



ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΧΗΜΕΙΑΣ

**ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ**

**«ΔΙΔΑΚΤΙΚΗ ΤΗΣ ΧΗΜΕΙΑΣ ΚΑΙ
ΝΕΕΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ»**

ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ «ΔΙΔΑΚΤΙΚΗ ΤΗΣ ΧΗΜΕΙΑΣ»

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΟΣ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

**Διερεύνηση των αντιλήψεων και διαδικασιών μάθησης
μαθητών Γυμνασίου για την αλλαγή ιδιοτήτων υλικών
σωμάτων σε επίπεδο Νανοκλίμακας**

**ΜΑΡΙΑ ΤΣΕΤΣΕΡΗ
ΦΥΣΙΚΟΣ**

ΑΘΗΝΑ

ΜΑΡΤΙΟΣ 2017

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΟΣ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

Διερεύνηση των αντιλήψεων και διαδικασιών μάθησης μαθητών Γυμνασίου για την αλλαγή ιδιοτήτων υλικών σωμάτων σε επίπεδο Νανοκλίμακας

ΜΑΡΙΑ ΤΣΕΤΣΕΡΗ

A.M.: 131109

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:

Σταύρου Δημήτρης, Αναπληρωτής Καθηγητής του ΠΤΔΕ Πανεπιστημίου Κρήτης

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Χαλκιά Κρυσταλλία, Καθηγήτρια του ΠΤΔΕ του ΕΚΠΑ

Χρυσανθόπουλος Αθανάσιος, Επίκουρος Καθηγητής του Τμήματος Χημείας του ΕΚΠΑ

Σταύρου Δημήτρης, Αναπληρωτής Καθηγητής του ΠΤΔΕ του Πανεπιστημίου Κρήτης

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΕΞΕΤΑΣΗΣ 06/03/2017

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η νανοεπιστήμη και η νανοτεχνολογία αποτελούν αναδυόμενα πεδία μελέτης σε θεωρητικό και τεχνολογικό επίπεδο. Ο όρος νανοκλίμακα αναφέρεται σε αντικείμενα των οποίων οι διαστάσεις κυμαίνονται από 1 ως 100 νανόμετρα (10^{-9}m). Στη νανοκλίμακα τα υλικά επιδεικνύουν νέες, καινοφανείς συχνά μη αναμενόμενες ιδιότητες. Τα σώματα με διαστάσεις νάνο και ατομικής κλίμακας αλληλεπιδρούν με διάφορους τρόπους οι οποίοι περιγράφονται από δυνάμεις οι οποίες είναι ηλεκτρικής φύσης. Οι φυσικές και χημικές ιδιότητες των υλικών στη νανοκλίμακα καθορίζονται από το είδος των δυνάμεων και τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των υλικών, από τη μικροσκοπική δομή της ύλης και από την κβάντωση των επιτρεπόμενων ενεργειακών καταστάσεων. Οι νέες πληροφορίες και εφαρμογές που προέρχονται από την νανοεπιστήμη και την νανοτεχνολογία πρέπει να ενσωματωθούν στα προγράμματα σπουδών των Φυσικών Επιστημών.

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήσαμε το μεθοδολογικό πλαίσιο της «Διδακτικής Αναδόμησης», το οποίο παρέχει μία αναδραστική αλληλεπίδραση μεταξύ: (α) της ανάλυσης της δομής του επιστημονικού περιεχομένου από διδακτικής σκοπιάς, (β) των εμπειρικών ερευνών για τις αντιλήψεις και τις διαδικασίες μάθησης των μαθητών και (γ) του σχεδιασμού περιβαλλόντων μάθησης. Με βάση αυτό διερευνούμε τις αντιλήψεις των μαθητών Γυμνασίου για τις αλλαγές των ιδιοτήτων των υλικών καθώς προσεγγίζουμε την νανοκλίμακα και τις διαδικασίες μάθησης των μαθητών προς την κατάκτηση της επιστημονικής γνώσης.

Η εμπειρική έρευνα πραγματοποιήθηκε με μαθητές των Β' και Γ' τάξεων Γυμνασίου οργανωμένη σε δύο άξονες. Πρώτος άξονας ήταν η δημιουργία και η επεξεργασία προκαταρκτικού ανοιχτού ερωτηματολογίου καταγραφής των αντιλήψεων των μαθητών για τις ιδιότητες των υλικών και τις συνθήκες κάτω από τις οποίες οι ιδιότητες αλλάζουν. Ο δεύτερος και κεντρικός άξονας της εμπειρικής έρευνας ήταν η διεξαγωγή Διδακτικού Πειράματος, μίας μεθόδου συλλογής δεδομένων που συνδυάζει την κλασική συνέντευξη με στοιχεία διδασκαλίας. Το Διδακτικό Πείραμα στόχευε στην αναλυτική καταγραφή των αντιλήψεων των μαθητών και στην ανάπτυξης διδακτικής ενότητας διδασκαλίας των αλλαγών των ιδιοτήτων και των δυνάμεων που επιδρούν στην νανοκλίμακα καθώς και στην καταγραφή των διαδικασιών μάθησης.

Η εμπειρική έρευνα οδήγησε στα ακόλουθα συμπεράσματα: Οι μαθητές αναγνώρισαν την αλλαγή του μεγέθους ως μία παράμετρο που συνδέεται με αλλαγή ιδιοτήτων,

στοιχείο το οποίο δεν θεωρούσαν ότι επηρεάζει, τουλάχιστον τις εντατικές ιδιότητες, πριν τη διεξαγωγή του Διδακτικού Πειράματος. Επίσης, οι μαθητές κατάφεραν να εντοπίζουν τις νέες ιδιότητες που αναδύονται στην περιοχή της νανοκλίμακας, να τις περιγράφουν και σε κάποιο βαθμό να τις εξηγούν συνδέοντας την διαφορετική συμπεριφορά των υλικών με το διαφορετικό είδος δυνάμεων και την διαφορετική τους ισχύ σε κάθε κλίμακα μεγέθους.

ΘΕΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ: Διδακτική Φυσικών Επιστημών

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Μοντέλο Διδακτικής Αναδόμησης, Διδακτικό Πείραμα, ιδιότητες υλικών, Νανοκλίμακα

ABSTRACT

Nanoscience and nanotechnology are emerging fields in science and technology. Nanoscale is generally defined as including any material of which at least one dimension is 1 to 100 nanometers. In nanoscale, materials exhibit new and often unexpected properties. The physical and chemical properties of nanomaterials depend on the different kind of forces, on interactions between particles, on the nature of matter and on the quantization of energy states. This scientific knowledge must be integrated into Science Curriculum.

In the present work, we used the model of Educational Reconstruction, which provides a recursive procedure between: (a) Clarification and Analysis of Science Content, (b) Research on Teaching and Learning, (c) Design and Evaluation of Teaching and Learning Environments. Based on this model we investigated high school students' conceptions concerning the change in material properties, as nanoscale is reached and the learning processes towards scientific knowledge.

Our empirical study was conducted with 8th and 9th grade students following two axes. At the beginning we developed and analyzed an introductory questionnaire aiming at identification of students conceptions involving material properties and conditions under which properties change. The main part of our empirical study was based on a Teaching Experiment, which aimed at the development of a teaching sequence in studying material properties in nanoscale and at investigating students' learning processes.

Analyzing the results of our study we conclude the following: Students identify size as a parameter influencing material properties. As the Teaching Experiment completed, students were capable of describing and justifying the emerging properties in nanoscale, connecting different behavior to different kinds of forces and their different domination over different scales.

SUBJECT AREA: Science Education

KEYWORDS: Model of Educational Reconstruction, Teaching Experiment, material properties, nanoscale

Στις κόρες μου

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Αναπληρωτή Καθηγητή του ΠΤΔΕ του Πανεπιστημίου Κρήτης Δημήτρη Σταύρου, επιβλέποντα καθηγητή της παρούσας εργασίας, για την καθοδήγησή του σε όλη τη διάρκεια εκπόνησής της.

Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στην Καθηγήτρια του ΠΤΔΕ του ΕΚΠΑ Κρυσταλλία Χαλκιά και στον Επίκουρο Καθηγητή του Τμήματος Χημείας του ΕΚΠΑ Αθανάσιο Χρυσανθόπουλο για την συμμετοχή τους στην Τριμελή Εξεταστική Επιτροπή.

Οι συμβουλές της Χημικού Δρ. Κατερίνας Σάλτα, Επιστημονικού Συνεργάτη του ΔιΧηΝεΤ, ήταν καθοριστικές στην πραγματοποίηση της εργασίας. Την ευχαριστώ θερμά.

Ευχαριστώ τους μαθητές και τις μαθήτριες που συμπλήρωσαν τα ερωτηματολόγια και ιδιαίτερα αυτούς και αυτές που συμμετείχαν στο διδακτικό πείραμα. Η εργασία πραγματοποιήθηκε χάρη στην ενεργό συμβολή τους.

Η εργασία αυτή σηματοδοτεί την ολοκλήρωση μιας πορείας στο γνωστικό αντικείμενο της Διδακτικής της Χημείας και των Φυσικών Επιστημών ευρύτερα. Για αυτήν την ενδιαφέρουσα πορεία θα ήθελα να ευχαριστήσω τους καθηγητές και τις καθηγήτριες του Μεταπτυχιακού Προγράμματος που μου έδωσαν την δυνατότητα να συμμετάσχω στο πρόγραμμα του ΔιΧηΝεΤ και μου άνοιξαν νέους ορίζοντες μέσα από τη διδασκαλία τους.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τους συμφοιτητές και τις συμφοιτήτριες μου στο μεταπτυχιακό πρόγραμμα και ιδιαίτερα τη Μαρία Σμπιλή και τη Χαρούλα-Ελευθερία Λαμπριανάκη.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την συμπαράστασή της.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	19
1. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	21
1.1 Εισαγωγή.....	21
1.2 Προέλευση του Μοντέλου της Διδακτικής Αναδόμησης.....	22
1.3 Περιγραφή του Μοντέλου της Διδακτικής Αναδόμησης	23
1.3.1 Αποσαφήνιση και Ανάλυση του Επιστημονικού Περιεχομένου	23
1.3.2 Εμπειρικές Έρευνες Διδασκαλίας και Μάθησης.....	25
1.3.3 Σχεδιασμός και Αποτίμηση Περιβάλλοντων Διδασκαλίας και Μάθησης.....	26
1.4 Εφαρμογή του Μ.Δ.Α. στην παρούσα εργασία	26
2. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	29
2.1 Νανοεπιστήμη και Νανοτεχνολογία	29
2.2 Ιδιότητες υλικών στο επίπεδο Νανοκλίμακας.....	29
2.2.1 Απορροφητικότητα υλικών και σύνδεσή της με την τραχύτητα σε επίπεδο Νανοκλίμακας.....	31
2.2.2 Μαγνητικές ιδιότητες υλικών στη Νανοκλίμακα	33
2.3 Νανοεπιστήμη και Εκπαίδευση.....	36
2.3.1 Ανάγκη εισαγωγής της Νανοεπιστήμης στην Εκπαίδευση	36
2.3.2 Προγράμματα εισαγωγής Νανοεπιστήμης στην Εκπαίδευση.....	37
3. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	41
3.1 Εισαγωγή.....	41
3.2 Μεγάλες Ιδέες που σχετίζονται με τα υλικά, τις ιδιότητες και τις αλληλεπιδράσεις.	43
3.2.1 Τα υλικά και οι αλληλεπιδράσεις τους.....	43
3.2.2 Η κίνηση και η σταθερότητα: Δυνάμεις και αλληλεπιδράσεις	44
3.3 Μεγάλες Ιδέες στην Υποχρεωτική Εκπαίδευση	45
3.4 Μεγάλες Ιδέες για τις Ιδιότητες και τις Αλληλεπιδράσεις στη Νανοκλίμακα.....	47

3.5	Εμπόδια Μάθησης σε σχέση με τη Δυναμική και τις Αλληλεπιδράσεις.....	49
3.6	Εμπειρικές έρευνες σχετικά με τις ιδιότητες υλικών και τις δυνάμεις σε επίπεδο νανοκλίμακας	51
4.	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	53
4.1	Αναγκαιότητα.....	53
4.2	Διατύπωση Ερευνητικών Ερωτημάτων	53
5.	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	55
5.1	Ερευνητικές μέθοδοι ανάλυσης ποιοτικών δεδομένων	55
5.2	Ανάπτυξη ερωτήσεων ερωτηματολογίου	57
5.3	Επεξεργασία των απαντήσεων.....	59
5.3.1	Επεξεργασία 1ης ερώτησης.....	59
5.3.2	Επεξεργασία 2ης ερώτησης.....	64
5.3.3	Επεξεργασία 3ης ερώτησης.....	65
5.4	Σχόλια- Συμπεράσματα	66
6.	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6	67
6.1	Η μέθοδος του Διδακτικού Πειράματος.....	67
6.2	Σχεδιασμός και Διάρθρωση του Διδακτικού Πειράματος στην εργασία μας.....	70
6.2.1	Δομή Δ.Π.	71
7.	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7	77
7.1	Πραγματοποίηση του Δ.Π.....	77
7.1.1	Συμμετέχοντες.....	77
7.2	Ανάλυση των δεδομένων του Δ.Π.	78
7.2.1	Ανάλυση 1ης Δραστηριότητας: Στατικός ηλεκτρισμός και εμφάνισή του καθώς το μέγεθος μειώνεται.....	82
7.2.2	Ανάλυση 2ης Δραστηριότητας: Μεταβολή της απορροφητικότητας υλικού καθώς η επιφανειακή τραχύτητα γίνεται νανοτραχύτητα	88

7.2.3	Ανάλυση 3ης Δραστηριότητας: Μεταβολή μαγνητικών ιδιοτήτων (μαγνήτισης) σιδηρομαγνητικών υλικών καθώς μεταβαίνουμε στην νανοκλίμακα. Συμπεριφορά μαγνητικού υγρού (Ferrofluid).....	91
7.2.4	Ανάλυση Γενίκευσης: Σύνδεση των δραστηριοτήτων-Τελική συνέντευξη-Αξιολόγηση της διαδικασίας.	96
8.	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8	99
8.1	Συμπεράσματα- Επίδραση στη διδασκαλία.....	99
8.2	Προοπτικές.....	102
9.	ΠΙΝΑΚΑΣ ΟΡΟΛΟΓΙΑΣ	104
10.	ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ – ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΑ – ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ	105
11.	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι	106
12.	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ	113
13.	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ	121
14.	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙV	125
15.	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ V	129
	ΑΝΑΦΟΡΕΣ	134

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1: Σύνοψη της αναδραστικής διαδικασίας του ΜΔΑ	27
Σχήμα 2: Είδη ποιοτικών δεδομένων και αντίστοιχων μεθόδων	56
Σχήμα 3: Περιγραφή του σιδήρου.....	60
Σχήμα 4: Περιγραφή του γυαλιού.....	61
Σχήμα 5: Περιγραφή του αλατιού	62
Σχήμα 6: Περιγραφή του οινόπνεύματος	62
Σχήμα 7: Περιγραφή του διοξειδίου του άνθρακα	63
Σχήμα 8: Αιτιολόγηση επιλογής χαρακτηριστικών	64
Σχήμα 9: Αλλαγή ιδιοτήτων	66
Σχήμα 10 : Ορισμός ιδιοτήτων	79
Σχήμα 11: Παραδείγματα ιδιοτήτων	79
Σχήμα 12: Χαρακτηριστικά ηλεκτρικών και μαγνητικών δυνάμεων.....	81

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Συνιστώσες του Μοντέλου της Διδακτικής Αναδόμησης	22
Εικόνα 2: Βήματα για τη δημιουργία Δομής Περιεχομένου προς Διδασκαλία	24
Εικόνα 3: Η εξίσωση του Young μπορεί επίσης να ερμηνευτεί ως ισορροπία δυνάμεων σε στην γραμμή επαφής τριών φάσεων, η επιφανειακή τάση είναι η ενέργεια ανά μονάδα επιφάνειας ισοδύναμη με την δύναμη ανά μονάδα μήκους που ασκείται στη γραμμή επαφής	32
Εικόνα 4: Υδρόφοβη και υδρόφιλη συμπεριφορά	32
Εικόνα 5: Συμπεριφορά σταγόνας σε τραχιά επιφάνεια. Αριστερά, το υγρό εισδύει μέσα στις αιχμές (κατάσταση Wenzel) και δεξιά, το υγρό αιωρείται πάνω στις αιχμές (κατάσταση Cassie-Baxter) ¹⁵	33
Εικόνα 6: Δημιουργία μαγνητικού υγρού ¹⁷	35
Εικόνα 7: Μαγνητικό υγρό σε μαγνητικό πεδίο	36
Εικόνα 8: Τέσσερις φάσεις της πορείας ενός Δ.Π.	69
Εικόνα 9 :Δοχεία με μεγάλα και μικρά κομμάτια φελιζόλ μετά από τριβή με ύφασμα	72
Εικόνα 10: Σταγόνα νερού πάνω στο ύφασμα που δεν απορροφά	73
Εικόνα 11: Μαγνήτης επιδρά σε ferrofluid και σε ρινίσματα σιδήρου	74
Εικόνα 12: Σχεδιασμός των δυνάμεων πάνω στα μικρά και στα μεγάλα κομμάτια φελιζόλ.....	88
Εικόνα 13 Εσωτερικό σιδηρομαγνητικών υλικών και επίδραση με μαγνήτη	94
Εικόνα 14: Βρόχος υστέρησης σιδηρομαγνητικού υλικού.....	107
Εικόνα 15: Βρόχος υστέρησης σε μία περιοχή Weiss	110
Εικόνα 16 : Δυνάμεις που ασκούνται πάνω σε μία σταγόνα νερού που βρίσκεται σε ύφασμα συγκεκριμένης επιφανειακής ταρχύτητας.....	124
Εικόνα 17 : Εσωτερικό σιδηρομαγνητικού υλικού	126
Εικόνα 18: Εσωτερικό μαγνητικού υγρού	128
Εικόνα 19: Δυνάμεις πάνω στα υγρά των τριών δοκιμαστικών σωλήνων	133

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Ερωτήσεις- κλειδιά της Διδακτικής Ανάλυσης ²	22
Πίνακας 2: Η θεμελιώδης αλληλεπίδραση των διδακτικών μεταβλητών.....	23
Πίνακας 3: Υπονοούμενες υποθέσεις για τα ΕΜ.....	51
Πίνακας 4: Πίνακας ορολογίας με τις αντιστοιχίσεις των ελληνικών και ξενόγλωσσων όρων.....	104
Πίνακας 5: Πίνακας ακρωνυμίων και ανάπτυξή τους	105

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τις τελευταίες δεκαετίες οι Φυσικές Επιστήμες έχουν στραφεί στη ανάπτυξη και μελέτη διατάξεων με ολοένα και μικρότερες διαστάσεις. Η δημιουργία διατάξεων και εφαρμογών που προσεγγίζουν την νανοκλίμακα δηλαδή διατάξεις όπου τουλάχιστον μία διάστασή τους είναι από 1 έως 100 δισεκατομμυριστά του μέτρου (nm) οδήγησε σε υλικά με ιδιότητες καινοτόμες που υπόσχονται να βελτιώσουν την ποιότητα της ζωής μας.

Η εισαγωγή των σύγχρονων ιδεών και των καινοτόμων εφαρμογών στην σχολική τάξη αποτελεί επιδίωξη στα πλαίσια των αναλυτικών προγραμμάτων. Στο ελληνικό χώρο και διεθνώς έχουν καταγραφεί αξιόλογες προσπάθειες ανάπτυξης εκπαιδευτικού υλικού και διδακτικών ενοτήτων που αποσκοπούν στον μετασχηματισμό της επιστημονικής γνώσης σε υλικό, έννοιες και προτάσεις (Μεγάλες Ιδέες) προς διδασκαλία.

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, εργαζόμενοι στο μεθοδολογικό πλαίσιο της Διδακτικής Αναδόμησης, διερευνούμε τις αντιλήψεις μαθητών Γυμνασίου για τις αλλαγές των ιδιοτήτων των υλικών σωμάτων σε επίπεδο Νανοκλίμακας και για τις διαδικασίες μάθησης με στόχο την κατάκτηση της επιστημονικής γνώσης.

Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζεται αναλυτικά το μεθοδολογικό πλαίσιο της Διδακτικής Αναδόμησης, η προέλευσή του και αναλύονται οι συνιστώσες του.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύονται τα βασικά σημεία του επιστημονικού περιεχομένου που διαμορφώνει το προς διδασκαλία υλικό. Αναφέρονται προγράμματα, σε διεθνές και ελληνικό επίπεδο, εισαγωγής της Νανοεπιστήμης στην εκπαίδευση.

Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφονται οι Μεγάλες Ιδέες, προτάσεις που περιγράφουν τους διδακτικούς στόχους σε κάθε βαθμίδα εκπαίδευσης, στον τομέα της Νανοεπιστήμης και καταγράφονται έρευνες μελέτης των ιδιοτήτων των υλικών και της εμφάνισης και εξήγησης συμπεριφοράς υλικών που εμφανίζονται στην βιβλιογραφία.

Στο τέταρτο κεφάλαιο τεκμηριώνεται η αναγκαιότητα της συγκεκριμένης εργασίας και διατυπώνονται τα ερευνητικά ερωτήματα.

Στο πέμπτο κεφάλαιο η εμπειρική έρευνα ξεκινά με τη δημιουργία και την επεξεργασία αρχικού ερωτηματολογίου καταγραφής των αρχικών αντιλήψεων των μαθητών για τις ιδιότητες των υλικών και τις αλλαγές τους.

Στο έκτο κεφάλαιο αναπτύσσεται η μέθοδος του Διδακτικού Πειράματος, η προσαρμογή του στον τομέα των Φυσικών Επιστημών και πώς αυτό διαμορφώθηκε στα πλαίσια της εμπειρικής μας έρευνας.

Στο έβδομο κεφάλαιο παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα της εφαρμογής. Για την επεξεργασία των δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν μέθοδοι επεξεργασίας ποιοτικών δεδομένων και συγκεκριμένα η μέθοδος της διαρκούς σύγκρισης. Τα δεδομένα αναλύθηκαν και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα καθώς και η σύγκριση με την βιβλιογραφία.

Στο όγδοο κεφάλαιο αναλύονται τα συμπεράσματα, διατυπώνονται οδηγίες και αναφέρονται προοπτικές.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

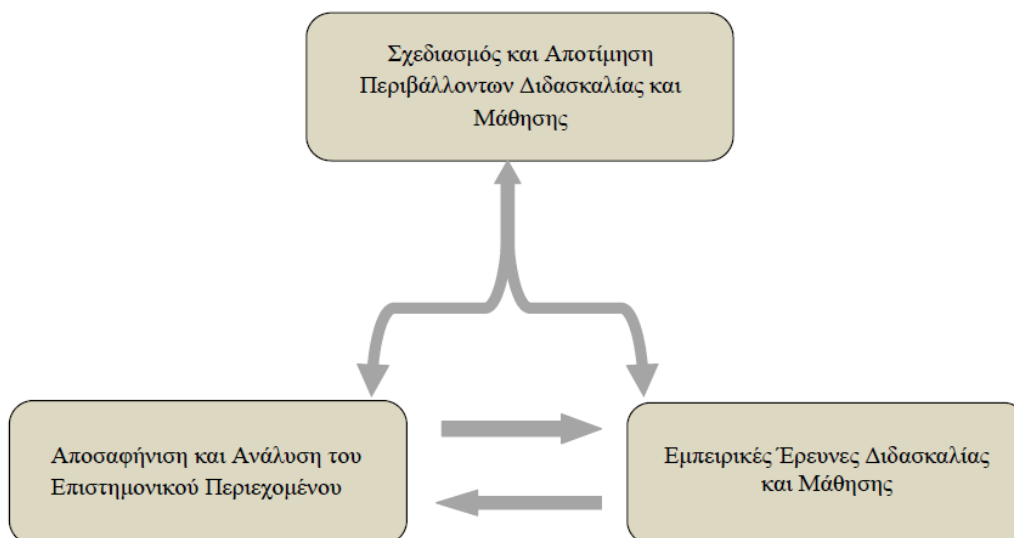
ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΗΣ ΔΙΔΑΚΤΙΚΗΣ ΑΝΑΔΟΜΗΣΗΣ

1.1 Εισαγωγή

Μία σημαντική επιδίωξη των ερευνητών της διδακτικής των Φυσικών Επιστημών (Φ.Ε.) είναι η βελτίωση των εκπαιδευτικών πρακτικών σε όλες τις βαθμίδες εκπαίδευσης και η ανάπτυξη αποτελεσματικότερων τρόπων διδασκαλίας και μάθησης. Μεθοδολογικό πλαίσιο της παρούσας εργασίας αποτελεί το Μοντέλο της Διδακτικής Αναδόμησης (The Model of Educational Reconstruction) που συνιστά ένα μεθοδολογικό πλαίσιο έρευνας της διδακτικής των Φ.Ε. το οποίο διαμορφώθηκε στα μέσα της δεκαετίας του '90 από τους Duit, Gropengießer, Kattmann και Komorek¹. Το Μοντέλο της Διδακτικής Αναδόμησης (Μ.Δ.Α.) βασίζεται στην ευρωπαϊκή παράδοση της Διδακτικής των Φ.Ε. προσαρμοσμένης κυρίως στη γερμανική εκπαιδευτική παράδοση και εξετάζει κατά πόσο είναι εκπαιδευτικά αξιόλογο και εφικτό να διδαχθούν συγκεκριμένα επιστημονικά αντικείμενα το περιεχόμενο των οποίων πρέπει να υποβληθεί σε συγκεκριμένες διαδικασίες αναδόμησης.

Το Μ.Δ.Α.¹ αποτελείται από τρεις βασικές αλληλεπιδρούσες συνιστώσες (Εικόνα 1)

- α) Αποσαφήνιση και ανάλυση της Δομής του Επιστημονικού Περιεχομένου από διδακτικής πλευράς,
- β) Εμπειρικές έρευνες των αντιλήψεων και των διαδικασιών μάθησης μαθητών και εκπαιδευτικών και
- γ) Σχεδιασμός και αξιολόγηση περιβάλλοντων μάθησης (πιλοτικών ερευνών, δραστηριοτήτων μάθησης, διδακτικών και μαθησιακών ενοτήτων).



Εικόνα 1: Συνιστώσες του Μοντέλου της Διδακτικής Αναδόμησης

1.2 Προέλευση του Μοντέλου της Διδακτικής Αναδόμησης

Στα πλαίσια της γερμανικής εκπαιδευτικής παράδοσης πρέπει να ακολουθηθεί μία αναλυτική διαδικασία κατά την οποία η γνώση σε συγκεκριμένους επιστημονικούς τομείς μετασχηματίζεται σε γνώση προς διδασκαλία.

Προς αυτή την κατεύθυνση καταγράφονται δύο σημαντικές εργασίες που καθόρισαν τη μετέπειτα διαμόρφωση του Μ.Δ.Α.

Η εργασία του Klafki *Didaktische Analyse* (Διδακτική Ανάλυση)², που δημοσιεύτηκε το 1969 με κέντρο τις πέντε ερωτήσεις του Πίνακα 1

Πίνακας 1: Ερωτήσεις- κλειδιά της Διδακτικής Ανάλυσης²

1.	<i>Ποια είναι η πιο γενική ιδέα που παριστάνεται στο περιεχόμενο που μας ενδιαφέρει; Ποια βασικά φαινόμενα ή βασικές αρχές, ποιοι γενικοί νόμοι, κριτήρια, μέθοδοι, τεχνικές ή στάσεις μπορούν χρησιμοποιηθούν με υποδειγματικό τρόπο όταν ασχολούμαστε με το περιεχόμενο;</i>
2.	<i>Ποια είναι η σημασία του περιεχομένου ή των εμπειριών, γνώσης, δυνατοτήτων και δεξιοτήτων που θα αποκτηθούν κατά την ενασχόληση με το περιεχόμενο στην πραγματική πνευματική ζωή των μαθητών;</i>
3.	<i>Ποια είναι η σημασία του περιεχομένου στη μελλοντική ζωή των μαθητών;</i>
4.	<i>Ποια είναι η δομή του περιεχομένου αν ειδωθεί από τις παιδαγωγικές απόψεις που σκιαγραφούνται στις ερωτήσεις 1-3;</i>
5.	<i>Ποιες συγκεκριμένες περιπτώσεις, φαινόμενα, καταστάσεις, πειράματα επιτρέπουν να γίνει η παραπάνω δομή ενδιαφέρουσα, αξία διερεύνησης, προσιτή και κατανοητή από τους μαθητές;</i>

και οι οδηγίες των Heimann, Otto και Schulz το 1969¹, όπου δήλωσαν τη θεμελιώδη αλληλεξάρτηση όλων των διδακτικών μεταβλητών. Απευθύνουν τέσσερις ερωτήσεις-κλειδιά που διαμορφώνουν τη διαδικασία σχεδιασμού διδασκαλίας: Γιατί;- Τι; - Πως; - Με τι; Στον Πίνακα 2 απεικονίζεται η αλληλεπίδραση των βασικών μεταβλητών μιας διδασκαλίας.

Πίνακας 2: Η θεμελιώδης αλληλεπίδραση των διδακτικών μεταβλητών

Προθέσεις (στόχοι και σκοποί)	Αντικείμενο διδασκαλίας (περιεχόμενο)	Μέθοδοι διδασκαλίας	Μέσα διδασκαλίας
Γιατί;	Τι;	Πως;	Με τι;
ΜΑΘΗΤΕΣ: αφορά γνωστικές, συναισθηματικές και κοινωνικοπολιτισμικές προϋποθέσεις (π.χ. προϋπάρχουσες αντιλήψεις, ενδιαφέροντα, στάσεις, κοινωνικό περιβάλλον κλπ.)			

1.3 Περιγραφή του Μοντέλου της Διδακτικής Αναδόμησης

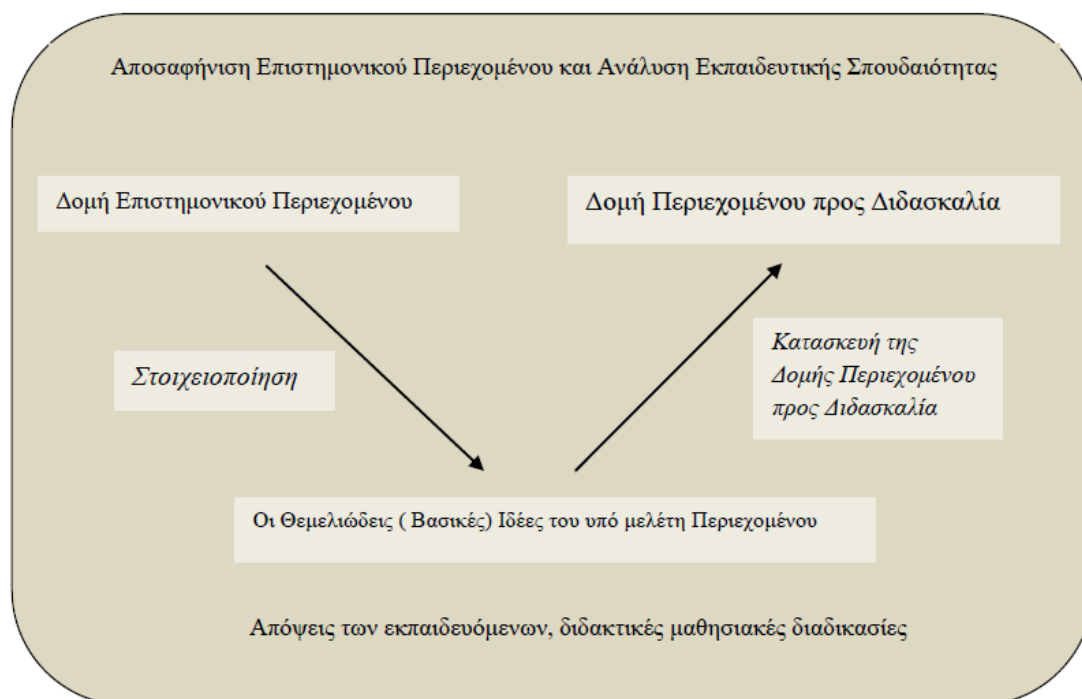
Το ΜΔΑ στηρίζεται στην κονστρουκτιβική επιστημολογική θέση σύμφωνα με την οποία οι εναλλακτικές ιδέες των μαθητών δεν αποτελούν εμπόδια αλλά τη βάση εκκίνησης για τη διαμόρφωση διαδικασιών μάθησης^{3,4,5}. Η Διδακτική Αναδόμηση συνιστά μια αλληλεπιδραστική και σπειροειδής διαδικασία. Οι δραστηριότητες ταξινομούνται με βάση τρεις κύριες συνιστώσες του μοντέλου: α) Αποσαφήνιση και Ανάλυση του Επιστημονικού Περιεχομένου, β) Εμπειρικές Έρευνες Διδασκαλίας και Μάθησης και γ) Σχεδιασμός και Αποτίμηση Περιβάλλοντων Διδασκαλίας και Μάθησης.

1.3.1 Αποσαφήνιση και Ανάλυση του Επιστημονικού Περιεχομένου

Αυτή η συνιστώσα στοχεύει στην αποσαφήνιση του αντικειμένου και στην ανάλυση της εκπαιδευτικής του σημασία που αποτελούν δύο στενά συνδεδεμένες διαδικασίες. Η αποσαφήνιση του υπό μελέτη αντικειμένου ξεκινά με την ποιοτική ανάλυση των επιστημονικών συγγραμμάτων λαμβάνοντας υπόψη και την ιστορική εξέλιξη των θεμάτων. Η ανάλυση πρέπει να πραγματοποιηθεί κριτικά καθώς η επιστημονική γνώση, επειδή απευθύνεται σε ειδικούς, παρουσιάζεται στα επιστημονικά συγγράμματα με ένα

επιγραμματικό και συμπυκνωμένο τρόπο. Επίσης, κατά τη ανάλυση των ακαδημαϊκών συγγραμμάτων μπορούν να εντοπιστούν γλωσσικά παρωχημένες εκφράσεις, παραπλανητικές έννοιες και λέξεις με διαφορετικές ερμηνείες στην επιστήμη και στην καθημερινότητα. Παράλληλα, πρέπει να διερευνηθούν οι εναλλακτικές ιδέες των μαθητών για τα συγκεκριμένα επιστημονικά θέματα προκειμένου να συνεισφέρουν στην κριτική θεώρηση και αποσαφήνιση του επιστημονικού περιεχομένου.

Βασική ιδέα της Διδακτικής Αναδόμησης είναι ότι η συγκεκριμένη δομή περιεχομένου πρέπει να μετασχηματιστεί σε δομή περιεχομένου προς διδασκαλία. Στην Εικόνα 2 παρουσιάζεται μία απεικόνιση αυτού του μετασχηματισμού.



Εικόνα 2: Βήματα για τη δημιουργία Δομής Περιεχομένου προς Διδασκαλία

Στην Εικόνα 2 εμφανίζονται δύο διαδικασίες κατά την πραγματοποίηση των οποίων, θέματα που αφορούν το επιστημονικό περιεχόμενο αλλά και τις απόψεις των μαθητών πρέπει να ληφθούν από κοινού υπόψη. Η πρώτη είναι η διαδικασία της Στοιχειοποίησης (Elementarization) που οδηγεί στις θεμελιώδεις (βασικές) ιδέες του υπό εξέταση περιεχομένου. Το επιστημονικό περιεχόμενο συνίσταται κυρίως από το σύνολο των επιστημονικών εννοιών

και αρχών αλλά έρευνες έχουν καταδείξει ότι θέματα που αφορούν επιστημονικές διαδικασίες (science inquiry), τη φύση της επιστήμης και τη σύνδεσή τους με την καθημερινότητα πρέπει να ληφθούν υπόψη.

Η δεύτερη είναι η διαδικασία της Κατασκευής της Δομής Περιεχομένου προς Διδασκαλία. Δεν πρέπει να υπάρξει σύγχυση ανάμεσα σε αυτό που κάποιοι δάσκαλοι και ερευνητές αποκαλούν απλοποίηση (reduction) προκειμένου το υπό διδασκαλία περιεχόμενο να γίνει απλούστερο από το επιστημονικό περιεχόμενο και στην παραπάνω ανάλυση. Κατά κάποιον τρόπο η Δομή του Περιεχομένου που θα διδαχθεί θα πρέπει να είναι πιο πολύπλοκη από τη Δομή του Επιστημονικού Περιεχομένου προκειμένου να καλύπτει τις ανάγκες των μαθητών. Είναι επομένως αναγκαίο να εμβαπτιστεί η αφαιρετική επιστημονική γνώση σε μία πλειονότητα πεδίων ώστε να ανταποκρίνεται στις μαθησιακές δυνατότητες κι δυσκολίες των υποκειμένων μάθησης.

1.3.2 Εμπειρικές Έρευνες Διδασκαλίας και Μάθησης

Αποτελεί ένα από τα μεγαλύτερα πεδία ερευνών στα πλαίσια της διδακτικής των επιστημών⁶. Οι κυριότερες κατηγορίες ενασχόλησης των ερευνητών είναι: (α) η μάθηση των μαθητών (student learning) και αναλυτικά οι απόψεις τους πριν τις παρεμβάσεις, οι αναπαραστάσεις και οι πεπτοιθήσεις των μαθητών, η εννοιολογική αλλαγή, η επίλυση προβλήματος, συναισθηματικές μεταβλητές που αφορούν τη μάθηση όπως στάσεις, κίνητρα, ενδιαφέροντα, προσωπικές έννοιες (self-concept), διαφορές ανάμεσα στα φύλα, (β) η διδασκαλία (διδακτικές στρατηγικές, καταστάσεις στην τάξη και κοινωνικές αλληλεπιδράσεις, γλώσσα και ομιλία) (γ) σκέψη και πρακτική των δασκάλων (απόψεις των δασκάλων για τις επιστημονικές έννοιες και αρχές, επιστημονικές διαδικασίες, τη φύση της επιστήμης, τις αντιλήψεις τους για τη διδασκαλία και τις διαδικασίες μάθησης, την επαγγελματική ανάπτυξη των δασκάλων), (δ) μέσα και μέθοδοι διδασκαλίας, απασχόληση στο εργαστήριο, πολυμέσα, ποικίλα μέσα και μέθοδοι (ε) μαθητική αποτίμηση (μέθοδοι καταγραφής της επίδοσης των μαθητών και της ανάπτυξης συναισθηματικών μεταβλητών).

1.3.3 Σχεδιασμός και Αποτίμηση Περιβάλλοντων Διδασκαλίας και Μάθησης

Τα αποτελέσματα των εμπειρικών ερευνών σε συνδυασμό με την αποσαφήνιση και ανάλυση του επιστημονικού περιεχομένου θα αποτελέσουν τα θεμέλια για τον σχεδιασμό κατάλληλων μαθησιακών δραστηριοτήτων, υλικού διδασκαλίας καθώς και διδακτικών, μαθησιακών ακολουθιών.

Το υλικό και οι δραστηριότητες που αναπτύσσονται αποτιμώνται με διάφορες ποσοτικές και ποιοτικές μεθόδους. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργείται μία βαθύτερη σχέση αλληλεπίδρασης ανάμεσα στην ανάπτυξη εκπαιδευτικού υλικού και στην εμπειρική έρευνα.

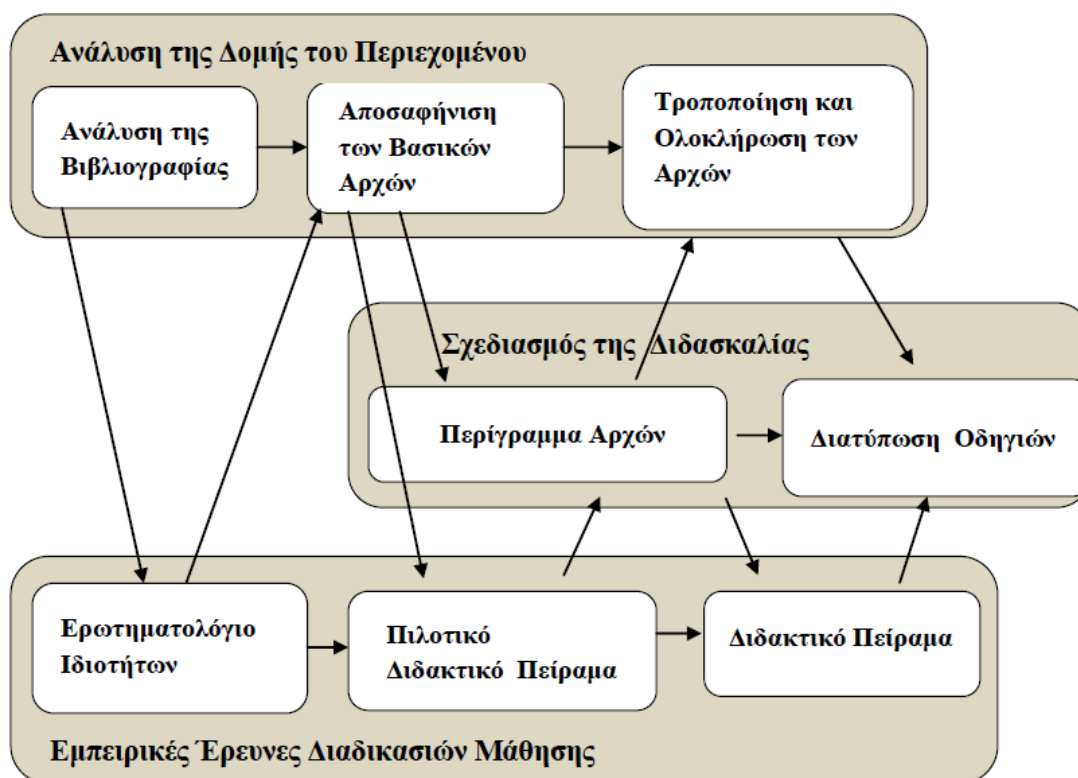
Από την παραπάνω ανάλυση είναι εμφανές ότι οι τρεις συνιστώσες που αποτελούν το ερευνητικό πλαίσιο αλληλεπιδρούν ισχυρά. Στην πράξη αναπτύσσεται μία σύνθετη διαδικασία βήμα προς βήμα που κάθε συνιστώσα ανατροφοδοτεί την άλλη^{7,8}.

1.4 Εφαρμογή του Μ.Δ.Α. στην παρούσα εργασία

Στην παρούσα εργασία το Μ.Δ.Α. εφαρμόστηκε στη διερεύνηση των αντιλήψεων μαθητών Γυμνασίου και στη μελέτη των διαδικασιών μάθησης σχετικά με την αλλαγή των ιδιοτήτων των υλικών σωμάτων καθώς μεταβαίνουμε σε επίπεδο Νανοκλίμακας και στο είδος των δυνάμεων που επικρατούν σε κάθε κλίμακα μεγέθους.

Τα βασικά σημεία της έρευνας, της ανάλυσης και της επεξεργασίας συνοψίζονται στα ακόλουθα στάδια: Πραγματοποιήθηκε ανάλυση της βιβλιογραφίας και εντοπίστηκαν τα κύρια σημεία του επιστημονικού περιεχομένου των ιδιοτήτων υλικών στην νανοκλίμακα και ο καθορισμός των βασικών ιδεών σε συνδυασμό με προγράμματα διδασκαλίας θεμάτων νανοεπιστήμης (Κεφάλαιο 2). Ακολούθως αλλά και αναδραστικά έγινε βιβλιογραφική έρευνα για τις ιδέες των μαθητών σχετικά με τις αλλαγές των ιδιοτήτων και μελέτη των Προτύπων Κ-12 (Standards) στην Εκπαίδευση των Φ. Ε. (A framework for K-12 Science Education) γύρω από τέσσερις Μεγάλες Ιδέες ή Βασικές Ιδέες (Core Ideas) στις Φ. Ε. επικεντρώνοντας στην περίπτωση της νανοκλίμακας (Κεφάλαιο 3). Διερευνήθηκαν οι απόψεις μαθητών Γυμνασίου σχετικά με τις ιδιότητες των υλικών και τις συνθήκες κάτω

από τις οποίες οι ιδιότητες αλλάζουν με χορήγηση ερωτηματολογίου. Με βάση τα παραπάνω διαμορφώθηκαν οι βασικές αρχές των δραστηριοτήτων, οι οποίες ελέγχθηκαν με πιλοτικό Διδακτικό Πείραμα (Δ.Π.). Από την ανάλυση της πιλοτικής εφαρμογής ανατροφοδοτήθηκε η όλη διαδικασία και διαμορφώθηκε η τελική μορφή των δραστηριοτήτων. Τα αποτελέσματα της τελικής εφαρμογής του Δ.Π. οδηγούν στη διατύπωση οδηγιών σχετικά με την δυνατότητα ένταξης διδακτικών ενοτήτων που αναφέρονται στην αλλαγή των ιδιοτήτων σε επίπεδο Νανοκλίμακας (Σχήμα 1).



Σχήμα 1: Σύνοψη της αναδραστικής διαδικασίας του Μ.Δ.Α.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΝΑΝΟΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑΣ

2.1 Νανοεπιστήμη και Νανοτεχνολογία

Με τον όρο Νανοεπιστήμη αναφερόμαστε στο πεδίο των Φυσικών Επιστημών, όπου οι ερευνητές μελετούν φαινόμενα στη κλίμακα του νανόμετρου ($\text{nm} = 10^{-9} \text{ m}$). Η νανοκλίμακα είναι ιδιαίτερη και μοναδική καθώς αποτελεί το όριο στο οποίο συναντώνται οι περιοχές του μακρο επιπέδου και του ατομικού επιπέδου. Στο όριο αυτό αναδύονται εξωτικές ιδιότητες της ύλης, καθώς αποτελεί το όριο μετάβασης από την Κλασική Μηχανική στην Κβαντομηχανική. Τα κυματικά χαρακτηριστικά των σωματιδίων του νανόκοσμου τροποποιούν κατά πολύ τις ιδιότητες των γνωστών bulk, καθώς το μέγεθος των σωματιδίων προσεγγίζει το νανόμετρο: τα μέταλλα γίνονται ημιαγωγοί ή μονωτές. Οι μοναδικές οπτικές ιδιότητες των κβαντικών τελειών (Quantum Dots) που εξαρτώνται από το μέγεθος τους έχουν δραστηριοποιήσει τους ερευνητές στην κατεύθυνση της ενσωμάτωσής τους στις επόμενες γενιές οπτοηλεκτρονικών και βιοϊατρικών εφαρμογών⁹. Η Νανοεπιστήμη αποτελεί διαθεματική προσέγγιση της Φυσικής, της Χημείας, της Βιολογίας, της Επιστήμης των Υλικών.

Τις τελευταίες δεκαετίες έχει παρατηρηθεί μία αλματώδης ανάπτυξη στο πεδίο της Νανοεπιστήμης και της Νανοτεχνολογίας με την παραγωγή πλήθους θεωρητικών εργασιών αλλά και τεχνολογικών εφαρμογών που πολύ συχνά φτάνουν στα όρια της επιστημονικής φαντασίας. Ακόμα μεγαλύτερο ρυθμό αύξησης συναντάμε στις τεχνολογικές εφαρμογές που βασίζονται στην νανοτεχνολογία. Στην αγορά εμφανίζονται καθημερινά νοουϊλικά που παρουσιάζουν μοναδικές ιδιότητες. Το πλήθος των προϊόντων που χρησιμοποιούν την νανοτεχνολογία εκτείνονται σε ένα τεράστιο εύρος ξεκινώντας από συστήματα αυτο-καθαρισμού^{10,11} έως συστήματα μεταφοράς καυσίμων στο διάστημα¹².

2.2 Ιδιότητες υλικών στο επίπεδο Νανοκλίμακας

Μεταξύ της ατομικής κλίμακας και των μακροσκοπικών διαστάσεων υπάρχει μία περιοχή όπου η συμπυκνωμένη ύλη εμφανίζει κάποιες αξιοσημείωτα

μοναδικές ιδιότητες όπου μπορούν να διαφέρουν σημαντικά από τις φυσικές ιδιότητες των μακροσκοπικών υλικών. Πολλές από αυτές τις ασυνήθιστες ιδιότητες είναι γνωστές αλλά υπάρχουν και άλλες που ανακαλύπτονται συνεχώς. Πολλές από τις φυσικές ιδιότητες των νανοϋλικών πηγάζουν από διαφορετικά φυσικά χαρακτηριστικά, τα οποία είναι για παράδειγμα, α) το μεγάλο ποσοστό των ατόμων στην επιφάνεια, β) η μεγάλη επιφανειακή ενέργεια, γ) ο χωρικός εντοπισμός σε κάποια διάσταση και δ) το μειωμένο ποσοστό προσμίξεων.

Ενδεικτικά, ο Cao αναφέρει¹³(σελ 352-384) ότι μερικές από τις σημαντικές ιδιότητες των νανοσωματιδίων είναι :

- i. Τα νανοϋλικά έχουν σημαντικά μειωμένα σημεία τήξης ή θερμοκρασία αλλαγής φάσης και μειμένες σταθερές πλέγματος εξαιτίας του μεγάλου ποσοστού των ατόμων στην επιφάνεια σε σχέση με τον συνολικό αριθμό των ατόμων.
- ii. Οι μηχανικές ιδιότητες των νανοϋλικών μπορεί να προσεγγίσουν την θεωρητική τιμή της αντοχής, που είναι μία ή δύο τάξεις μεγέθους μεγαλύτερη από αυτή των μονοκρυστάλλων. Η ενίσχυση της μηχανικής αντοχής οφείλεται στην μειωμένη πιθανότητα ατελειών.
- iii. Οι οπτικές ιδιότητες των νανοϋλικών διαφέρουν σημαντικά από αυτών των bulk. Για παράδειγμα η κορυφή οπτικής απορρόφησης ενός ημιαγωγικού νανοσωματιδίου μετατοπίζεται σε μικρότερο μήκος κύματος εξαιτίας της αύξησης του ενεργειακού χάσματος. Το χρώμα των μεταλλικών νανοσωματιδίων μπορεί να αλλάξει καθώς μεταβάλλεται το μέγεθός τους εξαιτίας συντονισμού επιφανειακών πλάσμονίων
- iv. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα μεταβάλλεται με την μείωση της διάστασης καθώς αλλάζει ο εντοπισμός και οι μηχανισμοί σκέδασης
- v. Οι μαγνητικές ιδιότητες των υλικών τροποποιούνται και εμφανίζονται φαινόμενα υπερπαραμαγνητισμού.

2.2.1 Απορροφητικότητα υλικών και σύνδεσή της με την τραχύτητα σε επίπεδο Νανοκλίμακας

Τα φαινόμενα διαβροχής είναι ευρέως διαδεδομένα στη φύση και στην τεχνολογία. Ένα στερεό υπόστρωμα εκτεθειμένο στο περιβάλλον καλύπτεται πολύ συχνά από ένα στρώμα ρευστού. Στην περίπτωση αυτή οι επιφανειακές δυνάμεις θα οδηγήσουν στην διαβροχή ή όχι. Η φύση των δυνάμεων που αναπτύσσονται στις διεπιφάνειες θα καθορίσουν τη μορφή της αλλαγής φάσης που περιγράφει τη διαβροχή καθώς η έρευνα έχει συνδέσει τους κρίσιμους εκθέτες με τις δυνάμεις στις διεπιφάνειες. Αυτές οι «χημικές» αλληλεπιδράσεις αποτελούν μικρής εμβέλειας αλληλεπιδράσεις καθώς περιορίζονται στην κλίμακα των μορίων. Πέρα από της μικρής εμβέλειας αλληλεπιδράσεις εμφανίζονται δυνάμεις van der Waals, δυνάμεις μεγάλης εμβέλειας που εξαιτίας του αργού ρυθμού μείωσης τους επιδρούν σε μεγάλες αποστάσεις. Οι δυνάμεις van der Waals και οι ηλεκτροστατικές δυνάμεις θα καθορίσουν αν ένα υγρό θα διαβρέξει ή όχι μια επιφάνεια¹⁴.

Η διαβροχή μιας στερεάς επιφάνειας είναι μία σημαντική ιδιότητα καθώς ο έλεγχος της διαβροχής μιας επιφάνειας καθορίζει πολλές πρακτικές εφαρμογές. Οι υπερυδροφοβικές επιφάνειες έχουν προσελκύσει το επιστημονικό αλλά και το τεχνολογικό ενδιαφέρον κυρίως εξαιτίας των ιδιοτήτων αυτοκαθαρισμού¹⁰.

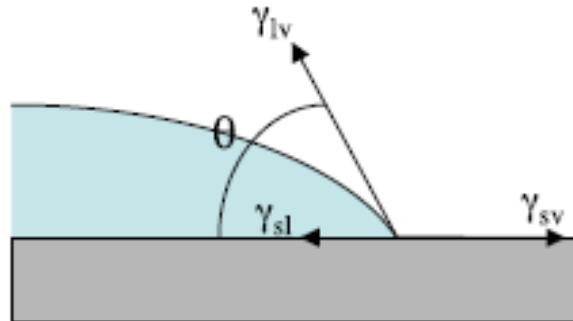
Η διαβροχή μίας επίπεδης επιφάνειας περιγράφεται από την γωνία επαφής (contact angle-CA) θ μίας σταγόνας νερού η οποία δίνονται από τη εξίσωση Young

$$\cos \theta = \frac{\gamma_{SV} - \gamma_{SL}}{\gamma_{LV}}, \text{ όπου } \gamma_{SV}, \gamma_{SL} \text{ και } \gamma_{LV} \text{ οι διεπιφανειακές τάσεις όπου S, L,}$$

και V αντιστοιχεί στο στερεό, στο υγρό και στο αέριο.

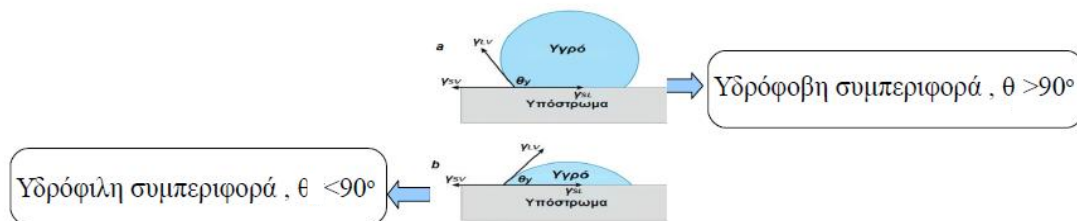
Οι επιφανειακές τάσεις ορίζονται όταν οι τρεις φάσεις στερεά, υγρή και αέρια είναι τουλάχιστον σε μηχανική ισορροπία (ισοροπία δυνάμεων). Επιπλέον, θεωρούμε χημική ισορροπία (ισορροπία χημικών δυναμικών κάθε παράγοντα) και θερμική ισορροπία (σύμπτωση θερμοκρασιών) μεταξύ του στερεού, του υγρού και του αερίου¹⁴. Η γωνία Young είναι το αποτέλεσμα

θερμοδυναμικής ισορροπίας της ελεύθερης ενέργειας στις επιφάνειες επαφής στερεού-υγρού-αερίου.



Εικόνα 3: Η εξίσωση του Young μπορεί επίσης να ερμηνευτεί ως ισορροπία δυνάμεων σε στην γραμμή επαφής τριών φάσεων, η επιφανειακή τάση είναι η ενέργεια ανά μονάδα επιφάνειας ισοδύναμη με την δύναμη ανά μονάδα μήκους που ασκείται στη γραμμή επαφής

Ανάλογα με την τιμή της γωνίας επαφής οι επιφανειακές ιδιότητες χαρακτηρίζονται ως υδροφοβικές ($\theta > 90^\circ$) ή υδροφιλικές ($\theta < 90^\circ$).



Εικόνα 4: Υδροφοβη και υδροφιλη συμπεριφορά

Στην πράξη υπάρχουν δύο τιμές της γωνίας επαφής η στατική και η δυναμική. Στην ιδανική περίπτωση επίπεδη επιφάνειας η στατική γωνία επαφής προσεγγίζει την γωνία Young. Οι δυναμικές τιμές της γωνίας επαφής μετρώνται κατά την ανάπτυξη (θ_a) και κατά την συρρίκνωση (θ_r) μία σταγόνας νερού. Η διαφορά των τιμών $\theta_a - \theta_r$ ορίζεται ως υστέρηση της γωνίας επαφής ($\Delta\theta$) και εξαρτάται και από την τραχύτητα της επιφάνειας.

Οι υπερυδροφοβικές επιφάνειες είναι συνήθως καλυμμένες με μικρο ή νάνο τραχύτητα. Η συμπεριφορά μίας σταγόνας νερού σε μία τραχιά επιφάνεια

φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Το νερό μπορεί να εισδύσει στην τραχύτητα ή να αιωρείται πάνω από αυτή. Σε κάθε περίπτωση πολύ μεγαλύτερες γωνίες επαφής παρατηρούνται από αυτές των επίπεδων επιφανειών. Οι δύο περιπτώσεις είναι γνωστές ως καταστάσεις Wenzel (περίπτωση που εισδύουν) και καταστάσεις Cassie-Baxter (περίπτωση που αιωρούνται), όπως προκύπτουν από τα θεωρητικά μοντέλα Wenzel και Cassie-Baxter¹⁵.



Εικόνα 5: Συμπεριφορά σταγόνας σε τραχιά επιφάνεια. Αριστερά, το υγρό εισδύει μέσα στις αιχμές (κατάσταση Wenzel) και δεξιά, το υγρό αιωρείται πάνω στις αιχμές (κατάσταση Cassie-Baxter)¹⁵

2.2.2 Μαγνητικές ιδιότητες υλικών στη Νανοκλίμακα

Οι μαγνητικές ιδιότητες των υλικών περιγράφονται με βάση τη συμπεριφορά τους σε εξωτερικό μαγνητικό πεδίο. Γενικά τα υλικά διακρίνονται σε σιδηρομαγνητικά, παραμαγνητικά και διαμαγνητικά. Σε ατομικό επίπεδο τα άτομα των σιδηρομαγνητικών και των παραμαγνητικών υλικών έχουν μόνιμη μαγνητική ροπή ενώ των διαμαγνητικών δεν έχουν μόνιμη μαγνητική ροπή¹⁶.

Όταν σιδηρομαγνητικά ή παραμαγνητικά υλικά βρεθούν σε ένα εξωτερικό μαγνητικό πεδίο τα μαγνητικά δίπολα (Παράρτημα I) ευθυγραμμίζονται με το εξωτερικό μαγνητικό πεδίο, ενισχύοντάς το (η ενίσχυση είναι ελάχιστη στην περίπτωση των παραμαγνητικών υλικών). Απουσία μαγνητικού πεδίου τα μαγνητικά δίπολα των παραμαγνητικών υλικών είναι ατάκτως προσανατολισμένα ενώ στα σιδηρομαγνητικά υλικά έχουμε την εμφάνιση περιοχών Weiss.

Ferrofluid-Μαγνητικά ρευστά

Η δημιουργία μαγνητικού ρευστού δεν ήταν μία εύκολη υπόθεση καθώς σε πολλά υλικά το σημείο Curie όπου το υλικό χάνει τις μαγνητικές του ιδιότητες είναι κάτω από το σημείο τήξης.

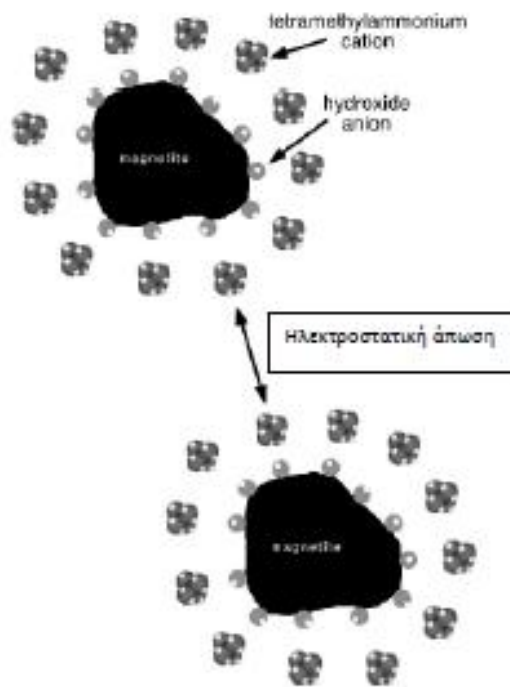
Η σημαντικότερη ιδιότητα του μαγνητίτη (επιτεταρτοξειδίο του σιδήρου, Fe_3O_4) είναι ότι διαθέτει ιόντα σιδήρου σε δισθενή και τρισθενή οξειδωτική βαθμίδα και κρυσταλλώνεται στο κυβικό σύστημα με αντίστροφη δομή σπινελίου (spinel).

Τα μαγνητικά ρευστά είναι κολλοειδή διαλύματα μαγνητικών υλικών σε ένα ρευστό μέσο. Κατά τη σύνθεση αυτών των διαλυμάτων διακρίνουμε δύο σημαντικά στάδια¹⁷:

1ο : Δημιουργία μαγνητικών νανοσωματιδίων (διαστάσεων $\sim 100\text{\AA}$). Τα σωματίδια είναι συνήθως Fe_3O_4 (σωματίδια μαγνητίτη-σιδηρομαγνητικού υλικού). Τα σωματίδια πρέπει να είναι χημικά σταθερά μέσα στο υγρό περιβάλλον τους.

2ο : Δημιουργία του κολλοειδούς διαλύματος με χρήση ενδοεπιφανειακών δραστικών ουσιών ώστε να διασπαρούν τα νανοσωματίδια μέσα στο υγρό δημιουργώντας το κολλοειδές διάλυμα. Οι ενδοεπιφανειακές ουσίες δρουν ώστε τα νανοσωματίδια να απωθούνται και να μην έχουμε τη δημιουργία συσσωματωμάτων.

Το κολλοειδές διατηρεί τη μορφή του όταν το μέγεθος των σωματιδίων είναι της τάξης μεγέθους των 10 nm. Σε θερμοκρασία δωματίου η θερμική ενέργεια είναι της ίδιας τάξης μεγέθους με τη βαρυτική και τη μαγνητική ώστε τα νανοσωματίδια να παραμένουν σε διασπορά.



Εικόνα 6: Δημιουργία μαγνητικού υγρού ¹⁷.

Τα ferrofluids είναι υπερπαραμαγνητικά υλικά και οι διαστάσεις των νανοκρυστάλλων είναι το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό το οποίο απομονώνει μια περιοχή weiss και παρουσιάζεται η γρήγορη μαγνήτιση και απομαγνήτιση υπό την επίδραση του εξωτερικού μαγνητικού πεδίου.

Μία ενδιαφέρουσα ιδιότητα των ferrofluids είναι η διαταραχή (διαμόρφωση) του ρευστού όταν βρεθεί σε ένα μέτριο μαγνητικό πεδίο. Όταν ένα υψηλής ποιότητας ferrofluid βρεθεί στο μαγνητικό πεδίο σχηματίζει δομές σαν καρφιά που ακολουθούν πυκνή εξαγωνική δομή. Ο σχηματισμός οφείλεται σε επιφανειακές αστάθειες, που δημιουργούν κύματα στην επιφάνεια του ρευστού. Η εφαρμογή του πεδίου ενισχύει το πλάτος των κυμάτων. Αν το πεδίο είναι τόσο ισχυρό ώστε να υπερνικήσει την επιφανειακή τάση και τη βαρύτητα έχουμε την εμφάνιση των κορυφών αυτών. Σε πολύ ισχυρό πεδίο μπορούμε να έχουμε και διαχωρισμό από το διάλυμα.



Εικόνα 7: Μαγνητικό υγρό σε μαγνητικό πεδίο

2.3 Νανοεπιστήμη και Εκπαίδευση

2.3.1 Ανάγκη εισαγωγής της Νανοεπιστήμης στην Εκπαίδευση

Είναι προφανές ότι η κοσμογονία που συντελείται στο επίπεδο της Επιστήμης θα πρέπει να έχει άμεση αντανάκλαση και στο επίπεδο της Εκπαίδευσης¹⁸. Οι επιστήμονες αλλά και οι διαμορφωτές πολιτικής καλούν στο να αναπτυχθούν νέα Πρότυπα, Αναλυτικά Προγράμματα, Προγράμματα Τυπικής και Άτυπης Εκπαίδευσης που θα απευθύνονται σε δασκάλους, καθηγητές, μαθητές και πολίτες, ώστε όλοι να γίνουν κοινωνοί της «Βιομηχανικής Επανάστασης» της σύγχρονης εποχής. Εκπαιδευτικό υλικό αναπτύσσεται προς την κατεύθυνση αυτή. Σαφείς εκπαιδευτικοί σκοποί πρέπει να τεθούν για να οδηγήσουν σε επιτυχημένη έρευνα και ανάπτυξη¹⁹. Ερευνητές^{19,20} τονίζουν πως αν δεν αναπτυχθεί άμεσα εκπαίδευση για τη νανοτεχνολογία διαφαίνεται έντονα ο κίνδυνος να επιβραδυνθεί η επιστημονική και τεχνολογική ανάπτυξη καθώς δεν θα υπάρχει παραγωγή επιστημόνων που θα ασχοληθούν με το συγκεκριμένο αντικείμενο, αλλά και καταναλωτών που θα αντιλαμβάνονται τον αντίκτυπο της συγκεκριμένης τεχνολογίας στην καθημερινότητά τους²¹.

2.3.2 Προγράμματα εισαγωγής Νανοεπιστήμης στην Εκπαίδευση

Στις Η.Π.Α. έγιναν μελέτες όπου καθόρισαν τέσσερις εκπαιδευτικές προκλήσεις στο πεδίο της εκπαίδευσης στη νανοεπιστήμη και στη νανοτεχνολογία: (α) τη δημιουργία Προτύπων που αφορούν τη μάθηση, (β) τη δημιουργία Αναλυτικών Προγραμμάτων και την ανάπτυξη εκπαιδευτικού υλικού, (γ) την ανάγκη εκπαίδευσης εκπαιδευτικών σε θέματα νανοτεχνολογίας και (δ) την ανάπτυξη Άτυπων μορφών Εκπαίδευσης σε μουσεία και επιστημονικά κέντρα²².

Κινούμενοι σε αυτούς τους άξονες μπορούμε να αναφέρουμε επιγραμματικά δράσεις, προγράμματα, κοινότητες μάθησης στον άλλη πλευρά του ατλαντικού, στο ευρωπαϊκό και στον ελλαδικό χώρο.

Το πρόγραμμα NanoLeap με δύο άξονες στη Χημεία και τη Φυσική, προσπαθεί να ενσωματώσει την Νανοεπιστήμη στην τάξη στα πλαίσια της πρότασης του STEM (Science-Technology-Engineering- Mathematics). Το Nanosense ήταν ένα εγχείρημα που ολοκληρώθηκε το 2008 το οποίο ασχολήθηκε κυρίως με την κατανόηση από τους μαθητές και καθηγητές της εξελισσόμενης ανάπτυξης του συγκεκριμένου πεδίου (<http://nanosense.sri.com/>) (ανάσυρση 01/17) . Το Ίδρυμα Επιστημών των Η.Π.Α. (National Science Foundation) ίδρυσε το 2003 την ψηφιακή βιβλιοθήκη TeachEngineering που απευθύνεται σε εκπαιδευτικούς. Το Δίκτυο NISE (National Informal STEM Education Network) είναι μία κοινότητα εκπαιδευτών και επιστημόνων που θέλουν να γνωστοποιήσουν την επιστημονική γνώση να πληροφορήσουν και να εμπλέξουν τους πολίτες. Μία από τις δράσεις του είναι και η ψηφιακή βιβλιοθήκη Nisenet.org (<http://nisenet.org/>) (ανάσυρση 01/17) που παρέχει εργαλεία και εκπαιδευτικό υλικό.

Στην Ευρώπη το IRRESISTIBLE σχεδίασε δραστηριότητες που προωθούν την εμπλοκή των μαθητών και του κοινού στη διαδικασία της Υπεύθυνης Έρευνας και Καινοτομίας (RRI). (<http://www.irresistible-project.eu/index.php/el/>) (ανάσυρση 01/17).

Η Ελληνική ομάδα ανέπτυξε την ενότητα «Εφαρμογές της Νανοεπιστήμης και της Νανοτεχνολογίας»²³. Οι μαθητές βασιζόμενοι στα Νανοϋλικά που

αναπτύσσονται από τους ερευνητές του ΙΤΕ Ηρακλείου Κρήτης διερεύνησαν στα πλαίσια της ενότητας ποικίλες πτυχές της Νανοεπιστήμης, όπως για παράδειγμα το πόσο μικρό είναι το νάνο και τις εξαρτώμενες από το μέγεθος ιδιότητες. Οι μαθητές είχαν την ευκαιρία να επισκεφθούν μουσεία επιστήμης, και να συζητήσουν θέματα Υπεύθυνης Έρευνας και Καινοτομίας σχετικών με την έρευνα αιχμής στην Νανοτεχνολογία κατά την επίσκεψή τους στο ερευνητικό κέντρο και την επαφή τους με τους ειδικούς. Με την υποστήριξη των εκπαιδευτικών αλλά και των ειδικών από μουσεία επιστημών οι μαθητές κατασκευάζουν εκθέματα για να επικοινωνήσουν τη νέα γνώση στο ευρύ κοινό.

Η δυνατότητα κατανόησης των επιτευγμάτων της νανοεπιστήμης απαιτεί ένα υψηλό βαθμό επιστημονικού εγγραμματισμού. Στο βιβλίο 'The Big Ideas of Nanoscale – Science & Engineering, A Guidebook for Secondary Teachers' των Stevens, Sutherland και Krajcik²⁴, γίνεται προσπάθεια σύνδεσης του Αναλυτικού Προγράμματος των Η.Π.Α. με κεντρικές παραδοχές της Νανοεπιστήμης. Το βιβλίο σχεδιάστηκε ώστε οι καθηγητές της Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης να εμπλακούν σε ανάλογα θέματα και να τα εισάγουν στην τάξη.

Βασιζόμενοι στις Μεγάλες Ιδέες που συμπυκνώνουν τις κεντρικές προτάσεις της Νανοεπιστήμης έχουν αναπτυχθεί διδακτικές ενότητες σε σειρά θεμάτων που απευθύνονται σε μαθητές όλων των εκπαιδευτικών βαθμίδων. Στην Ελλάδα οι ερευνητές Σταύρου, Μιχαηλίδη, Σγουρός και Δημητριάδη²⁴ ανέπτυξαν μία διδακτική σειρά που απευθύνεται σε μαθητές Γυμνασίου και κατέληξαν σε ενθαρρυντικά αποτελέσματα σχετικά με τη διδασκαλία της Νανοεπιστήμης ακόμα και στις υποχρεωτικές βαθμίδες εκπαίδευσης.

Στην εργασία των Jones et al. Nanotechnology and Nanoscale Science: Educational challenges²² οι ερευνητές καταλήγουν ότι τα προγράμματα εκπαίδευσης σε θέματα Νανοεπιστήμης οδηγούν τους μαθητές στη γνώση βασικών εννοιών Νανοεπιστήμης και μετά τις παρεμβάσεις ενισχύουν τα κίνητρα των μαθητών να ασχοληθούν με την Νανοτεχνολογία. Επισημαίνουν όμως ότι προκύπτουν πολλά ερωτήματα σε σχέση με τον σχεδιασμό οδηγιών, Προτύπων και Αναλυτικών Προγραμμάτων (Α.Π.) Ενδεικτικά αναφέρουν:

Σε ποια σημεία των υπαρχόντων Α. Π. μπορούν να συμπεριληφθούν οι βασικές έννοιες Νανοεπιστήμης;

Αυτές οι έννοιες πρέπει να διατηρηθούν ανεξάρτητες από τις άλλες STEM έννοιες ή να ενσωματωθούν στο STEM περιεχόμενο;

Πώς μπορούν αυτές οι έννοιες να γίνουν αποτελεσματικά αντικείμενο διδασκαλίας σε μαθητές διαφορετικών ηλικιών;

Πώς συνδέονται οι έννοιες Νανοεπιστήμης με τις υπάρχουσες επιστημονικές έννοιες ενώ παράλληλα εκπαιδεύουμε τους μαθητές σχετικά με τη μοναδικότητα της συμπεριφοράς των υλικών στην Νανοκλίμακα;

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΕΜΠΕΙΡΙΚΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ- ΜΕΓΑΛΕΣ ΙΔΕΕΣ- ΕΜΠΟΔΙΑ ΜΑΘΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑ ΤΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ

3.1 Εισαγωγή

Στο προηγούμενο κεφάλαιο επιλέξαμε κάποιες από τις σημαντικότερες ιδιότητες των υλικών σε επίπεδο ναυκλίμακας, όπου παρουσιάζουν επιστημονικό και τεχνολογικό ενδιαφέρον και μπορούν να αποτελέσουν το αντικείμενο διδασκαλίας και εντοπίσαμε τα βασικά στοιχεία της επιστημονικής θεωρίας τα οποία και προσπαθήσαμε να στοιχειοποιήσουμε. Παράλληλα προσπαθήσαμε να τεκμηριώσουμε μέσω βιβλιογραφικής παράθεσης το πόσο σημαντικό είναι οι μαθητές να διδαχθούν τα θέματα ναυτεχνολογίας και η παρουσίαση προγραμμάτων εισαγωγής Ναυοεπιστήμης διεθνώς και στον ελλαδικό χώρο.

Στο κεφάλαιο αυτό θα επικεντρωθούμε στις συγκεκριμένες ενότητες που επιλέξαμε και θα καταγράψουμε τις οδηγίες, πρότυπα, και διαδικασίες μάθησης που σχετίζονται με τις Βασικές (Core) ή Μεγάλες (Big) Ιδέες που αφορούν τις ιδιότητες των υλικών ειδικά στο επίπεδο της Ναυκλίμακας. Για την ανάπτυξη Διδακτικών Ενοτήτων θα πρέπει να έχουμε μελετήσει και τα Εμπόδια Μάθησης που σχετίζονται με τις αλληλεπιδράσεις των υλικών καθώς περιορίζουν τη δυνατότητα επεξεργασίας από τους μαθητές.

Στη συνέχεια θα παρουσιάσουμε εμπειρικές έρευνες άλλων ερευνητών που αφορούν τις ιδέες των μαθητών για τις ιδιότητες, τις μαγνητικές ιδιότητες και τις δυνάμεις μεταξύ των σωματιδίων.

Κατά τη διδασκαλία των Φ. Ε. επιδιώκεται οι μαθητές να συνειδητοποιήσουν ότι υπάρχουν μηχανισμοί αίτιου και αποτελέσματος σε όλα τα συστήματα και τις διαδικασίες και ότι αυτοί μπορούν να γίνουν κατανοητοί μέσα από ένα κοινό σύνολο φυσικών και χημικών αρχών. Κατά τη διαμόρφωση της Διδακτικής Ενότητας κεντρικό ρόλο διαδραματίζουν οι Μεγάλες Ιδέες.

Με τον όρο Μεγάλη Ιδέα (M.I.) αναφερόμαστε σε μία πρόταση που συμπυκνώνει τον πυρήνα της γνώσης σε ένα γνωστικό αντικείμενο, που επιδιώκουμε οι μαθητές να κατανοήσουν τελειώνοντας μια συγκεκριμένη

βαθμίδα εκπαίδευσης²⁶. Οι M.I. είναι κεντρικές προτάσεις στα γνωστικά αντικείμενα, καλύπτουν ευρύ φάσμα και διαθέτουν ισχυρή ερμηνευτική δυνατότητα. Μερικές είναι πηγές της συνεκτικότητας μεταξύ των θεωρήσεων, των μοντέλων, των θεωριών, των αρχών και των επεξηγηματικών πλαισίων, που εφαρμόζονται σε διαφορετικές τάξεις, φαινομένων εντός ενός γνωστικού αντικειμένου. Αποτελούν επίσης σύνδεση μεταξύ των γνωστικών αντικειμένων ενώ άλλες M.I. αναφέρονται στις επιστημονικές διαδικασίες και μεθόδους. Αποτελούν δομικές διαδικασίες μάθησης. Οι M.I. γίνονται κατανοητές με προοδευτικά πιο εξελιγμένους τρόπους, καθώς οι μαθητές αποκτούν γνωστικές δυνατότητες και εμπειρία σε σχέση με τα φαινόμενα και τις αναπαραστάσεις τους. Διέπουν την απόκτηση και την ανάπτυξη βασικών εννοιών σε ένα γνωστικό αντικείμενο και θέτουν τα θεμέλια διαρκούς μάθησης.

Σύμφωνα με τον Feynman²⁷ η M. I. της Ατομικής Υπόθεσης παρέχει παρέχει βαθιές και ικανοποιητικές απαντήσεις σε θεμελιώδη ερωτήματα που όλοι ρωτάμε για τον κόσμο γύρω μας.

1. Από τι είναι φτιαγμένα τα πράγματα και πως μπορούμε να εξηγήσουμε τις ιδιότητές τους;
2. Τι αλλάζει και τι μένει το ίδιο όταν τα πράγματα μετασχηματίζονται;
3. Πως το ξέρουμε;

Τα παιδιά που ξεκινούν το σχολείο μπορούν να απαντήσουν σε αυτά τα ερωτήματα με μη ολοκληρωμένο ή/ και αφελή τρόπο. Αποστολή της διδασκαλίας είναι να βρει τα μονοπάτια, διαδικασίες μάθησης όπως ορίζονται, προκειμένου να συνδέσει τις αφελείς ιδέες των μαθητών με την διορατική ιδέα που έγραψε ο Feynman.

Προς αυτή την κατεύθυνση, η θεώρηση της δομής της ύλης σε ατομική και υποατομική κλίμακα, βοηθά στην κατανόηση των μεγαλύτερης κλίμακας δομών, ιδιοτήτων και λειτουργιών των συστημάτων. Επιπρόσθετα, η κατανόηση των διαδικασιών σε οποιαδήποτε κλίμακα απαιτεί την γνώση των αλληλεπιδράσεων που λαμβάνουν χώρα, σε όρους των δυνάμεων μεταξύ των αντικειμένων, της μεταφερόμενης ενέργειας και των συνεπειών τους.

3.2 Μεγάλες Ιδέες που σχετίζονται με τα υλικά, τις ιδιότητες και τις αλληλεπιδράσεις.

Στο πλαίσιο εργασίας του National Research Council²⁸ οι M.I. αφορούν επιγραμματικά:

M.I.1 : Τα υλικά και τις αλληλεπιδράσεις τους

M.I.2 : Την κίνηση και τη σταθερότητα : Τις Δυνάμεις και τις αλληλεπιδράσεις

M.I.3 : Την Ενέργεια

M.I.4: Τα Κύματα και τις εφαρμογές τους

Οι M.I. πρέπει να αντιμετωπιστούν ενοποιημένα στη Φυσική και τη Χημεία καθώς η συνεκτική αντιμετώπιση προσφέρει στο σχεδιασμό μιας ακολουθίας μαθημάτων που δίνει στους μαθητές τη δυνατότητα να έρθουν σε επαφή με αυτές τις ιδέες και να αναγνωρίσουν τη σύνδεση μεταξύ τους. Στην παρούσα εργασία θα παρουσιάσουμε αναλυτικά τις δύο M.I. που αναφέρονται στα υλικά και στις αλληλεπιδράσεις τους καθώς και στις δυνάμεις και στις αλληλεπιδράσεις, αφού αποτελούν το αντικείμενο μελέτης της εμπειρικής μας έρευνας.

3.2.1 Τα υλικά και οι αλληλεπιδράσεις τους

Η Ιδέα αυτή συνδέεται με την ερώτηση: «Πως μπορούν να εξηγηθούν η δομή, οι ιδιότητες και οι αλληλεπιδράσεις των υλικών;»

*«Η ύπαρξη ατόμων εξηγεί τις ποσοτικές και ποιοτικές παρατηρήσεις σχετικά με την ύλη. Η ύλη χαρακτηρίζεται από τα είδη των ατόμων και από τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ τους και στο εσωτερικό τους. Οι καταστάσεις της ύλης (στερεά, υγρή και αέρια), οι ιδιότητες (αγωγιμότητα, σκληρότητα) και οι φυσικές και χημικές αντιδράσεις μπορούν να περιγραφούν και να προβλεφθούν βασισμένοι στο είδος, στις αλληλεπιδράσεις και στις κινήσεις των ατόμων που συνιστούν τα υλικά».*²⁸ (σελ. 106)

Ειδικότερα, σε ότι αφορά τη δομή και τις ιδιότητες της ύλης η ερώτηση που πρέπει να είναι σε θέση να απαντούν οι μαθητές είναι « Πώς τα σωματίδια συνδυάζονται για να σχηματίσουν την ποικιλομορφία των υλικών που παρατηρείται;»

«Τα άτομα έχουν δική τους δομή η οποία καθορίζει πως αυτά συνδυάζονται και ανακατανέμονται προκειμένου να σχηματίσουν όλες τις ουσίες που υπάρχουν. Παρόλο τη μεγάλη ποικιλία και των αριθμό των ουσιών υπάρχουν μόνο σχεδόν 100 διαφορετικά σταθερά στοιχεία. Κάθε στοιχείο έχει χαρακτηριστικές χημικές ιδιότητες που καθορίζονται από τη θέση του στον περιοδικό πίνακα, που αποτελεί τη συστηματική αναπαράσταση των γνωστών στοιχείων.

Η ποικιλία των ιδιοτήτων των υλικών οφείλεται στα ατομικά και μοριακά συστατικά και εξαρτάται από τις δυνάμεις εντός των συστατικών αλλά και μεταξύ τους. Μέσα στην ύλη τα άτομα και τα συστατικά τους βρίσκονται διαρκώς σε κίνηση. Η διάταξη και η κίνηση των ατόμων μεταβάλλεται με χαρακτηριστικούς τρόπους, που εξαρτώνται από την ουσία και τη δεδομένη κατάσταση. Η χημική σύσταση, η θερμοκρασία και η πίεση επηρεάζουν τέτοιες διατάξεις και κινήσεις των ατόμων καθώς και τους τρόπους που αλληλεπιδρούν. Σε συγκεκριμένες συνθήκες, η κατάσταση και κάποιες ιδιότητες (π.χ. πυκνότητα, ελαστικότητα, ιξώδες) είναι οι ίδιες για διαφορετικές τρισδιάστατες (bulk) ποσότητες της ουσίας, ενώ άλλες όπως ο όγκος και η μάζα παρέχουν μέτρο του μεγέθους του υπό μελέτη δείγματος.

Τα υλικά χαρακτηρίζονται από τις εντατικές μετρήσιμες ιδιότητες τους. Διαφορετικά υλικά με διαφορετικές ιδιότητες είναι κατάλληλα για διαφορετικές χρήσεις. Η ικανότητα να καθοδηγούμε την τοποθέτηση μεμονωμένων ατόμων σε μικροσκοπικές δομές επιτρέπει το σχεδιασμό νέων τύπων υλικών με συγκεκριμένη επιθυμητή λειτουργικότητα»²⁸ (σελ 107).

3.2.2 Η κίνηση και η σταθερότητα: Δυνάμεις και αλληλεπιδράσεις

Η Ιδέα αυτή απαντά στην ερώτηση: «Πως μπορεί να εξηγηθούν και να προβλεφθούν οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των αντικειμένων και οι αλληλεπιδράσεις μέσα σε συστήματα αντικειμένων;»

Η αλληλεπίδραση μεταξύ δύο οποιονδήποτε αντικειμένων μπορεί να προκαλέσει αλλαγές στο ένα ή και στα δύο. Η κατανόηση των δυνάμεων μεταξύ των αντικειμένων είναι σημαντική για να περιγράψει πως μεταβάλλονται οι κινήσεις καθώς και να προβλέψει την σταθερότητα ή την αστάθεια των συστημάτων σε οποιαδήποτε κλίμακα. Όλες οι δυνάμεις μεταξύ των

*αντικειμένων προκύπτουν από συγκεκριμένο τύπο αλληλεπιδράσεων: βαρυτική, ηλεκτρομαγνητική και ισχυρή και ασθενή πυρηνική αλληλεπίδραση.*²⁸ (σελ 113).

*Ειδικότερα, συνιστώσα της Μ.Ι. που αναφέρεται στον τύπο των αλληλεπιδράσεων σημειώνει στο τέλος της 12^{ης} τάξης : «οι μαθητές θα μπορούν να εξηγούν τις δυνάμεις από απόσταση με τη βοήθεια πεδίων τα οποία υπάρχουν στο χώρο και μπορούν να μεταφέρουν ενέργεια. Η έλξη και η άπωση μεταξύ των ηλεκτρικών φορτίων σε ατομική κλίμακα εξηγούν τη δομή, ιδιότητες και τις μετατροπές της ύλης καθώς και τις δυνάμεις επαφής μεταξύ των υλικών αντικειμένων. Η ισχυρή και η ασθενής πυρηνική αλληλεπίδραση είναι σημαντικές στο εσωτερικό του πυρήνα του ατόμου»*²⁸ (σελ 118).

3.3 Μεγάλες Ιδέες στην Υποχρεωτική Εκπαίδευση

Οι Smith, Wiser, Anderson, and Krajcik²⁹ για να απαντήσουν σε αυτά τα θεμελιώδη ερωτήματα οργάνωσαν διαδικασίες μάθησης γύρω από έξι Μ.Ι. για τις τάξεις υποχρεωτικής εκπαίδευσης (Κ-8).

Οι Μ.Ι. μπορούν να παρέχουν ένα οργανωμένο πλαίσιο για αξιολόγηση στην σχολική πράξη και ερμηνευτικά σχόλια για το τι μπορεί να αποκαλυφθεί για τη σκέψη των μαθητών. Η οργάνωση των διαδικασιών μάθησης γύρω από αυτές τις κεντρικές ιδέες και αρχές ενός γνωστικού αντικειμένου μπορεί να καταδείξει πως αυτές οι ιδέες περιπλέκονται, σχετίζονται και μετασχηματίζονται με την εκπαίδευση. Απώτερος στόχος του καθορισμού των Μ. Ι. είναι η θέσπιση συγκεκριμένων πρακτικών που επιτρέπουν στους μαθητές να τις χρησιμοποιούν με τρόπους που έχουν νόημα, τακτικές που αναφέρονται ως επιδόσεις μάθησης.

Το να είμαστε επικεντρωμένοι και να επαναλαμβάνουμε ένα σχετικά μικρό αριθμό θεμελιωδών αρχών, σχετικών αντιλήψεων και πρακτικών μπορεί να παρέχει συνεκτικότητα στην εκπαίδευση. Η εισαγωγή στις Μ.Ι. μπορεί να γίνει από τα πρώτα σχολικά χρόνια και διαδοχικά να γίνονται πιο ακριβείς, να περιπλέκονται και να επεκτείνονται σε όλες τις βαθμίδες εκπαίδευσης.

Οι Smith, Wiser, Anderson, και Krajcik²⁹ προτείνοντας μια Διαδικασία Μάθησης για τη διδασκαλία της Ύλης και της Ατομικής- Μοριακής Θεωρίας ορίζουν τρεις πρώτες Μ.Ι. (1., 2., 3.) που αναφέρονται στα πρώιμα στάδια

της διδασκαλίας (έξι πρώτες τάξεις) και σχετίζονται με το μακροσκοπικό επίπεδο. Για παράδειγμα, οι μαθητές σε αυτά τα στάδια πρέπει να περιγράφουν μακροσκοπικά τις ιδιότητες των υλικών, να ορίσουν την πυκνότητα και να οδηγηθούν από τη διατήρηση του βάρους των υλικών κατά την τήξη στην διατήρηση της μάζας σε όλες τις αλλαγές φάσης.

Στις επόμενες τάξεις της υποχρεωτικής εκπαίδευσης (6^η -8^η τάξη) θα μορφοποιηθούν οι τρεις αντίστοιχες Μ.Ι. (1.ΑΜ, 2.ΑΜ, 3.ΑΜ) που παρέχουν βαθύτερες επεξηγήσεις των μακροσκοπικών. Για παράδειγμα, οι μακροσκοπικές ιδιότητες των υλικών μπορούν να εξηγηθούν από τη φύση και τη διάταξη των ατόμων που τα αποτελούν.

Επιγραμματικά:

1. Ύλη και είδη υλικών. Τα αντικείμενα αποτελούνται από ύλη, που υφίσταται ως πολλά διαφορετικά είδη υλικών. Τα αντικείμενα έχουν ιδιότητες που μπορούν να μετρηθούν και εξαρτώνται από το ποσό της ύλης και το είδος των υλικών από τα οποία είναι φτιαγμένα.

1 ΑΜ. Ατομική – Μοριακή Θεώρηση της Ύλης και των υλικών. Όλα τα υλικά στη γη αποτελούνται από ένα περιορισμένο αριθμό διαφορετικών ειδών ατόμων (λίγο περισσότερα από 100 έχουν ταυτοποιηθεί) που συνδέονται σε μόρια και δίκτυα. Κάθε άτομο καταλαμβάνει χώρο, έχει μάζα και βρίσκεται σε διαρκή κίνηση. Η μάζα, το βάρος και ο όγκος των αντικειμένων και οι ιδιότητες των υλικών καθορίζονται από τη φύση, τη διάταξη και την κίνηση των ατόμων και των μορίων από τα οποία αποτελούνται.

2. Διατήρηση και μετατροπή της ύλης και των υλικών. Η ύλη μπορεί να μετατραπεί μέσω φυσικών και χημικών διαδικασιών, αλλά όχι να δημιουργηθεί ή να καταστραφεί.

2 ΑΜ. Ατομική-Μοριακή εξήγηση της διατήρησης και μετατροπής. Η μάζα και το βάρος διατηρούνται στις φυσικές και χημικές μεταβολές γιατί τα άτομα ούτε δημιουργούνται ούτε καταστρέφονται.

3. Επιστημολογία. Μπορούμε να μάθουμε για τον κόσμο μέσα από τη μέτρηση, τη μοντελοποίηση και την επιχειρηματολογία.

3 AM. Τα άτομα είναι πολύ μικρά για να γίνουν ορατά με εργαλεία που διαθέτουμε στην αίθουσα διδασκαλίας. Οι ιδιότητες και οι αλλαγές στα άτομα και στα μόρια πρέπει να διαφοροποιηθούν από τις μακροσκοπικές ιδιότητες και τα φαινόμενα στα οποία εμφανίζονται. Μαθαίνουμε για τις ιδιότητες των ατόμων και των μορίων έμμεσα χρησιμοποιώντας υποθετικό- αφαιρετικό συλλογισμό.

Συμπερασματικά, με την πάροδο του χρόνου τα παιδιά αναπτύσσουν την δυνατότητα να περιγράφουν και να συλλαμβάνουν τα αντικείμενα με όρους:

A) Εντυπώσεων και αντιληπτικής εμφάνισης (ότι βλέπουν και νιώθουν)

B) Ιδιοτήτων ή μεταβλητών που μπορούν να μετρηθούν

Γ) Δομικών Υλικών

Δ) Ατόμων και μορίων.

Εν κατακλείδι, η εξέλιξη των M.I. οδηγεί σε θεωρήσεις και επεξηγήσεις που πηγάζουν πέρα από τις αισθήσεις αναλύοντας τις μακροσκοπικές ιδιότητες των αντικειμένων και των υλικών με ατομικούς και μοριακούς όρους αλλά και παράλληλα διακρίνοντας τις μακροσκοπικές ιδιότητες από τις μικροσκοπικές ιδιότητες των ατόμων και των μορίων.

Σχετικά με τις αλληλεπιδράσεις τα τελευταία χρόνια της πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης ο μαθητής πρέπει να έχει αντιληφθεί ότι μία δύναμη ενεργεί για να σπρώξει ή να τραβήξει ένα αντικείμενο και υπάρχει πιθανότητα ένα αντικείμενο να ασκήσει δύναμη σε ένα άλλο αντικείμενο χωρίς να το ακουμπά³⁰. Είναι γνωστό ότι οι μαθητές έχουν τέτοια εμπειρία στο σχολείο με μαγνήτες ή με τον ηλεκτρισμό. Εντούτοις, η εμπειρία τους περιορίζεται στους μαγνήτες καθώς συνδέουν τον κανόνα «τα ετερώνυμα έλκονται, τα ομώνυμα απωθούνται» περισσότερο με τους μαγνήτες παρά με τα ηλεκτρικά φορτία. Τα σημεία αυτά συμπίπτουν με τα πρότυπα του National Research Council που θα αναλυθούν στη συνέχεια.

3.4 Μεγάλες Ιδέες για τις Ιδιότητες και τις Αλληλεπιδράσεις στη Νανοκλίμακα

Οι επιστήμονες και οι ερευνητές προβλέπουν ότι οι νέες πληροφορίες και τεχνολογίες που προέρχονται από την νανοεπιστήμη και την νανοτεχνολογία

πρέπει να ενσωματωθούν με την μορφή αντίστοιχων ιδεών στα προγράμματα σπουδών των Φ.Ε. Η θέσπιση εγγραμματισμού για την νανοεπιστήμη και την νανοτεχνολογία (Nanoscale Science and Engineering (NSE)) πρέπει να περιλαμβάνει ένα μοντέλο για τη φύση της ύλης που να περιέχει τη δομή της ύλης, πως συμπεριφέρεται και αλληλεπιδρά όπως επίσης τις ιδιότητες και τι καθορίζει αυτές τις ιδιότητες. Οι συνδεδεμένες με την NSE ιδέες και οι διαδικασίες μάθησης αναφέρονται στις τάξεις 7-14 και όπου οι μαθητές αναπτύσσουν πιο εξεζητημένα μοντέλα της ατομικής δομής και των ηλεκτρικών δυνάμεων που διέπουν τις αλληλεπιδράσεις στη νάνο, μοριακή και ατομική κλίμακα.

Στις τελευταίες τάξεις του λυκείου και στα πρώτα πανεπιστημιακά χρόνια μπορεί να αναπτυχθεί ένα βασικό κβαντομηχανικό μοντέλο της ατομικής δομής το οποίο να περιέχει το πιθανοκρατικό μοντέλο της ηλεκτρονικής συμπεριφοράς.

Οι μαθητές θα πρέπει να είναι σε θέση να περιγράφουν τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των ατόμων των μορίων και των νανο-οντοτήτων με όρους των ηλεκτρικών δυνάμεων που τις διέπουν. Μ.Ι που αναφέρεται στις αλληλεπιδράσεις είναι η πρόταση ότι τα ηλεκτρόνια σθένους παίζουν σημαντικό ρόλο στις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των ατόμων και των μορίων. Οι μαθητές είναι σε θέση να περιγράφουν το είδος και τη σχετική ένταση της αλληλεπίδρασης για ένα εύρος ουσιών. Παρόλο που ο κανόνας της οκτάδας είναι χρήσιμος για να περιγράψουν συγκεκριμένες αλληλεπιδράσεις, ιδέες όπως η ηλεκτροαρνητικότητα και η πολωσιμότητα στην εξήγηση των αλληλεπιδράσεων που λαμβάνουν χώρα στις μικρές κλίμακες, μπορούν να εισαχθούν, ώστε να επεκταθεί το μοντέλο πέρα από την εξήγηση συγκεκριμένων μόνο τύπων χημικών δεσμών.

Συγκεντρωτικά, για τις ηλεκτρικές δυνάμεις που κυριαρχούν στην νανοκλίμακα, οι Μ.Ι. που διέπουν τις ιδιότητες και τις αλληλεπιδράσεις είναι³¹:

Ο εξωτερικός φλοιός των ηλεκτρονίων είναι σημαντικός για τις εξω-ατομικές αλληλεπιδράσεις. Η ηλεκτρονική κατανομή του εξωτερικού φλοιού-τροχιάς προβλέπεται από τον Περιοδικό Πίνακα.

Ιδιότητες όπως η πολωσιμότητα η ηλεκτρονική συγγένεια και η ηλεκτροαρνητικότητα επηρεάζουν τον τρόπο που ένας συγκεκριμένος τύπος ατόμων ή μορίων θα αλληλεπιδράσει με ένα άλλο άτομο ή μόριο. Ένα συνεχές ηλεκτρικών δυνάμεων κυριαρχεί στις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των ατόμων των μορίων και των αντικειμένων νανοκλίμακας. Οι έλξεις και οι απώσεις μεταξύ των ατόμων και των μορίων επηρεάζουν τη δομή και τη συμπεριφορά της ύλης.

Καθοριστική M.I. είναι η επίδραση του μεγέθους (size- effect) καθώς η μείωση της διάστασης διαφοροποιεί τις ιδιότητες των υλικών. Συγκεκριμένα, ο λόγος της επιφάνειας προς τον όγκο εξαρτάται από το μέγεθος και το σχήμα των αντικειμένων και καθώς πλησιάζουμε στη νανοκλίμακα οι ιδιότητες που σχετίζονται με την επιφάνεια γίνονται σημαντικές³².

3.5 Εμπόδια Μάθησης σε σχέση με τη Δυναμική και τις Αλληλεπιδράσεις

Πέρα από την καταγραφή των ελάχιστων επιπέδων κατανόησης που αναμένεται ένα επιστημονικά εγγράμματο άτομο να έχει αναπτύξει κατά τα σχολικά χρόνια, σημαντικό ρόλο για το σχεδιασμό της διδακτικής ακολουθίας παίζουν τα Εμπόδια Μάθησης (E.M), υπονοούμενες υποθέσεις των μαθητών, καθώς περιορίζουν τις ιδέες των μαθητών και την επιχειρηματολογία τους στα διαφορετικά στάδια μάθησης^{33,34}.

Μια θεμελιώδης υπόθεση που κάνουν οι μαθητές είναι η στατική υπόθεση, δηλ. ότι τα σωματίδια ενός υλικού είναι ακίνητα στο χώρο. Βέβαια οι ιδέες που έχουν σχετικά με τη σωματιδιακή κίνηση εξαρτώνται και από την εμφάνιση και τη φυσική κατάσταση του υπό μελέτη υλικού. Παρόλο αυτά η σκέψη τους κατευθύνεται από την αριστοτελική αντίληψη και περιγράφεται από την αιτιακή-δυναμική υπόθεση, ότι τα σωματίδια κινούνται μόνο όταν εφαρμόζεται σε αυτά δύναμη και η κίνηση προοδευτικά θα σταματήσει. Η υπόθεση της διαρκούς σωματιδιακής κίνησης πρωτοεμφανίζεται όταν εισάγονται ιδιότητες και μεγέθη όπως η θερμοκρασία και οι καταστάσεις της ύλης που υπονοούν διαρκή κίνηση.

Σε πρώτο στάδιο οι μαθητές δημιουργούν μια ενδεχόμενη ή πιθανή (contingent) δυναμική υπόθεση που χρησιμοποιεί ένα εξωτερικό αίτιο όπως

τη θερμότητα για να συντηρήσει τη κίνηση. Η εγγενής – δυναμική υπόθεση, όπου η κίνηση είναι ενδογενής ιδιότητα των υλικών, εμφανίζεται σε προχωρημένα στάδια γνώσης.

Όσον αφορά τις αλληλεπιδράσεις, στην βιβλιογραφία υπάρχουν εκτεταμένες αναφορές στην υπόθεση της αλληλεπίδρασης εξ επαφής, που δηλώνει ότι οι μαθητές υποθέτουν ότι η αλληλεπίδραση μεταξύ των αντικείμενων, λαμβάνει χώρα μόνο όταν αυτά συναντώνται στο χώρο και στο χρόνο.

Ακόμα και όταν οι μαθητές αναγνωρίζουν την δράση από απόσταση, συνδέουν την ύπαρξη, φύση και ένταση των ενδοσωματιδιακών αλληλεπιδράσεων με άλλους παράγοντες (ενδεχόμενη (contingent)- δυναμική υπόθεση) όπως την θερμοκρασία την κατάσταση της ύλης ή τον τύπο της διαδικασίας που υποβάλλεται το σύστημα. Αρχάριοι μαθητές πιθανόν να θεωρούν ότι οι αλληλεπιδράσεις εξασθενούν όταν το υλικό περνά από την στερεά στην υγρή ή την αέρια κατάσταση.

Θεωρούν τις δυνάμεις μεταξύ των σωματιδίων ελκτικές ή απωστικές ανάλογα με τη φύση του υλικού ή το υπό μελέτη φαινόμενο. Οι απώσεις χρησιμοποιούνται για να εξηγήσουν την ομοιόμορφη κατανομή των σωματιδίων σε ένα αέριο και οι ελκτικές δυνάμεις εξηγούν την συσσώρευση και τη συμπύκνωση.

Γενικά, οι μαθητές φαίνεται να έχουν σημαντικές δυσκολίες στο να υποθέτουν την ύπαρξη ενδογενών δυνάμεων μεταξύ των σωματιδίων που εξαρτώνται μόνο από την απόσταση. Έρευνες που μελετούν την ακολουθία κατανόησης των ενδομοριακών δυνάμεων καταδεικνύουν ότι σημαντικός αριθμός μαθητών, που τελειώνουν τη δευτεροβάθμια εκπαίδευση δεν έχουν κατανοήσει τη φυσική προέλευση των δυνάμεων μεταξύ των σωματιδίων στις χημικές ουσίες ή ακόμα δεν έχουν αναγνωρίσει τον θεμελιώδη ρόλο αυτών των δυνάμεων στον καθορισμό των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων των υλικών³³. Στον Πίνακα 3 συγκεντρώνονται οι σιωπηρές (υπονοούμενες) υποθέσεις που κάνουν οι μαθητές και συνθέτουν τα Ε.Μ και πως αυτές εξελίσσονται.

Πίνακας 3: Υπονοούμενες υποθέσεις για τα ΕΜ³³.

Εμπόδια Μάθησης (Υποθέσεις)				
<u>Ιδιότητες</u>	Κληρονομική Υπόθεση	→		Υπόθεση Ανάδυσης
	Υποστασιολογία →	Ουσιοκρατία →		Υπόθεση Ανάδυσης
<u>Δυναμική</u>	Στατική →	Αιτιακή- Δυναμική →	Ενδεχόμενη – Δυναμική →	Εγγενής – Δυναμική
<u>Αλληλεπιδράσεις</u>	Επαφή →	Ενδεχόμενη →		Εγγενής

3.6 Εμπειρικές έρευνες σχετικά με τις ιδιότητες υλικών και τις δυνάμεις σε επίπεδο νανοκλίμακας

Οι έννοιες του μεγέθους και της κλίμακας και η μελέτη φαινομένων καθώς η κλίμακα μεταβάλλεται βοηθούν τους μαθητές να αναπτύξουν κατάλληλα εννοιολογικά πλαίσια, τα οποία θα αποτελέσουν τη βάση για την κατανόηση επιστημονικών ιδεών³⁵. Η μεταβολή των ιδιοτήτων των υλικών καθώς το μέγεθός τους μεταβάλλεται συνδέεται με την αλλαγή του λόγου της επιφάνειας των υλικών προς τον όγκο τους³⁶. Στην νανοκλίμακα οι ηλεκτρικές δυνάμεις τείνουν να κυριαρχούν στις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των σωματιδίων.

Ερευνητές έχουν καταγράψει τις ιδέες των μαθητών που σχετίζονται με το μαγνητισμό^{37,38,39}. Η εξέλιξη των ιδεών των μαθητών κατά την διάρκεια της διδασκαλίας και οι ιδέες των μαθητών που σχετίζονται με τις μαγνητικές ιδιότητες καθώς μειώνεται η κλίμακα αποτελούν αντικείμενα που δεν έχουν μελετηθεί εκτενώς.

Οι μαγνητικές ιδιότητες των υλικών σε επίπεδο νανοκλίμακας βασίζονται σε δύο βασικές θεωρήσεις : α) Η συμπεριφορά των υλικών καθορίζονται από το ότι στην νανοκλίμακα το ποσοστό των ατόμων στην επιφάνεια σε σχέση με το συνολικό αριθμό των ατόμων είναι πολύ μεγαλύτερο από το αντίστοιχο

ποσοστό των μικροσκοπικών και μακροσκοπικών υλικών και (β) Οι θερμικές επιδράσεις που υπερισχύουν της τάσης των περιοχών (domains) ναοκλίμακας να ευθυγραμμίζονται απουσία μαγνητικού πεδίου. Οι παραπάνω θεωρήσεις συνδέονται στενά με τις έννοιες του ατόμου, τη σωματιδιακή φύση της ύλης και τις δυνάμεις που ασκούνται σε επίπεδο ατόμου περιοχής (domain) και μαγνήτη. Ερευνητές^{40,41} καταλήγουν ότι η μελέτη και η εξήγηση της συμπεριφοράς μαγνητικού ρευστού (ferrofluid) βοηθά στην ανάδειξη των παραπάνω θεωρήσεων. Ο Sederberg⁴⁰ ασχολήθηκε με την περιγραφή εκλεπτυσμένων τρόπων με τους οποίους οι μαθητές κατασκευάζουν νοητικά μοντέλα για τον μαγνητισμό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

4.1 Αναγκαιότητα

Από την παραπάνω βιβλιογραφική ανάλυση γίνεται φανερό ότι επιστημονικά θέματα Νανοεπιστήμης και διδακτικές ενότητες που αποσκοπούν στην εξοικίωση των μαθητών αποτελούν ένα ευρύ, καινοτόμο πεδίο έρευνας τόσο σε ελληνικό όσο και σε διεθνές επίπεδο^{23, 42,40}. Για τη μελέτη των ιδιοτήτων και της συμπεριφοράς των υλικών σε όλες τις κλίμακες μεγέθους είναι θεμελιώδες να κατανοηθεί η δομή της ύλης και οι ιδιότητες των στοιχειωδών δομών και οι δυνάμεις και οι αλληλεπιδράσεις³¹.

Στη βιβλιογραφική αναζήτηση παρατηρήσαμε ότι στο επίπεδο του Γυμνασίου είχαν αναπτυχθεί διδακτικές ενότητες και είχε πραγματοποιηθεί ένας αριθμός ερευνών μελέτης εισαγωγής της Νανοεπιστήμης στην διδακτική πράξη. Το γεγονός αυτό καθιστά τον χώρο δυναμική επιλογή ενασχόλησης, όπου θα μπορούσαμε να μελετήσουμε σε βάθος τις αντιλήψεις των μαθητών για τις ιδιότητες των υλικών καθώς το μέγεθος των υλικών μεταβαίνει στην νανοκλίμακα και να εμπλουτιστεί η υπάρχουσα γνώση σε αυτό το μετωπικό τόσο σε επιστημονικό όσο και σε διδακτικό ερευνητικό πεδίο.

4.2 Διατύπωση Ερευνητικών Ερωτημάτων

Σκοπός της παρούσας έρευνας είναι η μελέτη των αντιλήψεων και διαδικασιών μάθησης των μαθητών σε επίπεδο Γυμνασίου για τις ιδιότητες των υλικών καθώς το μέγεθος των υλικών μεταβαίνει στην νανοκλίμακα, σύνδεσής τους με τις δυνάμεις που αναπτύσσονται μεταξύ των στοιχειωδών δομών.

Για την επίτευξη του παραπάνω σκοπού θεωρήθηκε απαραίτητη η χρήση έγκυρων, αξιόπιστων και κοινά αποδεκτών ερευνητικών εργαλείων. Ο προβληματισμός και η οργάνωση της έρευνας οδήγησε σε μια σειρά από σημαντικά ερευνητικά ερωτήματα, όπως:

- Ποιες είναι οι αντιλήψεις μαθητών Γυμνασίου για την αλλαγή ιδιοτήτων που συντελείται σε επίπεδο ναοκλίμακας;
- Ποιες είναι οι διαδικασίες μάθησης των μαθητών που οδηγούν προς την επιστημονική γνώση;

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΠΡΟΚΑΤΑΡΤΙΚΟΥ ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟΥ

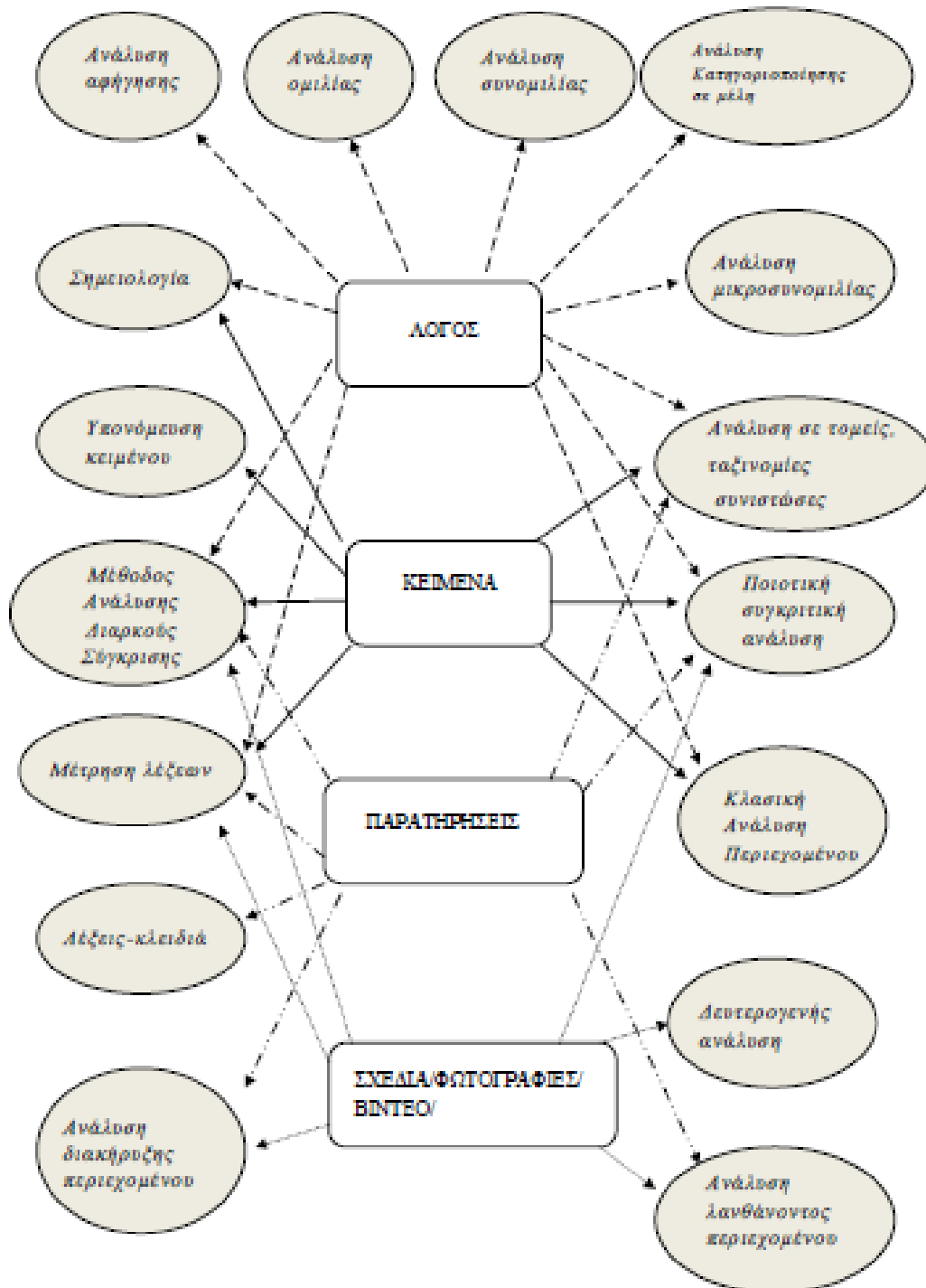
5.1 Ερευνητικές μέθοδοι ανάλυσης ποιοτικών δεδομένων

Οι κυριότερες μέθοδοι ανάλυσης ποιοτικών δεδομένων που χρησιμοποιούνται στην έρευνα της σχολικής ψυχολογίας⁴³, αλλά που μπορούν να εφαρμοστούν άμεσα και σε άλλους τομείς της έρευνας είναι οι ακόλουθες:

- (α) Μέθοδος Ανάλυσης Διαρκούς Σύγκρισης (method of constant comparison analysis),
- (β) Λέξεις-κλειδιά εντός του περιβάλλοντος (keywords-in-context),
- (γ) Μέτρηση λέξεων (word count),
- (δ) Κλασική Ανάλυση Περιεχομένου (classical content analysis),
- (ε) Ανάλυση σε τομείς (domain analysis),
- (στ) Ανάλυση σε ταξινομίες (taxonomic analysis),
- (ζ) Ανάλυση σε συνιστώσες (componential analysis),
- (η) Ανάλυση συνομιλίας (conversation analysis),
- (θ) Ανάλυση ομιλίας (discourse analysis),
- (ι) Δευτερογενής ανάλυση δεδομένων (secondary data analysis),
- (ια) Ανάλυση Κατηγοριοποίησης σε μέλη (membership categorization analysis),
- (ιβ) Ανάλυση αφήγησης (narrative analysis),
- (ιγ) Ποιοτική συγκριτική ανάλυση (qualitative comparative analysis),
- (ιδ) Σημειολογία (semiotics),
- (ιε) Ανάλυση διακήρυξης περιεχομένου (manifest content analysis),
- (ιστ) Ανάλυση λανθάνοντος περιεχομένου (latent content analysis),
- (ιζ) Υπονόμευση κειμένου (text mining),
- (ιη) Ανάλυση μικροσυνομιλίας (microinterlocutor analysis),

Θεωρώντας ότι τα ποιοτικά δεδομένα προκύπτουν από τέσσερις βασικές πηγές, οι οποίες είναι: Οι συνομιλίες, οι παρατηρήσεις, τα σχέδια/φωτογραφίες/βίντεο και τα κείμενα, τα εργαλεία ανάλυσης που

αναφέρθηκαν μπορούν να χρησιμοποιηθούν όπως περιγράφεται στο ακόλουθο σχήμα:



Σχήμα 2: Είδη ποιοτικών δεδομένων και αντίστοιχων μεθόδων ανάλυσης

Στην παρούσα εμπειρική έρευνα τα είδη των ποιοτικών δεδομένων που συλλέχθηκαν ήταν κείμενα (απαντήσεις στις ανοιχτού τύπου ερωτήσεις), συνομιλίες-προφορικός λόγος (μαγνητοφωνημένες συνομιλίες κατα το Δ.Π.)

και σχέδια των μαθητών/τριών. Σε αυτό το κεφάλαιο η εμπειρική έρευνα ξεκινά με την ανάπτυξη προκαταρκτικού ερωτηματολογίου καταγραφής των ιδεών μαθητών/τριών Γυμνασίου για τις ιδιότητες και την επεξεργασία-ερμηνεία των απαντήσεων.

5.2 Ανάπτυξη ερωτήσεων ερωτηματολογίου

Ξεκινώντας τη διαδικασία σχεδιασμού των διδακτικών παρεμβάσεων στα πλαίσια της μεθοδολογίας της Διδακτικής Αναδόμησης, που απαιτεί κυκλική ανατροφοδότηση και αλληλεπίδραση μεταξύ του περιεχομένου προς διδασκαλία, των απόψεων των μαθητών/τριών και των διδακτικών παρεμβάσεων, αναπτύχθηκε ένα ανοικτό ερωτηματολόγιο προκειμένου να διερευνηθούν οι απόψεις των μαθητών/τριών σχετικά με τις ιδιότητες που έχουν τα υλικά και του τρόπου με τον οποίο οι ιδιότητες αλλάζουν.

Το ερωτηματολόγιο δόθηκε σε τέσσερα τμήματα της Β' τάξης Γυμνασίου στα τέλη Ιανουαρίου (Β' Τρίμηνο) και συμπληρώθηκε από 70 μαθητές/τριες. Στα τμήματα αυτά είχα αναλάβει τη διδασκαλία των μαθημάτων της Χημείας και Βιολογίας (μαθήματα που διδάσκονται μία ώρα την εβδομάδα σύμφωνα με το αναλυτικό πρόγραμμα). Οι μαθητές/τριες πληροφορήθηκαν για τον σκοπό της έρευνας, για το ότι ήταν προαιρετική και χωρίς βαθμολογία η συμμετοχή τους και τους ζητήθηκε να συμπληρώσουν το ερωτηματολόγιο σε 20'.

Το ερωτηματολόγιο αποτελείτο από τρεις ερωτήσεις ανοιχτού τύπου. Στην 1^η ερώτηση δόθηκαν κάποια υλικά γνωστά από την ενασχόληση στο σχολείο και την καθημερινότητά τους και ζητήθηκε από τους/τις μαθητές/τριες να τα περιγράψουν με μία πρόταση. Ειδικότερα:

ΕΡΩΤΗΣΗ 1^η

Να γράψετε μία πρόταση περιγράφοντας καθένα από τα παρακάτω υλικά (σίδηρος, γυαλί, αλάτι, οινόπνευμα, διοξείδιο του άνθρακα), ώστε ο διπλανός σας που θα διάβαζε την περιγραφή να καταλάβει για ποιο υλικό γράφετε :

1^η

2^η

3^η

4^η

5^η

Στόχος της 1^{ης} ερώτησης ήταν να διερευνηθούν οι απόψεις των μαθητών/τριών σχετικά με το τι θεωρούν ιδιότητα (property), δηλαδή χαρακτηριστικό γνώρισμα ενός υλικού που συνιστά στοιχείο αναγνώρισής του και διάκρισής του από τα άλλα⁴. Τα υλικά επιλέχθηκαν ώστε να περιλαμβάνουν στερεά, υγρά και αέρια προκειμένου να εκμειευτούν ιδέες σχετικά με τη μικροσκοπική δομή της ύλης και τις γνωστές φυσικές τους ιδιότητες.

Στην 2^η ερώτηση οι μαθητές/τριες καλούνται να αιτιολογήσουν τους λόγους που επέλεξαν αυτά τα χαρακτηριστικά. Συγκεκριμένα, η διατύπωση της 2^{ης} ερώτησης ήταν η ακόλουθη:

ΕΡΩΤΗΣΗ 2^η

Αναφέρετε το λόγο που επιλέξατε αυτά τα χαρακτηριστικά για το καθένα από τα παραπάνω υλικά.

Σκοπός της 2^{ης} ερώτησης ήταν η επιβεβαίωση από τους/τις μαθητές/τριες του ιδιαίτερου χαρακτηριστικού που επέλεξαν ως ιδιότητα διαφοροποίησης του συγκεκριμένου υλικού.

Στην 3^η ερώτηση οι μαθητές/τριες έπρεπε να εξετάσουν αν τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα των υλικών αλλάζουν και κάτω από ποιες συνθήκες. Συγκεκριμένα η 3^η ερώτηση είχε διατυπωθεί ως εξής:

ΕΡΩΤΗΣΗ 3^η

Είναι δυνατόν τα χαρακτηριστικά των υλικών που αναφέρατε παραπάνω να αλλάξουν; Αιτιολογήστε την απάντησή σας. Αν νομίζετε ότι είναι δυνατόν αναφέρετε και τρόπους που μπορεί να συμβεί αλλαγή των χαρακτηριστικών.

Σκοπός της 3^{ης} ερώτησης ήταν η διερεύνηση των απόψεων των μαθητών/τριών σχετικά με το αν θεωρούν ότι οι ιδιότητες των υλικών αλλάζουν ή όχι. Επιδιώκεται να καταγραφούν ιδιότητες που αλλάζουν ή

παραμένουν αναλλοίωτες (διάκριση ίσως σε εντατικές ή εκτατικές) και οι τρόποι αλλαγής των ιδιοτήτων.

5.3 Επεξεργασία των απαντήσεων

Από τα 70 ερωτηματολόγια που συμπληρώθηκαν τα 36 συμπληρώθηκαν από αγόρια και τα 32 από κορίτσια (για 2 ερωτηματολόγια δεν έχουμε στοιχεία ως προς το φύλο).

Η ανάλυση των ποιοτικών δεδομένων είναι μία διαρκής, επαναληπτική διαδικασία που ξεκινά από τα αρχικά στάδια συλλογής δεδομένων και συνεχίζεται καθόλη τη διάρκεια της μελέτης χωρίς όμως να υπάρχει ένας και μοναδικός κατάλληλος τρόπος για να πραγματοποιηθεί⁴⁴.

Αναλυτικά:

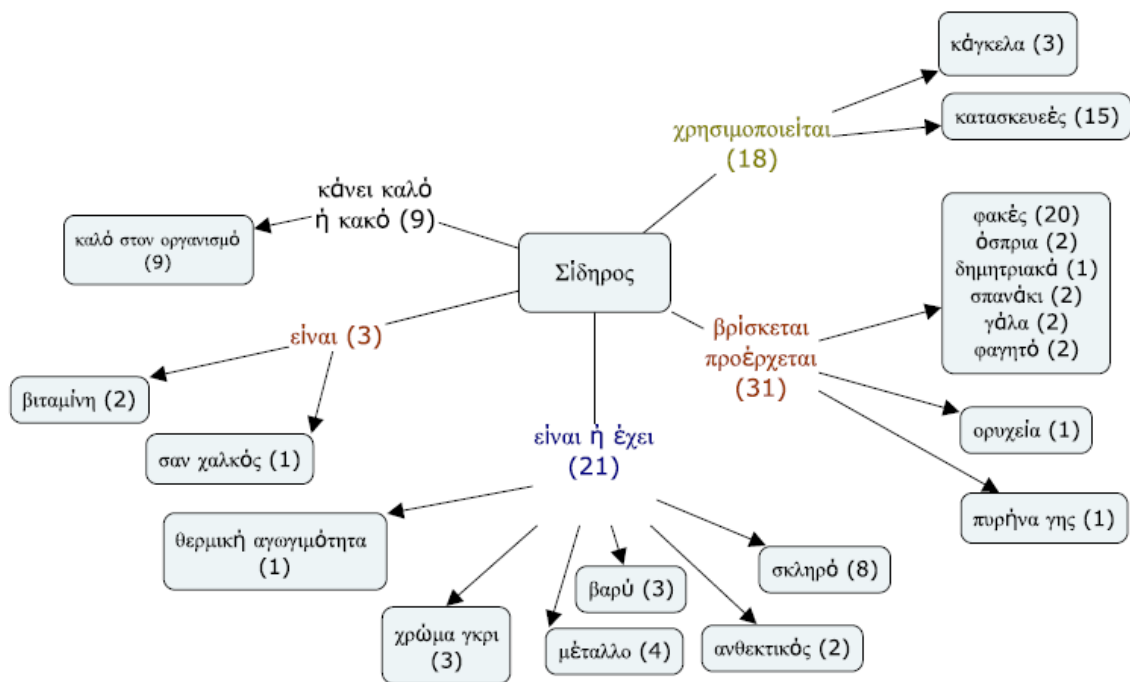
5.3.1 Επεξεργασία 1ης ερώτησης

Για την 1^η ερώτηση οι απαντήσεις ταξινομήθηκαν ως προς την συχνότητα εμφάνισης και κωδικοποιήθηκαν σε κώδικες και ακολούθως οργανώθηκαν σε κατηγορίες σύμφωνα με το Σχήμα 3. Ταξινομώντας τα χαρακτηριστικά που επέλεξαν οι μαθητές/τριες να χρησιμοποιήσουν για να περιγράψουν το υλικό 'σίδηρος' μπορούμε να κάνουμε τις ακόλουθες παρατηρήσεις:

Αρχικά πολλοί μαθητές/τριες δεν χρησιμοποίησαν μόνο μία πρόταση αλλά ένα συνδυασμό προτάσεων, όπως «...σκληρό υλικό που χρησιμοποιούμε κυρίως για κατασκευή εργαλείων και γενικά για πράγματα που θέλουμε να είναι ανθεκτικά» (Ερωτημ. 57) με αποτέλεσμα να εμφανιστούν πολλαπλές περιγραφές.

Στο σύνολο σχεδόν των υλικών οι μαθητές/τριες επέλεξαν ως βασικό χαρακτηριστικό, που περιγράφει το υλικό, ένα χαρακτηριστικό που συνδέεται με τη χρήση του.

(Ερωτημ. 28) «*Το χρησιμοποιούμε για να φτιάξουμε πολυκατοικίες*»



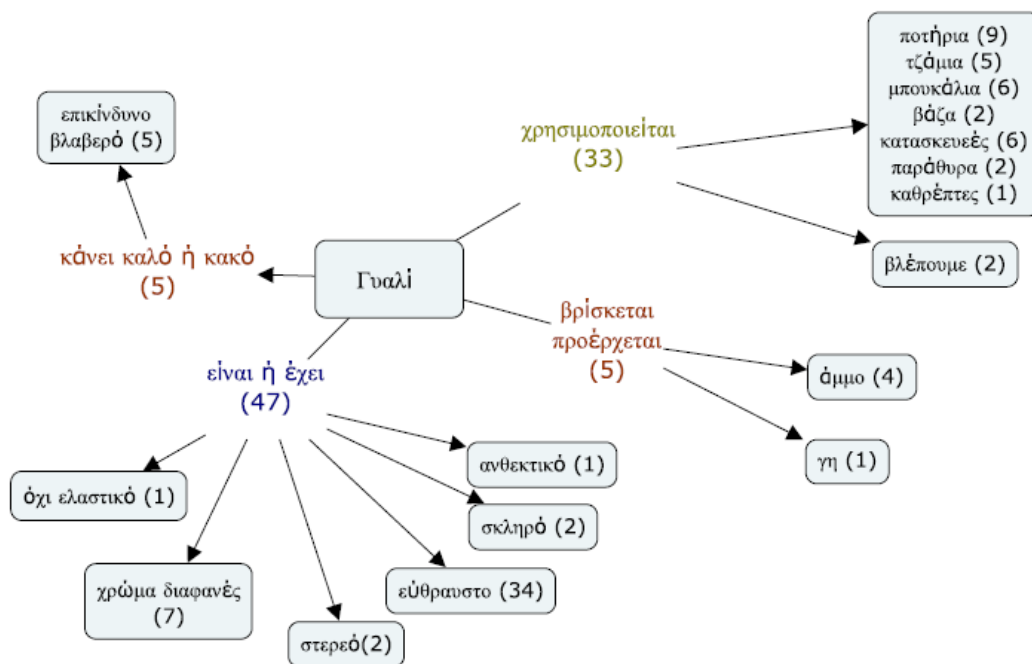
Σχήμα 3: Περιγραφή του σιδήρου

Επιπλέον, οι μαθητές/τριες επέλεξαν ως πιο συχνή περιγραφή το από που παίρνουμε αυτό το υλικό. Μαθήτρια περιγράφει τον σίδηρο ως:

(Ερωτημ.12) «*Το παίρνουμε από τις φακές*»

Επίσης σημειώνεται ότι συνδέουν το υλικό αυτό με το τι μας προσφέρει αν μας ωφελεί ή αν μας βλάπτει. Σύμφωνα με 9 μαθητές/τριες ο σίδηρος κάνει καλό στον οργανισμό μας. Το χρώμα και άλλες ιδιότητες που προκύπτουν από τις αισθήσεις αναφέρονται πιο σπάνια, ενώ 4 θεώρησαν ότι ο χαρακτηρισμός μέταλλο (Ερωτημ. 18: «βαρύ αντικείμενο, ανήκει στα μέταλλα», Ερωτημ. 19: « Βαρύ μεταλλικό αντικείμενο, πολλές φορές είναι ασημί γκρίζο», Ερωτημ. 38: «μέταλλο σε γκρι απόχρωση και πολύ σκληρό», Ερωτημ. 54: « το πιο γνωστό μέταλλο») διαφοροποιεί αυτό υλικό σε σχέση με τα άλλα.

Ως προς το 2^ο υλικό το γυαλί οι απαντήσεις ταξινομούνται σύμφωνα με τον εννοιολογικό χάρτη στο Σχήμα 4.



Σχήμα 4: Περιγραφή του γυαλιού

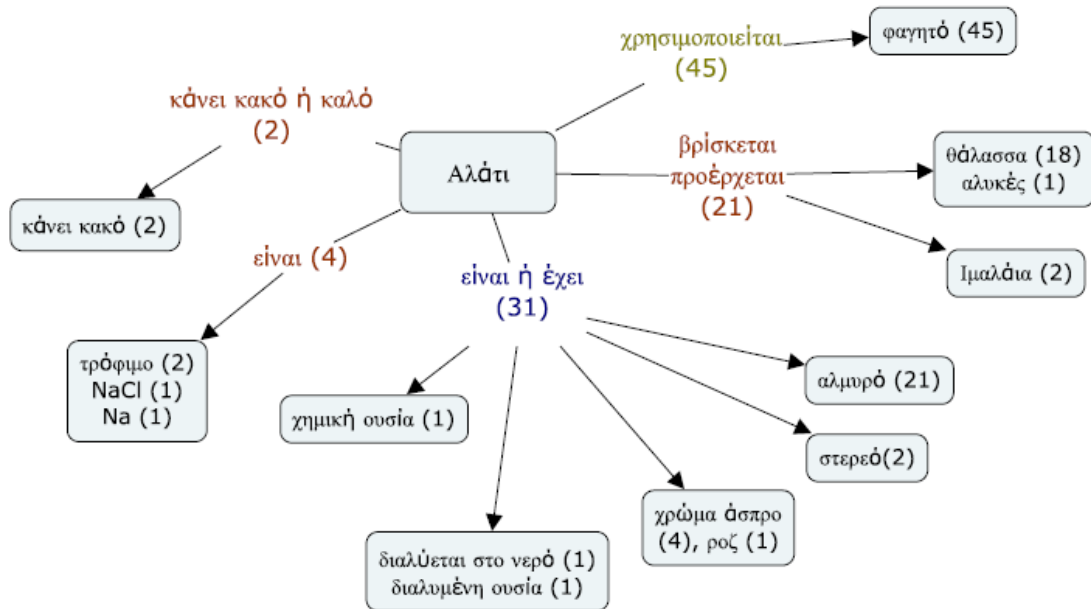
Παρατηρούμε ότι και σε αυτό το υλικό οι κατηγορίες ταξινόμησης των κωδικών κινούνται στους άξονες: «χρήση», «προέλευση», «φυσικές ιδιότητες», «ανθρωποκεντρισμός», δηλ. αν κάνει καλό ή κακό στον άνθρωπο. Το βασικό χαρακτηριστικό που επέλεξε η πλειοψηφία των μαθητών/τριών να χρησιμοποιήσει ήταν η ιδιότητα της ευθραυστότητας αλλά και η χρήση του στην κατασκευή μπουκαλιών, ποτηριών κ.α. Έτσι σύμφωνα με το Ερωτηματολόγιο 3 : «Είναι εύθραυστο και φτιάχνεται το τζάμι από αυτό».

Για το τρίτο υλικό το αλάτι οι άξονες ταξινόμησης εμφανίζονται στον εννοιολογικό χάρτη του Σχήματος 5:

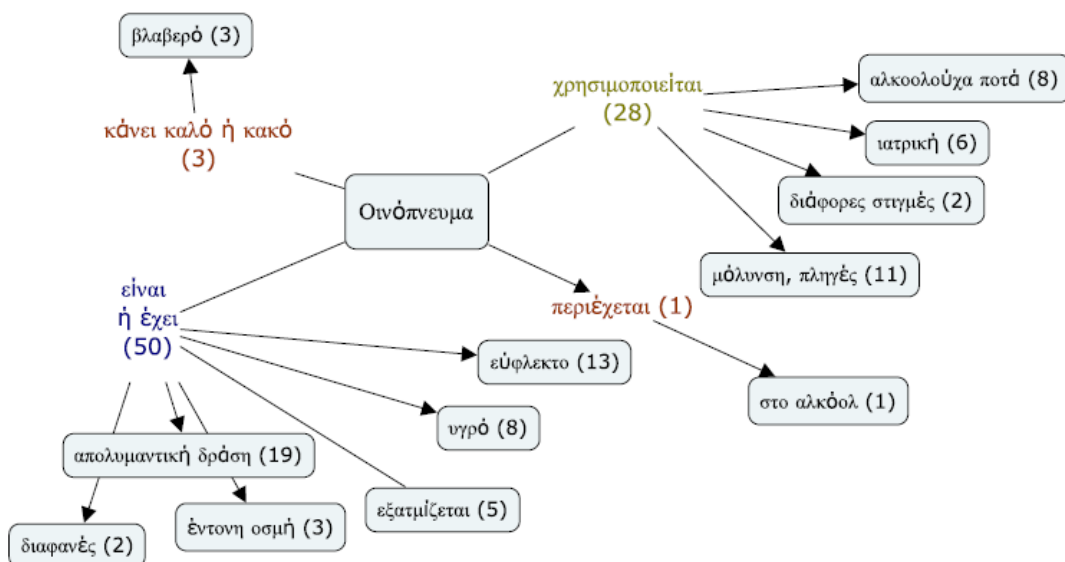
Παρατηρούμε ότι εμφανίζονται οι κατηγορίες: «χρήση», «προέλευση», «φυσικές ιδιότητες», «ανθρωποκεντρισμός». Για παράδειγμα στο Ερωτηματολόγιο 1: «Το αντικείμενο αυτό το χρησιμοποιούμε στο φαγητό, μπορεί να είναι Ιμαλαΐων ή μπορούμε να το βρούμε στη θάλασσα». Κάποιοι μαθητές/τριες προσπάθησαν να το περιγράψουν με το χημικό τους σύμβολο.

Για το οινόπνευμα σύμφωνα με τον εννοιολογικό χάρτη στο Σχήμα 6 οι απαντήσεις κωδικοποιούνται στις ίδιες κατηγορίες με κυρίαρχη τη χρήση και

την απολυμαντική δράση. Στο Ερωτηματολόγιο 11 για παράδειγμα: «Το χρησιμοποιούμε για να απολυμάνουμε κάτι και είναι υγρό».

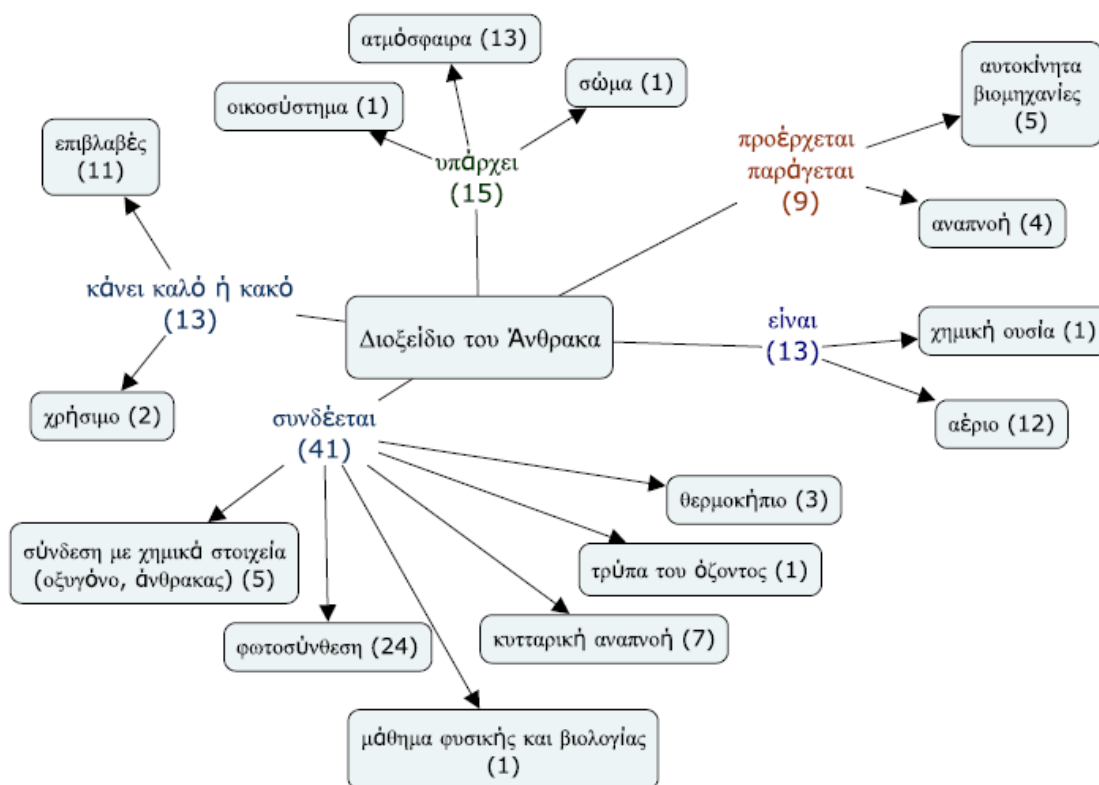


Σχήμα 5: Περιγραφή του αλατιού



Σχήμα 6: Περιγραφή του οινοπνεύματος

Το 5^ο υλικό, το διοξείδιο του άνθρακα, περιγράφηκε από τους μαθητές/τριες με προτάσεις που κωδικοποιούνται με ανάλογους άξονες ταξινόμησης αλλά εδώ εμφανίστηκε και μία διαφορετική κατηγορία που συνδέει το διοξείδιο του άνθρακα με χημικές αντιδράσεις και φαινόμενα που συμβαίνουν στη φύση όπως η φωτοσύνθεση, η κυτταρική αναπνοή, το φαινόμενο του θερμοκηπίου (Σχήμα 7).



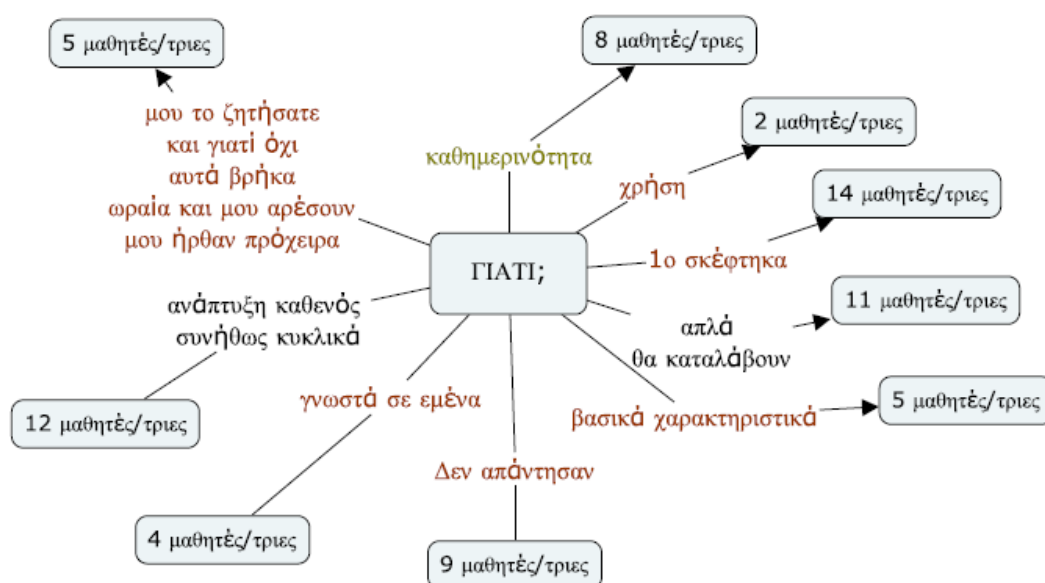
Σχήμα 7: Περιγραφή του διοξειδίου του άνθρακα

Συνολικά, οι μαθητές/τριες επέλεξαν να περιγράψουν τα υλικά με βάση τους άξονες «χρήση», «προέλευση», «ανθρωποκεντρισμός», «φυσικές ιδιότητες», παρατηρώντας ότι οι φυσικές και χημικές ιδιότητες δεν αποτελούν πρωταρχικό κριτήριο περιγραφής. Για το υλικό που είναι σε αέρια κατάσταση δίνονται κυρίως χαρακτηριστικά που συνδέονται με διαδικασίες που έχουν διδαχθεί. Αυτό αποτελεί ένα στοιχείο που συναντάται και στη βιβλιογραφία^{45,46}, καθώς τα αέρια αντιμετωπίζονται από τους μαθητές ως υλικά σώματα, αποκτούν υλική υπόσταση, στο πλαίσιο της διδασκαλίας των Φ.Ε.

5.3.2 Επεξεργασία 2ης ερώτησης

Στην 2^η ερώτηση όπου οι μαθητές/τριες καλούνται να αιτιολογήσουν την επιλογή της συγκεκριμένης περιγραφής παρατηρούνται ότι οι μαθητές/τριες θεωρούν αυτά τα χαρακτηριστικά βασικά χαρακτηριστικά των υλικών που θα βοηθήσουν τους συμμαθητές τους να καταλάβουν τι περιγράφουν (Ερωτημ. 56: «Επέλεξα αυτά τα χαρακτηριστικά γιατί πιστεύω πως αυτά είναι τα πιο βασικά για να καταλάβει κάποιος τι εννοώ»), που συνδέονται με την καθημερινότητα (Ερωτημ. 26: «... Έτσι έφτιαξα προτάσεις με την πραγματική ζωή»), τη χρήση τους (Ερωτημ. 34: «Γιατί έτσι μπορούμε να τα χαρακτηρίσουμε από την χρήση τους») και είναι οικεία (Ερωτημ. 8: «Επέλεξα αυτά τα χαρακτηριστικά διότι είναι πιο γνωστά σε μένα»).

Στον παρακάτω εννοιολογικό χάρτη (Σχήμα 8) παρουσιάζεται η ταξινόμηση των απαντήσεων γύρω από τους παραπάνω άξονες.



Σχήμα 8: Αιτιολόγηση επιλογής χαρακτηριστικών

Συμπεραίνουμε ότι οι μαθητές/τριες δυσκολεύονται να αιτιολογήσουν την επιλογή της συγκεκριμένης περιγραφής, αφού λίγοι (15 σε σύνολο 70) καταφέρνουν να επιχειρηματολογήσουν αναφέροντας ρητά λόγους επιλογής. Συγκεκριμένα, οκτώ (8) από αυτούς αιτιολογούν την επιλογή με βάση την

καθημερινότητα, δύο (2) αναγνωρίζουν ότι επέλεξαν τα χαρακτηριστικά με βάση την χρήση τους και πέντε (5) αναγνωρίζουν αυτά τα χαρακτηριστικά ως εκείνα που βοηθούν στη διαφοροποίηση των υλικών από τα άλλα. Οι απαντήσεις των υπολοίπων μαθητών/τριών δεν συνιστούν τεκμηριωμένες αιτιολογήσεις της επιλογής τους.

5.3.3 Επεξεργασία 3ης ερώτησης

Στην 3^η ερώτηση οι μαθητές/τριες καλούνται να απαντήσουν αν οι ιδιότητες αλλάζουν, ποιες μπορεί να αλλάξουν και κάτω από ποιες συνθήκες.

Οι απαντήσεις των μαθητών/τριών ποικίλλουν. Συγκεκριμένα:

Δώδεκα (12) μαθητές/τριες θεωρούν ότι *οι ιδιότητες δεν αλλάζουν*. (Ερωτημ. 5: «*Όχι, γιατί είναι από τις ιδιότητες των υλικών. Δεν αλλάζει αυτή η κατάσταση. Έτσι είναι η δομική σύστασή τους*»).

Δεκαεπτά (17) μαθητές/τριες δηλώνουν ότι *μερικές ιδιότητες αλλάζουν* και αναφέρουν κυρίως την αλλαγή φυσικής κατάστασης και την τήξη των στερεών. (Ερωτημ. 7: «*Τα περισσότερα από αυτά όχι αλλά τα στερεά όπως ο σίδηρος μπορεί να λιώσει*»).

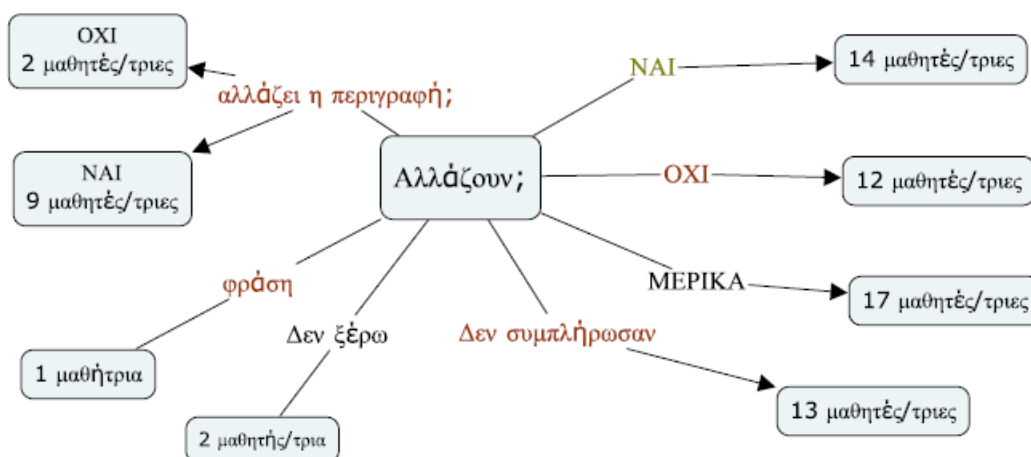
Δεκατέσσερις (14) μαθητές/τριες δηλώνουν ότι *οι ιδιότητες αλλάζουν*.

Δεκατρείς (13) μαθητές/τριες δεν απάντησαν.

Σημειώνουμε ότι έντεκα (11) μαθητές/τριες θεώρησαν ότι η ερώτηση αναφερόταν στο αν θα άλλαζαν εκείνοι την περιγραφή για το συγκεκριμένο υλικό (Ερωτημ 26 : «*Ναι, γιατί υπάρχουν και άλλες περιγραφικές προτάσεις για το κάθε υλικό*»).

Αυτοί οι μαθητές/τριες περιορίστηκαν από το νόημα που απέδωσαν στον γραπτό λόγο. Χωρίς να ζητήσουν εξήγηση ερμήνευσαν διαφορετικά την ερώτηση.

Στο Σχήμα 9 κωδικοποιούνται οι απαντήσεις της 3^{ης} ερώτησης



Σχήμα 9: Αλλαγή των ιδιοτήτων

Συνοψίζοντας, ότι όταν οι μαθητές/τριες καλούνται να βρουν τρόπους ή συνθήκες αλλαγής ιδιοτήτων αναφέρουν αλλαγή φυσικής κατάστασης κυρίως λόγω θέρμανσης ή ψύξης και κυρίως τήξη των στερεών.

5.4 Σχόλια- Συμπεράσματα

Συγκεντρώνοντας τα αποτελέσματα της ανάλυσής μας μπορούμε να σημειώσουμε τα εξής:

Οι μαθητές/τριες θεωρούν ότι τα βασικά, ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των υλικών συνδέονται με τη χρήση τους. Επίσης οι μαθητές/τριες συνδέουν τα χαρακτηριστικά των υλικών με την προέλευσή τους και υπό την προοπτική της αξίας τους για τον άνθρωπο. Η φυσική κατάσταση θεωρείται ένα βασικό χαρακτηριστικό των υλικών και είναι το μοναδικό χαρακτηριστικό που οι μαθητές παραδέχονται ότι μπορεί να αλλάξει. Σχετικά με την αλλαγή των ιδιοτήτων οι απόψεις των μαθητών/τριων διαφέρουν. Σχεδόν το 1/3 αυτών που απάντησαν με σαφή τρόπο θεωρεί ότι οι ιδιότητες δεν αλλάζουν, το 1/3 απαντά ότι μερικές αλλάζουν και το υπόλοιπο 1/3 θεωρεί ότι οι ιδιότητες αλλάζουν.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΔΙΔΑΚΤΙΚΟ ΠΕΙΡΑΜΑ

6.1 Η μέθοδος του Διδακτικού Πειράματος

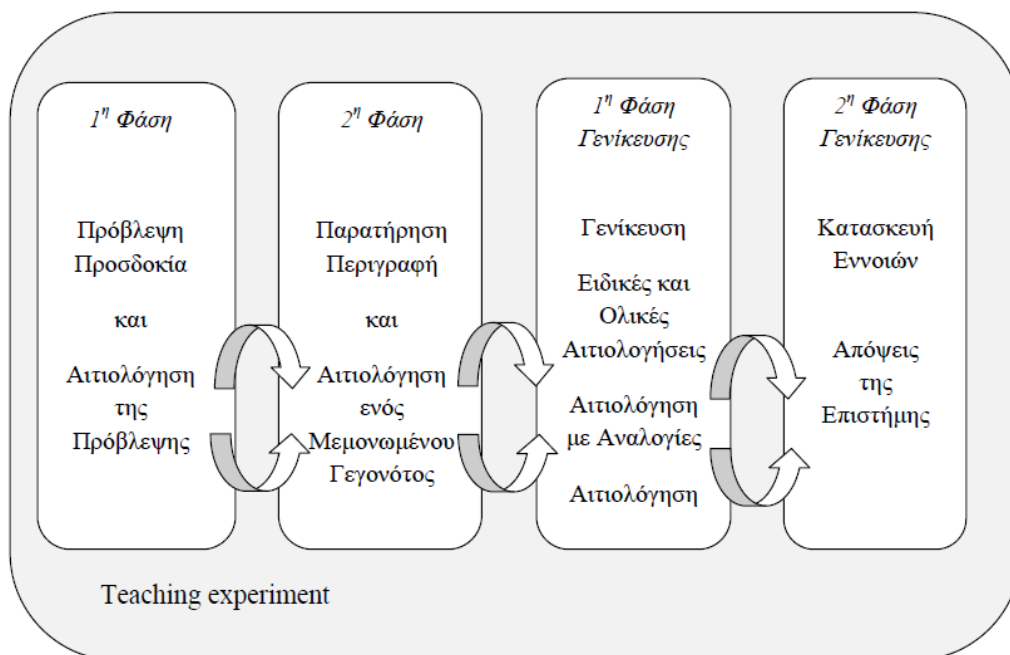
Η μεθοδολογία του Διδακτικού Πειράματος (Δ.Π.) έχει αποδειχθεί ότι είναι μία δυναμική μέθοδος για την ανάπτυξη και την αποτίμηση διδακτικών και μαθησιακών σειρών στη Διδακτική Των Φ.Ε.⁴⁷ .Οι Komorek και Duit το 2004⁴⁸ παρουσίασαν μία σύντομη σύνοψη ενός εκτεταμένου project διερεύνησης του κατά πόσο είναι διδακτικά σημαντική η διδασκαλία των μη-γραμμικών συστημάτων και αν οι μαθητές κατανοούν τις βασικές ιδέες που διέπουν αυτά τα φαινόμενα. Το project βασίστηκε στο μοντέλο του διδακτικής αναδόμησης χρησιμοποιώντας τη μέθοδο του Δ.Π. Η μέθοδος αυτή έχει αποδειχθεί να είναι μία πολύτιμη ερευνητική μέθοδος για την διερεύνηση διδακτικών και μαθησιακών διαδικασιών. Τα Δ.Π. μπορούν να θεωρηθούν ως κριτικές συνεντεύξεις κατά Piaget όπου σκόπιμα έχουν εφαρμοστεί σε καταστάσεις διδασκαλίας και μάθησης. Ο ερευνητής αναλαμβάνει τους ρόλους ενός κλασσικού συνεντευκτή (που προσπαθεί να καταλάβει την κατανόηση των μαθητών) και ενός δασκάλου⁴⁹ . Παρόλο που το Δ.Π. εφαρμόζεται εκτός τάξης έχει πολλά από τα βασικά χαρακτηριστικά της έρευνας στην πραγματική τάξη. Επομένως αυτή η μέθοδος είναι κατάλληλη για να συνδεθεί η έρευνα με την ανάπτυξη διδακτικών και μαθησιακών ενοτήτων.

Η Steffe σημειώνει ότι το Δ.Π. διαφέρει με δύο τρόπους από την κλασική συνέντευξη κατά Piaget⁵⁰. Πρώτον, διαρκεί πολλές περιόδους και δεύτερον οι συνεντεύξεις κατά μεγάλο μέρος οργανώνονται σκόπιμα ως καταστάσεις μάθησης. Το τελευταίο προκύπτει από το ότι κάθε συνέντευξη έχει διδακτικούς στόχους. Σε ένα Δ.Π. ένας αριθμός πειραμάτων και φαινομένων που απαιτούν επεξήγηση συζητούνται με τους μαθητές. Ο ερευνητής παίρνει τους ρόλους και του συνεντευκτή και του δασκάλου. Ως συνεντευκτή ο ρόλος του/της είναι να διερμηνεύει τα ατομικά πλαίσια απόψεων των μαθητών. Ως δάσκαλος πρέπει να έχει απαντήσεις στις απόψεις των μαθητών και να κάνει την κατάλληλη διδακτική παρέμβαση στην κατάλληλη στιγμή. Η στρατηγική της συνέντευξης βοηθά τους μαθητές να συνειδητοποιήσουν τις απόψεις τους

και τα όρια των απόψεών τους. Παρακινούνται να βρουν εναλλακτικές εξηγήσεις. Τελικά οι μαθητές πρέπει να λάβουν γνώση της εξέλιξης των απόψεών τους και της διαδικασίας με την οποία άλλαξαν. Καθώς η συνέντευξη και η διδασκαλία περιπλέκονται, μία σειρά από διδακτικές και μαθησιακές δραστηριότητες πρέπει να αναπτυχθούν για την διεξαγωγή του Δ.Π. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης του περιεχομένου και τα διαθέσιμα εμπειρικά αποτελέσματα σχετικά με τη μάθηση καθώς και οι ιδέες από προηγούμενες οδηγίες λαμβάνονται υπόψη. Οι διδακτικές και μαθησιακές ακολουθίες που αναπτύσσονται μπορούν να αποτελέσουν τη βάση για διδασκαλία στην τάξη. Οι εμπειρίες που αποκτώνται σε ένα Δ.Π. επομένως βοηθούν να δημιουργηθούν πραγματικά μαθήματα και να αναπτυχθούν οι προκαταρκτικές διδακτικές και μαθησιακές ακολουθίες σε μία ενότητα οδηγιών διδασκαλίας⁵¹.

Η μέθοδος του Δ.Π. ταιριάζει με το πλαίσιο του Μοντέλου της Διδακτικής Αναδόμησης. Επιτρέπει την διερεύνηση των απόψεων των μαθητών πριν από την διδασκαλία και τον τρόπο με τον οποίο οι μαθητές μπορούν να κατευθυνθούν στην επιστημονική άποψη. Επίσης διευκολύνει τη στενή σύνδεση των εμπειρικών ερευνών στις διδακτικές και μαθησιακές διαδικασίες με την ανάπτυξη οδηγιών διδασκαλίας. Οι Komorek και Duit χρησιμοποίησαν τη μέθοδο που προτάθηκε από την Steffe που πήρε συνεντεύξεις από ένα μαθητή τη φορά. Αργότερα ανέπτυξαν τη μέθοδο χρησιμοποιώντας ομάδες μαθητών (με δύο ως τέσσερις μαθητές) προκειμένου να μελετήσουν διδακτικές και μαθησιακές διαδικασίες σε 'κοινότητες μάθησης'⁴⁸.

Κατά την πορεία των Δ.Π. στις μελέτες των Komorek και Duit ένα σύνολο τεσσάρων φάσεων με τις «υποχρεωτικές» ερωτήσεις χρησιμοποιήθηκε όταν ένα αντικείμενο παρουσιαζόταν ή ένα πείραμα πραγματοποιείτο (Εικόνα 8).



Εικόνα 8: Τέσσερις φάσεις της πορείας ενός Δ.Π.

1η φάση: Πρόβλεψη πριν την πρώτη παρουσίαση. Τι περιμένεις; Πως θα εξελιχθεί το πείραμα; Ποιες κινήσεις παρατήρησης; Πως έφτασες σε αυτήν την άποψη;

2^η φάση: Προσωπική εξήγηση μετά από την εκτέλεση. Περιέγραψε τις παρατηρήσεις. Μπορείς να εξηγήσεις τη συμπεριφορά; Ποια χαρακτηριστικά του αντικειμένου ή της δομής είναι υπεύθυνα για αυτήν τη συμπεριφορά; Ποιες δυνάμεις και άλλες επιδράσεις είναι παρούσες; Τι θα συμβεί αν το πείραμα επαναληφθεί;

1^η φάση Γενίκευσης μετά από πολλαπλές επαναλήψεις: Μπορείς να περιγράψεις την συμπεριφορά συνολικά; Τι συμβαίνει παγκόσμια, τοπικά; Ποιες ανάλογες σχέσεις μπορείς να αναπτύξεις με άλλα αντικείμενα ή πειράματα;

2^η φάση Γενίκευσης: Ποιες καινούριες έννοιες έχεις αναπτύξει; Τι σημαίνουν τα αποτελέσματα της μελέτης σου για συγκεκριμένες έννοιες της επιστήμης; Σε ποια έκταση πρέπει να τροποποιηθούν, να επεκταθούν να επανακαθοριστούν; Ποιες οι αλλαγές στις απόψεις σου για τη Φυσική;

Η πρόβλεψη, η προσωπική εξήγηση και η γενίκευση είναι τυπικές φάσεις στη εφαρμογή του Δ.Π..

6.2 Σχεδιασμός και Διάρθρωση του Διδακτικού Πειράματος στην εργασία μας

Συνδυάζοντας τα αποτελέσματα της αρχικής φάσης της έρευνας, δηλαδή τις αντιλήψεις των μαθητών/τριών για τις ιδιότητες των υλικών και τους τρόπους αλλαγής αυτών, αλλά και των δραστηριοτήτων που προτείνονται από τη βιβλιογραφία εργαζόμενοι στο μεθοδολογικό πλαίσιο της Διδακτικής Αναδόμησης διαμορφώθηκε μία διδακτική ακολουθία για την ανάδειξη της αλλαγής των ιδιοτήτων των υλικών όταν προσεγγίζουμε τη νανοκλίμακα.

Η έρευνα πραγματοποιήθηκε στο 3ο τρίμηνο του σχολικού έτους 2015-16 και σε αυτήν συμμετείχαν μαθητές και μαθήτριες της Β' και Γ' τάξης του Γυμνασίου. Επιπρόσθετα προσπαθήσαμε να συνδέσουμε την αλλαγή των ιδιοτήτων και με τις δυνάμεις που κυριαρχούν καθώς μεταβαίνουμε από τον μακρόκοσμο στη νανοκλίμακα και να διερευνήσουμε πως αντιλαμβάνονται και σχεδιάζουν τις δυνάμεις οι μαθητές\τριες στην κάθε περίπτωση. Για το λόγο αυτό αποκλείσαμε τη συμμετοχή μαθητών της Α' τάξης του Γυμνασίου γιατί θεωρήσαμε ότι δεν θα ήταν, έστω και ελάχιστα, εξοικιωμένοι ειδικότερα με τον σχεδιασμό των δυνάμεων. Επιλέξαμε στην διαδικασία να συμμετάσχουν μαθητές κατά ζεύγη, ώστε να μελετήσουμε και τις διαδικασίες μάθησης μέσω της αλληλεπίδρασης των συντευξιαζόμενων. Σύμφωνα με την Driver⁴:

Η συζήτηση μεταξύ ομότιμων μπορεί να υπηρετήσει έναν αριθμό λειτουργιών στη διαδικασία οικοδόμησης της γνώσης. Παρέχει ένα πλαίσιο, στο οποίο υποσυνείδητες ιδέες μπορεί να γίνουν φανερές και διαθέσιμες στο στοχασμό και στον έλεγχο. Δημιουργεί μία κατάσταση στην οποία τα άτομα πρέπει να ξεκαθαρίσουν τις δικές τους ιδέες κατά τη διαδικασία της συζήτησης με άλλους. Τελος, δίνει την ευκαρία στα άτομα να χτίσουν ο ένας πάνω στις ιδέες του άλλου για να φτάσουν σε μία λύση.

Το Δ.Π. αποτελείτο από τις εξής φάσεις (Παράρτημα II):

- Εισαγωγική συνέντευξη διερεύνησης των αντιλήψεων των μαθητών για την αλλαγή των ιδιοτήτων και του είδους των δυνάμεων
- 1η Δραστηριότητα: Στατικός ηλεκτρισμός και εμφάνισή του καθώς το μέγεθος μειώνεται.

- 2η Δραστηριότητα: Μεταβολή της απορροφητικότητας υλικού καθώς η επιφανειακή τραχύτητα γίνεται νανοτραχύτητα.
- 3η Δραστηριότητα: Μεταβολή μαγνητικών ιδιοτήτων (μαγνήτισης) σιδηρομαγνητικών υλικών καθώς μεταβαίνουμε στην νανοκλίμακα. Συμπεριφορά μαγνητικού υγρού (Ferrofluid)
- Σύνδεση των δραστηριοτήτων-Τελική συνέντευξη-Αξιολόγηση της διαδικασίας.

6.2.1 Δομή Δ.Π.

Το Δ. Π. ξεκίνησε με την εισαγωγική συνέντευξη με:

Διδακτικό Στόχο: τη διερεύνηση των αντιλήψεων των μαθητών/τριών για τις ιδιότητες των υλικών, την αλλαγή των ιδιοτήτων, τις ιδέες του για τη δομή της ύλης και του είδους των δυνάμεων που κυριαρχούν σε κάθε κλίμακα μεγέθους.

Ειδικότερα, οι μαθητές/τριες ρωτήθηκαν για το πως ορίζουν τον όρο ιδιότητα και αν μπορούν να αναφέρουν παραδείγματα ιδιοτήτων.

Στη συνέχεια κλήθηκαν να απαντήσουν αν περιμένουν οι ιδιότητες να αλλάξουν, και αν θεωρούν ότι αλλάζουν κάτω από ποια γεγονότα ή συνθήκες. Εισήχθη η διαδικασία του τεμαχισμού και διερευνήθηκαν οι ιδιότητες που θεωρούν οι μαθητές/τριες ότι μεταβάλλονται κατά τον τεμαχισμό καθώς και η εμφάνιση ηλεκτρικών δυνάμεων στις δομές του μικρόκοσμου.

1η Δραστηριότητα: Στατικός ηλεκτρισμός και εμφάνισή του καθώς το μέγεθος μειώνεται.

Η 1^η Δραστηριότητα έχει:

Διδακτικό Στόχο: την εισαγωγή του μεγέθους ως μίας παραμέτρου που μπορεί να διαφοροποιήσει τις ιδιότητες ενός υλικού και στην διαφοροποίηση των ιδιοτήτων εξαιτίας την ενίσχυσης των ηλεκτροστατικών δυνάμεων.

Ακολουθώντας τη σειρά Πρόβλεψη- Εκτέλεση- Αιτιολόγηση παρουσιάζονται δύο δοχεία με μεγάλα και μικρά κομμάτια φελιζόλ και οι μαθητές/τριες καλούνται για το καθένα από αυτά, πρώτα για τα μεγάλα και κατόπιν για τα μικρά, να κάνουν μία πρόβλεψη για το τι θα συμβεί αν τρίψουμε το δοχείο με ένα ύφασμα. Στη συνέχεια εκτελούνται τα πειράματα επιβεβαιώνεται ή όχι η

πρόβλεψή τους και καλούνται να σχεδιάσουν τις δυνάμεις που ασκούνται στα μεγάλα και στα μικρά κομμάτια φελιζόλ. Αφού έχουν περιγράψει τι βλέπουν τους ζητάτε να αιτιολογήσουν το αποτέλεσμα, να το συνδέσουν με την αλλαγή του μεγέθους και να σχολιάσουν πότε παρατηρούμε και γιατί τα αποτελέσματα των δυνάμεων.

Στην Εικόνα 9 παρουσιάζεται η εικόνα που είδαν οι μαθητές/τριες συγκεντρωτικά και κλήθηκαν να σχεδιάσουν και να εξηγήσουν.



Εικόνα 9 :Δοχεία με μεγάλα και μικρά κομμάτια φελιζόλ μετά από τριβή με ύφασμα

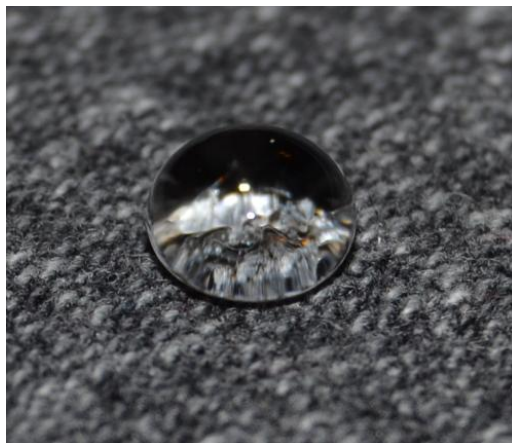
2η Δραστηριότητα: Μεταβολή της απορροφητικότητας υλικού καθώς η επιφανειακή τραχύτητα γίνεται νανοτραχύτητα.

Η 2^η δραστηριότητα έχει:

Διδακτικό Στόχο: την εισαγωγή στην νανοκλίμακα και στην αλλαγή της απορροφητικότητας των υλικών καθώς η τραχύτητα των επιφανειών αλλάζει. Επιχειρείται μία καταγραφή των ιδεών των μαθητών/τριών για τη φύση των δυνάμεων που επιδρούν στις διεπιφάνειες και τελικά οδηγούν στο να απορροφηθεί ή όχι μία σταγόνα νερού.

Στη 2^η δραστηριότητα παρουσιάστηκαν διαδοχικά δύο κομμάτια του ίδιου τζιν υφάσματος με την πληροφορία ότι στο δεύτερο ύφασμα η επιφάνεια αποτελούνταν από πολύ μικρά σωματίδια (νανοσωματίδια). Οι μαθητές/τριες κλήθηκαν να προβλέψουν τι θα συμβεί αν ρίχναμε λίγες σταγόνες νερό πάνω σε κάθε ύφασμα, εκτελέσαμε το πείραμα και τους ζητήσαμε να περιγράψουν

τι είδαν και αν επιβεβαιώθηκε ή όχι η αρχική τους πρόβλεψη (Εικόνα 10). Στη συνέχεια τους ζητήθηκε να σχεδιάσουν τα υφάσματα, τις σταγόνες και τις δυνάμεις που ασκούνται πάνω στις σταγόνες. Προσπαθήσαμε με ερωτήσεις να συνδέσουμε την αλλαγή της ιδιότητας της απορροφητικότητας με την αλλαγή της τραχύτητας της επιφάνειας.



Εικόνα 10: Σταγόνα νερού πάνω στο ύφασμα που δεν απορροφά

3η Δραστηριότητα: Μεταβολή μαγνητικών ιδιοτήτων (μαγνήτισης) σιδηρομαγνητικών υλικών καθώς μεταβαίνουμε στην νανοκλίμακα. Συμπεριφορά μαγνητικού υγρού (Ferrofluid).

Η 3^η δραστηριότητα έχει:

Διδακτικό Στόχο: Να διερευνηθούν οι ιδέες των μαθητών/τριών σχετικά με τη μαγνητική συμπεριφορά των υλικών, την εμφάνιση μαγνητικών δυνάμεων και την σύνδεσή τους με τη δομή της ύλης με σκοπό να μελετηθεί η μεταβολή της μαγνήτισης υλικών καθώς τα υλικά μεταβαίνουν στην νανοκλίμακα και δημιουργείται υπερπαραμαγνητικό υγρό.

Στη 3^η δραστηριότητα η συνέντευξη-διδασκαλία ξεκίνησε με τον καθορισμό των υλικών που παρουσιάζουν μαγνητικές ιδιότητες (κατευθυνόμενοι προς τα υλικά που παρουσιάζουν σημαντική μαγνήτιση) και προσπαθώντας να διαπιστώσουμε πως αντιλαμβάνονται οι μαθητές/τριες το εσωτερικό τέτοιων υλικών, τη φυσική τους κατάσταση (αν είναι στερεά και αν μπορούν να υπάρξουν μαγνητικά υγρά) να τα συνδέσουν με την αλληλεπίδραση με μαγνήτες που διαθέτουν.

Παρουσιάζονται τρεις δοκιμαστικοί σωλήνες γεμάτοι με νερό όπου στον πυθμένα του καθενός υπάρχουν τρία διαφορετικά υλικά. Αρχικά ζητάται από τους/τις μαθητές/τριες να τα περιγράψουν και να εξηγήσουν γιατί τα υλικά βρίσκονται στον πυθμένα και να σχεδιάσουν τις δυνάμεις που ασκούνται πάνω τους. Στη συνέχεια μέσω πάλι της διαδικασίας Πρόβλεψη-Εκτέλεση-Αιτιολόγηση ζητάται από τους/τις μαθητές/τριες να προβλέψουν τι θα συμβεί αν πλησιάσουμε έναν ισχυρό μαγνήτη σε καθένα από τους τρεις δοκιμαστικούς σωλήνες. Το πείραμα εκτελείται διαδοχικά και οι μαθητές/τριες καταλήγουν στους δύο δοκιμαστικούς σωλήνες που περιέχουν ρινίσματα σιδήρου και ferrofluid (Εικόνα 11). Καλούνται να συγκρίνουν τα αποτελέσματα της αλληλεπίδρασης με τον μαγνήτη, να σχεδιάσουν τις δυνάμεις και να συνδέουν την ενίσχυση της μαγνητικής απόκρισης με τη μείωση του μεγέθους των σωματιδίων που παρουσιάζουν μαγνητική συμπεριφορά.



Εικόνα 11: Μαγνήτης επιδρά σε ferrofluid και σε ρινίσματα σιδήρου

Σύνδεση των δραστηριοτήτων-Τελική συνέντευξη-Αξιολόγηση της διαδικασίας.

Ολοκληρώνοντας τις δραστηριότητες οι μαθητές/τριες καλούνται να βγάλουν ένα γενικό συμπέρασμα (Φάση Γενίκευσης) που συνδέει και τις τρεις δραστηριότητες στις οποίες συμμετείχαν.

Τους ζητάται επίσης να εντοπίσουν σημεία που τους διευκόλυναν ή τους δυσκόλεψαν σε όλη τη διαδικασία και να σχολιάσουν αν άλλαξε η αρχική τους αντίληψη για την αλλαγή των ιδιοτήτων καθώς το μέγεθος των υλικών μειώνεται.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΔΑΚΤΙΚΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

7.1 Πραγματοποίηση του Δ.Π.

Μετά τον σχεδιασμό του βασικού κορμού της διαδικασίας έγινε πιλοτική συνέντευξη στην οποία συμμετείχαν δύο μαθητές της Β' Γυμνασίου. Η συνέντευξη ηχογραφήθηκε και έγιναν παρατηρήσεις που αφορούσαν τη χρονική διάρκεια της παρέμβασης (2 διδακτικές ώρες), το βαθμό παρέμβασης του ερευνητή-δασκάλου, τη δομή της διαδικασίας και ιδιαίτερα τη σειρά των ερωτήσεων. Διαμορφώθηκε η τελική μορφή του Δ.Π. και ξεκίνησε η διαδικασία της τελικής εφαρμογής.

7.1.1 Συμμετέχοντες

Στην τελική εφαρμογή συμμετείχαν 16 μαθητές/τριες (4 μαθήτριες της Γ' Γυμνασίου, 2 μαθήτριες της Β' Γυμνασίου και 10 μαθητές της Β' Γυμνασίου). Οι μαθητές/τριες και οι κηδεμόνες τους είχαν ενημερωθεί για το σκοπό και το περιεχόμενο της έρευνας και δέχθηκαν οικειοθελώς να συμμετάσχουν. Αναλυτικά,

Η 1η ομάδα αποτελείτο από 2 μαθήτριες της Γ' Γυμνασίου (Η μαθήτρια ΟμΓ.1.Α και η ΟμΓ.1.Β).

Η 2η ομάδα αποτελείτο από 2 μαθήτριες της Γ' Γυμνασίου (Η μαθήτρια ΟμΓ.2.Α. και η μαθήτρια ΟμΓ.2.Β)

Η 3η ομάδα αποτελείτο από 2 μαθητές της Β' Γυμνασίου (Ο μαθητής ΟμΒ.3.Α και ο μαθητής ΟμΒ.3.Β).

Η 4η ομάδα αποτελείτο από 2 μαθητές της Β' Γυμνασίου (Ο μαθητής ΟμΒ.4.Α και ο μαθητής ΟμΒ.4.Β).

Η 5η ομάδα αποτελείτο από 2 μαθητές της Β' Γυμνασίου (Ο μαθητής ΟμΒ.5.Α και ο μαθητής ΟμΒ.5.Β).

Η 6η ομάδα αποτελείτο από 2 μαθητές της Β' Γυμνασίου (Ο μαθητής ΟμΒ.6.Α και ο μαθητής ΟμΒ.6.Β).

Η 7η ομάδα αποτελείτο από 2 μαθητές της Β' Γυμνασίου (Ο μαθητής ΟμΒ.7.Α και ο μαθητής ΟμΒ.7.Β).

Η 8η ομάδα αποτελείτο από 2 μαθήτριες της Β' Γυμνασίου (Η μαθήτρια ΟμΒ.8.Α και η μαθήτρια ΟμΒ.8.Β).

7.2 Ανάλυση των δεδομένων του Δ.Π.

Κατά την ποιοτική ανάλυση των δεδομένων αναπτύχθηκε κώδικας σύμφωνα με την Θεμελιωμένη Θεωρία. Σύμφωνα με αυτήν τη θεωρία ο τρόπος ανάπτυξης του συνόλου των κωδικών είναι επαγωγικός. Αυτή η προσέγγιση αποτρέπει τους ερευνητές από το να οδηγούνται σε ένα αποτέλεσμα προειλημμένο⁵². Τα δεδομένα εξετάζονται λεπτομερώς σε κάθε γραμμή και καθώς μία έννοια εμφανίζεται της αποδίδεται ένας κωδικός. Συνεχίζοντας την εξέταση ο ερευνητής εξακολουθεί να αποδίδει κωδικούς που αντιστοιχούν στις έννοιες που προκύπτουν, υπογραμμίζοντας και κωδικοποιώντας γραμμές, παραγράφους ή τμήματα που καταδεικνύουν τη συγκεκριμένη έννοια. Καθώς περισσότερα δεδομένα εξετάζονται, οι κώδικες προσδιορίζονται και εκλεπτύνονται για να προσαρμοστούν στα δεδομένα. Για να βεβαιωθούν οι ερευνητές ότι ένας κώδικας έχει σωστά αποδοθεί, συγκρίνουν τμήματα κειμένου με άλλα τμήματα του κειμένου που τους έχει αποδοθεί πρωτίτερα ο ίδιος κωδικός και αποφασίζουν αν ανταποκρίνονται στην ίδια έννοια. Χρησιμοποιώντας αυτή τη μέθοδο «διαρκούς σύγκρισης»⁵³ οι ερευνητές βελτιώνουν τους υπάρχοντες κώδικες και ταυτοποιούν νέους^{54,55,56}. Μέσω αυτής της διαδικασίας, η δομή του κώδικα εξελίσσεται⁵⁷, αντανακλώντας τα θεμέλια (the ground) δηλαδή τις εμπειρίες των συμμετεχόντων.

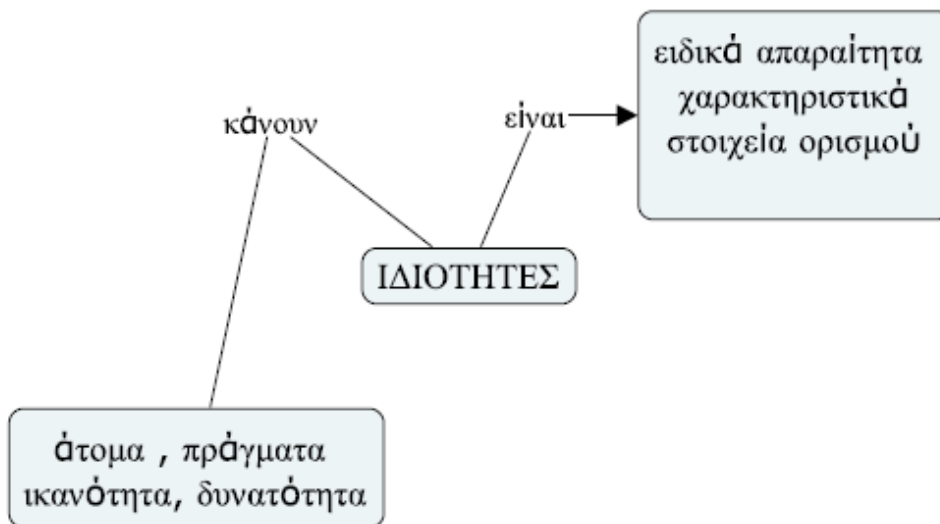
Οι Glaser και Strauss ήταν οι θεμελιωτές της Θεμελιωμένης Θεωρίας, δηλαδή της προσπάθειας παραγωγής θεμελιώδους θεωρίας των κοινωνικών φαινομένων χρησιμοποιώντας ένα αυστηρό σύνολο διαδικασιών. Σε αυτήν τους την προσπάθεια δημιούργησαν την Μέθοδος Ανάλυσης Διαρκούς Σύγκρισης^{53,58,59}. Ορισμένοι ερευνητές⁶⁰ χρησιμοποιούν τον όρο «κωδικοποίηση» όταν αναφέρονται σε αυτήν τη μέθοδο. Η επιδίωξη της μεθόδου είναι να δημιουργήσει μία θεωρία ή ένα σύνολο από θέματα⁶¹.

Ανάλυση Εισαγωγικής Συνέντευξης

Εισαγωγικά, κατά τον ορισμό της έννοιας ιδιότητας παρατηρούμε ότι:

Τέσσερις (4) ομάδες θεωρούν ότι οι ιδιότητες είναι ειδικά, χαρακτηριστικά γνωρίσματα που αποτελούν στοιχεία ορισμού και τέσσερις (4) ομάδες θεωρούν ότι οι ιδιότητες αποτελούν δυνατότητες ή ικανότητες πραγμάτων ή ατόμων να πραγματοποιήσουν κάτι,

όπως φαίνεται και στο Σχήμα 10



Σχήμα 10: Ορισμός ιδιοτήτων

Τα παραδείγματα ιδιοτήτων που ανακαλούν παρουσιάζονται στο Σχήμα 11



Σχήμα 11: Παραδείγματα ιδιοτήτων

Οι ιδιότητες που αναφέρονται στο πλαίσιο της δραστηριότητας-διδασκαλίας διαφοροποιούνται από την απάντηση στην ερώτηση του ερωτηματολογίου και κατηγοριοποιούνται γύρω από «φυσικές, χημικές ιδιότητες», «φυσική κατάσταση», «μεταβολή φυσικής κατάστασης» και «κατηγορίες υλικών».

Στην ερώτηση αν οι ιδιότητες αλλάζουν διακρίνουμε:

Τρεις (3) ομάδες μαθητών/τριών (η 2^η, η 5^η και η 6^η) θεώρησαν ότι οι ιδιότητες δεν αλλάζουν, (ΟμΒ.5.Α : «...είναι μόνιμες») και για να αλλάξουν «...αλλάζει το υλικό» (ΟμΒ.6.Α). Τρεις (3) ομάδες (3^η, 7^η, 8^η) θεώρησαν ότι μπορούν να αλλάξουν ως προς τη φυσική κατάσταση (ΟμΒ.8.Α : «...αν το ζεστάνουμε») ενώ δύο (2) ομάδες (1^η και 4^η ομάδα) θεωρούν ότι οι χημικές αντιδράσεις αλλάζουν τις ιδιότητες των υλικών. Ως προς την αντίληψη ότι οι χημικές αντιδράσεις αλλάζουν τις ιδιότητες των υλικών παρατηρούμε συμφωνία με καταγεγραμμένες ιδέες μαθητών/τριών⁴⁵.

Στην ερώτηση αν ο τεμαχισμός μπορεί να αλλάξει κάποιες ιδιότητες τρεις (3) ομάδες απάντησαν όχι (4^η, 5^η, 7^η) (ειδικότερα ΟμΒ.5.Α: « ...όχι απλώς μικραίνει»), τρεις (3) ομάδες απάντησαν ναι (1^η, 2^η, 3^η) αναφέροντας παραδείγματα όπως

ΟμΓ.1.Α: «ίσως να αντέχει περισσότερο βάρος ένα μεγαλύτερο κομμάτι....»

ΟμΒ.3.Α : «...έχουμε ένα συγκεκριμένο μέγεθος αν το κόψουμε θα αλλάξει...»

και δύο (2) ομάδες ανέφεραν ναι (6^η και 8^η) λέγοντας ότι θα αλλάξουν οι ιδιότητες της μάζας, του βάρους και του όγκου.

Κατά τον τεμαχισμό θεωρούν ότι στοιχεία όπως: η σύσταση (ΟμΓ.1), το υλικό (ΟμΓ.2, ΟμΒ.5), το χρώμα και η χρήση (ΟμΒ.3) και η πυκνότητα (ΟμΒ.6,7) παραμένουν ίδια, ενώ αυτό που αλλάζει είναι κυρίως το μέγεθος, η ποσότητα, η μάζα, ο όγκος και το βάρος.

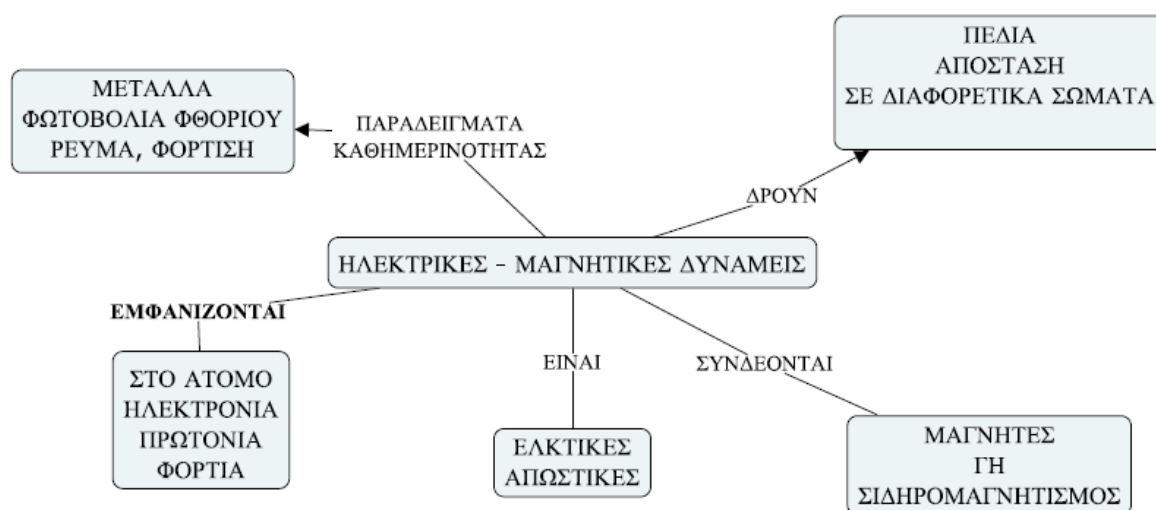
Στην ερώτηση που ζητήσαμε να προβλέψουμε σε πόσο μικρά κομμάτια μπορούμε να φτάσουμε με τον τεμαχισμό παρατηρούμε ότι οι μαθητές/τριες κινούνται σε δύο επίπεδα, το 'θεωρητικό' όπου μπορούμε να τεμαχίζουμε σε άπειρα κομμάτια να φτάσουμε στο άτομο ή στο quark, και στο 'πρακτικό',

όπου μπορούμε να φτάσουμε σε κομμάτια που επιτρέπουν τα όργανα που διαθέτουμε.

Όλοι όμως οι μαθητές/τριες συμφωνούν ότι τα απειροελάχιστα αυτά κομμάτια θα έχουν βάρος. Η βεβαιότητά τους κυμαίνεται: ΟμΓ.2.Α: «...λογικά;», ΟμΒ.8.Α «...ναι όλα τα σώματα τα έλκει η γη». Συναντάμε απαντήσεις όπως ΟμΒ.5.Α: «... πολύ ελάχιστο που δεν φαίνεται» και ΟμΒ.4.Α: «Ναι, το ατομικό βάρος».

Ως προς την ύπαρξη άλλων δυνάμεων που ασκούνται μεταξύ των σωμάτων καταγράφουμε τα ακόλουθα: Τρεις (3) ομάδες (1^η, 3^η, 4^η) αναφέρουν την τριβή, μαθητές τριών (3) ομάδων (2^{ης}, 4^{ης} και 6^{ης}) αναφέρουν ελκτικές δυνάμεις και μαθητής μιας ομάδας απαντά την άνωση.

Οι ηλεκτρικές και οι μαγνητικές δυνάμεις σχολιάζονται μόνο όταν τους ζητηθεί να πουν τι γνωρίζουν για αυτές και εμφανίζουν τα χαρακτηριστικά του Σχήματος 12



Σχήμα 12: Χαρακτηριστικά ηλεκτρικών και μαγνητικών ιδιοτήτων

Ομάδα μαθητών συνδέει τις μαγνητικές ιδιότητες με τη Γη και με με δράση δυνάμεων από απόσταση όπως αναφέρεται και στη βιβλιογραφία⁶².

Ιδιαίτερα στον μικρόκοσμο (άτομα, υποατομικά σωματίδια, πρωτόνια) παραπέμπουν οι μαθητές/τριες της 3^{ης} ομάδας που συνδέουν τα ηλεκτρικά

φορτία με πρωτόνια ενώ οι μαθητές της 6^{ης} ομάδας γνωρίζουν ότι: « στο άτομο... ας πούμε τα ηλεκτρόνια και τα πρωτόνια που έχουν φορτία έχουν ηλεκτρικές δυνάμεις» και τέλος η 7^η ομάδα αναφέρεται σε φορτία.

Συνοψίζοντας από τα στοιχεία της ανάλυσης που προηγήθηκε μπορούμε να καταλήξουμε ότι:

Οι μαθητές συνδέουν τις ιδιότητες είτε οντολογικά είτε επιστημολογικά με τα υλικά και τη σύστασή τους θεωρώντας ότι η αλλαγή των ιδιοτήτων, εκτός αν πρόκειται για αλλαγή κατάστασης, θα συνδεθεί με αλλαγή σύστασης. Η μεταβολή του μεγέθους θα αλλάξει τις εκτατικές ιδιότητες της μάζας, του όγκου και του βάρους του υλικού αλλά δεν θα αλλάξει την πυκνότητα και τη σύστασή του. Φαίνεται ότι οι μαθητές/τριες αντιλαμβάνονται την μικροσκοπική δομή των υλικών και αναφέρουν οντότητες όπως το άτομο ή ακόμα και το quark. Ως προς τις ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις οι μαθητές αναφέρουν φορείς των δυνάμεων (φορτία, μαγνήτες), εντοπίζουν τα αποτελέσματά τους (έλξεις, απώσεις), τις χαρακτηρίζουν δυνάμεις από απόσταση, ενώ κάποιοι συνδέουν τις ηλεκτρικές δυνάμεις με τα άτομα, τα ηλεκτρόνια και τα πρωτόνια υπονοώντας ίσως ότι δρουν στον μικρόκοσμο.

7.2.1 Ανάλυση 1ης Δραστηριότητας: Στατικός ηλεκτρισμός και εμφάνισή του καθώς το μέγεθος μειώνεται.

Όλες οι ομάδες από την αρχή της 1^{ης} Δραστηριότητας αναγνωρίζουν ότι το μέγεθος των κομματιών φελιζόλ είναι η παράμετρος που διαφοροποιεί τα σωματίδια που περιέχονται στα δοχεία.

Κατά τη Φάση της Πρόβλεψης η πλειοψηφία των ομάδων (6 ομάδες) εντόπισε αμέσως ότι το φαινόμενο που θα παρατηρήσουν σχετίζεται με τον στατικό ηλεκτρισμό (ΟμΒ.6.Α.: «Θα δημιουργηθεί στατικός ηλεκτρισμός»), ενώ μόνο δύο ομάδες η 5^η και η 8^η αρχικά υποθέτουν ότι τα μεγάλα κομμάτια θα διαλυθούν ή θα παραχθεί θερμότητα αντίστοιχα.

Ειδικότερα η 1^η και η 2^η ομάδα που είναι μαθήτριες της Γ' Γυμνασίου αντιλαμβάνονται αμέσως ότι το μέγεθος επιδρά και αναφέρουν συγκεκριμένα

ΟμΓ1.Α: «Δεν θα γίνουν και πάρα πολλά γιατί είναι μεγάλο το κομμάτι και πρέπει να συγκεντρωθεί μεγάλη ποσότητα ηλεκτρισμού»

ΟμΓ.2.Α. : *«Λιγότερο απ' όσο θα μπορούσαν να ηλεκτριστούν τα μικρότερα κομμάτια».*

Μετά την Εκτέλεση τους ζητάτε να περιγράψουν τι είδαν και διατυπώνουν ότι δεν παρατήρησαν κάποια αξιόλογη μεταβολή.

Ειδικότερα :

ΟμΓ.2.Β. : *«Λογικά έχει γίνει αλλά είναι πολύ μικρό για να το δούμε... όχι;..... έχει ηλεκτριστεί και το μεγάλο και το μικρό απλά η μάζα... ίσως το εμποδίζει να αντιδράσει».*

Επαναλαμβάνοντας την ίδια διαδικασία για τα μικρότερα κομμάτια φελιζόλ, επισημαίνουμε ότι οι ομάδες προβλέπουν ότι τα μικρότερα κομμάτια θα κολλήσουν στα τοιχώματα του δοχείου, εκτός από τον μαθητή ΟμΒ.6.Β ο οποίος ισχυρίζεται ότι : *«Όχι δεν πιστεύω ότι θα συμβεί τίποτα»*, ενώ ένας μαθητής (ΟμΒ.7.Α) και μία μαθήτρια (ΟμΒ.8.Α) προβλέπουν ότι ίσως τα σωματίδια να *«...να κινούνται επ' άπειρον...»* ή αρχίζουν να *«...χοροπηδούν...»*.

Οι ομάδες αναγνωρίζουν εύκολα ότι αυτό που παρέμεινε ίδιο είναι το υλικό ενώ ως διαφορετικό μεταξύ των δύο δοχείων αναγνωρίζουν τη μάζα, το σχήμα, τον όγκο, το βάρος.

Σε όλη την περιγραφή από τους μαθητές/τριες παρατηρούμε ότι αναφέρονται στην *«δημιουργία στατικού ηλεκτρισμού»* (Ομάδες 4^η, 5^η, 6^η, 7^η), *«παραγωγή ηλεκτρισμού»* (Ομάδα 3^η , 5^η) χωρίς να αναφέρουν τίποτα για τις δυνάμεις που ασκούνται σε κάθε περίπτωση.

Στην προσπάθεια εξήγησης του φαινομένου παρατηρούμε ότι οι μαθητές/τριες καταφέρνουν να αιτιολογήσουν την εμφάνιση της διαφορετικής συμπεριφοράς του ίδιου υλικού στα διαφορετικά δοχεία. Ο βαθμός αιτιολόγησης και εμπάθυνσης κυμαίνεται από

ΟμΓ.1.Α: *«Ήταν πιο μικρά άρα πιο εύκολα να τα παρασύρει ο ηλεκτρισμός»*,

στην σύνδεση λόγου επιφάνειας προς όγκο στην αλλαγή ιδιοτήτων

ΟμΒ.4.Α: *«Άλλαξε ο όγκος και η επιφάνεια με την οποία... η επιφάνεια % σε σχέση με το υπόλοιπο κομμάτι που ερχόταν σε επαφή με το τοίχωμα».*

Ειδικότερα αναλύοντας περαιτέρω ο μαθητής ΟμΒ.4.Α. εξηγώντας στον μαθητή ΟμΒ.4.Β. γιατί τα μικρά κομμάτια κόλλησαν στο τοίχωμα αναλύει:

ΟμΒ.4.Α: «Σε αυτά εδώ, στα μικρά κομμάτια, ήταν ας πούμε το 1/3 της μάζας τους, και ...του όγκου της, ερχόταν σε επαφή με το τοίχωμα ενώ στα άλλα 20%, 10%; Ελάχιστο...» .

Η ΟμΒ.5 αποδίδει τη διαφορά στο ότι: *« τα μικρά κομμάτια κόλλησαν γιατί πήρανε αρκετό φορτίο ή το φορτίο που τους δώσαμε ήταν αρκετό για να κολλήσουν».* Η ΟμΒ. 6 που ενώ είχε από την αρχή συνδέσει το φαινόμενο με τον στατικό ηλεκτρισμό στην προσπάθεια εξήγησης προέβαλε αρχικά την άποψη:

ΟμΒ.6.Α. : «Ίσως όταν το τρίβατε να εγκλωβίστηκε... να κόλλησαν αυτά εξαιτίας... να έφυγε ο αέρας και να προσκολλήθηκαν όπως η βεντούζα, δηλ. που φεύγει ο αέρας και κολλάει»

καταλήγοντας μετά από αλληλεπίδραση με τον συμμαθητή του στο ότι *«κόλλησαν λόγω στατικού ηλεκτρισμού».*

Στο σημείο αυτό καταγράφουμε τέσσερις (4) ομάδες να έχουν χρησιμοποιήσει τον όρο «δύναμη» για να περιγράψουν ή να αιτιολογήσουν το φαινόμενο που παρατηρούν.

Ειδικότερα,

ΟμΒ4.Α: «... Επειδή έχει παραχθεί στατικός ηλεκτρισμός ... και έχουν κολλήσει στο τοίχωμα από τις δυνάμεις».

ΟμΒ5.Α: «κολλήσανε λόγω της ηλεκτρικής δύναμης»

Ο ΟμΒ6.Α αιτιολογώντας γιατί τα μικρά κομμάτια κόλλησαν αναφέρει :

ΟμΒ6.Α: « είναι πιο μικρά τα κομματάκια και το βάρος δεν είναι τόσο μεγάλο και έτσι η μ... όχι η ηλεκτρική δύναμη ... πως να το πω είναι μεγαλύτερη από το βάρος»

Στην 8^η ομάδα ακούγεται η στιχομυθία:

ΟμΒ8.Α: « ... είναι μαγνητική δύναμη; Δηλ το ένα γίνεται αρνητικό και κολλάνε;»

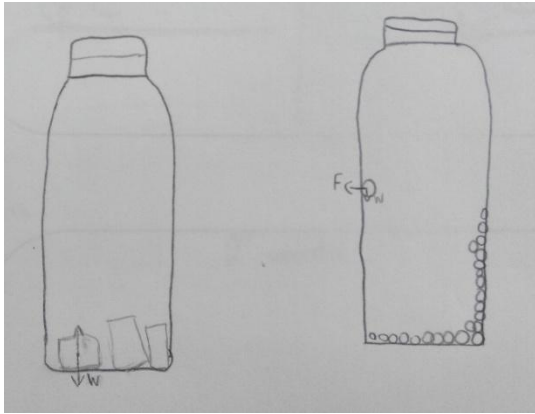
ΟμΒ8.Β: « επειδή είναι πιο μικρά»

Στην συνέχεια κατά την εισαγωγή των δυνάμεων που ασκούνται στα κομμάτια σε κάθε περίπτωση, στην προσπάθεια σύνδεσης του φαινομένου με τις δυνάμεις που επιδρούν πάνω στα κομμάτια του φελιζόλ και στον σχεδιασμό τους παρατηρούμε τα εξής:

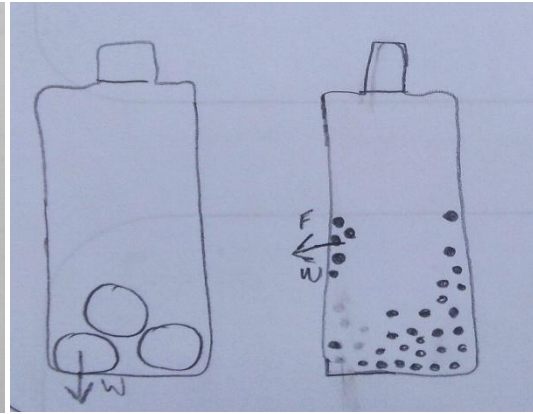
Όλες οι ομάδες σχεδιάζουν το βάρος των κομματιών σε κάθε περίπτωση με κάποιες όμως να το εφαρμόζουν σε μία υποθετική επιφάνεια. (Εικόνα 12). Όταν καλούνται να σχεδιάσουν όλες τις δυνάμεις δυσκολεύονται να σχεδιάσουν την δύναμη εξαιτίας του στατικού ηλεκτρισμού (ΟμΒ.4.Α : *«Τον στατικό ηλεκτρισμό πως θα τον κάνουμε;»*), την συγχέουν με μαγνητική δύναμη (ΟμΒ.6.Α : *«... είναι σα να του έλκει το φελιζόλ μαγνητική δύναμη... επειδή υπάρχει στατικός ηλεκτρισμός»*), και ενώ έχουν οδηγηθεί στο συμπέρασμα ότι στα μικρά κομμάτια η ηλεκτροστατική δύναμη είναι μεγαλύτερη από το βάρος όταν σχεδιάζουν τη σχεδιάζουν σχεδόν συγκρίσιμη.

Ολοκληρώνοντας τη διαδικασία καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι όλες οι ομάδες συνέδεσαν την αλλαγή στην συμπεριφορά του υλικού με το μέγεθος των σωματιδίων. Σχετικά με τις δυνάμεις που ασκούνται σε κάθε περίπτωση παρατηρούμε ότι οι επτά (7) ομάδες κατάφεραν να συνδέσουν τη διαφορετική συμπεριφορά με την ισχύ των δυνάμεων.

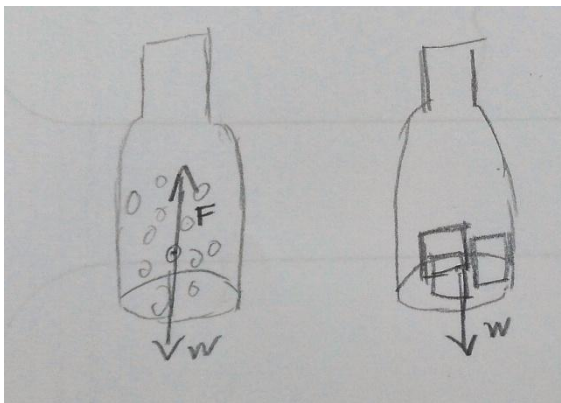
Συγκεκριμένα, οι επτά (7) ομάδες συγκρίνουν το βάρος με τις ηλεκτροστατικές δυνάμεις και εντοπίζουν ότι στα μικρά κομμάτια οι ηλεκτροστατικές γίνονται εμφανείς. Επίσης, υπάρχει ομάδα (ΟμΒ.5) που δεν κατάφερε να συνδέσει την αλλαγή στην συμπεριφορά με τον όρο δύναμη παρά μόνο με το ηλεκτρικό φορτίο. Υπάρχει ομάδα (ΟμΓ.1) η οποία καταλήγει στο συμπέρασμα: *«όσο μικραίνει το μέγεθος του αντικειμένου, τόσο περισσότερο γίνονται οι ηλεκτροστατικές δυνάμεις»* εικόνα που φαίνεται στο σχήμα τουλάχιστον της ΟμΓ.1.Α. χωρίς όμως να εμφανίζονται ασθενείς ηλεκτροστατικές δυνάμεις στα μεγάλα κομμάτια.



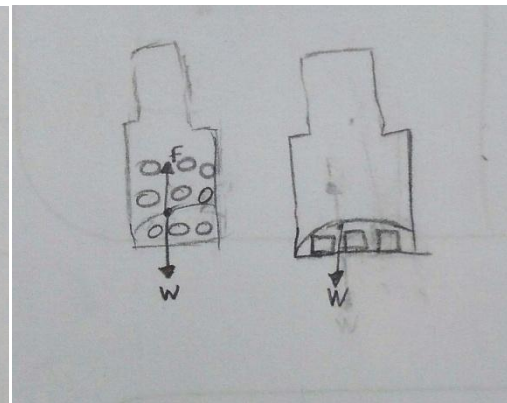
ΟμΓ1. A



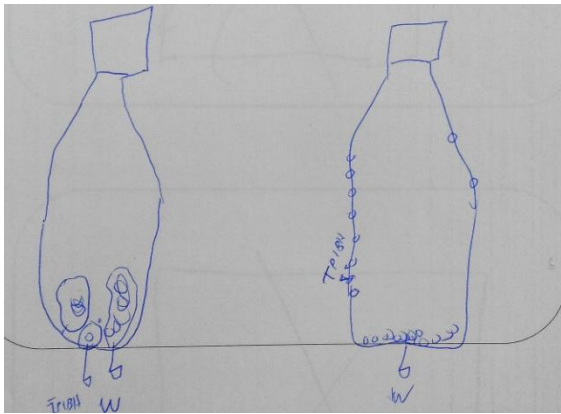
ΟμΓ1. B



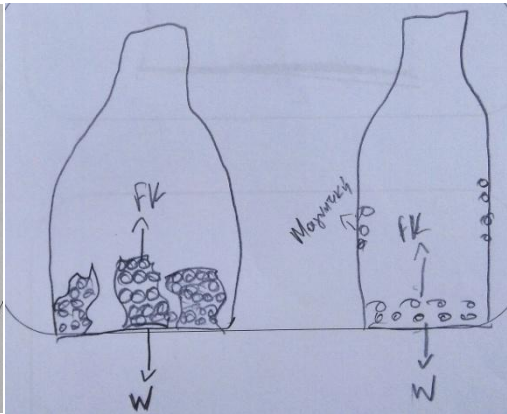
ΟμΓ2. A



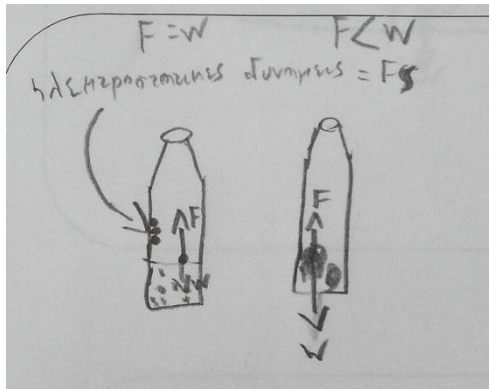
ΟμΓ2. B



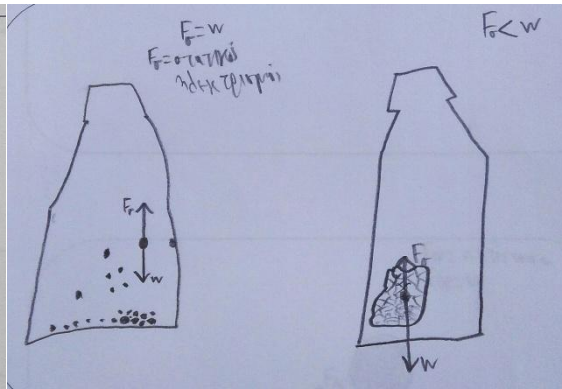
ΟμΒ3. A



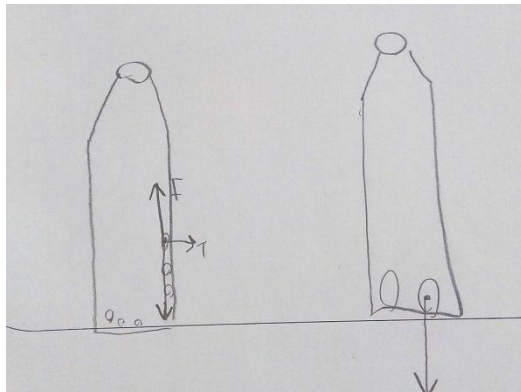
ΟμΒ3. B



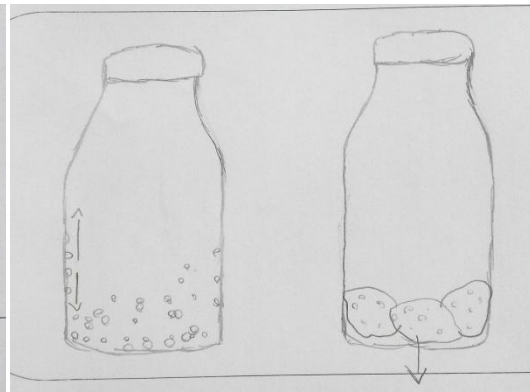
ΟμB4.A



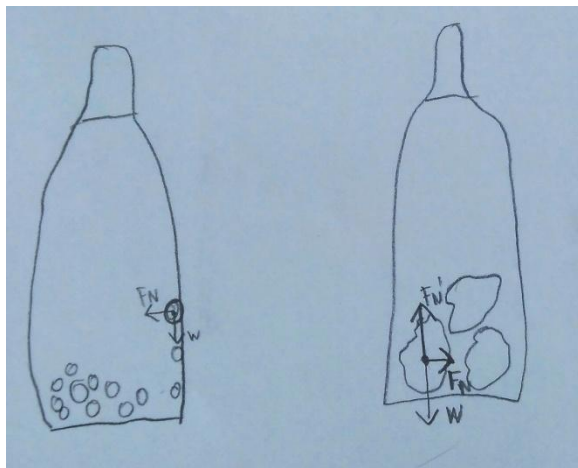
ΟμB4.B



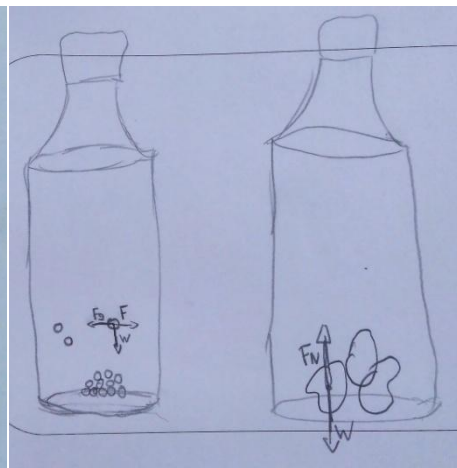
ΟμB5.A



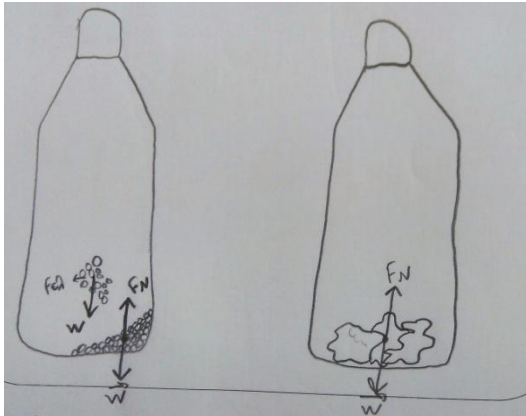
ΟμB5.B



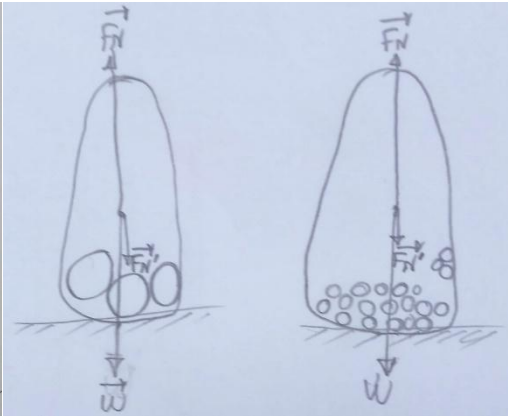
ΟμB6.A



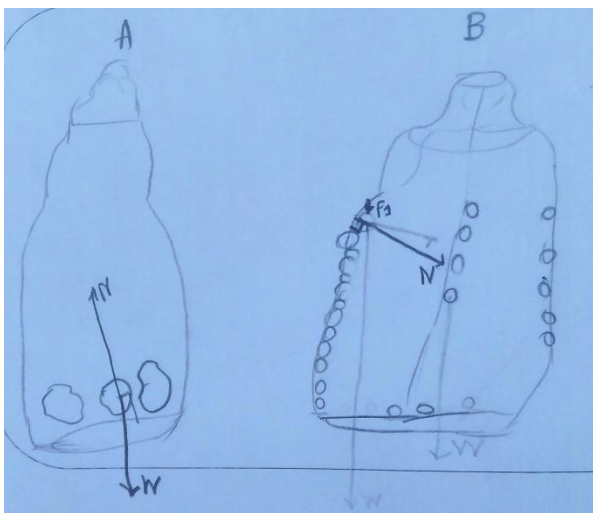
ΟμB6.B



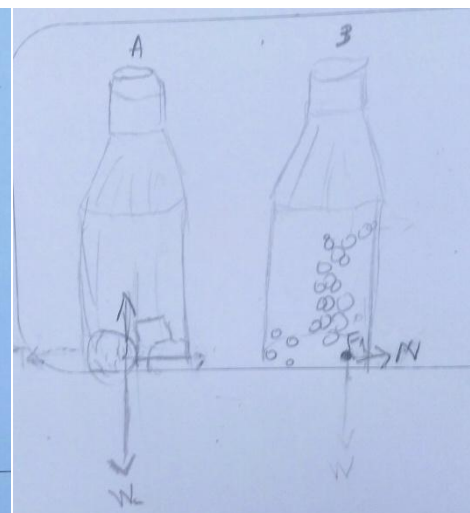
ΟμΒ7.Α



ΟμΒ7.Β



ΟμΒ8.Α



ΟμΒ8.Β

Εικόνα 12: Σχεδιασμός των δυνάμεων πάνω στα μικρά και στα μεγάλα κομμάτια φελιζόλ.

7.2.2 Ανάλυση 2ης Δραστηριότητας: Μεταβολή της απορροφητικότητας υλικού καθώς η επιφανειακή τραχύτητα γίνεται νανοτραχύτητα

Έχοντας εισάγει την παράμετρο του μεγέθους ως παράγοντα επίδρασης της συμπεριφοράς των υλικών κατευθύνουμε το διδακτικό πείραμα στη νανοκλίμακα μέσω της αλλαγής στην απορρόφηση υφάσματος όταν η επιφάνεια μεταβάλλεται και αποκτά νανο-υφή.

Οι ομάδες ρωτώνται να προβλέψουν τι θα συμβεί αν σε ένα κομμάτι ύφασμα ρίξω κάποιες σταγόνες νερό. Όλες οι ομάδες εντοπίζουν από την αρχή ότι το χαρακτηριστικό στο οποίο επικεντρώνουμε σε αυτή την Δραστηριότητα είναι η απορροφητικότητα.

Στην Φάση της Πρόβλεψης για το 1^ο ύφασμα που δεν έχει στην επιφάνειά του νανοσωματίδια εκτός από την απάντηση ότι το νερό θα απορροφηθεί σημειώνουμε απαντήσεις όπως:

ΟμΓ.2.A: «Θα γίνει πιο βαρύ»,

ΟμΓ.2.B, Ομ5.A: «Θα αλλάξει χρώμα»,

ΟμB.7.A: «Θα εξατμιστεί».

Η ομάδα ΟμB4) προσπαθεί να εξηγήσει την ιδιότητα της απορροφητικότητας όπως φαίνεται στην παρακάτω συνομιλία:

ΟμB4.A : «Αυτά ανάμεσά τους ανάλογα με τις διαστάσεις τους, των σωματιδίων και το πόσος χώρος είναι ανάμεσά τους μπορούν να απορροφήσουν, να στεγάσουν όλο και περισσότερες...»

ΟμB4.B : « Δηλαδή αν ήταν μικρές οι αποστάσεις δεν θα απορροφούσε...»

ΟμB4.A : «τόσο..»

ΟμB4.B : «το νερό θα ήταν ακόμα πάνω»

ΟμB4.A : «Θα γλίστραγε επειδή δεν θα ήταν υδρόφιλο»

Στο 2^ο ύφασμα περιγράφεται η αλλαγή στην επιφάνεια με την εμφάνιση νανοσωματιδίων. Οι ομάδες υποθέτουν ότι αφού υπάρχει αλλαγή στην επιφάνεια θα υπάρξει αλλαγή και στην συμπεριφορά του υλικού με το νερό και είτε υποθέτουν ότι θα απορροφηθεί κατευθείαν (ΟμB.5.A) είτε κυρίως δεν θα απορροφηθεί. Η εικόνα του νερού που σχηματίζει σφαιρικές σταγόνες προκαλεί πολύ μεγάλη εντύπωση στις ομάδες.

Οι μαθητές/τριες επτά (7) ομάδων (εκτός της ΟμB.3) προσπαθούν να περιγράψουν την εικόνα της σταγόνας που εισχωρεί ή όχι στο ύφασμα και εξηγούν την απορροφητικότητα συνδέοντάς την με το μέγεθος των σωματιδίων στην επιφάνεια και του κενού χώρου που αφήνουν. Συγκεκριμένα, απαντούν

ΟμΓ.1.A: « Εκεί που είναι πιο μεγάλα τα σωματίδια αφήνουν περισσότερο χώρο κάπως και μπαίνει μέσα»

ΟμΓ.2.Α: «Δεν απορρόφησε (2^ο ύφασμα) τις σταγόνες επειδή είναι πολύ μικρά τα σωματίδια και δεν υπήρχαν περιθώρια για την αλλοίωση της σταγόνας».

ΟμΒ.4.Α : «Έχουν μικρότερες αποστάσεις ...ναι τα μόρια είναι πιο κοντά (2^ο ύφασμα) και έτσι δεν απορροφά το νερό»

ΟμΒ.5.Α: «...τα μεγαλύτερα μόρια μπορούσαν να απορροφήσουν μέσα τους νερό...».

ΟμΒ.6.Β: «.. είναι πιο σφιχτά τα σωματίδια άρα δεν αφήνουν το νερό να περάσει ενώ εδώ που είναι πιο ανοιχτές οι ίνες αφήνουν το νερό να περάσει»

ΟμΒ.7.Β: «...έχει πιο κλειστά τοιχώματα από αυτό και αυτό με τα μεγαλύτερα σωματίδια να έχουν πιο ανοιχτά τοιχώματα με αποτέλεσμα αυτό (1^ο) να απορροφάει...».

ΟμΒ.8.Α: « το νερό κατάφερε να διαπεράσει μέσα από το ύφασμα και να απλωθεί μέσα από τα σωματίδια...» συνεχίζοντας « η επιφάνεια είναι λεία και όταν είναι λεία δεν υπάρχει τριβή...» ΟμΒ8.Β: «οπότε δεν μπορεί να εισχωρήσει μέσα στο ύφασμα» ΟμΒ8.Α: «γλιστράνε»

Στην προσπάθεια εξήγησης παρατηρούμε ότι μόνο δύο ομάδες χρησιμοποιούν δυνάμεις που ασκούνται από το ύφασμα στην σταγόνα ή ακόμα (ΟμΓ1) από τον αέρα. Σημειώνουμε τις εκφράσεις:

ΟμΓ1.Α: « το πιέζει ο αέρας να πάει μέσα;»

ΟμΒ4.Α: «Αντίσταση των μορίων και δεν μπορεί να εισέλθει (η σταγόνα)»

Στο Παράρτημα ΙΙΙ παρουσιάζονται τα σχέδια των μαθητών για τις σταγόνες νερού πάνω στα δύο υφάσματα και για τις δυνάμεις που ασκούνται πάνω στις σταγόνες. Στην προσπάθεια σχεδιασμού των δυνάμεων (Παράρτημα ΙV) οι περισσότεροι μαθητές/τριες (12) σχεδιάζουν διαφορετικές δυνάμεις να ασκούνται πάνω στα διαφορετικά υφάσματα.

Οι διαφορετικές δυνάμεις που σχεδιάζουν εμφανίζουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά: Πέντε (5) μαθητές διακρίνουν τις καταστάσεις διαβροχής και μη διαβροχής από την εμφάνιση μόνο του βάρους της σταγόνας στην περίπτωση που η σταγόνα εισέρχεται στο ύφασμα και στην εμφάνιση βάρους

της σταγόνας και αντίδρασης από την επιφάνεια του υφάσματος στην περίπτωση του 2^{ου} υφάσματος. Δύο (2) μαθήτριες σχεδιάζουν και μία τρίτη δύναμη που την ονομάζουν $F_{\alpha\epsilon\rho\alpha}$ και στην περίπτωση του 2^{ου} υφάσματος είναι μεγαλύτερη και δημιουργεί την καμπύλωση της σταγόνας. Δύο (2) μαθητές διακρίνουν τις καταστάσεις διαβροχή, μη-διαβροχής σχεδιάζοντας στο 1^ο ύφασμα σταγόνα χωρίς βάρος γιατί : «το νερό έχει γίνει ένα με τα σώματα του υφάσματος» και «δεν υπάρχει βάρος αφού έχει απορροφηθεί» (ΟμΒ.3). Ένας μαθητής δεν σχεδιάζει βάρος στην 2^η περίπτωση αλλά μόνο αντίδραση από το ύφασμα και δύο (2) μαθήτριες σχεδιάζουν στην περίπτωση του 2^{ου} υφάσματος μία τρίτη δύναμη (N') που κατευθύνεται προς το ύφασμα.

Το αποτέλεσμα θεωρείται ικανοποιητικό με δεδομένο ότι οι μαθητές/τριες αναγνώρισαν ότι μπορεί η διαφοροποίηση της συμπεριφοράς να οφείλεται στις διαφορετικές δυνάμεις ή στην διαφορετική ισχύ τους. Δεν προχωρήσαμε σε εισαγωγή εννοιών επιφανειακής τάσης με συνέπεια διεπιφάνειες και οι τάσεις στην διεπιφάνεια να μην είναι γνωστές.

Στους μαθητές/τριες ζητήθηκε να σχεδιάσουν το πως φαντάζονται την επιφάνεια του υφάσματος σε σχέση με τη σταγόνα. Παρατηρούμε ότι ενώ οι περισσότεροι μαθητές (14) είχαν αιτιολογήσει τη διαφορετική συμπεριφορά του υφάσματος συγκρίνοντας το μέγεθος των σωματιδίων και τον κενό χώρο που αφήνουν μόνο 5 από αυτούς σχεδίασαν την επιφάνεια του υφάσματος στις δύο περιπτώσεις.

7.2.3 Ανάλυση 3ης Δραστηριότητας: Μεταβολή μαγνητικών ιδιοτήτων (μαγνήτισης) σιδηρομαγνητικών υλικών καθώς μεταβαίνουμε στην νανοκλίμακα. Συμπεριφορά μαγνητικού υγρού (Ferrofluid)

Διερευνώντας τις αντιλήψεις των μαθητών σχετικά με τη μαγνητική συμπεριφορά των υλικών και τις αλλαγές της όταν το μέγεθος των σωματιδίων μειώνεται, ξεκινήσαμε την δραστηριότητα το πότε οι μαθητές θεωρούν ότι ένα υλικό είναι μαγνητικό, ποια μορφή έχει το εσωτερικό του και σε ποια φυσική κατάσταση μπορούν να εμφανιστούν οι μαγνήτες.

Η συντριπτική πλειοψηφία των ομάδων (7 ομάδες) συνδέουν τον όρο μαγνητικό υλικό με ηλεκτρικά φορτία (θετικά, αρνητικά, πυρήνα και ηλεκτρόνια). Ειδικότερα:

ΟμΒ.4.Α: «ένα υλικό είναι μαγνητικό όταν έχει περισσότερα πρωτόνια ή περισσότερα ηλεκτρόνια»

ΟμΒ.5.Β: «περιέχει φορτίο... όταν είναι φορτισμένο».

ΟμΒ.6.Α: «το υλικό που δεν είναι σιδηρομαγνητικό έχει ίσα ηλεκτρόνια με πρωτόνια»

Επτά ομάδες αναφέρουν στην περιγραφή των μαγνητικών υλικών μαγνήτες και αλληλεπίδραση (κυρίως έλξη) με αυτούς

ΟμΒ.3.Α: «ένας μαγνήτης θα έλξει το ψυγείο»

Η πλειοψηφία των μαθητών/τριών (5 ομάδες) συνδέουν την εμφάνιση των μαγνητικών ιδιοτήτων με συγκεκριμένα υλικά (μέταλλα, σίδηρος)

ΟμΓ.1.Α: «Να έλκει τα μέταλλα..., όχι τα μέταλλα, σίδηρο»

Στην προσπάθειά τους να αναπαραστήσουν το εσωτερικό του σιδηρομαγνητικού υλικού εισάγουν την έννοια της αλληλεπίδρασης με τον μαγνήτη και η μικροσκοπική εξήγηση που δίνουν για τη μαγνήτιση χρησιμοποιεί τα φορτία. (Εικόνα 13 και Παράρτημα IV). Ενδεικτικά αναφέρουμε

ΟμΒ.6.Α: « το υλικό που δεν είναι σιδηρομαγνητικό έχει ίσα ηλεκτρόνια με πρωτόνια, άρα όταν κολλήσουμε το άλλο που έχει περισσότερα ηλεκτρόνια από πρωτόνια, θα πάνε ηλεκτρόνια σε αυτό...».

Μια προσπάθεια περιγραφής της μαγνητικής ροπής παρουσιάζεται ίσως όταν αναφέρεται

ΟμΒ.3.Β: « Έστω ότι είναι ο πυρήνας .. και μες στον πυρήνα να υπάρχει ηλεκτρ... μαγνητικότητα τότε σα να λέμε ένας μαγνήτης, ο οποίος όταν έρθει σε επαφή με ένα άλλο αυτός ο μαγνήτης θα φέρει σε έλξη.. θα ενωθεί με αυτόν» (Εικόνα 13).

Σχετικά με τη φυσική κατάσταση των υλικών που παρουσιάζουν μαγνητικές ιδιότητες οι ιδέες των μαθητών ποικίλλουν καθώς τρεις (3) ομάδες υποθέτουν ότι είναι σε στερεά κατάσταση

ΟμΓ.2.Α: «θα είναι συμπαγή»

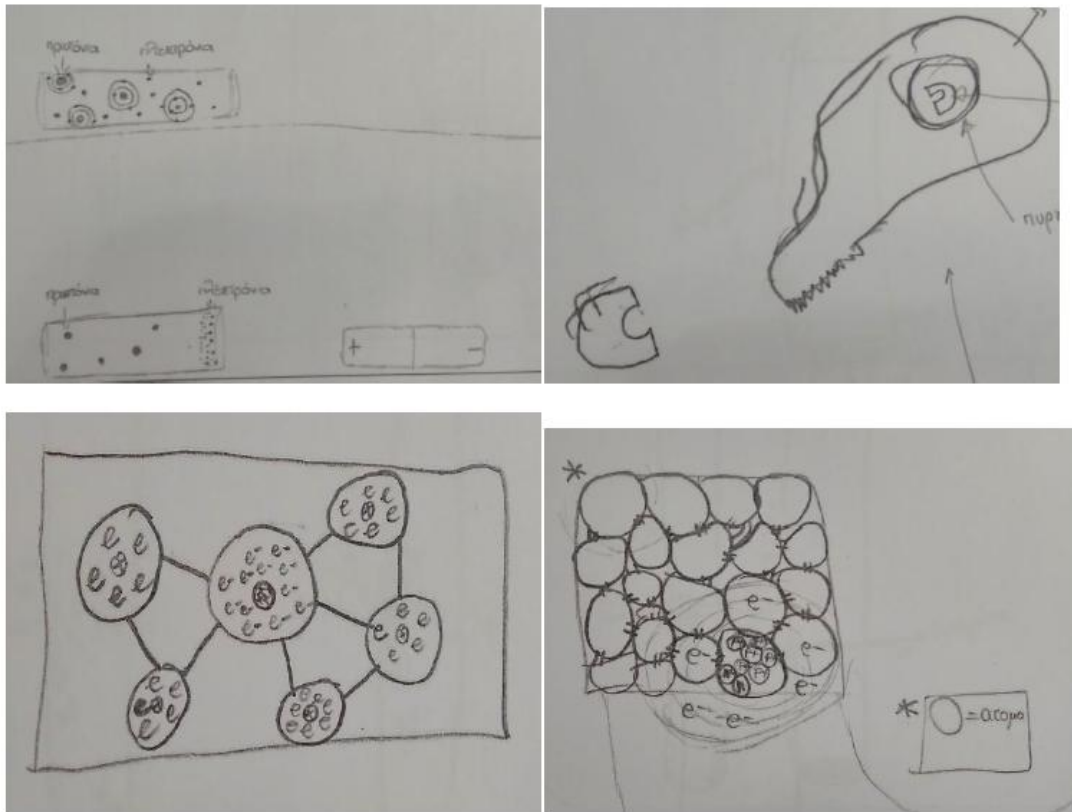
ενώ 8 μαθητές/τριες υποθέτουν ότι υλικά σε υγρή κατάσταση που παρουσιάζουν μαγνητικές ιδιότητες. Αναλυτικότερα: Τρεις (3) μαθητές αναφέρονται στον υδράργυρο

ΟμΒ.3.Β: «Ο υδράργυρος είναι το μόνο μέταλλο το οποίο είναι υγρό. Άρα είναι το μόνο, κατά τη γνώμη μου, από αυτά που ξέρω, πιστεύω είναι το υγρό μεταλλικό στοιχείο που έχει μαγνητικότητα»

Τρεις (3) μαθητές/τριες υποθέτουν ότι ένας λιωμένος μαγνήτης διατηρεί τις μαγνητικές του ιδιότητες, μία (1) μαθήτρια αναφέρεται σε λιωμένο μέταλλο και μία (1) μαθήτρια έχει παρακολουθήσει στο διαδίκτυο ένα βίντεο που παρουσιάζει

ΟμΓ.1.Α: «Έχει κάτι ρινίσματα σιδήρου και όταν βάλεις ένα μαγνήτη, μετακινείται η μάζα του υγρού».

Σημειώνουμε ότι οι ομάδες δυσκολεύτηκαν να σχεδιάσουν το εσωτερικό ενός σιδηρομαγνητικού υλικού (Εικόνα 13) και ήταν η πρώτη φορά που κάποιοι δήλωσαν αδυναμία (ΟμΒ.4).



Εικόνα 13 :Εσωτερικό σιδηρομαγνητικών υλικών και επίδραση με μαγνήτη

Προκειμένου να μελετήσουμε την αλλαγή στη μαγνητική συμπεριφορά χρησιμοποιήσαμε τρεις δοκιμαστικούς σωλήνες με κίτρινο μη μαγνητικό υγρό, με ρινίσματα σιδήρου και με το μαγνητικό υγρό (ferrofluid) μέσα σε νερό. Όλες οι ομάδες αναγνωρίζουν δύο υγρά και ένα στερεό («σβώλοι», «στάχτη», «άμμος») τα οποία βρίσκονται στον πυθμένα των δοκιμαστικών σωλήνων. Ορισμένοι μαθητές που αναφέρουν όρους όπως «στάχτη», «άμμος», ίσως δεν έχουν αποδώσει σε αυτή το χαρακτηριστικό της στερεάς φυσικής κατάστασης όπως παρουσιάζεται στην εργασία της Stavy⁶³. Η πλειοψηφία των ομάδων (6 ομάδες) το αποδίδουν στη μεγαλύτερη πυκνότητα των υλικών από αυτή του νερού και στο σχεδιασμό σχεδιάζουν όλοι τη δύναμη του βάρους και την αντίδραση από τους γυάλινους σωλήνες καθώς τρεις (3) ομάδες αναφέρουν την άνωση.

Κατά την αλληλεπίδραση με τον μαγνήτη οι μαθητές δεν διατυπώνουν κάποιο ιδιαίτερη πρόβλεψη και μόνο μία ομάδα αναφέρει: «Αν τα υλικά είναι μαγνητικά θα προσελκύουν το μαγνήτη».

Σχολιάζοντας τις διαφορές κατά την προσέγγιση του μαγνήτη, όλες οι ομάδες καταλήγουν ότι μαγνητική συμπεριφορά εμφανίζουν τα υλικά που βρίσκονται στον 2^ο και 3^ο δοκιμαστικό σωλήνα, που περιέχει τα ρινίσματα και το μαγνητικό υγρό. Σχετικά με τις διαφορές οι μαθητές/τριες εντοπίζουν ότι μικρή ποσότητα από το στερεό αλληλεπιδρά με τον μαγνήτη ενώ το υγρό έλκεται ολόκληρο.

Στην προσπάθεια αιτιολόγησης οι μαθητές/τριες ξεκινούν να ερμηνεύουν τη διαφορετική συμπεριφορά βασιζόμενοι στο ότι το υλικό στον 3^ο δοκιμαστικό σωλήνα είναι υγρό. Συγκεκριμένα

ΟμΓ1.Α: *« Είναι όλα μαζί δεμένα με το υγρό, ενώ στο άλλο (ρινίσματα) είναι καθένα μόνο του»*

ΟμΒ4.Β: *« πήγε με μεγαλύτερο ποσοστό..», ΟμΒ4.Α : «το υγρό είναι και πιο ελαφρύ λογικά»*

ΟμΒ5.Α: *« το υγρό έμνε συμπαγές δεν χανόταν τίποτα»*

ΟμΒ6.Α: *«το υγρό είναι πιο ενιαίο»*

Συνεχίζοντας την προσπάθεια αιτιολόγησης παρατηρούμε ότι μαθητές από πέντε (5) ομάδες εντοπίζει το μέγεθος των σωματιδίων που παρουσιάζουν μαγνήτιση ως αιτία της διαφοροποίησης της συμπεριφοράς μεταξύ ρινισμάτων και μαγνητικού υγρού.

ΟμΓ.2.Α: *« Δεν το έλκει και τόσο ...»* ΟμΓ2.Β : *« Γιατί είναι μεγαλύτεροι οι κόκκοι από το μελάνι»*

ΟμΒ.4.Α: *« αυτό έχει πιο μικρά μόρια και μπορούν να παιστούν πιο πολλά»*

ΟμΒ.6.Α: *« είναι τόσο μικρά τα σωματίδια που είναι... σα να είναι κάπως πιο μεγάλα χωρισμένα μόρια και έτσι δημιουργούν ένα σαν υγρό να φαίνεται»*

ΟμΒ.7.Α: *« ...(τα ρινίσματα) από μικρά σωματίδια πιο διαιρεμένα ... μεταξύ τους».*

ΟμΒ8.Β: *« το ένα είναι από νανοσωματίδια ενώ το άλλο είναι από σίδηρο»*

Στα σχήματα που σχεδιάζουν (Παράρτημα V) παρατηρούμε ότι οι δεκατέσσερις (14) μαθητές/τριες σχεδιάζουν δυνάμεις μεταξύ των ρινισμάτων-μαγνήτη και μαγνητικού υγρού-μαγνήτη. Ειδικότερα όμως: Έντεκα (11) μαθητές/τριες σχεδιάζουν τη δύναμη πάνω στο μαγνητικό υγρό από το μαγνήτη ενώ τρεις (3) σχεδιάζουν μία αλληλεπίδραση χωρίς χαρακτηριστικά δύναμης (μία σύνδεση με μία γραμμή). Έξι (6) σχεδιάζουν δύναμη και πάνω στο μαγνήτη από το υγρό (δράση- αντίδραση). Σε κανένα σχήμα (εκτός ίσως από ένα της ΟμΒ8.Α που έχει μεγαλύτερο μέτρο-διάνυσμα στην περίπτωση του υγρού) δεν βλέπουμε οι δυνάμεις μεταξύ των ρινισμάτων-μαγνήτη και του μαγνητικού υγρού- μαγνήτη να έχουν σχεδιαστεί διαφορετικά, ώστε να υπονοείται ότι οι μαθητές/τριες έχουν αποδώσει τις διαφορετικές ιδιότητες στις διαφορετικές δυνάμεις.

Στον σχεδιασμό του εσωτερικού του μαγνητικού υγρού (Παράρτημα IV) παρατηρούμε ότι οι μαθητές/τριες είτε σχεδιάζουν την δομή με τα εξογκώματα (4 μαθήτριες) είτε εικόνα όμοια με ένα σιδηρομαγνητικό υλικό που σχεδίασαν αρχικά (7 μαθητές) η οποία σε κάποιες περιπτώσεις (5) διαφοροποιείται ως προς την επιφάνεια η οποία σχεδιαζόταν στρογγυλή.

7.2.4 Ανάλυση Γενίκευσης: Σύνδεση των δραστηριοτήτων-Τελική συνέντευξη-Αξιολόγηση της διαδικασίας.

Ολοκληρώνοντας το διδακτικό πειραματισμό οι μαθητές/τριες κλήθηκαν να γενικεύσουν τα συμπεράσματά τους και να βρουν τις συνδέσεις μεταξύ των δραστηριοτήτων.

Οι ομάδες αναγνώρισαν ότι το μέγεθος και η μεταβολή του ήταν μία παράμετρος που συνδέεται με όλες τις δραστηριότητες.

ΟμΓ.1.Α: « Όσο μικρότερα είναι τα σωματίδια τόσο πιο επηρρεπή είναι στις δυνάμεις»,

ΟμΓ.2.Β: « (αλλάζοντας το μέγεθος) αλλάζει ο τρόπος που το σώμα θα ανταπεξέλθει»

ΟμΒ.5.Β: «Κάθε πείραμα επηρεαζόταν από το μέγεθος»

ΟμΒ.6.Β: «...πόσο μικρά ή μεγάλα σωματίδια αποτελείται ένα σώμα έτσι πιο ισχυρές είναι οι δυνάμεις».

Πέντε (5) ομάδες συνδέουν τις ιδιότητες των σωμάτων με τις δυνάμεις που ασκούνται πάνω στα σώματα

ΟμΒ.3.Α: «*ανάλογα με την ιδιότητα ενός σώματος αλλάζει και η μαγνητική δύναμη*»

ΟμΒ.6.Α: «*όταν είναι μικρότερα τα κομμάτια του υλικού μπορεί το βάρος να είναι μικρότερο και έτσι να υπερισχύει η μαγνητική*»

ΟμΒ.7.Β: «*ανάλογα με το πόσο μικρά ή μεγάλα σωματίδια αποτελείται ένα σώμα έτσι πιο ισχυρές είναι οι δυνάμεις.*»

Συγκρίνοντας τις απόψεις που είχαν οι μαθητές/τριες στην αρχή του Δ.Π. με αυτές στο τέλος παρατηρούμε ότι οι μαθητές/τριες εντόπισαν το μέγεθος ως μία παράμετρο που μπορεί να αλλάζει τις ιδιότητες. Η ΟμΒ8.Β καταλήγει στο ότι η αλλαγή στη μορφή του υλικού οδηγεί στο να «*έχει διάφορες ιδιότητες ανάλογα με τις δυνάμεις που του ασκούμε*». Η ΟμΓ.1.Α: «*Νόμιζα ότι δεν θα άλλαζε και πολύ, απλώς θα το κάναμε μικρότερο..... ενώ έχει σημασία το μέγεθος πολύ*» και ο ΟμΒ.7.Β: «*... το μέγεθος των σωματιδίων τα οποία αποτελούν το σώμα επηρεάζει πολύ τις ιδιότητές τους*». Όμως υπάρχει ομάδα (ΟμΒ.5) που ενώ διατυπώνει ότι αλλάζουν οι ιδιότητες όταν αλλάζει το μέγεθος καταλήγει ότι «*δεν χάνεται μία ιδιότητα*».

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΗ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑ

8.1 Συμπεράσματα- Επίδραση στη διδασκαλία

Η συγκεκριμένη έρευνα στόχευε στην καταγραφή και μελέτη των αντιλήψεων των μαθητών/τριών για την αλλαγή των ιδιοτήτων των σωμάτων σε επίπεδο νανοκλίμακας και στις διαδικασίες μάθησης των μαθητών/τριών κατά την εξήγηση των ιδιαίτερων ιδιοτήτων των υλικών στην νανοκλίμακα και την σύνδεσή τους με τις δυνάμεις που επικρατούν σε αυτήν την κλίμακα μεγέθους.

Εργαζόμενοι στο Μεθοδολογικό πλαίσιο της Διδακτικής Αναδόμησης έγινε βιβλιογραφική αναζήτηση με σκοπό τη μελέτη του επιστημονικού αντικειμένου, τον μετασχηματισμό του σε υλικό προς διδασκαλία, την καταγραφή εμπειρικών ερευνών και τη μελέτη εργαλείων έρευνας. Διαμορφώθηκε αρχικό ερωτηματολόγιο καταγραφής των αντιλήψεων μαθητών Γυμνασίου και παραγματοποιήθηκε Διδακτικό Πείραμα. Τα αποτελέσματα επεξεργάστηκαν με τη μέθοδο ανάλυσης διαρκούς σύγκρισης, από την οποία αναδύθηκαν κωδικοί και κατηγορίες κωδικών.

Μελετώντας τα αποτελέσματα της ανάλυσης οδηγηθήκαμε στα συμπεράσματά μας τα οποία τα παρουσιάζουμε κινούμενοι στους άξονες των ερευνητικών μας ερωτημάτων, τα οποία ήταν τα ακόλουθα:

- Ποιες είναι οι αντιλήψεις μαθητών Γυμνασίου για την αλλαγή ιδιοτήτων που συντελείται σε επίπεδο νανοκλίμακας;

Οι μαθητές/τριες όταν αναφέρονται σε ιδιότητες, δηλαδή σε φυσικά μεγέθη ή χαρακτηριστικά που καθορίζουν τη φύση των σωμάτων, χρησιμοποιούν εκφράσεις ή χαρακτηριστικά που σχετίζονται με την χρήση τους, την προέλευσή τους και λιγότερο με φυσικές ή χημικές ιδιότητες.

Όταν τους ζητάται να ορίσουν αλλαγή ιδιοτήτων αναφέρονται σε αλλαγή φυσικής κατάστασης και οι συνθήκες κάτω από τις οποίες αλλάζουν οι

ιδιότητες είναι κυρίως η θέρμανση. Η αλλαγή του μεγέθους δεν αναφέρεται από τους/τις μαθητές/τριες ως παράμετρος μεταβολής των ιδιοτήτων.

Ο τεμαχισμός των υλικών οδηγεί στην μικροσκοπική εικόνα που έχουν οι μαθητές/τριες για την ύλη⁴⁵ και στην απόδοση βάρους στα απειροελάχιστα σωματίδια. Όταν ερωτώνται αν το μέγεθος αποτελεί μία παράμετρο μεταβολής των ιδιοτήτων, αναφέρουν εκτατικές ιδιότητες όπως η μάζα, ο όγκος, το βάρος.

Κατά την διάρκεια αλλά και στο τέλος της διδακτικής παρέμβασης, οι μαθητές/τριες είναι σε θέση να συνδέσουν αλλαγές στις ιδιότητες των υλικών που εμφανίζονται, καθώς το μέγεθός των υλικών μειώνεται²⁴.

Αναφορικά με το 2^ο ερευνητικό μας ερώτημα

- Ποιες είναι οι διαδικασίες μάθησης των μαθητών προς την κατάκτηση της επιστημονικής γνώσης;

Οι μαθητές/τριες αναγνωρίζουν τη δύναμη του βάρους των σωμάτων σε όλες τις κλίμακες μεγέθους, ενώ ως προς τις ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις οι μαθητές/τριες αναφέρουν φορείς των δυνάμεων (φορτία, μαγνήτες), εντοπίζουν τα αποτελέσματά τους (έλξεις, απώσεις), τις χαρακτηρίζουν δυνάμεις από απόσταση, ενώ κάποιοι συνδέουν τις ηλεκτρικές δυνάμεις με τα άτομα, τα ηλεκτρόνια και τα πρωτόνια υπονοώντας ίσως ότι δρουν στον μικρόκοσμο.

Η εισαγωγή των μαθητών/τριών με μία δραστηριότητα όπως αυτή του στατικού ηλεκτρισμού, παρότι δεν ανήκει στην περιοχή της νανοκλίμακας, αποτελεί μία απτή και ως εκ τούτου σχετικά εύκολα ερμηνεύσιμη δραστηριότητα. Με τα κομμάτια φελιζόλ εντοπίζουν την αλλαγή στο μέγεθος των σωματιδίων, παρατηρούν την αλλαγή της συμπεριφοράς του υλικού, άρα και την αλλαγή της ιδιότητας να ηλεκτρίζονται ή όχι. Η αλλαγή στην συμπεριφορά των κομματιών διαφορετικού μεγέθους μπορεί να συνδεθεί με την διαφορετική ισχύ των δυνάμεων που επικρατούν στην περίπτωση των μεγάλων και των μικρών κομματιών. Η επικέντρωση στον διδακτικό στόχο κάθε φορά βοηθά τους/τις μαθητές/τριες να απομονώσουν την παράμετρο που ενδιαφέρει και να εξηγήσουν την παρατηρούμενη συμπεριφορά.

Η 2^η δραστηριότητα με το ύφασμα, που ήταν η πρώτη ουσιαστικά δραστηριότητα στην νανοκλίμακα, ανέδειξε με μία εντυπωσιακή εικόνα την αλλαγή στην συμπεριφορά του υλικού, το οποίο αδιαβροχοποιείται, όταν η επιφάνεια του υλικού αποκτά τραχύτητα της τάξης του νάνο. Από την ανάλυση των αναπαραστάσεων των δυνάμεων που σχεδιάζουν οι μαθητές/τριες παρατηρούμε ότι κάνουν προσπάθεια σύνδεσης της διαφορετικής συμπεριφοράς με τις διαφορετικές δυνάμεις που ασκούνται πάνω στις σταγόνες νερού σε κάθε περίπτωση χωρίς να μπορούν να εντοπίσουν τη φύση των δυνάμεων. Κάτι τέτοιο ήταν αναμενόμενο, καθώς στους μαθητές δεν δόθηκαν επιπλέον στοιχεία για την φύση των δυνάμεων, διεπιφανειακές τάσεις και δυνάμεις συνοχής και συνάφειας. Παρατηρούμε επίσης, ότι ενώ οι περισσότεροι μαθητές είχαν αιτιολογήσει τη διαφορετική συμπεριφορά του υφάσματος συγκρίνοντας το μέγεθος των σωματιδίων και τον κενό χώρο²³ που αφήνουν αυτά, μόνο λίγοι σχεδίασαν τη δομή της επιφάνειας του υφάσματος στις δύο περιπτώσεις.

Στην 3^η δραστηριότητα διερευνάται η μαγνητική αλληλεπίδραση υλικών που παρουσιάζουν τεχνολογικό και επιστημονικό ενδιαφέρον. Ένα μαγνητικό υγρό αποτελείται από σωματίδια τα οποία συμπεριφέρονται υπερπαραμαγνητικά με τις διαστάσεις των νανοκρυστάλλων να είναι υπεύθυνες για τη γρήγορη μαγνήτιση και απομαγνήτιση υπό την επίδραση του εξωτερικού μαγνητικού πεδίου.

Οι μικροσκοπικές αναπαραστάσεις των μαθητών/τριών για τα μαγνητικά υλικά έδειξαν ότι μαγνητική συμπεριφορά είναι ένα χαρακτηριστικό το οποίο οι μαθητές συνδέουν με το ηλεκτρικό φορτίο και την μετακίνηση ή την περίσσειά του, όπως έχει φανεί και σε προηγούμενες έρευνες³⁷. Οι μαθητές της έρευνας μας περιγράφουν μακροσκοπικά τη μαγνητική συμπεριφορά με όρους αλληλεπίδρασης με μαγνήτες και με την εμφάνιση δυνάμεων. Η εξήγηση της διαφορετικής μαγνητικής συμπεριφοράς των ρινισμάτων από το μαγνητικό υγρό αποδώθηκε στην υγρή φάση και στο διαφορετικό μέγεθος των σωματιδίων που παρουσιάζουν μαγνητικές ιδιότητες. Κατά τον σχεδιασμό των δυνάμεων παρατηρήθηκε ότι μαθητές/τριες που ανέφεραν στις αιτιολογήσεις τους διαφορετικές δυνάμεις στις δύο περιπτώσεις, δεν διαφοροποιούν το μέγεθος των διανυσμάτων που παριστάνουν τις αντίστοιχες δυνάμεις.

Ο σχεδιασμός και η επιλογή των δραστηριοτήτων συμπεριέλαβε ιδιότητες όπως η δυνατότητα ηλεκτρίσης, η απορροφητικότητα νερού και η μαγνήτιση που είχαν εντατικό χαρακτήρα, καθώς διαπιστώθηκε πριν το Δ.Π. ότι οι μαθητές όταν αναφέρονται σε ιδιότητες σωμάτων εννοούν χαρακτηριστικά όπως τη φυσική κατάσταση και τη μεταβολή αυτής και απέδειξαν σε συγκεκριμένα υλικά συγκεκριμένες ιδιότητες (φυσικές ή χημικές). Η αλλαγή των ιδιοτήτων των υλικών συνδεόταν μόνο με αλλαγή φυσικής κατάστασης και πραγματοποίηση χημικών αντιδράσεων. Η μεταβολή ιδιοτήτων εξαιτίας του μεγέθους συνδεόταν μόνο με εκτατικές παραμέτρους.

Επιλέχθηκε η διδακτική ακολουθία να κατευθύνει τους μαθητές σταδιακά από τον μακρόκοσμο στην κλίμακα του νάνο, καθώς η διαφοροποίηση στην συμπεριφορά των υλικών αναζητείται σε μια κλίμακα μεγέθους με την οποία οι μαθητές/τριες δεν είναι εξοικιωμένοι. Με αυτόν τον τρόπο, ακόμα και αν δεν είχαν άμεση εποπτεία, απέδωσαν την αλλαγή στη συμπεριφορά στην αλλαγή του μεγέθους.

Πριν το Δ.Π. οι μαθητές ήταν εξοικιωμένοι μόνο με τη δύναμη του βάρους, την οποία μπορούσαν να σχεδιάσουν με ευκολία. Κατά την πραγματοποίηση του Δ.Π. συνάντησαν ηλεκτρικές και μαγνητικές δυνάμεις για τις οποίες πριν είχαν κάποια ασαφή εικόνα. Κατά τον σχεδιασμό των δυνάμεων αντιλήφθηκαν ότι είναι είδη δυνάμεων που προκύπτουν από την αλληλεπίδραση κατάλληλων υποθεμάτων και αποκτούν μεγαλύτερη ισχύ καθώς οι διαστάσεις μειώνονται.

Συνοψίζοντας, μπορούμε να πούμε ότι οι μαθητές/τριες μπορούν να εντοπίσουν τις νέες ιδιότητες που αναδύονται στην περιοχή της νανοκλίμακας, να τις περιγράψουν και να τις εξηγήσουν σε κάποιον βαθμό. Το Δ.Π. έδωσε ενθαρρυντικά αποτελέσματα για την σύνδεση της συμπεριφοράς των υλικών με το μέγεθος τους και τη σχετική ισχύ των δυνάμεων, καθώς οι μαθητές/τριες στο τέλος της ενότητας μπορούσαν να αναγνωρίσουν ότι το μέγεθος ήταν το κοινό σημείο σε όλες τις δραστηριότητες που διαφοροποιούσε κάποιες ιδιότητες των υλικών.

8.2 Προοπτικές

Η μορφή αυτή της διδακτικής ενότητας, όπως εφαρμόστηκε στο διδακτικό πείραμα προτείνεται να διαμορφωθεί κατάλληλα ώστε να εφαρμοστεί ως

διδασκτική ενότητα στα πλαίσια της σχολικής τάξης. Η κατάλληλη διαμόρφωση συνίσταται από την ενσωμάτωση των ιδεών που διατυπώθηκαν από τους μαθητές στην ενότητα των δραστηριοτήτων και θα εμπλουτίσει το υλικό και τις ερωτήσεις. Το αναθεωρημένο υλικό θα μπορούσε να εφαρμοστεί σε ένα διδασκτικό πείραμα διευρυμένης ομάδας τεσσάρων ατόμων ή προτιμότερο να εφαρμοστεί απευθείας σε συνθήκες τάξης για να αποτιμηθεί και να ανατροφοδοτήσει τη διαδικασία της Διδασκτικής Αναδόμησης.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΟΡΟΛΟΓΙΑΣ

Πίνακας 4: Πίνακας ορολογίας με τις αντιστοιχίσεις των ελληνικών και ξενόγλωσσων όρων

Ξενόγλωσσος όρος	Ελληνικός Όρος
Model of Educational Reconstruction	Μοντέλο Διδακτικής Αναδόμησης
Teaching Experiment	Διδακτικό Πείραμα
Elementarization	Στοιχειοποίηση
Ferrofluid	Μαγνητικό Υγρό
Grounded Theory	Θεμελιωμένη Θεωρία
Constant Comparative Method	Μέθοδος Ανάλυσης Διαρκούς Σύγκρισης
Conceptual analysis	Εννοιολογική ανάλυση

ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ – ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΑ – ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ

Πίνακας 5: Πίνακας ακρωνυμίων και ανάπτυξή τους

Φ.Ε.	Φυσικές Επιστήμες
Μ.Δ.Α.	Μοντέλο Διδακτικής Αναδόμησης
Δ.Π.	Διδακτικό Πείραμα
Μ. Ι.	Μεγάλη Ιδέα

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

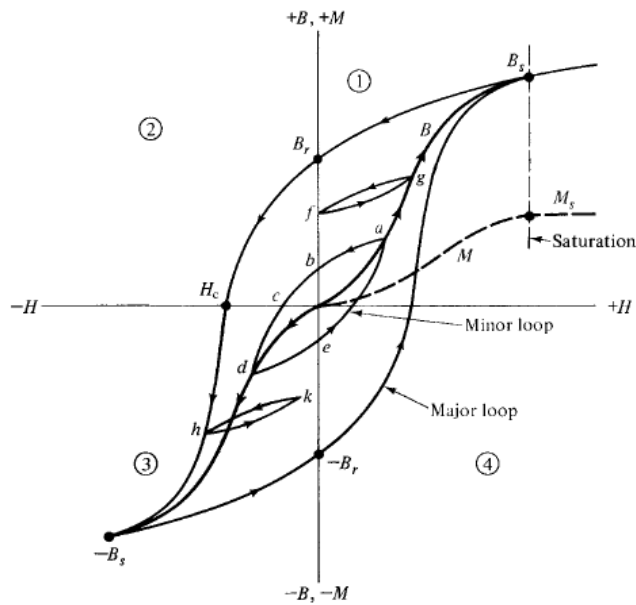
II. 1. Σιδηρομαγνητικά υλικά

Τα υλικά που παρουσιάζουν τις εντυπωσιακότερες μαγνητικές ιδιότητες είναι τα σιδηρομαγνητικά. Στην κατηγορία των σιδηρομαγνητικών ανήκουν υλικά τα οποία έχουν εντελώς ιδιαίτερες ιδιότητες, όπως είναι η εμφάνιση μαγνήτισης και χωρίς την επίδραση μαγνητικού πεδίου, υψηλές τιμές μαγνητικής επιδεκτικότητας κ.α. Οι ιδιότητες αυτές εξαφανίζονται, όταν η θερμοκρασία του υλικού ξεπεράσει μια θερμοκρασία χαρακτηριστική για κάθε υλικό, που λέγεται θερμοκρασία Curie. Για θερμοκρασίες υψηλότερες της θερμοκρασίας Curie το υλικό συμπεριφέρεται σαν παραμαγνητικό και ακολουθεί τον νόμο Curie – Weiss.

Ο Pierre Weiss (1906) για να εξηγήσει τον σιδηρομαγνητισμό – που στην πραγματικότητα οφείλεται στην ισχυρή αλληλεπίδραση των ατομικών μαγνητικών ροπών η οποία έχει σαν συνέπεια την παράλληλη διάταξή τους – πρότεινε τη θεωρία του μοριακού πεδίου. Ο πιο γενικός τρόπος παράστασης της μαγνητικής συμπεριφοράς ενός σιδηρομαγνητικού υλικού είναι ο συνδυασμός της καμπύλης μαγνήτισής του και του βρόχου υστέρησης του υλικού. Όταν ένα μαγνητικό πεδίο επιδράσει σε ένα σιδηρομαγνητικό υλικό η μαγνήτισή του μεταβάλλεται από την τιμή μηδέν μέχρι την τιμή κόρου του υλικού. Οι καμπύλες της μεταβολής της M συναρτήσει της H είναι οι καμπύλες μαγνήτισης του υλικού. Για τη μαγνητική επαγωγή ισχύει:

$\vec{B} = \mu_0 \vec{H} + \mu_0 \vec{M} = \mu_0 (1 + \chi) \vec{H} = \mu \vec{H}$, όπου μ η μαγνητική διαπερατότητα του υλικού (SI).

II. 1.1. Βρόχος υστέρησης σιδηρομαγνητικού υλικού



Εικόνα 14: Βρόχος υστέρησης σιδηρομαγνητικού υλικού

Όταν το υλικό βρίσκεται στην αμαγνήτιστη κατάσταση και επιδράσει εξωτερικό μαγνητικό πεδίο, η $B(H)$ ακολουθεί τη διαδρομή $OaBBs$ στην καμπύλη του σχήματος. Η καμπύλη της μεταβολής της B συναρτήσει της H από την αμαγνήτιστη κατάσταση μέχρι τον κόρο λέγεται αρχική ή παρθενική ή κανονική καμπύλη επαγωγής. Μερικές φορές σχεδιάζεται η μεταβολή του μεγέθους $B_i=B-H$ συναρτήσει της έντασης H . Η καμπύλη που προκύπτει διαφέρει από την καμπύλη (B,H) κατά τον παράγοντα 4π επί τον οποίο πολλαπλασιάζεται ο άξονας ψ .

Αν μηδενιστεί η H , κατά την επιστροφή από τον μαγνητικό κόρο, η τιμή της μαγνητικής επαγωγής B_r λέγεται παραμένουσα μαγνήτιση. Η τιμή $-H_c$ του μαγνητικού πεδίου, η οποία χρειάζεται για να μηδενιστεί η μαγνητική επαγωγή, λέγεται συνεκτικό πεδίο ή συνεκτική δύναμη. Πρέπει να σημειωθεί ότι η μαγνήτιση M είναι ακόμη θετική και ίση προς $|H_c|/4\pi$. Το αντίστροφο πεδίο που απαιτείται για να μηδενιστεί η μαγνήτιση M λέγεται ενδογενής συνεκτική δύναμη H_{ci} .

Αν αυξήσουμε το πεδίο μέχρι την τιμή $-H_s$, έχουμε την τιμή του αντιστρόφου κόρου $-B_s$. Αν στη συνέχεια το πεδίο μηδενιστεί, θα έχουμε την αντίστροφη παραμένουσα μαγνητική επαγωγή $-B_r$ και με συνεχιζόμενη αύξηση του πεδίου θα φθάσουμε ξανά την τιμή $+B_s$. Ο βρόχος αυτός λέγεται «μείζων

βρόχος υστέρησης» και τα δύο άκρα του είναι σημεία μαγνητικού κόρου. Αν η διαδικασία της αρχικής ή παρθενικής μαγνήτισης διακοπεί σε κάποιο ενδιάμεσο σημείο όπως το a και το μαγνητικό πεδίο αντιστραφεί, διαγράφεται ένας εσωτερικός βρόχος ο $(abcdea)$. Υπάρχει ένας άπειρος αριθμός εσωτερικών βρόχων υστέρησης, τα άκρα σημεία των οποίων βρίσκονται πάνω στον κανονικό βρόχο υστέρησης.

Για να απομαγνητιστεί ένα υλικό πρέπει να διακοπεί η μαγνήτισή του σε κάποιο σημείο, όπως το a , και με τη διαγραφή πολλών εσωτερικών, διαδοχικών βρόχων να καταλήξει στην αμαγνήτιστη κατάσταση του. Ο μοναδικός εναλλακτικός τρόπος για να απομαγνητισθεί ένα σιδηρομαγνητικό υλικό είναι να θερμανθεί σε θερμοκρασία υψηλότερη από τη θερμοκρασία Curie, οπότε, όταν ψυχθεί, καταλήγει στην αμαγνήτιστη κατάστασή του.

Τόσο τα σιδηρομαγνητικά όσο και τα σιδηριμαγνητικά υλικά, ανάλογα με την ευκολία με την οποία μαγνητίζονται, κατατάσσονται σε μαλακά ή σκληρά. Αν ένα ασθενικό πεδίο επαρκεί για να κορέσει μαγνητικά το υλικό, τότε το υλικό αυτό χαρακτηρίζεται σαν μαγνητικά μαλακό. Αντίθετα αν κάποιο άλλο υλικό απαιτεί μεγάλες εντάσεις μαγνητικού πεδίου για να κορεσθεί, τότε το υλικό αυτό λέγεται μαγνητικά σκληρό. Μερικές φορές το ίδιο το υλικό μπορεί να είναι μαγνητικά σκληρό ή μαλακό ανάλογα με την μηχανική του κατεργασία.

Συνήθως ο διαχωρισμός γίνεται ανάλογα με το μέτρο της συνεκτικής δύναμης του υλικού. Έτσι για $H_c > 100 \text{ Oe}$ το υλικό χαρακτηρίζεται σαν σκληρό, ενώ για $H_c < 5 \text{ Oe}$ χαρακτηρίζεται σαν μαλακό.

Οι θεωρίες που ασχολούνται με την εξήγηση των μαγνητικών ιδιοτήτων χωρίζονται σε δύο κύριες κατηγορίες: εκείνες που ασχολούνται με τις μαγνητικές ιδιότητες των πολυκρυσταλλικών υλικών, (στα οποία ανήκουν και τα περισσότερα μαλακά υλικά) και εκείνες που ασχολούνται με τις ιδιότητες των μικρών σωματιδίων (από τα οποία αποτελούνται τα πιο σημαντικά σκληρά μαγνητικά υλικά)⁶⁴.

http://minos.materials.uoc.gr/el/undergrad/courses/ETY362/notes/2013/magnetic/chapter_3.pdf)

Ο Weiss το 1906 προέβλεψε την ύπαρξη αυτομάτως μαγνητισμένων περιοχών στα σιδηρομαγνητικά υλικά, στην προσπάθειά του να εξηγήσει τις καμπύλες μαγνήτισης και τον βρόχο υστέρησης των σιδηρομαγνητικών υλικών. Οι περιοχές αυτές είναι γνωστές με το όνομά του. Η ύπαρξη των περιοχών αυτών δικαιολογούνται από θερμοδυναμικά επιχειρήματα που προκύπτουν από ελαχιστοποίηση της ελεύθερης ενέργειας του συστήματος. Επομένως, αποδεικνύεται ότι σε ένα σιδηρομαγνητικό υλικό υπάρχουν πολλές περιοχές Weiss. Η ενέργεια απομαγνήτισης είναι η κύρια υπεύθυνη για την εμφάνιση των περιοχών Weiss. Η ενέργεια αυτή προέρχεται από την αλληλεπίδραση μεταξύ των ατομικών διπολικών ροπών (αλληλεπίδραση τύπου διπόλου – διπόλου). Η αλληλεπίδραση όμως αυτή είναι πολύ πιο ασθενική από την αλληλεπίδραση ανταλλαγής μεταξύ γειτονικών ατόμων και θα περίμενε συνεπώς κανείς να ευνοείται η εμφάνιση ομοιόμορφης μαγνήτισης σ' όλη την έκταση του υλικού κι όχι η εμφάνιση περιοχών Weiss. Η εμφάνισή τους όμως δικαιολογείται από το γεγονός ότι η αλληλεπίδραση διπόλου – διπόλου είναι μακράς εμβέλειας, ενώ η αλληλεπίδραση ανταλλαγής μικρής εμβέλειας. Γενικά λοιπόν ευνοείται η δομή περιοχών, ενώ για μικρές αποστάσεις, μέσα δηλαδή σε μια περιοχή η μαγνήτιση είναι ομοιόμορφη ή σχεδόν ομοιόμορφη. Η οριακή περιοχή μεταξύ δύο περιοχών Weiss λέγεται τοίχωμα περιοχής ή τοίχωμα Bloch.

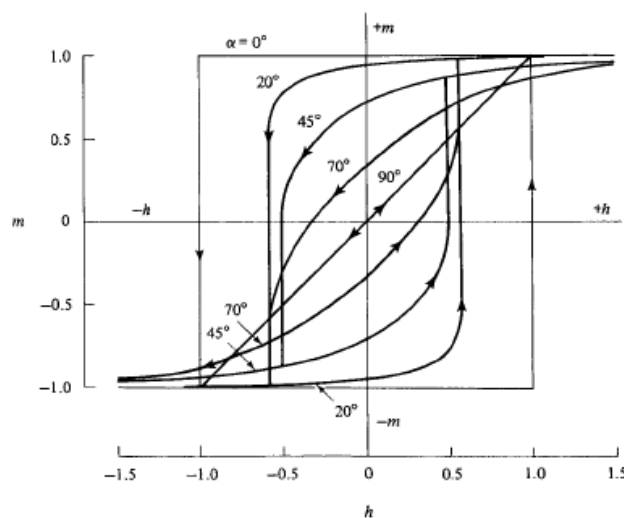
Σωματίδια μία περιοχής

Ένα σιδηρομαγνητικό δείγμα αποτελείται συνήθως από πολλές περιοχές Weiss. Κάτω από ορισμένες συνθήκες είναι δυνατό να υπάρξει δείγμα που να αποτελείται από μία μόνο περιοχή Weiss. Οι διαστάσεις ενός τέτοιου δείγματος είναι συνήθως πολύ μικρές και ο υπολογισμός της κρίσιμης διάστασης στην οποία απομονώνουμε μία περιοχή Weiss πολύπλοκος και εξαρτώμενος από αρκετές παραμέτρους.

Ο βρόχος υστέρησης σε μία τέτοια περιοχή Weiss

Όταν ένα σωματίδιο αποτελούμενο από μια περιοχή Weiss βρεθεί μέσα σε μαγνητικό πεδίο, η μαγνήτισή του στρέφεται και χάνει τη διεύθυνση της εύκολης μαγνήτισης ως προς την οποία ήταν αρχικά προσανατολισμένη. Δεν είναι βέβαια σίγουρο ότι το σωματίδιο θα εξακολουθήσει να είναι μιας

περιοχής και μετά την επίδραση του μαγνητικού πεδίου, για να διευκολυνθεί όμως ο υπολογισμός μας θα θεωρήσουμε ότι εξακολουθεί πράγματι να έχει σταθερή μαγνήτιση σ' όλη του την έκταση

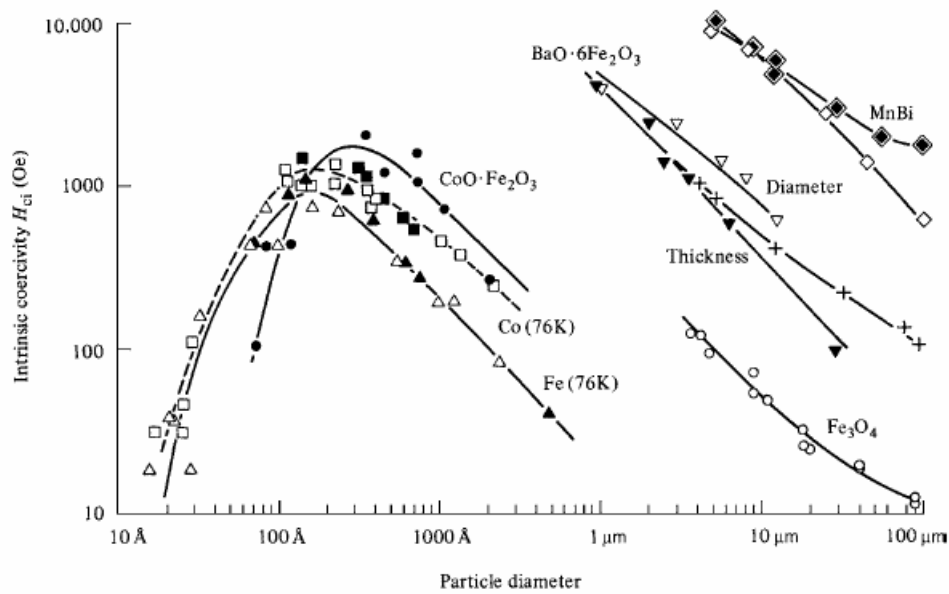


Εικόνα 15: Βρόχος υστέρησης σε μία περιοχή Weiss

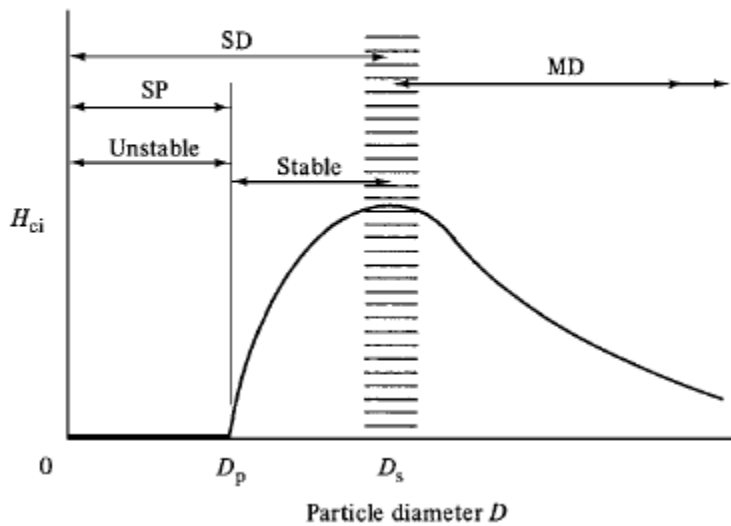
Συνεκτικά πεδία των μικρών σωματιδίων

Ένα από τα κύρια μαγνητικά μεγέθη τα οποία αποτελούν το αντικείμενο των μαγνητικών ερευνών είναι το συνεκτικό πεδίο, και τούτο για δύο κύριους λόγους: Πρώτα γιατί η τιμή των συνεκτικών πεδίων προσδιορίζει το είδος του μαγνητικού υλικού (σκληρό – μαλακό) και κατά συνέπεια και τις εφαρμογές του, και έπειτα γιατί η συνεκτική δύναμη είναι ένα μέγεθος που μπορεί να προκύψει από θεωρητικούς καθαρά υπολογισμούς.

Στο παρακάτω σχήμα δίνονται διαγραμματικά τα πειραματικά αποτελέσματα για τον σίδηρο, το κοβάλτιο και το νικέλιο. Όπως φαίνεται από τα πειραματικά αποτελέσματα, η συνεκτική δύναμη εξαρτάται από το μέγεθός τους. Καθώς αυξάνει το μέγεθός τους, η συνεκτική δύναμη αυξάνει, πέρα όμως από ένα ορισμένο μέγεθος σωματιδίου η συνεκτική δύναμη μειώνεται. Πρέπει εξάλλου να σημειώσουμε τη μεγάλη μεταβολή των μεγεθών που εικονίζονται στα πειραματικά αποτελέσματα. Πράγματι, όπως φαίνεται, για μεταβολή μεγέθους σωματιδίων κατά πέντε τάξεις μεγέθους, έχουμε μεταβολή συνεκτικής δύναμης κατά τρεις τάξεις μεγέθους. (http://minos.materials.uoc.gr/el/undergrad/courses/ETY362/notes/2013/magnetic/chapter_5.pdf)



MD = multi-domain
 SD = single-domain
 SP = superparamagnetic



Υπερπαραμαγνητικά υλικά

Ο Νέελ είχε προβλέψει το 1949 ότι, αν το μέγεθος των σωματιδίων ήταν αρκετά μικρό, θα μπορούσε η θερμική διέγερση να υπερνικήσει τις δυνάμεις ανισοτροπίας και να αναγκάσει τη μαγνήτιση των σωματιδίων να στραφεί από

τη διεύθυνση εύκολης μαγνήτισης σε μία άλλη, χωρίς την επίδραση εξωτερικού πεδίου.

Όταν επί πλέον εφαρμοσθεί κι ένα εξωτερικό μαγνητικό πεδίο, τα σωματίδια θα τείνουν να προσανατολιστούν προς τη διεύθυνσή του, ενώ η θερμική κίνηση θα τείνει να τα αποπροσανατολίσει. Σαν αποτέλεσμα θα έχουμε μία συμπεριφορά παραμαγνητικού υλικού. Όμως η τιμή της μαγνητικής ροπής των σωματιδίων που εξετάζουμε είναι πολύ μεγαλύτερη από τη μαγνητική ροπή ανά άτομο ενός κλασσικού παραμαγνητικού υλικού και για τον λόγο αυτό ονομάζονται και υπερ-παραμαγνητικά υλικά.

Τα υπερπαραμαγνητικά υλικά παρουσιάζουν τις δύο σημαντικές ιδιότητες.

α) Δεν παρουσιάζονται φαινόμενα υστέρησης. Πρόκειται συνεπώς για σωματίδια μιας περιοχής, ορισμένου μεγέθους.

β) Οι καμπύλες μαγνήτισης που μετριοούνται σε διαφορετικές θερμοκρασίες είναι απόλυτα ίδιες, αν σχεδιαστεί η μαγνήτιση M σαν συνάρτηση του λόγου H/T^{65} .

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ

Διερεύνηση των αντιλήψεων και διαδικασιών μάθησης μαθητών Γυμνασίου για την αλλαγή ιδιοτήτων υλικών σωμάτων σε επίπεδο Νανοκλίμακας

♦ Questionnaire

1. Πώς αντιλαμβάνεσαι τον όρο ιδιότητα; Δώσε σύντομο ορισμό. Δώσε παραδείγματα.
2. Θεωρείς ότι είναι δυνατόν να μεταβληθούν κάποιες ιδιότητες; Αν ναι, ποιες; Αν όχι, γιατί;
3. Κάτω από ποιες συνθήκες ή γεγονότα μπορεί να αλλάξουν; Δώσε παραδείγματα.
4. Θα μπορούσες να φανταστείς ότι τεμαχίζοντας ένα υλικό θα μπορούσε να αλλάξει κάποια ιδιότητά του; Αν ναι, πώς μπορείς να το εξηγήσεις αυτό; Τι παρέμεινε ίδιο και τι άλλαξε με τον τεμαχισμό;
5. Μπορείς να φανταστείς σε πόσο μικρά κομμάτια μπορείς να φτάσεις τεμαχίζοντας ένα υλικό;
6. Τα μικρά σωματίδια έχουν βάρος; Νομίζεις ότι μπορεί να ασκούνται και άλλες δυνάμεις μεταξύ τους; Υπάρχουν πολλά είδη δυνάμεων;
7. Τι γνωρίζεις για τις ηλεκτρικές και τις μαγνητικές δυνάμεις;

♦ Δομή διδακτικής και μαθησιακής δραστηριότητας

1. Περιγραφή του πειράματος
2. Πρόβλεψη για την εξέλιξη και τα αποτελέσματα του πειράματος
3. Εκτέλεση του πειράματος
4. Προσπάθεια με συζήτηση με τους μαθητές να προσδιορίσουν τη σχέση του μεγέθους του υλικού με την αλλαγή της ιδιότητας που παρατηρούν. Οι μαθητές καλούνται να περιγράψουν τι είδαν.
5. Επανάληψη του πειράματος. Προσπάθεια εξήγησης. Οι μαθητές καλούνται να περιγράψουν τι διατηρήθηκε σταθερό και τι άλλαξε και πως προκλήθηκε η μεταβολή; Με βάση τις απαντήσεις τους, τους καθοδηγούμε να εξηγήσουν την εξάρτηση των ιδιοτήτων από το είδος των δυνάμεων που κυριαρχούν σε κάθε κλίμακα μεγέθους

1^η δραστηριότητα

Στατικός Ηλεκτρισμός

Πειραματική Διαδικασία: Σε δύο δοκιμαστικούς σωλήνες έχουμε κομμάτια φελιζόλ. Στον 1^ο μεγάλα κομμάτια, στον 2^ο μικρά. Τρίβουμε με ύφασμα από fleece και τους δύο δοκιμαστικούς σωλήνες και παρατηρούμε ότι τα μεγάλα κομμάτια είναι στον πάτο ενώ τα μικρά έχουν κολλήσει στα τοιχώματα. (εναλλακτικά θα μπορούσαν μικρά και μεγάλα κομμάτια να είναι στον ίδιο δοκιμαστικό σωλήνα).

- ▶ Κρατώντας το 1^ο δοκιμαστικό σωλήνα με τα μεγάλα κομμάτια ζητάμε από τους μαθητές να προβλέψουν τι θα γίνει αν τρίψουμε το σωλήνα με το ύφασμα. Γιατί θα συμβεί αυτό;
- ▶ Εκτελούμε το πείραμα και καλούμε τους μαθητές να περιγράψουν τι είδαν. Επιβεβαιώθηκε η αρχική τους πρόβλεψη;
- ▶ Ζητάμε στη συνέχεια να κάνουν πρόβλεψη και για το τι θα συμβεί με τον 2^ο δοκιμαστικό σωλήνα με τα μικρά κομμάτια.
- ▶ Εκτελούμε το πείραμα και ζητάμε εκ νέου να περιγράψουν τι είδαν.
- ▶ Τι έμεινε το ίδιο; Τι άλλαξε; Γιατί νομίζεις ότι συμβαίνει αυτό;
- ▶ Ρωτάμε τους μαθητές ποιες δυνάμεις ασκούνται στα κομμάτια φελιζόλ σε κάθε περίπτωση; Τους ζητάμε να τις ζωγραφίσουν.
- ▶ Οι ηλεκτροστατικές δυνάμεις εμφανίζονται και στα μεγάλα κομμάτια του φελιζόλ; Γιατί δεν βλέπουμε τα αποτελέσματά τους;
- ▶ Οι βαρυτικές δυνάμεις πότε γίνονται σημαντικές; Οι ηλεκτροστατικές πότε επικρατούν;
- ▶ Καθώς πηγαίνουμε από τα μεγάλα κομμάτια σε μικρότερα τι μεταβλήθηκε;
- ▶ Το μέγεθος του αντικείμενου καθορίζει ποιες δυνάμεις υπερισχύουν και καθορίζουν τις ιδότητές του.

Η 1^η δραστηριότητα λειτουργεί ως έναυσμα για να γίνει εισαγωγή στο ότι σε διαφορετικές κλίμακες μεγέθους αλλάζουν και οι δυνάμεις που κυριαρχούν.

2^η δραστηριότητα

Πειραματική διαδικασία: Θα χρησιμοποιήσουμε δύο κομμάτια από το ίδιο ύφασμα όπου το ένα διαβρέχεται από νερό ενώ το άλλο έχει αδιαβροχοποιηθεί χρησιμοποιώντας spray ναουλικού. Ρίχνουμε και στα δύο υφάσματα σταγόνες νερού και παρατηρούμε τις διαφορές.

► Κρατώντας το κλασικό ύφασμα τους λέμε ότι η επιφάνειά του αποτελείται από σωματίδια κάποιου μεγέθους και ρωτάμε τους μαθητές τι περιμένουν να συμβεί αν ρίξουμε λίγες σταγόνες νερό πάνω στο ύφασμα.

► Εκτελούμε το πείραμα και ζητάμε από τους μαθητές να ελέγξουν αν επιβεβαιώθηκε ή όχι η πρόβλεψή τους. Γιατί συμβαίνει αυτό;

► Καλούμε πάλι τους μαθητές να παρατηρήσουν το δεύτερο ύφασμα που είναι από το ίδιο υλικό και η επιφάνειά του αποτελείται από μικρότερα (νανο) σωματίδια και να προβλέψουν τι θα συμβεί αν ρίξουμε πάλι λίγες σταγόνες νερού;

► Εκτελούμε το πείραμα και ζητάμε από τους μαθητές να ελέγξουν αν επιβεβαιώθηκε ή όχι η πρόβλεψή τους. Τι άλλαξε τη δεύτερη φορά;

► Τι έμεινε το ίδιο; Τι άλλαξε; Γιατί νομίζεις ότι συμβαίνει αυτό;

► Καλούμε τους μαθητές να σχεδιάσουν πώς φαντάζονται ότι «κάθονται» οι σταγόνες πάνω στο 1^ο και στο 2^ο ύφασμα έχοντας σχεδιάσει σε τομή το ύφασμα ώστε να φαίνεται το μέγεθος των σωματιδίων της επιφάνειας του υφάσματος σε κάθε περίπτωση.

► Ρωτάμε τους μαθητές ποιες δυνάμεις ασκούνται στα κομμάτια υφάσματος σε κάθε περίπτωση; Τους ζητάμε να τις ζωγραφίσουν.

► Ζητάμε από τους μαθητές να τοποθετήσουν λίγες σταγόνες νερού στο ύφασμα που δεν έχει βραχεί και με προσοχή να δώσουν κλίση ώστε οι σταγόνες να μετακινηθούν και να ελέγξουν αν τα σταγονίδια υγραίνουν το ύφασμα.

► Ζητάμε από τους μαθητές να σχεδιάσουν το σχήμα της σταγόνας στο ύφασμα.

► Καθώς το μέγεθος των σωματιδίων στην επιφάνεια του υφάσματος μίκρυνε σε νανο-κλίμακα τι άλλαξε;

Καθώς η επιφάνεια των υλικών αποκτά τραχύτητα σε νανοκλίμακα οι δυνάμεις (συνοχής και συνάφειας) αλλάζουν και αποκαλύπτουν νέες ιδιότητες των υλικών.

Όταν οι διαστάσεις των επιφανειακών σωματιδίων του υφάσματος/φυτού είναι μεγάλες, οι δυνάμεις συνάφειας είναι μεγαλύτερες από τις δυνάμεις συνοχής (μεταξύ των μορίων του νερού) και το υλικό βρέχεται. Όσο μικραίνουν οι διαστάσεις των σωματιδίων στην επιφάνεια του υλικού (ύφασμα ή φυτό) που έρχεται σε επαφή με τη σταγόνα μειώνονται οι δυνάμεις συνάφειας και υπερिशύουν οι δυνάμεις συνοχής (μεταξύ των μορίων του νερού) δίνοντας το σφαιρικό σχήμα στη σταγόνα.

3η δραστηριότητα

Πειραματική Διαδικασία:

Έχουμε τρεις δοκιμαστικούς σωλήνες.

Στον 1^ο έχουμε νερό με ένα υγρό μεγαλύτερης πυκνότητας που είναι στον πάτο (εναλλακτικά μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ηλιέλαιο με λίγο μελάνι),

στον 2^ο έχουμε νερό με ρινίσματα,

στον 3^ο νερό με ferrofluid

Χρησιμοποιούμε ένα ή δύο ισχυρούς μαγνήτες και τους πλησιάζουμε σε καθένα από τους δοκιμαστικούς σωλήνες.

Αρχικά ρωτάμε και ζητάμε να περιγράψουν οι μαθητές τους τρεις πρώτους δοκιμαστικούς σωλήνες. Τι περιέχουν και γιατί παρουσιάζουν αυτή την εικόνα. Πλησιάζουμε τους μαγνήτες σε καθένα τους και ζητάμε πάλι να περιγράψουν τι βλέπουν. Σχολιάζουμε τις παρατηρήσεις.

- ▶ Ρωτάμε τους μαθητές πότε ένα υλικό είναι μαγνητικό. (Ο μαγνήτης ποια υλικά έλκει;)
- ▶ Ζητάμε από τους μαθητές να σχεδιάσουν πως είναι το εσωτερικό ενός σιδηρομαγνητικού υλικού.
- ▶ Ρωτάμε αν όλα τα υλικά που παρουσιάζουν μαγνητικές ιδιότητες είναι στερεά; Μπορεί να υπάρχουν μαγνητικά υγρά;
- ▶ Ζητάμε από τους μαθητές να περιγράψουν τι βλέπουν στους τρεις δοκιμαστικούς σωλήνες. Γιατί τα υλικά μες στο νερό κάθονται στον πάτο; Ποιες δυνάμεις ασκούνται; Τους ζητάμε να τις ζωγραφίσουν.
- ▶ Ζητάμε από τους μαθητές να προβλέψουν τι θα συμβεί αν πλησιάσουμε τον μαγνήτη σε καθένα από τους τρεις δοκιμαστικούς σωλήνες.
- ▶ Πλησιάζουμε τον μαγνήτη και καλούμε τους μαθητές να καταγράψουν τις διαφορές που βλέπουν.
- ▶ Ρωτάμε τους μαθητές ποιες δυνάμεις ασκούνται στα υλικά του κάθε σωλήνα όταν πλησιάζουμε το μαγνήτη; Τους ζητάμε να τις ζωγραφίσουν.

- ▶ Ρωτάμε αν αναγνωρίζουν σε κάποιους από τους παραπάνω δοκιμαστικούς σωλήνες ένα μαγνητικό υγρό;
- ▶ Ζητάμε από τους μαθητές να σχεδιάσουν τις δυνάμεις που ασκούνται στα ρινίσματα και αυτές που ασκούνται στο υγρό.
- ▶ Ζητάμε από τους μαθητές να σχεδιάσουν πως είναι το εσωτερικό ενός σιδηρομαγνητικού υγρού; Πως εμφανίζονται αυτές οι δομές μέσα στο ferrofluid;
- ▶ Δίνουμε στους μαθητές την πληροφορία ότι το υγρό που μαγνητίζεται περιέχει σίδηρο σε μικρότερες διαστάσεις/μικρότερο μέγεθος από ότι τα ρινίσματα.
- ▶ Ανάμεσα στους δύο τελευταίους δοκιμαστικούς σωλήνες τι έμεινε το ίδιο; Τι άλλαξε; Γιατί νομίζεις ότι συμβαίνει αυτό;
- ▶ Σε κάθε περίπτωση ποιο είδος δυνάμεων γίνεται σημαντικό (επικρατεί);

Καθώς η κλίμακα μειώνεται οι ηλεκτρικές και μαγνητικές δυνάμεις γίνονται ισχυρότερες και αποκαλύπτουν νέες ιδιότητες των υλικών.

◆ Ερωτήσεις Αναστοχασμού

▶ Μπορείτε να μου διατυπώσετε το συμπέρασμα που προκύπτει από τις δραστηριότητες που κάναμε;

▶ Ποια είναι για σας τα νέα στοιχεία που προκύπτουν από τις παραπάνω δραστηριότητες;

▶ Τι σας βοήθησε για να βγάλετε το συμπέρασμά σας;

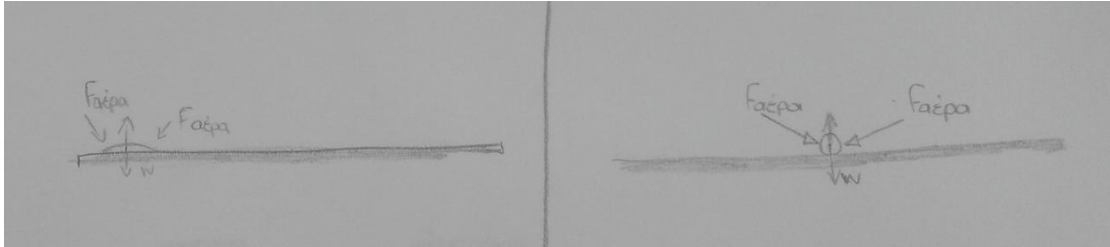
▶ Τι σας δυσκόλεψε περισσότερο;

▶ Άλλαξε κάτι στις απόψεις σας σχετικά με το πώς αλλάζουν οι ιδιότητες καθώς μειώνεται το μέγεθος των υλικών; Αν θεωρείτε ότι υπάρχει αλλαγή ιδιοτήτων που μπορούμε να αποδώσουμε αυτή την αλλαγή;

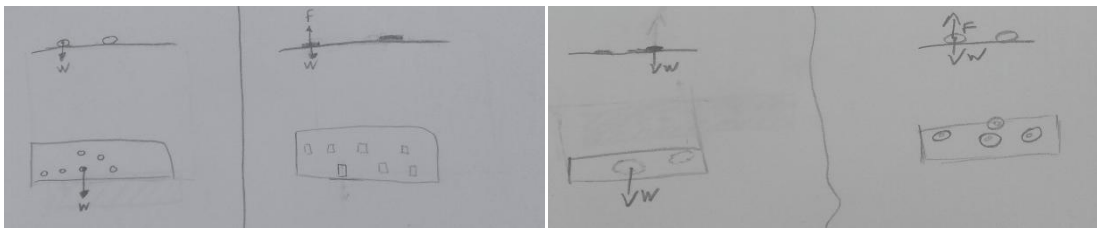
Ή πιστεύετε ότι αλλάζοντας το μέγεθος (πηγαίνοντας από το μεγάλο στο μικρό) άλλαξε κάτι;

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ

Σταγόνες πάνω στο 1^ο και στο 2^ο ύψασμα (υφή επιφάνειας) και δυνάμεις πάνω στις σταγόνες



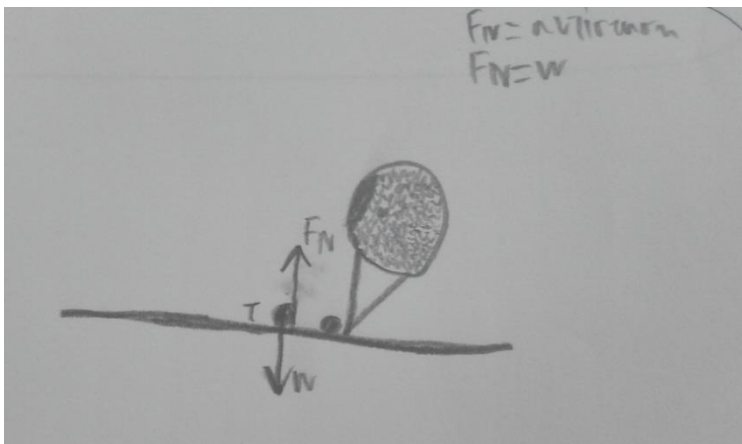
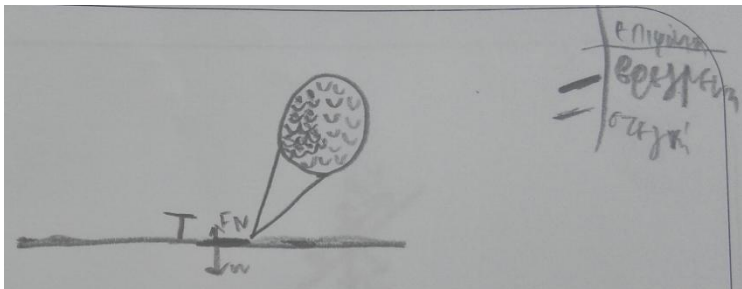
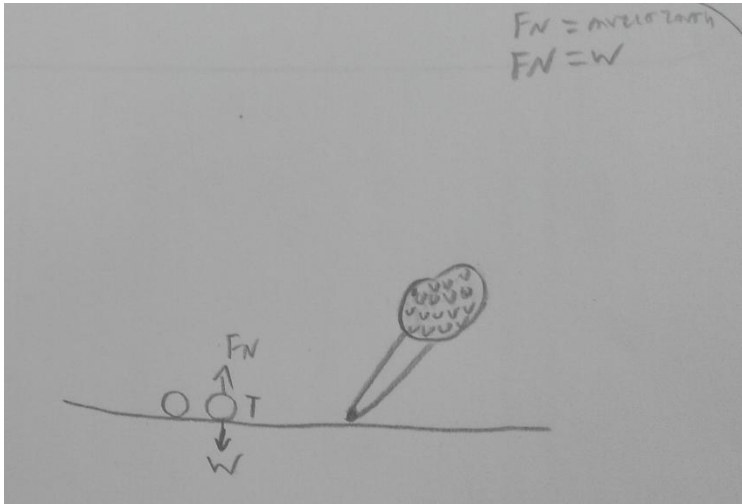
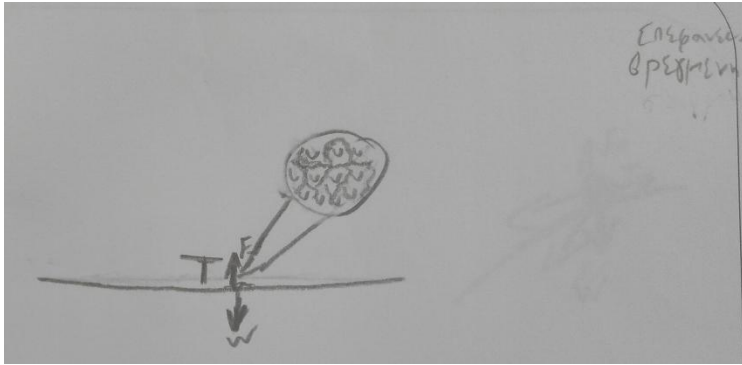
Ομ Γ. 1



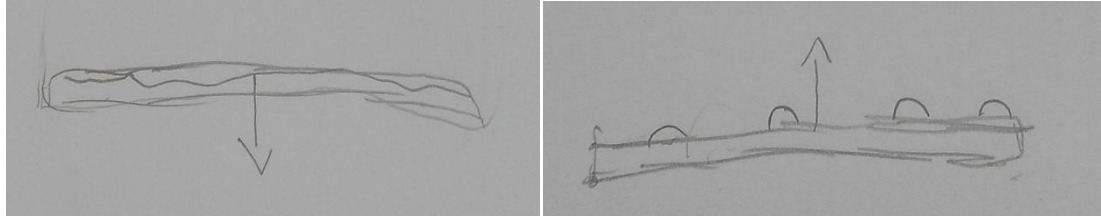
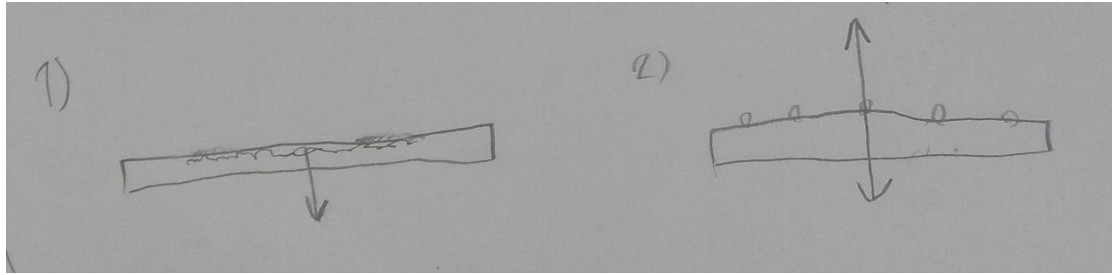
Ομ Γ. 2



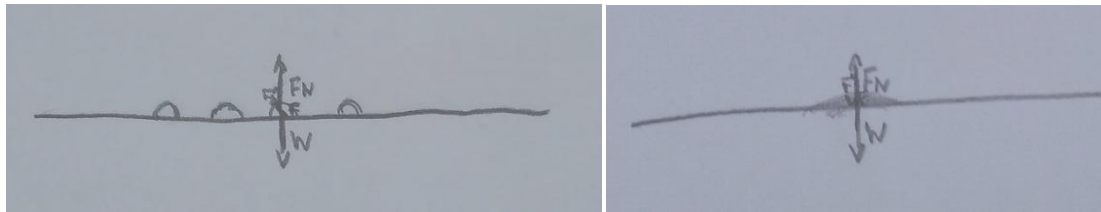
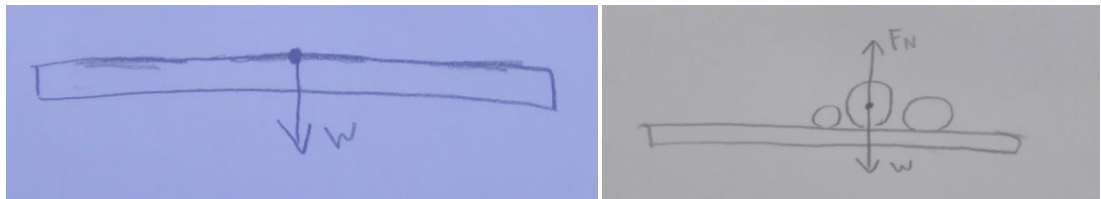
Ομ Β. 3



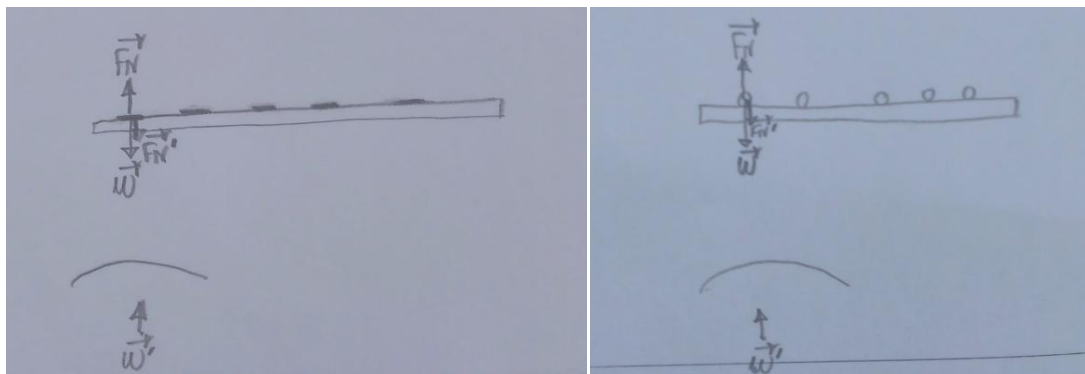
Ομ Β. 4



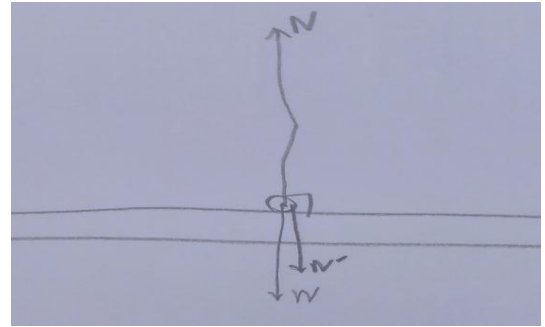
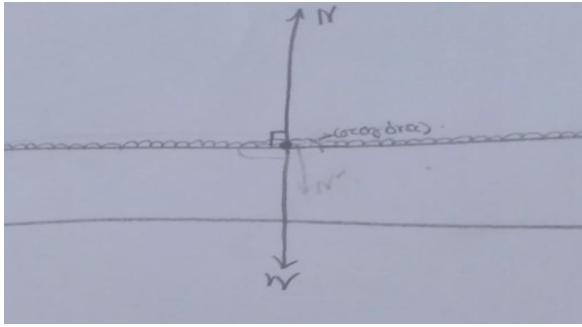
Ομ Β. 5



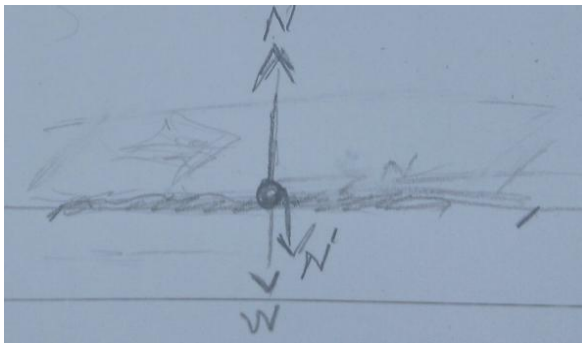
Ομ Β. 6



Ομ Β. 7



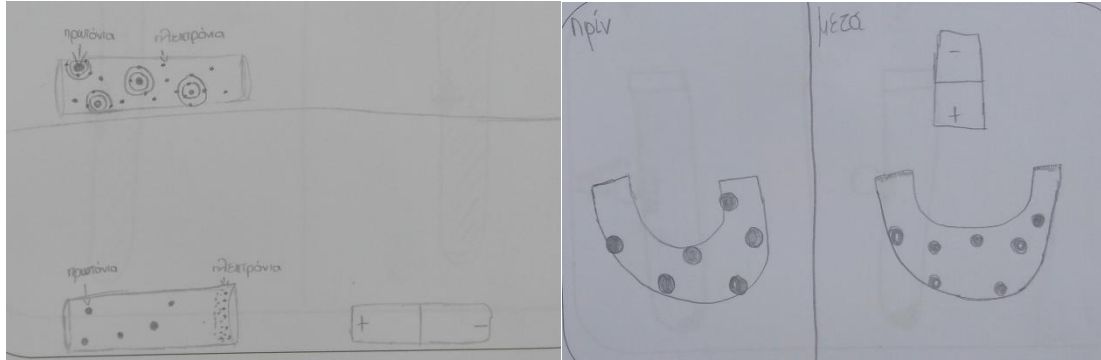
Ομ Β. 8



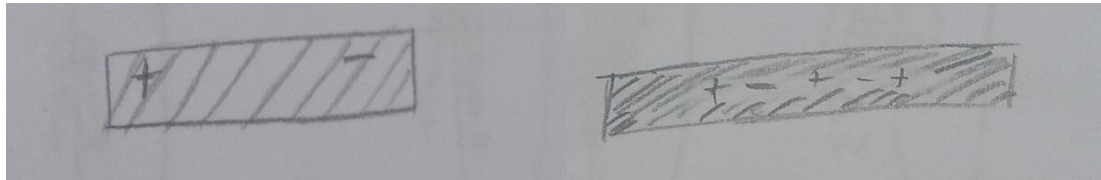
Εικόνα 16 : Δυνάμεις που ασκούνται πάνω σε μία σταγόνα νερού που βρίσκεται σε ύψωμα συγκεκριμένης επιφανειακής ταρχύτητας

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ IV

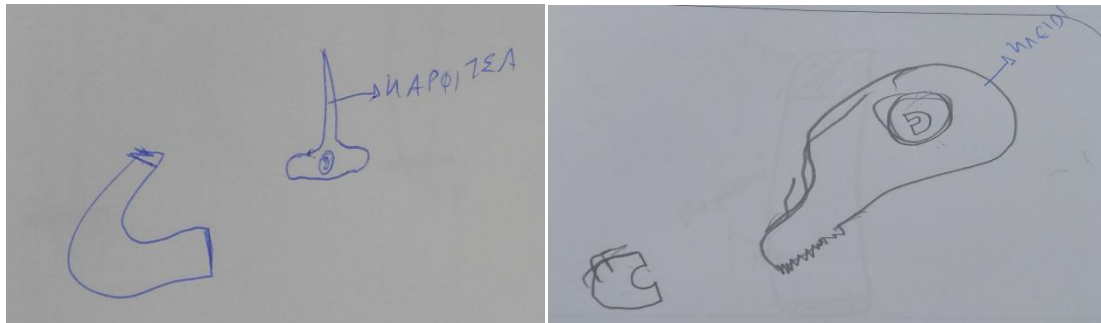
Εσωτερικό μαγνητικού υλικού



Ομ Γ.1.



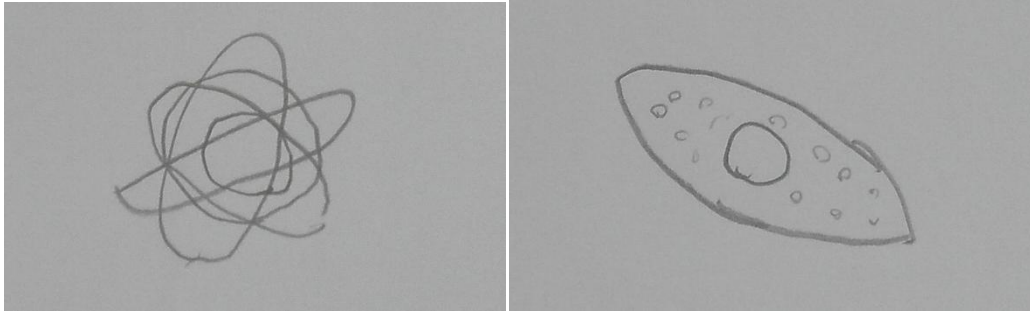
Ομ Γ.2.



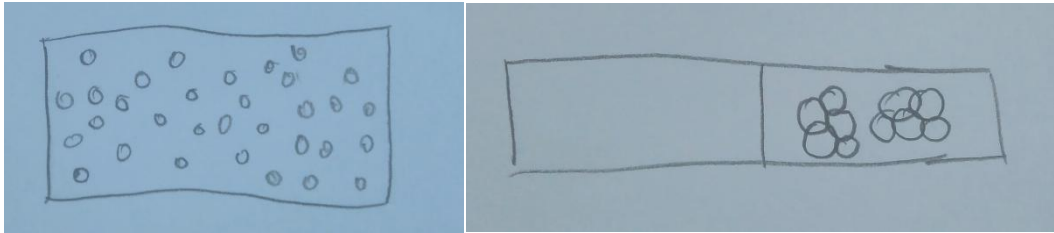
Ομ Β.3.



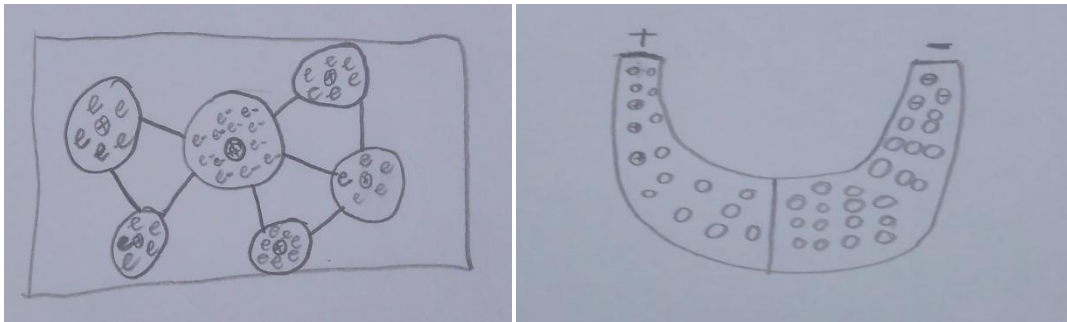
Ομ Β.4.



Ομ Β.5.

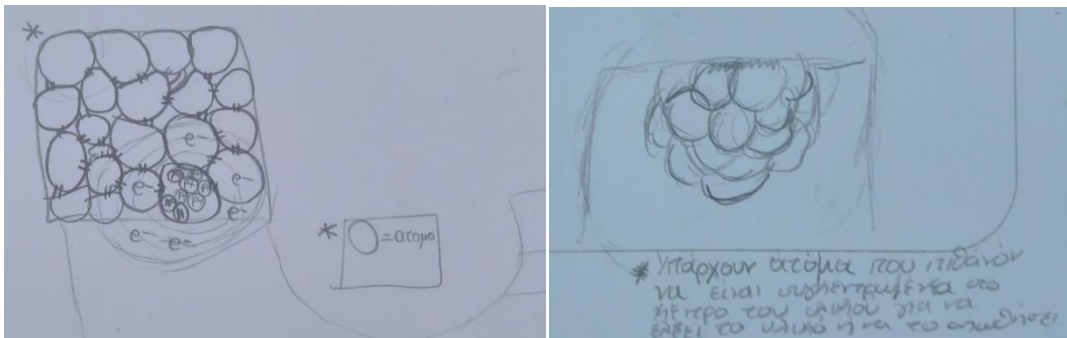


Ομ Β.6.



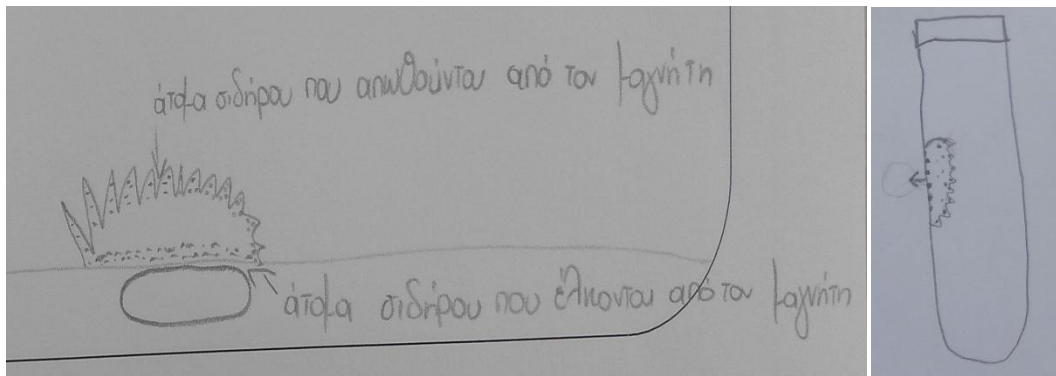
Ομ Β.7.

Ομ Β.8.

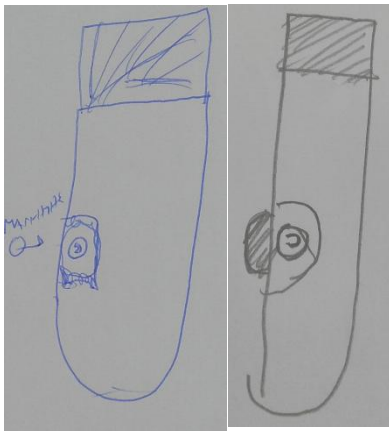


Εικόνα 17 : Εσωτερικό σιδηρομαγνητικού υλικού

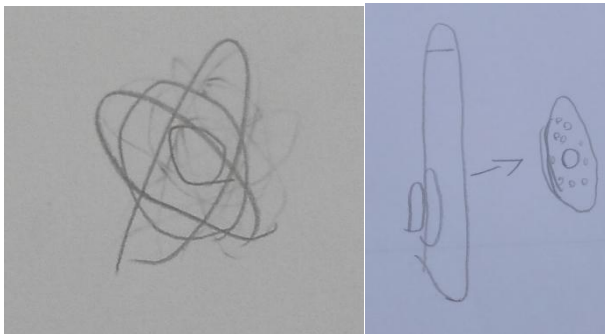
Εσωτερικό μαγνητικού ρευστού



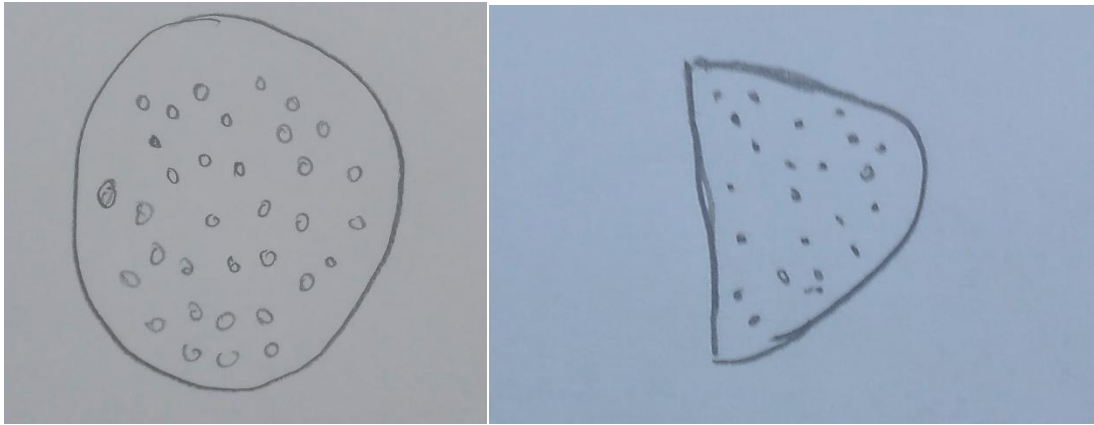
Ομ Γ.1.



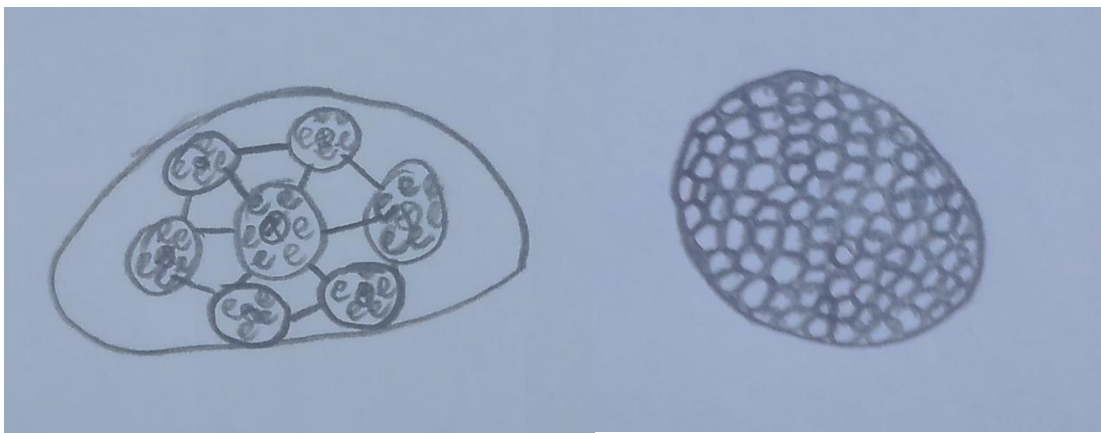
Ομ Β.3.



Ομ Β.5.

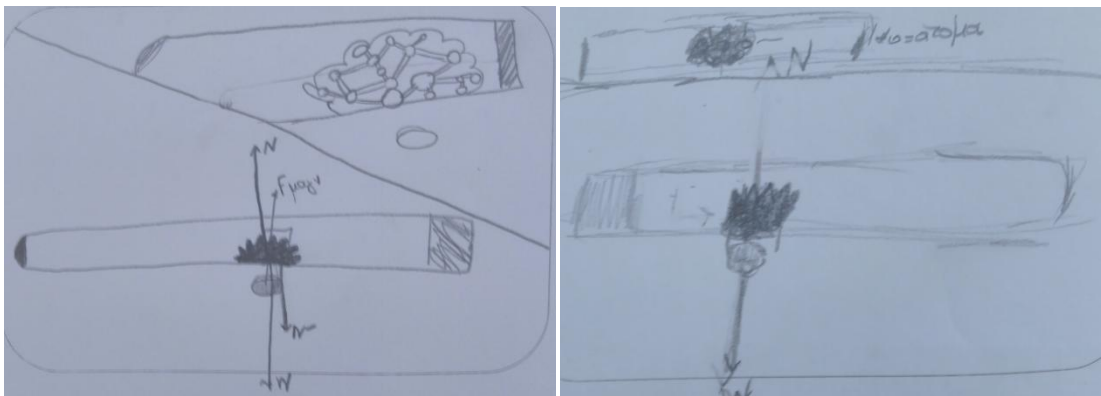


Ομ Β.6.



Ομ Β. 7.

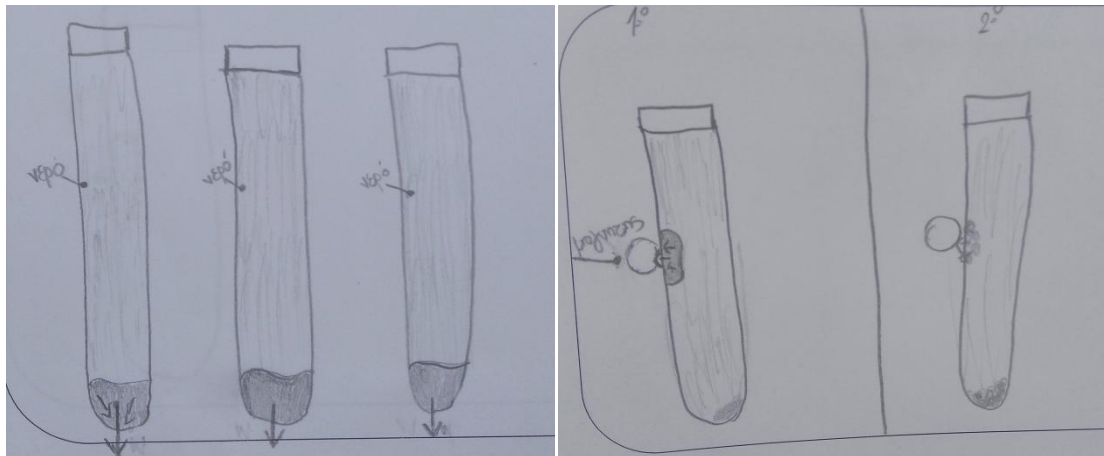
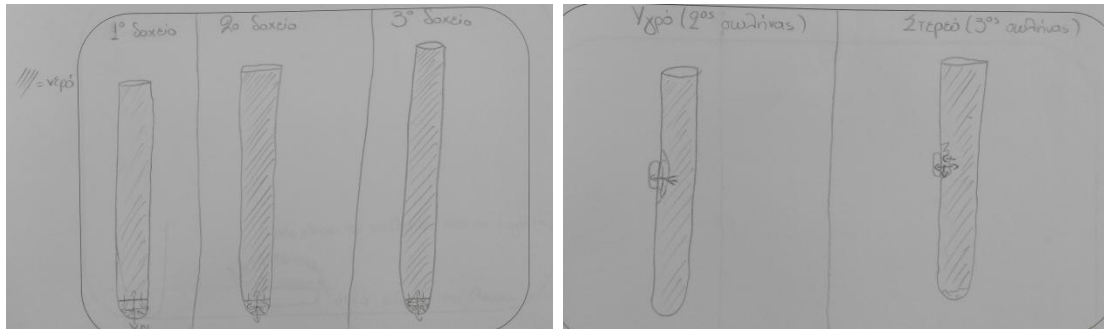
Ομ Β.8.



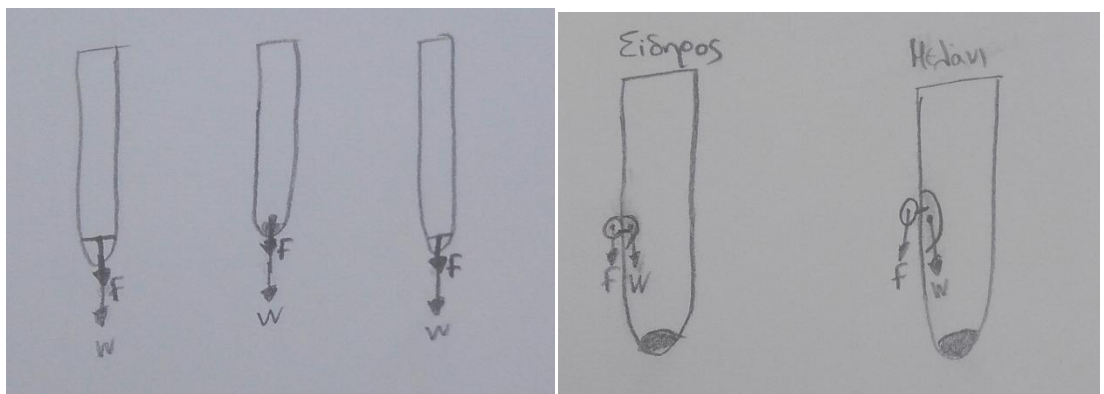
Εικόνα 18: Εσωτερικό μαγνητικού υγρού

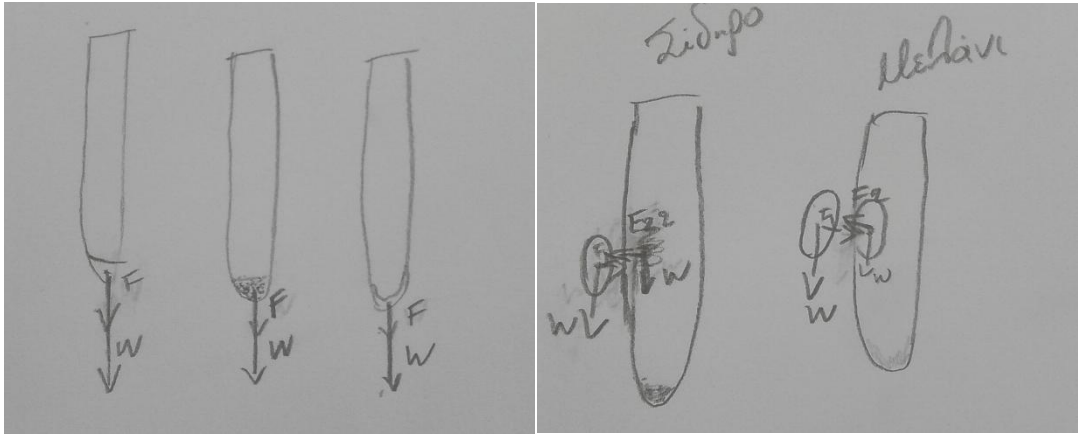
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ V

Δυνάμεις πάνω στα υλικά των δοκιμαστικών σωλήνων απουσία ή παρουσία μαγνήτη

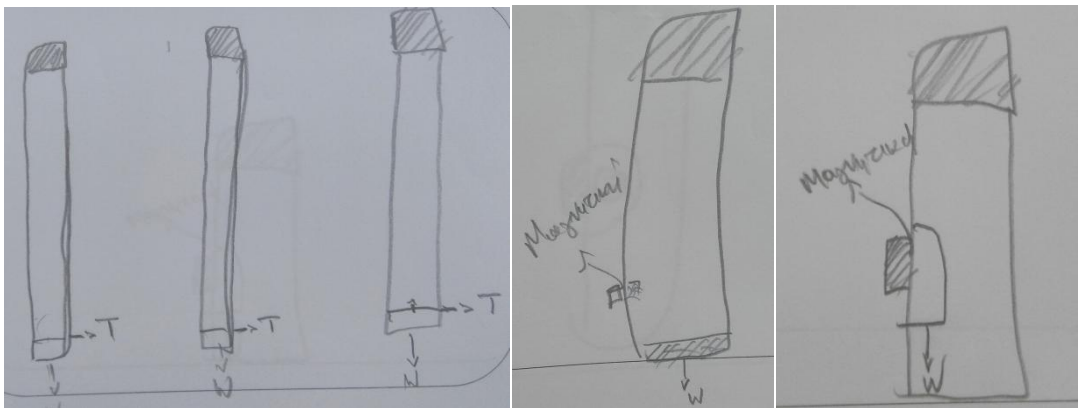
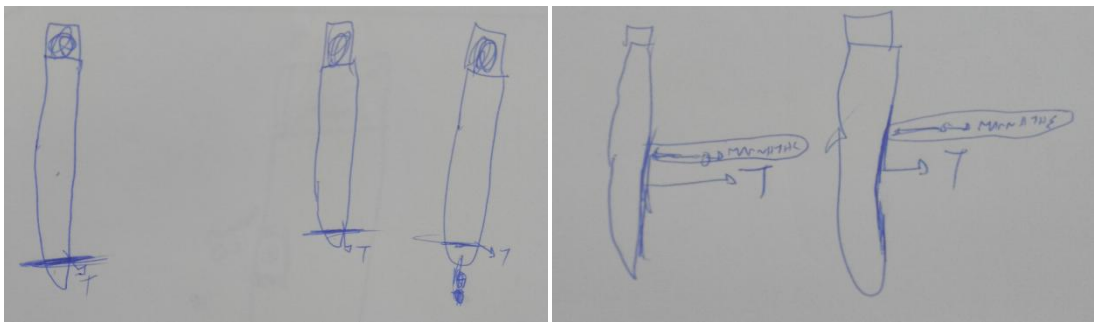


Ομ Γ.1.

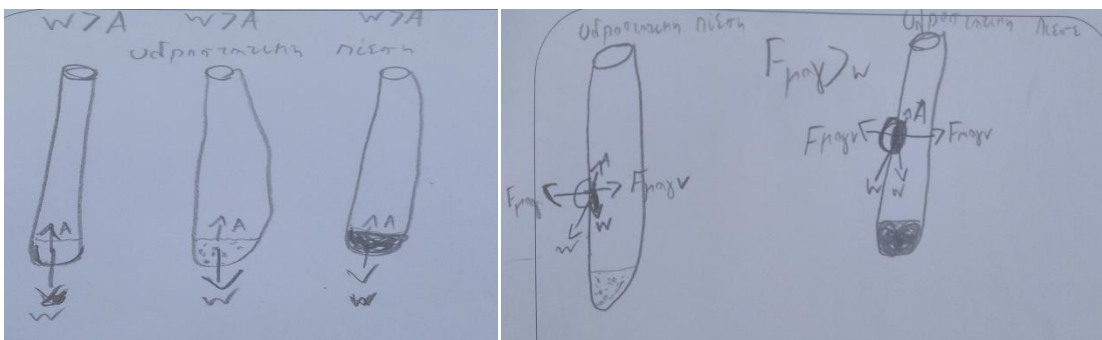


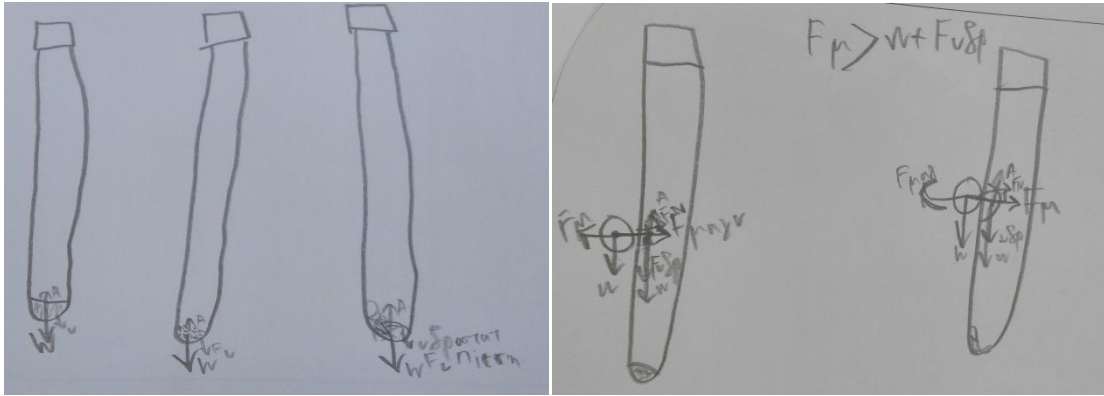


Ομ Γ.2.

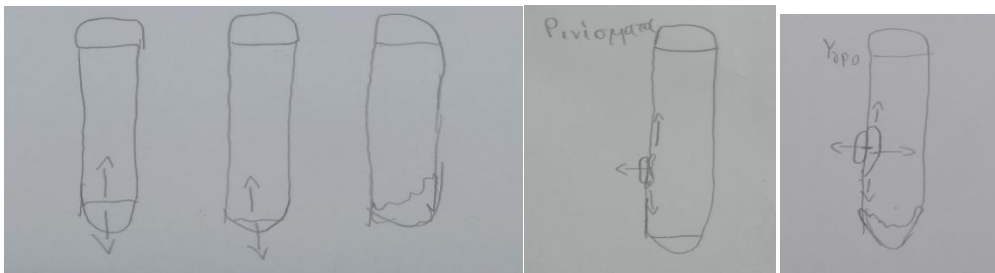
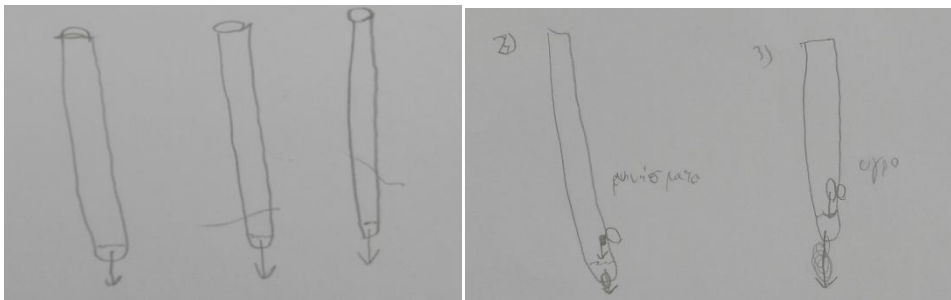


Ομ Β. 3.

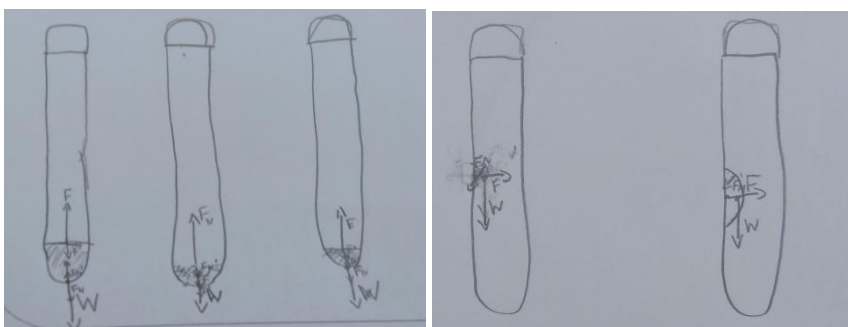
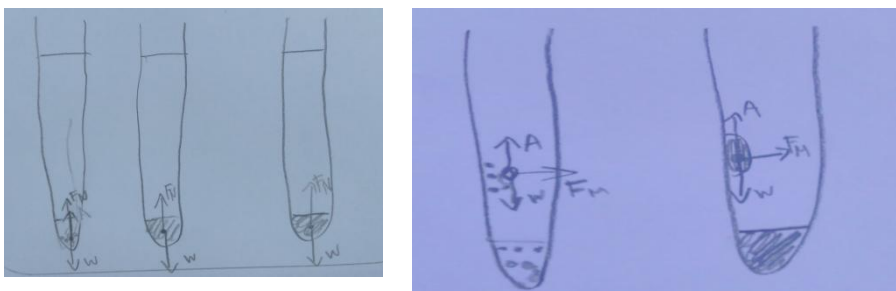




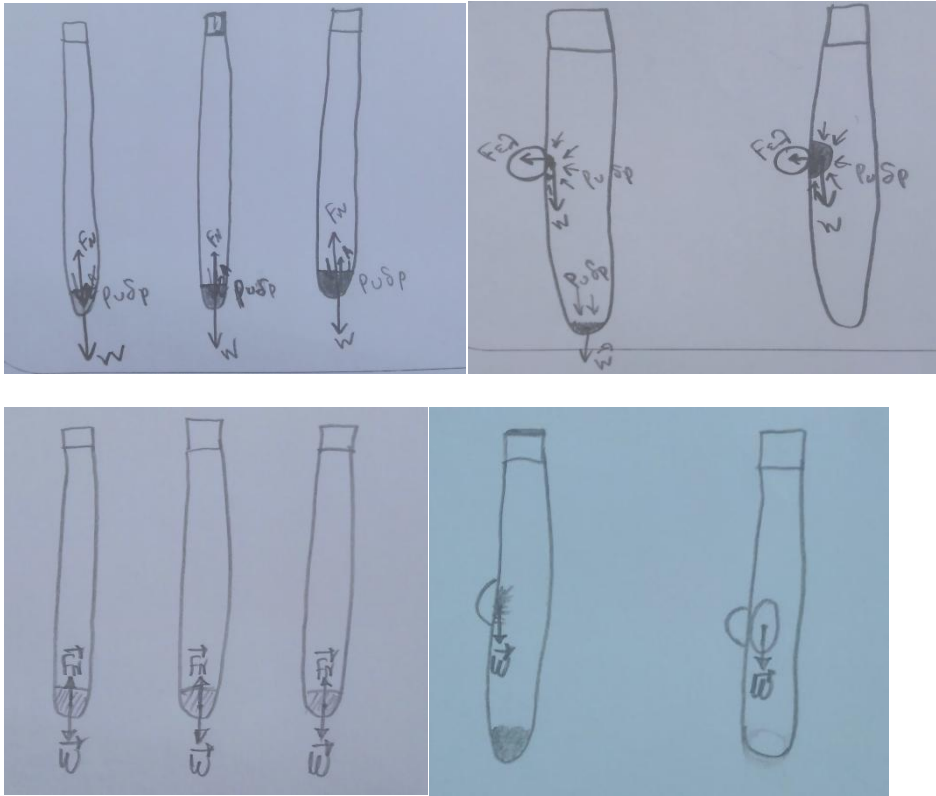
Ομ Β.4.



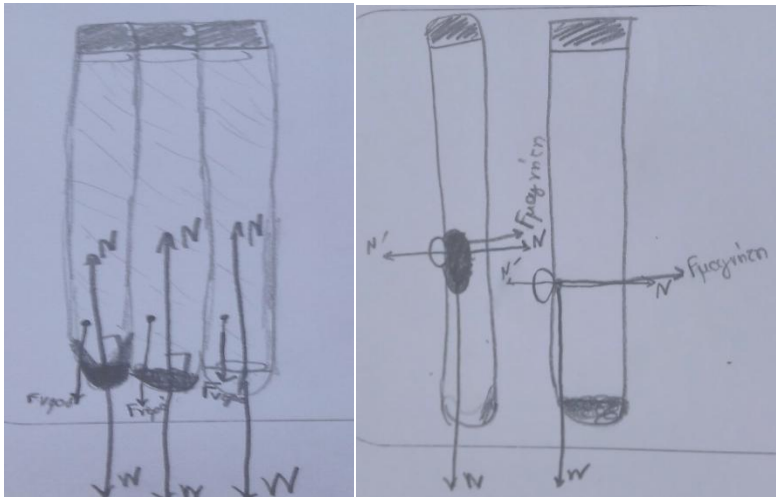
Ομ Β.5.



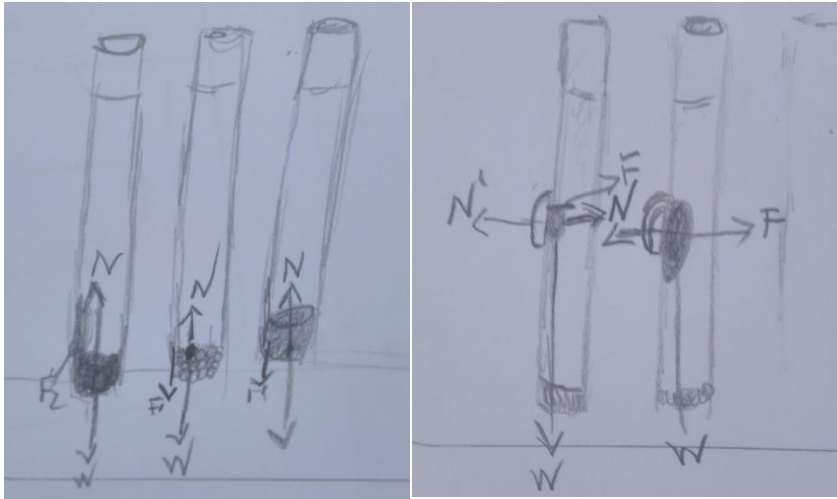
Ομ Β.6.



Ομ Β.7.



Ομ Β.8.



Εικόνα 19: Δυνάμεις πάνω στα υγρά των τριών δοκιμαστικών σωλήνων

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. R. Duit, H. Gropengießer, U. Kattmann, M. Komorek, and I. Parchmann, The model of educational reconstruction – A framework for improving teaching and learning science. In D. Jorde & J. Dillon (Eds.), *The world handbook of science education – Handbook of research in Europe*, Rotterdam, Taipei: Sense, 2012, pp. 13–37.
2. W. Klafki, Didaktische Analyse als Kern der Unterrichtsvorbereitung [Educational analysis as the kernel of planning instruction]. In H. Roth & A. Blumental, Eds., *Auswahl, Didaktische Analyse* (10th edition). Hannover, Germany: Schroedel, 1969.
3. R. Driver, A. Squires, P. Rushworth, V. Wood-Robinson, *Makings sense of secondary science: Research into childrens' ideas*. London: Routledge & Kegan Paul, 1994.
4. R. Driver, A. Squires, P. Rushworth, V. Wood-Robinson, *Οικο-Δομώντας τις Έννοιες των Φυσικών Επιστημών: Μια Παγκόσμια Σύνοψη των ιδεών των Μαθητών* (μτφ. Χατζή Μ., επιμέλεια: Π. Κόκκοτας) Εκδόσεις: Τυπωθήτω Αθήνα, 2000.
5. R. Duit, and D.F. Treagust, Conceptual change: A powerful framework for improving science teaching and learning. *International Journal of Science Education*, vol.25, 2003, pp.671-688.
6. R. Duit, Science education research internationally: Conceptions, research methods, domains of research. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, vol. 3, no.1, 2007, pp.3–15.
7. D. Stavrou, The interplay of determinism and chance in understanding nonlinear systems by students. *Proceedings of the Sixth ESERA-Summerschool held at the end of August 2002 in Radovljica-Slovenia (CD-ROM, pp. 222–227)*. Ljubljana: Faculty of Education, University of Ljubljana, 2003.

8. D. Stavrou, and R.Duit, Teaching and Learning the Interplay Between Chance and Determinism in Nonlinear Systems. *International Journal of Science Education*, 2013
<http://dx.doi.org/10.1080/09500693.2013.802056>
9. Y. Shirasaki, G. Supran, M. Bawendi, and V. Bulovic, Emergence of colloidal quantum-dot light-emitting technologies, *Nature Photonics*, vol.7, 2013, pp.13-23.
10. C.H. Xue, S.T. Jia, J. Zhang, and J.Z. Ma, Large-area fabrication of superhydrophobic surfaces for practical applications: an overview, *Science and Technology of Advanced Materials*, vol.11, no.3, 2010, p.033002, DOI: 10.1088/1468-6996/11/3/033002
11. C.H. Xue, S.T. Jia, J. Zhang, L.Q. Tian, H.Z. Chen and M. Wang, Preparation of superhydrophobic surfaces on cotton textiles, *Science and Technology of Advanced Materials*, vol.9 no.3, 2008, p.035008, DOI: 10.1088/1468-6996/9/3/035008
12. https://spinoff.nasa.gov/Spinoff2015/cg_2.html (ανασύρθηκε Ιανουάριος 2017)
13. G. Cao, *Nanostructures And Nanomaterials: Synthesis, Properties & Applications*, Imperial College Press, 2004.
14. D. Bonn, J. Eggers, J. Indekeu, J. Meunier and E. Rolley, Wetting and spreading, *Reviews of Modern Physics*, vol. 81, 2009, pp.739-805.
15. X.M. Li, D. Reinhoudt and M. Crego-Calama, What do we need for a superhydrophobic surface? A review on the recent progress in the preparation of superhydrophobic surfaces, *Chem. Soc. Rev.*, 2007, vol.36, pp.1350–1368
16. R. Serway, *Physics for Scientists and Engineers*, (απόδοση στα ελληνικά. Ρεσβάνη Λ.) Αθήνα, 1990.
17. P. Berger, N. Adelman, K. Beckman, D.J. Campell, A. Ellis and G. Lisensky, Preparation and properties of an Aqueous Ferrofluid, *Journal of Chemical Education*, vol. 76, No.7, 1999, pp.943-946.

18. K. Winkelmann, L. Bernas and M. Saleh, A Review of Nanotechnology Learning Resources for K-12, College and Informal Educators, *Journal of Nano Education*, Vol. 6, 2014, pp.1–11.
19. M.C. Roco, Converging science and technology at the nanoscale: opportunities for education and training. *Nature Biotechnology*, vol.21, 2003, pp.1247-1249.
20. R. Yawson, Skill Needs and Human Resource Development In the Emerging Field of Nanotechnology, *Journal of Vocational Education and Training*, vol. 62 no.3, 2010, pp. 285-296.
21. B. Hingant and V. Albe, Nanosciences and nanotechnologies learning and teaching in secondary education: a review of literature, *Studies in Science Education*, vol. 46, no. 2, 2010, pp.121-152.
22. M. Jones, R. Blonder, G. Gardner, V. Albe, M. Falvo and J. Chevrier, Nanotechnology and Nanoscale Science: Educational challenges, *International Journal of Science Education*, vol.35, no.9, 2013. DOI: 10.1080/09500693.2013.771828
23. Δ. Σταύρου, Αλληλεπίδραση Εκπαίδευσης Επιστημονικής Έρευνας και Κέντρων Φυσικών Επιστημών για την Ανάπτυξη Διδακτικής Ενότητας Νανοτεχνολογίας: το πρόγραμμα Irresistible (Συμπόσιο) στα *Πρακτικά 9^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου Διδακτικής Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση*, 2016, 43-66, Θεσσαλονίκη.
24. S. Stevens, L. Sutherland, J. Krajcik, *The Big Ideas of Nanoscale Science and Engineering. A Guidebook for secondary teachers*, National Science Teachers Association, 2009.
25. D. Stavrou, E. Michailidi, G. Sgouros and K. Dimitriadi, Teaching high-school students nanoscience and nanotechnology, *LUMAT* vol.3, no.4, 2015.
26. V. Talanquer, Chemistry Education: Ten Facets To Shape Us, *Journal of Chemical Education*, vol.90, no.7, 2013, pp. 832-838
27. R.P. Feynman, R.D. Leighton, and M. Sands, *The Feynman lectures on Physics : Vol. I*. Menlo Park, CA:Addison-Wesley,1963.

28. National Research Council, A Framework for K-12 Science Education : Practices, Crosscutting Concepts And Core Ideas, 2012.
29. C. Smith, M. Wiser, C. Anderson, and J. Krajcik, Implications of Research On Children's Learning for Standards and Assessment : A Proposed Learning Progression for Matter and the Atomic-Molecular Theory. *Measurement*, vol.14, 2006, pp.1-98.
30. American Association for the Advancement of Science, Benchmarks for Scientific Literacy. New York : Oxford University Press,1993.
31. S. Stevens, C. Delgado, and J. Krajcik, Developing a Hypothetical Multi-Dimensional Learning Progression for the Nature of Matter. *Journal of Research in Science Teaching*, vol.47, 2010, pp.687-715
32. R. Blonder and S. Sakhninia, Teaching two basic nanotechnology concepts in secondary school by using a variety of teaching methods. *Chemistry Education Research and Practice*, 2012,13, 500-516
33. V. Talanquer, On Cognitive Constrains and Learning Progressions : The case of "structure of matter". *International Journal of Science Education*, vol.31, 2009, pp.2123-2136
34. V. Talanquer, Commonsense Chemistry : A model for Understanding Students' Alternative Conceptions. *Journal of Chemical Education*, vol.83 no.5, 2006, pp.811- 816.
35. T. Tretter, M. Jones, T. Andre, A. Negishi and J. Minogue, Conceptual Boundaries and Distances: Students' and Experts' Concepts of the Scale of Scientific Phenomena, *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 43, no.3, 2006, pp.361-378.
36. A. Taylor and G. Jones, Proportional reasoning ability and concepts of scale: Surface area to volume relationship in science, *International Journal of Science Education*, vol.31, 2009, pp.1231–1247.
37. A. T. Borges and J. K. Glibert, Models of magnetism. *International Journal of Science Education*, vol.20, 1998, pp.361-378.
38. R. Hickey and R. A. Schibeci, The attraction of magnetism. *Physics Education*, vol. 34, no.6, 1999, pp.383-388.

39. L. Voutsina and K. Ravanis, History of Physics and Conceptual Constructions: The Case of Magnetism, *Themes in Science & Technology Education*, vol. 4, no.1, 2011, pp.1-20.
40. D. Sederberg and L. Bryan, Magnetism as a size dependent property: A cognitive sequence for learning about magnetism as an introduction to nanoscale science for middle and high school students. *Proceedings of the International Conference of the Learning Sciences*. Chicago, IL: International Society of the Learning Sciences, 2010.
41. D. Sederber and L. Bryan, Tracing a prospective learning progression for magnetism with implications at the nanoscale. *Proceedings of the Learning Progressions in Science (LeaPS) Conference*, 2009 (<http://www.education.uiowa.edu/projects/leaps/proceedings/>). Iowa City, IA: Learning Progressions in Science.
42. Γ. Πέικος, Λ. Μάνου, Α. Σπύρτου, Σχεδιασμός και Ανάπτυξη Εκπαιδευτικού Υλικού για τη Διδασκαλία της Νανοτεχνολογίας στο Δημοτικό Σχολείο: Πιλοτική Εφαρμογή, *Πρακτικά 1ου Πανελληνίου Συνεδρίου με Διεθνή Συμμετοχή «Ανάπτυξη Εκπαιδευτικού Υλικού στα Μαθηματικά και τις Φυσικές Επιστήμες»*, 2015, 327-346.
43. N. L. Leech and A. J. Onwuegbuzie, Qualitative Data Analysis: A Compendium of Techniques and a Framework for Selection for School Psychology Research and Beyond, *School Psychology Quarterly*, vol.23, no.4, 2008, pp. 587–604.
44. L.Cohen, L. Manion, K. Morrison, *Μεθοδολογία εκπαιδευτικής έρευνας*, Εκδόσεις Μεταίχμιο, 2007
45. H.D. Barke, A. Hazari and S. Yitbarek, *Misconceptions in Chemistry, Addressing Perceptions in Chemical Education*, Springer-Verlag Berlin, 2009. DOI 10.1007/978-3-540-70989-3.
46. R. Stavy, Children's conception of gas, *International Journal of Science Education*, vol.10, 1988, pp. 553-560.
47. N. Katu, V. N. Lunetta, and E. Van Den Berg, Teaching experiment methodology. Paper presented at the Third International Seminar on

Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics. Ithaca, NY, 1993.

48. M. Komorek and R. Duit, The teaching experiment as a powerful method to develop and evaluate teaching and learning sequences in the domain of non-linear systems, *International Journal of Science Education*, vol. 26, no. 5, 2004, pp. 619-633
49. L. Steffe and B. D'Ambrosio, Using teaching experiments to understand students' mathematics. In D. Treagust, R. Duit, & B. Fraser, Eds., *Improving teaching and learning in science and mathematics*, 1996, pp. 65–76, New York: Teacher College Press.
50. L.P. Steffe and P.W. Thompson, Teaching experiment methodology: Underlying principles and essential elements. In R. Lesh & A. E. Kelly (Eds.) *Research design in mathematics and science education*, 2000, pp. 267-307, Hillsdale, NJ : Erlbaum.
51. R. Duit, W.M. Roth, M. Komorek, and J. Wilbers, Conceptual change cum discourse analysis to understand cognition in a unit on chaotic systems: towards an integrative perspective on learning in science, *International Journal of Science Education*, vol.20, 1998, pp.1059–1073.
52. B.G. Glaser, *Emergence V Forcing Basics of Grounded Theory Analysis*, Mill Valley,CA: Sociology Press,1992.
53. B.G. Glaser and A.L. Strauss, *The Discovery of Grounded Research: Strategies for Qualitative Research*. New York: Aldine De Gruyter, 1967.
54. H. Boeije, A Purposeful Approach to the Constant Comparative Method in the Analysis of Qualitative Interviews, *Quality & Quantity*, vol.36, 2002, pp. 391-409.
55. S.M. Fram, The Constant Comparative Analysis Method Outside of Grounded Theory *The Qualitative Report* vol. 18, Article 1, 2013, pp.1-25, Retrieved from <http://www.nova.edu/ssss/QR/QR18/fram1.pdf>
56. K. Salta, M. Gekos, I. Petsimeri, and D. Koulougliotis, Discovering factors that influence the decision to pursue a chemistry-related career: A comparative analysis of the experiences of non scientist adults and

- chemistry teachers in Greece. *Chem. Educ. Res Pract.*, Vol.13, 2012, pp. 437-446.
57. E. Bradley, L. Curry, and K. Devers, Qualitative Data Analysis for Health Services Research: Developing Taxonomy, Themes, and Theory, *Health Serv. Res.* vol. 42, no.4, 2007, pp.1758–1772., DOI: 10.1111/j.1475-6773.2006.00684.x
 58. B.G. Glaser, *Theoretical sensitivity*. Mill Valley, CA: Sociology Press, 1978.
 59. A. Strauss, *Qualitative analysis for social scientists*. New York: Cambridge University Press, 1987.
 60. M.B. Miles and M. Huberman, *Qualitative Data Analysis: A Sourcebook of New Methods. 2d Edition*. Beverly Hills, CA: Sage Publications, 1994.
 61. Φ. Ίσαρη, Μ. Πουρκός, *Ποιοτική Μεθοδολογία Έρευνας: Εφαρμογές στην Ψυχολογία και στην Εκπαίδευση*, 2015. ΣΕΑΒ, ISBN: 978-960-603-455-8
 62. Κ. Χαλκιά, *Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες- Θεωρητικά ζητήματα, προβληματισμοί, προτάσεις, Β' Τόμος*, Εκδόσεις Πατάκη, 2010.
 63. R. Stavy, D. Stachel, Children's ideas about 'solid' and 'liquid', *European Journal of Science Education*, vol. 7, 1985, pp.407-421.
 64. http://minos.materials.uoc.gr/el/undergrad/courses/ETY362/notes/2013/magnetic/chapter_4.pdf (ανασύρθηκε Ιανουάριος 2017)
 65. http://minos.materials.uoc.gr/el/undergrad/courses/ETY362/notes/2013/magnetic/chapter_5.pdf (ανασύρθηκε Ιανουάριος 2017)