφής) για το μαθητή, χωρίς απαραίτητα να έχει αντιληφθεί πλήρως τη σημασία της.

(γ) Η νέα έννοια πρέπει να εμφανίζεται αρχικά εύλογη και αληθοφανής, και

(δ) Η νέα έννοια πρέπει να είναι αποδοτική, δηλαδή να βοηθά το μαθητή να λύνει άλλα προβλήματα.

Ο Posner και οι συνεργάτες του ισχυρίζονται ότι μια αληθοφανής έννοια πρέπει πρώτα να είναι σαφής, και μια αποδοτική έννοια πρέπει πρώτα να είναι σαφής και αληθοφανής. Οι

επακόλουθες εννοιολογικές αλλαγές μπορεί να είναι μόνιμες ή προσωρινές ή πολύ ασήμαντες για να ανιχνευτούν. Σε αυτό το μοντέλο μάθησης, η επίλυση του ανταγωνισμού ανάμεσα στις έννοιες ερμηνεύεται με βάση τη σχετική τους σαφήνεια, αληθοφάνεια και αποδοτικότητα.

Το θεωρητικό πλαίσιο του Posner αποτέλεσε τη βάση για πολλές πρακτικές εφαρμογές και έρευνες στο χώρο της Διδακτικής. Οι έρευνες αυτές αποκάλυψαν ότι η συγκεκριμένη προσέγγιση εννοιολογικής αλλαγής είναι πιο αποτελεσματική από τις παραδοσιακές μεθόδους διδασκαλίας και μάθησης, αλλά υπόκειται σε ορισμένους περιορισμούς.

Ενώ ο Posner και οι συνεργάτες του χρησιμοποίησαν την επιστημολογία για να εξηγήσουν την εννοιολογική αλλαγή, άλλοι ερευνητές με κύριο εκπρόσωπό τους την Chi χρησιμοποίησαν ειδικούς οντολογικούς όρους για να εξηγήσουν αλλαγές στον τρόπο που οι μαθητές αντιλαμβάνονται τις επιστημονικές οντότητες. Ο όρος οντολογία χρησιμοποιείται σε διάφορα πλαίσια και γενικά αναφέρεται στον τρόπο με τον οποίο οι άνθρωποι χαρακτηρίζουν τα φαινόμενα. Η Chi και οι συνεργάτες της ήταν οι πρώτοι που χρησιμοποίησαν την έννοια της οντολογίας στο χώρο της Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών. Σε αυτό το πλαίσιο, η οντολογία αναφέρεται στον τρόπο που ταξινομεί ο μαθητής τις γνώσεις του σε κατηγορίες οι οποίες είναι εννοιολογικά ευδιάκριτες. Η Chi και οι συνεργάτες της χώρισαν τις έννοιες των Φυσικών Επιστημών σε τρεις κατηγορίες: *ύλη*, *διαδικασία* και *νοητικές καταστάσεις*. Η κάθε έννοια έχει το δικό της οντολογικό γνώρισμα, το οποίο ορίζεται ως μια ιδιότητα που έχει μια οντότητα εν δυνάμει, ακόμα και όταν δεν έχει εκδηλωθεί. Ισχυρίζονται ότι οι μαθητές γενικά κατηγοριοποιούν τις έννοιες σε οντολογικές κατηγορίες και ότι η εννοιολογική αλλαγή είναι μια αλλαγή στην κατηγοριοποίηση των εννοιών. Η εννοιολογική δομή είναι ευκολότερη αν συνίσταται από αλλαγή κατηγοριοποίησης η οποία δεν απαιτεί αλλαγή οντολογικής κατηγορίας, ενώ αντίθετα, εμποδίζεται αισθητά όταν η μετατόπιση από μία λανθασμένη αντίληψη σε μία επιστημονική απαιτεί το πέρασμα από μία σε άλλη οντολογική κατηγορία.

Μια άλλη προσέγγιση εννοιολογικής αλλαγής είναι αυτή του di Sessa, ο οποίος υποστήριξε ότι οι μαθητές δεν έχουν μια συνεκτική ερμηνευτική θεωρία, αλλά κομμάτια γνώσης, τα οποία ονόμασε “phenomenological primitives” (p-prims) και στα οποία απέδωσε τις λανθασμένες αντιλήψεις των μαθητών. Σύμφωνα με τον di Sessa κατά τη διδασκαλία και τη μάθηση τα κομμάτια γνώσης πρέπει να αναδιοργανωθούν και να αποκτήσουν εσωτερική συνοχή για να μπορούν οι μαθητές να δίνουν επιστημονικά ορθές ερμηνείες. Σύμφωνα με τη θεωρία αυτή η γνωστική σύγκρουση δεν είναι αναποτελεσματική ως διδακτική προσέγγιση καθώς έχει ως σκοπό την αμφισβήτηση ενός συνεκτικού συστήματος πεποιθήσεων, ενώ κάτι τέτοιο δεν υπάρχει. Αντίθετα, ο di Sessa ισχυρίζεται ότι κατά την εννοιολογική αλλαγή τα κομμάτια γνώσης πρέπει να ενοποιηθούν σε πιο σύνθετες εννοιολογικές δομές που έχουν τα

χαρακτηριστικά αρχών και νόμων για να παράγουν επιστημονική κατανόηση. Το πρόβλημα με αυτόν τον ισχυρισμό είναι ότι θεωρεί ότι οι λανθασμένες αντιλήψεις δεν έχουν συνοχή, γεγονός που αποτελεί ακόμα ερώτημα αναπάντητο, καθώς υπάρχουν στη βιβλιογραφία ενδείξεις για υψηλό επίπεδο συνοχής τους.

Τα τελευταία 15 χρόνια η Βοσνιάδου και οι συνεργάτες της παρείχαν μια γνωστική-αναπτυξιακή προσέγγιση εννοιολογικής αλλαγής μέσα από λεπτομερείς περιγραφές της ανάπτυξης της γνώσης σε πολλούς τομείς των Φυσικών Επιστημών, όπως η παρατηρησιακή Αστρονομία, η Μηχανική, η Γεωφυσική, η Χημεία και η Βιολογία. Τα αποτελέσματα αυτών των ερευνών έδειξαν ότι οι μικροί μαθητές απαντούν σε ερωτήσεις σχετικές με τη δύναμη, την ύλη, τη γη στο διάστημα ή με τη σύσταση της γης με έναν εσωτερικά συνεπή τρόπο, αποκαλύπτοντας την ύπαρξη περιορισμένων αλλά συνεκτικών αρχικών ερμηνευτικών πλαισίων – τα *διαισθητικά νοητικά μοντέλα*. Αυτά τα ερμηνευτικά πλαίσια είναι διαφορετικά ως προς τη δομή τους, τα φαινόμενα που ερμηνεύουν και τις ιδιαίτερες έννοιές τους από τις επιστημονικές θεωρίες τις οποίες διδάσκονται οι μαθητές.

Η διαδικασία της μάθησης αντιμετωπίζεται από τη Βοσνιάδου και τους συνεργάτες της ως μια αργή και σταδιακή διαδικασία, κατά την οποία οι μαθητές συνήθως προσθέτουν τις νέες επιστημονικές πληροφορίες στα αρχικά τους ερμηνευτικά πλαίσια καταστρέφοντας τη συνοχή τους και δημιουργούν τα *συνθετικά νοητικά μοντέλα*. Οι ερευνητές κάνουν μια διάκριση μεταξύ των αρχικών ερμηνευτικών πλαισίων των μαθητών που δημιουργούνται πριν τη συστηματική διδασκαλία και των παρανοήσεων που είναι αποτέλεσμα της διδασκαλίας. Ισχυρίζονται ότι οι περισσότερες από τις παρανοήσεις μπορούν να χαρακτηριστούν ως συνθετικά μοντέλα, δηλαδή προσπάθειες των μαθητών να συνθέσουν τη νέα πληροφορία στα αρχικά ερμηνευτικά πλαίσια.

Η Βοσνιάδου υποστηρίζει ότι οι αντιλήψεις των μαθητών παρουσιάζουν συστηματικότητα και συνέπεια. Η συστηματικότητα αυτή προέρχεται από το γεγονός ότι τα νοητικά μοντέλα, που χρησιμοποιούν οι μαθητές για να ερμηνεύσουν τα φυσικά φαινόμενα, περιορίζονται από ένα μικρό αριθμό «*προϋποθέσεων*» που διαμορφώνονται από τους μαθητές με βάση τις καθημερινές τους εμπειρίες. Οι προϋποθέσεις μπορεί να είναι οντολογικές και επιστημολογικές και περιορίζουν τα είδη των νοητικών μοντέλων που μπορούν να σχηματίσουν οι μαθητές. Επομένως, οι προϋποθέσεις είναι εμπειρικά αποκτώμενοι περιορισμοί που καθοδηγούν την πορεία απόκτησης γνώσεων.

Τα αποτελέσματα των ερευνών δείχνουν ότι καθώς αυξάνεται η ηλικία των μαθητών παρατηρείται μια εξέλιξη των νοητικών μοντέλων από διαισθητικά προς συνθετικά. Η

ύπαρξη των συνθετικών νοητικών μοντέλων επιβεβαιώνουν τις υποθέσεις των ερευνητών, ότι ορισμένες προϋποθέσεις των μαθητών περιορίζουν την πορεία της εννοιολογικής αλλαγής, ακριβώς γιατί οι νέες πληροφορίες είναι ασυνεπείς με αυτές τις βαθιά ριζωμένες προϋποθέσεις. Ριζική εννοιολογική αλλαγή στα νοητικά μοντέλα και κατάκτηση των επιστημονικών εννοιών απαιτεί αλλαγές στις προϋποθέσεις που τα περιορίζουν.

Σχετικά με τις προϋποθέσεις των μαθητών, η Βοσνιάδου επισημαίνει δύο επιπλέον σημεία. Το πρώτο σημείο αφορά στην επίγνωση των μαθητών για την ύπαρξη των προϋποθέσεων αυτών. Φαίνεται ότι οι μαθητές δεν έχουν επίγνωση των προϋποθέσεών τους, αλλά θεωρούν ότι πρόκειται περισσότερο για γεγονότα της λειτουργίας του φυσικού κόσμου παρά για υποθέσεις ενός ερμηνευτικού πλαισίου που πρέπει να τεθεί σε επαλήθευση. Το δεύτερο σημείο είναι ότι οι προϋποθέσεις των μαθητών είναι κοινές για όλους τους μαθητές ανεξάρτητα από το πολιτισμικό περιβάλλον στο οποίο ζουν επειδή είναι αφαιρέσεις που βασίζονται στην εμπειρία των μαθητών από το φυσικό κόσμο. Το σημείο αυτό υποστηρίζεται από το γεγονός ότι τα διαισθητικά μοντέλα εντοπίστηκαν σε όλες τις διαπολιτισμικές έρευνες που έγιναν. Αντίθετα, τα συνθετικά μοντέλα των μαθητών παρουσιάζουν κάποιες διαφορές. Δηλαδή, μαθητές από διαφορετικό πολιτισμικό περιβάλλον δίνουν σε μερικές περιπτώσεις διαφορετικές λύσεις στο πρόβλημα του συμβιβασμού των επιστημονικών πληροφοριών που προέρχονται από το περιβάλλον με τις προϋποθέσεις τους.

2.5 Ο ρόλος της γλώσσας στη δημιουργία παρανοήσεων

Οι παρανοήσεις των μαθητών διαμορφώνονται με την επίδραση των αντιλήψεων των μεγάλων, των μέσων επικοινωνίας, την αλληλεπίδραση με άλλα παιδιά, από τη διδασκαλία, τα σχολικά εγχειρίδια κ.τ.λ.

Σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση παρανοήσεων παίζει η γλώσσα που χρησιμοποιείται από τους μεγάλους. Εκφράσεις π.χ. όπως «κλείσε την πόρτα για να μη φύγει η ζέστη» ή «να μη μπει το κρύο» οδηγούν στην άποψη ότι υπάρχουν δύο διαφορετικά φυσικά μεγέθη, η ζέστη και το κρύο. Όπως όμως γνωρίζουμε, αυτό που υπάρχει είναι η ενέργεια, η οποία μπορεί να μεταφερθεί από ένα σώμα σε άλλο, λόγω διαφοράς θερμοκρασίας. Ανάλογες αντιλήψεις δημιουργούνται στα παιδιά από τα μέσα μαζικής επικοινωνίας, όταν αναφέρονται σε επιστημονικά ή τεχνολογικά θέματα. Π. χ. συχνά ακούγεται η έκφραση: «η κατανάλωση του ηλεκτρικού ρεύματος...». Στα παιδιά δημιουργείται η εσφαλμένη εντύπωση ότι το ηλεκτρικό ρεύμα είναι κάτι που καταναλώνεται.

Μερικές από τις παρανοήσεις των μαθητών προκύπτουν από τη διαφορετική σημασία των λέξεων στην επιστήμη και στην καθημερινή ζωή. Στην καθημερινή ζωή η λέξη *σωματίδιο*

σημαίνει ένα μικρό αλλά μη ορατό κομμάτι στερεάς ουσίας, ενώ στη Χημεία η λέξη *σωματίδιο* χρησιμοποιείται σε μικροσκοπικό επίπεδο για να περιγράψει άτομα, μόρια, ιόντα, ηλεκτρόνια κ.λπ. Η τάση να αποδίδονται μακροσκοπικές ιδιότητες μιας ουσίας στα σωματίδια από τα οποία αποτελείται μπορεί να οφείλεται στο ότι οι διδάσκοντες και τα εγχειρίδια δεν κάνουν επαρκή διάκριση μεταξύ των ουσιών ως ολότητες και των σωματιδίων που τις συνιστούν.

Μια άλλη παράμετρος χρήσης της γλώσσας είναι ότι ορισμένες καθημερινές εκφράσεις, οι οποίες χρησιμοποιούνται κατά τη διδασκαλία ή περιέχονται στα σχολικά εγχειρίδια, κρίνονται προβληματικές, καθώς επιτρέπουν το σχηματισμό λανθασμένων αντιλήψεων παρόμοιων με αυτές που ανιχνεύτηκαν στην έρευνα. Η χρήση ενεργητικών ρημάτων που μεταβιβάζουν την ενέργεια σε κάποιο σώμα (π.χ. το λεμόνι διαβρώνει το μάρμαρο, η χλωρίνη ξεβάφει τα χρωματιστά ρούχα) υποβάλλουν την ιδέα ότι ένα σώμα δρα πάνω σε ένα άλλο σώμα – «παθόν» που υφίσταται τη δράση και αλλάζει, ενώ το σώμα – «δράστης» μένει αμετάβλητο (η σκουριά διαβρώνει το σίδηρο). Επίσης, η χρήση ενεργητικών αμετάβλητων ρημάτων (π.χ. το καρφί σκουριάζει, ο χαλκός πρασινίζει) συμβάλλει στη δημιουργία της λανθασμένης αντίληψης ότι οι ιδιότητες των ουσιών αλλάζουν (χρώμα, υφή) επειδή αλλάζει η ίδια η ουσία (δίχως αλληλεπίδραση με άλλη ουσία).

Επιπλέον, οι ορισμοί θεμελιωδών εννοιών όπως: άτομο, μόριο, χημικό στοιχείο και χημική ένωση πρέπει να είναι ταυτόχρονα *ακριβείς* και αρκετά *συνοπτικοί* για να έχουν νόημα για τους *μαθητές*. Στην πράξη, παρόλο που οι ορισμοί μπορεί να μαθαίνονται πρόθυμα με αποστήθιση (μηχανικά – παπαγαλία) αποκτούν νόημα μόνον όταν η έννοια γίνει κατανοητή. Το γεγονός αυτό δεν θα αποτελεί πρόβλημα όταν οι διδάσκοντες το έχουν στο μυαλό τους και είναι προσεκτικοί κατά τη διάρκεια της διδασκαλίας.

Η χρησιμοποίηση πολλαπλών ορισμών και μοντέλων, όπως για παράδειγμα κατά τη μελέτη των οξέων – βάσεων και οξειδώσης – αναγωγής έχει αναφερθεί ως μια σημαντική αιτία δυσκολιών για τους μαθητές. Η χρησιμοποίηση διαφορετικών μοντέλων με αύξηση των επιπέδων ανάλυσης των εννοιών πρέπει να γίνεται με προσοχή και να διατυπώνονται καθαρά οι περιορισμοί σε αυτά.

Παρανοήσεις δημιουργούνται και κατά τη διάρκεια της διδασκαλίας, λόγω έλλειψης καλής επικοινωνίας μεταξύ διδασκόντων και μαθητών. Όταν ο δίδασκων επικοινωνεί με την τάξη αυτό που συνήθως πετυχαίνει είναι να υιοθετήσουν οι μαθητές τις λέξεις και τις χειρονομίες που χρησιμοποιεί και όχι το νόημα αυτό καθαυτό. Μπορεί ο δίδασκων έχει στο μυαλό του κάποιες έννοιες τις οποίες προσπαθεί να διδάξει στους μαθητές μεταφράζοντάς αυτές σε λέξεις, σχήματα, διαγράμματα ή σύμβολα. Ο μαθητής μπορεί να τα προσέξει όλα αυτά, αλλά

πρέπει να βρει και ένα νόημα για να τους αποδώσει. Υπάρχει μεγάλη πιθανότητα το νόημα που θα δώσει ο μαθητής να μην είναι το ίδιο με εκείνο που ήθελε ο διδάσκων. Η πιθανότητα αυτή γίνεται μάλιστα μεγαλύτερη αν η γλώσσα που χρησιμοποιείται δεν του είναι οικεία.

Όσον αφορά στα σχολικά εγχειρίδια ο τρόπος που οι μαθητές κατανοούν ό,τι διαβάζουν σ' αυτά επηρεάζεται από τα ερμηνευτικά τους σχήματα. Κατασκευάζουν δηλαδή ερμηνείες, συσχετίζοντας αυτό που ήδη γνωρίζουν με αυτό που διαβάζουν και γι' αυτό είναι δυνατό να δίνουν ερμηνείες διαφορετικές από εκείνες στις οποίες αποβλέπει ο συγγραφέας του εγχειριδίου.

Η έλλειψη βασικής προαπαιτούμενης γνώσης είναι ένας βασικός παράγοντας ο οποίος μπορεί να οδηγήσει σε παρανοήσεις, όταν εισάγουμε νέες έννοιες Χημείας. Για παράδειγμα, μαθητές που δεν έχουν κατανοήσει και εξοικειωθεί με τη στοιχειομετρία της αντίδρασης και με την ταχύτητα της αντίδρασης είναι πιθανόν να έχουν δυσκολία με τη χημική ισορροπία. Ο Ausubel (1968) πρότεινε: *...Ο πλέον σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει τη μάθηση είναι αυτά που ο μαθητής ήδη γνωρίζει. Εξακρίβωσε τα και δίδαξε αυτόν ανάλογα...* Επομένως χρειάζεται να δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στη διαδικασία διάγνωσης, η οποία προηγείται της διδασκαλίας

2.6 Παρανοήσεις σχετικές με έννοιες της Χημείας

Αρκετές πληροφορίες είναι διαθέσιμες σήμερα σχετικά με τις παρανοήσεις των μαθητών σε διάφορα θέματα Χημείας και από αυτές μπορούμε να εξάγουμε συμπεράσματα που συμβάλουν στη βελτίωση της διδασκαλίας. Σκοπός της διδασκαλίας είναι να ξεπεράσουν οι μαθητές τις παρανοήσεις τους και να φτάσουν να μοιράζονται, τουλάχιστον σε κάποιο επίπεδο, τις επικρατούσες θεωρίες της επιστήμης.

2.6.1 Παρανοήσεις σχετικές με τη σωματιδιακή σύσταση της ύλης

Ένας από τους κεντρικούς διδακτικούς στόχους των περισσότερων αναλυτικών προγραμμάτων Φυσικών Επιστημών είναι η κατανόηση από τους μαθητές του σωματιδιακού μοντέλου της ύλης. Και αυτό γιατί, η βασική αρχή ότι κάθε μορφή ύλης είναι *σωματιδιακή* και όχι *συνεχής* είναι πρωτίστης σπουδαιότητας για όλες τις αιτιώδεις εξηγήσεις σχετικά με κάθε είδους μεταβολή της ύλης. Η ιστορία της σωματιδιακής θεωρίας αποτελεί μια ένδειξη, ότι η κατανόησή της απαιτεί μια δύσκολη προσαρμογή των διαισθητικών αντιλήψεων των μαθητών και ότι δεν είναι μοντέλο που οικοδομείται εύκολα και πρόθυμα από αυτούς. Οι περισσότερες μελέτες σχετικά με τις παρανοήσεις των μαθητών έχουν επικεντρωθεί στη σωματιδιακή σύσταση των αερίων, αφού κυρίως μέσα από τη μελέτη των αερίων οι επιστήμονες ανέπτυξαν βαθμιαία το σωματιδιακό μοντέλο.

Το πρώτο χαρακτηριστικό του σωματιδιακού μοντέλου, η ύπαρξη μη ορατών σωματιδίων, φαίνεται απλό για τους μαθητές. Όμως έχουν διαπιστωθεί αρκετές παρανοήσεις των μαθητών, όπως:

- *Η ύλη έχει γίνει από ένα συνεχές μέσον, το οποίο είναι στατικό και γεμίζει το χώρο (δεν υπάρχει κενό).*
- *Η απεικόνιση των σωματιδίων με τάξη στην αέρια φάση αντί της απεικόνισης των σωματιδίων σε αταξία.*
- *Τα άτομα/ μόρια είναι μικρά κομμάτια στερεού ή μικρές σταγόνες υγρού, έχουν δηλαδή φυσική κατάσταση.*
- *Τα άτομα/ μόρια διατηρούν τις μακροσκοπικές ιδιότητες του σώματος. (διαστολή του σώματος – διαστολή των ατόμων ή μορίων)*
- *Τα άτομα/ μόρια έχουν τέτοιο μέγεθος, που μπορούμε να τα δούμε στο μικροσκόπιο*
- *Τα μόρια στη στερεά κατάσταση είναι μεγαλύτερα ή μικρότερα*
- *Τα μόρια στη αέρια κατάσταση είναι μεγαλύτερα ή μικρότερα.*
- *Το μέγεθος των μορίων εξαρτάται από τη θερμοκρασία.*
- *Τα μόρια είναι επίπεδα.*
- *Τα μόρια έχουν διαφορετικά σχήματα, ανάλογα με τη φυσική κατάσταση στην οποία βρίσκονται.*
- *Η θερμοκρασία επηρεάζει το σχήμα των μορίων.*
- *Το σχήμα ενός δοχείου επηρεάζει το σχήμα των μορίων.*
- *Η πίεση επηρεάζει το σχήμα ενός μορίου.*
- *Τα μόρια έχουν διαφορετικό βάρος σε διαφορετικές φυσικές καταστάσεις,*
- *Τα μόρια στη στερεά κατάσταση είναι βαρύτερα*
- *Τα μόρια στη αέρια κατάσταση είναι ελαφρύτερα*

Μέχρι σήμερα οι παραπάνω παρανοήσεις των μαθητών για τη σωματιδιακή σύσταση της ύλης έχουν καταγραφεί από πολλές έρευνες τόσο σε μαθητές της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης όσο και σε φοιτητές. Όλες οι έρευνες διαπιστώνουν ότι παρόλο που οι μαθητές εισάγονται αρκετά νωρίς στη σωματιδιακή σύσταση της ύλης διατηρούν για μεγάλο χρονικό διάστημα μια απλοϊκή, συνεχούς ύλης αντίληψη για τον κόσμο, αντί για το σωματιδιακό μοντέλο σε πείσμα κάθε διδακτικής προσπάθειας.

2.6.2 Παρανοήσεις σχετικές με τη χημική αντίδραση

Όταν οι μαθητές εξετάζουν απλές χημικές μεταβολές, όπως η καύση, η επιστημονική ερμηνεία δίνεται με όρους αναδιοργάνωσης των βασικών δομικών μονάδων. Στην περίπτωση

της καύσης, ως η ένωση των ατόμων του οξυγόνου με τα άτομα του υλικού που καίγεται. Από τους μαθητές ζητάμε να μεταβάλλουν τον τρόπο σκέψης τους, ώστε από το συλλογισμό που κυριαρχείται από την αισθητηριακή αντίληψη, όπου οι ουσίες έρχονται και φεύγουν και η ύλη «εξαφανίζεται», να μεταβούν στον εννοιολογικό τρόπο σκέψης, όπου παρά τις μεταβολές της μορφής, οι μαθητές δέχονται ότι η ύλη είναι σωματιδιακή και ότι αυτά τα σωματίδια που την αποτελούν δεν εξαφανίζονται αλλά μεταβάλλουν απλώς την ενέργειά τους και τον τρόπο σύνδεσής τους. Αν και στα μαθήματα της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης δίνεται μια τέτοια ερμηνεία για τις παρατηρούμενες μεταβολές της ύλης, παραμένει το ερώτημα αν και σε ποια έκταση οι μαθητές μπορούν να οικοδομήσουν και να χρησιμοποιήσουν ένα τέτοιο μοντέλο στο δικό τους τρόπο σκέψης.

Μελέτες που αφορούν τις ιδέες που έχουν οι μαθητές για τις χημικές μεταβολές έχουν γίνει σε πολλές χώρες του κόσμου. Παρά τις διαφορές στη γλώσσα και στο περιεχόμενο των φυσικών επιστημών που διδάσκονται στο σχολείο, οι μαθητές παρουσιάζουν κοινά χαρακτηριστικά στους τύπους των ιδεών που συναντάμε στους συλλογισμούς τους.

Από μελέτες σχετικές με την αντίδραση καύσης βρέθηκε ότι οι μαθητές της πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης έχουν μια *διαισθητική αντίληψη* για την καύση, δηλαδή μία αντίληψη που βασίζεται στις παρατηρήσεις των μαθητών σχετικά με φωτιές, σπίρτα, κομμάτια ξύλου που καίγονται, κ.λπ. Τα γενικά χαρακτηριστικά, που ενσωματώνονται σε αυτήν την αντίληψη, είναι:

1. η καύση περιλαμβάνει πράγματα που κοκκινίζουν και εμφανίζουν φλόγες
2. χρειάζεται οξυγόνο (ή αέρας), (ο ρόλος του οποίου μπορεί να μην είναι σαφής και μπορεί ακόμα να φαίνεται σαν να «καίγεται» κατά τη διαδικασία)
3. τα πράγματα γίνονται ελαφρότερα όταν καίγονται
4. η καύση βγάζει καπνό, ή κομμάτια του υλικού απομακρύνονται σαν καπνός
5. τα στερεά κατάλοιπα ή η στάχτη είναι τα άκαυστα κομμάτια που απομένουν. (Αυτά έχουν συχνά σκούρο γκριζό χρώμα και μορφή σκόνης ή υλικού που τρίβεται εύκολα).

Οι ερευνητές αναφέρουν ότι στο τέλος της κατώτερης δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης μαθητές, οι οποίοι είχαν διδαχθεί στο σχολείο τη χημική αντίδραση της καύσης, δίνουν μία από τις δύο ακόλουθες ερμηνείες: (Α) Η ουσία που καίγεται παραμένει η ίδια, αλλά παίρνει άλλη μορφή.

Οι μαθητές έχουν τη τάση να βλέπουν την καύση του κεριού ή του οιοπνεύματος με αυτόν τον τρόπο και περιγράφουν ότι συμβαίνει «τήξη» ή «εξάτμιση» αντίστοιχα. (Β) Εναλλακτικά, αντιλαμβάνονται την ουσία που καίγεται να μετατρέπεται (αλλάζει) σε κάποια άλλη ουσία όπως η στάχτη, ο καπνός, η αιθάλη – η πρωταρχική αντίληψη της καύσης. Μεγαλύτεροι

μαθητές θεωρούν ότι κατά την καύση μέρος του καυσίμου μετατρέπεται σε ενέργεια (θερμότητα ή μηχανική ενέργεια).

Η δυσκολία που παρουσιάζουν οι μαθητές στο να εκτιμήσουν ότι η καύση είναι χημική αντίδραση αντανακλάται, επίσης, στις απαντήσεις τους σε ερωτήσεις για τις μεταβολές της μάζας κατά την καύση. Επίσης, ορισμένα χαρακτηριστικά της σκέψης των μαθητών για την καύση συναντώνται στις ιδέες τους για την οξείδωση. Έτσι:

- *Το σκούριασμα, θεωρείται ως φυσική μεταβολή του σχήματος ή της κατάστασης*
- *Μια χημική αντίδραση ούτε δημιουργεί ούτε καταστρέφει ύλη. Τη μεταβάλλει. Η οξείδωση προκαλεί το σκούριασμα. Δεν δημιουργεί ούτε καταστρέφει το σίδηρο, του μεταβάλλει τη μορφή του.*
- *Καθώς ο σίδηρος σκουριάζει, το βάρος του μειώνεται. Έτσι η μάζα χάνεται καθώς μετατρέπεται σε ενέργεια (π.χ. εάν έχεις ένα κλειστό σύστημα μπορείς να μετρήσεις τη μεταβολή της ενέργειας. Η ενέργεια θα μπορούσε να αυξηθεί καθώς η μάζα ελαττώνεται.)*

Ένα γενικό σχήμα, για την κατανόηση εκ μέρους των μαθητών των χημικών μεταβολών, έχει προταθεί από τον Anderson, που υποστηρίζει ότι οι χαρακτηριστικές αντιλήψεις των μαθητών μπορούν να συνοψισθούν ως εξής:

1. *Τα πράγματα είναι έτσι όπως συμβαίνουν.* Οι μαθητές δεν προβληματίζονται για το τι συμβαίνει σε μια χημική μεταβολή είτε αυτή είναι το σκούριασμα των σιδερένιων καρφιών είτε είναι το κάψιμο ενός κομματιού ξύλου.
2. *Μετακίνηση της ύλης.* Οι μαθητές ισχυρίζονται ότι συμβαίνει μια μεταβολή ή μια «νέα» ουσία εμφανίζεται, απλά επειδή αυτή έχει μετακινηθεί από κάπου αλλού: ο καπνός που σχηματίζεται, όταν καίγεται το ξύλο, φαίνεται να φεύγει (μετακινείται) από το ξύλο, με τη φλόγα.
3. *Μετατροπή.* Σε αυτή την περίπτωση, οι μαθητές θεωρούν ότι η νέα ουσία είναι η αρχική ουσία αλλά με άλλη μορφή. Μερικοί από τους μαθητές, που ρωτήθηκαν για το κάψιμο του κομματιού του ξύλου, ισχυρίστηκαν ότι η στάχτη ήταν κομμάτι του ξύλου αλλά με διαφορετική μορφή.
4. *Μετάλλαξη.* Εδώ, η αρχική ουσία θεωρείται ότι μεταλλάσσεται σε μια εντελώς άλλη ουσία.
5. *Χημική αλληλεπίδραση.* Κατά την άποψη αυτή, οι ουσίες θεωρούνται ότι συνίστανται από άτομα διαφορετικών στοιχείων. Νέες ουσίες μπορούν να σχηματιστούν από το διαχωρισμό ή την επανασύνδεση των ατόμων των αρχικών ουσιών.

Αν και η άποψη της χημικής αλληλεπίδρασης είναι εκείνη που εισάγεται με τη διδασκαλία, φαίνεται ότι και οι άλλες απόψεις και ερμηνείες των χημικών μεταβολών είναι αρκετά διαδεδομένες στον τρόπο σκέψης των μαθητών.

2.6.3 Παρανοήσεις σχετικές με τα οξέα, τις βάσεις και το pH

Ένα θέμα για το οποίο έχει γίνει αρκετή έρευνα για τις παρανοήσεις των μαθητών είναι αυτό των οξέων, βάσεων και αλάτων. Από τις σχετικές έρευνες προέκυψε ότι οι μαθητές είναι πιο εξοικειωμένοι με τα οξέα από ότι με τις βάσεις και ανιχνεύτηκαν οι παρακάτω παρανοήσεις:

- *Οξύ είναι κάτι που φθείρει τα υλικά και μπορεί να σε κάψει. Επομένως η ανίχνευση ενός οξέος μπορεί να γίνει δοκιμάζοντας αν φθείρει κάτι. Ένα ισχυρό οξύ φθείρει ταχύτερα τα υλικά από ότι ένα ασθενές.*
- *Μια βάση είναι κάτι ανάλογο με το οξύ.*
- *Ένα οξύ περιέχει ιόντα υδρογόνου και έχει πικρή γεύση. Αν πέσει στο δέρμα, θα τσούζει και είναι πολύ διαβρωτικό.*
- *Όλες οι ενώσεις που περιέχουν H στο μόριό τους είναι οξέα.*
- *Όλα τα οξέα είναι ισχυρά.*
- *Οι ουσίες που καίγονται είναι οξέα.*
- *Τα οξέα περιέχουν ιόντα υδροξειδίου.*
- *Όλα τα οξέα είναι δηλητήρια.*
- *Τα φρούτα περιέχουν βάσεις.*
- *Η εξουδετέρωση είναι η διάσπαση του οξέος ή η μεταβολή του.*
- *Κατά την αντίδραση υδροχλωρικού οξέος και υδροξειδίου του νατρίου παράγεται ένα αέριο.*
- *Όταν προσθέτουμε σε ένα οξύ μια βάση προκύπτει πάντα ουδέτερο διάλυμα, ανεξάρτητα με τις ποσότητες και το είδος του οξέος και της βάσης.*
- *Ένα ουδέτερο διάλυμα δεν περιέχει H^+ αλλά ούτε OH^- .*

Διαπιστώθηκε, ότι λίγοι μαθητές περιγράφουν την επίδραση μεταξύ οξέων και βάσεων με όρους χημικής αντίδρασης. Οι περισσότεροι τη χαρακτηρίζουν απλώς ως εξουδετέρωση και μάλιστα δεν πρέπει να μας εκπλήττει το γεγονός ότι θεωρούν πάντα το αποτέλεσμα της ένα ουδέτερο σώμα. Οι μαθητές συνήθως εισάγονται στις αντιδράσεις εξουδετέρωσης με παραδείγματα κατά τα οποία ισχυρά οξέα αντιδρούν με ισχυρές βάσεις για να παράγουν ένα ουδέτερο διάλυμα και επομένως, συμπεραίνουν ότι μέρος της σημασίας της εξουδετέρωσης είναι να παράγεται κάτι ουδέτερο. Η λέξη εξουδετέρωση άλλωστε περιέχει τον όρο

«ουδέτερο» και πιθανώς αυτό να συντηρεί την αντίληψη ότι η αντίδραση έχει πάντα προϊόν με pH ουδέτερο.

Τέλος, πρέπει να επισημανθεί μια διαφορά ανάμεσα στη Φυσική και στη Χημεία. Εκεί που ο φυσικός θα συναντήσει μαθητές με αντιλήψεις που προέρχονται από την καθημερινή εμπειρία τους, ο χημικός θα συναντήσει προβλήματα που προέρχονται κυρίως από διδασκαλία η οποία δεν είναι κατάλληλα σχεδιασμένη. Όταν δηλαδή η αλληλουχία των εννοιών, η ταχύτητα παρουσίασης των νέων θεωριών, το επίπεδο της αφαίρεσης, ή το μέγεθος των «κομματιών της γνώσης» που παρουσιάζονται δεν συμφωνούν με τις δυνατότητες των μαθητών.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Andersson B., Pupils' Explanations of Some Aspects of Chemical Reactions, Science Education, 1986, 70 (5), 549-563.
- Barker, V., Beyond Appearances: Students' misconceptions about basic chemical ideas, RSC, 2004
- Βοσνιάδου Σ., Εισαγωγή στη Ψυχολογία, τόμος Α, Gutenberg, Αθήνα 2001
- Βοσνιάδου Σ., Γνωσιακή Ψυχολογία, Gutenberg, Αθήνα 1998
- Chi M., Slotta J., and de Leeuw N., (1994) From Things to Processes: A Theory of Conceptual Change for Learning Science Concepts. Learning and Instruction, 4, 27-43.
- Di Sessa A., (1993) Towards an Epistemology of Physics. Cognition and Instruction, 10, 105-225.
- Driver R., Guesne E. and Tiberghien A., *Οι ιδέες των παιδιών στις φυσικές επιστήμες*, εκδ., Ένωση Ελλήνων Φυσικών – Τροχαλία, Αθήνα, 1985
- Posner G., Strike K., Hewson P., and Gertzog W., (1982) Accommodation of a Scientific Conception: Toward a Theory of Conceptual Change. Science Education, 66, 211-221.
- Σάλτα Κ., *Διερεύνηση των Γνώσεων, Δεξιοτήτων και Στάσεων που Αποκτούν οι Μαθητές από το Μάθημα της Χημείας κατά την Εκπαίδευσή τους και του Ρόλου που Παίζουν Αυτές στην Καθημερινή τους Ζωή*. Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Χημείας, ΕΚΠΑ, Αθήνα, 2007
- Vosniadou S., (1994) Capturing and Modeling the Process of Conceptual Change. Learning and Instruction, 4, 45-69.

3. ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΗΣ ΧΗΜΕΙΑΣ ΚΑΙ ΔΙΔΑΚΤΙΚΗ ΤΗΣ ΧΗΜΕΙΑΣ

3.1 Ιστορία της Χημείας και Χημική Εκπαίδευση

Κατά τις τελευταίες δεκαετίες, η Ιστορία της Χημείας έχει αρχίσει να εντάσσεται στην εκπαίδευση, καθώς ο ρόλος της στη χημική εκπαίδευση αναγνωρίζεται όλο και περισσότερο. Η Ιστορία της Χημείας προσφέρει εργαλεία στη Διδακτική της Χημείας να διερευνήσει και να αναπτύξει εκπαιδευτικά υλικά και στρατηγικές που προωθούν τη νοηματική μάθηση της Χημείας. Ο γενικός στόχος της χημικής εκπαίδευσης είναι να βοηθήσει μαθητές και σπουδαστές να αποκτήσουν κατανόηση με νόημα για τη φύση της ύλης και των μεταβολών της. Η συμβολή της Ιστορίας της Χημείας στην εκπαίδευση έγκειται στο ότι:

- προωθεί την καλύτερη κατανόηση των χημικών εννοιών και μεθόδων
- καταδεικνύει τη σημασία της ατομικής σκέψης και της δημιουργικότητας στην ανάπτυξη της επιστήμης
- είναι απαραίτητη για να γίνει κατανοητή η φύση της Χημείας
- εξανθρωπίζει το αντικείμενο της επιστήμης, καθιστώντας την λιγότερο αφηρημένη και πιο αξιαγάπητη στους μαθητές.
- δείχνει τη σχέση μεταξύ της Χημείας και των άλλων επιστημών
- επιτρέπει σε κάποιον να προσδιορίζει ευκολότερα την ψευδοεπιστήμη
- επιτρέπει στους εκπαιδευτικούς να επωφεληθούν από οποιοδήποτε παραλληλισμό μεταξύ της ανάπτυξης της ατομικής γνώσης Χημείας και της ιστορικής ανάπτυξης της γνώσης στη Χημεία, και
- επιτρέπει στους εκπαιδευτικούς να επιλύουν εύκολα πρακτικά προβλήματα της διδασκαλίας, όπως η καλύτερη οργάνωση του περιεχόμενου του μαθήματος και η διευκόλυνση ενσωμάτωσης της γνώσης στη διδακτέα ύλη.

(de Carvalho και Vannucchi 2000, Giunta 1998, Herron et al 1977, Kauffman 1987, 1989, Rasmussen 2007, Schwartz 1977)

Φυσικά υπάρχουν περιορισμοί που εμποδίζουν την ενσωμάτωση της ιστορίας της Χημείας στο πρόγραμμα σπουδών Χημείας. Πολλοί από αυτούς αφορούν στις ανησυχίες που συνήθως εκφράζονται για κάθε είδους νέα προσέγγιση. Άλλοι αφορούν στην απροθυμία να δεσμευτεί πολύτιμος διδακτικός χρόνος σε κάτι που αντιμετωπίζεται ως περιφερειακό του υπό μελέτη περιεχομένου. Ίσως όμως το μέγιστο εμπόδιο στην ενσωμάτωση της ιστορίας στα μαθήματα

Χημείας είναι η δυνατότητα πρόσβασης των εκπαιδευτικών σε μέσα με τα οποία μπορούν να διδάξουν αποτελεσματικά την ιστορία των επιστημόνων και των ανακαλύψεων τους. Αποτελεί πρόκληση η χωρίς αλλοιώσεις διύλιση της σύνθετης ιστορίας των γεγονότων και της ιστορικής διαδοχής των μοντέλων σε μορφή εύκολης απομνημόνευσης και σε κατάλληλο μέγεθος, για χρήση από τους εν ενεργεία εκπαιδευτικούς.

Η γνώση της Ιστορίας της Χημείας είναι πολύτιμο εργαλείο στα χέρια των εκπαιδευτικών για την οργάνωση και επεξεργασία της διδασκόμενης ύλης, όπως και για την πρόβλεψη των δυσκολιών που αντιμετωπίζουν οι μαθητές. Παράδειγμα αποτελούν οι έννοιες του ατόμου και του μορίου. Ενώ στην πραγματική ιστορία της επιστήμης, χρειάστηκαν περίπου 50 έτη για να διακρίνουν σαφώς οι επιστήμονες τις διαφορές μεταξύ των εννοιών του ατόμου και του μορίου, εντούτοις, οι σημερινοί εκπαιδευτικοί χρειάζονται το πολύ 45 λεπτά που εισάγουν αυτές τις δύο βασικές θεωρητικές έννοιες στους μαθητές στο μάθημα της Χημείας (Lin, 1998). Δεν πρέπει να μας εκπλήττει, επομένως, το γεγονός ότι οι μαθητές έχουν δυσκολία να κατανοήσουν τα άτομα και τα μόρια. Ένα άλλο παράδειγμα αφορά στα αέρια σώματα. Οι χημικοί, ιστορικά, χρειάστηκαν πολύ περισσότερο χρόνο για να αναγνωρίσουν τα αέρια από όσο χρειάστηκαν για τα στερεά και τα υγρά. Κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης της Χημείας, το αέριο αρχικά σήμαινε τον αέρα, κατόπιν προσδιορίστηκαν οι διάφορες μορφές αέρα (π.χ. καπνός, θειούχος αέρας, αποκρουστικές και γλυκές μυρωδιές), και χρειάστηκε ένας αιώνας για να αναγνωριστούν και προσδιοριστούν από τους Scheele, Priestley, και Lavoisier οι αέριες ουσίες ως ευδιάκριτες και ξεχωριστές ουσίες κάτω από ορισμένες συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης. Σήμερα, εξ αιτίας της προφανούς απλότητας των αερίων και της εύκολης προσέγγισης τους με την εξίσωση των ιδανικών αερίων, θεωρείται ότι η αέρια κατάσταση της ύλης μπορεί να κατανοηθεί ευκολότερα από τους μαθητές στην αρχή της μελέτης της Χημείας.

3.1.1 Προσεγγίσεις ενσωμάτωσης της Ιστορίας της Χημείας στη διδασκαλία

Παραδοσιακά υπάρχουν δύο προσεγγίσεις για τον τρόπο που μπορεί να αξιοποιηθεί η Ιστορία της Χημείας στη διδασκαλία της Χημείας. Η πρώτη, την οποία υπερασπίζονται κυρίως οι χημικοί εκπαιδευτικοί, στηρίζεται στη χρήση βιογραφικών ιστοριών και χιουμοριστικών ανέκδοτων ως μέσο «εξανθρωπισμού» της Χημείας για τους μαθητές. Η δεύτερη, την οποία υπερασπίζονται κυρίως οι ιστορικοί της επιστήμης, χρησιμοποιεί την Ιστορία της Χημείας ως μελέτη της επιστημονικής μεθόδου ή της επίδρασης της επιστήμης και της τεχνολογίας στην κοινωνία. Υπάρχει, όμως, και μια τρίτη προσέγγιση, στην οποία η μελέτη της Ιστορίας της

Χημείας μας παρέχει ένα πλαίσιο για το πώς να οργανώσουμε λογικά τις έννοιες και τα μοντέλα της Χημείας, αποκαλύπτοντας ταυτόχρονα πολλές από τις αλληλεξαρτήσεις τους.

Η βιογραφική προσέγγιση

Η ιστορική προσέγγιση, με έμφαση στους ανθρώπους και την κοινωνία είναι ένα εξαιρετικό εργαλείο για να αναδειχθεί η Χημεία ως ανθρώπινη δραστηριότητα (Herron et al. 1977). Ένας από τους ευκολότερους τρόπους αποτελεί η βιογραφική προσέγγιση (Kauffman 1989). Τα οφέλη από τη βιογραφική προσέγγιση της Ιστορίας στη διδασκαλία της Χημείας έχουν αναγνωριστεί ευρέως, και υπάρχουν διάφορες δυνατές μέθοδοι ενσωμάτωσης βιογραφιών επιστημόνων στα μαθήματα Χημείας. Τα σύντομα βιογραφικά που περιλαμβάνονται συχνά στα σχολικά εγχειρίδια είναι χαρακτηριστικά παραδείγματα εξιδανικευμένης ιστορίας, αλλά προσφέρουν ένα καλό σημείο εκκίνησης για να παρουσιάσεις κάποιον επιστήμονα. Η ζωή και το έργο του επιστήμονα μπορεί στη συνέχεια να εξεταστεί σε βάθος από το δάσκαλο με διάλεξη και με καθοδηγούμενες συζητήσεις ή μπορεί να κατευθύνει ένα project που θα αναπτύξουν οι μαθητές, και μπορεί να συμπεριλάβει συγγραφή μικρών λεξικών/ λημμάτων εγκυκλοπαίδειας ή άρθρων, παρουσιάσεις, ή ακόμα και ομαδοσυνεργατικά σχέδια έρευνας και παρουσιάσεις (Carroll & Seeman 2001).

Η εξιδανικευμένη ιστορία μπορεί είναι πιο εύπεπτη, δίνει όμως μια λανθασμένη εικόνα της ιστορίας, και καταργεί τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί η ιστορία ως ισχυρό εργαλείο διδασκαλίας. Μια αληθινή ιστορική προσέγγιση, η οποία περιλαμβάνει όλα τα σφάλματα, τις προσεγγίσεις, και τα ανθρώπινα ελαττώματα επιτρέπει στους μαθητές να παρακολουθήσουν την πραγματικότητα της επιστήμης (Schwartz 1977). Με αυτό το τρόπο, οι μαθητές μπορούν να δουν ότι, ενώ η ευφυΐα και η εκπαίδευση είναι σημαντική, χρειάζονται επίσης και ενθουσιασμός, αισιοδοξία, όρεξη για σκληρή δουλειά και λίγη τύχη. Η αναγνώριση ότι μεγάλες μορφές της χημείας ήταν ανθρώπινα όντα με δυνατά και αδύνατα σημεία που δεν διαφέρουν καθόλου από τους μαθητές μπορούν να τους δώσει την εμπιστοσύνη που χρειάζονται για να προσπαθήσουν και οι ίδιοι. Η αληθινή ιστορία δίνει παραδείγματα περιπτώσεων μεγάλων ανακαλύψεων που δεν έχουν γίνει από έναν και μόνο επιστήμονα, αλλά είναι αποτελέσματα της εργασίας, και της διορατικότητας ομάδας επιστημόνων.

Η ιστορία της Χημείας και η φύση της επιστημονικής γνώσης.

Οι περιγραφές/αναφορές των επιστημόνων για τις ανακαλύψεις τους μπορούν να ρίξουν φως στη φύση της επιστήμης. Οι περιγραφές αυτές πρέπει να επιλέγονται προσεκτικά (και συχνά να σχολιάζονται ή να συμπληρώνονται) ώστε να είναι κατανοητές από τους μαθητές και

χρήσιμες στην τάξη. Οι περιγραφές πρέπει να αποκαλύπτουν τη σχέση ανάμεσα σε αυτό που ένας ερευνητής παρατήρησε και στο συμπέρασμα που κατέληξε και, επίσης, μπορούν να αποκαλύπτουν τα όρια της έρευνας, που υπαγορεύονται από την προκαταρκτική παρατήρηση, και ακόμη και τις περιπτώσεις σκέψεων που αποδείχθηκαν λανθασμένες ή τυχαίες.

Η εξέλιξη κάποιων χημικών εννοιών μπορεί να διευκολύνει την κατανόηση αυτών των εννοιών. Η ατομική δομή είναι σίγουρα ένα θέμα που επιδέχεται την προσέγγιση «η ιστορία μιας ιδέας». Βλέποντας πως τα διαδοχικά μοντέλα ενσωματώνουν τη νέα γνώση, μπορούμε να δούμε πώς η επιστημονική γνώση μπορεί να κατασκευαστεί και να αναδειχούμε τα στοιχεία πίσω από την τρέχουσα κατανόηση. Αν θέλουμε οι μαθητές μας να έχουν μια πραγματική εννοιολογική κατανόηση της επιστημονικής προόδου και της πρακτικής, τότε πρέπει να πάμε πέρα από το αναμάσημα πειραματικών λεπτομερειών (Niaz and Rodriguez 2001). Η χρήση της ιστορίας μας επιτρέπει να πετύχουμε αυτό το στόχο, παρέχοντας μας παράλληλα ένα πιο πλούσιο περιβάλλον μάθησης για τους μαθητές μας.

3.2 Ιστορική οργάνωση των χημικών εννοιών

Η μελέτη της ιστορίας της Χημείας μας παρέχει ένα σχήμα ταξινόμησης (Πίνακας 5.1), στο οποίο οι έννοιες και τα μοντέλα της Χημείας διαιρούνται σε τρεις ευρείες κατηγορίες ή διαστάσεις, ανάλογα με το αν εξετάζουν τη σύσταση/δομή, την ενέργεια, ή το ρόλο του χρόνου στις χημικές διαδικασίες (Jensen, 1998). Κάθε μια από αυτές τις διαστάσεις μπορεί, στη συνέχεια, να προσεγγιστεί σε οποιοδήποτε από τρία εννοιολογικά επίπεδα –το μακροσκοπικό (αγγλικά molar από τη λατινική λέξη moles, που σημαίνει μεγάλη μάζα), το μοριακό (αγγλικά molecular από τη λατινική λέξη molecula που σημαίνει κάτι πολύ μικρό. Από την ίδια λέξη molecula προέρχεται και το molecule = μόριο), και το ηλεκτρικό (electrical)- καθένα από τα όποια αντιστοιχεί ιστορικά σε μια χημική επανάσταση.

Ο όρος «μακροσκοπικός» (molar στα Αγγλικά) εισήχθη αρχικά στη Χημεία το 1865 από το γερμανικό χημικό August W. Hofmann προκειμένου να περιγράψει τις μαζικές ή μηχανικές ιδιότητες της ύλης, σε αντίθεση με τις μοριακές ή «φυσικές» ιδιότητές της αφ' ενός, και τις ατομικές ή «χημικές» ιδιότητές της, αφ' ετέρου. Επίσης, χρησιμοποιείται ο όρος «μοριακό» αντί τον όρο «ατομικό-μοριακό», θεωρώντας ένα μεμονωμένο άτομο ως ένα μονοατομικό μόριο.

Πίνακας 3. 1 Ιστορική οργάνωση των χημικών εννοιών

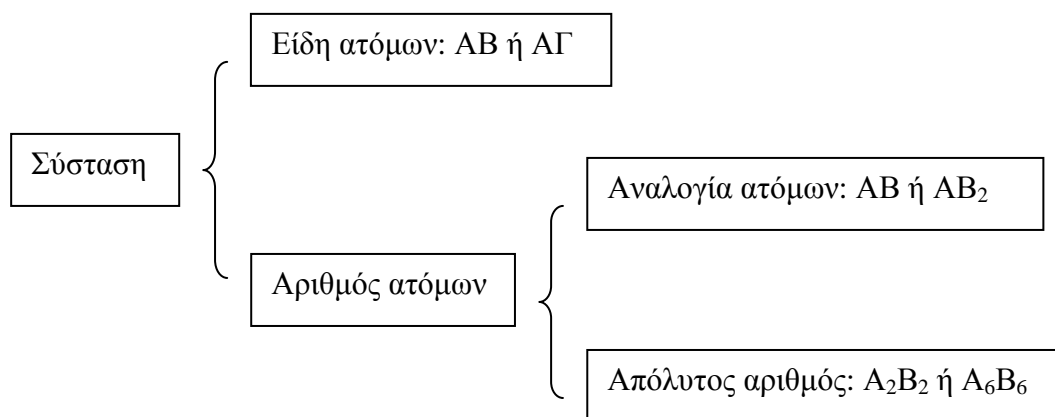
Επίπεδα		Διαστάσεις	
Μακροσκοπικό	Σύσταση και δομή 1. Σχετική σύσταση χημικών στοιχείων και χημικών ενώσεων, διαλυμάτων και μιγμάτων.	Ενέργεια 4. Θερμιδομετρικές ενθαλπίες αντίδρασης, εντροπίες & ενθαλπίες σχηματισμού. Ελεύθερες ενέργειες & σταθερές ισορροπίας.	Χρόνος 7. Πειραματικοί νόμοι ταχύτητας. Πειραματικές παράμετροι του Arrhenius και ενέργειες ενεργοποίησης.
Μοριακό	2. Μοριακοί & συντακτικοί τύποι. Ερμηνεία των διαφόρων μορφών ως παραλλαγές στην απόλυτη σύσταση (πολυμερή σώματα) και στη δομή (ισομερή).	5. Ερμηνεία των ενθαλπιών σχηματισμού με βάση τις ενθαλπίες διάσπασης σε άτομα, των μέσων ενεργειών δεσμών, κ.λπ. Μοριακή ερμηνεία της εντροπίας.	8. Μοριακοί μηχανισμοί αντιδράσεων. Μοριακή θεώρηση των ενεργειών ενεργοποίησης και των ενεργοποιημένων συμπλόκων
Ηλεκτρικό	3. Ηλεκτρονικοί τύποι (τύποι Lewis & ηλεκτρονικές διαμορφώσεις). Παραλλαγές στην ηλεκτρονική και την πυρηνική σύσταση (ιόντα & ισότοπα) και στη δομή (διεγερμένες καταστάσεις).	6. Υπολογισμός των ενεργειών με βάση την ηλεκτρονική δομή. Ερμηνεία των φασμάτων.	9. Μηχανισμοί ιοντικών & φωτοχημικών αντιδράσεων. Ισοτοπικό φαινόμενο.

3.2.1 Η πρώτη διάσταση: σύσταση/δομή

Η σύσταση και η δομή είναι λογικά διακριτοί όροι της μοριακής «ανατομίας», που όμως συνδέονται στενά μεταξύ τους. Η δομή, εξ ορισμού, είναι μια μοριακή έννοια και επομένως αυτή η πτυχή απουσιάζει από το μακροσκοπικό επίπεδο, όπου ακόμη και η έννοια της σύστασης περιορίζεται σοβαρά εξ αιτίας της μη αναφοράς στα άτομα. Με βάση τις εργαστηριακές τεχνικές και με τη χρήση του κανόνα των φάσεων, μπορούμε να διακρίνουμε σε αυτό το επίπεδο τα χημικά στοιχεία από τις χημικές ενώσεις, και τα διαλύματα από τα μίγματα. Μπορούμε επίσης να προσδιορίσουμε το είδος των στοιχείων που περιέχονται σε ένα υλικό και τη αναλογία των ποσοτήτων τους, εκφραζόμενη ως ποσοστό % κατά βάρος, χωρίς να γίνεται καμία αναφορά σε χημικούς τύπους.

Εάν βρεθεί ότι δύο υλικά περιλαμβάνουν τα ίδια είδη στοιχείων, έχουν την ίδια κατά βάρος σύσταση και όμως έχουν διαφορετικές ιδιότητες, για να τα διακρίνουμε τους δίνουμε κάποια πρόσθετο χαρακτηρισμό. Γενικά, αυτό κάνουμε όταν δηλώνουμε τη φυσικής τους κατάσταση (αέριο, υγρό, στερεό) ή, εάν η φυσική τους κατάσταση είναι η ίδια, με το χρώματός τους (π.χ., λευκός, κόκκινος, και μαύρος φωσφόρος), ή με τη μορφή του κρυστάλλου (π.χ., ρομβικό και μονοκλινές θείο).

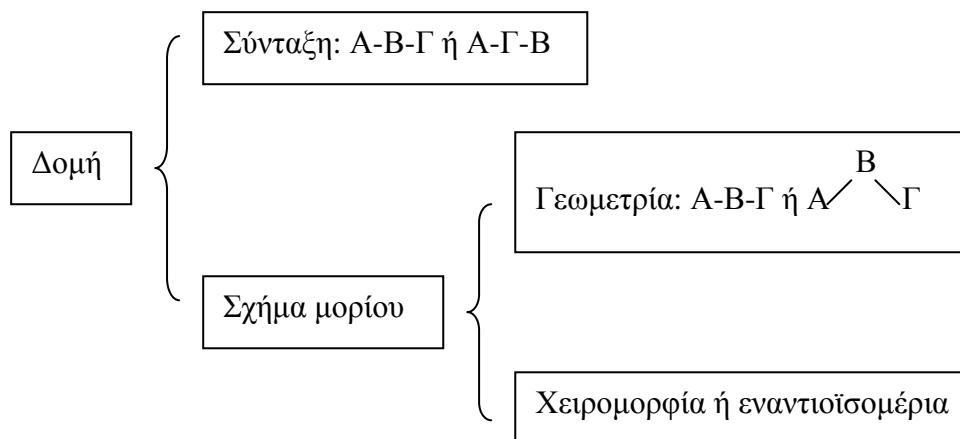
Ο όρος σύσταση στο μοριακό επίπεδο (Σχήμα3.1), χρησιμοποιείται για όλες τις πληροφορίες σχετικά με το είδος και τον αριθμό των ατόμων που περιέχονται σε ένα μόριο.



Σχήμα3. 1. Σύσταση σε μοριακό επίπεδο

Η ποιοτική ανάλυση ενός υλικού μας δίνει πληροφορίες σχετικά με το είδος ατόμων και η ποσοτική ανάλυση μας δίνει τον αριθμό ατόμων που υπάρχουν σε ένα μόριο. Στην περίπτωση των διακριτών μορίων, η ποσοτική ανάλυση γίνεται σε δύο στάδια- το ένα δίνει πληροφορίες για την αναλογία των ατόμων που περιέχονται στο μόριο, δηλαδή τον εμπειρικό τύπο, και το άλλο δίνει πληροφορίες για τον απόλυτο αριθμό ατόμων, δηλαδή το μοριακό τύπο. Φυσικά, στην περίπτωση των στερεών, όπως το χλωριούχο νάτριο, που δεν περιέχουν διακριτές αλλά εκτεινόμενες μοριακές μονάδες, μόνο ο εμπειρικός τύπος μπορεί ουσιαστικά να βρεθεί.

Οι ουσίες που διαφέρουν είτε στο είδος των ατόμων είτε στην αναλογία των ατόμων που περιέχουν θεωρούνται διαφορετικές και έχουν διαφορετικούς τύπους και ονόματα. Ο όρος δομή στο μοριακό επίπεδο (Σχήμα 3.2), χρησιμοποιείται για όλες τις πληροφορίες σχετικά με τον τρόπο σύνδεσης και την τρισδιάστατη χωρική διάταξη των ατόμων. Οι ουσίες που έχουν ίδια σύσταση αλλά διαφέρουν σε κάποια πτυχή της δομής τους, θεωρούνται «ισομερείς», και μπορούν, στη συνέχεια, να διαφοροποιηθούν περαιτέρω είτε ως «συντακτικά ισομερή», ως «γεωμετρικά ισομερή», είτε ως «χειρομορφικά ισομερή», ανάλογα σε ποια πτυχή της δομής (σύνταξη, γεωμετρία ή χειρομορφία) διαφέρουν σε μοριακό επίπεδο.



Σχήμα 3. 2 Δομή σε μοριακό επίπεδο

Εντούτοις, όσες διευκρινήσεις και αν δίνει το μοριακό επίπεδο αφήνει πολλά ερωτήματα αναπάντητα. Γιατί τα άτομα ενώνονται μαζί για να σχηματίσουν τα μόρια; Γιατί συνδυάζονται με ορισμένες αναλογίες αλλά όχι με άλλες; Γιατί ένα ισομερές είναι σταθερότερο από ένα άλλο; Για να απαντήσουμε σε αυτές τις ερωτήσεις πρέπει να κινηθούμε προς το τρίτο -το ηλεκτρικό- επίπεδο του Πίνακα 3.1. Ο όρος ηλεκτρικό προέρχεται από τη θεωρία ότι όλη η ύλη αποτελείται από ένα μικρό σύνολο ηλεκτρικών σωματιδίων (στην περίπτωση της Χημείας: τα ηλεκτρόνια, τα πρωτόνια, και τα νετρόνια), ο όρος ηλεκτρονικό, αναφέρεται μόνο στην πτυχή των ηλεκτρονίων και ο όρος πυρηνικό, αναφέρεται μόνο στην πτυχή των πρωτονίων/νετρονίων αυτής της ηλεκτρικής σύστασης/ δομής. Μπορούμε τώρα να μιλήσουμε για τη διευθέτηση των ηλεκτρονίων και των πυρήνων και να περιγράψουμε αυτήν τη διευθέτηση είτε χρησιμοποιώντας μια ηλεκτρονική διαμόρφωση είτε έναν τύπο Lewis.

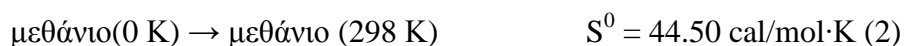
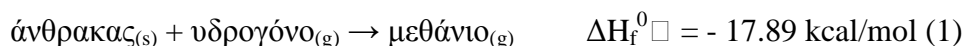
Επίσης, σε αυτό το επίπεδο δίνονται ερμηνείες των αποκλίσεων σε ιδιότητες που δεν μπορούν να οφείλονται σε μια μεταβολή στο είδος ή στον αριθμό ή στη διάταξη των ατόμων. Κατά συνέπεια μπορούν να εξηγηθούν μεταβολές σε ιδιότητες με τη μεταβολή είτε της ηλεκτρονικής σύστασης (δημιουργία ιόντων) είτε της ηλεκτρονικής δομής (δημιουργία διεγερμένων καταστάσεων). Μπορεί επίσης να ερμηνευθούν ανιχνεύσιμες μεταβολές είτε με τη μεταβολή της ενδοπυρηνικής σύστασης (δημιουργία ισοτόπων) είτε της ενδοπυρηνικής δομής (δημιουργία των αποκαλούμενων πυρηνικών ισομερών).

3.2.2. Η δεύτερη διάσταση: ενέργεια

Οι ατομικές και μοριακές δομές μπορούν να συνδεθούν με την ενέργεια και να χαρακτηριστούν από τη δυνατότητά τους να αποθηκεύσουν και να μεταφέρουν την ενέργεια. Η ενέργεια είναι το κοινό νόμισμα των χημικών φαινομένων και, επομένως, διαδραματίζει

έναν βασικό ρόλο στον καθορισμό της δυνατότητας πραγματοποίησης μιας χημικής αντίδρασης. Μεταφορικά, η σύσταση και η δομή αποτελούν τη «μοριακή ανατομία», και η ενεργειακή διάσταση αποτελεί τη «μοριακή φυσιολογία».

Όπως η σύσταση/ δομή, έτσι και η ενεργειακή διάσταση απεικονίζεται στα τρία επίπεδα της Χημείας (Πίνακας 3.1). Στο μακροσκοπικό επίπεδο, για κάθε ουσία, μπορούμε να μετρήσουμε την ενθαλπία σχηματισμού και την εντροπία χωρίς γνώση είτε της απόλυτης μοριακής σύστασής της είτε της μοριακής της δομής:



Κατά συνέπεια, οι τρεις μορφές του φωσφόρου μπορούν να διακριθούν σε αυτό το επίπεδο, όχι μόνο βάσει του χρώματός τους, αλλά βάσει των μεμονωμένων τιμών αυτών των δύο θερμοδυναμικών παραμέτρων (Πίνακας 3.2). Χρησιμοποιώντας τις τιμές των παραπάνω θερμοδυναμικών μεγεθών (ενθαλπίες σχηματισμού και εντροπίες), μπορούμε να υπολογίσουμε ενθαλπίες και εντροπίες αντιδράσεων, ελεύθερες ενέργειες Gibbs αντιδράσεων, και σταθερές ισορροπίας.

Πίνακας 3. 2 Θερμοδυναμικές σταθερές για τις αλλοτροπικές μορφές του φωσφόρου

Παράμετροι	Αλλοτροπικές μορφές φωσφόρου		
	Λευκός P	Ερυθρός P	Μαύρος P
$\Delta H_f^0 / \text{kcal}\cdot\text{mol}^{-1}$	0.00	-4.41	-10.28
$S^0 / \text{kcal}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	9.82	5.45	-4.0

Στο μοριακό επίπεδο μπορούμε να συσχετίσουμε τις σχετικές τιμές της εντροπίας για υλικά με ίδια σύσταση με το βαθμό στον οποίο αυτές οι δομές τους περιορίζουν την κίνηση των μορίων και των ατόμων τους. Όσο λιγότεροι ή όσο χαλαρότεροι είναι οι περιορισμοί, τόσο μεγαλύτερη είναι η εντροπία της δομής:

$$S^0 (\text{λευκός P}) > S^0 (\text{κόκκινος P}) > S^0 (\text{μαύρος P}) \quad (3)$$

ανεξάρτητα μόρια P ₄ :	εκτεινόμενες αλυσίδες:	εκτεινόμενα επίπεδα:
κανένας περιορισμός	περιορισμένη κίνηση	περιορισμένη κίνηση
στη μοριακή κίνηση	σε μια διάσταση	σε δύο διαστάσεις

Με αυτόν τον τρόπο μπορεί να γίνει κατανοητή η φυσική βάση της εντροπίας, πράγμα που έλειπε από το μακροσκοπικό επίπεδο. Στο μοριακό επίπεδο μπορούμε, επίσης, να

καταστρώσουμε ένα θερμοδυναμικό κύκλο Born-Haber και να υπολογίσουμε μέσες ενέργειες χημικών δεσμών.

Στο ηλεκτρικό επίπεδο, με βάση την ηλεκτρονική και πυρηνική σύσταση/ δομή ενός υλικού υπολογίζονται οι ηλεκτρονικές ενέργειες από τις οποίες υπολογίζονται οι ενθαλπίες διάσπασης σε άτομα (επίπεδο 2) και οι ενθαλπίες σχηματισμού (επίπεδο 1). Οι μεταβολές στην ηλεκτρονική ενέργεια μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για να υπολογιστούν οι φασματικές μεταπτώσεις.

3.2.3 Η τρίτη διάσταση: χρόνος

Η τελευταία διάσταση της Χημείας είναι ο χρόνος. Όπως φαίνεται στον Πίνακα 1, στο μακροσκοπικό επίπεδο μετρούμε τους εμπειρικούς νόμους ταχύτητας, καθώς επίσης τις ενέργειες και τις εντροπίες ενεργοποίησης. Στο μοριακό επίπεδο, δίνεται μια μοριακή ερμηνεία του νόμου της ταχύτητας με το μηχανισμό αντίδρασης και της ενέργειας ενεργοποίησης με το ενεργοποιημένο σύμπλοκο. Στο ηλεκτρικό επίπεδο προστίθενται οι μηχανισμοί που περιλαμβάνουν ιόντα και διεγερμένες καταστάσεις, καθώς επίσης και το ισοτοπικό φαινόμενο. Με τη χρήση των δομών συντονισμού για τον υπολογισμό του προτιμώμενου σημείου της ηλεκτρονιόφιλης προσβολής στα μονουποκατεστημένα βενζόλια, αξιολογούμε ποια, από μια σειρά μεταβατικές καταστάσεις, έχει την πιο ικανοποιητική ενέργεια ενεργοποίησης.

3.2.4 Συνδέσεις μεταξύ των τριών επιπέδων

Εκτός από την περιγραφή της σύστασης/ δομής, της ενέργειας, και της χρονικής διάστασης της Χημείας στα μακροσκοπικά, μοριακά, και ηλεκτρικά επίπεδα, χρειάζεται η περιγραφή του τρόπου με τον οποίο αυτά τα επίπεδα είναι συνδεδεμένα. Τα μακροσκοπικά και μοριακά επίπεδα συνδέονται με το αξίωμα ότι οι συγκεκριμένες μακροσκοπικές ιδιότητες των ουσιών εκφράζονται ως συνάρτηση του μοριακού χαρακτήρα τους, της συγκέντρωσης, και της θερμοκρασίας:

$$\text{συγκεκριμένες μακροσκοπικές ιδιότητες} = f(\text{μοριακού χαρακτήρα, συγκέντρωσης, θερμοκρασίας}) \quad (7)$$

όπου έχουμε χρησιμοποιήσει τον όρο «μοριακός χαρακτήρας» ως συνοπτική ετικέτα και για τη μοριακή σύσταση και δομή. Ο όρος «συγκεκριμένη ιδιότητα» αναφέρεται σε εκείνες τις ιδιότητες, όπως το χρώμα, ο δείκτης διαθλάσεως, το σημείο ζέσεως, το σημείο τήξης, η πυκνότητα, κ.λπ., οι οποίες είναι χαρακτηριστικές μιας ουσίας αλλά ανεξάρτητες του μεγέθους, της μορφής, και του τρόπου ανάλυσης του δείγματος. Είναι ιδιότητες που μετράμε

στο εργαστήριο σε μακροσκοπικό επίπεδο. Η εξίσωση 7 δηλώνει ότι κάθε μετρήσιμη διαφορά στις συγκεκριμένες ιδιότητες στο μακροσκοπικό επίπεδο, υπό σταθερή θερμοκρασία και συγκέντρωση, πρέπει να αντιστοιχεί σε μια αντίστοιχη διαφορά της μοριακής σύστασης/δομής.

Ομοίως, τα μοριακά και ηλεκτρικά επίπεδα συνδέονται με το αξίωμα ότι ο μοριακός χαρακτήρας ενός υλικού είναι συνάρτηση της ηλεκτρονικής και πυρηνικής σύστασης και δομής του:

$$\text{μοριακός χαρακτήρας} = f(\text{ηλεκτρονικής \& πυρηνικής σύστασης/δομής}) \quad (8)$$

Εφαρμόζουμε αυτό το αξίωμα κάθε φορά που γράφουμε έναν τύπο Lewis ή προβλέπουμε τη γεωμετρία ενός μορίου χρησιμοποιώντας τη θεωρία VSEPR.

Το ενδιαφέρον για την ταξινόμηση των διάφορων θεωρητικών εννοιών και των μοντέλων της σύγχρονης Χημείας βρίσκεται στη χρήση της για ανίχνευση και διευκρίνιση λαθών και ασαφειών κατά την παρουσίαση αυτών των εννοιών και των μοντέλων και κατά συνέπεια στην αποτελεσματική διδασκαλία τους.

Δυστυχώς, πολλές φορές δεν επιχειρείται σαφής επισήμανση της ύπαρξης των τριών επιπέδων και αυτά αναμειγνύονται τυχαία. Παράδειγμα αποτελεί το αέριο διοξυγόνο (O_2 , dioxygen) τρεις περιγραφές του οποίου δίνονται στον Πίνακα 3.3, και η κάθε μία από αυτές αντιστοιχεί σε ένα από τα τρία επίπεδα.

Πίνακας 3. 3 Το αέριο διοξυγόνο (O_2) όπως αντιμετωπίζεται σε μακροσκοπικό, μοριακό και ηλεκτρικό επίπεδο

Επίπεδο	Περιγραφή
Μακροσκοπικό	Ένα άχρωμο, άοσμο, παραμαγνητικό, υψηλής δραστηριότητας αέριο, απαραίτητο για τη ζωή, με περιεκτικότητα 21% v/v στον ατμοσφαιρικό αέρα, σ.τ.=54,8 K, σ.β.=90,2 K, πυκνότητα=1,43kg/m ³ στους 273 K.
Μοριακό	Ένα γραμμικό, διπλού δεσμού διατομικό μόριο (O_2) με μοριακό βάρος 31,98 amu.
Ηλεκτρικό	$:\ddot{O}=\ddot{O}:$ ή $(2s \sigma)^2(2s \sigma^*)^2(2p \pi_x)^2(2p \pi_y)^2(2p \sigma)^2(2p \pi_x^*)^1(2p \pi_y^*)^1$

Η αλληλουχία των περιγραφών αυτών δεν αποδίδει μόνο τη λογικότερη σειρά για την ανάπτυξη μιας όλο και πιο αφηρημένης περιγραφής του αερίου διοξυγόνου, αλλά συμβαίνει να αντιστοιχεί επίσης στην πραγματική ιστορική εξέλιξη των απόψεων σχετικά με αυτή τη σημαντική χημική ουσία. Πολύ συχνά αυτή η σειρά ανακατώνεται στα εγχειρίδια και οι σπουδαστές αντιμετωπίζουν τον τύπο Lewis ή τη διαμόρφωση των μοριακών τροχιακών για

το αέριο διοξυγόνο πριν ακούσουν για την εμφάνιση, τις μακροσκοπικές ιδιότητες, τη φυσική προέλευση, την παρασκευή του, ή τη χημική του δραστηριότητα;

Όπως προαναφέρθηκε το σχήμα ταξινόμησης του Πίνακα 3.1 προέκυψε από τη μελέτη της ιστορίας της Χημείας και αντικατοπτρίζει την ανάπτυξη της σύγχρονης Χημείας, όπως ακριβώς η ανατομία ενός ζωντανού οργανισμού είναι αντανάκλαση της βιολογικής του εξέλιξης.

3.3 Οι χημικές επαναστάσεις

Έχει υποστηριχθεί ότι η ανάπτυξη της Χημείας καθορίστηκε από τρεις «χημικές επαναστάσεις και η κάθε μία από αυτές αντιστοιχεί σε ένα από τα τρία επίπεδα ταξινόμησης των χημικών εννοιών.

Η πρώτη χημική επανάσταση (1770-1790): Πρώτη χημική επανάσταση θεωρείται αυτή που μας εισήγαγε στη σημερινή μακροσκοπική άποψή μας για τη Χημείας, και είναι η διάσημη επανάσταση του Lavoisier. Αυτή εκτείνεται κατά προσέγγιση την περίοδο μεταξύ του 1772, όταν Lavoisier άρχισε να ενδιαφέρεται για το ρόλο των αερίων στις χημικές αντιδράσεις, και του 1789, όταν δημοσίευσε το διάσημο βιβλίο *Traité élémentaire de chimie*. Αν και η χημική βιβλιογραφία της περιόδου επικεντρωνόταν γύρω από το φαινόμενο της καύσης και στην επίθεση κατά της θεωρίας του φλογιστού, οι ιστορικοί έχουν αρχίσει να συνειδητοποιούν ότι τα εννοιολογικά θεμέλια και οι συνέπειες αυτής της επανάστασης είναι πολύ πιο σύνθετα. Συγκεκριμένα, ο ιστορικός Robert Siegfried επανειλημμένα έχει υποστηρίξει ότι η αληθινή σημασία της εργασίας του Lavoisier βρίσκεται στις επιπτώσεις που είχε στην έννοια της χημικής σύστασης στο μακροσκοπικό επίπεδο παρά στη συγκεκριμένη αναθεώρηση των μοντέλων για την καύση και την αναπνοή.

Η δεύτερη χημική επανάσταση (1855-1875): Αντίθετα από την πρώτη επανάσταση, η δεύτερη χημική επανάσταση, που μας εισήγαγε στη μοριακή άποψή μας για τη Χημεία, δεν οφειλόταν πρώτιστα σε ένα μόνο άτομο αλλά σε μια ολόκληρη ομάδα χημικών που συνεισέφεραν στις αναδυόμενες έννοιες του σθένους, της μοριακής δομής, και της επιτυχούς επίλυσης του προβλήματος προσδιορισμού των ατομικών και μοριακών βαρών. Εκτείνεται κατά προσέγγιση την περίοδο μεταξύ του 1852, όταν ο Edward Frankland αναγνώρισε ατελώς την έννοια του σθένους, και του 1874, όταν ο Jacobus van't Hoff πρόβαλε ως αξίωμα το τετραεδρικό άτομο του άνθρακα. Ένα από τα σημαντικά προϊόντα αυτής της επανάστασης ήταν η αντικατάσταση των προηγούμενων δυαδιστικών ταξινομήσεων με τις ταξινομήσεις σθένους, με αποκορύφωμα την ανακάλυψη του περιοδικού νόμου από τον Mendeleev και άλλους τη δεκαετία του 1860.

Η τρίτη χημική επανάσταση (1904-1924): Αντίθετα από την πρώτη και τη δεύτερη επανάσταση, που ήταν κατά ένα μεγάλο μέρος εσωτερικές της Χημείας, η τρίτη χημική επανάσταση, που μας εισήγαγε στην ηλεκτρική άποψή μας για τη Χημεία μοιράζεται με τη Φυσική. Για τη Χημεία, τουλάχιστον, εκτείνεται κατά προσέγγιση την περίοδο μεταξύ του 1904, όταν ο Richard Abegg πρότεινε αρχικά μια συσχέτιση μεταξύ του περιοδικού πίνακα και της αρίθμησης των ηλεκτρονίων σθένους, και του 1923, όταν ο Gilbert Newton Lewis δημοσίευσε το κλασικό του έργο «*Valence and the Structure of Atoms and Molecules*».

Οι γνωστές επαναστάσεις στη Φυσική που συνδέονται με την ανάπτυξη της θεωρίας σχετικότητας και της κβαντικής μηχανικής θεωρούνται πραγματικά επεισόδια μέσα σε αυτήν την ευρύτερη ανάπτυξη μιας «ηλεκτρικής αντίληψης του κόσμου», η οποία αντικατέστησε τη μηχανική αντίληψη του κόσμου που είχε εξουσιάσει τη δυτική επιστήμη από την αρχή του 17ου αιώνα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Benfey, O.T. (1957). Dimensional Analysis of Chemical Laws and Theories. *Journal of Chemical Education*, 34, 286-288.
- Benfey, O.T. (1963) Concepts of Time in Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 40, 574-577.
- Benfey, O.T. (1982). The Concepts of Chemistry-Mechanical, Organicist, Magical or What? *Journal of Chemical Education*, 59, 395-398.
- Carroll, F. A. & Seeman, J. I. (2001). Placing Science into Its Human Context: Using Scientific Autobiography to Teach Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 78, 1618-1622.
- de Carvalho A.M.P & Vannucchi A.I., (2000). History, Philosophy and Science Teaching: Some Answers to ``How?``. *Science and Education*, 9, (5), 427-448.
- Giunta, C. (1998). Using history to teach scientific method: The case of argon. *Journal of Chemical Education*, 75, 1322–1325.
- Herron, J. D., Cantu, L. L., Ward, R. and Srinivasan, V. (1977). Problems associated with concept analysis. *Science Education*, 61, 185–199.
- Jensen, W. B.(1998). Logic, History and Chemistry Textbooks I. Does Chemistry Have a Logical Structure? *Journal of Chemical Education*, 75(6), 679-687.
- Jensen, W. B.(1998). Logic, History and Chemistry Textbooks III. One Chemical Revolution or Three, 75(8), 961-969.

- Kauffman, G. B. (1989). History in the chemistry curriculum. *Interchange*, 20, (2), 81-94
- Kauffman, G.B., (1987). History of chemistry. *Journal of Chemical Education*, 64, 931-933.
- Lin H. (1998). The Effectiveness of Teaching Chemistry through the History of Science, *Journal of Chemical Education*, 75, 1326- 1330.
- Niaz, M. & Rodriguez, M. A. (2001). Do We Have to Introduce History and Philosophy of Science or Is It Already 'Inside' Chemistry? *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, 2, 159-164.
- Rasmussen, S. C., (2007). The History of Science as a Tool to Identify and Confront Pseudoscience, *Journal of Chemical Education*, 84, 949-951.
- Schwartz, A.T., (1977). The History of Chemistry: Education for Revolution. *Journal of Chemical Education*, 54, 467–468.

4. ΕΠΙΠΕΔΑ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗΣ ΧΗΜΙΚΩΝ ΕΝΝΟΙΩΝ

Η διδασκαλία της Χημείας εισάγει τους μαθητές σε κάποιες βασικές ιδέες όπως:

- Τη σωματιδιακή σύσταση της ύλης
- Την περιοδικότητα που εμφανίζουν οι φυσικές και χημικές ιδιότητες των χημικών στοιχείων
- Τη σύσταση των χημικών ενώσεων από δύο ή περισσότερα στοιχεία. Σε πολλές περιπτώσεις αυτό εμπλέκει τη δημιουργία ειδικών συγκεκριμένης κατεύθυνσης δεσμών οι οποίοι σχηματίζονται όταν τα ηλεκτρόνια τάσσονται ανά ζεύγη
- Την ευδιάκριτη γεωμετρική σχέση μεταξύ των συστατικών των χημικών ενώσεων
- Τη διατήρηση της ενέργειας κατά την πραγματοποίηση των χημικών αντιδράσεων
- Την τάση αύξησης της εντροπίας του σύμπαντος (σύστημα και περιβάλλον) κατά τη διάρκεια των χημικών αντιδράσεων
- Την ύπαρξη ενεργειακών και γεωμετρικών περιορισμών στις χημικές αντιδράσεις (Atkins, 2005)

Η κατανόηση αυτών των ιδεών – σε οποιοδήποτε βαθμό – περιλαμβάνει την πνευματική ενασχόληση με τις αναπαραστάσεις τους και τα φαινόμενα με τα οποία σχετίζονται. Με τον έναν ή τον άλλο τρόπο στη Χημεία χρησιμοποιούνται τρεις τύποι αναπαραστάσεων με τις οποίες εκφράζονται αυτές οι ιδέες (Johnstone, 1991, 1993) και αποτελούν τα τρία επίπεδα αναπαράστασης των χημικών εννοιών. Περιληπτικά, στο πρώτο επίπεδο αναπαρίστανται φαινόμενα όπως βιώνονται με τις αισθήσεις, το δεύτερο επίπεδο υποστηρίζει την ποιοτική ερμηνεία αυτών των φαινομένων, ενώ το τρίτο την ποσοτική ερμηνεία αυτών.

Τα χημικά φαινόμενα και οι εμπειρικές ιδιότητες στερεών, υγρών (περιλαμβανομένων και των διαλυμάτων) κolloειδών και αερίων συνιστούν το πρώτο επίπεδο αναπαράστασης. Οι ιδιότητες αυτές, όπως η μάζα, η πυκνότητα, η συγκέντρωση, το pH, η θερμοκρασία και η ωσμωτική πίεση, γίνονται αντιληπτές στα χημικά εργαστήρια και στην καθημερινή μας ζωή και κατά συνέπεια μπορούν να μετρηθούν.

Η Χημεία χρησιμοποιεί διάφορα μοντέλα για να ερμηνεύσει όλα τα φαινόμενα που εμπίπτουν σε αυτήν. Χαρακτηριστικό αυτών των μοντέλων είναι (α) ότι εμπεριέχουν οντότητες (σωματίδια), όπως άτομα, ιόντα, μόρια και ελεύθερες ρίζες, τόσο μικρές που δεν μπορούν να γίνουν αντιληπτές με οπτικά μικροσκόπια και (β) ότι ερμηνεύουν φαινόμενα που περιγράφονται από τον πρώτο τύπο αναπαραστάσεων. Για παράδειγμα, η εμφάνιση των στερεών μπορεί να ερμηνευτεί με τη διευθέτηση ατόμων, ιόντων ή μορίων και οι μεταβολές των ιδιοτήτων μπορούν να ερμηνευτούν με όρους όπως κατανομή της ηλεκτρονικής

πυκνότητας, ατομικά και μοριακά τροχιακά. Αυτές οι ερμηνείες μπορεί να αποδοθούν και με οπτικό τρόπο αναπαράστασης, όπως τα διαγράμματα ή οι γραφικές παραστάσεις και με υλικό τρόπο αναπαράστασης όπως τα χωροπληρωτικά ή τα σφαίρας-ράβδου μοντέλα και αποτελούν τον δεύτερο επίπεδο αναπαράστασης.

Το τρίτο επίπεδο αναπαράστασης χρησιμοποιεί σύμβολα τα οποία είναι γράμματα, μαθηματικά σύμβολα, καθώς και συνδυασμοί αυτών. Έτσι προκύπτουν οι χημικοί τύποι, οι χημικές εξισώσεις και οι μαθηματικές εξισώσεις που χρησιμοποιούνται για να απεικονίσουν τόσο το πρώτο, το φαινομενολογικό επίπεδο αναπαράστασης, που σχετίζεται με τις ποσότητες αντιδρώντων και προϊόντων σε στοιχειομετρικούς υπολογισμούς, όσο και με το δεύτερο επίπεδο αναπαράστασης που σχετίζεται με τις μεταβολές των σωματιδίων κατά τις χημικές αντιδράσεις.

Ένα από τα βασικά θέματα σχετικά με την ανάπτυξη μιας προσέγγισης για τη διδασκαλία και τη μάθηση αυτών των τριών τύπων αναπαράστασεων είναι η έλλειψη μιας γενικά αποδεκτής ορολογίας όπως φαίνεται από τις λέξεις/φράσεις που χρησιμοποιούνται στη βιβλιογραφία από διάφορους ερευνητές. Πρόσφατα, για να ξεπεραστεί το πρόβλημα αυτό και δεδομένου ότι οι όροι πρέπει να είναι όσο το δυνατό πιο περιληπτικοί και να αποφεύγονται πιθανές διαφορούμενες σημασίες, προτάθηκαν οι όροι: μακροσκοπικό (macro), υπομικροσκοπικό (submicro) και συμβολικό (symbolic) για το κάθε επίπεδο αναπαράστασης. (Gilbert & Treagust, 2009).

Ο Johnstone αναπαριστά τα επίπεδα αυτά χρησιμοποιώντας ένα τρίγωνο (Σχήμα 4.1). Οποιοδήποτε σημείο στο εσωτερικό του τριγώνου αντιστοιχεί σε ένα ποσοστό μακροσκοπικού, μικροσκοπικού και συμβολικού επιπέδου που χρησιμοποιείται για κάποιο σκοπό, όπως για παράδειγμα, για την ερμηνεία ενός φαινομένου κατά τη διδασκαλία της Χημείας. Η εννοιολογική κατανόηση των χημικών φαινομένων από τους χημικούς βρίσκεται στο κέντρο του τριγώνου του Johnstone. Επίσης, οι χημικοί και οι διδάσκοντες Χημεία μεταβαίνουν από τον έναν στον άλλο τρόπο αναπαράστασης με μεγάλη άνεση και χωρίς ιδιαίτερη δυσκολία.



Σχήμα 4.1 Το τρίγωνο των τριών επιπέδων χημικών αναπαράστασεων του Johnstone

Υπάρχουν σημαντικές ενδείξεις ότι οι μαθητές αντιμετωπίζουν δυσκολίες με τα τρία επίπεδα αναπαράστασης και τις μεταξύ τους σχέσεις. Αυτά τα προβλήματα μπορούν να συνοψισθούν σε:

- Έλλειψη εμπειρίας στο μακροσκοπικό επίπεδο, καθώς είτε δεν παρέχεται στους μαθητές κατάλληλη πρακτική εμπειρία (Nelson, 2002) είτε οι μαθητές δεν έχουν ξεκάθαρο τι πρόκειται να μάθουν από αυτήν (Hodson, 1990).
- Ένα σύνολο παρανοήσεων για τη φύση του υπομικροσκοπικού επιπέδου, που βασίζονται στη σύγχυση για τη σωματιδιακή φύση της ύλης (Harrison & Treagust, 2002) και στη μη ικανότητα νοητικής απεικόνισης των οντοτήτων που αναπαρίστανται σε αυτό το επίπεδο (Tuckey & Selvaratnam, 1993).
- Έλλειψη κατανόησης των σύνθετων κανόνων που χρησιμοποιούνται στο συμβολικό επίπεδο (Marais & Jordan, 2000)
- Μη ικανότητα μετάβασης από το ένα επίπεδο στο άλλο (Gabel, 1998)

4.1 Μακροσκοπικό επίπεδο – Πειράματα, εργαστηριακές ασκήσεις

4.1.1 Η διδακτική αξία των πειραμάτων

Στα αναλυτικά προγράμματα των περισσότερων χωρών του κόσμου το πείραμα είναι συνυφασμένο με τη διδασκαλία της Χημείας. Ποια είναι η διδακτική αξία των πειραμάτων ή καλύτερα των εργαστηριακών ασκήσεων;

Εκτός από την αύξηση του ενδιαφέροντος των μαθητών, πολλοί ειδικοί της διδακτικής υποστηρίζουν ότι με το πείραμα δίνεται η ευκαιρία στους μαθητές να κατανοήσουν ευκολότερα τα χημικά φαινόμενα. Όμως, αρκετές διεθνείς έρευνες που εξέτασαν την αποτελεσματικότητα και το ρόλο της εργαστηριακής άσκησης έχουν δείξει ότι το πείραμα από μόνο του δεν είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικό στη βελτίωση των επιδόσεων των μαθητών στο μάθημα, γεγονός που οδήγησε στην αλλαγή των βασικών στόχων εκτέλεσης πειραμάτων κατά τη διδασκαλία της Χημείας.

Σήμερα, οι στόχοι των εργαστηριακών ασκήσεων μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις τομείς: το γνωστικό, το συναισθηματικό, και τον ψυχοκινητικό. Μέσα σε ένα εργαστηριακό πλαίσιο, ο γνωστικός τομέας αφορά στις γνωστικές δεξιότητες όπως: η ανάκληση, η εφαρμογή, και η αξιολόγηση των επιστημονικών πληροφοριών, η επινόηση και ο σχεδιασμός πειραματικών διερευνήσεων για να επιζητηθούν λύσεις σε επιστημονικά προβλήματα. Οι συναισθηματικοί στόχοι περιλαμβάνουν το ενδιαφέρον για την επιστήμη και τη μελέτη της επιστήμης, τις σχετικές με την επιστήμη πεποιθήσεις και τις αξίες, και τη στάση των μαθητών απέναντι σε

ηθικές κρίσεις και διαπροσωπικές σχέσεις. Οι ψυχοκινητικοί στόχοι αφορούν στις δεξιότητες χειρισμού των υλικών και των συσκευών στα πλαίσια των επιστημονικών διερευνήσεων, καθώς, επίσης, και στην ικανότητα των μαθητών να ακολουθούν οδηγίες και να κάνουν ακριβείς παρατηρήσεις.

Το εργαστήριο χημείας είναι ένα σύνθετο μαθησιακό περιβάλλον για οποιοδήποτε μαθητή. Οι εκπαιδευτικοί αναμένουν να αποκτήσουν οι μαθητές εργαστηριακές δεξιότητες και ικανότητες επικοινωνίας μαθαίνοντας ταυτόχρονα χημικές έννοιες. Αντί για αυτό, οι μελέτες έχουν δείξει ότι οι μαθητές δεν αφομοιώνουν ένα μεγάλο μέρος της δηλωτικής και διαδικαστικής γνώσης που αποτελεί μέρος των στόχων των εργαστηριακών ασκήσεων, αλλά για τους περισσότερους από αυτούς η κύρια ανησυχία είναι το πώς θα ολοκληρώσουν την εργαστηριακή άσκηση.

Έχει προταθεί ότι οι δυσκολίες αυτές των μαθητών συσχετίζονται με τους περιορισμούς της μνήμης εργασίας τους, στην οποία συγκεντρώνονται και οργανώνονται οι πληροφορίες πριν από την ανάκληση. Οι περιορισμοί της μνήμης εργασίας καθορίζουν πόσα στοιχεία μπορούν να επεξεργαστούν και να αποθηκευτούν προτού χαθούν εξ αιτίας του ανταγωνισμού με τις νέες πληροφορίες. Στο εργαστήριο, δεν είναι μόνο οι έννοιες τις οποίες πρέπει να μάθουν και να εφαρμόσουν οι μαθητές, αλλά ο εξοπλισμός, η ορολογία και οι πειραματικές δεξιότητες, που συναντούν πολλές φορές για πρώτη φορά, και που πρέπει οι μαθητές να μάθουν και να εκτελέσουν μέσα σε ένα περιορισμένο χρονικό διάστημα. Οι οδηγίες στα συμβατικά εργαστηριακά εγχειρίδια μπορούν να υπερφορτώσουν τη λειτουργική μνήμη των μαθητών με την παρουσίαση περισσότερων πληροφοριών από αυτές που οι μαθητές μπορούν να επεξεργαστούν.

Κατά τη διάρκεια των προηγούμενων 20 ετών, οι έρευνες στη διδακτική έχουν επισημάνει ορισμένους παράγοντες που επίσης εμποδίζουν την εννοιολογική μάθηση στα μαθήματα και στα εργαστήρια Χημείας, όπως:

- Πολλές από τις εργαστηριακές δραστηριότητες συνεχίζουν να προσφέρουν στους μαθητές "συνταγές μαγειρικής" που πρέπει να ακολουθήσουν μηχανικά.
- Η αξιολόγηση των γνώσεων και των δεξιοτήτων των μαθητών στην απόκτηση των οποίων στοχεύουν οι εργαστηριακές δραστηριότητες παραμελείται σοβαρά. Κατά συνέπεια, πολλοί μαθητές δεν αντιλαμβάνονται την εργαστηριακή άσκηση ως ιδιαίτερα σημαντική για τη μάθησή τους.
- Ο μεγάλος αριθμός μαθητών στις τάξεις.
- Ο άκαμπος σχεδιασμός των εργαστηριακών εγκαταστάσεων.

Χρησιμοποιημένο κατάλληλα, το εργαστήριο είναι ιδιαίτερα σημαντικό στη σημερινή εποχή όπου η *διερεύνηση* έχει επανεμφανιστεί ως η βασική μέθοδος που υποστηρίζει τη διδασκαλία και τη μάθηση της Χημείας. Η *διερεύνηση* είναι μια πολύπλευρη δραστηριότητα που περιλαμβάνει την παρατήρηση, τη διατύπωση ερωτήσεων, την εξέταση πηγών πληροφοριών, τη χρήση εργαλείων για τη συγκέντρωση, ανάλυση, και ερμηνεία δεδομένων, τη διατύπωση απαντήσεων, εξηγήσεων, και προβλέψεων και τέλος, την κοινοποίηση των αποτελεσμάτων. Η *διερεύνηση* απαιτεί τον προσδιορισμό υποθέσεων, τη χρήση κριτικής και λογικής σκέψης, και την εκτίμηση των εναλλακτικών εξηγήσεων.

Στην αρχή του 21ου αιώνα, η γνώση που έχει συσσωρευτεί η σχετική με τη μάθηση οδήγησε στο σύνθημα "το λιγότερο είναι περισσότερο". Το μήνυμα που φέρει αυτό το σύνθημα είναι ότι η διδασκαλία οδηγεί σε καλύτερη κατανόηση όταν οι μαθητές μελετούν έναν περιορισμένο αριθμό θεμάτων σε βάθος και με προσοχή, παρά πολλά θέματα επιφανειακά, όπως είναι η πρακτική σήμερα. Οι καλά σχεδιασμένες εργαστηριακές δραστηριότητες μπορούν να παρέχουν ευκαιρίες μάθησης στους μαθητές για να αναπτύξουν έννοιες και να συνδέουν τις έννοιες μεταξύ τους. Παρέχουν, επίσης, σημαντικές ευκαιρίες για να μάθουν οι μαθητές να ερευνούν, να κατασκευάζουν επιστημονικούς ισχυρισμούς, και να αιτιολογούν τους ισχυρισμούς αυτούς. Για να επιτύχει τέτοιους σημαντικούς αλλά απαιτητικούς στόχους το εκπαιδευτικό σύστημα πρέπει να παρέχει το χρόνο και ευκαιρία στους δασκάλους να αλληλεπιδράσουν με τους μαθητές τους και, επίσης, το χρόνο και ευκαιρία στους μαθητές για βαθύτερη επεξεργασία των πληροφοριών ώστε να αποδώσουν στους σύνθετους, διερευνητικούς στόχους. Σαφώς, σοβαρές αποκλίσεις υπάρχουν μεταξύ των συστάσεων που προκύπτουν από τις έρευνες για τη διδασκαλία στο εργαστήριο και αυτού που πραγματικά συμβαίνει. Ίσως τελικά, η μοναδικότητα του εργαστηρίου να βρίσκεται κυρίως στο γεγονός ότι δίνει στους μαθητές τις ευκαιρίες να συμμετέχουν στις διαδικασίες της έρευνας.

4.1.2 Ταξινόμηση πειραμάτων

Συνοψίζοντας, το πείραμα στη διδασκαλία της Χημείας θεωρείται απαραίτητο καθώς συμβάλει στην ανάπτυξη γνωστικών, ψυχοκινητικών και συναισθηματικών δεξιοτήτων. Ανάλογα με το πρόσωπο που εκτελεί το πείραμα μπορούμε να ταξινομήσουμε τα πειράματα σε:

- Πειράματα εκτέλεσης από τους μαθητές
- Πειράματα επίδειξης, όταν εκτελούνται από το διδάσκοντα

Με τα πειράματα που εκτελούν οι μαθητές εξοικειώνονται με την επιστημονική μεθοδολογία, καθώς όταν εργάζονται μόνοι τους αποκτούν δεξιότητες χειρισμού οργάνων, εκτέλεσης

σειράς οδηγιών, υποχρεώνονται να παρατηρούν, να κάνουν μετρήσεις, να καταγράφουν τις παρατηρήσεις τους και τις μετρήσεις τους. Επιπλέον, αποκτούν επιμονή, υπομονή, θάρρος, μαθαίνουν να παίρνουν πρωτοβουλίες και να βασίζονται στις δυνάμεις τους. Τέλος, η σύνταξη εργαστηριακής αναφοράς τους βοηθά να προσεγγίζουν τον τρόπο συγγραφής επιστημονικών δοκιμίων, να εκφράζονται σύντομα και με σαφήνεια και να καταλήγουν σε σωστά συμπεράσματα.

Σε πολλές περιπτώσεις η φύση των πειραμάτων (επικίνδυνο πείραμα, τοξικά αντιδραστήρια, ακριβά αντιδραστήρια) ή η έλλειψη υλικοτεχνικής υποδομής επιβάλουν την εκτέλεση πειραμάτων επίδειξης από το διδάσκοντα. Τα πειράματα επίδειξης πρέπει να συνοδεύονται από προσεχτικά σχεδιασμένο φύλλο εργασίας που θα κάνει ενεργή τη συμμετοχή του μαθητή κάνοντας υποθέσεις, καταγράφοντας παρατηρήσεις, σχεδιάζοντας γραφικές παραστάσεις, και εξάγοντας συμπεράσματα. Μεγάλη προσοχή πρέπει να δίνεται στις συνθήκες που επικρατούν κατά το πείραμα επίδειξης, ώστε όλοι οι μαθητές να μπορούν να βλέπουν ότι γίνεται.

Μια άλλη ταξινόμηση των πειραμάτων βασίζεται στις ποσότητες των αντιδραστηρίων που χρησιμοποιούμε κατά την εκτέλεση των πειραμάτων. Σύμφωνα με αυτή τα πειράματα διακρίνονται σε:

- πειράματα μακροκλίμακας, όταν χρησιμοποιούνται μεγάλες ποσότητες αντιδραστηρίων
- πειράματα μικροκλίμακας, όταν χρησιμοποιούνται μικρές ποσότητες αντιδραστηρίων, και
- εικονικά πειράματα, όταν δεν χρησιμοποιούμε αντιδραστήρια, αλλά προσομοιώσεις πειραμάτων στον υπολογιστή.

Τα πειράματα μακροκλίμακας είναι τα παραδοσιακά πειράματα στα οποία έχουν ασκηθεί όλοι οι Χημικοί κατά τις σπουδές τους, ενώ τα πειράματα σε μικροκλίμακα είναι μια πρόσφατη προσέγγιση. Τα πλεονεκτήματα της διεξαγωγής πειραμάτων σε μικροκλίμακα ξεκίνησαν να αναγνωρίζονται στα τέλη του 1970 και στις αρχές του 1980, κυρίως στις Η.Π.Α. Η ανάπτυξη της λεγόμενης «Χημείας σε μικροκλίμακα», που είναι η Χημεία η οποία χρησιμοποιεί στα πειράματα πολύ μικρές ποσότητες χημικών αντιδραστηρίων και συνήθως (όχι πάντα) απλές συσκευές, οφείλεται κατά ένα μέρος σε περιβαλλοντικούς λόγους (αυξημένο κοινωνικό ενδιαφέρον για τη βαθμιαία καταστροφή του περιβάλλοντος λόγω των χημικών αντιδραστηρίων – ανάγκη για βελτίωση της ποιότητας του αέρα, ιδιαίτερα στους εσωτερικούς χώρους των εργαστηρίων) και κατά ένα δεύτερο σε οικονομικούς λόγους (μείωση κόστους των χημικών αντιδραστηρίων).

Τα πειράματα σε μικροκλίμακα εμφανίζουν πλεονεκτήματα, όπως:

- Οι μικρές ποσότητες των χημικών αντιδραστηρίων και οι απλές συσκευές μειώνουν το κόστος των υλικών που απαιτούνται για την πραγματοποίηση πειραμάτων.
- Αποφεύγεται η άσκοπη σπατάλη των χημικών αντιδραστηρίων και η απόρριψη αυτών που χρησιμοποιήθηκαν είναι ευκολότερη.
- Τα προβλήματα ασφάλειας μειώνονται σε σημαντικό βαθμό (καλύτερη ποιότητα αέρα, μικρότερη έκθεση σε τοξικές ουσίες, μειωμένη πιθανότητα φωτιάς και εκρήξεων).
- Συχνά, πλαστικά εξαρτήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν εναλλακτικά των γυάλινων εξαρτημάτων με αποτέλεσμα να μειώνονται τα σπασίματα, που εμφανίζονται κατά τη χρήση γυάλινων συσκευών.
- Μείωση του χρόνου διεξαγωγής των πειραμάτων.
- Εξοικονόμηση αποθηκευτικού χώρου.

Ως μειονέκτημα, το μόνο που θα μπορούσε να αναφερθεί είναι ότι απαιτείται κάποιος χρόνος για να εξοικειωθεί κανείς με τα όργανα και τις τεχνικές που χρησιμοποιούνται. Για παράδειγμα, η χρήση πλαστικών σιφωνίων (πιπετών) απαιτεί σταθερό χέρι και την εφαρμογή σταθερής πίεσης στη φούσκα της πιπέτας. Παρόλα αυτά, αν κάποιο λάθος γίνει, οι σταγόνες μπορεί πολύ εύκολα να απομακρυνθούν με ένα μαλακό χαρτί και μια πολύ μικρή ποσότητα χημικού αντιδραστηρίου και χρόνου θα έχει χαθεί. Τα πειράματα σε μικροκλίμακα δεν έχουν σκοπό να αντικαταστήσουν όλα τα συμβατικά πειράματα Χημείας, αλλά ορισμένα για λόγους ασφάλειας ή και οικονομίας αντιδραστηρίων.

Πρόσφατα, έχει ανοίξει ένας μεγάλος διάλογος για το αν είναι καλύτερο να χρησιμοποιούνται πραγματικά πειράματα ή προσομοιώσεις πειραμάτων κατά τη διδασκαλία της Χημείας.

Οι υποστηρικτές των πραγματικών πειραμάτων έχουν ως επιχειρήματα ότι, με τα πειράματα οι μαθητές:

- αποκτούν πολύτιμες δεξιότητες χειρισμού και οπτικό - κινητικές δεξιότητες
- μαθαίνουν να ακολουθούν απλές οδηγίες και να ολοκληρώνουν κάποιες απλές εργασίες
- μαθαίνουν να παίρνουν μετρήσεις και την προέλευση των σφαλμάτων μέτρησης
- μαθαίνουν να καταγράφουν με ακρίβεια τα αποτελέσματα σε εργαστηριακό τετράδιο και να γράφουν με σαφήνεια αναφορές των αποτελεσμάτων
- εξασκούνται στην κριτική σκέψη με το να αξιολογούν τα πειραματικά δεδομένα, και
- εξασκούνται στο να εφαρμόζουν έννοιες σε νέες καταστάσεις.

Από την άλλη πλευρά οι υποστηρικτές των προσομοιώσεων πειραμάτων έχουν ως επιχειρήματα ότι:

- τα πειράματα είναι χρονοβόρα

- τα πειράματα έχουν πολύ μεγαλύτερο κόστος από ότι οι προσομοιώσεις
- τα πειράματα εγκυμονούν κινδύνους για τους μαθητές
- οι υπολογιστές μπορούν να προσομοιάσουν πολλές περισσότερες καταστάσεις από όσες μπορεί να εκτελέσει ένας μαθητής, συμπεριλαμβάνοντας και τα πειράματα που οι μαθητές δεν μπορούν να κάνουν λόγω επικινδυνότητας, και
- πολλές μελέτες έχουν δείξει ότι με τα πειράματα δεν βελτιώνονται σημαντικά οι επιδόσεις των μαθητών στη Χημεία.

Η αλήθεια βρίσκεται κάπου στη μέση. Τα πειράματα Χημείας προσφέρουν ευκαιρίες για τη χρήση νέων τεχνολογιών που υποστηρίζουν τη μάθηση. Αυτές οι εμπειρίες μπορούν να βοηθήσουν τους μαθητές να κατανοήσουν τις σχέσεις μεταξύ της Χημείας και της τεχνολογίας. Βέβαια είναι πολύ σημαντικό να μπορεί ο εκπαιδευτικός να εκτιμά την καταλληλότητα των συγκεκριμένων τεχνολογιών που εισάγονται στο εργαστήριο. Στα πειράματα τα σχετικά με τα οξέα και τις βάσεις, για παράδειγμα, μπορούν οι μαθητές να μετρήσουν το pH με τη χρήση δεικτών ή με τη χρήση ηλεκτρονικού pHμέτρου. Κάποιοι μαθησιακοί στόχοι δικαιολογούν τη χρήση των δεικτών, ενώ για κάποιους άλλους είναι πιο κατάλληλο να εισάγεις τέτοια «μαύρα κουτιά» όπως το pHμετρο ή τους αισθητήρες. Ακριβώς όπως τα πειράματα αποτελούν βασικό κομμάτι της διδασκαλίας της Χημείας έτσι και οι προσομοιώσεις πειραμάτων έχουν τη δική τους θέση. Τα πειράματα έχουν το σαφές πλεονέκτημα να επιτρέπουν στους μαθητές να εργάζονται απευθείας με τα υλικά και τα φαινόμενα στο φυσικό τους περιβάλλον. Ωστόσο, οι προσομοιώσεις πειραμάτων μπορούν να σχεδιαστούν έτσι ώστε να παρέχουν σημαντικές αναπαραστάσεις πειραμάτων τα οποία συχνά δεν είναι δυνατά με πραγματικά υλικά (π.χ. μέτρηση ραδιενεργών ισοτόπων).

4.1.3 Η ένταξη των πειραμάτων στη διδασκαλία

Το πείραμα επιτελεί διαφορετικούς στόχους στις διάφορες διδακτικές προσεγγίσεις. Στις διδακτικές προσεγγίσεις που στηρίζονται στο *συμπεριφορισμό* το πείραμα έχει αποδεικτικό και επιβεβαιωτικό χαρακτήρα που κατά κανόνα είναι πείραμα επίδειξης που διεξάγεται από το διδάσκοντα ή καμιά φορά και από κάποιους καλούς μαθητές. Στόχος της πραγματοποίησης του πειράματος είναι η επαλήθευση κάποιου νόμου που ο διδάσκων απέδειξε στον πίνακα.

Στη σύγχρονη *διερευνητική* προσέγγιση διδασκαλίας η πραγματοποίηση του πειράματος στοχεύει στο να ανακαλύψουν οι μαθητές τη γνώση και παράλληλα να αποκτήσουν δεξιότητες στις επιστημονικές διαδικασίες ώστε να γίνουν μικροί επιστήμονες.

Γενικά, τότε ο διδάσκων μπορεί να χρησιμοποιήσει το πείραμα;

- Πριν από την εισαγωγή των σχετικών εννοιών, με σκοπό να χρησιμοποιηθεί για την εισαγωγή τους.
- Μετά την εισαγωγή των σχετικών εννοιών, ως εφαρμογή, ή για έλεγχο της κατανόησης και της σύνδεσης εννοιών.
- Κατά τη διεξαγωγή της διδασκαλίας, ιδιαίτερα όταν υπάρχει δυνατότητα να χρησιμοποιείται το εργαστήριο καθημερινά.

Ο διδάσκων έχει πολλούς προκλητικούς ρόλους να παίξει όταν εμπλέκει τους μαθητές σε πειράματα. Να φέρεται ως συν – διερευνητής, ο οποίος διαμορφώνει κατάλληλες στρατηγικές επίλυσης προβλημάτων. Να διευκολύνει τη συζήτηση για τις επιστημονικές πρακτικές, τις έννοιες και τις θεωρίες. Να δίνει με ευαισθησία τις στρατηγικές και τις ερμηνείες των επιστημόνων. Να εμπλέκει τους μαθητές σε συζητήσεις σχετικές με την οικοδόμηση εννοιών. Το να χρησιμοποιεί κανείς κατάλληλα τα πειράματα και τις προσομοιώσεις πειραμάτων δεν είναι μια εύκολη εργασία. Οι επιστημονικές έννοιες και οι παιδαγωγικές γνώσεις που χρειάζονται για μια επιτυχημένη διδασκαλία στο σχολικό εργαστήριο είναι σύνθετες και απαιτούν χρόνο, εκπαίδευση και εμπειρία.

4.1.4 Γνωστικές δεξιότητες στόχοι των πειραμάτων

Με βάση τα σημερινά δεδομένα της έρευνας στη διδακτική, οι εργαστηριακές ασκήσεις πρέπει να περιλαμβάνουν στόχους όπως:

- Να αναγνωρίζουν οι μαθητές τις σχετικές μεταβλητές (ανεξάρτητες, εξαρτημένες, ελεγχόμενες).
- Να σχεδιάζουν τη διαδικασία που θα ακολουθήσουν ή να περιορίζουν τη διαδικασία στα απαραίτητα μέρη. Οι καλύτερες εργαστηριακές ασκήσεις είναι εκείνες που περιλαμβάνουν απλές διαδικασίες, οι οποίες είναι εύκολο να εξηγηθούν στους μαθητές και να ελέγχονται από αυτούς.
- Να σχεδιάζουν πίνακα δεδομένων και γραφικές παραστάσεις.
- Να προτείνουν αιτίες σφαλμάτων και τρόπους περιορισμού των σφαλμάτων.
- Να μπορούν οι μαθητές να κάνουν προβλέψεις με βάση δεδομένα και να εξηγούν πως τις στηρίζουν.
- Να κάνουν συγκρίσεις και γενικεύσεις.
- Να διατυπώνουν υποθέσεις και να τις τροποποιούν, όταν τα αποτελέσματα του πειράματος δεν συμφωνούν με αυτές.
- Να σχεδιάζουν πειράματα προκειμένου να ελέγξουν τις υποθέσεις τους και τέλος
- Να συζητούν και να αναπτύσσουν τεκμηριωμένα επιχειρήματα.

4.1.5 Εργαστηριακή άσκηση βασισμένη στον εποικοδομητισμό

Μια από τις σύγχρονες θεωρίες μάθησης είναι αυτή του εποικοδομητισμού. Σύμφωνα με τη θεωρία αυτή, η γνώση οικοδομείται στο μυαλό του μαθητή. Ο ισχυρισμός αυτός αναλύεται σε πέντε αξιώματα, τα οποία αναφέρονται παρακάτω μαζί με τους στόχους των εργαστηριακών ασκήσεων που αφορούν σε αυτά.

Αξίωμα 1ο: *Η μάθηση απαιτεί νοητική δραστηριότητα. Επομένως, οι εργαστηριακές ασκήσεις πρέπει να σχεδιάζονται με στόχους που βοηθούν στην ανάπτυξη της νοητικής δραστηριότητας των μαθητών.*

Στόχοι Εργαστηριακών Ασκήσεων: Να μπορούν οι μαθητές

- Να σχεδιάζουν τη διαδικασία που θα ακολουθήσουν ή να περιορίζουν τη διαδικασία στα απαραίτητα μέρη. Οι καλύτερες εργαστηριακές ασκήσεις είναι εκείνες που περιλαμβάνουν απλές διαδικασίες, οι οποίες είναι εύκολο να εξηγηθούν στους μαθητές.
- Να αναγνωρίζουν τις σχετικές μεταβλητές.
- Να σχεδιάζουν πίνακα δεδομένων.
- Να χρησιμοποιούν ένα πρότυπο φύλλο εργασίας, το οποίο πρέπει να περιλαμβάνει τις σημαντικές έννοιες του πειραματικού σχεδιασμού (έκθεση του προβλήματος, υπόθεση, μεταβλητές, σταθερές, πίνακες δεδομένων, περίληψη και συμπεράσματα).
- Να προτείνουν αιτίες σφαλμάτων και τρόπους περιορισμού των σφαλμάτων.

Αξίωμα 2ο: *Οι απλοϊκές θεωρίες των μαθητών επηρεάζουν τη μάθηση. Η νέα γνώση πρέπει να σχετίζεται με τη γνώση που ήδη κατέχει ο μαθητής. Ο κάθε μαθητής διαθέτει ιδέες οι οποίες υπεισέρχονται στην ικανότητά του να μάθει καινούρια ύλη. Αυτές οι προσωπικές θεωρίες επιδρούν και σε αυτά που ο μαθητής παρατηρεί και πρέπει να εκφράζονται, ώστε να διευκολύνονται οι συγκρίσεις.*

Στόχος Εργαστηριακών Ασκήσεων: Να μπορούν οι μαθητές να κάνουν προβλέψεις και να τις εξηγούν πριν την εργαστηριακή άσκηση. Με τον τρόπο αυτό ο καθηγητής έχει την ευκαιρία να διαγνώσει τις προϋπάρχουσες ιδέες των μαθητών, ενώ το ενδιαφέρον των μαθητών αυξάνεται για το αποτέλεσμα του πειράματος.

Αξίωμα 3ο: *Η μάθηση επιτυγχάνεται όταν οι μαθητές αισθάνονται ανικανοποίητοι από την προϋπάρχουσα γνώση τους. Ο μαθητής θα καταφύγει σε συμπλήρωση ή αναδόμηση του γνωστικού του υπόβαθρου μόνον όταν δεν του επαρκεί η προϋπάρχουσα γνώση του για να ερμηνεύσει τις εμπειρίες του. Διαφορετικά, αν η προϋπάρχουσα γνώση του τον οδηγεί σε ακριβείς προβλέψεις ή ερμηνείες η αναδόμηση δεν θα συμβεί.*

Στόχος Εργαστηριακών Ασκήσεων: Να μπορούν οι μαθητές να κάνουν μια εναλλακτική υπόθεση, όταν τα αποτελέσματα του πειράματος δεν συμφωνούν με την υπόθεση ή την ερμηνεία που είχαν εκφράσει αρχικά.

Αξίωμα 4ο: *Η μάθηση έχει μια κοινωνική συνιστώσα. Η γνωστική ανάπτυξη, δηλαδή, είναι αποτέλεσμα κοινωνικών αλληλεπιδράσεων. Η μάθηση ενισχύεται με τη συζήτηση που αναζητά και διευκρινίζει τις ιδέες των μαθητών.*

Στόχος Εργαστηριακών Ασκήσεων: Να μπορούν οι μαθητές να συζητούν τις προβλέψεις τους, τις ερμηνείες τους, τις διαδικασίες και τον πίνακα δεδομένων πριν από την εργαστηριακή άσκηση και να παρουσιάζουν τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα τους μετά.

Αξίωμα 5ο: *Η μάθηση χρειάζεται εφαρμογή. Πρέπει να παρέχονται στους μαθητές εφαρμογές οι οποίες θα δείχνουν τη χρησιμότητα της νέας γνώσης.*

Στόχος Εργαστηριακών Ασκήσεων: Να μπορούν οι μαθητές να χρησιμοποιούν τις νέες γνώσεις σε ένα ευρύ πλαίσιο εφαρμογών.

Οι δύο εργαστηριακές ασκήσεις που ακολουθούν και αφορούν στο κεφάλαιο «Οξέα – Βάσεις» της Α΄ τάξης του Ενιαίου Λυκείου σχεδιάστηκαν με βάση τα παραπάνω αξιώματα του εποικοδομισμού. Ο σκοπός των εργαστηριακών ασκήσεων είναι να κατανοήσουν οι μαθητές ότι η οξύτητα ενός διαλύματος οξέος και η βασικότητα ενός διαλύματος βάσης, όπως αυτές εκφράζονται από το pH: (1) εξαρτάται από την περιεκτικότητα του διαλύματος και (2) μεταβάλλεται με διαφορετικό τρόπο όταν η διαλυμένη ουσία (οξύ ή βάση) είναι ισχυρή ή ασθενής. Χρησιμοποιούμε τον όρο «περιεκτικότητα» για τους μαθητές της Α΄ τάξης γιατί δεν έχουν διδαχθεί την έννοια της «συγκέντρωσης».

Κατά την πρώτη εργαστηριακή άσκηση προτείνεται να χωρισθούν οι μαθητές σε τέσσερις ομάδες. Η κάθε μία ομάδα εκτελεί αραιώσεις ενός διαλύματος και μετρήσεις του pH μετά από κάθε αραιώση. Η μία ομάδα δουλεύει με διάλυμα HCl, η δεύτερη με διάλυμα CH₃COOH, η τρίτη με διάλυμα NaOH και η τέταρτη με διάλυμα NH₃. Οι ομάδες, αφού παρουσιάσουν τα αποτελέσματα και συμπεράσματά τους, προχωρούν σε συνδυασμό και γενικεύσεις των συμπερασμάτων. Κατά τη συζήτηση κατευθύνονται οι μαθητές από το διδάσκοντα να εστιάσουν τη προσοχή τους στις ομοιότητες και τις διαφορές που παρουσιάζουν τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματά τους. Επίσης, παρακινούνται να ελέγξουν τις αρχικές τους υποθέσεις με βάση τα αποτελέσματα και συμπεράσματα, να τις τροποποιήσουν αν χρειαστεί και να συνθέσουν τα γενικά συμπεράσματα.

Κατά τη δεύτερη εργαστηριακή άσκηση οι μαθητές θα εκτελέσουν ένα πείραμα που έχουν σχεδιάσει ως εφαρμογή της πρώτης εργαστηριακής άσκησης. Σε κάθε εργαστηριακή άσκηση συμπληρώνουν το σχετικό «φύλλο εργασίας».

Πίνακας 4.1 Σχέδιο φύλλου εργασίας 1ης εργαστηριακής άσκησης

ΦΥΛΛΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ: Κλίμακα pH

Υπόθεση:

Πώς νομίζεις ότι μεταβάλλεται η οξύτητα ή η βασικότητα ενός διαλύματος οξέος ή βάσης αντίστοιχα με την αραιώση;

Ερωτήσεις πριν την εκτέλεση του πειράματος:

1. Πως μεταβάλλεται η περιεκτικότητα ενός υδατικού διαλύματος με την προσθήκη νερού;
2. Πως μετράμε την οξύτητα/ βασικότητα ενός διαλύματος;
3. Ποια οξέα ονομάζονται ισχυρά; / Ποιες βάσεις ονομάζονται ισχυρές;

Διαδικασία:

Δίνονται οδηγίες για την εκτέλεση του πειράματος από τις ομάδες των μαθητών και την καταγραφή των δεδομένων και των μετρήσεων του pH σε πίνακα.

Παρουσίαση αποτελεσμάτων:

Η κάθε ομάδα θα παρουσιάσει τα αποτελέσματά και τα συμπεράσματά της. Γίνεται συζήτηση για τις ομοιότητες και τις διαφορές που παρουσιάζουν τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα των διαφορετικών ομάδων.

Εφαρμογή:

Ζητείται από τους μαθητές να σχεδιάσουν ένα πείραμα για να εξακριβώσουν αν ένα διάλυμα αγνώστου οξέος περιέχει ισχυρό ή ασθενές οξύ, ακολουθώντας τη διαδικασία: υπόθεση - εκτέλεση πειράματος - επαλήθευση ή διάψευση υπόθεσης. Οι μαθητές παραδίδουν «φύλλο εργασίας» αντίστοιχο με αυτό που τους δίνει ο καθηγητής κατά την εκτέλεση της πρώτης εργαστηριακής άσκησης.

4.2 Υπομικροσκοπικό Επίπεδο

4.2.1 Μοντέλα στη διδασκαλία της Χημείας

Οι έρευνες δείχνουν ότι οι μαθητές έχουν συχνά πολύ περιορισμένη αντίληψη για τον τρόπο που χρησιμοποιούν οι επιστήμονες τα μοντέλα. Στην αρχή της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης πολλοί μαθητές θεωρούν ότι τα μοντέλα είναι κάτι παραπάνω από ένα ατελές αντίγραφο ενός αντικειμένου, συχνά μεγαλύτερο ή μικρότερο του πραγματικού. Οι επιστήμονες και οι

διδάσκοντες χρησιμοποιούν μοντέλα εστιάζοντας σε επιλεγμένες πλευρές του συστήματος που μοντελοποιούν και αγνοώντας σκόπιμα άλλες τις οποίες θεωρούν άσχετες. Το τι είναι σχετικό εξαρτάται από το πλαίσιο, καθώς ένα συγκεκριμένο μοντέλο σχεδιάζεται για έναν συγκεκριμένο σκοπό, για να εξηγήσουμε περιορισμένες πλευρές ενός φαινομένου. Αυτό σημαίνει ότι είναι εντελώς αποδεκτό να έχουμε πολλαπλά μοντέλα τα οποία μπορεί να είναι αντιφατικά, αλλά χρησιμοποιούνται για να εξηγήσουν διαφορετικά χαρακτηριστικά ενός συστήματος.

Μια άλλη πλευρά της επιστημονικής μοντελοποίησης είναι ότι τα μοντέλα είναι νοητικά εργαλεία, και επομένως οι επιστήμονες δεν σχεδιάζουν πάντα μοντέλα που είναι «σωστά». Ένα μοντέλο που δεν «λειτουργεί» όταν στήνεται και δοκιμάζεται – επειδή δεν ταιριάζει με το φαινόμενο το οποίο διερευνείται – είναι σαν μια λανθασμένη υπόθεση. Επομένως, ένα μοντέλο παραμένει χρήσιμο, όσο μαθαίνουμε από αυτό. Οι μαθητές μπορεί να μην αντιλαμβάνονται ότι τα μοντέλα έχουν σχεδιαστεί ως διερευνητικά εργαλεία και ότι οι επιστήμονες «παίζουν» με τα μοντέλα με σκοπό να μάθουν για τα φαινόμενα. Ένας μαθητής πιθανόν να υποθέσει ότι ένα μοντέλο έχει σχεδιαστεί για να είναι μια, όσο το δυνατόν πιο ακριβής, αναπαράσταση της πραγματικότητας και επομένως περιμένει ότι τα μοντέλα που θα συναντήσει στα μαθήματα των Φυσικών Επιστημών έχουν ήδη αποδειχθεί σωστά.

Ολοφάνερα, οι διδάσκοντες πρέπει να δίνουν έμφαση στο ότι τα μοντέλα είναι υποθέσεις γύρω από τον κόσμο οι οποίες μπορεί να είναι περιορισμένες, ελλιπείς και ακόμα μερικές φορές «λανθασμένες». Αυτό μπορεί να βοηθήσει τους μαθητές να αντιληφθούν τους περιορισμούς των μοντέλων, να αποδεκτούν τα πολλαπλά μοντέλα και να αναγνωρίσουν τη φύση των Φυσικών Επιστημών.

4.2.2 Το σωματιδιακό μοντέλο της ύλης

Παρόλο που το σωματιδιακό μοντέλο είναι η κεντρική ιδέα για τις Φυσικές Επιστήμες και είναι πολύ οικείο στους διδάσκοντες, δεν πρέπει να είμαστε και πολύ ικανοποιημένοι από τις σωματιδιακές ιδέες που έχουν οι μαθητές. Η έρευνα δείχνει ότι οι μαθητές δεν χρησιμοποιούν αυθόρμητα τις σχετικές σωματιδιακές ιδέες στην ερμηνεία των χημικών φαινομένων. Το γιατί γίνεται κατανοητό, όταν εξεταστούν οι δυσκολίες που αντιμετωπίζουν οι μαθητές στη μάθηση του μοντέλου.

Η λέξη «σωματίδιο» είναι λίγο διφορούμενη, καθώς χρησιμοποιείται και για μικρά αλλά ορατά σωματίδια, όπως οι κόκκοι αλατιού ή οι κόκκοι σκόνης, καθώς επίσης και ως συσσωματώματα μορίων, ιόντων κλπ. και επομένως οδηγεί πολλούς μαθητές σε σύγχυση. Το πιο δυσεπίλυτο πρόβλημα είναι ο καθορισμός του τι είναι και από τι αποτελείται το

σωματίδιο. Οι διδάσκοντες προτιμούν να χρησιμοποιούν έναν μόνο όρο όταν εισάγουν το σωματιδιακό μοντέλο στους μαθητές, αλλά αυτό μπορεί να οδηγήσει σε ανακριβή χρήση της γλώσσας.

Για πολλές ουσίες είναι ορθό να αναφέρεις τα μόρια ως δομικά σωματίδια, όπως η ζάχαρη, το νερό, το θείο, το οξυγόνο. Ωστόσο, δεν είναι όλες οι ουσίες μοριακές. Στο διαμάντι το «μόριο» δεν είναι μια διακριτή οντότητα. Στα μέταλλα όπως ο σίδηρος και στα άλατα όπως το χλωριούχο νάτριο δεν υπάρχουν μόρια. Αλλά, οι μαθητές που έχουν διδαχθεί ότι «το καθετί είναι φτιαγμένο από μόρια» θεωρούν ότι ο σίδηρος και το χλωριούχο νάτριο αποτελούνται από μόρια, το οποίο ίσως αποτελέσει πρόβλημα σε ένα επόμενο στάδιο μάθησης της Χημείας.

Μια εναλλακτική πρόταση είναι η χρήση της λέξης «άτομο». Είναι σύνηθες στα βιβλία Χημείας να αναφέρεται ότι το καθετί είναι φτιαγμένο από άτομα, αλλά και αυτό είναι, επίσης, προβληματικό. Πολύ λίγες ουσίες (π.χ. τα ευγενή αέρια) συνίστανται πράγματι από διακριτά άτομα. Στις μοριακές ουσίες τα διακριτά σωματίδια είναι τα μόρια και δεν χρειάζεται οι μαθητές να θεωρούν ότι το οξυγόνο αποτελείται από άτομα οξυγόνου. Τα άτομα, επίσης, δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην περίπτωση των αλάτων όπως το χλωριούχο νάτριο τα οποία αποτελούνται από ιόντα, ή των μετάλλων όπως ο σίδηρος, τα οποία περιέχουν ελεύθερα (απεντοπισμένα) ηλεκτρόνια. Ακόμα και στην περίπτωση του διαμαντιού δεν υπάρχουν διακριτά άτομα.

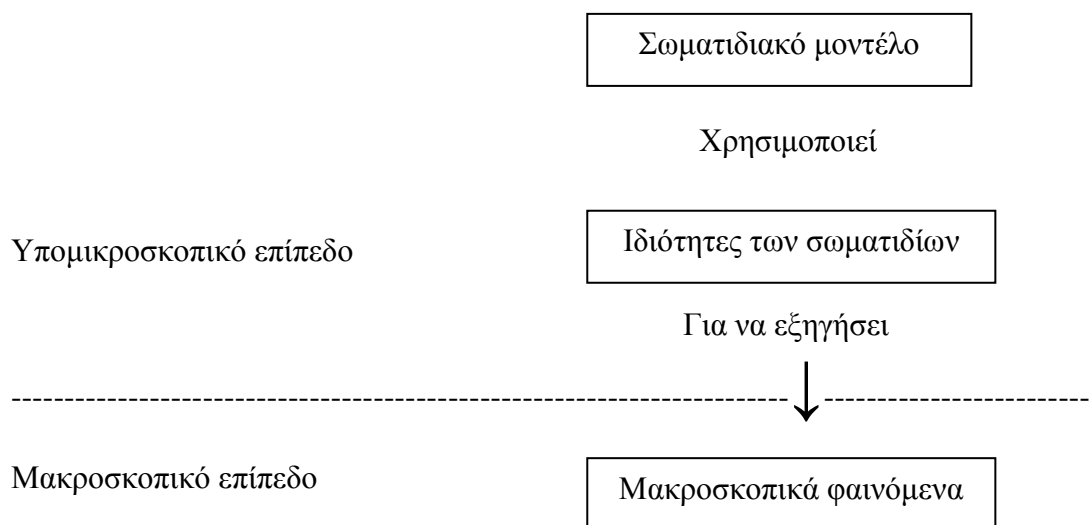
Είναι, ασφαλώς, σωστό να λέμε ότι όλη η ύλη αποτελείται από πρωτόνια, νετρόνια και ηλεκτρόνια και πρέπει οι μαθητές να το μάθουν στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση, αλλά ίσως να μην είναι η πιο κατάλληλη προσέγγιση σε ένα εισαγωγικό επίπεδο. Όλες οι δομές που θα συναντήσουν οι μαθητές στη Χημεία μπορούν να περιγραφούν από την άποψη της διευθέτησης ατομικών πυρήνων και ηλεκτρονίων εξωτερικής στοιβάδας, αλλά αυτός ο τρόπος αντίληψης της ύλης χρειάζεται πολύ χρόνο να αποκτηθεί.

Δεν φαίνεται να υπάρχει μια προφανής λύση στο πρόβλημα. Όλες οι εναλλακτικές προσεγγίσεις επιδέχονται αμφισβητήσεις και πιθανόν να οδηγήσουν τους μαθητές στην απόκτηση λανθασμένων αντιλήψεων, εκτός και αν παρουσιαστούν με επιδεξιότητα. Πιθανόν, η καλύτερη προσέγγιση είναι να αναφερθεί κανείς εισαγωγικά ότι «το καθετί αποτελείται από άτομα» αλλά υπογραμμίζοντας ότι τα σωματίδια σε ορισμένες ουσίες είναι διαφορετικά. Δεν είναι απαραίτητο να αναφερθεί σε κάθε περίπτωση, αλλά το παράδειγμα των μετάλλων πρέπει να παρουσιαστεί. Επίσης είναι συνετό να δοθεί έμφαση στους περιορισμούς του μοντέλου που θα διδαχθούν οι μαθητές, το οποίο θα εξελιχθεί αργότερα. Όταν εισαχθούν οι

έννοιες της χημικής δομής και του χημικού δεσμού, είναι πιο λογικό να εξετασθεί πρώτα η απλούστερη περίπτωση των μετάλλων και μετά οι υπόλοιπες δομές των στερεών.

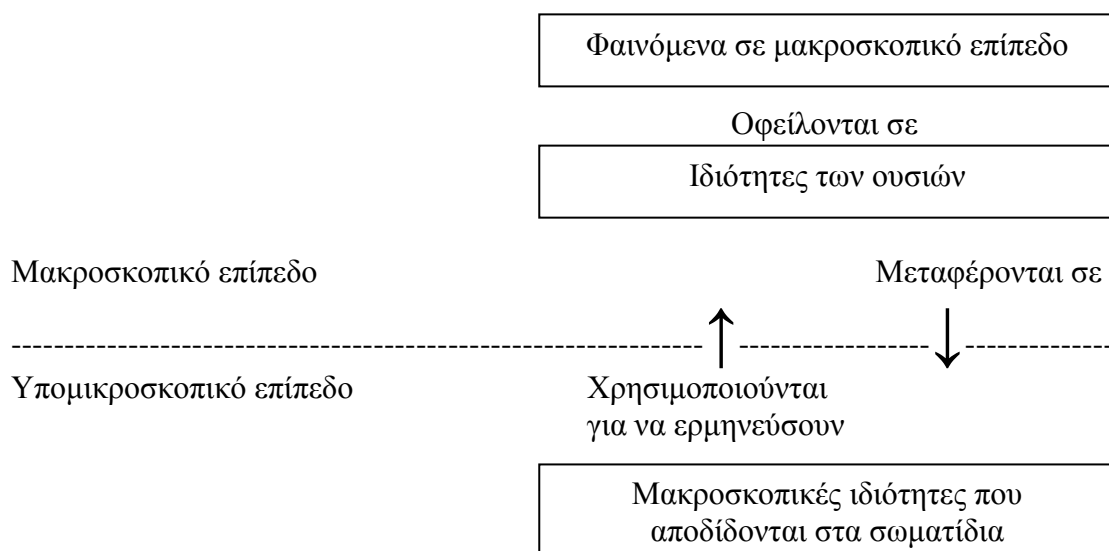
Έρευνες δείχνουν ότι, πολλοί μαθητές αν και χρησιμοποιούν την έκφραση «το κάθε τι είναι φτιαγμένο από σωματίδια», δεν κατανοούν τη σημασία της. Για παράδειγμα, κάποιιοι μαθητές υποθέτουν ότι ανάμεσα στα σωματίδια υπάρχει ουσία – έτσι στο νερό υπάρχουν σωματίδια νερού και ανάμεσά τους νερό. Εναλλακτικά, μπορεί να υποθέτουν ότι υπάρχει αέρας ανάμεσα στα σωματίδια καθώς θεωρούν ότι «η φύση απεχθάνεται το κενό». Πρόβλημα, επίσης, υπάρχει με τους δεσμούς μεταξύ των σωματιδίων, τους οποίους πολλοί μαθητές φαντάζονται ως ελατήρια ή λάστιχα, δείχνοντας έτσι πως δεν έχουν πλήρως αντιληφθεί όλες τις πτυχές του μοριακού μοντέλου.

Ακόμα και όταν οι μαθητές αντιλαμβάνονται ότι τα υλικά αποτελούνται μόνο από σωματίδια (δηλαδή ότι δεν παρεμβάλλεται ουσία γύρω τους και δεν διαχωρίζονται από τον αέρα), μπορεί να μην αναγνωρίζουν πλήρως τη σημασία του μοντέλου στις Φυσικές Επιστήμες. Το σωματιδιακό μοντέλο είναι πολύ πετυχημένο επειδή ένας μεγάλος αριθμός μακροσκοπικών ιδιοτήτων των ουσιών μπορεί να εξηγηθεί με βάση τις ιδιότητες των σωματιδίων (Σχήμα 4.2)



Σχήμα 4.2 Η χρήση του σωματιδιακού μοντέλου στις Φυσικές Επιστήμες (Taber, 2002a)

Η σημασία αυτή του σωματιδιακού μοντέλου χάνεται, καθώς αρκετές έρευνες δείχνουν ότι οι μαθητές δεν μπορούν να την κατανοήσουν. Παρόλο που οι μαθητές μαθαίνουν να αναφέρουν τα σωματίδια όταν εξηγούν μακροσκοπικά φαινόμενα, συχνά απλά μεταφέρουν στο υπομικροσκοπικό επίπεδο την ιδιότητα που ερμηνεύουν. (Σχήμα 4.3) Για παράδειγμα, θεωρούν ότι ο χαλκός έχει χρώμα κοκκινωπό επειδή τα άτομα του χαλκού έχουν χρώμα κοκκινωπό.



Σχήμα 4.3 Η χρήση του σωματιδιακού μοντέλου από πολλούς μαθητές (Taber, 2002a)

Χημικές δομές

Στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση οι μαθητές μαθαίνουν σχετικά με τη δομή του ατόμου – ή καλύτερα ένα συγκεκριμένο μοντέλο της δομής του ατόμου. Το μοντέλο αυτό παρουσιάζει το άτομο να αποτελείται από έναν πυρήνα πρωτονίων και νετρονίων στο κέντρο μιας ή περισσοτέρων στοιβάδων ηλεκτρονίων. Τα ηλεκτρόνια παρουσιάζονται συνήθως σε διαγράμματα δύο διαστάσεων τοποθετημένα σε κυκλικές τροχιές. Παρόλο που το μοντέλο αυτό είναι κατάλληλο για ένα εισαγωγικό επίπεδο, οι μαθητές που θα συνεχίσουν τις σπουδές τους στη Χημεία θα χρειαστούν περισσότερο λεπτομερή μοντέλα (π.χ. όπως αυτό των τροχιακών). Είναι χρήσιμο, επομένως, οι διδάσκοντες να δίνουν έμφαση στους περιορισμούς του και να αναφέρουν την ύπαρξη και άλλων μοντέλων που μας βοηθούν να κατανοήσουμε την ύλη σε ατομική κλίμακα. Σαφώς το σωματιδιακό μοντέλο είναι αφηρημένο και μακριά από της καθημερινές εμπειρίες των μαθητών. Οι όροι *πρωτόνιο*, *νετρόνιο* και *ηλεκτρόνιο* είναι μη οικείοι επιστημονικοί όροι για τους μαθητές, και έτσι αρχικά τους μαθαίνουν μηχανικά (παπαγαλία) και συχνά τους μπλέκουν. Σημαντικά λάθη των μαθητών σχετίζονται με τις αντιλήψεις τους για το πώς και γιατί τα άτομα, τα μόρια και οι άλλες χημικές δομές σχηματίζονται και διατηρούνται. Από επιστημονική άποψη το μοντέλο αυτό διέπεται από τρεις βασικές αρχές:

- Τα νουκλεόνια (πρωτόνια και νετρόνια) συγκρατούνται μεταξύ τους με πυρηνικές δυνάμεις,

- Τα συστήματα του πυρήνα και των ηλεκτρονίων (π.χ. άτομα, μόρια) συγκρατούνται μεταξύ τους με ηλεκτρικές δυνάμεις.
- Η τάση αυτών των δυνάμεων να ελαχιστοποιήσουν την ενέργεια των συστημάτων περιορίζεται από την κβάντωση η οποία προσδιορίζει τις επιτρεπόμενες δομές.

Οι πυρηνικές αλληλεπιδράσεις μελετώνται μόνο στη Φυσική και η σημασία των κβαντικών περιορισμών δεν αναφέρεται συνήθως στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση. Παρόλο που η διδασκαλία της Χημείας πραγματεύεται τη φύση των ηλεκτρικών αλληλεπιδράσεων, η έρευνα δείχνει ότι οι μαθητές δεν αντιλαμβάνονται πάντα τις ηλεκτρικές δυνάμεις μεταξύ πυρήνα και ηλεκτρονίων. Αυτό σημαίνει ότι η ατομική δομή διδάσκεται χωρίς αναφορά στις δύο από τις τρεις αρχές στις οποίες βασίζεται και μπορεί να μη δίνεται η απαιτούμενη έμφαση στην τρίτη που διδάσκεται.

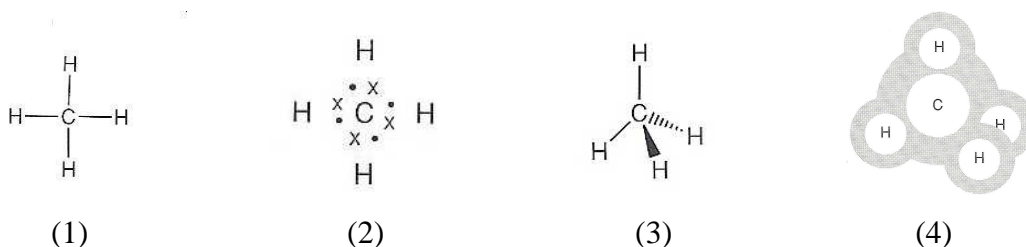
Σύμφωνα με τις αποδεκτές επιστημονικές αρχές:

- Όλα τα ηλεκτρόνια σε ένα άτομο έλκονται από τον πυρήνα.
- Η δύναμη που ασκείται σε ένα ηλεκτρόνιο, η οφειλόμενη στον πυρήνα, εξαρτάται από το μέγεθος του πυρηνικού φορτίου και την απόσταση, μεταξύ ηλεκτρονίου και πυρήνα.
- Η ελκτική δύναμη μεταξύ ηλεκτρονίου και πυρήνα είναι αμοιβαία (δύναμη ίδιου μεγέθους).
- Το κάθε ηλεκτρόνιο απωθείται από τα άλλα με μία δύναμη η οποία εξαρτάται από την απόστασή τους.

Για να απλοποιήσουμε τα πιο πολύπλοκα άτομα, συχνά εισάγουμε την έννοια «προάσπιση», δηλαδή ότι τα ηλεκτρόνια των εσωτερικών στοιβάδων ακυρώνουν (αντισταθμίζουν) την επίδραση ισοδύναμου αριθμού πυρηνικών πρωτονίων. Επομένως, μπορούμε να διαμορφώσουμε το μοντέλο του ατόμου ως ένα κέντρο θετικού φορτίου και μια στοιβάδα των εξωτερικών ηλεκτρονίων (ηλεκτρόνια σθένους). Αυτό το μοντέλο είναι μερικώς έγκυρο, καθώς οι «στοιβάδες των ηλεκτρονίων» δεν είναι ακριβώς στοιβάδες, αλλά η προσέγγιση αυτή είναι χρήσιμη.

Στη διδασκαλία της Χημείας συνιστάται η χρήση πολλών τρόπων αναπαράστασης των μοριακών δομών. Και αυτό γιατί η κάθε μορφή αναπαράστασης παρουσιάζει διαφορετικές πλευρές των νοητικών μας μοντέλων για τα μόρια. Κάθε φορά που επιλέγουμε να χρησιμοποιήσουμε ένα συγκεκριμένο τύπο αναπαράστασης, δίνουμε έμφαση (συνειδητά ή μη) σε ορισμένες πλευρές των νοητικών μας μοντέλων. Συχνά, μπορεί να μην είναι σαφές στους μαθητές σε ποια στοιχεία της αναπαράστασης χρειάζεται να δώσουν προσοχή και ποια στοιχεία είναι λιγότερο σχετικά σε ένα συγκεκριμένο πλαίσιο. Έχει βρεθεί ότι η ικανότητα των μαθητών να επιλύουν προβλήματα Χημείας σχετίζεται με την ικανότητά τους να

ερμηνεύουν διαφορετικές αναπαραστάσεις των χημικών συστημάτων. Επομένως, συστήνεται στους διδάσκοντες να χρησιμοποιούν ποικίλες αναπαραστάσεις και να συνηθίζουν να επαναλαμβάνουν τα στοιχεία της κάθε αναπαράστασης που είναι σημαντικά σε ένα συγκεκριμένο πλαίσιο. Πρέπει να υπενθυμίζουν στους μαθητές ότι η κάθε μορφή αναπαράστασης εμπεριέχει ορισμένες συμβάσεις στις οποίες πρέπει να ανατρέχουν όταν χρησιμοποιούν τις αναπαραστάσεις. Ας εξετάσουμε τις παρακάτω αναπαραστάσεις του μορίου του μεθανίου.



Στην πρώτη αναπαράσταση οι δεσμοί εμφανίζονται ως γραμμές. Αυτός είναι ο τύπος αναπαράστασης που οι μαθητές μαθαίνουν πιο εύκολα να σχεδιάζουν, αλλά δεν είναι πάντα ο πιο κατάλληλος να χρησιμοποιηθεί. Είναι γνωστό ότι οι μικρότεροι μαθητές μερικές φορές αντιλαμβάνονται τους χημικούς δεσμούς ως φυσικές συνδέσεις μεταξύ των ατόμων – δηλαδή αντιλαμβάνονται τους δεσμούς ως ράβδους, ελατήρια ή κολλώδεις ουσίες και όχι ως ανάλογά τους. Αυτός ο τύπος αναπαράστασης θα μπορούσε να ενισχύσει αυτές τις απόψεις.

Ο δεύτερος τύπος αναπαράστασης πράγματι θα μπορούσε να βοηθήσει στην αποφυγή των παραπάνω αντιλήψεων, καθώς αναπαριστά τα δεσμικά ηλεκτρόνια. Η χρήση τελειών και σταυρών είναι πολύ συνηθισμένη και στοχεύει να βοηθήσει τους μαθητές στους υπολογισμούς των ηλεκτρονίων δείχνοντας από πού (πιθανολογούμε ότι) έχουν προέλθει τα ηλεκτρόνια. Ωστόσο, αυτός ο τύπος αναπαράστασης μπορεί να ενθαρρύνει συνήθεις λανθασμένες αντιλήψεις ότι τα ηλεκτρόνια διαφορετικών ατόμων είναι διαφορετικά, ότι έλκονται μόνο (ή περισσότερο) από το δικό τους πυρήνα και ότι θα επιστρέψουν στο άτομο από το οποίο προέρχονται όταν διασπαστεί ο δεσμός. Άλλη πηγή σύγχυσης είναι ότι τα ίδια σύμβολα τελείας και σταυρού μπορεί να χρησιμοποιηθούν με διαφορετική σύμβαση για να δείξουν τις δύο διαφορετικές καταστάσεις spin των ηλεκτρονίων και όχι την «ατομική τους προέλευση».

Η πρώτη και η δεύτερη αναπαράσταση μας δίνουν και οι δύο την εντύπωση ότι τα μόρια είναι επίπεδα, ενώ με την τρίτη και την τέταρτη αναπαράσταση μπορεί να αποφύγουμε αυτήν την εντύπωση απεικονίζοντας το τρισδιάστατο σχήμα του μορίου. Η τρίτη χρησιμοποιεί πάλι γραμμές για τους δεσμούς και η τέταρτη δίνει την εντύπωση ηλεκτρονικού νέφους. Αυτή η αναπαράσταση είναι λίγο πιο εξεζητημένη, αλλά δίνει μια καλύτερη εντύπωση των δεσμικών

ηλεκτρονίων ως μέρος του μορίου και όχι σαν να ανήκουν σε ένα άτομο και ότι τα μόρια έχουν μάλλον «θαμπά» και όχι ευκρινή όρια. Από την άλλη, η αναπαράσταση αυτή δύσκολα αναπαράγεται στο χαρτί τόσο από το διδάσκοντα, όσο και από το μαθητή και ιδιαίτερα όταν θέλουμε να αναπαραστήσουμε μεγαλύτερα μόρια.

Ο χημικός δεσμός

Ο χημικός δεσμός είναι μια από τις βασικές έννοιες της Χημείας και, επίσης, ένα θέμα για το οποίο οι μαθητές έχουν πολλές λανθασμένες αντιλήψεις. Οι χημικοί και οι διδάσκοντες Χημεία αισθάνονται ότι γνωρίζουν τι είναι ο χημικός δεσμός χωρίς κατά ανάγκη να είναι σε θέση να δίνουν έναν αυστηρό ορισμό. Θα μπορούσαμε να ορίσουμε το χημικό δεσμό ως τη δύναμη που συγκρατεί τα άτομα, μόρια και ιόντα μεταξύ τους. Η αιτία αυτής της δύναμης είναι η φύση των σωματιδίων, δηλαδή το ότι αποτελούνται από θετικά φορτισμένο πυρήνα και αρνητικά φορτισμένα ηλεκτρόνια. Ας σημειωθεί ότι αυτή η περιγραφή θεωρείται κατάλληλη για μεμονωμένα άτομα ή ιόντα, για μόρια και για κρυσταλλικά πλέγματα.

Αν δεν υπήρχαν κβαντικοί περιορισμοί για το που μπορεί να είναι εντοπισμένα τα ηλεκτρόνια, τότε η διδασκαλία και η μελέτη του χημικού δεσμού θα ήταν πολύ απλούστερη, μια και δεν θα είχαμε διαφορετικά είδη χημικών δεσμών όπως ο ομοιοπολικός και ο δεσμός υδρογόνου. Ατυχώς, η πολυπλοκότητα που προκύπτει από τους κβαντικούς περιορισμούς μας οδηγεί συνήθως στο να παρουσιάζουμε στους μαθητές το θέμα του χημικού δεσμού με τέτοιο τρόπο ώστε να μην αντιλαμβάνονται την ηλεκτρική του φύση που είναι κοινή σε όλους τους τύπους των δεσμών. Πράγματι, οι διδάσκοντες άλλοτε αναφέρονται στο *χημικό δεσμό* και σε άλλες περιπτώσεις σε *δυνάμεις* που συγκρατούν τα μόρια μεταξύ τους. Όμως, οι μαθητές χρησιμοποιούν τους παραπάνω όρους με τους δικούς τους τρόπους, για τους οποίους οι διδάσκοντες δεν έχουν πλήρη επίγνωση.

Ο χημικός δεσμός είναι ένα από τα θέματα για το οποίο χρησιμοποιούμε πολλά διαφορετικά μοντέλα για να κατανοήσουμε τις διαφορετικές πλευρές του φαινομένου. Για παράδειγμα, μπορούμε να διδάξουμε το χημικό δεσμό ως ηλεκτρικές ελκτικές δυνάμεις ανάμεσα στα διαφορετικά είδη σωματιδίων χωρίς να κάνουμε αναφορά στα τροχιακά, ένα θέμα με το οποίο οι μαθητές αντιμετωπίζουν δυσκολίες. Στα μαθήματα των μεγαλύτερων τάξεων συχνά εισάγεται το μοντέλο της επικάλυψης των ατομικών τροχιακών και το μοντέλο του «γραμμικού συνδυασμού» των ατομικών τροχιακών για τη δημιουργία μοριακών τροχιακών. Ο μαθητής ο οποίος έχει μάθει να αντιλαμβάνεται τον ομοιοπολικό δεσμό ως ένα ζεύγος ηλεκτρονίων που βρίσκεται ανάμεσα, και έλκεται, από δύο πυρήνες μπορεί να αντιμετωπίσει την νέα ιδέα της επικάλυψης των τροχιακών ως εντελώς άσχετη. Βέβαια και οι δύο

αντιλήψεις είναι μοντέλα του ίδιου δεσμού, αλλά για τους μαθητές αυτό δεν είναι τόσο προφανές.

Στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση οι μαθητές αρχικά εισάγονται στους δύο διαφορετικούς τύπους χημικής σύνδεσης, τον ομοιοπολικό και τον ιοντικό δεσμό (Πίνακας 4.2), και ως εκ τούτου θεωρούν δεδομένο ότι όλοι οι χημικοί δεσμοί πρέπει να ανήκουν στον έναν ή στον άλλο τύπο.

Πίνακας 4.2 Διχοτομική ταξινόμηση στα είδη των δεσμών

Ομοιοπολικός	Ιοντικός
Τα ηλεκτρόνια μοιράζονται ανάμεσα σε άτομα αμέταλλων.	Τα ηλεκτρόνια μεταφέρονται από το άτομα ενός μετάλλου στα άτομα ενός αμέταλλου.

Έρευνες έχουν δείξει ότι ακόμα και οι μαθητές που έχουν κατακτήσει τη διχοτομική ταξινόμηση των δεσμών, δε σημαίνει ότι τους αντιμετωπίζουν ως ηλεκτρικό φαινόμενο. Και άπαξ αυτό το σχήμα σχηματισθεί, οι μαθητές δυσκολεύονται να αντιληφθούν άλλους δεσμούς, όπως οι δεσμοί υδρογόνου, που ξεφεύγουν από αυτόν τον περιορισμένο ορισμό. Σαφώς ο ομοιοπολικός και ο ιοντικός δεσμός είναι σημαντικοί τύποι δεσμών, καθώς οι περισσότερες ουσίες μπορούν να αντιμετωπισθούν, με μια πρώτη προσέγγιση, ως αποτέλεσμα αυτών. Ωστόσο, η ταξινόμηση των δεσμών σε έναν από τους δύο τύπους λειτουργεί ως εμπόδιο σε κάθε επόμενη προσέγγιση. Πολλές φορές, όταν ο ομοιοπολικός δεσμός διδάσκεται πριν από τον ιοντικό, οι μαθητές αποκτούν μια λανθασμένη «μοριακή» αντίληψη για τον ιοντικό δεσμό, σε αντίθεση με την ιοντική αντίληψη (Πίνακας 4.3). Ακριβέστερα, πολλοί μαθητές έχουν ένα συγκεχυμένο μίγμα των δύο απόψεων.

Ο μεταλλικός δεσμός, συνήθως, δεν μελετάται διεξοδικά και πολλοί μαθητές προσπαθώντας να ταιριάξουν τη μεταλλική δομή με την ταξινόμηση των δεσμών σε ομοιοπολικούς και ιοντικούς παρουσιάζουν λανθασμένες αντιλήψεις, όπως:

- Δεν υπάρχει δεσμός στα μέταλλα
- Υπάρχει κάποια μορφή δεσμού στα μέταλλα, αλλά δεν είναι «κανονικός» δεσμός
- Τα μέταλλα έχουν ομοιοπολικό ή ιοντικό δεσμό
- Τα μέταλλα έχουν μεταλλικό δεσμό, ο οποίος είναι ένα «νέφος» ηλεκτρονίων (Taber, 2002a)

Ακόμη και οι μαθητές που χρησιμοποιούν τον όρο «νέφος» ηλεκτρονίων για να περιγράψουν τον ιοντικό δεσμό τον έχουν μάθει μηχανικά.

Αν οι μαθητές έχουν δυσκολίες να θεωρήσουν το μεταλλικό δεσμό ως «κανονικό» χημικό δεσμό, τότε για τους διαμοριακούς δεσμούς τα πράγματα είναι χειρότερα. Είναι συνηθισμένο

αυτοί οι δεσμοί να θεωρούνται από τους μαθητές ως «απλές δυνάμεις» και όχι ως «κανονικοί δεσμοί». Παρόλο που μπορεί κανείς να ισχυριστεί ότι αυτό είναι μία διάκριση η οποία στηρίζεται στην ισχύ των δεσμών (για παράδειγμα, οι δυνάμεις van der Waals είναι πολύ ασθενείς για να είναι «κανονικοί» δεσμοί), για τους μαθητές το κριτήριο ταξινόμησης ενός δεσμού δεν είναι η ισχύς του, αλλά το αν ο δεσμός έχει ως αποτέλεσμα να αποκτήσει το άτομο συμπληρωμένη εξωτερική στοιβάδα.

Πίνακας 4.3 Χαρακτηριστικά της μοριακής και η ιοντικής αντίληψης για τον ιοντικό δεσμό

Χαρακτηριστικό	Μοριακή αντίληψη	Ιοντική αντίληψη
Τα μόρια	Σε μια ιοντική ένωση τα ζεύγη ιόντων θεωρούνται ως μόρια.	Δεν υπάρχουν διακριτά ζεύγη ιόντων στο κρυσταλλικό πλέγμα.
Κεντρική αντίληψη	Η μεταφορά των ηλεκτρονίων μέσω της οποίας σχηματίζονται τα ιόντα.	Η δύναμη ανάμεσα στα γειτονικά αντίθετα φορτισμένα ιόντα. στο κρυσταλλικό πλέγμα.
Το σθένος	Τα ηλεκτρόνια της στιβάδας σθένους καθορίζουν τον αριθμό των ιοντικών δεσμών που σχηματίζονται (π.χ. ένα άτομο νατρίου είναι δότης ενός ηλεκτρονίου, επομένως μπορεί να σχηματίσει ένα μόνον ιοντικό δεσμό με ένα άτομο χλωρίου)	Ο αριθμός των δεσμών που σχηματίζονται εξαρτάται από τον αριθμό συναρμογής (coordination number) και όχι από το σθένος ή το φορτίο του ιόντος (π.χ. στο NaCl η συναρμογή είναι 6:6)
Απόψεις για το σχηματισμό	Δεσμοί σχηματίζονται μόνο μεταξύ των ατόμων που δίνουν και παίρνουν ηλεκτρόνια, (π.χ. στο χλωριούχο νάτριο ένα άτομο νατρίου δίνει ένα ηλεκτρόνιο σε ένα άτομο χλωρίου και τα ιόντα που προκύπτουν συνδέονται μεταξύ τους).	Οι ηλεκτροστατικές δυνάμεις εξαρτώνται από το μέγεθος των φορτίων και την απόσταση των ιόντων, όχι από την προηγούμενη ηλεκτρονική δομή του συστήματος, (π.χ. στο χλωριούχο νάτριο, ένα ιόν χλωρίου συνδέεται με έξι γειτονικά ιόντα νατρίου και αντίστροφα).
Απόψεις για τις δυνάμεις	Οι δυνάμεις μεταξύ των γειτονικών ιόντων δεν είναι ίδιες, (π.χ. στο χλωριούχο νάτριο, ένα ιόν χλωρίου κάνει ιοντικό δεσμό με ένα ιόν νατρίου και έλκεται από άλλα πέντε ιόντα νατρίου, αλλά μόνο με δυνάμεις όχι με δεσμούς).	Ο ιοντικός δεσμός είναι το αποτέλεσμα ηλεκτροστατικών δυνάμεων, (οι δυνάμεις μεταξύ ενός ιόντος χλωρίου και καθενός από τα γειτονικά του ιόντα νατρίου είναι ίσες).

Σύμφωνα με την αρχή της «συμπληρωμένης εξωτερικής στοιβάδας» ένας δεσμός σχηματίζεται για να αποκτήσει ένα άτομο τη σταθερή δομή των 8 ηλεκτρονίων στην εξωτερική του στοιβάδα, και αυτό είναι μια πολύ συνηθισμένη παρανόηση. Παρόλο που μπορεί να εκφραστεί με διαφορετικούς τρόπους: «για να σχηματίσουν όλα συμπληρωμένη εξωτερική στοιβάδα», «για να αποκτήσουν σταθερή δομή ευγενούς αερίου», κλπ, η ιδέα είναι η ίδια.

Αν ο μαθητής κατανοεί το χημικό δεσμό με αυτόν τον τρόπο, τότε είναι λογικό να θεωρεί ότι οι διαμοριακοί δεσμοί, όπως οι δυνάμεις Van der Waals και οι δεσμοί υδρογόνου δεν χαρακτηρίζονται ως χημικοί δεσμοί, αλλά ως «απλές δυνάμεις». Κάποιοι μαθητές αντιλαμβάνονται λανθασμένα ότι οι δεσμοί υδρογόνου είναι απλά δεσμοί του υδρογόνου και επομένως τους θεωρηθούν ομοιοπολικούς δεσμούς. Αυτό συμβαίνει, όταν εισάγουμε στο μάθημα της Βιολογίας την έννοια του δεσμού υδρογόνου, πριν από τη διδασκαλία του στη Χημεία.

Οι διδάσκοντες για να βοηθήσουν τους μαθητές τους να αποκτήσουν επιστημονικά αποδεκτές απόψεις για το χημικό δεσμό πρέπει:

- Να δίνουν έμφαση στη φύση των δεσμών ως ηλεκτρικές αλληλεπιδράσεις
- Να αποφεύγουν να χρησιμοποιούν ανθρωπομορφικές εκφράσεις, αλλά καλύτερα να εξηγούν τη σύνδεση των σωματιδίων ως αποτέλεσμα δυνάμεων, και
- Να αποφεύγουν τη συζήτηση για μεταφορά ηλεκτρονίων και σχηματισμό ιόντων όταν εξετάζεται ο ιοντικός δεσμός.

Μια ενδιαφέρουσα προσέγγιση (Taber, 2002a) για τη διδασκαλία των χημικών δεσμών έγινε με βάση την εξέταση των παραπάνω αντιλήψεων των μαθητών και την ανάλυση της σχετικής πολυπλοκότητας των διαφορετικών χημικών δομών και προτείνει πως μια αλλαγή στη σειρά διδασκαλίας των δεσμών πιθανόν να μειώσει τις παρανοήσεις των μαθητών. Η προτεινόμενη σειρά διδασκαλίας ξεκινά από την απλούστερη και προχωρά σε συνθετότερες χημικές δομές (Πίνακας 4.4).

Σύμφωνα με αυτήν την προσέγγιση, η «απλή» περίπτωση του ομοιοπολικού δεσμού σε χημικές ενώσεις, όπως το νερό ή το υδροχλώριο, είναι η πιο σύνθετη, επειδή για να ερμηνευθεί εξ ολοκλήρου η αντίστοιχη χημική δομή απαιτεί δύο τύπους δεσμών (ομοιοπολικός δεσμός και διαμοριακές δυνάμεις) και επομένως πρέπει να διδαχθεί τελευταία.

Πίνακας 4.4 Προτεινόμενη σειρά διδασκαλίας των ειδών του χημικού δεσμού (Taber, 2002a)

Είδος δομής	Είδος δεσμών	Παρατηρήσεις
Μεταλλικοί κρύσταλλοι	Μεταλλικός δεσμός: κατιόντα και απεντοπισμένα ηλεκτρόνια	Υπάρχει ένα στοιχείο
Ιοντικοί κρύσταλλοί	Ιοντικός δεσμός: κατιόντα και ανιόντα	Υπάρχουν δύο ή περισσότερα στοιχεία, η στοιχειομετρία καθορίζεται από την αναλογία των φορτίων
Γιγάντιες ομοιοπολικές δομές	Ομοιοπολικός δεσμός	Ο αριθμός των δεσμών και η στοιχειομετρία καθορίζεται από το σθένος, οι δεσμοί έχουν ορισμένες κατευθύνσεις
Απλές ομοιοπολικές δομές	Ομοιοπολικός δεσμός και διαμοριακές δυνάμεις	Διακριτά μόρια και διευθετήσεις των μορίων σε κρυστάλλους

4.3 Συμβολικό επίπεδο

4.3.1 Ο χημικός συμβολισμός ως γλώσσα

Από πολλούς αμφισβητείται αν πρέπει ο χημικός συμβολισμός να αντιμετωπίζεται εξ ολοκλήρου ως μια γλώσσα, καθώς δεν υπάρχουν λέξεις ή φράσεις με την κλασική έννοια. Ωστόσο, προκειμένου να εξετασθεί με περισσότερες λεπτομέρειες πρέπει να καθοριστούν τα ειδικά γλωσσικά χαρακτηριστικά του. Ουσιαστικά, αποτελείται από ένα «αλφάβητο», έχει μια ιδιαίτερη σύνταξη (συντακτικό), και ένα σύνολο σημασιολογικών κανόνων. Τα επιμέρους γλωσσικά στοιχεία του χημικού συμβολισμού μπορεί να θεωρηθούν ως ένα «μοντέλο-γλώσσας», η οποία έχει ένα αλφάβητο με στοιχειώδη σύμβολα που φέρουν ένα συγκεκριμένο νόημα. Τα στοιχειώδη σύμβολα συνδέονται για να σχηματίσουν «λέξεις», σύμφωνα με ορθογραφικούς κανόνες, και οι λέξεις συνδέονται στη συνέχεια για να σχηματίσουν «προτάσεις», σύμφωνα με τους γραμματικούς κανόνες. Και οι δύο αυτοί τύποι κανόνων αναφέρονται ως συντακτικοί κανόνες προκειμένου να διακριθούν από τους σημασιολογικούς κανόνες που διέπουν τη σημασία των στοιχειωδών συμβόλων, λέξεων και φράσεων. Αυτό το «μοντέλο γλώσσας» είναι διαφορετικό από τις συνήθειες γλώσσες.

Το σύγχρονο χημικό αλφάβητο αποτελείται από περίπου 117 σύμβολα που αναπαριστούν τα γνωστά χημικά στοιχεία (1-116 και 118/ H - Uuo, Ιούλιος 2009), χωρίς ο αριθμός αυτών των «στοιχειωδών» συμβόλων να είναι περιορισμένος, καθώς νέα σύμβολα μπορούν να εισαχθούν. Τα στοιχειώδη σύμβολα μπορούν να συνδυαστούν, ώστε να σχηματίζουν χημικούς τύπους (π.χ. NaCl) και χημικές εξισώσεις (π.χ. $2\text{Na} + \text{Cl}_2 \rightarrow 2\text{NaCl}$). Αυτοί οι

συνδυασμοί των συμβόλων ακολουθούν ένα σύνολο *τυπικών κανόνων*, συγκρίσιμους με τους κανόνες που διέπουν το σχηματισμό των λέξεων και των προτάσεων της γλώσσας, και ορίζονται ως *χημική σύνταξη*, η οποία περιλαμβάνει τη *χημική ορθογραφία* και τη *χημική γραμματική*. Η χημική ορθογραφία παρέχει τους κανόνες που διέπουν το συνδυασμό των στοιχειωδών συμβόλων σε χημικούς τύπους (π.χ. σθένος, αριθμός οξείδωσης). Καθορίζει ποια στοιχειώδη σύμβολα μπορούν να συνδυαστούν, με ποια αναλογία και πώς. Για παράδειγμα, τα σύμβολα Na και Cl μπορούν να συνδυαστούν σε NaCl σύμφωνα με τους κανόνες του αριθμού οξείδωσης των στοιχείων. Η χημική γραμματική παρέχει τους κανόνες που διέπουν τις χημικές εξισώσεις. Καθορίζει τους στοιχειομετρικούς συντελεστές (ισοσταθμισμένες εξισώσεις), τη χρήση βέλους μονής κατεύθυνσης ή βέλους ισορροπίας, και τις «συνθήκες αντίδρασης» (π.χ. διαλύτης, θερμοκρασία, φυσική κατάσταση). Η χημική ορθογραφία και γραμματική είναι στενά συνδεδεμένες. Για παράδειγμα, οι κανόνες γραμματικής της χημικής εξίσωσης $2\text{Na} + \text{Cl}_2 \rightarrow 2\text{NaCl}$ καθορίζονται από την ορθογραφία του Na, του Cl₂ και του NaCl. Επομένως, όλοι οι κανόνες ορθογραφίας και γραμματικής μπορούν να ονομαστούν κανόνες χημικής σύνταξης.

Είναι, επίσης, αναγκαίο να οριστεί μία ακόμη πτυχή του χημικού συμβολισμού. Κάθε σύμβολο, τύπος, και χημική εξίσωση έχει μια «σημασία» στον κόσμο των ουσιών. Η σχέση μεταξύ του NaCl και ενός κόκκου άλατος είναι ένα σημασιολογικό πρόβλημα. Η *χημική σημασιολογία* πραγματεύεται με τη «σημασία» των γλωσσικών αναπαραστάσεων (π.χ. σύμβολα, τύποι, ή χημικές εξισώσεις) και τη σχέση τους με τη χημική πρακτική. Ως εκ τούτου, ένας χημικός τύπος σχετίζεται με μία χημική ένωση με *δύο τρόπους*. Πρώτον, ο τύπος αναπαριστά μια ένωση (γλωσσική αναπαράσταση). Για παράδειγμα, ο τύπος NaCl αναπαριστά καθαρό ορυκτό αλάτι. Δεύτερον, η χημική σύνταξη βασίζεται σε κανόνες που έχουν την εμπειρική τους προέλευση στον κόσμο των ενώσεων και των χημικών αντιδράσεων. Για παράδειγμα, η στοιχειακή ανάλυση πολλών διαφορετικών αλάτων έχει καθορίσει τον κανόνα «το Na έχει αριθμό οξείδωσης +1 στις ενώσεις των αλογόνων με νάτριο». Επίσης, με βάση τον τύπο αυτό μπορούμε να προβλέψουμε ότι ηλεκτρόλυση τηγμένου NaCl θα δώσει νάτριο και χλώριο, και όχι κάλιο ή βρωμίου και ότι η ένωση με τύπο NaCl περιέχει ιόντα χλωρίου και όταν αντιδράσουν με νιτρικό άργυρο θα σχηματίσουν ένα λευκό ίζημα χλωριούχου αργύρου.

Παρά τη στενή σχέση μεταξύ χημικής σύνταξης και χημικής σημασιολογίας δεν προϋποθέτει η πρώτη τη δεύτερη. Για παράδειγμα, γράφοντας τη χημική εξίσωση:

$\text{Pb} + \text{MgO} \rightarrow \text{PbO} + \text{Mg}$, η οποία περιέχει «έγκυρες» λέξεις (σωστούς χημικούς τύπους) και υπακούει τους «γραμματικούς» κανόνες, δεν είναι σωστή Χημεία γιατί η χημική αυτή εξίσωση συμβολίζει μια αντίδραση που δεν είναι εφικτή. Δηλαδή δεν αντικατοπτρίζει γνώση μιας συγκεκριμένης χημικής ιδιότητας, της δραστηριότητας των μετάλλων.

4.3.2 Ευρύτερος χημικός συμβολισμός

Εκτός από τα σύμβολα των στοιχείων, υπάρχουν πολλές άλλες μορφές συμβόλων που χρησιμοποιούμε στη Χημεία. Βασικά χρησιμοποιούνται γράμματα του αλφαβήτου (λατινικού και ελληνικού), αριθμοί και μαθηματικά σύμβολα καθώς και συνδυασμός αυτών. Συγκεκριμένα, γράμματα χρησιμοποιούνται για το συμβολισμό:

- των στοιχείων (H, He, ...Pb, Sn, ...Uuo),
- του ατομικού και μαζικού αριθμού (Z και A από τις γερμανικές λέξεις Zahl (αριθμός) και Atomgewichte (ατομικά βάρη) αντίστοιχα, Jensen, 2005),
- μετρήσιμων ποσοτήτων όπως: ποσότητα ουσίας, μάζα, όγκο, πίεση, θερμοκρασία, εντροπία, ενθαλπία, μήκος κύματος, χρόνος (n, m, V, P, T, S, H, λ, t) και άλλα,
- των μονάδων μέτρησης αυτών των ποσοτήτων (mol, kg, L, Pa, K, κλπ),
- διαφόρων σταθερών (k, h, \hbar , K_a , κλπ),
- των στοιβάδων ηλεκτρονίων (K, L, M, ...), του τύπου των τροχιακών (s, p, d, f, sp, κλπ. στα άτομα και σ, π, κλπ. στα μόρια),
- των ισομερών οργανικών ενώσεων (o-, p-, m- E/Z, D/L, R/S).

Χρησιμοποιούνται επίσης μαθηματικά σύμβολα όπως βέλη (\rightarrow , \leftarrow), τα σύμβολα +, -, <, >, =, [], Δ, p {για το pH} και άλλα, και αριθμοί λατινικοί (I, II, III, IV, V, κλπ για τις οξειδωτικές καταστάσεις) και αραβικοί (1, 2, 3, κλπ).

Τέλος συνήθως είναι ο συνδυασμός γραμμάτων, αριθμών και συμβόλων όπως: H_2 , CH_3OH , Na^+ , CO_3^{2-} , cm^{-3} , sp^3 , [HCl], $\Delta H < 0$, (g), (s), (l) και (aq) κλπ.

Με βάση την εποικοδομική άποψη για τη μάθηση η προϋπάρχουσα γνώση του μαθητή αποτελεί το ερμηνευτικό πλαίσιο που χρησιμοποιεί ο μαθητής για να κατανοήσει την νέα πληροφορία. Στην προσπάθεια του ο μαθητής να ταιριάσει τις πληροφορίες που του δίνονται κατά τη διδασκαλία με ό,τι ήδη γνωρίζει μπορεί να παραμορφώσει (διαστρεβλώσει) τη σημασία που επιδιώκει να δώσει ο εκπαιδευτικός. Ο τρόπος που παρουσιάζουμε θέματα Χημείας κατά τη διδασκαλία και που είναι σαφής και ξεκάθαρος από τη σκοπιά ενός χημικού την ίδια στιγμή μπορεί να αποτελεί πηγή σύγχυσης και λανθασμένων αντιλήψεων για τους μαθητές. Μερικές φορές ο χημικός συμβολισμός δρα ως τέτοιο «παιδαγωγικό» εμπόδιο μάθησης.

4.3.3 Οι χημικές εξισώσεις

Πρωταρχικής σημασίας είναι για τη Χημεία και, επομένως, για τη διδασκαλία και τη μάθηση της Χημείας ο συμβολισμός των χημικών αντιδράσεων, δηλαδή οι χημικές εξισώσεις. Αν και είναι τόσο καθημερινές και οικείες για τους χημικούς, υπάρχουν πολλά επίπεδα δεξιοτήτων που πρέπει να αποκτήσει κανείς για να έχει πλήρη επάρκεια του χημικού συμβολισμού και, επομένως, πολλά επίπεδα στα οποία οι μαθητές μπορούν να κάνουν λάθη με τις χημικές εξισώσεις. Προκειμένου να μάθουν να χρησιμοποιούν πληρέστερα τη χημική γλώσσα οι μαθητές πρέπει:

- να μάθουν τα χημικά σύμβολα και τη σημασία τους
- να κατανοήσουν τη ορθογραφία και τη γραμματική της συμβολικής γλώσσας
- να γνωρίζουν αρκετή χημεία ώστε να είναι ικανοί να συνθέτουν «αληθινές» προτάσεις στη συμβολική γλώσσα για να αναπαριστούν εφικτές αντιδράσεις.

4.3.4 Μάθηση των συμβόλων και της ορθογραφίας

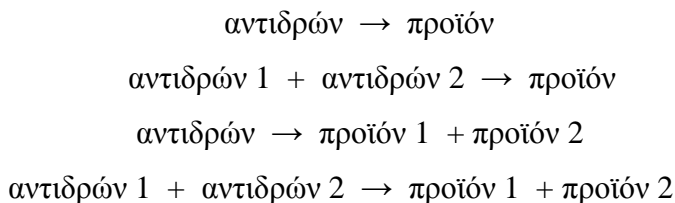
Αρχικά οι μαθητές πρέπει να μάθουν τα σύμβολα των πιο κοινών στοιχείων και τα ονόματα τους. Κατόπιν πρέπει να μάθουν τους κανόνες της ορθογραφίας, δηλαδή τους τρόπους που συνδυάζονται ορθά τα «γράμματα» (σύμβολα στοιχείων) για να μας δώσουν «λέξεις» με σημασία (χημικές ενώσεις). Ο πρώτος κανόνας απαιτεί τη τοποθέτηση των συμβόλων σύμφωνα με την ηλεκτροθετικότητα των στοιχείων, μία έννοια που οι μαθητές δεν έχουν συνήθως διδαχθεί όταν μαθαίνουν τη γραφή των χημικών ενώσεων, και έτσι χρησιμοποιούν την εμπειρική μέθοδο να τοποθετούν αριστερά τα μέταλλα και δεξιά τα αμέταλλα (MgO) αν και αυτή δεν περιλαμβάνει τη γραφή τύπων όπως του KMnO_4 . Ο δεύτερος κανόνας συνδέεται με την έννοια του σθένους και τη χρήση δεικτών και έτσι διακρίνουμε το Fe_2O_3 από το FeO . Οι μαθητές πρέπει να αντιληφθούν τη διαφορά μεταξύ των δεικτών που «ισοσταθμίζουν» το σθένος και των αριθμών που τοποθετούνται μπροστά τις «λέξεις» (τύπους) που ισοσταθμίζουν τις χημικές εξισώσεις. Εκθέτες αριθμοί σε συνδυασμό με τα μαθηματικά σύμβολα (+) και (-) χρησιμοποιούνται για τα φορτία των ιόντων. Επίσης οι μαθητές πρέπει να μάθουν τα σύμβολα των φυσικών καταστάσεων (s), (l), (g), (aq), τα σύμβολα για την έκλυση αερίου (\uparrow), για την καταβύθιση ιζήματος (\downarrow), καθώς και τα σύμβολα που δείχνουν αντίδραση (\rightarrow), ισορροπία (\rightleftharpoons), συνθήκες αντίδρασης όπως θερμότητα (Δ), φως (hν ή u.v.) κ.α.

4.3.5 Μάθηση της βασικής γραμματικής

Οι χημικές εξισώσεις χρησιμοποιούνται για το συμβολισμό χημικών διαδικασιών όπως οι χημικές αντιδράσεις. Το κύριο χαρακτηριστικό των χημικών εξισώσεων είναι ότι έχουν δύο μέρη, που συμβολίζουν το «πριν» (αριστερό μέρος) και το «μετά» (δεξί μέρος) της

διαδικασίας, τα οποία διαχωρίζονται με ένα βέλος που φέρει το όνομα της αντίστοιχης διαδικασίας (υποδηλώνει το «γίνεται», «μεταβάλλεται»).

Το κάθε μέρος της χημικής εξίσωσης μπορεί να περιλαμβάνει πολλούς όρους που διαχωρίζονται μεταξύ τους με το σύμβολο «+», το οποίο δείχνει ότι λαμβάνουν μέρος μερικά διακριτά συστατικά. Για μια χημική εξίσωση που συμβολίζει μια χημική αντίδραση, οι διαφορετικοί όροι συμβολίζουν διαφορετικές χημικές ουσίες και υπάρχει πλήθος παραλλαγών του αριθμού των ουσιών που εμπλέκονται, όπως:



Οι χημικές εξισώσεις μπορεί να έχουν τη μορφή τύπων ή λέξεων. Για παράδειγμα, η χημική εξίσωση:



Θα μπορούσε να γραφεί ως:



Παρόλο που η εξίσωση λέξεων είναι πιο οικεία για τους μαθητές και οι δύο μορφές παρουσιάζουν δυσκολίες. Για παράδειγμα, κατά τη συμπλήρωση των εξισώσεων λέξεων τα μη συστηματικά (εμπειρικά) ονόματα, όπως η αμμωνία, δεν κάνουν νύξεις για τα στοιχεία που περιέχονται στην ένωση. Επομένως χρειάζεται κανείς να μάθει, να ανακαλέσει και να εφαρμόσει κανόνες όπως: το «-ικό» υπονοεί την ύπαρξη οξυγόνου. Μια βασική απαίτηση των χημικών εξισώσεων τύπων (σε αντίθεση με τις χημικές εξισώσεις λέξεων) είναι ότι πρέπει να είναι ισοσταθμισμένες. Η ισοστάθμιση σχετίζεται με τη προβλεπόμενη διατήρηση των οντοτήτων (μάζας, φορτίων, ενέργειας) κατά τη διάρκεια μιας χημικής διαδικασίας.

Υπόβαθρο γνώσεων για την ερμηνεία της συμβολικής γλώσσας

Για να απαντήσει σωστά ένας μαθητής στην απλή άσκηση: «Συμπλήρωσε τη χημική εξίσωση: θειικό οξύ + υδροξείδιο του νατρίου → + νερό»

δεν χρειάζεται απλώς να καταλαβαίνει ότι η χημική εξίσωση (λέξεων) συμβολίζει μια χημική αντίδραση και ότι ο όρος που λείπει είναι μια χημική ουσία που παράγεται όταν το θειικό οξύ αντιδρά με υδροξείδιο του νατρίου. Χρειάζεται, επίσης, να μπορεί να βρει (αντιληφθεί) ποιο είναι το προϊόν, γεγονός που απαιτεί ένα υπόβαθρο γνώσεων. Αυτό μπορεί να είναι η «γνώση» της απάντησης, ή η εύρεσή της μέσω (α) της αναγνώρισης του τύπου της αντίδρασης (εξουδετέρωση) αντιπαραβάλλοντας το γενικό σχήμα αυτού του είδους της

αντίδρασης (οξύ και βάση δίνει άλας και νερό) και (β) της ανάκλησης της γνώσης ότι η βάση υδροξείδιο του νατρίου δίνει άλας που ονομάζεται «κάτι νάτριο» και ότι το θειικό οξύ δίνει θειικά άλατα. Έτσι η παραγωγή της απάντησης «θειικό νάτριο» απαιτεί το συνδυασμό της κατανόησης του χημικού συμβολισμού με συγκεκριμένη χημική γνώση.

Για να έχει νόημα η βασική γραμματική των χημικών εξισώσεων χρειάζεται να έχει γίνει αντιληπτή η έννοια της χημικής αντίδρασης και αυτή με τη σειρά της απαιτεί την κατανόηση της έννοιας της χημικής ουσίας. Είναι όμως γνωστό ότι οι πολύ βασικές αυτές έννοιες της Χημείας παρουσιάζουν πολλές δυσκολίες για τους μαθητές.

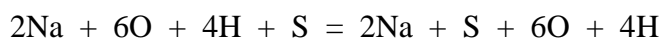
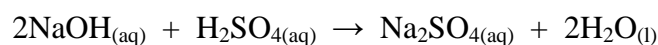
Η χημική εξίσωση του τύπου: αντιδρών \rightarrow προϊόν 1 + προϊόν 2

για παράδειγμα:
$$\text{CaCO}_3 \xrightarrow{\Delta} \text{CaO} + \text{CO}_2 \uparrow \quad (\text{εξίσωση 2})$$

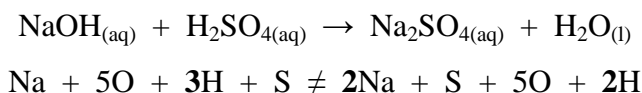
για πολλούς μαθητές δεν συμβολίζει μια χημική αντίδραση. Δεν μπορεί να είναι αντίδραση καθώς το ανθρακικό ασβέστιο δεν αντιδρά με κάτι. Για άλλους μαθητές συμβολίζει αντίδραση επειδή θεωρούν τη θερμότητα ως αντιδρών, κάτι παρόμοιο με το ανθρακικό ασβέστιο. Στην πραγματικότητα, είναι χημική αντίδραση επειδή παράγονται νέες χημικές ουσίες. Η καθημερινή όμως σημασία της λέξης «αντίδραση» (απάντηση σε κάτι) αποτελεί εμπόδιο στο να γίνει αντιληπτή η επιστημονική σημασία της λέξης. Δηλαδή, το προηγούμενο γλωσσικό γνωστικό υπόβαθρο του μαθητή επεμβαίνει στην επιδιωκόμενη μάθηση της Χημείας.

Διατήρηση της μάζας

Μια χημική εξίσωση πρέπει να είναι «ισοσταθμισμένη» προκειμένου να συμβολίζει ακριβώς τη χημική αντίδραση. Αυτό εμπεριέχει και τη διάσταση των αρχών και τη διάσταση της πρακτικής. Η πρακτική διάσταση αφορά στις κατάλληλες ποσότητες των αντιδρώντων που πρέπει να χρησιμοποιηθούν κατά την εκτέλεση της αντίδρασης. Αν η εξίσωση (1) δεν είναι ισοσταθμισμένη ($\text{NaOH}_{(\text{aq})} + \text{H}_2\text{SO}_{4(\text{aq})} \rightarrow \text{Na}_2\text{SO}_{4(\text{aq})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{l})}$) υπονοεί ότι απαιτούνται ίσοι όγκοι διαλυμάτων των αντιδρώντων (ίδιας συγκέντρωσης) όταν στην πράξη απαιτείται διπλάσιος όγκος διαλύματος βάσης από αυτόν του οξέος επειδή το οξύ είναι διβασικό. Από τη διάσταση των αρχών η χημική εξίσωση συμβολίζει μια χημική διαδικασία η οποία διέπεται από τους νόμους διατήρησης της μάζας και της ενέργειας. Σε μια χημική αντίδραση τα υφιστάμενα στοιχεία (είτε ως στοιχεία είτε ως συστατικά των χημικών ενώσεων) διατηρούνται. Μια ισοσταθμισμένη εξίσωση αναπαριστά τα ίδια στοιχεία στις ίδιες ποσότητες και στα δύο μέρη:



ενώ δεν ισχύει το ίδιο όταν η εξίσωση δεν είναι ισοσταθμισμένη:



Η μη ισοσταθμισμένη εξίσωση μπορεί να υπονοεί ότι τα στοιχεία μπορεί να δημιουργούνται ή να καταστρέφονται ή να μετατρέπονται κατά τη διαδικασία, σε αντίθεση με τη θεμελιώδη αρχή της Χημείας.

Καθώς η ισοσταθμισμένη χημική εξίσωση περιλαμβάνει σύμβολα που δείχνουν τις φυσικές καταστάσεις αντιδρώντων και προϊόντων, ίσως φαίνεται περιττή η ένδειξη της παραγωγής του νερού. Επομένως, η εξίσωση θα μπορούσε να γραφεί:

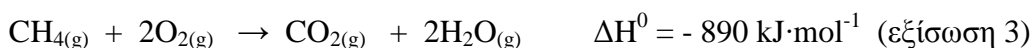


σύμφωνα με τον ισχυρισμό ότι το σύμβολο (aq) υπονοεί την παρουσία του νερού ως διαλύτη και το νερό που παράγεται αποτελεί μέρος του διαλύτη. Παρόλο που από αυτή την άποψη η βραχύτερη μορφή της εξίσωσης θα μπορούσε να είναι αποδεκτή, η εκτενέστερη εκδοχή της (εξίσωση 1) προτιμάται επειδή «απεικονίζει» τη διατήρηση της μάζας που είναι θεμελιώδης για την κατανόηση των χημικών διαδικασιών.

Συμβολισμός των μεταβολών της ενέργειας

Εκτός από τη διατήρηση της μάζας, στις χημικές διαδικασίες θεωρούμε ότι διατηρείται και η ενέργεια. Για παράδειγμα, σε μια εξωθερμική αντίδραση χημική δυναμική ενέργεια «εκλύεται» ως θερμότητα και η ποσότητα της εκλυόμενης ενέργειας μπορεί να απαικονίζεται με παράθεση της τιμής μεταβολής της ενθαλπίας. Η ενθαλπία συμβολίζεται με το γράμμα H και η εξωθερμική μεταβολή της ενθαλπίας είναι εξ ορισμού αρνητική, δηλαδή $\Delta H < 0$.

Επομένως, από τη χημική εξίσωση:



φαίνεται ότι η καύση του μεθανίου εκλύει (τουλάχιστον κάτω από πρότυπες συνθήκες), 890kJ ενέργειας ανά mole αντιδρώντος, που εξ ορισμού σημαίνει ανά mole μεθανίου και όχι ανά mole οξυγόνου.

Για τους μαθητές το $\Delta H < 0$ για τις εξωθερμικές αντιδράσεις είναι αντι-διαισθητικό, καθώς πιο φυσικά συνδέουν την «έκλυση» της ενέργειας με μια θετική ένδειξη: το αρνητικό (μια απώλεια) το αντιλαμβάνονται ως κατανάλωση ενέργειας, ενώ το θετικό (μια ωφέλεια) ως παραγωγή. Ο συμβολισμός δεν είναι προβληματικός από επιστημονική άποψη, αλλά οι μαθητές δεν έχουν αποκτήσει το νοητικό πλαίσιο που υποστηρίζει αυτό τον τρόπο σκέψης.

Διατήρηση του φορτίου

Πολλές φορές χρειάζεται να γίνει ισοστάθμιση του ηλεκτρικού φορτίου:

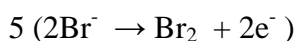
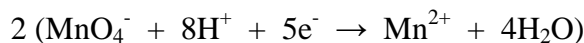


$$(-1) + 8 (+1) + 5 (-1) = (+2) + 4 (0)$$

$$- 1 + 8 - 5 = + 2$$

Ακριβώς όπως με τη μάζα και την ενέργεια πρέπει και το ηλεκτρικό φορτίο να διατηρείται. Ωστόσο, ελεύθερα ηλεκτρόνια δεν υπάρχουν στη φύση, επομένως δεν μπορούν να υπάρχουν ως αντιδρώντα ή προϊόντα στους συμβολισμούς των χημικών αντιδράσεων. Με την εξίσωση 4 αναπαρίσταται μια «ημι-αντίδραση» που συμβαίνει μόνο σε συνδυασμό με μια άλλη κατάλληλη εξίσωση «ημι-αντίδρασης». Δηλαδή αυτή η διαδικασία αναγωγής πρέπει να συνδυαστεί με μία διαδικασία οξειδωσης που «δίνει» ηλεκτρόνια, όπως: $2\text{Br}^- \rightarrow \text{Br}_2 + 2\text{e}^-$

Ο μαθητής πρέπει να αντιληφθεί ότι η παρουσία ενός όρου που δεν αποτελεί χημική ουσία (2e^-) δείχνει ότι αυτή η συγκεκριμένη εξίσωση δεν αναπαριστά μια χημική αντίδραση. Όταν συνδυάζεται με την κατάλληλη «ημι-αντίδραση», η ισοστάθμιση των ηλεκτρονίων εξαλείφει τον «απαράδεκτο» όρο. Για παράδειγμα:



Δίνει την εξίσωση: $2 \text{MnO}_4^- + 16 \text{H}^+ + 10 \text{Br}^- \rightarrow 2 \text{Mn}^{2+} + 8 \text{H}_2\text{O} + 5 \text{Br}_2$

Η τελική εξίσωση είναι ισοσταθμισμένη και όσον αφορά τα στοιχεία και όσον αφορά τα ηλεκτρικά φορτία και συμβολίζει την οξειδωση των ιόντων βρωμίου από όξινο διάλυμα υπερμαγγανικών ιόντων. Αποτελεί όμως μια αφαιρετική συμβολική μορφή μιας πραγματικής χημικής αντίδρασης όπου τα ιόντα βρωμίου και τα υπερμαγγανικά ιόντα είναι συστατικά πραγματικών ουσιών. Για παράδειγμα:



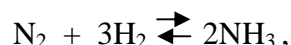
Η εκτενέστερη χημική εξίσωση ίσως περιγράφει σαφέστερα τα αντιδρώντα που χρησιμοποιούνται στην χημική αντίδραση, αλλά τα ιόντα του καλίου και του νατρίου δεν είναι απαραίτητα στη διαδικασία και θα μπορούσαν να αντικατασταθούν χωρίς να αλλάξει ουσιαστικά τίποτα. Πράγματι, καθώς τα προϊόντα της αντίδρασης βρίσκονται στην ίδια φιάλη ως υδατικό διάλυμα, δεν πρέπει να υπονοείται ότι κάποια ανιόντα χλωρίου είναι συστατικά του χλωριούχου νατρίου και κάποια άλλα του χλωριούχου καλίου.

Την καταβύθιση χλωριούχου αργύρου από υδατικό διάλυμα ιόντων χλωρίου τη συμβολίζουμε: $\text{AgNO}_{3(\text{aq})} + \text{NaCl}_{(\text{aq})} \rightarrow \text{AgCl}_{(\text{s})} \downarrow + \text{NaNO}_{3(\text{aq})}$

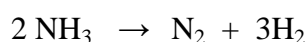
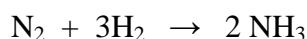
Καθώς όμως τα αντιδρώντα είναι σε διάλυμα, το οποίο από τη στιγμή που σχηματίστηκε δεν περιέχει νιτρικό άργυρο και χλωριούχο νάτριο ως διακριτές ουσίες, είναι προτιμότερο η εξίσωση να γραφτεί ως: $\text{Ag}^+_{(\text{aq})} + \text{Cl}^-_{(\text{aq})} \rightarrow \text{AgCl} \downarrow$

Συμβολισμός της χημικής ισορροπίας

Οι περισσότερες χημικές εξισώσεις περιέχουν το σύμβολο του βέλους (\rightarrow). Αυτό υπονοεί μια κατεύθυνση της χημικής μεταβολής: τη διαδικασία μετατροπής των αντιδρώντων σε προϊόντα. Ωστόσο, υπάρχουν και χημικές εξισώσεις οι οποίες περιέχουν το σύμβολο του διπλού βέλους (\rightleftharpoons), και συμβολίζουν χημικές αντιδράσεις σε κατάσταση ισορροπίας. Το πιο σύνηθες παράδειγμα εισαγωγής της χημικής ισορροπίας στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση είναι η αντίδραση παραγωγής της αμμωνίας που περιγράφεται από την εξίσωση :



και η απλούστερη ερμηνεία που δίνουν οι μαθητές είναι ότι σε αυτή την αντίδραση μέρος των αντιδρώντων δεν αντιδρά. Πιο βαθειά κατανόηση συνδέεται με την αναγνώριση της αλληλεπίδρασης θερμοδυναμικών και κινητικών παραγόντων και με την ικανότητα σχηματισμού νοητικών εικόνων για τις μοριακές συγκρούσεις και αλληλεπιδράσεις (Gilbert, 2005). Αυτό επιτρέπει τους μαθητές να βλέπουν δύο αντιδράσεις να πραγματοποιούνται ταυτόχρονα:



και τη συνολική διαδικασία ως μια δυναμική ισορροπία.

4.3.6 Δυσκολίες και προβλήματα με τη συμβολική γλώσσα της Χημείας

Σύμφωνα με τον Wellington, όπως αναφέρεται από τους Marais και Jordaan (2000), η δυσκολία της επιστημονικής γλώσσας, επομένως, και της γλώσσας της Χημείας, οφείλεται βασικά στο βαθμό «αφαίρεσης» των επιστημονικών λέξεων. Συγκεκριμένα, ο Wellington έχει ταξινομήσει τις λέξεις σε τέσσερα επίπεδα αυξανόμενης «αφαίρεσης» (Πίνακας 4.5), στο κατώτερο των οποίων βρίσκονται οι λέξεις που χρησιμοποιούνται ως ονομασίες.

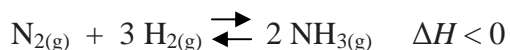
Πίνακας 4.5 Η ταξινόμηση των λέξεων του Wellington.

Επίπεδο «αφαίρεσης»	0	1	2	3
Κατηγορίες λέξεων	Ονομασίες	Διαδικασίες	Έννοιες	Μαθηματικές
Παραδείγματα	σίδηρος	τήξη	ενέργεια	παράγωγος
	οξυγόνο	πήξη	δύναμη	ακολουθία
	γάτα	διάλυση	δεσμός	[], { }
	ζυγός	διήθηση	εντροπία	+, -, <, >, =
	βιβλίο	σύγκριση	ενθαλπία	a^y
	δέντρο	αξιολόγηση	αντίδραση	$P \cdot V = n \cdot R \cdot T$

Ακολουθούν οι λέξεις που χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν διαδικασίες (process words), και στις οποίες είναι δυνατό να δοθεί άμεσα ή έμμεσα κάποιος ορισμός. Στο επόμενο επίπεδο δυσκολίας τοποθετούνται οι λέξεις που περιγράφουν έννοιες (concept words), είτε πρόκειται για θεωρητικές δομές, είτε για επιστημονικές και καθημερινές έννοιες, είτε για αισθητήριες έννοιες. Τέλος, στο ανώτερο επίπεδο της ταξινομίας του Wellington βρίσκονται οι μαθηματικές λέξεις (mathematical words), δηλαδή η κατεξοχήν συμβολική γλώσσα των επιστημών.

Οι εκπαιδευτικοί πρέπει να έχουν επίγνωση του υψηλού βαθμού δυσκολίας που έχει η συμβολική γλώσσα και να μην τη θεωρούν αυτονόητη. Μια ανάλυση του συμβολισμού που χρησιμοποιείται σε ασκήσεις χημικής ισορροπίας (Marais & Jordaan , 2000), έδειξε ότι οι μαθητές εμπλέκονται σε αρκετές γνωστικές δεξιότητες προκειμένου να απαντήσουν σε ασκήσεις όπως:

«Η αμμωνία παρασκευάζεται με τη μέθοδο Haber, η οποία βασίζεται στην αντίδραση του υδρογόνου με το άζωτο σύμφωνα με την εξίσωση:



Πώς θα επηρεαστεί η ισορροπία εάν (i) αυξηθεί η θερμοκρασία και (ii) αυξηθεί η πίεση;»

Σύμφωνα με τους ερευνητές οι μαθητές πρέπει:

1. Να προσδιορίσουν τα στοιχεία και την ένωση από τα σύμβολα τους.
2. Να καταλάβουν ότι οι συντελεστές σημαίνουν ότι ένα μόριο του αζώτου αντιδρά με τρία μόρια του υδρογόνου για να σχηματίσουν δύο μόρια της αμμωνίας.
3. Να καταλάβουν ότι 1 mole (ή όγκος) αζώτου αντιδρά με 3 moles (ή όγκους) υδρογόνου για να σχηματίσουν 2 moles (ή όγκους) αμμωνίας.
4. Να ερμηνεύσουν το «+» στην εξίσωση ως «αντιδρά με» και όχι «προστίθεται σε», όπως στα μαθηματικά.
5. Να ερμηνεύσουν ένα βέλος (\rightarrow) ως «σχηματίζουν/ει» ή «παράγουν/ει».
6. Να ερμηνεύσουν ότι το διπλό βέλος (\rightleftharpoons) σημαίνει ότι η αντίδραση είναι αμφίδρομη, δηλαδή ότι οι δύο αντιδράσεις (η αντίδραση με φορά προς τα δεξιά και η αντίστροφη αντίδραση) πραγματοποιούνται ταυτόχρονα.
7. Να συνειδητοποιήσουν ότι τα αντιδρώντα και τα προϊόντα αυτής της αντίδρασης είναι όλα στην αέρια φάση δηλαδή ότι είναι ένα ομοιογενές σύστημα ισορροπίας.
8. Να γνωρίζουν ότι το ΔH αναφέρεται στη μεταβολή της ενθαλπίας της αντίδρασης, ή στη θερμότητα που εκλύεται ή απορροφάται.
9. Να ερμηνεύουν τη σημασία του $\Delta H < 0$ ως μείωση της ενθαλπίας του συστήματος.

10. Να γνωρίζουν ότι το $\Delta H < 0$ αναφέρεται στην προς τα δεξιά φορά της αντίδρασης και ότι η αντίστροφη αντίδραση είναι επομένως ενδοθερμική.

Με βάση αυτή την ανάλυση, γίνεται κατανοητό γιατί ο Wellington κατατάσσει τη συμβολική γλώσσα στο πιο υψηλό επίπεδο αφαίρεσης και, συγχρόνως, γιατί οι μαθητές βρίσκουν τη Χημεία δύσκολη.

Εξάλλου, όπως υπάρχει πολυσημία λέξεων έτσι παρατηρείται και πολυσημία συμβόλων, δηλαδή η απόδοση ποικίλων ερμηνειών στο ίδιο σύμβολο. Το πότε χρησιμοποιείται το κάθε σύμβολο και με ποια ερμηνεία, απαιτεί την ερμηνεία των αντίστοιχων «πλαισίων» στα οποία περιέχονται. Για να αποκτήσουν οι μαθητές το νόημα των συμβόλων που χρησιμοποιούνται στις χημικές εξισώσεις και στη Χημεία γενικότερα, πρέπει να κατανοήσουν ότι δεν απαιτείται ανάπτυξη μαθηματικών δεξιοτήτων και αποστήθισης. Οι χημικές εξισώσεις ουσιαστικά απεικονίζουν όσα πραγματοποιούνται στη φύση. Είναι σημαντικό να αποκολληθεί η Χημεία από το στείο συμβολισμό και να κατανοηθεί ότι πίσω από κάθε σύμβολο βρίσκεται μια έννοια, ένα μέγεθος ή μια διαδικασία.

Βιβλιογραφία

- Atkins, P. W. (2005). Skeletal Chemistry. *Education in Chemistry*, 42 (10), (available online December 2009 from http://www.rsc.org/Education/EiC/issues/2005_Jan/skeletal.asp)
- Dechsri, P., Jones, L. L., Heikkinen W. H., " Effect of a Laboratory Manual Design Incorporating Visual Information-Processing Aids on Student Learning and Attitudes", *Journal of Research in Science Teaching*, 1997, 34, (9), 891–904
- Gabel, D. L. (1998). The complexity of chemistry and its implication for teaching. In B. J. Fraser & K. G. Tobin (Eds.) *International handbook of science education* (Vol. 1, pp. 223-248). London: Kluwer.
- Gilbert J. K. & Treagust D. F. (2009). Introduction: Macro, Submicro and Symbolic Representations and the Relationship Between Them: Key Models in Chemical Education. In J. Gilbert & D. F. Treagust (Eds), *Multiple Representations in Chemical Education* (pp 1-8). Springel.
- Harrison, A. G. & Treagust D. F. (2002). The particulate nature of matter: Challenges to understanding the submicroscopic world. In J. Gilbert, K., O. de Jong, R. Justi, D. F. Treagust & J. H. Van Driel (Eds), *Chemical education: Towards research-based practice* (pp 189-212). Dordrecht: Kluwer.

- Hodson, D. (1990). A critical look at practical work in school science. *School Science Review*, 64, 377-379.
- Hofstein, A., Lunetta, N. V., "The Laboratory in Science Education: Foundations for the Twenty-First Century", *Science Education*, 2004, 88, (1), 28-54
- Johnstone, A. H. (1991). Why is science difficult to Learn? *Journal of Computer Assisted Learning*, 7, 75-83.
- Johnstone, A. H. (1993). The development of chemistry teaching: A changing response to a changing demand. *Journal of Chemical Education*, 70 (9), 701-705.
- Marais, P. & Jordaan, F. (2000) Are we taking symbolic language for granted? *Journal of Chemical Education*, 77, 1355-1357.
- Nelson, P. (2002). Teaching chemistry progressively: From substances to atoms and molecules, to electron and nuclei. *Chemistry Education: Research and Practice*, 3, 215-228.
- Shiland, T. W., "Constructivism: The Implications of Laboratory Work", *Journal of Chemical Education*, 1999, 76, 107-109.
- Singh, M. M., Szafran, Z., Pike M. R., "Microscale Chemistry and Green Chemistry: Complementary Pedagogies", *Journal of Chemical Education* 76, 1684-1686
- Taber, K. (2002a). Chemical misconceptions – prevention, diagnosis and cure, vol.I: theoretical background, RSC
- Taber, K. (2002b). Chemical misconceptions – prevention, diagnosis and cure, vol.II: classroom resources, RSC
- Taber, K. (2009). Learning at the symbolic level. In In J. Gilbert & D. F. Treagust (Eds), *Multiple Representations in Chemical Education* (pp 75-105). Springer.
- Tukey, H. & Selvaratnam, M. (1993). Studies involving three-dimensional visualization skills in chemistry. *Studies in Science Education*, 21, 99-121.
- Wellington, J. J. (1983) A Taxonomy of Scientific Words, *School Science Review*, 64 (229), 767-773.
- Γιούρη – Τσοχατζή Κ., *Διδακτική Πειραμάτων Χημείας*, εκδόσεις ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη, 2000

5. ΑΝΑΛΥΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΚΑΙ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑ

5.1 Προγράμματα σπουδών

Οι θεωρητικοί προβληματισμοί που αναπτύσσονται σχετικά με τη γνώση που προσφέρει το σχολείο (ή το πανεπιστήμιο) και τον τρόπο που προσφέρει τη γνώση αυτή διαμορφώνονται με βάση τις σύγχρονες απόψεις της φιλοσοφίας, της κοινωνιολογίας, της ψυχολογίας, της γλωσσολογίας και των επιμέρους κλάδων τους. Διαφορετικές θεωρητικές θέσεις σχετικά με το τι είναι γνώση και πώς αποκτάται, με το ποιος είναι ο κοινωνικός προορισμός της σχολικής εκπαίδευσης ή με την αντιμετώπιση των εκπαιδευομένων ως ατόμων και συλλογικών υποκειμένων οδηγούν σε διαφορετικές προτάσεις για την οργανωτική δομή και τους τρόπους σχεδιασμού των προγραμμάτων σπουδών: του *σχολικού προγράμματος σπουδών* (δηλαδή του σχολικού curriculum), του *προγράμματος σπουδών κάθε γνωστικού αντικείμενου* (π.χ. του προγράμματος της Χημείας) και του *αναλυτικού προγράμματος* για την κατά κύκλους εκπαίδευση στο συγκεκριμένο γνωστικό αντικείμενο (δηλαδή του syllabus του μαθήματος π.χ. της Χημείας της Β' τάξης του Γυμνασίου ή του Λυκείου).

Οι όροι syllabus και curriculum είναι δύο λατινικές λέξεις που μέχρι πρόσφατα χρησιμοποιούνταν, συνήθως, η πρώτη από βρετανούς και η δεύτερη από αμερικανούς ειδικούς. Η διαφορά τους, όμως, δεν περιοριζόταν μόνο σε αυτό. Ο όρος syllabus, αναφερόταν στο πρόγραμμα όπου καταγράφονταν, υπό μορφή κατάστασης ή λίστας, η «ύλη» κάποιας τελικής αξιολόγησης των μαθητών, ενώ στο curriculum καταγράφονταν κυρίως οι εκπαιδευτικοί στόχοι, κατά προτίμηση με μορφή παρατηρήσιμης συμπεριφοράς.

Στο πρόγραμμα με μορφή syllabus μπορεί να βρει κανείς δύο ειδοποιά χαρακτηριστικά. Το πρώτο είναι, όπως ήδη αναφέρθηκε, πως αυτό δεν περιλαμβάνει ειδικούς στόχους, αλλά μόνο, ενδεχόμενα, τους γενικούς στόχους ή σκοπούς καθώς και τη διδακτέα ή εξεταστέα ύλη. Το δεύτερο χαρακτηριστικό είναι πως τα περιεχόμενα δεν αποτελούν διδακτικές ενότητες με εσωτερική άρθρωση, αλλά καταγράφονται με μορφή κατάστασης για να περιληφθούν, κατά την ενδεχόμενη παραγωγή διδακτικών εγχειριδίων, σε ενότητες με γραμμική αλληλουχία.

Το πρόγραμμα με μορφή curriculum περιλαμβάνει, εξ ορισμού, τους γενικούς και τους ειδικούς στόχους, από τους οποίους προκύπτουν όλα τα άλλα περιεχόμενα ή συστατικά του.

5.2 Αναλυτικό Πρόγραμμα

Γενικά, ως Αναλυτικό Πρόγραμμα μπορούμε να θεωρήσουμε το προϊόν διαδικασιών σχεδιασμού και σύνταξης ενός γενικού πλαισίου μακροπρόθεσμης οργάνωσης της διδασκαλίας, που γίνεται σε διάφορα επίπεδα και με διαφορετικό κατά περίπτωση βαθμό εγκυρότητας και νομιμότητας. Το αναλυτικό πρόγραμμα δεν είναι ούτε η θεωρία της

διδασκαλίας ούτε η ίδια η διεξαγωγή της διδασκαλίας, αλλά ένα ενδιάμεσο στάδιο που συνδέει τη θεωρία και την πράξη με σκοπό να καταστήσει αποτελεσματική και ελεγχόμενη τη διδακτική διαδικασία.

Υπάρχουν στη βιβλιογραφία πολλοί ορισμοί γι' αυτό που ονομάζουμε *πρόγραμμα σπουδών*, *εκπαιδευτικό πρόγραμμα*, *πρόγραμμα διδασκαλίας* ή *αναλυτικό πρόγραμμα*. Όλοι αυτοί οι όροι χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν ένα διάγραμμα ή έναν κατάλογο από επιδιώξεις (σκοπούς) της διδασκαλίας της διδακτέας ύλης κατά εκπαιδευτική βαθμίδα ή σχολικό τύπο, τάξη και γνωστικό αντικείμενο (μάθημα). Δηλαδή, το εκπαιδευτικό πρόγραμμα δίνει τις κατευθυντήριες γραμμές και, γενικά, ορίζει έμμεσα ή άμεσα αφενός το περιεχόμενο της διδακτικής διαδικασίας (διδασκαλίας και μάθησης) και αφετέρου τις ανατροφοδοτικές διαδικασίες (αξιολόγηση του αποτελέσματος διδασκαλίας και μάθησης).

Πρόκειται στην ουσία για το πρόγραμμα ενός γνωστικού αντικειμένου, το οποίο σε πρακτικό επίπεδο απαντά στα ερωτήματα ποια ύλη, για ποιο σκοπό, σε ποια τάξη και με ποια σειρά πρέπει να διδαχθεί ή ποιες γνώσεις πρέπει να μεταδοθούν στους μαθητές μιας συγκεκριμένης σχολικής βαθμίδας (π.χ. δημοτικό σχολείο ή γυμνάσιο) ή ενός συγκεκριμένου σχολικού τύπου (π.χ. γενικό ή τεχνικό-επαγγελματικό λύκειο).

Το εκπαιδευτικό πρόγραμμα και ειδικότερα το αναλυτικό πρόγραμμα συγκεκριμένων μαθημάτων συνδέεται στενά στις περισσότερες ευρωπαϊκές χώρες με τα σχολικά εγχειρίδια, τα οποία συγκεκριμενοποιούν το περιεχόμενό του και αποτελούν μαζί του τις *επίσημες προδιαγραφές της εκπαιδευτικής διαδικασίας*, οι οποίες καθορίζονται συχνά από την πολιτεία, υπό μορφή νομικών διατάξεων και κειμένων (Νόμοι, Προεδρικά Διατάγματα, Υπουργικές Αποφάσεις κλπ).

5.3 Οργάνωση Αναλυτικού Προγράμματος

Από άποψη δομής των σχολικών προγραμμάτων, γίνεται λόγος για *οργάνωση της διδακτέας ύλης* ή, διαφορετικά, για ταξινόμηση των αντικειμένων σχολικής γνώσης—που σημαίνει την ταξινόμηση των μορφωτικών αγαθών σε ομάδες μαθημάτων ή κύκλους σπουδών (π.χ. πρωτεύοντα και δευτερεύοντα μαθήματα ή μαθήματα κορμού και επιλογής). Στη νεότερη Διδακτική πήρε μεγάλη έκταση η οργάνωση των περιεχομένων διδασκαλίας και μάθησης γύρω από θεματικούς άξονες, όπως είναι η Πατριδογνωσία ή η Μελέτη του Περιβάλλοντος για την πρωτοβάθμια, ή σε κύκλους σπουδών, όπως π.χ. γλώσσα και λογοτεχνία, θετικές επιστήμες, κοινωνικές σπουδές ή ανθρωπιστικές σπουδές και θετική, θεωρητική, και τεχνολογική κατεύθυνση για τη δευτεροβάθμια εκπαίδευση.

Συναφής με την οργάνωση είναι η *διάταξη της ύλης* στο πρόγραμμα σπουδών, δηλαδή η σειρά παροχής των μορφωτικών αγαθών στο σύνολο των διδασκομένων μαθημάτων ή σε επιμέρους γνωστικά αντικείμενα. Είναι γνωστοί από το παρελθόν δύο κυρίως τρόποι διάταξης της ύλης: η *επάλληλη διάταξη* σε δύο κυρίως εκδοχές, κατά ανιούσα προοδευτική κλίμακα ή καθ' ομόκεντρους κύκλους με σταδιακή διεύρυνση και εμβάθυνση των γνώσεων από τάξη σε τάξη ή από βαθμίδα σε βαθμίδα για ένα γνωστικό αντικείμενο. Η *παράλληλη διάταξη* επιχειρεί το συγχρονισμό της διδασκαλίας ομοειδών γνώσεων (π.χ. διαθεματική προσέγγιση κλπ.). Η νεότερη εκδοχή της *σπειροειδούς διάταξης* έχει κοινά σημεία με την παραδοσιακή καθ' ομόκεντρους κύκλους διάταξη, στηρίζεται όμως σε μια διαφορετική ψυχολογική βάση. Εάν εντοπίσουμε τη διάταξη της ύλης σε ένα συγκεκριμένο γνωστικό αντικείμενο ή μάθημα, τότε μπορούμε να διακρίνουμε τη *γραμμική* από την *κατά νησίδες* ή *παραδειγματική διάταξη*. Στην πρώτη περίπτωση πρόκειται για αλυσσιδωτή παράθεση επιμέρους στοιχείων ή ενοτήτων ενός γνωστικού αντικειμένου (π.χ. χρονολογική και χωρίς κενά παράθεση των γεγονότων και ιστορικών περιόδων στο μάθημα της Ιστορίας), στη δεύτερη για επιλογή βασικών ενοτήτων ή ιστορικών περιόδων, οι οποίες θεωρούνται αντιπροσωπευτικά παραδείγματα («νησίδες» ή «θέματα») για την καλλιέργεια κάποιων ικανοτήτων ή της σκέψης των μαθητών.

5.4 Σκοποί και στόχοι των Αναλυτικών Προγραμμάτων και της διδασκαλίας

Στα σύγχρονα προγράμματα σπουδών που περιλαμβάνει η σχολική εκπαίδευση συναντάει συχνά κανείς τρεις τύπους επιδιώξεων: α) τους *σκοπούς*, β) τους *γενικούς στόχους* και γ) τους *ειδικούς στόχους*. Οι σκοποί είναι επιδιώξεις διατυπωμένες στο μέγιστο βαθμό γενικότητας. Συχνά, πρόκειται για τις λειτουργίες της εκπαίδευσης ή για το λόγο ύπαρξης μιας βαθμίδας εκπαιδευτικού συστήματος, ενός τύπου εκπαιδευτικού ιδρύματος, κτλ. Οι γενικοί στόχοι ορίζουν συνήθως τις επιμέρους επικοινωνιακές δεξιότητες που αναμένεται να αναπτύξουν οι μαθητές, κάνοντας αναφορά και στις περιστάσεις επικοινωνίας μέσα στις οποίες οι δεξιότητες πρέπει να μπορούν να εκδηλωθούν. Οι ειδικοί στόχοι ορίζουν με μεγαλύτερη λεπτομέρεια τις επιμέρους επικοινωνιακές δεξιότητες, συνήθως σε επίπεδο εννοιών. Οι ειδικοί στόχοι επιδιώκεται συχνά να διατυπώνονται με μορφή παρατηρήσιμης συμπεριφοράς –όσο και όταν αυτό είναι δυνατό– ώστε να είναι εφικτός ο έλεγχος επίτευξής τους, δηλαδή, να είναι δυνατή η αξιολόγηση κατά τη διάρκεια ή/ και στο τέλος της υλοποίησης του προγράμματος.

Ο τρόπος διατύπωσης των σκοπών και των γενικών στόχων, οι οποίοι πρέπει να μεταφραστούν σε ειδικούς πριν γίνει δυνατή η επιδίωξή τους, έχει ιδιαίτερη σημασία γιατί συνεπάγονται επιλογές πολιτικού και ιδεολογικού χαρακτήρα. Σημειώνεται, όμως, ότι

συνήθως ο έλεγχος επίτευξής τους αναμένεται να γίνει από άλλους, και όχι από τους ίδιους τους διδάσκοντες.

5.4.1 Γενικοί σκοποί και στόχοι

Συνοψίζοντας, οι εκπαιδευτικοί σκοποί και στόχοι είναι οι προσδοκίες που έχουν όλοι οι φορείς οι εμπλεκόμενοι στη διαδικασία της εκπαίδευσης (κράτος, εκπαιδευτικοί, γονείς, μαθητές) για τα αποτελέσματα της διδασκαλίας και της μάθησης στο σχολείο. Είναι διατυπωμένοι σε διαφορετικά επίπεδα. Τα επίπεδα αυτά είναι στην Ελλάδα το Σύνταγμα, οι νόμοι που αναφέρονται στην εκπαίδευση, το αναλυτικό πρόγραμμα και η διδασκαλία. Το **Σύνταγμα** (άρθρο 16) καθορίζει τις γενικές κατευθύνσεις της εκπαίδευσης και προσδιορίζει τα πλαίσια στα οποία θα κινηθεί ο σκοπός του σχολείου. Ο σκοπός του σχολείου πάλι συγκεκριμενοποιείται σε γενικό σκοπό του αναλυτικού προγράμματος. Με τη σειρά του, ο γενικός σκοπός του αναλυτικού προγράμματος αναλύεται και συγκεκριμενοποιείται στους γενικούς σκοπούς των μαθημάτων και οι τελευταίοι στους σκοπούς των διδακτικών ενοτήτων και τους σκοπούς της συγκεκριμένης διδασκαλίας.

Με βάση τα παραπάνω μπορούμε να κατατάξουμε τους εκπαιδευτικούς σκοπούς σε τρεις κατηγορίες:

1. Τους γενικούς σκοπούς που ορίζουν τις γενικές κατευθύνσεις της εκπαίδευσης και είναι οι επιταγές του συντάγματος και των νόμων.

[Σύνταγμα, Άρθρο 16, 1. Η τέχνη και η επιστήμη, η έρευνα και η διδασκαλία είναι ελεύθερες. Η ανάπτυξη και η προαγωγή τους αποτελεί υποχρέωση του Κράτους. Η ακαδημαϊκή ελευθερία και η ελευθερία της διδασκαλίας δεν απαλλάσσουν από το καθήκον της υπακοής στο Σύνταγμα. 2. Η παιδεία αποτελεί βασική αποστολή του Κράτους και έχει σκοπό την ηθική, πνευματική, επαγγελματική και φυσική αγωγή των Ελλήνων, την ανάπτυξη της εθνικής και θρησκευτικής συνείδησης και τη διάπλασή τους σε ελεύθερους και υπεύθυνους πολίτες. 3. Τα έτη υποχρεωτικής φοίτησης δεν μπορεί να είναι λιγότερα από εννέα.]

[Νόμος 1566/1985 (ΦΕΚ Α' 167/30-09-1985): Δομή και λειτουργία της πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης και άλλες διατάξεις. Σκοπός της πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης είναι να συμβάλει στην ολόπλευρη, αρμονική και ισόρροπη ανάπτυξη των διανοητικών και ψυχοσωματικών δυνάμεων των μαθητών, ώστε, ανεξάρτητα από φύλο και καταγωγή, να έχουν τη δυνατότητα να εξελιχθούν σε ολοκληρωμένες προσωπικότητες και να ζήσουν δημιουργικά.]

2. Τους γενικούς σκοπούς μιας συγκεκριμένης βαθμίδας εκπαίδευσης, καθώς και των μαθημάτων που περιλαμβάνει αυτή.

[Νόμος 2525/1997 (ΦΕΚ Α' 188/23-09-1997) : Ενιαίο Λύκειο, πρόσβαση των αποφοίτων του στην Τριτοβάθμια Εκπαίδευση, αξιολόγηση του εκπαιδευτικού έργου και άλλες διατάξεις. Σκοπός του ενιαίου λυκείου είναι:

- η παροχή γενικής παιδείας υψηλού επιπέδου
- η ανάπτυξη των ικανοτήτων, της πρωτοβουλίας, της δημιουργικότητας και της κριτικής σκέψης των μαθητών
- η προσφορά στους μαθητές των απαραίτητων γνώσεων και εφοδίων για τη συνέχιση των σπουδών τους στην επόμενη εκπαιδευτική βαθμίδα, και
- η καλλιέργεια στους μαθητές δεξιοτήτων που θα διευκολύνουν την πρόσβαση, ύστερα από περαιτέρω εξειδίκευση ή κατάρτιση, στην αγορά εργασίας.]

3. Στους ειδικούς διδακτικούς στόχους μάθησης και μπορεί να είναι οι στόχοι κάθε διδακτικής ενότητας του μαθήματος.

5.4.2 Ειδικοί ή αντικειμενικοί στόχοι διδασκαλίας

Η σύγχρονη Διδακτική δίνει μεγάλη σημασία στους ειδικούς στόχους της διδασκαλίας, οι οποίοι ονομάζονται και αντικειμενικοί στόχοι διδασκαλίας, επειδή θεωρούνται ότι ανταποκρίνονται στις πραγματικές ανάγκες της διδασκαλίας. Οι αντικειμενικοί στόχοι διδασκαλίας μπορεί να διατυπώνονται:

- Από τους συντάκτες των αναλυτικών προγραμμάτων) και οριοθετούν την ανάπτυξη του περιεχομένου της ενότητας.
- Από τους συγγραφείς των διδακτικών βιβλίων στους οδηγούς διδασκαλίας ή/ και στα εγχειρίδια των μαθητών.
- Από τους διδάσκοντες στο σχεδιασμό της διδασκαλίας έτσι, ώστε να ικανοποιούνται οι επιδιώξεις του αναλυτικού προγράμματος και σε συνδυασμό με το μέσο επίπεδο νοητικής ανάπτυξης της τάξης που θα σημειωθεί η διδασκαλία.

Οι αντικειμενικοί στόχοι της διδασκαλίας αποτελούν εξειδίκευση των σκοπών των μαθημάτων που υπάρχουν στα αναλυτικά προγράμματα. Με τη διαδικασία εξειδίκευσης των σκοπών της μάθησης επιχειρείται να δημιουργηθούν οι συνθήκες εκείνες που θα επιτρέπουν να παρατηρούμε έμμεσα εσωτερικές καταστάσεις και διεργασίες που δεν παρατηρούνται άμεσα.

Σύμφωνα με το Mager, ένας διδακτικός στόχος είναι σαφής, εφικτός και επαληθεύσιμος, αν με αυτόν:

(α) ορίζονται οι δεξιότητες που περιγράφουν τη συμπεριφορά ως υλοποιήσιμη και παρατηρήσιμη δραστηριότητα (π.χ. ο μαθητής σχεδιάζει, ταξινομεί, συγκρίνει)

(β) ορίζονται οι συνθήκες κάτω από τις οποίες θα συμπεριφερθεί με τον αναμενόμενο τρόπο (π.χ. προϋποθέσεις, μέσα, χρόνος, ηλικία)

(γ) ορίζονται τα κριτήρια που κάνουν τη συμπεριφορά αποδεκτή, δηλαδή τα κριτήρια που μας κάνουν να θεωρούμε πως η συμπεριφορά (ο στόχος) επιτεύχθηκε σε ικανοποιητικό βαθμό (π.χ. συχνότητα, ποσότητα, ποιότητα).

Σ' έναν ορθά διατυπωμένο στόχο, σύμφωνα με τον Mager, διακρίνουμε τρία μέρη. Τη **δραστηριότητα** στην οποία θέλουμε να προβεί ο μαθητής, τις ακριβείς **συνθήκες** κάτω από τις οποίες θα εκτελεστεί αυτή η δραστηριότητα και τα **κριτήρια** για τον έλεγχο της ικανοποιητικής επίδοσης της.

Δραστηριότητα: Στην περιγραφή του στόχου εκφράζεται τι πρέπει να μπορεί να κάνει ο μαθητής. Εκφέρεται απαραίτητα με ρήμα που να δηλώνει συγκεκριμένη ενέργεια (κατάλογο τέτοιων ρημάτων περιέχει το παράρτημα Α, σελ.147). Ρήματα που επιτρέπουν πολλές ερμηνείες και δεν είναι δυνατόν να εξακριβωθούν άμεσα, όπως: να γνωρίσει, να κατανοήσει, να εμβαθύνει, να πιστέψει, να προσέξει, να προβληματίσει, να ευαισθητοποιήσει κτλ. δεν εισάγουν αντικειμενικούς στόχους, αλλά μπορούν να δηλώνουν παιδαγωγικούς σκοπούς (προθέσεις).

Συνθήκες επίτευξης στόχων: Πρόκειται για τις συνθήκες κάτω από τις οποίες πρέπει να δείξει ο μαθητής ότι πέτυχε το στόχο. Τι επιτρέπεται να χρησιμοποιήσει και τι όχι. Πολλές φορές οι συνθήκες μπορούν να αντικατασταθούν από ένα παράδειγμα με το πώς θέλουμε να εκτελέσει τη δραστηριότητα ο μαθητής. Στις συνθήκες αποσαφηνίζεται με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια η απαίτηση έτσι, ώστε να μη χωρούν παρερμηνείες από τους μαθητές.

Κριτήρια: Με τα κριτήρια προσδιορίζουμε τους όρους κάτω από τους οποίους η απόδοση στη ζητούμενη δραστηριότητα, θεωρείται ικανοποιητική. Τα κριτήρια πρέπει να είναι λογικά και εύχρηστα.

Στα παραδείγματα που ακολουθούν οι δραστηριότητες είναι σε πλαίσιο, οι συνθήκες είναι με πλάγια γράμματα και τα κριτήρια υπογραμμισμένα. Π.χ.

- Σ' έναν κατάλογο με περιγραφές φαινομένων, να αναγνωρίσει ο μαθητής τα χημικά φαινόμενα, χωρίς κανένα λάθος.
- Να προβλέψει ο μαθητής τα προϊόντα των χημικών αντιδράσεων με αντιδρώντα τις χημικές ενώσεις που αναγράφονται στον πίνακα της τάξης. Δεν ενδιαφέρουν οι συντελεστές των χημικών εξισώσεων.

- Να γράψει ο μαθητής τους χημικούς τύπους τουλάχιστον δέκα χημικών ενώσεων από τις είκοσι που αναγράφονται (λεκτικά) στον πίνακα της τάξης.

Σύμφωνα με τις γνωστικές θεωρίες οι σκοποί της μάθησης, που οικοδομούν τη γνωστική δομή του μαθητή, δεν πρέπει να ταυτίζονται μόνο με τον τρόπο εκδήλωσης της συμπεριφοράς. Επομένως, τίθεται το ερώτημα αν, με την προτεινόμενη εξειδίκευση των σκοπών σε στόχους, ορίζονται ουσιαστικοί στόχοι της μάθησης ή απλώς τρόποι που θα χρησιμοποιούσε κανείς για να αξιολογήσει ενδεχομένως τους πραγματικούς σκοπούς της διδασκαλίας και τούτο πάντα έμμεσα. Εν τούτοις, η εξειδίκευση των σκοπών της διδασκαλίας δεν είναι απορριπτέα, αλλά απαραίτητη και χρήσιμη όταν οι σκοποί αναλύονται και συγκεκριμενοποιούνται μέχρι ενός ενδιάμεσου βαθμού ώστε να μην είναι ούτε πολύ γενικοί και ασαφείς, ούτε πολύ αναλυτικοί και ταυτισμένοι μόνο με κάποιους τρόπους εκδήλωσης της συμπεριφοράς.

Πίνακας 5.1 Αναλυτικό πρόγραμμα σπουδών της Χημείας στη Β' τάξη του Γυμνασίου

Στόχοι	Θεματικές Ενότητες (διατιθέμενος χρόνος)	Ενδεικτικές Δραστηριότητες
<p>Αναφέρουν τους κυριότερους σταθμούς της ιστορικής εξέλιξης των αντιλήψεων για την ασυνέχεια της ύλης.</p> <p>Ορίζουν το άτομο και το μόριο.</p> <p>Διακρίνουν τα μόρια των χημικών στοιχείων από τα μόρια των χημικών ενώσεων.</p> <p>Αποδίδουν σχηματικά, με χρήση προσομοιώσεων, μόρια χημικών στοιχείων και μόρια απλών χημικών ενώσεων.</p> <p>Ερμηνεύουν τη χημική αντίδραση σε επίπεδο ατόμων και μορίων.</p> <p>Τεκμηριώνουν, βασιζόμενοι σε πειραματικά δεδομένα, το πολύ μικρό μέγεθος των μορίων.</p>	<p>Άτομα και μόρια</p> <p>Ιστορική εξέλιξη των αντιλήψεων για την ασυνέχεια της ύλης.</p> <p>Το άτομο ως δομικό συστατικό της ύλης.</p> <p>Το μόριο: Η μικρότερη οντότητα της ύλης που μπορεί να υπάρξει σε ελεύθερη κατάσταση.</p> <p>Μόρια χημικών στοιχείων και χημικών ενώσεων.</p> <p>Προσομοιώματα μορίων.</p> <p>Αναδιάταξη των ατόμων κατά τις χημικές αντιδράσεις.</p> <p>(2 ώρες)</p>	<p>Κατασκευή μοντέλων μορίων στοιχείων και χημικών ενώσεων με χρήση ατομικών μοντέλων.</p> <p>Εργαστηριακή άσκηση: Προσεγγιστικός υπολογισμός του μεγέθους μορίου.</p>

5.5 Ταξινομίες γνωστικών δεξιοτήτων που αποτελούν διδακτικούς στόχους

5.5.1 Ταξινόμια του Bloom

Η πιο γνωστή και ευρέως χρησιμοποιούμενη ταξινόμηση γνωστικών δεξιοτήτων στις οποίες στοχεύει η διδασκαλία είναι αυτή που αναφέρεται στην «Ταξινόμια των διδακτικών στόχων» του Bloom. Η ταξινόμηση αυτή περιλαμβάνει έξι γνωστικά επίπεδα:

A. *Γνώση*: Η "γνώση", όπως ορίζεται από τον Bloom, περιλαμβάνει τις γνωστικές δεξιότητες της *αναγνώρισης* ή της *ανάκλησης* ορολογίας, γεγονότων και στοιχείων, μέσων και μεθόδων καθώς και αφηρημένων εννοιών και γενικών αρχών.

B. *Κατανόηση*: Ο Bloom χρησιμοποιεί τον όρο "κατανόηση" για να συμπεριλάβει τις γνωστικές δεξιότητες της *μετάφρασης*, της *ερμηνείας* και της *προέκτασης*.

Γ. *Εφαρμογή*: Η "εφαρμογή" είναι η γνωστική δεξιότητα που ορίζεται από τον Bloom ως η *χρήση των αφηρημένων παραστάσεων* σε ειδικές και συγκεκριμένες περιπτώσεις. Αυτές οι παραστάσεις μπορεί να είναι μέθοδοι, αρχές, ιδέες και θεωρίες που πρέπει να θυμηθεί και να εφαρμόσει κανείς.

Δ. *Ανάλυση*: Η δεξιότητα της ανάλυσης βρίσκεται σε ανώτερο επίπεδο από τις δεξιότητες της κατανόησης και της εφαρμογής. Η "ανάλυση", κατά τον Bloom, δίνει έμφαση στη διαίρεση ενός θέματος στα μέρη που το αποτελούν και στην ανίχνευση των σχέσεων και του τρόπου με τον οποίο οργανώνονται αυτά τα μέρη.

Ε. *Σύνθεση*: Η "σύνθεση" ορίζεται από τον Bloom ως η γνωστική δεξιότητα ένωσης στοιχείων και τμημάτων με σκοπό να διαμορφώσουν ένα σύνολο. Γενικά η σύνθεση προϋποθέτει μια επανασύνδεση των μερών προηγούμενης εμπειρίας με νέα ύλη, επαναδομημένη σε νέο περισσότερο ή λιγότερο ενοποιημένο σύνολο.

ΣΤ. *Αξιολόγηση*: Η "αξιολόγηση" ορίζεται από τον Bloom ως η δεξιότητα να κρίνουμε την αξία ιδεών, έργων, λύσεων, μεθόδων, με βάση κάποιο σκοπό. Απαιτεί τη χρήση κριτηρίων και κανόνων για να εκτιμήσουμε σε πιο μέτρο ορισμένα ειδικά δεδομένα είναι ακριβή, αποτελεσματικά, οικονομικά και ικανοποιητικά. Οι κρίσεις μπορούν να είναι ή ποσοτικές ή ποιοτικές και τα κριτήρια μπορούν να είναι ή αυτά που ο μαθητής προσδιορίζει ή εκείνα που του έχουν δοθεί.

Παρά την ευρεία χρήση της, η ταξινομία του Bloom έχει δεχθεί και πολλές επικρίσεις. Μια από τις πιο κοινές επικρίσεις αφορά στο ότι έχει ως βασικό χαρακτηριστικό, που διαχωρίζει το ένα επίπεδο από το άλλο, τη δυσκολία. Δηλαδή, τα υπερκείμενα επίπεδα εμπεριέχουν γνωστικές δεξιότητες μεγαλύτερης δυσκολίας από ότι τα υποκείμενα επίπεδα. Οι έρευνες που διεξήχθησαν υποστήριξαν ότι ερωτήσεις που εξέταζαν δεξιότητες του επιπέδου εφαρμογή δεν βρέθηκαν να είναι δυσκολότερες από αυτές του επιπέδου κατανόησης. Επιπλέον, οι δημιουργοί της ταξινόμησης αναγνωρίζουν τα προβλήματα της ιεραρχικής δομής των δεξιοτήτων κατά την ανάπτυξη της αξιολόγησης: "...παρόλο που η αξιολόγηση τοποθετείται τελευταία στο γνωστικό τομέα επειδή θεωρείται ότι χρειάζεται μέχρι ενός σημείου όλες τις άλλες δεξιότητες, δεν είναι αναγκαία η τελευταία βαθμίδα της σκέψης ή της επίλυσης προβλημάτων. Είναι πολύ πιθανόν ότι η διαδικασία της αξιολόγησης, σε ορισμένες περιπτώσεις, θα είναι εισαγωγή στην απόκτηση νέας γνώσης, μιας νέας προσπάθειας για κατανόηση ή εφαρμογή, ή μιας νέας ανάλυσης και σύνθεσης...". Με λίγα λόγια, η ιεραρχική

δομή της ταξινόμιας του Bloom δεν υποστηρίζεται και από εμπειρικά και από λογικά δεδομένα.

5.5.2 Ταξινόμια της International Association for the Evaluation of Educational Achievement (IEA)

Η Διεθνής Ένωση για την Αξιολόγηση της Εκπαιδευτικής Επίδοσης (International Association for the Evaluation of Educational Achievement) στο πλαίσιο της διοργάνωσης της διεθνούς έρευνας Third International Mathematics and Science Study, στην οποία συμμετείχαν 45 χώρες, διεξήγαγε μελέτη για την ταξινόμηση των γνωστικών δεξιοτήτων που θα πρέπει να αποκτούν οι μαθητές κατά την εκπαίδευσή τους στα μαθήματα των Φυσικών Επιστημών.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της παραπάνω μελέτης, όπως αυτά εξειδικεύονται στα μαθήματα των Φυσικών Επιστημών, μπορούμε να ταξινομήσουμε τις γνωστικές δεξιότητες σε τρία ιεραρχημένα γνωστικά επίπεδα: τη *γνώση στοιχείων* (factual knowledge), την *εννοιολογική κατανόηση* (conceptual understanding) και το *συλλογισμό και ανάλυση* (reasoning and analysis)

A. Ο όρος *γνώση στοιχείων* αναφέρεται στο γνωστικό υπόβαθρο που πρέπει να κατέχουν οι μαθητές προκειμένου να λύνουν προβλήματα και να δίνουν εξηγήσεις. Η κατάκτηση ενός ευρέως και σωστού γνωστικού υποβάθρου καθιστά τους μαθητές ικανούς να διεκπεραιώνουν με επιτυχία δραστηριότητες που απαιτούν ανώτερες γνωστικές δεξιότητες (παράρτημα Β).

B. Με τον όρο *εννοιολογική κατανόηση* θεωρούμε ότι οι μαθητές έχουν κατακτήσει την κατανόηση των σχέσεων εκείνων που εξηγούν φαινόμενα, δηλαδή να συνδέουν τα παρατηρούμενα με πιο αφηρημένες και πιο γενικές επιστημονικές έννοιες (παράρτημα Β).

Γ. Με τον όρο *συλλογισμό και ανάλυση* θεωρούμε τις ανώτερου βαθμού γνωστικές δεξιότητες που χρειάζονται για να επιλυθούν οι πιο σύνθετες εργασίες. Ο κύριος σκοπός των διδακτικών δράσεων, σήμερα, είναι να προετοιμάζουν τους μαθητές ώστε να επιλύουν προβλήματα, να αναπτύσσουν ερμηνείες, να εξάγουν συμπεράσματα, να παίρνουν αποφάσεις και να επεκτείνουν (μεταβιβάζουν) τη γνώση τους σε νέες καταστάσεις. Η επίλυση κάποιων προβλημάτων, εκτός από άμεση εφαρμογή επιστημονικών εννοιών, εμπεριέχει μη οικεία ή πιο περίπλοκα πλαίσια που απαιτούν από τους μαθητές να θεμελιώνουν λογικά την απάντησή τους με βάση τις επιστημονικές αρχές (Παράρτημα Β).

Η ανάπτυξη εννοιολογικής κατανόησης και συλλογισμού οικοδομείται πάνω στις προηγούμενες γνώσεις, επεκτείνοντας και αναθεωρώντας το γνωστικό υπόβαθρο. Απαιτεί να έχει κάποιος την ικανότητα να προσδιορίζει πώς τα γεγονότα και οι έννοιες σχετίζονται μεταξύ τους. Προκειμένου να συμμετέχει κανείς στην επιστημονική προσπάθεια είναι

σημαντικό να κατανοεί σωστά τις βασικές επιστημονικές έννοιες και να είναι ικανός να τις υποστηρίξει με παραδείγματα.

5.5.3 Ταξινομίες στην ελληνική βιβλιογραφία

Μια ενδιαφέρουσα ταξινόμηση των γνωστικών δεξιοτήτων υπάρχει και στην ελληνική βιβλιογραφία και έχει γίνει από τον καθηγητή Ματσαγγούρα. Για την ταξινόμηση αυτή επελέγησαν είκοσι δύο δεξιότητες που έχουν άμεση εφαρμογή στη μαθησιακή διδασκαλία, συσχετίστηκαν με την αυτόνομη σκέψη και ταξινομήθηκαν σε τέσσερις κατηγορίες. Έχουν χρησιμοποιηθεί στοιχεία από την Ψυχολογία, όπου με τις ταξινομίες των γνωστικών δεξιοτήτων, επιχειρείται να χαρτογραφηθεί ο πολύπλοκος χώρος της σκέψης, αλλά σκοπός της ταξινόμησης αυτής είναι η άμεση διδακτική χρήση.

Συγκρίνοντας τις επιμέρους κατηγορίες, μπορούμε να πούμε ότι υπάρχει μια ιεραρχική εξέλιξη της πολυπλοκότητας των δεξιοτήτων από κατηγορία σε κατηγορία, και ότι, καθώς το άτομο προχωρεί από τις αρχικές ("κατώτερες" ή "χαμηλότερου επιπέδου") προς τις επόμενες ("ανώτερες" ή "υψηλότερου επιπέδου") δεξιότητες, μεταβαίνει σταδιακά από τα απλούστερα προς τα συνθετότερα επίπεδα μάθησης.

Για την κατάταξη των δεξιοτήτων ελήφθησαν υπόψη σχετικές έρευνες και τοποθετήθηκαν στη αρχή απλές και συχνότερες στη χρήση δεξιότητες. Καθώς προχωράμε στη δεύτερη, τρίτη και τέταρτη κατηγορία δεξιοτήτων μειώνεται η συχνότητα χρήσης τους αλλά και, κατά κανόνα, αυξάνει η πολυπλοκότητά τους. Οι κατηγορίες έχουν ως εξής:

A. *Δεξιότητες Συλλογής Δεδομένων*: Στη κατηγορία αυτή υπάγονται δεξιότητες που έχουν σχέση με την αντίληψη και τη μνήμη, οι οποίες τροφοδοτούν τη σκέψη με πληροφορίες προς επεξεργασία. Οι βασικότερες από αυτές είναι (α) η παρατήρηση, (β) η αναγνώριση και (γ) η ανάκληση, οι οποίες παραπέμπουν στο επίπεδο της *πληροφοριακής μάθησης*.

B. *Δεξιότητες Οργάνωσης Δεδομένων*: Στη κατηγορία αυτή ανήκουν δεξιότητες που συνεξετάζουν τα προς μελέτη στοιχεία και με βάση τα εξωτερικά χαρακτηριστικά και τις σχέσεις, που εντοπίζουν, τα οργανώνουν με τέτοιο τρόπο, ώστε να είναι ευκολότερη η κατανόησή τους. Στην ομάδα αυτή των δεξιοτήτων περιλαμβάνονται: (α) η σύγκριση, (β) η κατηγοριοποίηση, (γ) η διάταξη και (δ) η ιεράρχηση, οι οποίες παραπέμπουν στο επίπεδο της *οργανωτικής μάθησης*, η οποία έχει ως υψηλότερο προϊόν τη δημιουργία εννοιών.

Όταν τα κριτήρια σύγκρισης, κατηγοριοποίησης, διάταξης και ιεράρχησης δεν είναι "εξωτερικά", αλλά "εσωτερικά" και η όλη διαδικασία θα λάβει τη μορφή της συστηματικής επεξεργασίας, οι παραπάνω δεξιότητες δεν προετοιμάζουν απλά, αλλά προωθούν και

εμβαθύνουν ουσιαστικά την κατανόηση. Το στοιχείο της πολυπλοκότητας στα κριτήρια και τα νοητικά προϊόντα καθιστά τις δεξιότητες αυτές "ανωτέρου" επιπέδου.

Γ. *Δεξιότητες Ανάλυσης Δεδομένων*: Η κατηγορία αυτή, σε αντίθεση με την προηγούμενη, που εξετάζει τα στοιχεία από "έξω" και συσχετίζει μεταξύ τους, περιλαμβάνει δεξιότητες οι οποίες αναλύουν το "εσωτερικό" κάθε μεμονωμένου στοιχείου, χωρίς συνήθως να γίνεται συσχέτισή του με τα υπόλοιπα. Ανώτερος σκοπός της εσωτερικής ανάλυσης είναι να εντοπισθούν τα δομικά μέρη κάθε στοιχείου και κυρίως να εντοπισθούν οι προφανείς και αναμφισβήτητες σχέσεις που τα συνδέουν. Η ανάλυση βασίζεται σε κύριες έννοιες, όπως η έννοια της αιτιότητας, και σε διαδικασίες που βρίσκουν εφαρμογή σε όλους τους τομείς της γνώσης, αλλά απαιτεί και εξειδικευμένες γνώσεις, που αναφέρονται στη φύση του συγκεκριμένου γνωστικού αντικειμένου. Στην ομάδα αυτή δεξιοτήτων εντάσσονται: (α) η ανάλυση των δομικών στοιχείων, (β) η διάκριση σχέσεων, (γ) η διάκριση μοτίβων, (δ) η διάκριση γεγονότων από απόψεις - εκτιμήσεις και (ε) η διευκρίνιση, που παραπέμπουν στο επίπεδο της *αναλυτικής μάθησης* και αποτελούν βασικές προϋποθέσεις για την απόκτηση ανωτέρου επιπέδου μάθησης και κατανόησης.

Δ. *Δεξιότητες υπέρβασης δεδομένων*: Με τις δεξιότητες αυτές το άτομο αναδεικνύει τα λανθάνοντα και υπονοούμενα στοιχεία των δεδομένων, τα οποία στη συνέχεια συσχετίζει μεταξύ τους, αλλά και με την προϋπάρχουσα γνώση του για να καταλήξει τελικά στην παραγωγή νέων στοιχείων, τα οποία οδηγούν στην παραγωγή νέας γνώσης. Η γνώση αυτή αποτελεί το ανώτερο επίπεδο μάθησης και προσφέρει δυνατότητες νέας θεώρησης της πραγματικότητας και χρηστικής αξιοποίησης της γνώσης. Με τον όρο "χρηστική αξιοποίηση" δεν αναφερόμαστε στη μηχανική εφαρμογή νόμων και διαδικασιών σε μεμονωμένες περιπτώσεις, αλλά στην αξιοποίηση της γνώσης για να αντιμετωπιστούν καταστάσεις που προκαλούν αμφιβολία, αβεβαιότητα και δυσκολία, δηλαδή προβληματικές καταστάσεις. Βέβαια, για την αντιμετώπιση προβληματικών καταστάσεων δεν επαρκεί η συστηματική χρήση μεμονωμένων γνωστικών δεξιοτήτων, αλλά είναι αναγκαίο το άτομο να έχει αναπτύξει συγκροτημένες στρατηγικές για συστηματική διερεύνηση.

Οι δεξιότητες της τέταρτης κατηγορίας είναι: (α) η επεξήγηση, (β) η πρόβλεψη, (γ) η υπόθεση, (δ) ο συμπερασμός, (ε) η επαλήθευση, (ζ) η διοργάνωση της γνώσης, (η) η περίληψη, (θ) ο εντοπισμός αντιφάσεων, και (ι) η αξιολόγηση. Οι δεξιότητες της κατηγορίας αυτής, όπως και των δύο προηγούμενων, αποτελούν στοιχεία της επιστημονικής σκέψης και θεωρούνται υψηλού γνωστικού επιπέδου, διότι προϋποθέτουν λεπτές αποχρώσεις κρίσης και ικανότητα αυτορρύθμισης της γνωστικής διαδικασίας. Ακόμη, έχουν έντονα στοιχεία

δημιουργικής σκέψης και παραπέμπουν στο επίπεδο της *παραγωγικής μάθησης*, το οποίο θεωρείται ως το ανώτερο επίπεδο μάθησης.

5.6 Ωριαία διδασκαλία

Για τη πραγματοποίηση μιας ωριαίας διδασκαλίας απαιτούνται οι παρακάτω ενέργειες με τη σειρά που αναγράφονται: Α. Προγραμματισμός, Β. Σχεδιασμός, Γ. Οργάνωση και Δ. Διεξαγωγή

5.6.1 Προγραμματισμός της διδασκαλίας

Ετήσιος προγραμματισμός: Ο διδάσκων όταν αναλαμβάνει να διδάξει ένα μάθημα έχει υποχρέωση να προγραμματίσει το χρόνο που θα αφιερώσει σε κάθε μία από τις διδακτικές ενότητες, αφού υπολογίσει όσο το δυνατόν ακριβέστερα τις διαθέσιμες διδακτικές ώρες. Για τον ετήσιο προγραμματισμό πρέπει να λάβει υπόψη του:

- Τους γενικούς σκοπούς για το μάθημα ανάλογα τη βαθμίδα του σχολείου (Γυμνάσιο, Λύκειο)
- Τους σκοπούς και τους στόχους που προβλέπει το ενιαίο πλαίσιο προγράμματος σπουδών για το συγκεκριμένο μάθημα (χημεία, βιολογία, κτλ.)
- Την υλικοτεχνική υποδομή του σχολείου (εργαστήριο, εξοπλισμό, Η/Υ, προβολικά μηχανήματα, λογισμικά κτλ).
- Τον αριθμό των μαθητών ανά τμήμα.
- Τα ιδιαίτερα ενδιαφέροντα, κλίσεις, δεξιότητες των μαθητών.
- Την τάξη όπου θα διδάξει που συναρτάται με την ηλικία των μαθητών.
- Το τι περιέχει το σχολικό εγχειρίδιο που αποτελεί το κοινό σημείο αναφοράς για όλους τους μαθητές.
- Τον κοινωνικό περιβάλλον τόσο του σχολείου όσο και κάθε μαθητή (οικογενειακή κατάσταση, τόπο διαμονής, τυχόν ιδιαίτερο τρόπο μετακίνησης κ.ά.).

Με τον ετήσιο προγραμματισμό στοχεύουμε να ολοκληρώσουμε την προβλεπόμενη διδακτέα ύλη έτσι, ώστε να μη δημιουργούνται μαθησιακά κενά στους μαθητές, καθώς για πολλούς παιδαγωγούς η βασική αιτία για τις μαθησιακές δυσκολίες των μαθητών είναι τα μαθησιακά κενά που συσσωρεύονται αθροιστικά χρόνο με το χρόνο.

Ο ρυθμός με τον οποίο θα προγραμματιστεί να διδαχτεί μια ενότητα εξαρτάται και πρέπει να επηρεάζεται από το ρυθμό που μπορούν να την αφομοιώσουν οι μαθητές. Αν και ο ρυθμός αφομοίωσης έχει σχέση με το μαθησιακό υπόβαθρο και την προϋπάρχουσα εμπειρία του κάθε μαθητή, μεγάλη σημασία έχει η μέθοδος διδασκαλίας που ακολουθεί ο διδάσκων και η προσωπική του δεξιότητα στην διεξαγωγή της διδασκαλίας.

Ημερήσιος προγραμματισμός: Στον ημερήσιο προγραμματισμό λαμβάνουμε ασφαλώς υπόψη μας τα όσα γράφθηκαν για τον ετήσιο προγραμματισμό. Αν και στα βιβλία για τον καθηγητή (ή και του μαθητή) εκτίθενται αναλυτικά οι επιδιωκόμενοι στόχοι ανά διδακτική ενότητα, μπορούμε να τους αναπροσαρμόσουμε (να τους ελαττώσουμε ή να τους μοιράσουμε σε διαφορετικές διδακτικές ώρες) ανάλογα με:

(α) το επίπεδο κάθε τάξης επιδιώκοντας μέσω του προγραμματισμού να ολοκληρωθεί η διδακτέα ύλη,

(β) προσωπικό έργο του διδάσκοντα μια που μόνο αυτός γνωρίζει τις συνθήκες του σχολείου του και τους μαθητές του.

Το καθημερινό μάθημα καλό είναι να προγραμματίζεται μερικές μέρες νωρίτερα, για να υπάρχει ο χρόνος για τη σχεδίαση και την οργάνωσή του. Σε αυτή τη φάση θα συγκεκριμενοποιηθούν οι διδακτικοί στόχοι και θα διατυπωθούν με τρόπο που επιτρέπει τη μέτρηση της επίτευξής τους. Οι διδακτικοί στόχοι παρουσιάζουν το αποτέλεσμα που θέλουμε να έχει η διδασκαλία ανεξάρτητα της πορείας που θα ακολουθηθεί. Στον ημερήσιο προγραμματισμό χρήσιμο είναι να συμπεριληφθούν τα κίνητρα μάθησης, τα διδακτικά εργαλεία που θα χρησιμοποιηθούν (πειράματα, δραστηριότητες κτλ) και η εργασία που θα ανατεθούν στους μαθητές.

5.6.2 Σχεδιασμός της διδασκαλίας

Μέσα στο σχέδιο μαθήματος πρέπει να ταξινομήσουμε τις αποφάσεις που πήραμε κατά τον προγραμματισμό. Σε ένα σχέδιο μαθήματος πρέπει να περιλαμβάνονται:

A. Οι δραστηριότητες με τις οποίες θα κινήσουμε το ενδιαφέρον του μαθητή για την επικείμενη διδασκαλία. Οφείλουμε να λάβουμε υπόψη μας τη φύση της τάξης, την ηλικία και το φύλο των μαθητών, τις ιδιαίτερες δεξιότητες των μαθητών, τις κλίσεις τους, τα ενδιαφέροντά τους. Τα κίνητρα πρέπει να είναι εσωτερικά να έχουν σχέση με τις αξίες των μαθητών και όχι μόνο εξωτερικά, όπως η βαθμολογία. Τα εξωτερικά κίνητρα από μόνα τους συνήθως οδηγούν σε επιφανειακή και πρόσκαιρη μάθηση.

B. Η διερεύνηση της προϋπάρχουσας γνώσης των μαθητών. Οι σύγχρονες θεωρίες μάθησης συγκλίνουν στο ότι οι γνώσεις, ικανότητες, και δεξιότητες που έχουν αποκτηθεί στο παρελθόν από το μαθητή είναι απαραίτητες για την απόκτηση της νέας γνώσης. Οφείλουμε να διερευνήσουμε σε ποιο βαθμό τις κατέχουν οι μαθητές αυτές τις γνώσεις ή δεξιότητες και να τους βοηθήσουμε να τις ανακαλέσουν. Έτσι εξασφαλίζουμε να μην επαναλάβουμε κοινοτοπίες ανιαρές για τους μαθητές ή να ξεκινήσουμε χρησιμοποιώντας όρους και έννοιες

άγνωστες και ασύνδετες με τα όσα γνωρίζουν δημιουργώντας ή διευρύνοντας ένα χάσμα μάθησης. Η ενέργεια αυτή είναι πολύ σπουδαία ώστε να αποφύγουμε την έλλειψη ενδιαφέροντος ή την αδυναμία παρακολούθησης που αμφότερα αποτελούν αιτία δημιουργίας αταξίας στην τάξη.

Γ. Το σύνολο των ενεργειών που θα κάνει ο εκπαιδευτικός προκειμένου να προκαλέσει, να ενεργοποιήσει, να ενισχύσει και να προωθήσει τη μάθηση. Η κάθε μία από τις διδακτικές ενέργειες περιλαμβάνει διαδικασίες που συμβαίνουν στον εξωτερικό κόσμο των μαθητών είναι σχεδιασμένη ώστε να επηρεάσει μία ή περισσότερες εσωτερικές διαδικασίες μάθησης. Οι εξωτερικές διαδικασίες της διδασκαλίας αναλογούν στις εσωτερικές διαδικασίες της μάθησης, σχετίζονται αντίστοιχα με αυτές και είναι σχεδιασμένες να πραγματοποιούνται με τέτοιο τρόπο ώστε να επιτυγχάνεται η μάθηση.

Δ. Οι διαδικασίες και τα μέσα αξιολόγησης της διδασκαλίας. Σημαντικό μέρος της αποστολής του εκπαιδευτικού είναι και η αξιολόγηση του έργου του και της επίδοσης των μαθητών του. Παρατηρεί την ανταπόκριση των μαθητών στη νέα γνώση, αξιολογεί την εφαρμογή του σχεδίου μαθήματος και την εξυπηρέτηση των διδακτικών στόχων που είχε θέσει. Σε περίπτωση που η πλειονότητα των μαθητών δεν κατέκτησε τους αρχικούς στόχους σε ικανοποιητικό επίπεδο, ερευνά για τα αίτια και επανέρχεται με τροποποίηση των στόχων ή της μεθοδολογίας για τη διδακτική προσέγγιση. Αποτελεσματική κρίνεται μια διδασκαλία όταν πολύ υψηλό ποσοστό μαθητών έχει κατακτήσει τους διδακτικούς στόχους.

5.6.3 Οργάνωση της διδασκαλίας

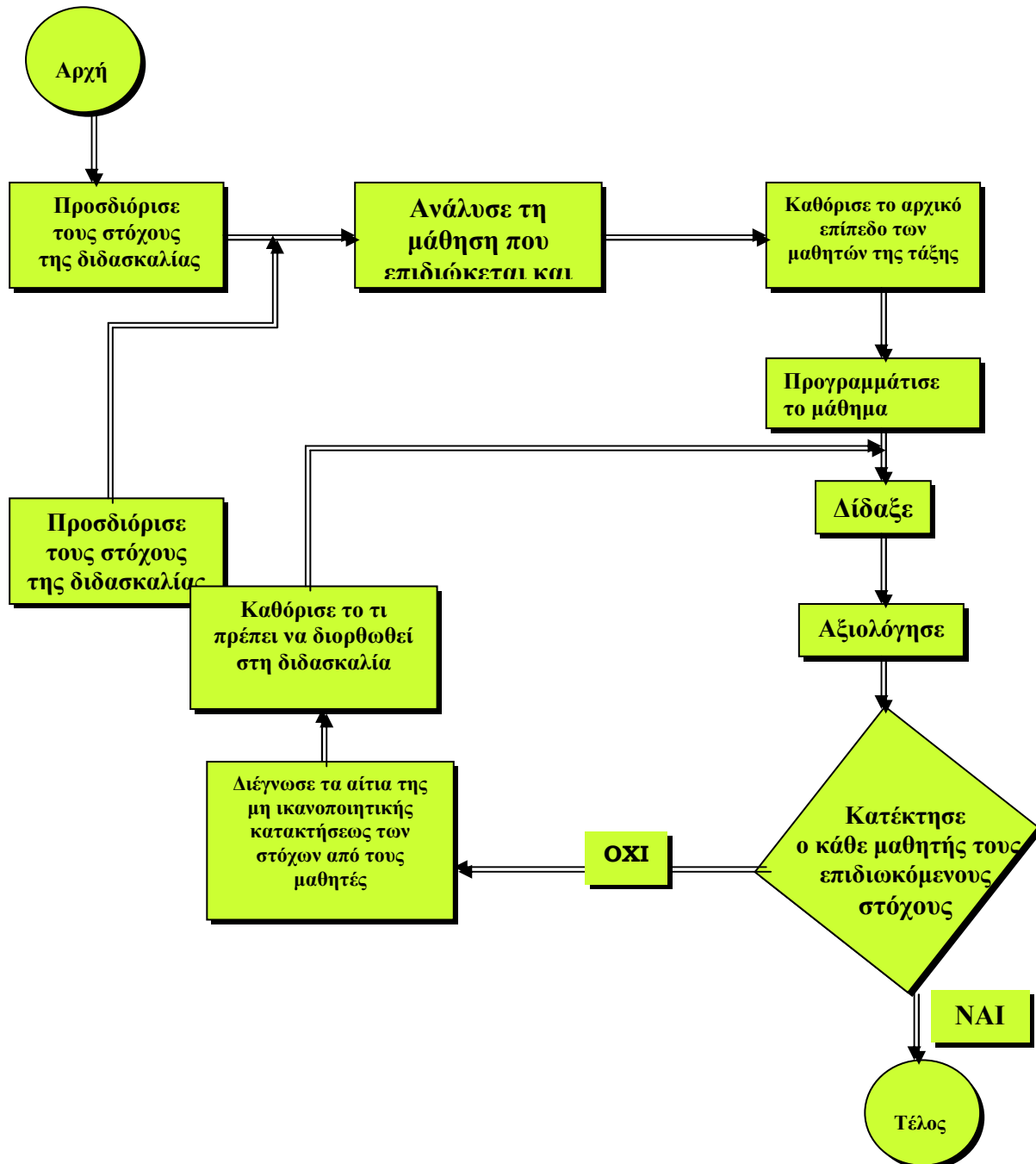
Η προετοιμασία του μαθήματος από το διδάσκοντα απαιτεί οργάνωση στο χώρο διεξαγωγής της διδασκαλίας. Συγκεντρώνονται στην αίθουσα ή το εργαστήριο τα απαιτούμενα σκεύη, αντιδραστήρια, συσκευές και απαιτούμενες πειραματικές διατάξεις, τα προβλεπόμενα αντικείμενα επίδειξης, οι διαφάνειες και τα slides και τα αντίστοιχα προβολικά μηχανήματα όπως overhead projectors ή διαφανοσκόπια, και αν υπάρχει κατάλληλο λογισμικό η μονάδα Η/Υ και βίντεο-προβολέας. Μπορεί να απαιτείται και διαμόρφωση των καθισμάτων και των θρανίων της τάξης. Ο έλεγχος λειτουργίας των συσκευών και οργάνων είναι επιβεβλημένος πριν το προβλεπόμενο χρόνο χρησιμοποίησής τους έτσι, ώστε να γίνουν τυχόν διορθώσεις ή αντικαταστάσεις προκειμένου να μη προκληθεί διαταραχή στη διεξαγωγή της διδασκαλίας και παρεκκλίσεις από το σχεδιασμό της.

5.6.4 Διεξαγωγή της διδασκαλίας

Όταν φθάσει η ώρα της διδασκαλίας όλοι ο εκπαιδευτικός φροντίζει ώστε το σχέδιο μαθήματος να ολοκληρώνεται σταδιακά και αβίαστα. Η τάξη λειτουργεί ως χώρος εργασίας

όπου οι μαθητές, καθοδηγούμενοι κατάλληλα από το διδάσκοντα, παρατηρούν, συλλέγουν δεδομένα, κάνουν υποθέσεις, συλλογίζονται, προβληματίζονται, ερωτούν, συζητούν απόψεις, συνεργάζονται, διατυπώνουν ιδέες και καταλήγουν σε γενικεύσεις και συμπεράσματα. Ο διδάσκων ενθαρρύνει, εμπνέει, βοηθά και συντονίζει τη συζήτηση, δεν παρουσιάζεται ως αυθεντία και δε διεκδικεί το αλάθητο.

Οι παραπάνω ενέργειες του εκπαιδευτικού για την πραγματοποίηση μιας ωριαίας διδασκαλίας περιγράφονται σχηματικά από το μοντέλο των Anderson & Faust (Σχήμα 5.1).



Σχήμα 5.1 Το μοντέλο των Anderson & Faust (1975)

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Anderson,R. & Faust,G. (1975). *Educational Psychology. The Science of Instruction and Learnig*, Dodd, Mead & Co. New York.
- Bloom, B. S., Krathwohl, D. R. , *Ταξινομία διδακτικών στόχων Τόμος Α΄ - Γνωστικός τομέας*, Κώδικας, Θεσσαλονίκη, 1986
- Βρεττός, Γ. & Καψάλης, Α., *Αναλυτικό Πρόγραμμα. Σχεδιασμός- αξιολόγηση- αναμόρφωση*, Ελληνικά Γράμματα, Αθήνα, 1997
- Mager R. F., *Preparing Instructional Objectives*. (2η έκδ.), Fearon Publ., Belmont, 1975 (Ελληνική μετάφραση: *Διδακτικοί στόχοι και διδασκαλία*, Αφοί Κυριακίδη, Θεσσαλονίκη, 1985).
- Ματσαγκούρας Η., *Θεωρία και Πράξη της Διδασκαλίας, τόμος Β΄, Στρατηγικές Διδασκαλίας*, Gutenberg, Αθήνα, 1998
- Φλουρής, Γ., *Αναλυτικά προγράμματα για μια νέα εποχή στην εκπαίδευση*, Γρηγόρης, Αθήνα, 1983

6. ΔΙΔΑΚΤΙΚΕΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΙΣ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗΣ

6.1 Εισαγωγή

Στη Διδακτική σημαντικές είναι οι έννοιες του μοντέλου, της στρατηγικής, της πορείας και της μεθόδου διδασκαλίας. Οι παραπάνω έννοιες δεν εμφανίστηκαν όλες ταυτόχρονα στη βιβλιογραφία και δεν χρησιμοποιήθηκαν πάντοτε με σταθερό περιεχόμενο, γεγονός που οφείλεται εν μέρει στο ότι η Διδακτική, ως επιστημονικός κλάδος, βρίσκεται σε εξελικτική πορεία χωρίς να έχει φτάσει στο τελικό στάδιο ωριμότητας.

Στη Διδακτική ο όρος μοντέλο διδασκαλίας χρησιμοποιείται εναλλακτικά με τον όρο στρατηγική διδασκαλίας για να δηλώσει το σύστημα των διδακτικών, μαθησιακών και οργανωτικών δραστηριοτήτων τις οποίες αναπτύσσει ο διδάσκων κατά τη διδασκαλία, καθώς και τις μεταξύ τους συσχετίσεις. Κάθε μοντέλο διδασκαλίας βασίζεται σε συγκεκριμένη θεωρία για τη μάθηση και την αποστολή του σχολείου. Ως στρατηγική διδασκαλίας ορίζεται η ακολουθία διδακτικών και μαθησιακών δραστηριοτήτων που οργανώνει με βάση συγκεκριμένες αρχές ο διδάσκων για την υλοποίηση των στόχων της διδασκαλίας. Εκτός από τις θεωρίες για τη μάθηση και την αποστολή του σχολείου, σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση μιας στρατηγικής διδασκαλίας παίζει συγκεκριμένο αντικείμενο διδασκαλίας.

Επομένως, ο όρος *μοντέλο* έχει ευρύτερη σημασία του όρου *στρατηγική* επειδή συμπεριλαμβάνει, πέρα από τις διδακτικές και μαθησιακές δραστηριότητες που συγκροτούν τη στρατηγική, και δραστηριότητες οι οποίες καθορίζουν τη σκοπιμότητα και αναζητούν τις επιπτώσεις της διδασκαλίας. Δηλαδή, ενώ η στρατηγική έχει μόνο διδακτική διάσταση, το μοντέλο έχει επιπλέον και δεοντολογική και αξιολογική διάσταση. Τα μοντέλα παρουσιάζουν σχηματικά τη δομή της διδασκαλίας χωρίς να υπεισέρχονται σε λεπτομέρειες, ενώ αντίθετα οι στρατηγικές υπεισέρχονται σε μεθοδολογικές λεπτομέρειες ικανές να καθοδηγήσουν το διδάσκοντα στη διεξαγωγή της διδασκαλίας.

Ο όρος *πορεία* της διδασκαλίας αναφέρεται στη λογική και χρονική σειρά με την οποία διαδέχονται η μία την άλλη οι διδακτικές και μαθησιακές δραστηριότητες που συνθέτουν τη διδασκαλία. Όλες οι στρατηγικές ακολουθούν μια ενδεικτική και εξελικτική πορεία, η οποία με τις φάσεις που προβλέπει, προσδίδει συνοχή στις δραστηριότητες της διδακτικής προσέγγισης. Οι φάσεις αυτές είναι κατά σειρά οι εξής:

1. προετοιμασία ψυχολογική και γνωσιολογική του μαθητή
2. επαφή του μαθητή με τα δεδομένα
3. επεξεργασία δεδομένων και εξαγωγή συμπερασμάτων
4. εφαρμογή

5. έλεγχος και αξιολόγηση κατανόησης
6. ανακεφαλαίωση
7. μαθησιακή και μεταγνωστική αξιολόγηση

Κάθε μία από τις φάσεις αυτές περιλαμβάνει δύο ή περισσότερες διδακτικο – μαθησιακές δραστηριότητες, οι οποίες αποκαλούνται *βήματα* της φάσης. Ο αριθμός, το είδος και η σειρά των φάσεων είναι κοινά σχεδόν σε όλες τις στρατηγικές, διαφέρει όμως στη καθεμιά στρατηγική το περιεχόμενο της κάθε φάσης, καθώς εξαρτάται από το αντικείμενο και τους στόχους της διδασκαλίας και τις αρχές της στρατηγικής.

Η *μέθοδος* διδασκαλίας αναφέρεται συνήθως σε οργανωμένο σύστημα διδακτικών δραστηριοτήτων, που χρησιμοποιεί ο διδάσκων σε πλήθος διαφορετικών περιπτώσεων, και έχουν μεγάλη σημασία για τη μάθηση. Η μέθοδος διδασκαλίας, ανάλογα με τα στοιχεία της, χαρακτηρίζεται ως *αναλυτικό – συνθετική, διερευνητική, συγκριτική, επιστημονική, διαθεματική* κλπ. Η *επιστημονική μέθοδος* αποτελεί μεταφορά στη διδακτική πράξη της μεθόδου που εφαρμόζουν οι επιστήμονες στη διερεύνηση του αντικειμένου τους, κυρίως για να εντοπίσουν – μέσα από τη διατύπωση υποθέσεων, τη διεξαγωγή πειραμάτων, την ερμηνεία των διαπιστώσεων και τη διατύπωση συμπερασμάτων – τις αιτιώδεις σχέσεις των φαινομένων και τις συνθήκες που τις διαμορφώνουν.

6.2 Επιστημονική έρευνα και διδακτικές προσεγγίσεις διερεύνησης

Ένας βασικός σκοπός των μαθημάτων των Φυσικών Επιστημών είναι να προσεγγίσουν οι μαθητές την επιστημονική σκέψη, εμπλεκόμενοι στοιχειωδώς στην επιστημονική έρευνα. Προκειμένου να επιτευχθεί ο σκοπός αυτός, τα Αναλυτικά Προγράμματα περιλαμβάνουν δραστηριότητες που έχουν στόχο να εξοικειωθούν οι μαθητές με την επιστημονική μέθοδο (scientific method) ή την επιστημονική έρευνα (inquiry). Εντούτοις, πολλοί παράγοντες περιπλέκουν την επίτευξη ενός τέτοιου στόχου. Για να μπορέσουμε να αναπτύξουμε και να αξιολογήσουμε κατάλληλες για το σκοπό αυτό διδακτικές δραστηριότητες χρειάζεται, αρχικά, να καθορισθούν τα βασικά χαρακτηριστικά της επιστημονικής έρευνας και του επιστημονικού συλλογισμού. Κατόπιν, πρέπει να προσδιοριστεί ποια από αυτά τα χαρακτηριστικά μπορούν να ενσωματωθούν στις διδακτικές δραστηριότητες με βάση τους περιορισμούς του χώρου, του χρόνου και των οικονομικών πόρων της σχολικής τάξης.

Ως αυθεντική επιστημονική έρευνα (authentic inquiry) αναφέρεται η έρευνα που διεξάγουν οι επιστήμονες, η οποία είναι μια σύνθετη δραστηριότητα, χρησιμοποιεί ακριβό εξοπλισμό, αναπτύσσει μεθόδους και θεωρίες, στηρίζεται σε ιδιαίτερα εξειδικευμένη εμπειρία, και σε προηγμένες τεχνικές για την ανάλυση στοιχείων και τη μοντελοποίηση. Στα σχολεία δεν

υπάρχει χώρος, χρόνος και οικονομικοί πόροι για να αναπαραχθούν τέτοιες ερευνητικές δραστηριότητες. Αντί για αυτό, πρέπει να αναπτυχθούν απλούστερες δραστηριότητες που μπορούν να εκτελεστούν κάτω από τους περιορισμούς της σχολικής τάξης. Στόχος των ερευνητών της Διδακτικής είναι η ανάπτυξη σχετικά απλών δραστηριοτήτων σχολικής έρευνας οι οποίες, παρά την απλότητά τους, θα ενσωματώνουν τα βασικά συστατικά του επιστημονικού συλλογισμού. Μέσω της εκτέλεσης αυτών των δραστηριοτήτων, που ονομάζονται δραστηριότητες διερεύνησης (*inquiry*), οι μαθητές αναμένεται να μάθουν να σκέπτονται «επιστημονικά». Η *μάθηση μέσω διερεύνησης ή μικρών ερευνών (inquiry-based learning)* αποσκοπεί στη δημιουργία κατάλληλου μαθησιακού περιβάλλοντος που ενθαρρύνει τους μαθητές να αναζητούν πληροφορίες για ένα ερώτημα καθώς και να υλοποιούν σχετικές διερευνήσεις ή μικρές έρευνες για να απαντήσουν στο συγκεκριμένο ερώτημα (Χαλκιά, 2010).

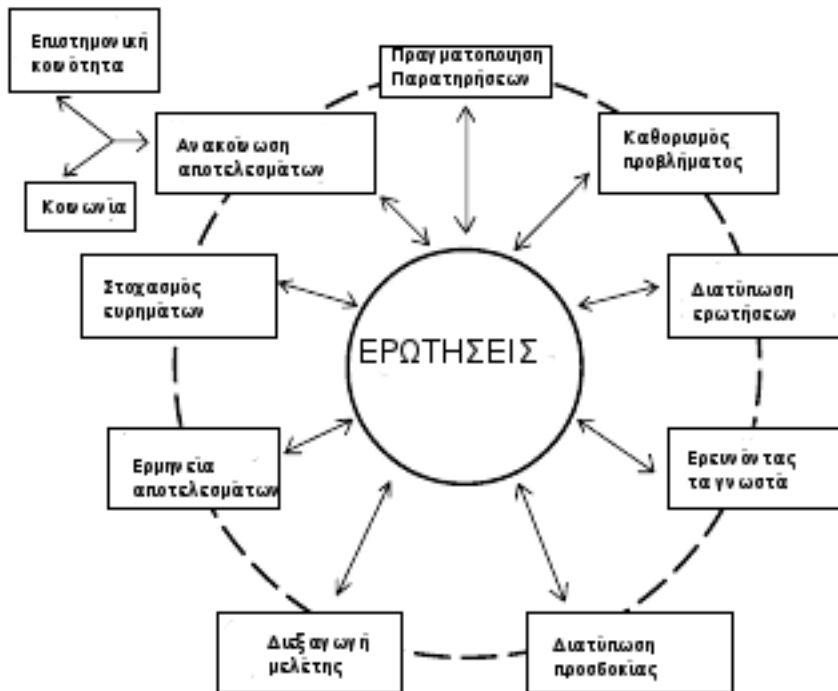
6.2.1 Χαρακτηριστικά γνωρίσματα της επιστημονικής έρευνας

Σχετικά πρόσφατα, οι Reiff, Harwood, και Phillipson (2002), βασιζόμενοι σε πληροφορίες που συγκέντρωσαν από εν ενεργεία ερευνητές, ανέπτυξαν ένα αρκετά ικανοποιητικό μοντέλο, τον «τροχό της έρευνας» (Σχήμα 6.1), για τον τρόπο που διεξάγεται η επιστημονική έρευνα. Στο μοντέλο τους αυτό περιγράφουν τη μέθοδο της επιστημονικής έρευνας ως ένα τροχό με τις γενικές ερωτήσεις στο κέντρο του και με τα διάφορα στάδια της έρευνας σε μια κυκλική διευσθέτηση γύρω από το κέντρο.

Σημειώνουν ότι η διαδικασία της επιστημονικής έρευνας (α) μπορεί να αρχίσει από οποιοδήποτε στάδιο, (β) δεν ακολουθεί υποχρεωτικά κυκλική πορεία και (γ) ότι τα στάδια μπορούν να επαναληφθούν όσο συχνά το απαιτεί μια συγκεκριμένη έρευνα. Επίσης, υποστηρίζουν ότι κατά τη διάρκεια μιας έρευνας οι ερευνητές θα εμπλακούν με όλα τα στάδια τουλάχιστον μία φορά και ότι η κινητήριος δύναμη της έρευνας είναι τα ερευνητικά ερωτήματα. Παρακάτω παρουσιάζονται συνοπτικά τα στάδια αυτά:

- Διατύπωση γενικών ερωτήσεων: Αυτή η ενέργεια είναι το κεντρικό χαρακτηριστικό γνώρισμα οποιασδήποτε επιστημονικής έρευνας. Οι Reiff, Harwood, και Phillipson (2002) περιγράφουν το τροχό της έρευνας ως μια διαδικασία που τροφοδοτείται από τις ερωτήσεις που δίνουν το έναυσμα για έρευνα. Οι γενικές ερωτήσεις αποτελούν δηλαδή τον πυρήνα της έρευνας.
- Πραγματοποίηση παρατηρήσεων: Οι επιστήμονες πραγματοποιούν παρατηρήσεις πολλές φορές κατά τη διάρκεια μιας επιστημονικής έρευνας. Παρατηρήσεις γίνονται κατά τη

διεξαγωγή της έρευνας, κατά τη μελέτη της βιβλιογραφίας, και αποτελούν, συνήθως, το σημείο εκκίνησης πολλών ερευνών.



Σχήμα 6.1 Ο «τροχός της έρευνας», στάδια της επιστημονικής έρευνας (Robinson, 2004)

- **Καθορισμός του προβλήματος:** Με βάση τις παρατηρήσεις τους, τη γνώση της βιβλιογραφίας, και την επικοινωνία με συναδέλφους τους, οι επιστήμονες προσδιορίζουν ένα πρόβλημα. Κατόπιν, πρέπει να αποφασίσουν, με βάση την εμπειρία τους, ποια προβλήματα μπορούν να επιλυθούν και ποια αξίζουν διερεύνηση. Σε μερικές περιπτώσεις αυτές οι αποφάσεις επηρεάζονται από επιστημονικά και κοινωνικά δεδομένα.
- **Διατύπωση ερευνητικών ερωτήσεων:** Διατυπώνεται μια ερώτηση που μπορεί να καθοδηγήσει την ερευνητική μελέτη. Πολλές φορές ένα πρόβλημα μετατρέπεται σε ερώτηση στην οποία θα εστιάσει η έρευνα. Στην πραγματικότητα, όμως, σε οποιοδήποτε από τα στάδια της έρευνας μπορούν να διατυπωθούν νέες ερωτήσεις ή να αναθεωρηθούν οι αρχικές.
- **Έρευνα των ήδη γνωστών:** Η μελέτη της βιβλιογραφίας της σχετικής με το θέμα ενδιαφέροντος και η άμεση επικοινωνία με άλλους επιστήμονες επιτρέπει «τον καθορισμό του ορίου μεταξύ αυτών που ήδη γνωρίζουμε και αυτών που δεν γνωρίζουμε για το σχετικό θέμα. Η ανάγκη να μελετηθούν τα ήδη γνωστά εμφανίζεται συχνά καθ' όλη τη διάρκεια μιας επιστημονικής έρευνας, καθώς έχει αξία να δοθούν απαντήσεις σε ερωτήσεις που μπορούν να εμβαθύνουν την κατανόησή μας.

- Διατύπωση προσδοκιών: Η γνώση των απαντήσεων σε σχετικές ερωτήσεις καθοδηγεί έναν επιστήμονα στην ανάπτυξη μιας προκαταρκτικής απάντησης στο ερευνητικό του ερώτημα ή στην ανάπτυξη μιας αναθεωρημένης ερώτησης. Αυτές οι προκαταρκτικές απαντήσεις μπορεί μερικές φορές να είναι οι επίσημες υποθέσεις. Πιθανότερα, εντούτοις, να είναι μόνο μια απλή προσδοκία όπως, «εάν ένα σύστημα εξετασθεί με ένα συγκεκριμένο τρόπο, η έκβαση της εξέτασης θα διαφωτίσει την έρευνά μου».
- Διεξαγωγή της μελέτης: Τεχνικά, αυτό είναι το πιο πολύπλοκο στάδιο. Επιλέγονται τα μέσα για να ερευνηθεί η ερώτηση, συγκεντρώνονται ή δημιουργούνται εργαλεία, και συλλέγονται στοιχεία. Για να επιλυθούν οι προκλήσεις και τα προβλήματα που αντιμετωπίζονται σε αυτό το στάδιο, θα πρέπει να γίνουν πολλές ενέργειες.
- Έλεγχος - ερμηνεία των αποτελεσμάτων: Τα στοιχεία που θα ληφθούν μπορεί να έχουν διάφορες μορφές, ανάλογα με τον τύπο μελέτης. Πρέπει να επιλυθούν θέματα εγκυρότητας των στοιχείων. Εάν δεν επιλυθούν, τότε πρέπει να επαναληφθεί η μελέτη ή να πραγματοποιηθούν άλλες δραστηριότητες για να καθορισθεί η εμπιστοσύνη στα αποτελέσματα της μελέτης.
- Στοχασμός των ευρημάτων: Ο κάθε επιστήμονας ξοδεύει ιδιαίτερο χρόνο συλλογιζόμενος για το τι σημαίνουν τα αποτελέσματά του. Αναρωτιέται πώς τα αποτελέσματά του συνδέονται με αυτά που είναι ήδη γνωστά και πώς μπορούν να εξηγηθούν.
- Κοινοποίηση των αποτελεσμάτων: Εάν οι πληροφορίες δεν μοιράζονται με άλλους είναι σαν να μην έχουν υπάρξει. Οι επιστήμονες σπάνια εργάζονται απομονωμένοι. Καθ' όλη τη διάρκεια μιας έρευνας, επικοινωνούν με συναδέλφους τους και πολλές έρευνες διεξάγονται με τη συνεργασία πολλών επιστημόνων. Όταν η μελέτη ολοκληρώνεται, η τελευταία ενέργεια θα είναι η κοινοποίηση των αποτελεσμάτων μέσω προφορικών ή γραπτών παρουσιάσεων.

6.3 Τύποι δραστηριοτήτων διερεύνησης

Οι δραστηριότητες διερεύνησης που έχουν καταγραφεί στη βιβλιογραφία μπορούν να ταξινομηθούν σε πέντε βασικές κατηγορίες: εργαστηριακές δραστηριότητες, προσομοιώσεις πειραμάτων στον υπολογιστή, δραστηριότητες με βάσεις δεδομένων, δραστηριότητες αξιολόγησης στοιχείων, και σχέδια μελετών. Κάθε ένας από αυτούς τους τύπους δραστηριοτήτων έχει έμφυτα πλεονεκτήματα και περιορισμούς (Πίνακας 8.1).

6.3.1 Εργαστηριακές δραστηριότητες

Στις εργαστηριακές δραστηριότητες οι μαθητές διεξάγουν διερευνήσεις με πραγματικά υλικά. Οι δραστηριότητες από αυτές μπορεί να μην έχουν όλα αλλά κάποια από τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα της αυθεντικής επιστήμης. Τα απλά πειράματα που βρίσκονται στα σχολικά

εγχειρίδια είναι προεξέχουσα μορφή της πρακτικής διερεύνησης, αλλά διαθέτουν λίγα από τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα της αυθεντικής επιστημονικής έρευνας. Οι δραστηριότητες αυτές βασίζονται σε πολύ απλά μοντέλα, τα οποία είναι τόσο υπεραπλουστευμένα ώστε πίσω τους υπάρχει λίγη πραγματική επιστήμη. Οι σχετικά ανοικτές δραστηριότητες διερεύνησης πλησιάζουν πιο κοντά στην αυθεντική επιστήμη. Φαίνεται, όμως, ότι ένας έμφυτος περιορισμός της ανοικτής πρακτικής διερεύνησης στην τάξη είναι η σχετική δυσκολία των μαθητών να πραγματοποιήσουν πειράματα με πολύ θεωρητικά επίπεδα ανάλυσης. Παραδείγματος χάριν, αν και οι μαθητές μπορούν να ερευνήσουν τη σχέση μεταξύ του pH του χόματος και της ανάπτυξης των φυτών, είναι δύσκολο να διεξαχθούν στην τάξη διερευνήσεις για το πως το όξινο χόμα επηρεάζει διαφορετικά φυτά με διαφορετικούς τρόπους. Οι εργαστηριακές δραστηριότητες εστιάζουν περισσότερο στην διερεύνηση παρατηρήσιμων φαινομένων παρά στον έλεγχο θεωριών.

6.3.2 Προσομοιώσεις πειραμάτων στον Υπολογιστή

Σε σύγκριση με τις πρακτικές δραστηριότητες διερεύνησης, οι προσομοιώσεις στον υπολογιστή έχουν πλεονεκτήματα αλλά και μειονεκτήματα. Ένα πλεονέκτημα είναι ότι οι υπολογιστές επιτρέπουν στους μαθητές να πραγματοποιήσουν προσομοιώσεις πειραμάτων με σύνθετα μοντέλα που δεν θα μπορούσαν να διεξαχθούν στην πραγματικότητα λόγω έλλειψης χρόνου και εξοπλισμού. Αυτό δίνει στις προσομοιώσεις πειραμάτων χαρακτηριστικά γνωρίσματα του αυθεντικού συλλογισμού που δεν έχουν οι εργαστηριακές δραστηριότητες. Μειώνοντας μερικώς την πολυπλοκότητα των πραγματικών πειραμάτων και με την προσομοίωση της χρήσης του ακριβού εξοπλισμού, οι προσομοιώσεις υπολογιστών επιτρέπουν στους μαθητές να ερευνήσουν θεωρητικές οντότητες. Ένα δεύτερο χαρακτηριστικό γνώρισμα της αυθεντικής επιστήμης που μπορεί να έχουν οι προσομοιώσεις πειραμάτων είναι η χρήση των διαφορετικών τύπων πειραμάτων. Κάποιος μπορεί εύκολα να σχεδιάσει ένα περιβάλλον προσομοίωσης σε υπολογιστή στο οποίο οι μαθητές να μπορούν να διεξάγουν διαφορετικούς τύπους πειραμάτων για το ίδιο ζήτημα. Ένα τρίτο χαρακτηριστικό γνώρισμα του αυθεντικού συλλογισμού που μπορεί να ενσωματωθεί στις προσομοιώσεις υπολογιστών είναι η δυνατότητα εκτέλεσης σχετικά σύνθετων πειραμάτων.

Ενάντια σε αυτές τις αρετές των προσομοιώσεων πειραμάτων, υπάρχουν δύο περιορισμοί. Καταρχάς, στις προσομοιώσεις υπολογιστών οι μεταβλητές πρέπει να προκαθοριστούν κατά ένα μεγάλο μέρος, και μέρος της αταξίας του φυσικού κόσμου τακτοποιείται τεχνητά. Προκειμένου να τρέξουν οι προσομοιώσεις, ο υπολογιστής πρέπει να προγραμματιστεί εκ των προτέρων για να «ξέρει» ποιες είναι οι αιτιώδεις μεταβλητές, μαζί με όλα τα πιθανά

εναλλακτικά μοντέλα. Δεν υπάρχει κανένας τρόπος να επιτραπεί στους μαθητές να εξετάσουν εναλλακτικά μοντέλα ή νέες μεταβλητές που δεν έχει προγραμματιστεί στο σύστημα. Στις προσομοιώσεις, οι μαθητές επιλέγουν μέσα από μια λίστα μεταβλητών, και πρέπει να αποφασίσουν για κάθε μεταβλητή της λίστας επιλογής κατά το σχεδιασμό κάθε πειράματος. Για παράδειγμα, όταν οι μαθητές πραγματοποιούν ένα πραγματικό πείραμα για τα αποτελέσματα του φωτός στη βλάστηση των σπόρων, μπορούν απλά να μην σκεφτούν για ορισμένες σχετικές μεταβλητές που πρέπει να ελεγχθούν, όπως το βάθος της φύτευσης του σπόρου, η απόσταση από τις γωνίες του περιέκτη, ή ακόμη ο τύπος σπόρου. Μια προσομοίωση υπολογιστή απαιτεί από τους μαθητές να επιλέξουν την τιμή κάθε μεταβλητής σε κάθε δοκιμή (π.χ., ένας μαθητής πρέπει για να επιλέξει τον τύπο σπόρου και το βάθος της φύτευσης), πράγμα που καθιστά εμφανή τον έλεγχο αυτών των μεταβλητών. Ο υπολογιστής απαιτεί δηλαδή από τους μαθητές να δώσουν προσοχή σε μεταβλητές που μπορεί να μην είχαν προσέξει από μόνοι τους. Κατά συνέπεια, ο μαθητής μπορεί να μην μάθει να ελέγχει μεταβλητές σε καταστάσεις όπου δεν του παρουσιάζονται στις εκ των προτέρων λίστες μεταβλητών.

6.3.3 Δραστηριότητες με βάσεις δεδομένων

Οι δραστηριότητες με βάσεις δεδομένων διαφέρουν από τις προσομοιώσεις πειραμάτων στο ότι οι μαθητές χρησιμοποιώντας τις προσομοιώσεις πειραμάτων σχεδιάζουν πειράματα και «συγκεντρώνουν στοιχεία» κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης, ενώ χρησιμοποιώντας τις βάσεις δεδομένων εξετάζουν στοιχεία που έχουν ήδη συγκεντρωθεί. Οι βάσεις δεδομένων μπορεί να παρέχουν ένα πλούσιο, σύνθετο σύνολο πληροφοριών που απαιτεί ιδιαίτερα σύνθετο συλλογισμό, καθώς μπορεί να περιλαμβάνουν πολλές άσχετες και σχετικές μεταβλητές. Πολλές από τις σχετικές μεταβλητές μπορεί να αλληλοσυνδέονται, πράγμα που απαιτεί από τους μαθητές να αναπτύξουν στρατηγικές για να ξεχωρίσουν τα αποτελέσματα των σχετικών μεταβλητών. Στο σημείο που οι βάσεις δεδομένων παρέχουν αναλυτικές πληροφορίες για το πώς συγκεντρώθηκαν τα στοιχεία στα διάφορα τμήματα της βάσης, οι μαθητές μπορεί να αρχίσουν να εξετάζουν μερικές από τις χρησιμοποιούμενες μεθόδους.

Κατά συνέπεια, αν και οι βάσεις δεδομένων δεν εμπλέκουν τους μαθητές στο σχεδιασμό των ερευνητικών μελετών, συλλαμβάνουν πολλές πτυχές της ερμηνείας των στοιχείων και της ανάπτυξης των θεωριών. Αντικατοπτρίζουν επίσης έναν αυθεντικό τρόπο να κάνεις επιστήμη, δεδομένου ότι οι βάσεις δεδομένων του διαδικτύου είναι σημαντικές για πολλούς τομείς της επιστήμης.

6.3.4 Δραστηριότητες αξιολόγησης στοιχείων

Οι δραστηριότητες αξιολόγησης στοιχείων παρουσιάζουν στους μαθητές τις γραπτές αναφορές στοιχείων και τους ζητούν να εξάγουν συμπεράσματα από αυτές, όπως κάνουν οι επιστήμονες όταν διαβάζουν και συζητούν στοιχεία που αφορούν ανταγωνιστικές θεωρίες.

Πίνακας 6.1 Πλεονεκτήματα και περιορισμοί των πέντε τύπων δραστηριοτήτων διερεύνησης

Τύπος δραστηριότητας	Πλεονεκτήματα	Περιορισμοί
Εργαστηριακές δραστηριότητες	Είναι ιδιαίτερα χρήσιμες όταν ενθαρρύνουν τους μαθητές να βρουν μεταβλητές, στον έλεγχο των μεταβλητών, και στην εκτίμηση των μεθοδολογικών αδυναμιών.	Είναι δύσκολο να πραγματοποιηθούν διάφορα είδη πειραμάτων. Τείνουν να εξετάζουν παρατηρήσιμα φαινόμενα.
Προσομιώσεις πειραμάτων σε Υπολογιστή	Επιτρέπουν στους μαθητές να πραγματοποιήσουν διαφορετικούς τύπους πειραμάτων γρήγορα. Οι σχεδιασμοί μπορεί να είναι σύνθετοι, και να μιμούνται ενδεχομένως μεθοδολογικές αδυναμίες.	Είναι δύσκολο να προσομοιωθεί ο έλεγχος των μεταβλητών, και οι μαθητές δεν μπορούν να επινοήσουν θεωρίες ή μεταβλητές που το σύστημα δεν έχει περιλάβει. Οι μαθητές καλούνται να επιλέξουν μεταβλητές που ίσως να μην εξέταζαν από μόνοι τους.
Δραστηριότητες με βάσεις δεδομένων	Υπάρχει δυνατότητα να εξομοιωθούν τα περισσότερα από τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα του αυθεντικού συλλογισμού στα πλαίσια της ερμηνείας των υπαρχόντων δεδομένων.	Δεν επιτρέπουν στους μαθητές για να σχεδιάσουν και να πραγματοποιήσουν τις δικές τους μελέτες, ούτε νέες έρευνες για μερικά απρόβλεπτα ζητήματα που προκύπτουν κατά τη διάρκεια της διερεύνησης.
Δραστηριότητες αξιολόγησης στοιχείων	Υπάρχει δυνατότητα να εξομοιωθούν τα περισσότερα από τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα του αυθεντικού συλλογισμού στα πλαίσια της κατανόησης και της ερμηνείας των υπαρχουσών μελετών.	Δεν επιτρέπουν στους μαθητές να σχεδιάσουν και να πραγματοποιήσουν τις δικές τους μελέτες, ούτε νέες έρευνες για απρόβλεπτα ζητήματα που προκύπτουν κατά τη διάρκεια της διερεύνησης.
Σχεδιασμός έρευνας	Εξομοιώνουν τα περισσότερα από τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα του αυθεντικού συλλογισμού στο πλαίσιο της περιγραφής του σχεδιασμού μιας μελέτης.	Είναι καταλληλότερη δραστηριότητα για αξιολόγηση και έρευνα παρά για διδασκαλία, επειδή οι μαθητές δεν έχουν καμία ευκαιρία να εφαρμόσουν πραγματικά τα σχέδια και να πάρουν ανατροφοδότηση από το περιβάλλον. Δεν υπάρχει επίσης αξιολόγηση ερμηνευτικών δεξιοτήτων.

Όπως και οι βάσεις δεδομένων έχουν μια σειρά από τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα του αυθεντικού επιστημονικού συλλογισμού. Αν και οι καθαρές δραστηριότητες αξιολόγησης στοιχείων δεν εμπλέκουν τους μαθητές στο σχεδιασμό μελετών, οι μαθητές πρέπει να αξιολογήσουν τις ερμηνείες που διαβάζουν, να κρίνουν εάν υπάρχουν εναλλακτικές ερμηνείες που θα μπορούσαν να τις αντικαταστήσουν και να συνδυάσουν αντικρουόμενα στοιχεία. Πρέπει να κατανοήσουν και να αξιολογήσουν μελέτες που μπορεί να έχουν αρκετά σύνθετα ελλοχεύοντα μοντέλα. Οι μελέτες μπορεί να περιλαμβάνουν πολλές μεταβλητές που παρεμβάλλονται και πολλαπλές μετρήσεις. Οι μαθητές πρέπει να συνδυάσουν αποτελέσματα από πολλά διαφορετικά είδη μελετών προκειμένου να αναπτύξουν μια πειστική θεωρία. Όπως με τις βάσεις δεδομένων, εάν δίνονται ικανοποιητικές πληροφορίες για τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται στις διάφορες μελέτες, οι μαθητές μπορούν να εξετάσουν την εγκυρότητα των διάφορων μεθοδολογιών. Οι δραστηριότητες αξιολόγησης στοιχείων, στην καλύτερή τους εκδοχή, τοποθετούν τους μαθητές στη θέση των επιστημόνων που διαβάζουν ένα ευρύ φάσμα στοιχείων και αποφασίζουν για αυτά που θα λάβουν υπόψη τους.

6.3.5 Σχεδιασμός έρευνας-μελέτης

Σε όλες τις παραπάνω δραστηριότητες οι «ερευνητές» συγκεντρώνουν ή/και εξετάζουν στοιχεία. Ο Schraagen (1993) χρησιμοποίησε μια πολύ διαφορετική προσέγγιση διερεύνησης. Παρουσίασε σε Ολλανδούς ενήλικες ένα σενάριο κατά το οποίο η επιχείρηση Coca Cola ενδιαφέρθηκε να χρηματοδοτήσει μια μελέτη που θα ενίσχυε την εμπορική προώθηση της Coca Cola στις Κάτω Χώρες. Ο εργασία των συμμετεχόντων ήταν να εξηγήσουν πώς θα σχεδίαζαν μια μελέτη που θα προσδιόριζε ποια ακριβώς γευστική αίσθηση έχουν οι άνθρωποι όταν πίνουν Coca Cola σε σχέση με αυτή που έχουν όταν μια άλλη μάρκα ποτού τύπου Cola. Σε σύγκριση με τις προηγούμενες δραστηριότητες, ένα προφανές μειονέκτημα αυτής είναι ότι δεν δίνεται καμία ευκαιρία στους συμμετέχοντες να εξετάσουν ή να ερμηνεύσουν στοιχεία. Εντούτοις, ένα πλεονέκτημα της είναι ότι οι μαθητές σχεδιάζοντας τις μελέτες τους, βρίσκονται αντιμέτωποι με όλη την πολυπλοκότητα του σχεδιασμού ενός πραγματικού πειράματος. Πρέπει να κατασκευάσουν ένα σύνθετο μοντέλο για ένα πείραμα ακριβώς όπως κάνουν οι επιστήμονες. Πρέπει να αναπτύξουν σύνθετες διαδικασίες και να εξετάσουν ποιο είδος πειραματικής εργασίας θα ήταν κατάλληλο για να προβλέψουν την κατανάλωση της Coca Cola από τον ολλανδικό πληθυσμό. Πρέπει να εξετάσουν σύνθετα θέματα ελέγχου όπως: πώς θα «εξουδετερώσουν» τη σειρά δοκιμής των διαφορετικών ποτών τύπου Cola, πώς θα εξαλείψουν την γεύση που απομένει κατά δοκιμή της μιας Cola μετά από την άλλη, και πώς θα αποκλείσουν την προκατάληψη του πειραματιστή. Μπορούν να χρησιμοποιήσουν

πολλά εργαλεία μέτρησης όπως οι κλίμακες διαβάθμισης, υποχρεωτικής επιλογής, και ούτω καθεξής. Πρέπει να εξετάσουν τρόπους για την επιλογή ενός αντιπροσωπευτικού δείγματος και να ανησυχήσουν για πιθανές μεθοδολογικές αδυναμίες και πιθανές πηγές προκατάληψης στις παρατηρήσεις τους.

Εν ολίγοις, οι σχεδιασμοί μελετών απαιτούν από τους «μικρού ερευνητές» να εξετάσουν πολλές διαφορετικές πτυχές του αυθεντικού πειραματισμού καθώς περιγράφουν πώς θα σχεδιάζαν ένα πείραμα. Σε αντίθεση με τις προσομοιώσεις, που περιορίζουν στενά τις παραμέτρους μιας δραστηριότητας διερεύνησης, οι σχεδιασμοί πειραμάτων μπορούν να καταπιαστούν με κάποιες πλευρές της πολυπλοκότητας της αυθεντικής έρευνας. Αυτός ο τύπος δραστηριότητας δεν επιτρέπει όμως στον «ερευνητή» να ερευνήσει πώς να συνδυάσει αποτελέσματα που προκύπτουν από πολλά πειράματα ή να ερμηνεύσει πραγματικά αποτελέσματα από οποιοδήποτε πείραμα. Οι δραστηριότητες σχεδιασμού έχουν αρκετούς περιορισμούς ως δραστηριότητες τάξεων, αλλά φαίνεται να αποτελούν πολύ υποσχόμενα εργαλεία για τους ψυχολόγους και τους ερευνητές της Διδακτικής για την αξιολόγηση της ικανότητας των μαθητών να σκέπτονται.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Ματσαγκούρας Η., *Θεωρία και Πράξη της Διδακτικής, τόμος Β΄, Στρατηγικές Διδακτικής*, Gutenberg, Αθήνα, 1998
- Χαλκιά, Κ., (2010) *Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες*. Εκδ. Πατάκη, Αθήνα
- Chinn, C. A., Malhotra B. A., (2002). Epistemologically Authentic Inquiry in Schools: A Theoretical Framework for Evaluating Inquiry Tasks. *Science Education*, 86, 175-218.
- Harwood, W. S. (2004). A New Model for Inquiry: Is the Scientific Method Dead? *Journal of College Science Teaching*, 33 (7), 29-33.
- Reiff, R., Harwood, W. S., & Phillipson, T. (2002). *A scientific method based upon research scientists' conceptions of scientific inquiry*. In Proceedings of the annual international conference of the association for the education of teachers in science. Charlotte, SC (ERIC Document Reproduction Service No. ED465618).
- Robinson W. R. (2004). The Inquiry Wheel, an Alternative to the Scientific Method. *Journal of Chemical Education*, 81 (6), 791-792.
- Schraagen, J. M. (1993). How experts solve a novel problem in experimental design. *Cognitive Science*, 17, 285–309.

7. ΧΑΡΤΕΣ ΕΝΝΟΙΩΝ

Στις αρχές της δεκαετίας του 1970, ο Novak και η ομάδα του στο πανεπιστήμιο του Cornell πραγματοποίησαν μια έρευνα για να μελετήσουν τις αλλαγές στη κατανόηση επιστημονικών εννοιών των μαθητών κατά τη διάρκεια της δωδεκαετούς εκπαίδευσής τους (Novak, 1990). Η έρευνα βασίστηκε στη θεωρία του Ausubel, και συγκεκριμένα οι ερευνητές στηρίχθηκαν σε τρεις βασικές ιδέες του Ausubel, σύμφωνα με τις οποίες:

- οι νέες έννοιες συνδέονται με πρότερες σχετικές έννοιες
- η γνωστική δομή έχει ιεραρχική οργάνωση με τις πιο γενικές έννοιες να είναι σε υψηλότερα επίπεδα της ιεραρχίας
- όταν συμβαίνει η μάθηση με κατανόηση οι σχέσεις μεταξύ των εννοιών γίνονται πιο σαφείς, πιο ακριβείς και καλύτερα ενσωματωμένες με άλλες έννοιες

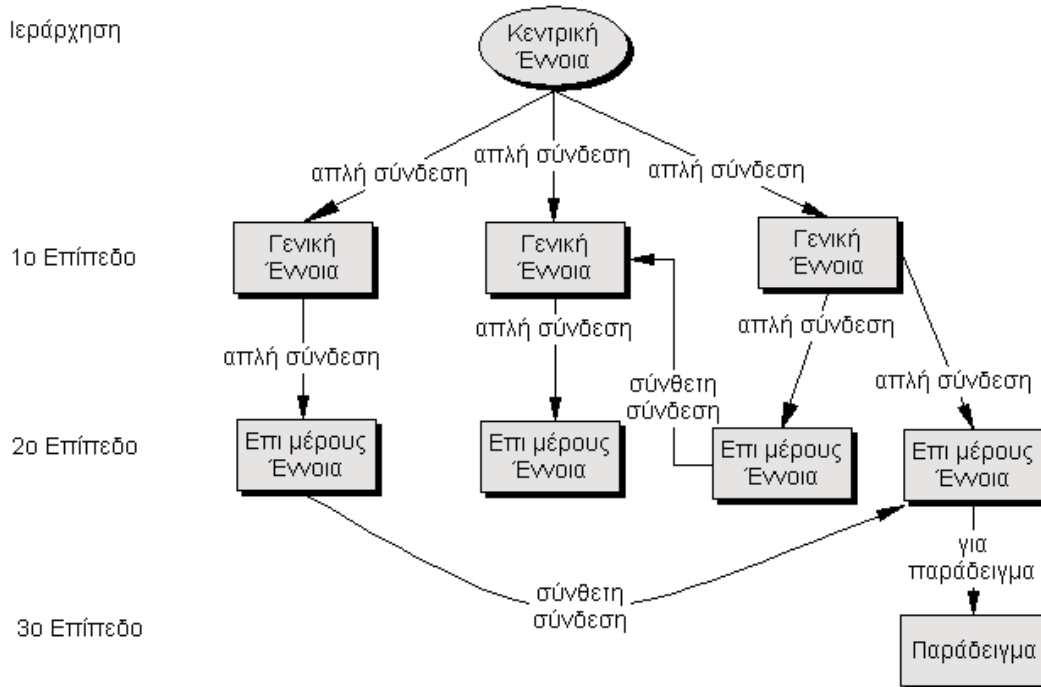
Με βάση αυτές τις αρχές είχαν την ιδέα να αναπαραστήσουν τις συνεντεύξεις των μαθητών σε ιεραρχική δομή εννοιών και σχέσεων μεταξύ των εννοιών. Η ιδέα αυτή οδήγησε το 1972 στην επινοήση ενός εργαλείου, του χάρτη εννοιών, που χρησιμοποιήθηκε, αρχικά, από την ομάδα του Novak για να εντοπισθεί η κατανόηση οι μαθητές σε κάθε στιγμή της εκπαίδευσής τους.

7.1 Τα στοιχεία του χάρτη εννοιών

Οι Novak και Gowin (1984) όρισαν τη χαρτογράφηση εννοιών ως εκπαιδευτικό εργαλείο που αναπτύχθηκε «για να εξερευνήσει τη γνωστική δομή ενός μαθητή και να εξωτερικεύσει τι γνωρίζει ήδη ο μαθητής». Πρόκειται για μια τεχνική που εκθέτει τις έννοιες και τους ισχυρισμούς που κρύβονται μέσα στη γνωστική δομή κάθε μαθητή και παρουσιάζει τις αλλαγές που εμφανίζονται σε αυτήν, διευκρινίζει τις παρερμηνείες, καθώς και την επιφανειακή ερμηνεία στη διαδικασία διδασκαλίας και εκμάθησης. Γενικότερα, όπως υποστηρίζει και ο Jonassen (2000), η τεχνική της χαρτογράφησης εννοιών αποτελεί ένα διαμεσολαβητικό, γνωστικό εργαλείο που ευνοεί την οικοδόμηση νέων γνώσεων, ενισχύει την αλληλεπίδραση και εμπλέκει τα άτομα σε νοητικές διεργασίες για ανάλυση και κριτική αντιμετώπιση του περιεχόμενου της διδασκαλίας, καθώς και στην οργάνωση και αναπαράσταση της γνώσης τους, λαμβάνοντας υπόψη το κοινωνικό και πολιτισμικό περιβάλλον.

Ο χάρτης εννοιών είναι ένα εργαλείο αναπαράστασης της γνώσης στη μορφή ενός γραφήματος που αποτελείται από πλαίσια (κόμβους) που συνδέονται μεταξύ τους με γραμμές. Λέξεις και φράσεις που εκφράζουν έννοιες είναι τοποθετημένες μέσα στα πλαίσια

και οι σχέσεις μεταξύ των διαφορετικών εννοιών προσδιορίζονται πάνω σε κάθε συνδετική γραμμή (Σχήμα 7.1).



Σχήμα 7.1: Τα συστατικά στοιχεία ενός χάρτη εννοιών

Οι προτάσεις, δηλαδή οι τριάδες *κόμβος-σύνδεσμος-κόμβος*, είναι ένα μοναδικό στοιχείο των χαρτών εννοιών σε σύγκριση με άλλα παρόμοια γραφήματα. Οι προτάσεις αποτελούνται από δύο ή περισσότερες έννοιες που συνδέονται μεταξύ τους με μια συνδετική σχέση που σχηματίζει μια εννοιολογική μονάδα (Novak and Gowin, 1984). Μια σημαντική παραλλαγή των προτάσεων είναι οι σύνθετες ή διασταυρούμενες συνδέσεις (*cross-links*), οι οποίες δείχνουν τη σχέση ανάμεσα σε έννοιες που βρίσκονται σε διαφορετικές περιοχές του χάρτη εννοιών. Η εύρεση της σχέσης μεταξύ δύο τέτοιων εννοιών απαιτεί κάποιο βαθμό διορατικότητας. Οι συνδέσεις προσδιορίζουν τη σχέση ανάμεσα στις έννοιες με λέξεις ή σύμβολα. Βέλη χρησιμοποιούνται για ναδειχθεί η κατεύθυνση των σχέσεων. Σε περίπτωση που δε χρησιμοποιείται βέλος, υποτίθεται ότι η κατεύθυνση της σχέσης είναι από πάνω προς τα κάτω. Η πρόταση είναι η βασική μονάδα με σημασία σε έναν εννοιολογικό χάρτη και η μικρότερη μονάδα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να κρίνει την εγκυρότητα της σχέσης μεταξύ των εννοιών (Ruiz-Primo & Shavelson, 1996). Στην απλούστερη μορφή του, ένας χάρτης έννοιας είναι μόνο δύο έννοιες που συνδέονται με μια λέξη σύνδεσης για να δομήσουν μία πρόταση (Novak & Gowin, 1984).

Ο άμεσος στόχος της κατασκευής χαρτών εννοιών είναι η απεικόνιση και επεξεργασία των γνωστικών δομών σε ένα γνωστικό πεδίο. Η χρησιμότητα των χαρτών εννοιών δεν βασίζεται στο γεγονός ότι εκπαιδεύει τους μαθητές να δομούν τους χάρτες και να σκέφτονται όπως ο εκπαιδευτικός τους, αλλά στην ικανότητα να εμπλέκουν ενεργά τους μαθητές στο υλικό και να απεικονίζουν τη διαδικασία μεταφοράς της γνώσης. Ένας από τους λόγους για τους οποίους η χαρτογράφηση εννοιών είναι τόσο σημαντική στη διευκόλυνση της μάθησης με κατανόηση είναι ότι αποτελεί ένα είδος προτύπου ή «πλαίσιου υποστήριξης» (scaffold) για να βοηθήσει να οργανωθεί και να δομηθεί η γνώση.

Η παρατήρηση των εννοιολογικών χαρτών φανερώνει αν οι μαθητές εμπλέκονται στη μαθησιακή διαδικασία ουσιαστικά επιτυγχάνοντας μάθηση με κατανόηση. Οι Arbea & Campos (2004) παρατήρησαν ορισμένα στοιχεία του χάρτη εννοιών που υποδηλώνουν την ουσιαστική ή μη μάθηση (Πίνακας 7.1).

Πίνακας 7.1 Στοιχεία του χάρτη εννοιών που υποδηλώνουν μάθηση με κατανόηση ή μηχανική μάθηση (Arbea & Campos, 2004)

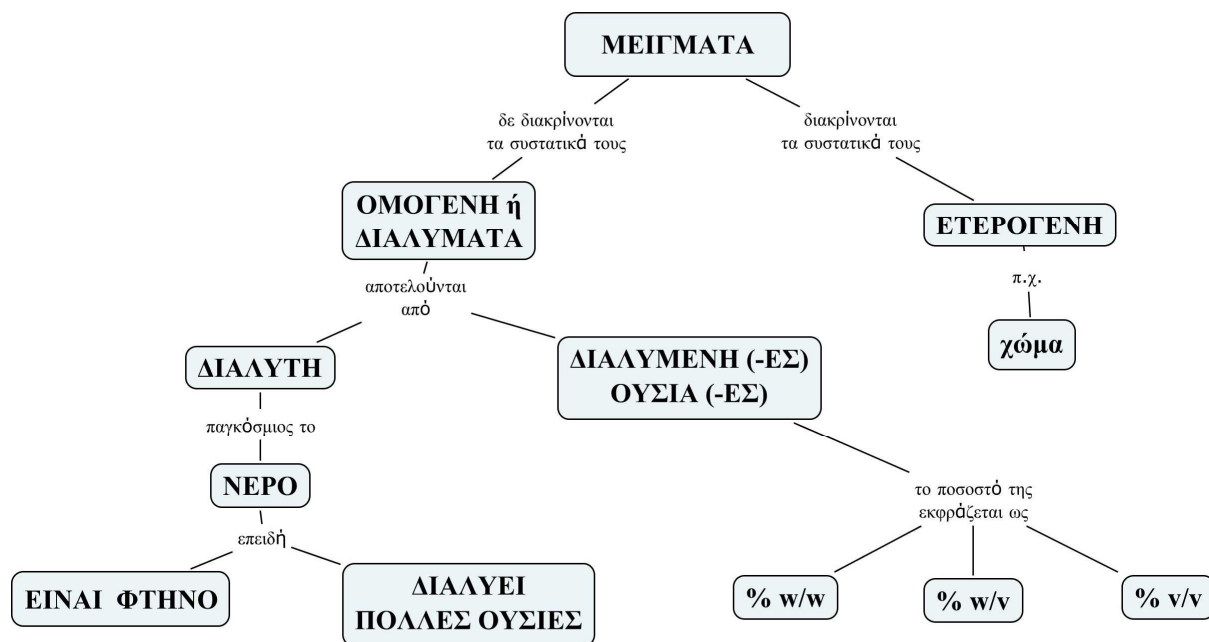
	Μηχανική μάθηση	Μάθηση με κατανόηση
1	Μη ξεκάθαρη διαφοροποίηση μεταξύ εννοιών και συνδετικών φράσεων. Η κατεύθυνση των σχέσεων μεταξύ εννοιών δε φαίνεται.	Ξεκάθαρη διαφοροποίηση μεταξύ εννοιών και συνδετικών φράσεων. Δείχνει την κατεύθυνση των σχέσεων μεταξύ εννοιών.
2	Χρησιμοποιείται μικρός αριθμός εννοιών.	Χρησιμοποιούνται όλες οι έννοιες.
3	Υπάρχει λανθασμένη ιεραρχική οργάνωση και δεν εντοπίζονται οι πιο περιεκτικές έννοιες.	Οι έννοιες οργανώνονται ιεραρχικά και εντοπίζονται οι πιο περιεκτικές έννοιες.
4	Γραμμικές σχέσεις και αλυσιδωτές δομές.	Οι γραμμικές σχέσεις είναι λίγες. Υπάρχει προοδευτική διαφοροποίηση μεταξύ εννοιών
5	Λίγες και λανθασμένα σύνθετες συνδέσεις: σημάδι αδύναμης ενσωματωμένης συσχέτισης	Πολλές σύνθετες συνδέσεις: υψηλό επίπεδο ενσωμάτωσης.

7.2 Είδη χαρτών εννοιών

Ο Novak (1990) επισήμανε τη σημασία που έχουν οι ιεραρχικές δομές στη χαρτογράφηση εννοιών. Έτσι, οι χάρτες εννοιών πρέπει να έχουν στην κορυφή της ιεραρχίας πιο περιεκτικές, γενικές έννοιες, με προοδευτική ελάττωση της γενικότητας στα κατώτερα επίπεδα του χάρτη, τα οποία αποτελούνται από λιγότερο περιεκτικές, πιο εξειδικευμένες έννοιες. Με βάση αυτήν την αρχή, οι χάρτες εννοιών γενικά διαβάζονται από πάνω προς τα κάτω. Από την άλλη πλευρά, σύμφωνα με τους Ruiz-Primo και Shavelson (1996), από μεθοδολογική και εννοιολογική σκοπιά δεν είναι απαραίτητο να προσδώσουμε μια ιεραρχική δομή σε ένα χάρτη εννοιών. Εάν η δομή του περιεχομένου είναι ιεραρχική, τότε έτσι κι αλλιώς θα προκύψει ένας ιεραρχικός χάρτης. Έχουν προταθεί διάφορες δομές για τους χάρτες εννοιών (π.χ. αραχνοειδής, ιεραρχική, και κυκλική) για την αναπαράσταση διαφορετικών τύπων δομής του περιεχομένου. Γενικά, τα σημαντικότερα είδη χαρτών εννοιών είναι:

7.2.1 Ιεραρχικοί χάρτες (hierarchy concept maps)

Οι έννοιες παρουσιάζονται με ιεραρχική μορφή στην οποία η πιο σημαντική έννοια τοποθετείται στην κορυφή και κάθε επιμέρους έννοια τοποθετείται χαμηλότερα στην κλίμακα της ιεραρχίας ανάλογα με τη σχέση που υπάρχει με τις υπόλοιπες έννοιες.

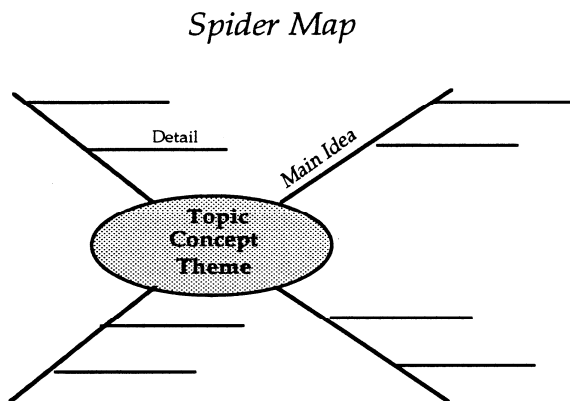


Σχήμα 7.2 Ιεραρχικός χάρτης εννοιών (Χημεία Β Γυμνασίου)

7.2.2 Αραχνοειδείς χάρτες (spider concept maps)

Η κεντρική ιδέα τοποθετείται στο κέντρο του χάρτη ενώ οι επιμέρους έννοιες βρίσκονται ακτινωτά του κεντρικού σημείου και δημιουργούν έτσι τη δομή ενός ιστού. Η διαμόρφωση

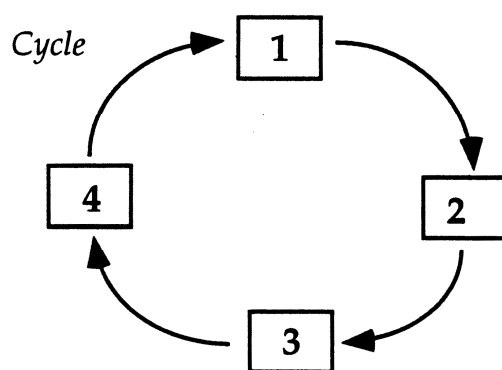
και ανάγνωση των χαρτών αυτών είναι εύκολη αλλά είναι δύσκολο να απεικονιστούν οι σχέσεις χωρίς να αποφευχθεί η πολυπλοκότητα.



Σχήμα 7.3 Αραχνοειδής χάρτης εννοιών

7.2.3 Κυκλικοί χάρτες εννοιών

Οι κυκλικοί χάρτες εννοιών (ΚΧΕ) αποτελούν μια επέκταση των κλασικών χαρτών εννοιών, που δίνει τη δυνατότητα μιας καλύτερης αναπαράστασης των δυναμικών λειτουργικών σχέσεων ανάμεσα στις έννοιες (Safayeni Derbentseva, & Cañas, 2005). Οι ερευνητές παρατήρησαν ότι όταν οι άνθρωποι κατασκευάζουν χάρτες εννοιών, κάποιες φορές έχουν την τάση να συνδέουν τις έννοιες σε έναν κύκλο και θα έπρεπε να τους σταματήσει για να ενθαρρύνει την δημιουργία ιεραρχικών σχέσεων. Με άλλα λόγια, μια συγκεκριμένη μορφή γνώσης μπορεί να είναι ήδη κωδικοποιημένη σε μια βασική κυκλική δομή.



Σχήμα 7.4 Κυκλικός χάρτης εννοιών

Σε έναν ΚΧΕ, η βασική μονάδα ανάλυσης είναι ένας κύκλος εννοιών (κλειστός βρόχος). Ένας τέτοιος κύκλος δημιουργείται από μια πλειάδα εννοιών και αντιπροσωπεύει ένα σύνολο στενά αλληλοσυνδεόμενων δομών. Μια πλειάδα εννοιών ορίζεται ως δύο ή περισσότερες έννοιες που βρίσκονται σε μια σχέση κλειστού βρόχου μεταξύ τους. Θεμελιακά, οι σχέσεις ανάμεσα στις έννοιες σε έναν κυκλικό χάρτη εννοιών είναι δυναμικές, στη βάση του ότι κάθε

έννοια επηρεάζεται από τις αλλαγές της προηγούμενης και συνεισφέρει σε αλλαγές της επόμενης έννοιας του κύκλου. Έτσι, ένας ΚΧΕ μπορεί να θεωρηθεί ως μια κυκλική δυναμική σχέση ανάμεσα σε ένα σύνολο εννοιών.

Μερικά σημαντικά χαρακτηριστικά των ΚΧΕ είναι τα ακόλουθα (Safayeni et al., 2005):

- Μια επιπρόσθετη πληροφορία που παρέχουν οι ΚΧΕ σε σχέση με τους κλασικούς χάρτες εννοιών είναι η πληροφορία που σχετίζεται με το πλαίσιο. Μια έννοια σε έναν κύκλο αλληλοσυσχετιζόμενων εννοιών είναι μέρος ενός πιο περίπλοκου εννοιολογικού πλαισίου και το νόημα της είναι συνάρτηση αυτού του κυκλικού εννοιολογικού συστήματος.
- Οι ΚΧΕ μπορούν να μικραίνουν ή να μεγαλώνουν σε μέγεθος, απομακρύνοντας κάποιες έννοιες που υπάρχουν ήδη σε αυτούς ή συμπεριλαμβάνοντας σε αυτούς κάποιες επιπρόσθετες έννοιες, αντίστοιχα. Έτσι, είναι δυνατή η κατασκευή διαφορετικών ΚΧΕ που να απεικονίζουν τις σχέσεις ανάμεσα σε διαφορετικά υποσύνολα ενός συνόλου εννοιών.
- Ένας ΚΧΕ μπορεί να αποτελείται από περισσότερους από ένα βρόχους εννοιών. Οι διαφορετικοί αυτοί βρόχοι μπορούν να παρασταθούν με διαφορετικό χρώμα ο καθένας, ώστε να γίνει πιο εμφανές το πώς οι έννοιες αλληλεπιδρούν σε διαφορετικούς κύκλους. Μια εναλλακτική περίπτωση είναι να παρουσιαστεί κάθε διαφορετικός βρόχος εννοιών σε έναν ξεχωριστό χάρτη.
- Δεν υπάρχει λογικός περιορισμός στον αριθμό των εννοιών που αποτελούν ένα βρόχο σε έναν ΚΧΕ. Ωστόσο, από ψυχολογική άποψη, η χωρητικότητα της λειτουργικής μνήμης (7 ± 2 τμήματα πληροφορίας) θα μπορούσε να οριοθετήσει έναν τέτοιο εννοιολογικό βρόχο.
- Σε κάποιες περιπτώσεις, το υβρίδιο ενός κυκλικού με έναν κλασικό χάρτη εννοιών μπορεί να δίνει περισσότερες πληροφορίες για τη δομή και τη λειτουργία του συστήματος, περιγράφοντας την όλη διαδικασία με μεγαλύτερη ακρίβεια. Το τμήμα του κλασικού χάρτη δίνει βασικές πληροφορίες για τα δομικά στοιχεία του συστήματος, ενώ το τμήμα του κυκλικού χάρτη αναπαριστά το πώς λειτουργεί το σύστημα, δηλαδή το πώς τα συστατικά στοιχεία του συστήματος αλληλεπιδρούν στην κυκλική διαδικασία.

Σύγκριση μεταξύ κυκλικών και ιεραρχικών χαρτών εννοιών που κατασκεύασαν φοιτητές σε μια σειρά μαθημάτων βιολογίας έδειξε ότι η κυκλική δομή οδήγησε σε αύξηση της αναπαράστασης των λειτουργικών δυναμικών σχέσεων ανάμεσα στις έννοιες, έναντι των

στατικών σχέσεων. Ως συμπέρασμα εξάγεται ότι η μορφή της αναπαράστασης, δηλαδή η δομή του χάρτη εννοιών, επηρεάζει το περιεχόμενο του χάρτη που κατασκευάζεται, δηλαδή τον τύπο των σχέσεων που είναι πιθανό να δημιουργηθούν μεταξύ των εννοιών.

7.3 Αξιοποίηση των χαρτών εννοιών

Οι *χάρτες εννοιών* (*concept maps*) βασίζονται στη θεωρία μάθησης του Ausubel και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως προ-οργανωτές με διάφορους τρόπους (Willerman and MacHarg, 1991). Μπορούν να παρουσιαστούν στην αρχή ενός κεφαλαίου του βιβλίου ή κάποιας διδακτικής ενότητας, ή να χρησιμοποιηθούν ως οδηγός για το μάθημα που παρουσιάζεται στην τάξη. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρουσίαση μιας πολυμεσικής εφαρμογής που παρέχει συνδέσεις με κατάλληλο εκπαιδευτικό υλικό. Επιπλέον, οι χάρτες εννοιών έχουν χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά για την ανίχνευση παρανοήσεων, αλλά και στο πλαίσιο διδακτικών προσεγγίσεων για την αντιμετώπιση των παρανοήσεων.

Πολλοί εκπαιδευτικοί και ερευνητές στον τομέα της διδακτικής των φυσικών επιστημών, έχουν ενδιαφερθεί για τη χρήση των χαρτών εννοιών ως εργαλεία διδασκαλίας και ενίσχυσης της μάθησης. Πολλές μελέτες έχουν υποστηρίξει την αποτελεσματικότητα των χαρτών εννοιών ως εκπαιδευτικά εργαλεία και τα αποτελέσματα δύο σημαντικών μετα-αναλύσεων (Horton et al., 1993; Nesbit and Adesope, 2006) έδειξαν ότι η χαρτογράφηση εννοιών έχει γενικά θετικές επιδράσεις στις επιδόσεις των μαθητών. Ωστόσο, αυτές οι επιδράσεις φαίνεται ότι εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από το γνωστικό αντικείμενο, αλλά και από άλλους παράγοντες, όπως ο βαθμός εμπλοκής και συνεργασίας των μαθητών.

Η χαρτογράφηση εννοιών χρησιμοποιείται, τέλος, ως στρατηγική αξιολόγησης, καθώς φαίνεται να δίνει δυνατότητα εκτίμησης της κατανόησης. Τα διάφορα συστήματα αξιολόγησης που στηρίζονται στη χαρτογράφηση εννοιών, έχουν κατηγοριοποιηθεί με βάση δύο κριτήρια: (α) Το είδος της δραστηριότητας στην οποία εμπλέκονται οι μαθητές για να παρουσιάσουν τη γνώση τους και (β) το σύστημα βαθμολόγησης που χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της γνώσης τους (Stoddart et al., 2000). Το είδος της δραστηριότητας μπορεί να είναι κλειστού ή ανοιχτού τύπου, με διάφορες ενδιάμεσες διαβαθμίσεις. Οι μέθοδοι βαθμολόγησης συνδυάζουν γενικά το ενδιαφέρον για την ακρίβεια του περιεχομένου με το ενδιαφέρον για την πολυπλοκότητα του χάρτη, όπως αυτή προσδιορίζεται από τον αριθμό των συστατικών του χάρτη, π.χ. των εννοιών, των συνδέσεων κ.τ.λ.

Η παραδοσιακή μέθοδος βαθμολόγησης των χαρτών εννοιών προτάθηκε από τους Novak και Gowin (1984), και βασίζεται στα συστατικά στοιχεία και στη δομή του χάρτη. Σύμφωνα με αυτό το σύστημα βαθμολόγησης, βαθμοί δίνονται για τις σωστές προτάσεις (1 μονάδα για την

καθεμία), τα ιεραρχικά επίπεδα (5 μονάδες για το καθένα), τον αριθμό των διακλαδώσεων (1 μονάδα για καθεμία), τις διασταυρούμενες συνδέσεις (10 μονάδες για κάθε σωστή σύνδεση), καθώς και τα συγκεκριμένα παραδείγματα (1 μονάδα για το καθένα). Ο αριθμός των ιεραρχικών επιπέδων δείχνει το βαθμό της υπαγωγής, ο αριθμός των διακλαδώσεων δείχνει την προοδευτική διαφοροποίηση και ο αριθμός των διασταυρούμενων συνδέσεων φανερώνει το βαθμό διασύνδεσης της γνώσης. Αυτή η τεχνική βαθμολόγησης φάνηκε ότι είναι χρονοβόρα, αλλά δίνει σημαντικές πληροφορίες για το γνωστικό υπόβαθρο του ατόμου που δημιουργήσε το χάρτη εννοιών. Κάποιες άλλες τεχνικές βαθμολόγησης έχουν αναπτυχθεί ως επέκταση ή παραλλαγή του συστήματος των Novak και Gowin. Για παράδειγμα, οι Ruiz-Primo και Shavelson (1996) περιγράφουν μεθόδους σύγκρισης του χάρτη εννοιών ενός μαθητή με αυτόν ενός ειδικού, π.χ. ενός δάσκαλου, ενός ειδικού στη συγκεκριμένη γνωστική περιοχή. Σε αυτές τις περιπτώσεις, πρέπει να καθοριστεί μια διαδικασία σύγκρισης, η οποία μπορεί να ποικίλει από σύγκριση προτάσεων μέχρι ολιστικές συγκρίσεις της δομής των χαρτών εννοιών. Κάποιοι ερευνητές έχουν πειραματιστεί με το συνδυασμό μεθόδων που βασίζονται στα συστατικά στοιχεία του χάρτη και μεθόδων που στηρίζονται σε σύγκριση με έναν πρότυπο χάρτη, π.χ. το χάρτη ενός ειδικού. Ένα παράδειγμα αυτής της προσέγγισης είναι η χρησιμοποίηση μιας παραδοσιακής, βασισμένης στα συστατικά στοιχεία του χάρτη, βαθμολόγησης, σε συνδυασμό με κάποια σύγκριση με έναν πρότυπο χάρτη, δίνοντας περισσότερες μονάδες σε προτάσεις που θεωρήθηκαν πιο σημαντικές από τους ειδικούς (Rye και Rubba, 2002).

Δύο βασικά προβλήματα έχουν προκύψει σχετικά με τις μεθόδους βαθμολόγησης των χαρτών εννοιών. Το πρώτο είναι ότι οι παραδοσιακές μέθοδοι (Novak & Gowin, 1984; Ruiz-Primo & Shavelson, 1996) είναι χρονοβόρες και απαιτούν τη συμμετοχή κάποιου ειδικού, είτε για να αξιολογήσει την εγκυρότητα και σπουδαιότητα των συστατικών στοιχείων του χάρτη, είτε για την κατασκευή ενός πρότυπου χάρτη. Αυτό το πρόβλημα έχει αντιμετωπιστεί με την ανάπτυξη απλοποιημένων και υπολογιστικών τεχνικών βαθμολόγησης, καθώς και με ανάλυση των χαρτών εννοιών με βάση τη συνολική δομή τους. Το δεύτερο πρόβλημα σχετίζεται με την εγκυρότητα και η αξιοπιστία των χαρτών εννοιών ως εργαλεία αξιολόγησης. Οι ιδιότητες αυτές των χαρτών εννοιών είναι άμεσα σχετιζόμενες με αυτό που ζητείται από τον αξιολογούμενο να κάνει και με τη μέθοδο βαθμολόγησης που χρησιμοποιείται. Κάποια συμπεράσματα που έχουν προκύψει σχετικά με την αξιοπιστία των μεθόδων βαθμολόγησης είναι ότι είναι καλύτερη για βαθμολογίες που βασίζονται στις προτάσεις από ότι για βαθμολογίες που βασίζονται στη δομή των χαρτών εννοιών και τέλος, είναι καλύτερη όταν οι βαθμολογητές είναι πιο έμπειροι. Όσον αφορά στην εγκυρότητα, το

ενδιαφέρον έχει επικεντρωθεί κυρίως στη συγχρονική εγκυρότητα (concurrent validity) και στην εγκυρότητα εννοιολογικής δομής (construct validity).

Η συγχρονική εγκυρότητα έχει διαπιστωθεί σε διάφορες έρευνες στις οποίες οι βαθμολογίες των χαρτών εννοιών φάνηκε ότι αλλάζουν κατά τη διάρκεια της διδασκαλίας, ή ότι διαφέρουν μεταξύ ομάδων που ήταν γνωστό εκ των προτέρων ότι διέφεραν στο επίπεδο των γνώσεών τους. Σχετικά με την εγκυρότητα εννοιολογικής δομής, έχει βρεθεί ότι οι χάρτες εννοιών μετρούν διαφορετικές πτυχές της γνώσης από αυτές που μετρούν κάποιες παραδοσιακές τεχνικές αξιολόγησης, οι οποίες δεν ανιχνεύουν την κατανόηση. Έτσι, μέτριες ή χαμηλές συνάφειες έχουν βρεθεί με παραδοσιακούς τύπους αξιολόγησης, οι οποίοι δεν αξιολογούν την κατανόηση (Mintzes, Wandersee, & Novak, 2000). Οι διαφορές στις βαθμολογίες των χαρτών εννοιών και των παραδοσιακών μεθόδων αξιολόγησης, δείχνουν ότι οι χάρτες εννοιών μπορούν να εκτιμήσουν διαφορές ανάμεσα στη μάθηση με κατανόηση και στην επιφανειακή μάθηση, ενώ οι παραδοσιακές τεχνικές όχι.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Horton, P. B., McConney, A. A., Gallo, M., Woods, A. L., Senn, G. J. & Hamelin, D. (1993). An investigation of the effectiveness of concept mapping as an instructional tool. *Science Education*, 77(1), 95-111.
- Jonassen, D.H. (2000). Toward a design theory of problem solving. *Educational Technology: Research & Development*, 48 (4), 63-85.
- Nesbit, J. C., & Adesope, O. O. (2006). Learning with concept and knowledge maps: A meta-analysis. *Review of Educational Research*, 76(3), 413-448.
- Mintzes, J. J., Wandersee, J. H., & Novak, J. D. (2000). *Assessing science understanding: A human constructivist view*. San Diego: Academic Press.
- Novak, J. D. (1990). Concept maps and Vee diagrams: Two metacognitive tools for science and mathematics education. *Instructional Science*, 19, 29-52.
- Novak, J. D., & D. B. Gowin. (1984). *Learning How to Learn*. New York and Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Ruiz-Primo, M.A., & Shavelson, R.J. (1996). Problems and issues in the use of concept maps in science assessment. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(6), 569-600.
- Rye, J. A. & Rubba, P. A. (2002). Scoring concept maps: an expert map-based scoring scheme weighted for relationships. *School Science and Mathematics*, 102(1), 33-44.

- Safayeni, F., Derbentseva, N., & Cañas, A.J. (2005). A theoretical note on concepts and the need for cyclic concept maps. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 42, pp. 741-766.
- Stoddart, T, Abrams, R., Gasper, E., & Canaday, D. (2000) Concept maps as assessment in science inquiry learning– a report of methodology. *International Journal of Science Education*, 22(12), 1221-1246.
- Willerman, M., & Mac Harg, R. A. (1991). The concept map as an advance organizer. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(8), 705-712.

8. ΕΠΙΛΥΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΣΤΗ ΧΗΜΕΙΑ

8.1 Εισαγωγή

Η βιβλιογραφία που αφιερώνεται στη μελέτη της επίλυσης προβλημάτων στη Χημεία συμπεριλαμβάνει την έρευνα για τις εκπαιδευτικές στρατηγικές που οδηγούν στη βελτίωση της ικανότητας επίλυσης προβλημάτων των μαθητών. Καλύπτει ευρεία κλίμακα από μελέτες μαθητών γυμνασίου σε προβλήματα στοιχειομετρίας μέχρι μελέτες επίλυσης προβλημάτων από προπτυχιακούς φοιτητές Χημείας.

Από τη βιβλιογραφία, όμως, φαίνεται να υπάρχει έλλειψη συμφωνίας για την σημασία βασικών όρων όπως «πρόβλημα» και «επίλυση προβλήματος». Ο Hayes το 1980 καθόρισε ένα πρόβλημα ως εξής: «ένα πρόβλημα υφίσταται όταν ένα άτομο αντιλαμβάνεται ότι υπάρχει μια απόσταση μεταξύ του σημείου που βρίσκεται και αυτού που θα ήθελε να είναι, και δεν ξέρει πώς να βρει έναν τρόπο να διασχίσετε αυτή την απόσταση». Ο Wheatley το 1984 πρότεινε τον ακόλουθο ολοκληρωμένο ορισμό της επίλυσης προβλήματος: «ότι κάνετε, όταν δεν ξέρετε τι πρέπει να κάνετε». Αυτοί οι ορισμοί υπονοούν μια θεμελιώδη διαφορά μεταξύ δύο σχετικών εννοιών: «στερεότυπες ασκήσεις» και «πρωτότυπα προβλήματα» (Bodner & Herron, 2002).). Συνήθως αντιμετωπίζουμε εργασίες για τις οποίες υπάρχει μια απόσταση μεταξύ του σημείου που είμαστε και αυτού που θα θέλαμε να είμαστε, αλλά αισθανόμαστε βέβαιοι ότι ξέρουμε έναν τρόπο να διασχίσουμε την απόσταση. Όταν αυτό συμβαίνει, βρισκόμαστε αντιμέτωποι με μια άσκηση και όχι με ένα πρόβλημα. Δεν υπάρχει κανένα έμφυτο χαρακτηριστικό μιας εργασίας που την κάνει αναπόφευκτα πρόβλημα. Η κατάσταση προβλήματος είναι μια λεπτή αλληλεπίδραση μεταξύ της εργασίας και της προσπάθειας να βρεθεί μια κατάλληλη απάντηση ή μια λύση (Bodner & McMillen 1986, Bodner 1987). Η ακόλουθη ερώτηση: *Πόσα γραμμάρια οξυγόνου θα απαιτούνται για να καούν 10.0 γραμμάρια μαγνησίου;* είναι ένα πρόβλημα για τους περισσότερους μαθητές όταν αρχίζουν τη μελέτη της Χημείας, αλλά μια στερεότυπη άσκηση για τους εκπαιδευτικούς τους. Στη ικανότητα επίλυσης προβλημάτων των μαθητών συμβάλλει ο συνδυασμός γνώσεων και δεξιοτήτων. Οι γνώσεις οι σχετικές με σύνθετες αλληλουχίες γεγονότων είναι οργανωμένες σε εννοιολογικές δομές γνωστές ως *σχήματα*. Τα σχήματα έχουν σκοπό να περιγράψουν τη δομή καθημερινών δραστηριοτήτων. Παραδείγματος χάριν, οι χημικοί έχουν ένα σχήμα «ισοσταθμίσεως μιας εξίσωσης», δηλαδή ξέρουν πώς να προχωρήσουμε όταν τους ζητείται να ισοσταθμίσουν μια εξίσωση. Οι δεξιότητες περιλαμβάνουν την ικανότητα ανάγνωσης, εκτέλεσης μαθηματικών πράξεων, ελέγχου των αποτελεσμάτων, καθώς επίσης, την ανάλυση

ενός προβλήματος, τον προγραμματισμό μιας πιθανής πορείας για τη λύση, και την κατασκευή αναπαράστασης για μια δεδομένη κατάσταση.

Σύμφωνα με τη γνωστική θεωρία επεξεργασίας πληροφοριών χρησιμοποιούμε τη γνώση μας για να επεξεργαστούμε τις πληροφορίες που λαμβάνουμε από το περιβάλλον, συσχετίζοντας τις με ό,τι ήδη ξέρουμε. Όταν αντιμετωπίζουμε ένα πρόβλημα χρησιμοποιούμε τη γνώση μας για να ερμηνεύσουμε τις πληροφορίες που παρέχει το πρόβλημα με σκοπό να προσδιορίζουμε το στόχο του προβλήματος. Στη μακροπρόθεσμη μνήμη αναζητούμε τα σχήματα που περιέχουν συγκεκριμένες στρατηγικές και γνώσεις σχετικές με το πρόβλημα. Εάν το πρόβλημα είναι γνωστό, κατασκευάζεται ένα σχέδιο για την επίλυση του, πραγματοποιείται, και αξιολογείται. Τα αληθινά προβλήματα μπορούν να απαιτήσουν διάφορους κύκλους ερμηνείας, αναπαράστασης, σχεδιασμού, εκτέλεσης, και αξιολόγησης. Τελειώνοντας με ένα πρόβλημα δεν έχουμε μόνο μια λύση, αλλά έχουμε, επίσης, μια νέα ή αναθεωρημένη βάση γνώσεων.

8.2 Μοντέλα επίλυσης προβλημάτων

Μια προσέγγιση στην κατανόηση του «τι κάνουμε, όταν δεν ξέρουμε τι να κάνουμε» είναι η ανάπτυξη μοντέλων που προσπαθούν να περιγράψουν τα γενικά βήματα που θα μπορούσε να ακολουθήσει ο μαθητής στην προσπάθεια επίλυσης ενός προβλήματος. Θεωρητικά, εάν ήταν διαθέσιμο ένα καλό μοντέλο επίλυσης προβλήματος, θα ήμασταν σε θέση να αναπτύξουμε μια εκπαιδευτική στρατηγική που βασιζόμενη σε αυτό το μοντέλο θα βελτιώνει τις ικανότητες επίλυσης προβλήματος των μαθητών. Εντούτοις, συγκρίνοντας τα διάφορα μοντέλα με αυτά που κάνουν οι άνθρωποι όταν λύνουν προβλήματα, γίνεται σαφές ότι η διδασκαλία επίλυση προβλήματος δεν είναι απλή.

Οποιαδήποτε περιγραφή της επίλυσης προβλήματος είναι πιθανό να υπεραπλουστεύσει αυτήν την σύνθετη και κάπως εκλεκτική διαδικασία. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα για το μοντέλο του Polya, το οποίο προέκυψε από τη μελέτη του σχετικά με τα καλώς δομημένα προβλήματα στα μαθηματικά. Το δημοφιλές μοντέλο του Polya αποτελείται από τέσσερα βήματα: (1) κατανόηση του προβλήματος, (2) επινοήση ενός σχεδίου λύσης, (3) εκτέλεση του σχεδίου, και (4) εξέταση της λύσης με επανεξέταση του προβλήματος. Για την εξέταση της ισχύος του μοντέλου του Polya χρησιμοποιήθηκε το ακόλουθο πρόβλημα:

«Τοποθετείται ποσότητα μιας ένωσης του ξένου και του φθορίου σε ένα δοχείο και ασκεί πίεση 24 torr. Στο δοχείο προστίθεται υδρογόνο εωσότου η πίεση γίνει 96 torr. Με τη δημιουργία ηλεκτρικού σπινθήρα στο μίγματος παρήχθη Xe και HF. Όταν αφαιρείται το HF με αντίδραση του με στερεό KOH, η τελική πίεση του ξένου και του υδρογόνου που δεν

αντιδρά είναι 48 torr. Ποιος είναι ο εμπειρικός τύπος της αρχικής ένωσης του ξένου και του φθορίου;» (Bodner & Herron, 2002)

Μετά από πολλά χρόνια ερευνών διαπιστώθηκε ότι οι περισσότεροι χημικοί φθάνουν στην απάντηση του προβλήματος χρησιμοποιώντας τα δοκιμαστικά βήματα που περιγράφονται από το Dewey και όχι αυτά του Polya. Το μοντέλο επίλυσης προβλήματος του Dewey αποτελείται από πέντε στάδια που περιγράφονται ως εξής: (1) η συνειδητοποίηση της δυσκολίας, (2) η προσπάθεια προσδιορισμού του προβλήματος, (3) ο μετασχηματισμός του προβλήματος - θέτοντας υποθέσεις για την επίλυση του προβλήματος, (4) η διαδοχική δοκιμή των υποθέσεων και η αναδιατύπωση του προβλήματος ανάλογα με τις ανάγκες, και (5) η κατανόηση της επιτυχούς λύσεως καθώς και η εφαρμογή της τόσο στο συγκεκριμένο πρόβλημα όσο και σε άλλα παρόμοια προβλήματα.

Η διαφορά μεταξύ του μοντέλου επίλυσης προβλήματος του Dewey και του Polya μπορεί να αντιστοιχεί στη διαφορά μεταξύ μιας στερεότυπης άσκησης, που προσεγγίζεται περισσότερο με τον τρόπο του Polya, και ενός πρωτότυπου προβλήματος, το οποίο προσεγγίζεται καλύτερα μέσω γενικών μοντέλων παρόμοιων με αυτό που περιγράφεται από το Dewey.

Μια εξέλιξη του μοντέλου του Dewey αποτελεί το ακόλουθο μοντέλο επίλυσης προβλήματος που αναπτύχθηκε από τον Wheatley με τα παρακάτω στάδια:

1. Διαβάζουμε το πρόβλημα.
2. Διαβάζουμε πάλι το πρόβλημα.
3. Καταγράφουμε όλες τις σχετικές πληροφορίες.
4. Φτιάχνουμε ένα σχήμα ή συντάσσουμε έναν πίνακα ή γράφουμε μια εξίσωση ή έναν τύπο για να μας βοηθήσει στην κατανόηση του προβλήματος.
5. Δοκιμάζουμε κάτι.
6. Εξετάζουμε που φτάνουμε.
7. Διαβάζουμε πάλι το πρόβλημα.
8. Δοκιμάζουμε κάτι άλλο.
9. Εξετάζουμε που φτάνουμε τώρα.
10. Ελέγχουμε τα ενδιαμέσα αποτελέσματα για να δούμε εάν υπάρχει κάποια πρόοδος προς την εύρεση μιας απάντησης.
11. Διαβάζουμε πάλι το πρόβλημα.
12. Δίνουμε μια απάντηση (όχι απαραίτητα την απάντηση).
13. Εξετάζουμε εάν η απάντηση που δώσαμε έχει νόημα.
14. Αρχίζουμε πάλι εάν δεν έχει νόημα, ή γιορτάζουμε εάν έχει.

Ένας περιορισμός του μοντέλου του Polya είναι η υπόθεση ότι αρχίζουμε με «την κατανόηση του προβλήματος». Τα μοντέλα που προτείνονται από τον Dewey και τον Wheatley θεωρούν ότι «η κατανόηση του προβλήματος» προκύπτει προς το τέλος της διαδικασίας επίλυσης προβλήματος. Μετά από έρευνα, οι Lee & Fensham (1996) προσδιόρισαν επτά διακριτές διαδικασίες κατά την επίλυση προβλήματος: (1) ανάγνωση και κατανόηση της εκφώνησης του προβλήματος συνολικά, επαναδιατύπωση ή απλοποίηση της εκφώνησης του προβλήματος, χρήση συμβόλων ή διαγραμμάτων για αναπαράσταση του προβλήματος με τρόπο πιο κατανοητό, (2) ερμηνεία τμημάτων της εκφώνησης του προβλήματος με τρόπο που έχει νόημα, (3) καθορισμός στόχων, (4) επιλογή των σημαντικών πληροφοριών από τις ερμηνείες των εκφωνήσεων που έγιναν στις πρώτες τρεις διαδικασίες, (5) ανάκληση κανόνων ή γεγονότων από τη μνήμη, (6) επίτευξη των στόχων με σαφή ή υπονοούμενη σύνδεση των διαδικασιών 4 και 5, και (7) έλεγχο της πορείας επίλυσης ή των απαντήσεων αν έχουν νόημα. Τα αποτελέσματα του Lee και του Fensham είναι πιο σύμφωνα με το μοντέλο επίλυσης προβλήματος του Dewey ή του Wheatley από ότι είναι με το μοντέλο που προτείνεται από τον Polya.

Όλα αυτά τα μοντέλα επίλυσης προβλήματος έχουν αξία, αλλά η επίλυση προβλήματος είναι μια σύνθετη διαδικασία που επηρεάζεται από πολλές μεταβλητές. Κανένα μοντέλο δεν περιλαμβάνει όλες τις αποχρώσεις επίλυσης προβλήματος. Παραδοσιακά, η επίλυση προβλημάτων Χημείας διδάσκεται μέσω των εγχειριδίων ή της διδασκαλίας με την παροχή παραδειγματικών προβλημάτων και των λύσεών τους. Αυτή η διδασκαλία εστιάζει σε μια σειρά βημάτων που χρησιμοποιούνται για να λυθεί πρόβλημα παρά στη γνώση που απαιτείται για να αναγνωριστεί ένα πρόβλημα και στις δεξιότητες (γνωστικές στρατηγικές) που χρησιμοποιούνται για να λυθεί. Έπειτα, ανατίθεται στους μαθητές να λύσουν ανάλογα προβλήματα με τα παραδείγματα με την υπόθεση ότι μια τέτοια πρακτική εξάσκηση θα βελτιώσει την επίδοσή τους. Και η έρευνα και η εμπειρία έχουν δείξει ότι αυτή η μέθοδος διδασκαλίας δεν είναι επαρκής, και ότι πρέπει να καταφύγουμε σε αποτελεσματικότερες μεθόδους.

8.3 Η μάθηση μέσω επίλυσης προβλήματος

Η μάθηση μέσω επίλυσης προβλήματος (problem-based learning PBL) είναι ίσως μια καινοτόμος εκπαιδευτική μέθοδος που έχει ως στόχο να ενισχυθεί η εφαρμογή των γνώσεων, των δεξιοτήτων επίλυσης προβλημάτων, των ανώτερου επιπέδου δεξιοτήτων σκέψης, και της αυτο-κατευθυνόμενης μάθησης των μαθητών. Η υλοποίησή της ξεκίνησε στην ιατρική εκπαίδευση και στη συνέχεια εξαπλώθηκε σταδιακά σε διάφορους κλάδους της τριτοβάθμιας

και ανώτερης δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης. Παραδοσιακές διδακτικές, όπως οι διαλέξεις και η επίδειξη λύσεων σε προβλήματα, πολύ συχνά έχουν ως αποτέλεσμα οι μαθητές να λύνουν «τα προβλήματα του βιβλίου», αλλά αδυνατούν να εφαρμόσουν τις γνώσεις τους για να λύσουν πραγματικά προβλήματα της ζωής. Η μάθηση μέσω επίλυσης προβλήματος είναι μία από τις διδακτικές μεθόδους που έχουν αναπτυχθεί για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος. Έχει μια εντελώς διαφορετική προσέγγιση για τη διευκόλυνση της μάθησης των μαθητών. Αντί να παρουσιάζεται το περιεχόμενο της μάθησης στους μαθητές για να το απομνημονεύσουν και να το κατανοήσουν, μιμείται τη φυσική ανθρώπινη μαθησιακή διαδικασία. Δηλαδή, η εκμάθηση ξεκινά όταν αντιμετωπίζεται ένα πρόβλημα. Στην αναζήτηση λύσεων για το πρόβλημα, το άτομο μαθαίνει τις δεξιότητες, καθώς και τη γνώση τη σχετική με το πρόβλημα και το περιβάλλον (γνώση του πλαισίου), στο οποίο το πρόβλημα αναφέρεται.

Οι Hoffman και Ritchie (1997) θεωρούν τη μάθηση μέσω επίλυσης προβλήματος ως "μία μαθητοκεντρική παιδαγωγική στρατηγική η οποία θέτει σημαντικές, πραγματικές καταστάσεις, παρέχοντας παράλληλα τις πηγές, καθοδήγηση, εκπαίδευση και ευκαιρίες για προβληματισμό στους σπουδαστές, και διευκολύνοντας την ανάπτυξη της γνώσης περιεχόμενου και των δεξιοτήτων επίλυσης ενός προβλήματος.

8.3.1 Χαρακτηριστικά της μάθησης μέσω επίλυσης προβλήματος

Το πιο ξεχωριστό χαρακτηριστικό που κάνει τη μάθηση μέσω επίλυσης προβλήματος διαφορετική από τις άλλες διδακτικές μεθόδους είναι η δομή του περιεχόμενου που επικεντρώνεται στο πρόβλημα. Η μαθησιακή διαδικασία ξεκινά με την επίλυση του προβλήματος, αντί να ξεκινά με το περιεχόμενο. Οι μαθητές δεν λαμβάνουν το μαθησιακό περιεχόμενο από τον εκπαιδευτικό με τη λογική σειρά του "βιβλίου". Αντίθετα, το περιεχόμενο είναι οργανωμένο ως ένα πρόβλημα ή μια σειρά προβλημάτων και η γνώση που απαιτείται για την επίλυση του προβλήματος και οι σχετικές πληροφορίες διαμορφώνονται από το πρόβλημα. Επιπλέον, η μάθηση μέσω επίλυσης προβλήματος χρησιμοποιεί αυθεντικά προβλήματα. Η παραδοσιακή διδασκαλία παρουσιάζει συνήθως το περιεχόμενο των πληροφοριών και αξιολογεί τους μαθητές με προβλήματα χωρίς κάποιο πραγματικό πλαίσιο (ακαδημαϊκό πλαίσιο). Δυστυχώς, η παραδοσιακή μέθοδος αδυνατεί να μάθει τους μαθητές να συνδέουν τις γνώσεις που έμαθαν με την πραγματική πρακτική ζωή. Η αδυναμία αυτή, κατά συνέπεια, συμβάλλει στις δυσκολίες τους με τη μεταφορά γνώσεων που έχουν μάθει σε πραγματικές καταστάσεις της ζωής.

Οι διαδικασίες συλλογισμού είναι άλλο ένα σημαντικό στοιχείο στη μάθηση μέσω επίλυσης προβλήματος καθώς οι μαθητές πρέπει να συμμετέχουν σε διαδικασίες έρευνας, στην οποία οι δεξιότητες κριτικής και δημιουργικής σκέψης αποτελούν το κλειδί για την επίτευξη της λύσης του προβλήματος. Αυτές οι γνωστικές διαδικασίες και ικανότητες οδηγούν σε βαθύτερη κατανόηση και στην καλύτερη εφαρμογή και μεταφορά της γνώσης στο μέλλον.

Ένας από τους απώτερους στόχους της μάθησης μέσω επίλυσης προβλήματος είναι να βοηθήσει το μαθητή να αυτο-κατευθύνει την μάθησή του, να αναπτύξει τις δικές του μαθησιακές του δεξιότητες και τις στρατηγικές για να εκπληρώσει επιτυχώς τις εργασίες μάθησης. Αυτές οι αυτο-κατευθυνόμενες δεξιότητες μάθησης έχουν ιδιαίτερη σημασία διότι είναι η ουσία της ικανότητας ανεξάρτητης επίλυσης προβλημάτων και της διά βίου μάθησης.

Η επίλυση προβλημάτων, όπως αναφέρει ο Keller (1987), είναι μια διδακτική προσέγγιση έμφυτα προκλητική και παρακινητική. Η επιθυμία για υπερνίκηση των εμποδίων και για επίλυση των προβλημάτων είναι στην ανθρώπινη φύση. Αυτή το έμφυτο παρακινητικό χαρακτηριστικό βοηθά τους μαθητές να μαθαίνουν και να συντηρεί το ενδιαφέρον τους σε όλη τη διάρκεια της μάθησης. Η δημιουργία ενός αισθήματος «με αφορά» είναι ένας άλλος κινητήριος παράγοντας της μάθησης με γνώμονα το πρόβλημα. Για την επιτυχή επίλυση ενός προβλήματος, ο μαθητής πρέπει να δει το πρόβλημα ως δικό του / της και να αναλάβει την ευθύνη για την υπέρβαση του εμποδίου.

Πενήντα χρόνια μετά από την πρώτη εφαρμογή, η αποτελεσματικότητά της ως διδακτικής μεθόδου είναι ένα θέμα ανοιχτό προς συζήτηση. Η αποτελεσματικότητα μιας διδακτικής μεθόδου είναι αποτέλεσμα πολύπλοκων αιτιωδών σχέσεων πολλών γνωστών και άγνωστων μεταβλητών που συμμετέχουν στην εκπαίδευση και στη διαδικασία μάθησης. Ο εντοπισμός αυτών των μεταβλητών θα μπορούσε να διευκρινίσει το πώς μια διδακτική μέθοδος λειτουργεί; Πόσο αποτελεσματική είναι; Μια πιθανή μεταβλητή που θα μπορούσε να επηρεάσει την αποτελεσματικότητα της μάθησης μέσω επίλυσης προβλήματος είναι ο σχεδιασμός του προβλήματος.

Ορισμένοι κριτικοί της μάθησης μέσω επίλυσης προβλήματος υποστηρίζουν ότι τα προβλήματα απαιτούν από τους σπουδαστές να εξετάσουν μόνον περιορισμένο περιεχόμενο, ώστε να αναπτύξουν μια βαθύτερη κατανόηση για το θέμα. Η πρακτική αυτή είναι πιθανόν να οδηγήσει σε περιορισμό της έκθεσης των μαθητών στο ευρύτερο περιεχόμενο ενός μαθήματος ή της διδακτέας ύλης, που δεν συνδέεται άμεσα με τις αιτίες ή τις λύσεις του προβλήματος που αφορά η μελέτη (Hung, Bailey, & Jonassen, 2003). Από την άλλη πλευρά, η αντίθετη κατάσταση είναι επίσης μια πιθανή αιτία για λιγότερο από επιθυμητό επίπεδο επιδόσεων των σπουδαστών στην απόκτηση των βασικών γνώσεων. Σε ένα ακατάλληλα

σχεδιασμένο πρόβλημα μπορεί να απαιτηθεί από τους σπουδαστές να διερευνήσουν και να μελετήσουν ένα υπερβάλλον ποσό πληροφοριών που δεν είναι μέρος του διδακτέου περιεχομένου, αλλά είναι απαραίτητο για την επίλυση του προβλήματος. Ένας άλλος τύπος αναποτελεσματικού προβλήματος είναι όταν το πρόβλημα δεν οδηγεί με σαφήνεια τους μαθητές να ερευνήσουν και να μελετήσουν το προβλεπόμενο περιεχόμενο γνώσης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Bodner, G.M. & McMillen, T.L.B. (1986). Cognitive restructuring as an early Stage in problem-solving. *Journal of Research in Science Teaching*, 23, 727-737
- Bodner, G.M. (1987). The role of algorithms in teaching problem-solving. *Journal of Chemical Education*, 64, 513-514
- Bodner, G.M. & Herron, J.D. (2002). Problem-Solving in Chemistry in *Chemical Education: Towards Research-based Practice*. J.K. Gilbert et al. (eds.). *Kluwer Academic Publishers, Netherlands*.
- Hoffman, B. and Ritchie, D. (1997) Using multimedia to overcome the problems with problem based learning, *Instructional Science*, 25 (2), 97–115.
- Hung, W., Bailey, J.H., and Jonassen, D.H., (2003). Exploring the tensions of problem-based learning: Insights from research. *New Directions for Teaching and Learning*, 95, 13–23.
- Keller, J. M. (1987). The systematic process of motivational design. *Performance & Instruction*, November/December, 1–8.
- Lee, K.L., & Fensham, P. (1996). General strategy for solving high school electrochemistry problems. *International Journal of Science Education*, 18, 543-555.

9. ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑ ΜΕΣΩ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΕΝΝΟΙΩΝ

9.1 Χημικές έννοιες και χαρακτηριστικά γνωρίσματα

Οι ψυχολόγοι περιγράφουν τις έννοιες ως ένα σύνολο αναγκαίων και επαρκών καθοριστικών γνωρισμάτων (ιδιοτήτων) που ορίζουν σαφώς ποιες περιπτώσεις ανήκουν σε μια δεδομένη εννοιολογική κατηγορία και ποιες όχι. Τα χαρακτηριστικά διακρίνονται σε κύρια που αφορούν όλα τα μέλη μιας εννοιολογικής κατηγορίας και σε μεταβλητά που αντιστοιχούν σε μερικά από τα μέλη. Πολλές από τις έννοιες είναι οργανωμένες στη μνήμη μακράς διάρκειας σε ιεραρχικές δομές, όπου κάποιες έννοιες είναι υπερκείμενες και κάποιες άλλες υποκείμενες. Για την έννοια πτηνό η έννοια ζώο είναι υπερκείμενη, ενώ η έννοια καναρίνι υποκείμενη. Κάθε έννοια έχει έναν αριθμό καθοριστικών γνωρισμάτων που κληροδοτούνται από τις υπερκείμενές της έννοιες.

Οι έννοιες που χρησιμοποιούμε στη διδασκαλία της Χημείας διαφέρουν ως προς τη δυσκολία που παρουσιάζει η μάθηση τους. Η δυσκολία αυτή φαίνεται να σχετίζεται με τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα των εννοιών (Πίνακας 9.1). Οι έννοιες που παρουσιάζουν τις λιγότερες μαθησιακές δυσκολίες είναι οι συγκεκριμένες, οι οποίες περιλαμβάνουν πολυάριθμες άμεσα αντιληπτές (μέσω των αισθήσεων) περιπτώσεις με άμεσα αντιληπτά χαρακτηριστικά. Αντίθετα, οι έννοιες με τις μεγαλύτερες μαθησιακές δυσκολίες είναι οι έμμεσα αντιληπτές.

Πίνακας 9.1 Κατηγορίες και χαρακτηριστικά γνωρίσματα των χημικών εννοιών (Herron D., 1996)

Κατηγορία εννοιών	Χαρακτηριστικά γνωρίσματα	Παραδείγματα εννοιών
Συγκεκριμένες	Άμεσα αντιληπτές οντότητες Άμεσα αντιληπτά γνωρίσματα	Ποτήρι ζέσεως Σιφόνιο Στερεό Υγρό Άτομο
Έμμεσα αντιληπτές	Έμμεσα αντιληπτές οντότητες Έμμεσα αντιληπτά γνωρίσματα	Μόριο Ιόν Χημικά στοιχεία Χημικές ενώσεις
Ιδιότητες	Όνομα ιδιοτήτων	Μάζα Φορτίο Αριθμός οξείδωσης
Συμβολικές	Συμβολικές μορφές που προκύπτουν από σαφείς κανόνες	Χημικό σύμβολο Χημικός τύπος Χημική εξίσωση
Διαδικασίες	Διαδικασίες	Τήξη Οξείδωση Ηλεκτρόλυση

9.2 Ανάλυση εννοιών

Ερευνητές της Διδακτικής της Χημείας έχουν προτείνει μια διδακτική προσέγγιση (την ανάλυση των εννοιών) με βάση τον ορισμό των εννοιών που δίνουν οι ψυχολόγοι. Η ανάλυση των εννοιών περιλαμβάνει: (α) τον ορισμό της έννοιας με τη βοήθεια άλλων γνωστών εννοιών, (β) τον προσδιορισμό των κύριων χαρακτηριστικών της, (γ) τον προσδιορισμό των μεταβλητών χαρακτηριστικών της, (δ) την τοποθέτησή της μέσα σε σαφές ιεραρχικό σχήμα, το οποίο περιέχει τις υπερκείμενες, τις παράλληλες και τις υποκείμενες έννοιες, και (ε) την παράθεση χαρακτηριστικών περιπτώσεων ή παραδειγμάτων της έννοιας σε αντιδιαστολή με περιπτώσεις που δεν αποτελούν παραδείγματα αυτής (αντιπαραδείγματα)

9.3 Ανάλυση της έννοιας άτομο

Η διδακτική αυτή προσέγγιση προτείνεται από τον Herron (1996). Ο διδάσκων αρχικά παρουσιάζει τον ορισμό της έννοιας, προσδιορίζει στους μαθητές τα κύρια και τα μεταβλητά χαρακτηριστικά της και τέλος παρουσιάζει πλήθος αναπαραστάσεων σε μικροσκοπικό επίπεδο και ζητάει από τους μαθητές να προτείνουν ποιες από αυτές αποτελούν παραδείγματα και ποιες όχι των ατόμων. Οι αναπαραστάσεις χρησιμοποιήσουμε εδώ (Σχήματα 9.1 έως 9.4) είναι δική μας επιλογή με βάση την πρόταση του Herron.

ΟΡΙΣΜΟΣ: Ένα άτομο είναι η μικρότερη μονάδα ενός στοιχείου, η οποία διατηρεί τις μικροσκοπικές ιδιότητες του στοιχείου και μπορεί να υπάρχει είτε μόνο του είτε ενωμένο με άλλα άτομα.

ΚΥΡΙΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

K1. Είναι η μικρότερη μονάδα ενός στοιχείου.

K2. Διατηρεί τις μικροσκοπικές ιδιότητες του στοιχείου

ΜΕΤΑΒΛΗΤΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

M1. Μπορεί να υπάρχει μόνο του ή ενωμένο με άλλα άτομα

M2. Μπορεί να είναι ενωμένο με όμοια άτομα ή με διαφορετικά άτομα

M3. Μπορεί να αντιπροσωπεύει οποιοδήποτε είδος στοιχείου

M4. Μπορεί να υπάρχει σε ουσίες σε οποιαδήποτε φυσική κατάσταση βρίσκονται αυτές

ΥΠΕΡΚΕΙΜΕΝΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ: Σωματίδια

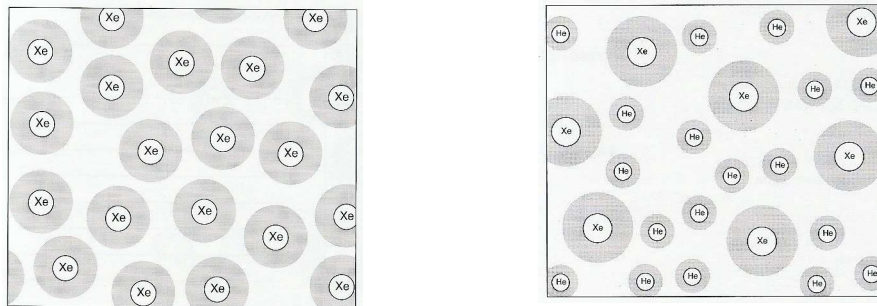
ΠΑΡΑΛΛΗΛΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ: Μόριο, ιόν, πρωτόνιο, ηλεκτρόνιο, νετρόνιο

ΥΠΟΚΕΙΜΕΝΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ: Άτομο νατρίου, άτομο υδρογόνου, ισότοπο.

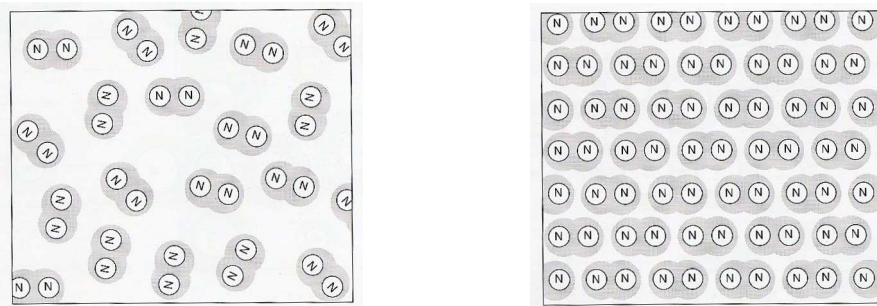
Ένα δύσκολο σημείο σε αυτή την ανάλυση είναι να ξεκαθαρίσουν οι μαθητές ποιες είναι οι μικροσκοπικές ιδιότητες. Η πυκνότητα, η ηλεκτρική αγωγιμότητα, το σημείο τήξης είναι

μακροσκοπικές ιδιότητες, ενώ ως παράδειγμα μικροσκοπικής ιδιότητας μπορούμε να αναφέρουμε τη χαρακτηριστική απορρόφηση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

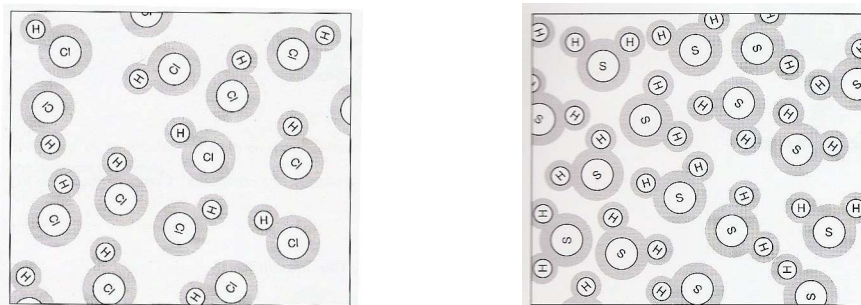
Η ανάλυση εννοιών εκτός από διδακτική προσέγγιση είναι χρήσιμη στο διδάσκοντα για την προετοιμασία της διδασκαλίας, όποια στρατηγική και αν ακολουθήσει.



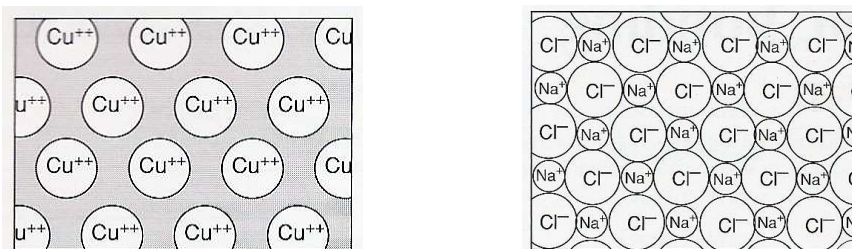
Σχήμα 9.1 Άτομα μονοατομικών στοιχείων



Σχήμα 9.2 Άτομα του ίδιου στοιχείου ενωμένα προς σχηματισμό διατομικού στοιχείου



Σχήμα 9.3 Άτομα διαφορετικών στοιχείων ενωμένα προς σχηματισμό μορίων ενώσεων



Σχήμα 9.4 Ιόντα σε μεταλλικό και ιοντικό κρύσταλλο

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Herron, J. D., *The Chemistry Classroom*, American Chemistry Society, Washington, DC 1996

10. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΟΣΗΣ ΤΩΝ ΜΑΘΗΤΩΝ

10.1 Ορισμός της αξιολόγησης των μαθητών

Η αξιολόγηση των μαθητών μπορεί να ορισθεί ως η συστηματική συλλογή πληροφοριών σχετικών με τη μάθηση των μαθητών και άλλων μεταβλητών που σχετίζονται με συγκεκριμένες μαθησιακές εμπειρίες. Εμπεριέχει περιγραφή της συμπεριφοράς σε δύο χρονικές στιγμές τουλάχιστον, δηλαδή, πριν από την εμπειρία της μάθησης και μετά την αποπεράτωση της μαθησιακής εργασίας. Επιπρόσθετα, αξιολόγηση μπορεί να θεωρηθεί αυτή που πραγματοποιείται κατά τη διαδικασία της μάθησης και σε διάφορες περιόδους μετά την ολοκλήρωση της εργασίας (για να μετρήσουμε τη συγκράτηση – διατήρηση). Η αξιολόγηση των μαθητών παραδοσιακά στηρίζεται σε μετρήσεις, εργαλεία μέτρησης και μεθοδολογίες που αναπτύσσονται από ειδικούς και βασίζεται σε θεωρίες μέτρησης οι οποίες αποφέρουν ποσοτικά δεδομένα, ώστε να κατατάξουν τα άτομα μέσα σε μια τάξη, σε ένα σχολείο ή σε ένα σύνολο συγκεκριμένης ηλικίας. Επιπλέον άλλες δυνατότητες της αξιολόγησης, όπως η ανατροφοδότηση των μαθητών και των δασκάλων, που αναφέρονται στη βιβλιογραφία, έχουν υποβαθμισθεί στην πράξη.

10.2 Βασικές αρχές της αξιολόγησης επίδοσης

Με τον όρο επίδοση θεωρούμε το επίπεδο απόδοσης του μαθητή στην προσπάθειά του να αποκριθεί στις απαιτήσεις που έχει το σχολείο από αυτόν, δηλαδή είναι ένα μέτρο της προόδου που έχει κάνει ο μαθητής προς την κατεύθυνση των στόχων μάθησης. Σε κάθε περίπτωση αξιολόγησης της επίδοσης των μαθητών ισχύουν κάποιοι βασικοί κανόνες που είναι αποδεκτοί από ένα μεγάλο αριθμό ειδικών και που αναφέρονται ως *αρχές αξιολόγησης*. Κάποιες από τις αρχές αυτές είναι:

1. Σε κάθε διαδικασία αξιολόγησης χρειάζεται να έχουν προκαθοριστεί το *αντικείμενο* και ο *σκοπός* της αξιολόγησης.
2. Για κάθε σκοπό αξιολόγησης που έχει τεθεί, πρέπει να επιλέγονται η *τεχνική* της εκτίμησης της επίδοσης, η *μέθοδος* και το *μέσον* που θα χρησιμοποιηθούν.
3. Καθώς καμία μέθοδος δεν είναι κατάλληλη για κάθε περίπτωση, ένας *συνδυασμός* μέσων μεθόδων και τεχνικών κρίνεται ως αποτελεσματικότερος.
4. Δεν υπάρχουν καλές ή κακές μέθοδοι αξιολόγησης, αλλά κατάλληλες ή ακατάλληλες για κάθε *συγκεκριμένη περίπτωση*.
5. Ο διδάσκων – αξιολογητής πρέπει να είναι *καλά ενημερωμένος* σχετικά με τις τεχνικές και μεθόδους αξιολόγησης.

6. Η αξιολόγηση επίδοσης δεν είναι *αυτοσκοπός* της διδασκαλίας αλλά το μέσο για να επιτευχθούν συγκεκριμένοι σκοποί.
7. Η αξιολόγηση επίδοσης είναι μια δυναμική διαδικασία και ως τέτοια πρέπει να αποτελεί αναπόσπαστο μέρος *κάθε προσπάθειας μάθησης* στην επιτυχία της οποίας συντελεί.
8. Θα πρέπει να δίνεται μεγαλύτερο βάρος στη *διαγνωστική* αξία της αξιολόγησης.
9. Ένα τεστ πρέπει να εξετάζει *σημαντική* και όχι επουσιώδη ύλη για μάθηση και διατήρηση.
10. Η προσέγγιση της αξιολόγησης που θα επιλεγεί πρέπει να χρησιμοποιεί μέσα και διαδικασίες που πληρούν τις στοιχειώδεις τουλάχιστον τεχνικές *προδιαγραφές* κατασκευής και χρήσης τους.

10.3 Μεθοδολογία αξιολόγησης επίδοσης

Με τον όρο μεθοδολογία αξιολόγησης της επίδοσης περιλαμβάνονται βασικά: (α) τα *μέσα* και τα υλικά αξιολόγησης από τα οποία περισσότερο χρησιμοποιούνται τα τεστ επίδοσης, (β) τα *είδη ερωτήσεων* που χρησιμοποιούνται και (γ) τον *τρόπο* που υποβάλλονται οι ερωτήσεις.

10.3.1 Ερωτήσεις που περιλαμβάνονται στα τεστ επίδοσης

Κάθε τεστ αποτελείται από ένα σύνολο ερωτήσεων. Για να επιτελούν τους επιμέρους στόχους της αξιολόγησης, οι ερωτήσεις πρέπει να είναι κατάλληλες, δηλαδή, να είναι έγκυρες, αντικειμενικές και αντιπροσωπευτικές. Η αξία της κάθε ερώτησης είναι συνάρτηση του στόχου που επιδιώκει. Ο στόχος αυτός ορίζει σε μεγάλο μέρος, το είδος και τον τύπο της ερώτησης.

Με κριτήριο την έκταση του λόγου που απαιτεί η απάντηση των ερωτήσεων ή το βαθμό ελευθερίας που έχουν οι εξεταζόμενοι για να εκφράσουν τις γνώσεις, τις σκέψεις και τα συναισθήματά τους στις σχετικές απαντήσεις τους, οι ερωτήσεις διακρίνονται σε δύο είδη και διάφορους τύπους. Οι ερωτήσεις στις οποίες η απάντηση δίνεται σε λόγο συνεχή, ρέοντα και εκτενή λέγονται *ανοικτές* ή *υποκειμενικές*, ενώ οι ερωτήσεις στις οποίες η απάντηση είναι αναγκαστικά σύντομη, μονολεκτική ή με ελάχιστες λέξεις λέγονται *κλειστές* ή *αντικειμενικές*.

Με τις ανοικτές ερωτήσεις ο εξεταζόμενος καλείται να επιλέξει, να οργανώσει και να παρουσιάσει, όπως εκείνος νομίζει καλύτερα, το υλικό της απάντησής του. Οι ανοικτές ερωτήσεις μπορούν να διακριθούν σε αυτές της *περιορισμένης* και της *μη περιορισμένης έκτασης απάντησης*. Και οι δύο παραπάνω τύποι ανοικτών ερωτήσεων επιτρέπουν στον εξεταζόμενο να αποκαλύπτει τις γνώμες, τις απόψεις, τα σημεία αναφοράς του και την πορεία της σκέψης του. Προσφέρονται για την αξιολόγηση κάθε είδους δεξιοτήτων και ιδιαίτερα για

τη διαπίστωση των δεξιοτήτων οργάνωσης της σκέψης και έκφρασης, της σύνδεσης ιδεών και γνώσεων σε ένα ενιαίο σύνολο, της εφαρμογής γνώσεων, της ερμηνείας και της ανάλυσης φαινομένων, της επινόησης νέων και πρωτότυπων ιδεών και της δημιουργικής κρίσης και παραγωγής. Η χρησιμοποίησή τους ενδείκνυται σε περιπτώσεις που ο αριθμός των εξεταζομένων είναι μικρός και όταν η εξέταση αποσκοπεί στην αξιολόγηση των δεξιοτήτων γραφής, εκφραστικής ικανότητας και της γνώσης των διαδικασιών και μεθόδων εκτέλεσης ενός έργου. Το πιο σημαντικό μειονέκτημα των ανοικτών ερωτήσεων θεωρείται η υποκειμενικότητα του διορθωτή κατά την αξιολόγηση των απαντήσεων. Επειδή δεν υπάρχουν συγκεκριμένα κριτήρια αποδοχής ορθών απαντήσεων, υπάρχει κίνδυνος σύγχυσης στην κρίση και αυθαιρεσίας του αξιολογητή. Η αδυναμία αυτή στην αντικειμενικότητα της διόρθωσης καθώς και η χρονοβόρα διαδικασία απάντησης των ανοικτών ερωτήσεων έστρεψε τους κατασκευαστές των τεστ προς τις κλειστές ή αντικειμενικές ερωτήσεις.

Όταν αναφερόμαστε σε κλειστές ερωτήσεις εννοούμε ερωτήσεις στις οποίες οι απαντήσεις έχουν προκαθοριστεί, είναι συγκεκριμένες ή πολύ σύντομες, πράγμα που έχει ως συνέπεια τον περιορισμό της υποκειμενικής κρίσης του εξεταστή- διορθωτή στο ελάχιστο. Η αξιολόγηση έτσι δεν εξαρτάται, ιδιαίτερα για το γνωστικό τομέα, από την "κρίση" του διορθωτή. Οι ερωτήσεις αυτού του είδους διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: σε αυτές που ο εξεταζόμενος δίνει την απάντηση και σε εκείνες που ο εξεταζόμενος επιλέγει την απάντηση. Καθεμιά από τις προαναφερόμενες κατηγορίες διακρίνεται σε τύπους. Έτσι οι ερωτήσεις στις οποίες ο εξεταζόμενος δίνει την απάντηση είναι δύο τύπων: (α) οι *ερωτήσεις σύντομης απάντησης* και (β) *ερωτήσεις συμπλήρωσης*. Οι ερωτήσεις στις οποίες ο εξεταζόμενος επιλέγει την απάντηση είναι τριών διαφορετικών τύπων: (α) *διαζευκτικές ερωτήσεις ή εναλλακτικής απάντησης* (σωστού – λάθους), (β) *ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής* και (γ) *ερωτήσεις σύζευξης ή αντιστοίχισης ή συσχέτισης*. Οι ερωτήσεις κλειστού τύπου και ιδιαίτερα αυτές της πολλαπλής επιλογής θεωρούνται κατάλληλες για την αξιολόγηση όλων σχεδόν των γνωστικών δεξιοτήτων, αλλά λιγότερο πρόσφορες για την εκτίμηση της δεξιότητας επίλυσης προβλημάτων.

Διαζευκτικές Ερωτήσεις ή Ερωτήσεις Εναλλακτικής Απάντησης: Ο συνήθης τύπος τους είναι μια καταφατική πρόταση που περιέχει μια κατάσταση δύο εναλλακτικών κατευθύνσεων και ο εξεταζόμενος καλείται να αποφανθεί αν το προτεινόμενο είναι Α ή Β (σωστό ή λάθος). Συνήθως δίνεται κατάλογος 5-6 προτάσεων σε ορισμένο πεδίο ύλης που συνιστούν ένα εξεταζόμενο ζήτημα. Προκειμένου να αποφευχθεί η επίδραση του παράγοντα τύχη, που σ' αυτές τις ερωτήσεις είναι 50%, μπορούμε να απαιτήσουμε επιπρόσθετες διευκρινήσεις, όπως:

α) να ζητείται στις εσφαλμένες προτάσεις να υπογραμμισθούν οι λέξεις που κάνουν την πρόταση λανθασμένη,

β) να ζητείται να διορθωθεί η λανθασμένη πρόταση στο ορθό,

γ) να ζητείται αιτιολόγηση.

Οι ερωτήσεις διαζευκτικής απάντησης είναι κατάλληλες για την αξιολόγηση γνωστικών δεξιοτήτων όλων των επιπέδων εκτός από της σύνθεσης. Βέβαια, γίνεται όλο και πιο δύσκολη η κατασκευή τέτοιων ερωτήσεων καθώς ανεβαίνουμε επίπεδα ιεράρχησης.

Παραδείγματα: 1. Σημειώστε Φ μπροστά από τα φυσικά και Χ μπροστά από τα χημικά φαινόμενα του καταλόγου που ακολουθεί και δικαιολογήστε το χαρακτηρισμό σας.

.....*Ανάμιξη σκόνης θείου με ρινίσματα σιδήρου.*

.....*Στέγνωμα υγρών ρούχων στην απλώστρα*

.....*Διάσπαση του νερού σε ηλεκτρολυτική συσκευή*

.....*Πύρωση σκόνης σιδήρου αναμιγμένης με σκόνη θείου στη φλόγα του λύχνου*

.....*Διαχωρισμός μίγματος κιμωλίας – νερού στα συστατικά του με διήθηση*

.....*Καύση σπύριου*

2. Σημειώστε (Σ) για τις σωστές και (Λ) για τις λανθασμένες προτάσεις που ακολουθούν :

.....***Όλα** τα μίγματα σκόνης σιδήρου – θείου έχουν την ίδια ποσοτική σύσταση.*

.....*Ο ατμοσφαιρικός αέρας αποτελείται από το ίδιο είδος μορίων.*

.....*Ο θειούχος σίδηρος **δεν** έχει κίτρινο χρώμα.*

.....*Όταν καίγεται ένα κομμάτι χαρτί απορροφάται θερμότητα από το περιβάλλον.*

.....*Οι καθαρές ουσίες που παράγονται κατά τις χημικές αντιδράσεις λέγονται αντιδρώντα.*

Οι ερωτήσεις αυτές πλεονεκτούν για πολλούς λόγους. Εξασφαλίζουν ταχύ έλεγχο μεγάλου φάσματος εξεταστέας ύλης, διορθώνονται εύκολα, μπορούμε να τις «ανοίξουμε» κατά βούληση μεγεθύνοντας την αξιοπιστία και εγκυρότητα του εξεταστικού μέσου.

Ερωτήσεις Πολλαπλής Επιλογής: Μια ερώτηση πολλαπλής επιλογής συνήθως αποτελείται από ένα πρόβλημα που συνήθως διατυπώνεται σε μορφή ερώτησης ή συνηθέστερα ημιτελούς δήλωσης και μερικές εναλλακτικές απαντήσεις (συνήθως 4-5) στο πρόβλημα αυτό. Το πρόβλημα αυτό αποτελεί το *στέλεχος* (steam) της ερώτησης και οι προτεινόμενες απαντήσεις λέγονται συνήθως *εναλλακτικές απαντήσεις* μία από τις οποίες είναι η ορθή και οι υπόλοιπες λανθασμένες (*περισπαστικές απαντήσεις*).

Απαντήσεις που για να δοθούν πρέπει να γίνουν πολλοί υπολογισμοί, δηλαδή, να επιλυθεί μια άσκηση ή ένα πρόβλημα με νοητική απαίτηση πάνω από δύο βήματα, δεν είναι κατάλληλες για ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής. Πρέπει να αντιμετωπίζονται ως ερωτήματα ανάπτυξης έτσι, ώστε να εκτιμάται η πορεία της σκέψης και η επιλεγείσα μέθοδος λύσης. Επιτρεπτές εναλλακτικές απαντήσεις είναι αριθμητικά δεδομένα που για να εξαχθούν απαιτείται

κατανόηση έννοιας και απλός μαθηματικός υπολογισμός της μιας ή δύο αριθμητικών πράξεων.

Παραδείγματα

1. Γραμμομοριακός όγκος (V_m) μιας ουσίας ονομάζεται:
 - α. ο όγκος 22,4L
 - β. ο όγκος τον οποίο καταλαμβάνει 1mol μορίων της ουσίας
 - γ. ο όγκος N_A mol
 - δ. ο όγκος 22,4L αερίου στοιχείου ή χημικής ένωσης
 - ε. ο όγκος 22,4L σε STP
2. Από τις χημικές ενώσεις: $BaCl_2$, SO_3 , NH_4Cl , H_2S , CaO και NH_3 αντιδρούν με το $NaOH$ μόνο οι:
 - α. $BaCl_2$, NH_4Cl και NH_3
 - β. H_2S , CaO και NH_3
 - γ. SO_3 , CaO και H_2S
 - δ. SO_3 , H_2S και NH_3
 - ε. SO_3 , NH_4Cl και H_2S .

Με ερωτήσεις αυτού του τύπου σαρώνεται σε μικρό χρονικό διάστημα, μεγάλο φάσμα της εξεταζόμενης ύλης και ελέγχονται τόσο γνώσεις όσο και άλλα μαθησιακά επίπεδα της ταξινομίας του Bloom, όπως κατανόηση, επέκταση, εφαρμογή κτλ. Επίσης, μπορούν να δοθούν πολλές παραλλαγές της ερώτησης αλλάζοντας τη σειρά των απαντήσεων για μαθητές που κάθονται σε γειτονικές θέσεις.

Ερωτήσεις Σύζευξης ή Αντιστοίχισης ή Συσχέτισης: Μια ερώτηση σύζευξης αποβλέπει στην εύρεση σχέσεων μεταξύ ομάδων δεδομένων. Συγκεκριμένα, δίνονται δύο στήλες δεδομένων και ζητείται από το μαθητή να συσχετίσει σωστά (να αντιστοιχήσει) τα δεδομένα της μιας στήλης στα δεδομένα της άλλης. Ο αριθμός των στοιχείων κάθε στήλης ποικίλει. Η συνήθης και πιο λογική, για μια ερώτηση μέσης δυσκολίας, σχέση αριθμού των δεδομένων των δύο στηλών είναι 4:7 ή 5:8. Αν η σχέση αυτή αλλάξει, τότε οι ερωτήσεις γίνονται ή πιο εύκολες ή πιο δύσκολες. Σε καμιά περίπτωση πάντως δεν πρέπει να είναι ίσα. Η αντιστοίχιση μπορεί να είναι αμφιμονοσήμαντη (ένα προς ένα στοιχείο) ή σε ένα στοιχείο της μιας στήλης να αντιστοιχούν δύο ή περισσότερα από την άλλη. Είναι, επίσης, δυνατόν οι ερωτήσεις να είναι και τρισδιάστατες, δηλαδή να υπάρχουν τρεις στήλες με δεδομένα που πρέπει να προσαρμοστούν. Μπορούμε να έχουμε τα προς συσχέτιση στοιχεία σε παράλληλες στήλες ή σειρές. Ο εξεταζόμενος συσχετίζει τα στοιχεία των δύο ή τριών στηλών γράφοντας διατεταγμένα ζεύγη των απαριθμημένων με διαφορετική αρίθμηση στοιχείων των δύο ή τριών ομάδων.

Όλα τα στοιχεία των ομάδων πρέπει απαραίτητα να είναι στην ίδια σελίδα για τεχνικούς λόγους. Ο αριθμός των συσχετιζόμενων στοιχείων κυμαίνεται ανάλογα με την ηλικία των εξεταζομένων και το βαθμό δυσκολίας που θέλουμε να έχει η ερώτηση. Καλό θα είναι να μην υπερβαίνουν τα 10-12 σε κάθε ομάδα. Απαραίτητη είναι η γραμματική και συντακτική ομοιογένεια των στοιχείων κάθε ομάδας.

Παράδειγμα: Αντιστοιχήστε την κάθε χημική ουσία της στήλης (I) με μία από τις τιμές θερμοχωρητικότητας της στήλης (II).

(I)	(II)
A. 2g H ₂ O _(l)	α. 1 cal·K ⁻¹
B. 1g πάγου	β. 2,5 cal·K ⁻¹
Γ. 3g σιδήρου	γ. 0,5 cal·K ⁻¹
Δ. 1g σιδήρου	δ. 0,11 cal·K ⁻¹
E. 1g H ₂ O _(l)	ε. 0,33 cal·K ⁻¹
Z. 5g πάγου	ζ. 2 cal·K ⁻¹
	η. 7 cal·K ⁻¹

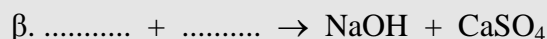
Οι ερωτήσεις σύζευξης δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν με την ίδια ευελιξία με εκείνη των άλλων τύπων κλειστών ερωτήσεων, επειδή δεν προσφέρονται όλα τα αντικείμενα για την κατασκευή τέτοιων ερωτήσεων.

Ερωτήσεις Συμπλήρωσης: Οι ερωτήσεις αυτές είναι προτάσεις στις οποίες υπάρχει ένα κενό που πρέπει να συμπληρωθεί. Το κενό αυτό συνήθως αντιπροσωπεύει μια λέξη, έναν όρο, έναν αριθμό ή σπανιότερα μια πολύ σύντομη φράση. Συχνά δίνονται οι ελλείποντες όροι σε κατάλογο και ο εξεταζόμενος επιλέγει ποιον θα τοποθετήσει στην κατάλληλη θέση του κειμένου. Σε μια άλλη παραλλαγή είναι εμφανής ο αριθμός των ελλειπόντων γραμμάτων κάθε κενού. Αν θέλουμε, βεβαίως, υψηλότερο βαθμό δυσκολίας δεν παρατίθενται οι απαντήσεις προς επιλογή, ούτε καθορίζουμε τον αριθμό των γραμμάτων.

Παραδείγματα: 1. Συμπληρώστε κατάλληλα τον ακόλουθο πίνακα :

Όνομα στοιχείου	Αριθμός ηλεκτρονίων	Μαζικός αριθμός	Ατομικός αριθμός	Αριθμός νετρονίων	Χημικό Σύμβολο
άργυρος	47			61	
		32	16		S
νάτριο	11			12	
	80	200			Hg
σίδηρος		56	26		

2. Συμπληρώστε τα κενά και τους συντελεστές στις παρακάτω χημικές εξισώσεις:





Οι ερωτήσεις συμπλήρωσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση επίτευξης γνωστικών δεξιοτήτων όλων των επιπέδων.

Ερωτήσεις Σύντομης Απάντησης: Οι ερωτήσεις αυτές έχουν κοινά σημεία τόσο με τις ερωτήσεις ανοικτού τύπου, όσο και με τις ερωτήσεις συμπλήρωσης. Η απάντηση την οποία στοχεύει να αποσπάσει η ερώτηση δεν είναι ούτε εκτεταμένη ούτε μονολεκτική. Είναι μία πρόταση, μία παράγραφος, μια σύντομη διαδικασία, μια λύση αλλά με *απόλυτα ελεγχόμενο περιεχόμενο*. Η διαφοροποίησή τους από τις ερωτήσεις ανοικτού τύπου βρίσκεται: (α) στο μήκος της απάντησης και (β) στη δυνατότητα αντικειμενικής εκτίμησης της απάντησης αφού είναι πολύ ειδική.

Κατασκευαστικά, οι ερωτήσεις σύντομης απάντησης πρέπει να είναι πλήρεις νοήματος, να είναι απόλυτα ειδικές και απόλυτα συγκεκριμένες και η απάντηση που ζητείται να μην είναι εκτεταμένη, αλλά ούτε και μονολεκτική.

Παραδείγματα: 1. Αν τα 5 mol μιας ένωσης Α έχουν μάζα 200 g και όγκο 250 mL, τότε:

i) Τα 2 mol της ένωσης Α έχουν g και όγκο mL

ii) Η πυκνότητα της ένωσης Α είναι :

2. *Απαντήστε στις ερωτήσεις που ακολουθούν:*

α) Τι εννοούμε όταν λέμε ότι το οξυγόνο έχει ατομικό αριθμό οκτώ;

.....

β) Τι συμβολίζει ο δείκτης 2 στο σύμβολο του μορίου του αζώτου (N₂);

.....

Ερωτήσεις Διατάξης ή Ιεράρχησης ή Κλιμάκωσης: Ως τέτοιες χαρακτηρίζονται οι ερωτήσεις κλειστού τύπου στις οποίες ζητείται από το μαθητή να διατάξει σε μια συγκεκριμένη σειρά, ιεράρχηση ή κλιμάκωση κάποια στοιχεία βάση ενός κριτηρίου που αναφέρεται στο στέλεχος της ερώτησης. Τα στοιχεία μπορεί να είναι προτάσεις, αριθμοί, σύμβολα, σχήματα κτλ.

Παράδειγμα: Δίνονται τα διαλύματα με τις εξής τιμές pH.

Διάλυμα	A	B	Γ	Δ	E	ΣΤ	Z	H	Θ
pH	3,2	8,4	12	7	1,5	2,7	7,2	0,3	14

Να κατατάξετε τα διαλύματα σε σειρά ξεκινώντας από το πιο όξινο και καταλήγοντας στο πιο βασικό.

Ερωτήσεις Τύπου Πλέγματος: Σε μια ερώτηση πλέγματος ένα πλήθος πληροφοριών παρουσιάζεται σε σειρά αριθμημένων τετραγώνων υπό μορφή πλέγματος και ζητείται από το μαθητή να απαντήσει σε μια σειρά ερωτήσεων, αφού πρώτα μελετήσει το περιεχόμενο του κάθε τετραγώνου και μετά αποφασίσει ποιο τετράγωνο ή ποιος συνδυασμός τετραγώνων συνθέτουν την πλέον κατάλληλη απάντηση στην ερώτηση. Σε κάποιες περιπτώσεις η σειρά με την οποία επιλέγεται το κάθε τετράγωνο, και ως εκ τούτου οι πληροφορίες που περιέχονται σε αυτό (πχ αν ζητείται αντιστοίχιση, η σειρά δραστηκότητας ή η σειρά διεξαγωγής μιας σύνθεσης κλπ), έχει μεγάλη σημασία. Τα τετράγωνα μπορεί να περιέχουν εικόνες, λέξεις, σχέσεις, τύπους, δομές, ορισμούς, αριθμούς και διαδικασίες.

1	2	3	4
5	6	7	8
9	10	11	12

Η πρόβλεψη περιορίζεται σε αυτόν τον τύπο ερωτήσεων γιατί ο μαθητής δεν γνωρίζει πόσα τετράγωνα χρειάζονται ή ποια είναι η σειρά αυτών για να δώσει ορθή απάντηση. Αλλάζοντας το περιεχόμενο των τετραγώνων του πλέγματος, καθώς και τη σειρά των παρακειμένων ερωτήσεων, διαμορφώνουμε δύο ή και τέσσερα εντελώς ισότιμα τεστ για γειτονικούς μαθητές. Ο διδάσκων με την επεξεργασία των απαντήσεων μπορεί να προσδιορίσει τις σωστές ιδέες, τις παρανοήσεις, τις παραλήψεις, τόσο καθενός μαθητή ξεχωριστά όσο και του συνόλου της τάξης. Τόσο οι λανθασμένες όσο και οι ορθές απαντήσεις περικλείουν διαγνωστική πληροφορία για το διδάσκοντα. Οι μαθητές είναι ικανοί να παρουσιάζουν μια απάντηση σε διαφορετικά επίπεδα, ανάλογα της εμπειρίας τους.

Όμως, υπάρχει ένα κίνδυνος που δεν πρέπει να αγνοήσουμε. Αν δοθούν στους μαθητές οι μονάδες για κάθε σωστή επιλογή χωρίς να δίνεται ποινή για κάθε λανθασμένη επιλογή, μπορούν να απαντήσουν δίνοντας όλα τα τετράγωνα που περιέχει το πλέγμα για απάντηση στη κάθε ερώτηση. Οι πιθανοί τρόποι να επιλέξουν οι μαθητές τετράγωνα είναι:

1. Επιλέγουν όλα τα τετράγωνα με τις σχετικές πληροφορίες και παραλείπουν όλα τα τετράγωνα με τις άσχετες και παίρνουν το μέγιστο βαθμό.
2. Επιλέγουν τα περισσότερα αλλά όχι όλα τα τετράγωνα με τις σωστές πληροφορίες και κανένα με τις άσχετες και παίρνουν μικρότερη βαθμολογία.

3. Επιλέγουν μέρος ή όλα από τα τετράγωνα με τις σωστές πληροφορίες και κάποια με τις άσχετες και παίρνουν ακόμα μικρότερο βαθμό.
4. Παραλείπουν όλα τα τετράγωνα με τις σωστές πληροφορίες και επιλέγουν μόνο εκείνα με τις άσχετες και τότε παίρνουν βαθμό μηδέν.

Για τη βαθμολόγηση των απαντήσεων προτείνεται ένας τύπος σύμφωνα με τον οποίο ο βαθμός της κάθε υποερώτησης προκύπτει από τη διαφορά δύο κλάσμάτων: Του κλάσματος των ορθών απαντήσεων μείον το κλάσμα των λανθασμένων απαντήσεων.

$$\frac{\text{αρθ. ορθών απαντήσεων εξεταζομένου}}{\text{σύνολο ορθών απαντήσεων}} - \frac{\text{αρθ. λανθασμένων απαντήσεων}}{\text{σύνολο λανθασμένων απαντήσεων}} = \text{βαθμός υποερώτησης}$$

Προφανώς το άθροισμα των παρονομαστών ταυτίζεται με τον αριθμό των τετραγώνων.

Το κατάλληλο μέγεθος ενός πλέγματος σχετίζεται με την ηλικία των μαθητών. Για μαθητές Γυμνασίου συστήνεται πλέγμα μέχρι και 12 τετραγώνων, για μαθητές Λυκείου πλέγμα 16 τετραγώνων και για φοιτητές 20 τετραγώνων.

Παράδειγμα ερωτήσεων τύπου πλέγματος

Παρατηρήστε προσεκτικά τις ενώσεις που περιλαμβάνονται στον παρακάτω πίνακα.

1. CH ₄	2. CH≡CH	3. CH ₂ =CHCH ₃
4. CH ₃ CH ₂ CH(OH)CH ₃	5. CH ₃ CH ₃	6. CH ₃ CH ₂ OH
7. CH ₃ C(CH ₃) ₂ OH	8. CH ₃ CH ₂ CH ₂ CH ₂ OH	9. CH ₃ C≡CH

Γράψτε στο διάστικτο χώρο τους αριθμούς των τετραγώνων στα οποία υπάρχουν ενώσεις οι οποίες έχουν τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά:

- α. Είναι κορεσμένοι υδρογονάνθρακες
- β. Είναι ακόρεστοι υδρογονάνθρακες.....
- γ. Παρουσιάζουν συντακτική ισομέρεια θέσης
- δ. Ανήκουν στις κορεσμένες μονοσθενείς αλκοόλες
- ε. Είναι πρωτοταγείς αλκοόλες

10.3.2 Επικρίσεις και βελτιώσεις για τις ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής

Οι ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής στα τεστ επίδοσης έχουν επικριθεί για πολλούς λόγους. Ένας από αυτούς είναι ότι στις ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής οι μαθητές πολλές φορές απαντούν τυχαία. Έτσι, με απολύτως τυχαία επιλογή, η πιθανότητα να δώσει κανείς σωστή απάντηση σε ερώτηση που έχει τέσσερις εναλλακτικές λύσεις είναι 25%. Για να αποθαρρύνεται η εικασία, έχει προταθεί ο παρακάτω τύπος με τον οποίον διορθώνονται απαντήσεις που μπορεί να οφείλονται σε αυτήν.

$$\text{Διόρθωση βαθμολογίας λόγω εικασίας} = \Sigma - \frac{\Lambda}{\nu - 1}$$

Όπου Σ = ο αριθμός των σωστών απαντήσεων

Λ = ο αριθμός των λανθασμένων απαντήσεων

ν = ο αριθμός των επιλογών σε κάθε ερώτηση

Όσες ερωτήσεις παραλείπονται δεν περιλαμβάνονται στην όλη διαδικασία.

Πολλοί ισχυρίζονται ότι έχει αξία να γνωρίζουμε σε ποια έκταση η εικασία είναι «επιτηδευμένη» ή είναι εντελώς τυχαία. Η ακόλουθη διαδικασία μας προσφέρει μερικές πληροφορίες. Ζητείται από τους μαθητές να δώσουν δύο απαντήσεις σε κάθε θέμα, η μία έχει να κάνει με την ορθότερη επιλογή και η άλλη με τη σιγουριά τους για την επιλογή τους. Το σχήμα βαθμολόγησης κατανέμει 2 βαθμούς για το «σωστό, σίγουρα», 1 βαθμό για το «σωστό, όχι σίγουρα» και 0 βαθμό για το «λάθος, σίγουρα». Αυτό το σχήμα βαθμολόγησης έχει αποδειχθεί χρήσιμο με πολλούς τρόπους για τη διδασκαλία, καθώς μπορεί να ανατροφοδοτήσει το δάσκαλο και τους μαθητές. Έτσι, αν οι περισσότεροι μαθητές δεν είναι σίγουροι σε μία ερώτηση, ο δάσκαλος μπορεί να επαναλάβει τη συγκεκριμένη ύλη στη τάξη. Όσον αφορά τους μαθητές, μαθαίνουν να αυτό-αξιολογούν τις γνώσεις τους.

Ένας άλλος τρόπος αποφυγής της τυχαίας απάντησης είναι η «αιτιολόγηση» (justification) από το μαθητή της επιλογής του. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται ελάχιστα καθώς με τη χρήση αιτιολόγησης πιθανόν χάνονται όλα τα πλεονεκτήματα που συνδέονται με ερωτήσεις αντικειμενικού τύπου, όπως η υψηλή αξιοπιστία, η ευκολία βαθμολόγησης και η οικονομία στην κάλυψη μιας ευρείας περιοχής θεμάτων. Στην ουσία, οι ερωτήσεις γίνονται παρόμοιες με τις ερωτήσεις της μορφής *σύντομης απάντησης* και ως εκ τούτου τίθεται το ερώτημα τι χρειάζονται οι ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής.

Υπάρχει, όμως, ένας σημαντικός λόγος για να χρησιμοποιούνται οι ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής με αιτιολογήσεις αντί για ερωτήσεις σύντομης απάντησης. Όταν ζητείται από τους μαθητές να αιτιολογήσουν την επιλογή τους, αυτοί πρέπει προσεκτικά να εξετάσουν τα δεδομένα με όλες τις επιλογές και να εξηγήσουν γιατί αυτή που επέλεξαν είναι καλύτερη από τις άλλες, ενώ τις ερωτήσεις ανάπτυξης αποφεύγουν να τις απαντήσουν. Περιλαμβάνοντας λογικές επιλογές, τόσο για την ορθότερη όσο και για τις περισπαστικές, εξαναγκάζουμε τους μαθητές να εξετάσουν συγκεκριμένο υλικό και να εκφράσουν τη θέση τους γραπτά. Μια άλλη προσέγγιση αξιολόγησης περιλαμβάνει ερωτήσεις με δύο-σειρές επιλογών. Στο πρώτο στάδιο ο μαθητής επιλέγει μία από τις εναλλακτικές λύσεις και μετά του δίνονται κάποιες πιθανές αιτιολογήσεις από τις οποίες πρέπει να επιλέξει την καλύτερη. Παρόλο που η προσέγγιση αυτή έχει το πλεονέκτημα της αντικειμενικότητας και της γρήγορης

βαθμολόγησης, συχνά οι σχέσεις μεταξύ της πρώτης σειράς και της δεύτερης σειράς επιλογών είναι εντελώς ακατάλληλες.

Πίνακας 10.1 .Σύγκριση Ερωτήσεων Κλειστού και Ανοικτού Τύπου

Κριτήριο	Ερωτήσεις κλειστού τύπου	Ερωτήσεις ανοικτού τύπου
<i>Ικανότητα μέτρησης γνωστικών δεξιοτήτων</i>	Είναι κατάλληλες για μέτρηση γνωστικών δεξιοτήτων των επιπέδων γνώσεων κατανόησης, εφαρμογής και ανάλυσης. Ανεπαρκείς για σύνθεση και αξιολόγηση αποτελεσμάτων.	Ανεπαρκείς για το επίπεδο γνώσεων. Καλές για γνωστικές δεξιότητες κατανόησης, εφαρμογής και ανάλυσης. Ο καλύτερος τύπος για σύνθεση και αξιολόγηση συμπερασμάτων.
<i>Δειγματοληψία περιεχομένου</i>	Η χρήση μεγάλου αριθμού ερωτήσεων επιτυγχάνει να καλύψει ευρεία ύλη η οποία καθιστά αντιπροσωπευτική τη δειγματοληψία περιεχομένου.	Η χρήση σχετικά μικρού αριθμού ερωτήσεων επιτυγχάνει μικρότερη κάλυψη στην ύλη, που καθιστά μη αντιπροσωπευτική τη δειγματοληψία περιεχομένου.
<i>Προετοιμασία θεμάτων</i>	Η προετοιμασία των ερωτήσεων είναι δύσκολη και χρονοβόρα.	Η προετοιμασία των ερωτήσεων είναι απλούστερη από αυτήν του αντικειμενικού τύπου.
<i>Βαθμολόγηση</i>	Αντικειμενική, απλή και υψηλής αξιοπιστίας.	Υποκειμενική. δύσκολη και μικρής αξιοπιστίας.
<i>Παράγοντες που παραμορφώνουν τις επιδόσεις των μαθητών</i>	Η βαθμολογία των επιδόσεων υπόκειται στην παραμορφωτική επίδραση του βαθμού ικανότητας ανάγνωσης των εξεταζομένων και στην τυχαία επιλογή απαντήσεων που ακολουθούν πολλοί μαθητές.	Η βαθμολογία των επιδόσεων υπόκειται στην παραμορφωτική επίδραση του βαθμού ικανότητας στη γραπτή απόδοση (έκφραση) των μαθητών καθώς και τις εκούσιες ασάφειες (μπλόφες).
<i>Πιθανές επιπτώσεις στη μάθηση</i>	Ενθαρρύνουν τους μαθητές να θυμούνται, ερμηνεύουν και αναλύουν ιδέες άλλων.	Ενθαρρύνουν τους να μαθητές να οργανώνουν, ολοκληρώνουν και εκφράζουν τις προσωπικές τους ιδέες.

10.4 Ανάλυση και αξιολόγηση ενός τεστ

Με τους όρους ανάλυση και αξιολόγηση ενός τεστ εννοούμε τη διενέργεια του ελέγχου εκείνου ο οποίος θα μας οδηγήσει στον εντοπισμό και στην εξασφάλιση των επιθυμητών χαρακτηριστικών του. Τα χαρακτηριστικά είναι βασικά κριτήρια που μπορούν να χρησιμοποιηθούν προκειμένου να κριθεί η καταλληλότητα ενός τεστ για συγκεκριμένη χρήση. Τα χαρακτηριστικά αυτά είναι: η εγκυρότητα και η αξιοπιστία που θεωρούνται ως πρωτεύοντα και η αντικειμενικότητα, η πρακτικότητα, το επίπεδο δυσκολίας, και η

επιλεκτικότητα-διαφοροποίηση που αναφέρονται ως δευτερεύοντα αλλά ιδιαίτερος επιθυμητά.

10.4.1 Εγκυρότητα ενός τεστ

Η εγκυρότητα θεωρείται ως το σημαντικότερο χαρακτηριστικό για κάθε μέσο αξιολόγησης. Δεν είναι εύκολο να δοθεί ένας απλοποιημένος ορισμός της εγκυρότητας. Κατά γενική αντίληψη, η εγκυρότητα δείχνει κατά πόσο ένα τεστ μετρά αυτό για το οποίο το κατασκευάστηκε να μετρήσει. Επίσης, η εγκυρότητα πληροφορεί για το είδος των συμπερασμάτων που μπορούν να προκύψουν από τις μετρήσεις που μας δίνει το χρησιμοποιούμενο τεστ. Συνήθως χρησιμοποιούνται τρεις μορφές εγκυρότητας: η εγκυρότητα περιεχομένου, η προβλεπτική εγκυρότητα και η εγκυρότητα εννοιολογικής κατασκευής.

A. Η *εγκυρότητα περιεχομένου* (content validity) αναφέρεται στο βαθμό στον οποίο ένα τεστ καλύπτει με επάρκεια, πληρότητα και ακρίβεια όλη τη συμπεριφορά που επιδιώκεται να μετρηθεί. Είναι ευνόητο ότι αυτό το είδος της εγκυρότητας είναι απαραίτητο χαρακτηριστικό στα τεστ επίδοσης. Στη μέτρηση της σχολικής επίδοσης η εγκυρότητα περιεχομένου ενός τεστ παίρνει τη μορφή της κάλυψης του αντικειμένου που διδάχθηκε στο μάθημα της Χημείας και των δεξιοτήτων οι οποίες αποτέλεσαν το σκοπό της διδασκαλίας του μαθήματος. Η εγκυρότητα περιεχομένου είναι ένα χαρακτηριστικό που εισάγεται στο τεστ με την κατασκευή του και βελτιώνεται με τις διορθώσεις που ακολουθούν. Κύριο πρόβλημα είναι η επιλογή των ερωτήσεων που αντιπροσωπεύουν τα κυριότερα και σημαντικότερα μέρη εκείνου που διδάχθηκε.

Η διαδικασία που προτείνεται για την εξασφάλιση εγκυρότητας περιεχομένου σε ένα τεστ είναι μια εξονυχιστική ανάλυση της αντιστοιχίας μεταξύ (α) των σκοπών και των στόχων που έχουν τεθεί για τη μάθηση και την εξέταση, (β) του περιεχομένου, δηλαδή της ύλης, που διδάχθηκε και (γ) των ερωτήσεων του τεστ.

B. Η *προβλεπτική ή προγνωστική εγκυρότητα* (predictive validity) ονομάζεται και *εγκυρότητα σε σχέση με το κριτήριο* (criterion related validity) και *συγχρονική εγκυρότητα* (concurrent validity). Με την *προβλεπτική* εγκυρότητα ελέγχουμε το βαθμό που το τεστ προβλέπει μελλοντικές συμπεριφορές σε έναν τομέα συναφή με τη μεταβλητή που μετράται τώρα. Η *εγκυρότητα σε σχέση με το κριτήριο* δείχνει το βαθμό στον οποίο η μέτρηση σχετίζεται με το *κριτήριο*, δηλαδή αυτή καθεαυτή τη συμπεριφορά που επιχειρούμε να μετρήσουμε. Η επιλογή των μαθητών για εισαγωγή στα Ανώτερα Εκπαιδευτικά Ιδρύματα είναι περίπτωση στην οποία η εξέταση που χρησιμοποιείται είναι απαραίτητο να έχει

προβλεπτική εγκυρότητα. Στη *συγχρονική εγκυρότητα* εξετάζουμε τη σχέση που έχει η μέτρησή μας με τη συμπεριφορά (το κριτήριο) που έχουμε διαθέσιμη εκείνη τη στιγμή, π.χ. όταν έχουμε ένα τεστ επίδοσης, συσχετίζουμε τη βαθμολογία στο τεστ αυτό με τους βαθμούς του μαθητή στο σχολείο.

Γ. Η *εγκυρότητα εννοιολογικής κατασκευής* (construct validity) αναφέρεται στο βαθμό που η μέτρηση σχετίζεται με κάποιο εννοιολογικό κατασκεύασμα ή θεωρητικό χαρακτηριστικό. Στην ουσία, η εγκυρότητα εννοιολογικής κατασκευής έχει άμεση σχέση με την υποκειμενική θεωρία και το βαθμό που αυτή επαληθεύεται από τις μετρήσεις μας. Δύο τρόποι ελέγχου της εγκυρότητας εννοιολογικής κατασκευής είναι: (α) η *συγκλίνουσα εγκυρότητα* (convergent validity) που ισοδυναμεί με το βαθμό στον οποίο η μέτρησή μας σχετίζεται με κάποιο χαρακτηριστικό το οποίο έχει επιλεγεί *θεωρητικά* και (β) η *διακριτική εγκυρότητα* (discriminate validity) με την οποία ελέγχεται ο βαθμός που η μέτρησή μας δεν σχετίζεται με άλλες μετρήσεις που και θεωρητικά δεν πρέπει να σχετίζεται. Σε γενικές γραμμές, η εγκυρότητα εννοιολογικής κατασκευής είναι δύσκολο να ελεγχθεί, ακριβώς γιατί συνεπάγεται θεωρητικούς κυρίως ελέγχους. Η διαδικασία που συνήθως προτείνεται περιλαμβάνει περιληπτικά τα εξής στάδια:

1. διατύπωση των θεωρητικών χαρακτηριστικών τα οποία μπορούν να δικαιολογούν την επίδοση στο τεστ,
2. διατύπωση υποθέσεων οι οποίες είναι δυνατόν να ελεγχθούν, και
3. έλεγχο των υποθέσεων με εμπειρική έρευνα.

Με τη χρήση της τεχνικής που ονομάζεται παραγοντική ανάλυση ελέγχεται η εγκυρότητα εννοιολογικής κατασκευής, καθώς η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται για να εξακριβωθούν χαρακτηριστικά.

Από τα παραπάνω γίνεται σαφές ότι η προγνωστική εγκυρότητα και η εγκυρότητα εννοιολογικής κατασκευής είναι λιγότερο χρήσιμα χαρακτηριστικά στα τεστ σχολικής επίδοσης και επομένως δεν ενδείκνυται η χρήση τους.

10.4.2 Αξιοπιστία ενός τεστ

Μετά την εγκυρότητα η αξιοπιστία είναι το δεύτερο σε σπουδαιότητα χαρακτηριστικό ενός τεστ. Ο όρος *αξιοπιστία* (σταθερότητα) σημαίνει ότι, όταν επαναλάβουμε τη εξέταση ενός ατόμου με ένα τεστ (μέτρηση), θα έχουμε το ίδιο αποτέλεσμα ή περίπου το ίδιο. Σε όλες τις μετρήσεις συμβαίνουν τυχαία σφάλματα. Η αξιοπιστία είναι η βάση για τον υπολογισμό του *τυπικού σφάλματος της μετρήσης της επίδοσης*, με το οποίο μπορούμε να προβλέψουμε την αυξομείωση της βαθμολογίας ενός ατόμου που οφείλεται σε τυχαίους παράγοντες. Η

αξιοπιστία καλύπτει διάφορες όψεις της σταθερότητας της μέτρησης. Σημαίνει ότι οι ατομικές διαφορές μπορούν να αποδοθούν είτε σε πραγματικές διαφορές των χαρακτηριστικών που εξετάζουμε είτε σε τυχαία σφάλματα. Από αυτά μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι καμία μέτρηση δεν είναι εντελώς αξιόπιστη και γι' αυτό το λόγο πρέπει να βρεθεί ο δείκτης αξιοπιστίας της. Όλα τα είδη της αξιοπιστίας μπορούν να εκφραστούν με έναν *συντελεστή συνάφειας*, η αριθμητική τιμή του οποίου κυμαίνεται από 0,00 έως 1,00.

Η αξιοπιστία είναι τόσο μεγαλύτερη όσο υψηλότερος είναι ο συντελεστής συνάφειας. Θεωρούμε, πάντως, ότι έχουν ικανοποιητική αξιοπιστία τα τεστ όταν οι σχετικοί δείκτες κυμαίνονται από 0,8 και πάνω. Κανονικά, όταν η αξιοπιστία είναι πιο χαμηλή από το δείκτη αυτόν, το τεστ δεν πρέπει να χρησιμοποιείται. Ωστόσο, εξαρτάται εκάστοτε από τον είδος τεστ στο οποίο αναφερόμαστε. Είναι γνωστό ότι τα τεστ προσωπικότητας χαρακτηρίζονται γενικότερα από μια πολύ πιο αδύνατη αξιοπιστία σε σχέση με τα τεστ επίδοσης.

Όσο εύκολο είναι να ορίσουμε τι είναι αξιοπιστία, άλλο τόσο δύσκολο είναι να τη μετρήσουμε. Στην πραγματικότητα ο υπολογισμός της γίνεται με τρόπο έμμεσο, αφού υπολογίζουμε το ποσοστό σφάλματος που παρουσιάζει η μέτρηση μέσα σε καθορισμένες συνθήκες. Τρόποι με τους οποίους μπορούμε να επιχειρήσουμε τη μέτρηση της αξιοπιστίας είναι οι ακόλουθοι:

A. Η *επιβεβαιωμένη αξιοπιστία* ή *αξιοπιστία της διπλής αξιολόγησης* ή *αξιοπιστία των επαναληπτικών μετρήσεων* (test-retest reliability). Σε αυτήν επαναλαμβάνουμε τη μέτρηση στα ίδια άτομα κάτω από τις ίδιες συνθήκες με το ίδιο τεστ και στη συνέχεια συσχετίζουμε τις δύο βαθμολογίες.

B. Η *αξιοπιστία εναλλακτικών τύπων* ή *αξιοπιστία ισοδύναμων τύπων* (alternate-forms reliability) ή *αξιοπιστία παράλληλων τύπων* (parallel-forms reliability). Σε αυτή χορηγούμε έναν τύπο του τεστ και αργότερα έναν άλλο (ισοδύναμο) στα ίδια άτομα κάτω από τις ίδιες συνθήκες και στη συνέχεια συσχετίζουμε τις δύο βαθμολογίες.

Γ. Η *αξιοπιστία των δύο ημίσεων* ή *αξιοπιστία των ημικλάσεων* (split-half reliability). Στην αξιοπιστία των δύο ημίσεων, το τεστ χορηγείται μία φορά, αλλά βαθμολογούμε χωριστά τις άρτιες και χωριστά τις περιττές ερωτήσεις του και τέλος υπολογίζουμε το δείκτη συνάφειας των δύο αυτών τμημάτων.

Δ. Η *αξιοπιστία της εσωτερικής συνέπειας* (Kuder-Richardson). Σε αυτή φαίνεται η συνέπεια των απαντήσεων και βασίζεται σε κάθε ερώτηση της κλίμακας χωριστά, κυρίως, όταν οι ερωτήσεις επιδέχονται μόνο δύο απαντήσεις (σωστή ή λάθος). Το ερωτηματολόγιο εδώ χορηγείται μόνο μία φορά. Όταν οι ερωτήσεις επιδέχονται βαθμολόγηση με περισσότερες

από δύο βαθμίδες διαφοροποίησης, χρησιμοποιείται ο συντελεστής αξιοπιστίας α του Cronbach.

Ε. Η αξιοπιστία μεταξύ βαθμολογητών (inter-scoring reliability). Σε αυτή χρησιμοποιούμε δύο ή περισσότερους βαθμολογητές. Το τεστ χορηγείται μία φορά και η βαθμολόγηση είναι υποκειμενική. Συσχετίζουμε, λοιπόν, τους βαθμούς των δύο ή περισσότερων βαθμολογητών στα διάφορα άτομα.

Η αξιοπιστία κάθε τεστ έχει στενή σχέση με την εγκυρότητά του καθώς, κανένα τεστ δεν μπορεί να είναι έγκυρο και ταυτόχρονα να μην είναι και αξιόπιστο. Αντίθετα, μπορεί να είναι αξιόπιστο, όχι όμως και έγκυρο. Επομένως, ο καθορισμός της αξιοπιστίας ενός τεστ είναι απαραίτητος αλλά όχι επαρκής για την αξία του.

Η αξιοπιστία εσωτερικής συνέπειας έχει τεθεί και σε μια διαφορετική βάση, τη "δυνατότητα γενίκευσης". Υποστηρίζεται, ότι η διάκριση μεταξύ αξιοπιστίας και εγκυρότητας ενός τεστ είναι εσφαλμένη και ότι αυτό που ενδιαφέρει είναι η δυνατότητα γενίκευσης μέσω του τεστ. Το βασικό, λοιπόν, ερώτημα για την αξιοπιστία εσωτερικής συνέπειας είναι κατά πόσο οι μετρήσεις ενός τεστ που έχουν προκύψει από ένα δείγμα συμμετεχόντων, θα εξακολουθούν να παρατηρούνται με κάποιο βαθμό ομοιότητας σε παρόμοια δείγματα επ' άπειρον. Δηλαδή, οι μετρήσεις που προκύπτουν για ένα δείγμα να μπορούν να γενικευθούν στον αντίστοιχο στατιστικό πληθυσμό. Έτσι, αν για παράδειγμα ο συντελεστής α προκύψει να είναι 0,75, αυτό σημαίνει ότι 75 φορές στις 100 που θα επαναχορηγήσουμε το ίδιο τεστ σε αντίστοιχα, τυχαία, ίδιου μεγέθους δείγματα, θα λάβουμε παρόμοιες μετρήσεις.

Τα τεστ συχνά ελέγχονται όσον αφορά στην αξιοπιστία και την εγκυρότητά τους. Η αξιοπιστία αναφέρεται στην ακρίβεια της μέτρησης, ενώ η εγκυρότητα στη θεωρητική ορθότητα της. Οι δύο έννοιες, αξιοπιστία και εγκυρότητα, σχετίζονται σε ορισμένο βαθμό, όμως θεωρητικά μπορούμε να έχουμε ένα αξιόπιστο τεστ που σε κάθε επαναληπτική μέτρηση να δίνει τα ίδια αποτελέσματα, αλλά το τεστ αυτό να μετράει λανθασμένη διάσταση. Το πρόβλημα της εγκυρότητας κάθε μέτρησης είναι κυρίως πρόβλημα κριτηρίου, που στην περίπτωση αυτή σημαίνει μια πραγματική συμπεριφορά, με την οποία η μέτρησή μας θα πρέπει να σχετίζεται σε μεγάλο βαθμό.

10.4.3 Αντικειμενικότητα ενός τεστ

Ένα τεστ θεωρείται αντικειμενικό αν οι ερωτήσεις που περιλαμβάνει αποκλείεται να βαθμολογηθούν διαφορετικά από διαφορετικούς βαθμολογητές ή και από τον ίδιο βαθμολογητή αν βαθμολογήσει για δεύτερη φορά ένα γραπτό. Ένα τεστ είναι κατά τον τίτλο αντικειμενικό αν περιλαμβάνει ερωτήσεις κλειστού τύπου σωστά κατασκευασμένες.

10.4.4 Πρακτικότητα ενός τεστ

Όταν αναφερόμαστε στην πρακτικότητα ενός τεστ εννοούμε κυρίως την ευκολία κατασκευής και χρήσης του κατά τη διαδικασία της εξέτασης. Η πρακτικότητα αναφέρεται ακόμη στην ευκολία βαθμολόγησης μετά την εξέταση, καθώς επίσης στην ευκολία παρουσίασης, ερμηνείας και χρήσης των αποτελεσμάτων της εξέτασης. Κριτήρια τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν προκειμένου να αξιολογηθεί η πρακτικότητα ενός τεστ είναι μεταξύ των άλλων: (1) ο χρόνος που απαιτείται για την κατασκευή του, (2) ο χρόνος που απαιτείται για την εξέταση, (3) οι προϋποθέσεις κάτω από τις οποίες θα γίνει η εξέταση, (4) οι δαπάνες που απαιτούνται για την κατασκευή, φωτοτύπηση, (5) ο χρόνος που διατίθεται για τη διόρθωση.

10.4.5 Δυσκολία ενός τεστ

Το επίπεδο δυσκολίας αναφέρεται στο πόσο δύσκολη είναι μια ερώτηση. Η εκτίμηση του επιπέδου αυτού βασίζεται στο ποσοστό % των μαθητών που απάντησαν επιτυχώς την ερώτηση. Το επίπεδο δυσκολίας εκφράζεται με τη μορφή ενός δείκτη, του δείκτη δυσκολίας της ερώτησης. Ο δείκτης δυσκολίας δείχνει το ποσοστό των μαθητών που απάντησαν σωστά την ερώτηση. Ο τύπος είναι:

$$\text{δείκτης δυσκολίας} = \frac{\text{αριθμός σωστών απαντήσεων}}{\text{αριθμός μαθητών που απάντησαν στην ερώτηση}} * 100$$

Ο ορισμός αυτός είναι αντίστροφος προς αυτό που σημαίνει, δηλαδή όσο υψηλότερος είναι ο δείκτης τόσο ευκολότερη είναι η ερώτηση, και όσο χαμηλότερος είναι ο δείκτης τόσο δυσκολότερη είναι η ερώτηση. Είναι προτιμότερος ένας δείκτης δυσκολίας 50, εφόσον ο στόχος του τεστ είναι να μετρά διαφορές μεταξύ των μαθητών.

Υπάρχει επίδραση στο δείκτη δυσκολίας και από τη μορφή των ερωτήσεων. Παραδείγματος χάριν, όταν το τεστ περιλαμβάνει διαζευκτικές ερωτήσεις ή ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής, το άριστο επίπεδο δυσκολίας της ερώτησης χρειάζεται να προσαρμοστεί στην επίδραση που έχει η εικασία του μαθητή. Το άριστο επίπεδο δίνεται από τον τύπο:

$$\text{άριστο επίπεδο} = \frac{1,0 + g}{2} * 100, \text{ όπου } g \text{ είναι το ποσοστό επιτυχίας από τύχη. Επομένως, για}$$

μια ερώτηση με τέσσερις εναλλακτικές λύσεις, το ποσοστό επιτυχίας κατά τύχη είναι 0,25 και το άριστο επίπεδο δυσκολίας της ερώτησης θα είναι 63. Για μια διαζευκτική ερώτηση πάλι, το ποσοστό επιτυχίας κατά τύχη είναι 0,50 και το άριστο επίπεδο δυσκολίας της ερώτησης θα είναι 75. Οι δείκτες δυσκολίας της ερώτησης που γίνονται δεκτοί κυμαίνονται περίπου ± 20 , γύρω από την τιμή που βρέθηκε ότι είναι άριστη όσον αφορά στην εικασία του μαθητή.

Οι τιμές των δεικτών δυσκολίας που προτείνονται από ερευνητές για την ερμηνεία των αποτελεσμάτων είναι: 0-20: πολύ δύσκολη, 20-40: δύσκολη, 40-60: μεσαίου βαθμού

δυσκολίας, 60-80: εύκολη, 80-100: πολύ εύκολη. Προτείνεται το 25% των ασκήσεων ενός τεστ επίδοσης να είναι εύκολες ή δύσκολες και το 50% μεσαίου βαθμού δυσκολίας.

10.4.6 Επιλεκτικότητα - διαφοροποίηση ενός τεστ

Η επιλεκτικότητα μιας ερώτησης καθορίζει το βαθμό στον οποίο η ερώτηση θα μπορέσει να εντοπίσει τους δυνατούς από τους αδύνατους μαθητές. Όταν ο δείκτης επιλεκτικότητας είναι υψηλός, τότε οι δυνατοί μαθητές απαντούν σωστά στην άσκηση με μεγαλύτερη συχνότητα από ότι οι αδύναμοι μαθητές. Ένας ισοδύναμος δείκτης με το δείκτη επιλεκτικότητας είναι ο δείκτης διαφοροποίησης, ο οποίος ισούται με τη διαφορά: *δείκτης δυσκολίας της ερώτησης για την ανώτερη ομάδα μείον δείκτης δυσκολίας της ερώτησης για την κατώτερη ομάδα*. Ο δείκτης διαφοροποίησης σύμφωνα με τον Tuckman θα πρέπει να έχει τιμή μεγαλύτερη από 20%. Για να βρούμε το δείκτη επιλεκτικότητας και το δείκτη διαφοροποίησης χωρίζουμε τους μαθητές σε τρεις ομάδες ανάλογα με τη βαθμολογία που πήραν σε όλο το τεστ. Έτσι έχουμε την ανώτερη, τη μέση και την κατώτερη ομάδα, που αποτελούν το 1/3 του δείγματος η κάθε μία. Στις ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής ιδιαίτερη σημασία έχει η επιλογή των κατάλληλων περισπαστικών απαντήσεων. Ιδανική είναι η ερώτηση στην οποία οι μαθητές της ανώτερης ομάδας απαντούν ορθά και οι μαθητές της κατώτερης ομάδας λανθασμένα. Ιδανικές περισπαστικές απαντήσεις είναι εκείνες στις οποίες οι λανθασμένες απαντήσεις της κατώτερης ομάδας κατανέμονται ισομερώς.

Η ανάλυση των ερωτήσεων ενός τεστ συνήθως περιλαμβάνει τον εντοπισμό (α) του δείκτη δυσκολίας, (β) του δείκτη επιλεκτικότητας ή διαφοροποίησης, και (γ) της καταλληλότητας των περισπαστικών απαντήσεων.

Για όλα τα παραπάνω χαρακτηριστικά του τεστ ανακύπτουν δύο βασικά προβλήματα σχετικά με την εκτίμησή τους: (1) τι νόημα έχει η ανάλυση των ερωτήσεων αφού γίνεται μετά την εξέταση, και (2) έχει ο διδάσκων το χρόνο και τη γνώση που απαιτούνται για να κάνει την ανάλυση;

Αναφορικά με το πρώτο, ενδείκνυται να γίνεται ανάλυση ερωτήσεων μετά τη χρήση του τεστ για τέσσερις κυρίως λόγους: (α) γιατί απορρίπτονται οι ακατάλληλες ερωτήσεις και δεν θα ξαναχρησιμοποιηθούν, (β) γιατί οι ερωτήσεις μπορεί να βελτιωθούν και να ξαναχρησιμοποιηθούν σε επόμενες εξετάσεις, (γ) γιατί ο διδάσκων αποκτά πείρα στην κατασκευή των τεστ, και (δ) γιατί από την ανάλυση θα καθοριστεί και η βαθμολογία που θα δοθεί στους μαθητές. Αν διαπιστωθεί ότι μια ερώτηση είναι ακατάλληλη, είναι ευνόητο πως δεν θα συμπεριληφθεί στη βαθμολογία.

Όσον αφορά το δεύτερο, είναι λογικό ότι ο διδάσκων δεν μπορεί να αναλύει κάθε ερώτηση σε κάθε τεστ που δίνει. Αν όμως διδάσκει το ίδιο αντικείμενο για πολλά χρόνια μερικές αναλύσεις στην αρχή θα του αποφέρουν ικανοποιητικό αριθμό ετοιμών ερωτήσεων για μελλοντική χρήση.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Αλεξόπουλος, Δ., Ψυχομετρία: Σχεδιασμός τεστ και ανάλυση ερωτήσεων, τόμος Α΄, Ελληνικά Γράμματα: Αθήνα, 1998
- Anastasi, A., Psychological Testing, 5th edition, Macmillan Publishing, New York, 1990
- Βαμβουκάς Μ., *Εισαγωγή στην Ψυχοπαιδαγωγική Έρευνα και Μεθοδολογία*, εκδ. Γρηγόρη, Αθήνα, 1993
- Cheung D., A Test Construction Support System for Chemistry Teacher. *Journal of Chemical Education*, **2006**, 83 (9), 1399 - 1405.
- Γιοκαρίνης Κ., Η τεχνική των ερωτήσεων στη διδακτική πράξη και αξιολόγηση, Δράμα, 1988
- Δημητρόπουλος Ε., Εκπαιδευτική Αξιολόγηση: Η αξιολόγηση του μαθητή – Θεωρία – Πράξη – Προβλήματα, 6η έκδοση, Γρηγόρης, Αθήνα, 1999
- Κασσωτάκης Μ. Ι., *Η αξιολόγηση της επίδοσης των μαθητών: Μέσα – Μέθοδοι – Προβλήματα - Προοπτικές*, Γρηγόρης, Αθήνα, 1993
- Nunnally, J. C. and Bernstein, I. H., 1994. Psychometric Theory, 3rd edition, McGraw-Hill New York, 1994
- Seebauer, R., Ανεπίσημη (άτυπη) διεξαγωγή δοκιμασιών σχολικών δεξιοτήτων στα πλαίσια παιδαγωγικής αξιολόγησης και ποιοτικού ελέγχου στο Μέτρηση και αξιολόγηση της επίδοσης για τη διασφάλιση της επιτυχίας, Κολιάδης Ε. (επιμ.), τόμος Α, Ελληνικά Γράμματα, Αθήνα, 2002
- Tuckman B. W., *Conducting Educational Research*, 5th ed., Harcourt Brace College Publisher, Orlando, 1999

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Ρήματα για τη διατύπωση στόχων

1. αναγνωρίζω αντικείμενο χρονολογία, ορισμό, τόπο ανακαλώ προηγούμενη γνώση απομνημονεύω χρονολογίες, όρους κτλ.	11. δείχνω ή επισημαίνω συγκεκριμένο αντικείμενο ή διαδικασία	21. μεταφράζω ή μεταφέρω ένα κείμενο από μια γλώσσα σε άλλη, από έναν συμβολισμό σε άλλο
2. απαριθμώ μέρη, είδη, περιπτώσεις, αίτια, αποτελέσματα, παραδείγματα, επιχειρήματα, στάδια λογικής διαδικασίας ή δράσης	12. διατυπώνω επιχείρημα, νόμο, ορισμό, υπόθεση	22. ολοκληρώνω ή συμπληρώνω πρόταση, κανόνα, νόμο, τύπο
3. αναφέρω μέρη, στοιχεία, είδη, αίτια, αποτελέσματα	13. εκτελώ άσκηση, πειράματα, οδηγίες, διαγράμματα ροής	23. ορίζω λέξεις, τάξεις, σύνολα, έννοιες, πρότυπα μεγέθη
4. αναλύω στα επιμέρους στοιχεία, στα είδη, στα συστατικά, στις προϋποθέσεις	14. εφαρμόζω κανόνα, νόμο, μέθοδο, αρχή, θεώρημα	24. παραβάλλω ή αντιπαραβάλλω ή συγκρίνω γεγονότα, καταστάσεις, αποτελέσματα, κτλ
5. αντικαθιστώ λέξεις, όρους, έννοιες, σύμβολα, συναρτήσεις, τελεστές	15. εξάγω ή συνάγω κανόνα, νόμο, μέθοδο, αρχή, θεώρημα	25. περιγράφω καταστάσεις, συνθήκες
6. αιτιολογώ (α) αναφέροντας την αιτία ή το λόγο (β) ανευρίσκοντας διαδικασίες	16. κάνω παραλλαγές, αντικαταστάσεις, συμπληρώσεις	26. αναφέρω ή παραθέτω επιχειρήματα, παραδείγματα
7. αποδεικνύω πρόταση, ισχυρισμό, θεώρημα (λογικά), νόμο (πειραματικά) υπόθεση	17. κατατάσσω ή ιεραρχώ σε έννοια, τάξη, κατηγορία, γένος με βάση καθορισμένα κριτήρια	27. προχωρώ σε γενικεύσεις, συμπεράσματα
8. αποκρυπτογραφώ , ερμηνεύω διαβάζοντας δυσνόητο κείμενο	18. κατασκευάζω πρότυπο, προσομοίωμα (μοντέλο), πειραματική διάταξη, μετρικό όργανο	28. συνοψίζω μια διάλεξη, δηλώσεις, συμπεράσματα
9. αποκωδικοποιώ , μεταφράζω αναλυτικά τη μεθοδική κατάταξη νόμων, κανόνων, διαδικασιών	19. λύω ή επιλύω άσκηση, πρόβλημα	29. ταξινομώ με βάση καθορισμένα κριτήρια
10. γράφω ή καταγράφω παρατηρήσεις, μετρήσεις, κύρια σημεία, κομβικά σημεία, περίληψη	20. μετρώ συνεχή ή ασυνεχή δεδομένα (μεγέθη βασικά ή παράγωγα)	30. ταυτοποιώ ή ταυτίζω , (εξομοιώνω), ανακαλύπτω την ταυτότητα διαφορετικών μορφών μιας συνάρτησης

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

Ταξινομία της International Association for the Evaluation of Educational Achievement (IEA)

Πίνακας 1 Γνωστικές δεξιότητες του επιπέδου «Γνώση στοιχείων»

Γνώση στοιχείων	
Δεξιότητες	Επιθυμητή συμπεριφορά του μαθητή
Ανάκληση / Αναγνώριση	Να αναγνωρίζουν με ακρίβεια σχέσεις, διαδικασίες και έννοιες. Να αναγνωρίζουν τις ιδιότητες των σωμάτων.
Διατύπωση ορισμών	Να δίνουν ή να αναγνωρίζουν ορισμούς. Να αναγνωρίζουν και να χρησιμοποιούν ειδικό λεξιλόγιο, σύμβολα και κλίμακες.
Διατύπωση περιγραφών	Να περιγράφουν τα υλικά σώματα, τις διαδικασίες ώστε να αποδεικνύουν γνώση ιδιοτήτων, δομής και σχέσεων.
Χρήση εργαλείων και διαδικασιών	Να εκθέτουν γνώσεις για τη χρήση σκευών, συσκευών μέτρησης και διαδικασιών.

Πίνακας 2 Γνωστικές δεξιότητες του επιπέδου «Εννοιολογική κατανόηση»

Εννοιολογική κατανόηση	
Δεξιότητες	Επιθυμητή συμπεριφορά του μαθητή
Επεξήγηση με παραδείγματα	Να υποστηρίζουν ή να διευκρινίζουν γεγονότα και έννοιες με κατάλληλα παραδείγματα. Να αναγνωρίζουν ή να δίνουν ειδικά παραδείγματα για να επεξηγούν γνώσεις γενικών εννοιών.
Σύγκριση/ Ταξινόμηση	Να αναγνωρίζουν ή να περιγράφουν ομοιότητες και διαφορές μεταξύ ομάδων υλικών σωμάτων ή διαδικασιών. Να διακρίνουν και να ταξινομούν αντικείμενα, σώματα και διαδικασίες, με βάση χαρακτηριστικά και ιδιότητες.
Αναπαράσταση/ Μοντέλα	Να χρησιμοποιούν διαγράμματα ή μοντέλα για να αποδεικνύουν την κατανόηση επιστημονικών εννοιών, δομών, σχέσεων, διαδικασιών, φυσικών συστημάτων, κύκλων (ατομική δομή, κύκλοι στοιχείων).
Συσχέτιση	Να συσχετίζουν τη γνώση με τις παρατηρούμενες ιδιότητες / χρήσεις των αντικειμένων και των υλικών σωμάτων.
Εξαγωγή/ Εφαρμογή Πληροφοριών	Να αναγνωρίζουν, να εξάγουν και να εφαρμόζουν σχετικές πληροφορίες από κείμενα, πίνακες ή γραφήματα από τη σκοπιά των επιστημονικών εννοιών και αρχών.
Εύρεση Λύσεων	Να αναγνωρίζουν και να χρησιμοποιούν σχέσεις, εξισώσεις και τύπους για να βρίσκουν ποιοτικές ή ποσοτικές λύσεις εμπλέκοντας και άμεση εφαρμογή των εννοιών.
Εξήγηση	Να δίνουν ή να αναγνωρίζουν αιτίες και ερμηνείες για παρατηρήσεις φαινομένων αποδεικνύοντας την κατανόηση των σχετικών εννοιών, αρχών, νόμων ή θεωριών.

Πίνακας 3 Γνωστικές δεξιότητες του επιπέδου «Συλλογισμός και ανάλυση»

Συλλογισμός και ανάλυση	
Δεξιότητες	Επιθυμητή συμπεριφορά του μαθητή
Ανάλυση/ Ερμηνεία/ Επίλυση προβλημάτων	<p>Να αναλύουν τα προβλήματα για να προσδιορίζουν τις σχετικές σχέσεις, τις έννοιες και τα βήματα επίλυσης.</p> <p>Να αναπτύσσουν / εξηγούν στρατηγικές επίλυσης.</p> <p>Να ερμηνεύουν / χρησιμοποιούν διαγράμματα για να επιλύουν προβλήματα.</p> <p>Να χρησιμοποιούν παραγωγικό ή επαγωγικό συλλογισμό στην επίλυση προβλημάτων.</p>
Ενοποίηση/ Σύνθεση	<p>Να δίνουν λύσεις που απαιτούν εξέταση ενός αριθμού διαφορετικών παραγόντων ή σχετικών εννοιών.</p> <p>Να κάνουν συνδέσεις μεταξύ εννοιών από διαφορετικές περιοχές των Φυσικών Επιστημών.</p> <p>Να ενσωματώνουν μαθηματικές έννοιες / διαδικασίες στην επίλυση προβλημάτων των Φυσικών Επιστημών</p>
Υπόθεση/ Πρόβλεψη	<p>Να συνδυάζουν γνώσεις επιστημονικών ερευνών με πληροφορίες από την εμπειρία τους ή από παρατηρήσεις για να διατυπώνουν ερωτήσεις που μπορούν να απαντηθούν μετά από έρευνα.</p> <p>Να διατυπώνουν υποθέσεις που μπορούν να ελεγχθούν χρησιμοποιώντας γνώση από παρατηρήσεις ή / και ανάλυση επιστημονικών πληροφοριών.</p> <p>Να κάνουν προβλέψεις για τις επιδράσεις μεταβολών με βάση ενδείξεις και επιστημονικές αντιλήψεις.</p>
Σχεδιασμός	<p>Να σχεδιάζουν έρευνες κατάλληλες για την απάντηση επιστημονικών ερωτημάτων ή για τον έλεγχο υποθέσεων.</p> <p>Να περιγράφουν / αναγνωρίζουν τα χαρακτηριστικά των σωστά σχεδιασμένων ερευνών όσον αφορά στις μεταβλητές που μετρούνται και ελέγχονται και τις σχέσεις αιτίου - αποτελέσματος.</p> <p>Να παίρνουν αποφάσεις για μετρήσεις / διαδικασίες που θα χρησιμοποιήσουν για να διεξάγουν έρευνα.</p>
Συγκέντρωση/ Ανάλυση/ Ερμηνεία Δεδομένων	<p>Να κάνουν και να καταγράφουν συστηματικά παρατηρήσεις και μετρήσεις, επιδεικνύοντας την κατάλληλη χρήση συσκευών, εργαλείων, διαδικασιών, κλιμάκων μέτρησης.</p> <p>Να αναπαριστούν επιστημονικά δεδομένα σε πίνακες, σχεδιαγράμματα, γραφικές παραστάσεις και διαγράμματα χρησιμοποιώντας την κατάλληλη μορφή, υπότιτλους και κλίμακες.</p> <p>Να επιλέγουν / εφαρμόζουν τους κατάλληλους μαθηματικούς υπολογισμούς / τεχνικές σε δεδομένα για να εξασφαλίσουν τις απαραίτητες τιμές, ώστε να εξάγουν συμπεράσματα.</p> <p>Να περιγράφουν και να συνοψίζουν τάσεις δεδομένων και να παρεμβάλουν / να προεκτείνουν σε / από δεδομένα ή παρεχόμενες πληροφορίες.</p>
Εξαγωγή Συμπερασμάτων	<p>Να εξάγουν έγκυρα συμπεράσματα με βάση ενδείξεις ή / και την κατανόηση επιστημονικών εννοιών.</p> <p>Να εξάγουν συμπεράσματα που δείχνουν την κατανόηση της σχέσης αιτίου - αποτελέσματος.</p>
Γενίκευση	<p>Να εξάγουν/ αξιολογούν γενικά συμπεράσματα που υπερβαίνουν πειραματικές ή δεδομένες συνθήκες και να εφαρμόζουν τα συμπεράσματα σε νέες καταστάσεις.</p> <p>Να βρίσκουν γενικούς τύπους για να εκφράσουν φυσικές σχέσεις.</p>

Συλλογισμός και ανάλυση	
Δεξιότητες	Επιθυμητή συμπεριφορά του μαθητή
Αξιολόγηση	<p>Να σταθμίζουν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα για να παίρνουν αποφάσεις για εναλλακτικές διαδικασίες, υλικά και πηγές.</p> <p>Να λαμβάνουν υπόψη τους επιστημονικούς και κοινωνικούς παράγοντες για να εκτιμήσουν τις επιπτώσεις / συνέπειες των Φ.Ε. και της τεχνολογίας σε βιολογικά και φυσικά συστήματα.</p> <p>Να αξιολογούν εναλλακτικές ερμηνείες, στρατηγικές και λύσεις προβλημάτων.</p> <p>Να αξιολογούν αποτελέσματα ερευνών σε σχέση με την επάρκεια των δεδομένων για την υποστήριξη των συμπερασμάτων.</p>
Αιτιολόγηση	<p>Να χρησιμοποιούν ενδείξεις και επιστημονική κατανόηση για να αιτιολογούν ερμηνείες και λύσεις προβλημάτων.</p> <p>Να φτιάχνουν επιχειρήματα για να υποστηρίξουν τη λογικότητα των λύσεων προβλημάτων, των συμπερασμάτων ερευνών ή των επιστημονικών ερμηνειών.</p>