



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΗ ΣΧΟΛΗ ΦΛΩΡΙΝΑΣ
ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟ ΤΜΗΜΑ ΔΗΜΟΤΙΚΗΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ

**«ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ, ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΔΙΔΑΚΤΙΚΗΣ
ΜΑΘΗΣΙΑΚΗΣ ΑΚΟΛΟΥΘΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΥ
ΤΗΣ ΝΑΝΟΕΠΙΣΤΗΜΗΣ – ΝΑΝΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΣΤΟ ΔΗΜΟΤΙΚΟ ΣΧΟΛΕΙΟ»**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΤΟΥ ΠΕΪΚΟΥ ΓΕΩΡΓΙΟΥ

ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΟΚΤΗΣΗ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟΥ ΤΙΤΛΟΥ
στις «Επιστήμες της Αγωγής»
με ειδίκευση «Θετικές Επιστήμες και Νέες Τεχνολογίες»

Φλώρινα, Νοέμβριος 2016

Φύλλο εξέτασης

1. Επόπτης: Σπύρτου Άννα, Αναπλ. καθηγήτρια ΠΤΔΕ

Βαθμός: _____

Υπογραφή:

Ημερομηνία:

2. Δεύτερος Βαθμολογητής: Παπαδοπούλου Πηνελόπη, Επικ. καθηγήτρια ΠΤΝ

Βαθμός: _____

Υπογραφή:

Ημερομηνία:

3. Τρίτος Βαθμολογητής: Πνευματικός Δημήτριος, Καθηγητής, ΠΤΔΕ

Βαθμός: _____

Υπογραφή:

Ημερομηνία:

Γενικός βαθμός: _____

Ο συγγραφέας **Πέικος Γεώργιος** βεβαιώνει ότι το περιεχόμενο του παρόντος έργου είναι αποτέλεσμα προσωπικής εργασίας και ότι έχει γίνει η κατάλληλη αναφορά στις εργασίες τρίτων, όπου κάτι τέτοιο ήταν απαραίτητο, σύμφωνα με τους κανόνες της ακαδημαϊκής δεοντολογίας.

Υπογραφή:

Ημερομηνία:

Στους γονείς μου...

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την επιβλέπουσα της διπλωματικής μου εργασίας, την κ. Άννα Σπύρτου, η οποία είναι Αναπληρώτρια Καθηγήτρια στο Π.Δ.Μ. για την ευκαιρία που μου έδωσε να ερευνήσω ένα από τα πιο σύγχρονα θέματα της Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών. Επιπλέον, η καθοδήγησή και η επιστημονική της υποστήριξη ήταν συνεχής, καίρια και καθοριστική για την εκπόνηση της εργασίας.

Ευχαριστώ και τα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής, την Επίκουρη Καθηγήτρια του Π.Δ.Μ. κ. Πηνελόπη Παπαδοπούλου και τον Καθηγητή του Π.Δ.Μ. Δημήτριο Πνευματικό για την υποστήριξη τους καθώς και για τις πολύτιμες συμβουλές και διορθώσεις οι οποίες συνέβαλαν στην ολοκλήρωση της εργασίας.

Είμαι ευγνώμων επιπλέον στον υπ. Διδάκτορα του Π.Δ.Μ. Λεωνίδα Μάνου, ο οποίος μου παρείχε ουσιαστική βοήθεια σχετικά με το επιστημονικό περιεχόμενο της Νανοεπιστήμης-Νανοτεχνολογίας (N-ET) καθώς και με την ανάλυση των δεδομένων της έρευνας.

Ευχαριστώ ακόμη, τον Πάρη Ιωάννου, απόφοιτο του Τμήματος Εικαστικών και Εφαρμοσμένων Τεχνών του Π.Δ.Μ. για τον σχεδιασμό ψηφιακών εικόνων σχετικών με τον βιολογικό μικρόκοσμο και νανόκοσμο τις οποίες ενσωματώσαμε στο λογισμικό «Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο».

Πίνακας περιεχομένων

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	7
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	15
ABSTRACT.....	17
1 ^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ	19
1.1. Ιστορική αναδρομή για την ανάπτυξη της Νανοεπιστήμης - Νανοτεχνολογίας (N-ET).....	19
1.1.1. Νανοκρύσταλλοι στη διακόσμηση της Ελληνικής και Ρωμαϊκής κεραμικής	20
1.1.2. Το κύπελο του Λυκούργου	20
1.1.3. Η τεχνική διακόσμησης “lustre” και τα βιτρό	21
1.1.4. Το σπαθί της Δαμασκού	22
1.1.5. Προσωπικότητες που συνέβαλαν στην εξέλιξη της N-ET και η ανάπτυξη του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου	23
1.1.6. Συμπεράσματα από την ιστορία της N-ET	24
1.2. Εισαγωγή στη N-ET.....	24
1.2.1. Ορισμοί για τη N-ET	24
1.2.2. Οι μοναδικές ιδιότητες της νανοκλίμακας.....	27
1.2.3. Εφαρμογές της N-ET	34
1.3. Το περιεχόμενο της N-ET στις τρεις βαθμίδες εκπαίδευσης.....	37
1.3.1. Η N-ET στη Τριτοβάθμια εκπαίδευση.....	38
1.3.2. Η N-ET στη Δευτεροβάθμια εκπαίδευση	41
1.3.3. Η N-ET στην Πρωτοβάθμια τυπική εκπαίδευση.....	51
1.3.4. Η N-ET στην Πρωτοβάθμια μη τυπική και άτυπη εκπαίδευση.....	54
1.3.5. Συζήτηση για το περιεχόμενο της N-ET στις τρεις βαθμίδες της εκπαίδευσης	58

1.4. Η εκπαιδευτική αξία της N-ET	60
1.4.1. Επιστημονικός και Τεχνολογικός γραμματισμός: Νανογραμματισμός.....	61
1.4.2. Ενδιαφέρον των μαθητών για τη N-ET	63
1.4.3. Επιστημονική ή επαγγελματική καριέρα σε τομείς της N-ET.....	65
1.5. Η διδακτική αξία της N-ET	66
1.6. Έρευνα για τη διδασκαλία & μάθηση.....	69
1.6.1. Ιδέες μαθητών δημοτικού σχολείου για τη N-ET	69
1.6.2. Η διερεύνηση στις ΦΕ	73
1.6.3. Τα μοντέλα και η μοντελοποίηση στις ΦΕ και στην περίπτωση της N-ET	76
1.6.4. Υποστηρικτική μάθηση για το «Μέγεθος και Κλίμακα»	82
1.7. Διδακτικές Μαθησιακές Ακολουθίες (ΔΜΑ).....	86
1.7.1. Θεωρητικά πλαίσια για τον σχεδιασμό των ΔΜΑ.....	88
1.7.2. Το μοντέλο της Εκπαιδευτικής Επανοικοδόμησης.....	88
1.7.3. Το μοντέλο του Pickering ως θεωρητικό πλαίσιο για την ανάδειξη, περιγραφή και ερμηνεία των βελτιωτικών αλλαγών μιας ΔΜΑ	90
1.7.4. Αξιολόγηση των ΔΜΑ.....	92
2 ^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΗΣ ΔΜΑ ΓΙΑ ΤΗ N-ET.....	94
2.1. Οι σχεδιαστικές αρχές της ΔΜΑ για τη N-ET.....	95
2.1.1. Ανάλυση του περιεχομένου της N-ET στα επίπεδα της επιστήμης και της υποχρεωτικής εκπαίδευσης.....	95
2.1.2. Έρευνα για τη διδασκαλία & μάθηση στη N-ET.....	99
2.2. Διδακτικός Μετασχηματισμός των πέντε Μεγάλων Ιδεών για το δημοτικό σχολείο.....	101
2.3. Παρουσίαση των ενοτήτων της ΔΜΑ για τη N-ET.....	110
2.3.1. Ενότητα 1 ^η : Μακρόκοσμος: Διερευνώντας τον κόσμο που βλέπω με γυμνό μάτι.....	111

2.3.2. Ενότητα 2 ^η : Μικρόκοσμος: Διερευνώντας τον αόρατο κόσμο των κυττάρων	115
2.3.3. Ενότητα 3 ^η : Διερευνώντας τον αόρατο κόσμο των ιών και του DNA	118
2.3.4. Ενότητα 4 ^η : Το νανοφαινόμενο της ίωσης	122
2.3.5. Ενότητα 5 ^η : Το φαινόμενο του λάχανου (υπερ-υδροφοβικότητα)	127
2.3.6. Ενότητα 6 ^η : Καθαρισμός του νερού μέσω νανοτεχνολογίας.....	129
2.3.7. Συζήτηση για τις ενότητες της ΔΜΑ υπό το πρίσμα της ποιοτικής κατηγοριοποιητικής και ποιοτικής σχεσιακής αντίληψης	132
3 ^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ	135
3.1. Σκοπός της έρευνας, ειδικότεροι στόχοι και ερευνητικά ερωτήματα.....	135
3.2. Μέθοδοι συλλογής δεδομένων	137
3.2.1. Επιλογή και ανάπτυξη των ερευνητικών εργαλείων	137
3.2.2. Το γραπτό ερωτηματολόγιο	138
3.2.3. Η ημιδομημένη συνέντευξη- 2 Μελέτες Περίπτωσης.....	146
3.3. Το δείγμα της έρευνας	147
3.4. Μέθοδος ανάλυσης δεδομένων.....	148
3.5. Επίπεδα κατανόησης για κάθε Κατεύθυνση Ανάλυσης (Κ.Α.).....	155
Κ.Α. Π1: Νοηματοδότηση της N-ET.....	155
Κ.Α. Π2: Ιδέες των μαθητών για το μικρότερο αντικείμενο	158
Κ.Α. Π3: Ποια όργανα παρατήρησης γνωρίζουν οι μαθητές;	159
Κ.Α. Π4: Κατά πόσο τα όργανα παρατήρησης τα οποία καταγράφουν οι μαθητές είναι τα σωστά για τα μακροσκοπικά, μικροσκοπικά και νανοσκοπικά αντικείμενα;	159
Κ.Α. Π5: Ταξινόμηση αντικειμένων με κριτήριο το όργανο παρατήρησης.....	161
Κ.Α. Π6: Σειροθέτηση αντικειμένων.....	162
Κ.Α. Π7: Το φαινόμενο του λωτού.....	162
Κ.Α. Π8. Χρήση του Νανόφιλτρου	164

K.A. Π9: Περιγραφή του μηχανισμού φιλτραρίσματος υπό το πρίσμα της σειροθέτησης	165
K.A. Π10: Περιγραφή του φαινομένου της ίωσης υπό το πρίσμα της ταξινόμησης	165
K.A. M1: Η Φύση του μοντέλου	167
K.A. M2: Χρησιμότητα του μοντέλου ενός ματιού.....	168
K.A. M3: Ονομασία του μοντέλου ενός ματιού	169
K.A. M4: Χρησιμότητα ενός μοντέλου για το φαινόμενο της ίωσης.....	170
K.A. M5: Χρησιμότητα πολλαπλών μοντέλων για το φαινόμενο της ίωσης....	170
3.6. Εγκυρότητα- αξιοπιστία της έρευνας	171
3.7. Μέθοδος για την ανάδειξη των βελτιωτικών αλλαγών από την Πιλοτική Εφαρμογή της ΔΜΑ στην Κανονική Εφαρμογή.	174
3.7.1. Το περιεχόμενο της N-ET στη ΔΜΑ της πιλοτικής εφαρμογής.....	174
3.7.2. Βελτιωτικές αλλαγές από την Πιλοτική στην Κανονική Εφαρμογή της ΔΜΑ	176
4 ^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ.....	181
4.1. Αποτελέσματα από τα γραπτά ερωτηματολόγια	181
4.1.1. Αποτελέσματα από τα γραπτά ερωτηματολόγια όσον αφορά την εξέλιξη των αντιλήψεων των μαθητών για το περιεχόμενο της N-ET και την επιστημολογική γνώση για τα μοντέλα	181
ΕΕ. 1: Πώς εξελίσσεται η νοηματοδότηση της νανοτεχνολογίας από τους μαθητές;	181
ΕΕ 2: Πώς εξελίσσονται οι ιδέες των μαθητών για το μικρότερο αντικείμενο που υπάρχει;.....	183
ΕΕ 3: Πως εξελίσσεται η γνώση των μαθητών για τα όργανα παρατήρησης του μακρόκοσμου, του μικρόκοσμου και του νανόκοσμου;	184
ΕΕ 4: Πώς εξελίσσεται η ικανότητα των μαθητών να ταξινομήσουν αντικείμενα τριών διαφορετικών κατηγοριών με κριτήριο το όργανο παρατήρησης τους; ..	186

ΕΕ 5: Πώς εξελίσσεται η ικανότητα των μαθητών να σειροθετούν αντικείμενα;	187
ΕΕ 6: Πώς εξελίσσεται η περιγραφή του φαινομένου του λωτού από τους μαθητές;	188
ΕΕ 7: Πώς εξελίσσεται η περιγραφή του μηχανισμού φιλτραρίσματος, με φίλτρα νανοτεχνολογίας από τους μαθητές;.....	189
ΕΕ 8: Σε ποιο βαθμό είναι ικανοί οι μαθητές να περιγράψουν την επίδραση του νανόκοσμου στον μικρόκοσμο και τον μακρόκοσμο;.....	190
ΕΕ 9 Πώς εξελίσσονται οι γνώσεις των μαθητών για την φύση και τον ρόλο των μοντέλων;.....	191
ΕΕ10. Κατά πόσο επηρεάζει η εξέλιξη της επιστημολογικής γνώσης των μαθητών για τα μοντέλα τις αντιλήψεις των μαθητών για τη N-ET;	194
4.2 Αποτελέσματα από δύο Μελέτες περίπτωσης.....	197
4.2.1 Μελέτη περίπτωσης M4.....	197
4.2.2 Μελέτη περίπτωσης M21.....	213
5 ^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ- ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	229
5.1. Νοηματοδότηση της N-ET	229
5.2. Μέγεθος - αντικείμενα αναφοράς.....	230
5.3. Εργαλεία και Όργανα.....	230
5.4. Μέγεθος: ταξινόμηση & σειροθέτηση.....	231
5.5. Περιγραφή του μηχανισμού φιλτραρίσματος υπό το πρίσμα της σειροθέτησης	233
5.6. Επίδραση του νανόκοσμου στον μικρόκοσμο και τον μακρόκοσμο υπό το πρίσμα της ταξινόμησης	233
5.7. Το φαινόμενο του λωτού (υπερ-υδροφοβικότητα).....	234
5.8. Φύση και ρόλος των μοντέλων	234
5.9. Η επιστημολογική γνώση για τα μοντέλα και οι αντιλήψεις των μαθητών για τη N-ET	235

5.10. Περιορισμοί της έρευνας και προτάσεις για το μέλλον	236
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	238
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι	255
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ	273

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η Νανοεπιστήμη-Νανοτεχνολογία (N-ET) αποτελεί ένα διεπιστημονικό πεδίο, το οποίο επικεντρώνεται στο να μελετήσει και να εκμεταλλευτεί τις νέες ιδιότητες των υλικών, όταν αυτά αποκτήσουν μέγεθος στις διαστάσεις της νανοκλίμακας, δηλαδή περίπου 1-100 nm. Μια από τις προκλήσεις του 21^{ου} αιώνα στον χώρο της εκπαίδευσης αποτελεί η ενσωμάτωση της N-ET σε όλες τις βαθμίδες. Η παρούσα εργασία αφορά τον σχεδιασμό, την ανάπτυξη και την αξιολόγηση μιας Διδακτικής Μαθησιακής Ακολουθίας (ΔΜΑ) για το περιεχόμενο της N-ET στο δημοτικό σχολείο.

Στη βιβλιογραφία εντοπίζονται εννέα βασικές έννοιες για το περιεχόμενο της N-ET, οι οποίες ονομάζονται *Μεγάλες Ιδέες* (ΜΙς). Επιπλέον, ο περιορισμένος αριθμός των ερευνών επικεντρώνεται στην εκπαιδευτική και διδακτική αξία της εκμάθησης αυτού του περιεχομένου, όπως είναι (α) ο Νανογραμματισμός των μαθητών (β) το ενδιαφέρον τους για τις ΦΕ και τη N-ET και (γ) οι νέες επιστημονικές και επαγγελματικές καριέρες σε τομείς της N-ET.

Στη ΔΜΑ συμπεριλάβαμε πέντε ΜΙς (α) «μέγεθος» (β) «εργαλεία και όργανα» (γ) «ιδιότητες εξαρτώμενες από το μέγεθος» (δ) «μοντέλα» (ε) «εφαρμογές της N-ET». Οι ΜΙς αναπτύσσονται σε έξι δίωρα διδασκαλίας, τα οποία έχουν διερευνητικό χαρακτήρα, δίνεται έμφαση στη ρητή διδασκαλία για τη φύση και τον ρόλο των μοντέλων και συνδυάζονται χειραπτικές δραστηριότητες και ΤΠΕ.

Στόχος της έρευνας είναι να μελετήσουμε (α) την εξέλιξη των αντιλήψεων των μαθητών για τη N-ET (β) την εξέλιξη της επιστημολογικής γνώσης για τη φύση και τον ρόλο των μοντέλων και (γ) το κατά πόσο η επιστημολογική γνώση για τα μοντέλα μπορεί να συμβάλλει στην κατανόηση του περιεχομένου της N-ET. Δείγμα της έρευνας είναι 22 μαθητές ΣΤ΄ τάξης του Δημοτικού Σχολείου της περιοχής της Φλώρινας. Ερευνητικά εργαλεία αποτελούν (α) το γραπτό ερωτηματολόγιο αρχικής και τελικής μέτρησης για τις αντιλήψεις σχετικά με τις παραπάνω ΜΙς του συνόλου του δείγματος και (β) η ημιδομημένη συνέντευξη σε συνδυασμό με το γραπτό ερωτηματολόγιο για δύο μελέτες περίπτωσης.

Από τα αποτελέσματα για το περιεχόμενο της N-ET φαίνεται πως μετά την εφαρμογή της ΔΜΑ μεγάλο μέρος των μαθητών (α) νοηματοδότησαν τη N-ET με όρους του νανογραμματισμού, οι οποίοι συνδέονται με σαφήνεια με μια τουλάχιστον ΜΙ (β) ταξινόμησαν σωστά αντικείμενα αναφοράς στον μακρόκοσμο, στον

μικρόκοσμο και στον νανόκοσμο με κριτήριο το όργανο παρατήρησής τους (γ) σειροθέτησαν σωστά αντικείμενα των τριών κόσμων από το μεγαλύτερο στο μικρότερο (δ) περιέγραψαν το φαινόμενο του λωτού με όρους του νανογραμματισμού, όπως νανοεξογκώματα και υδροφοβικότητα (ε) περιέγραψαν τον μηχανισμό φιλτραρίσματος σειροθετώντας τα αντικείμενα που φιλτράρουν (νανοτρύπες) και φιλτράρονται (ιός) (στ) περιέγραψαν την επίδραση του νανόκοσμου στον μικρόκοσμο και τον μακρόκοσμο στην περίπτωση του φαινομένου της ίωσης. Όσον αφορά την γνώση για τη φύση και τον ρόλο των μοντέλων οι μαθητές μετά την εφαρμογή το σύνολο των μαθητών αναγνώρισαν την αναπαραστατική φύση του μοντέλου και την χρησιμότητά του ως εργαλείο μάθησης ή/και επικοινωνίας καθώς και την χρησιμότητα των πολλαπλών μοντέλων. Τέλος, τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η ρητή διδασκαλία για την φύση και τον ρόλο των μοντέλων καθώς και η αρχική γνώση των μαθητών για τη N-ET είναι δύο παράγοντες, οι οποίοι προβλέπουν την τελική γνωστική κατάσταση για ένα μεγάλο ποσοστό.

ABSTRACT

Nanoscience-Nanotechnology (N-ST) is an interdisciplinary field that focuses on the study and exploitation of the unique properties that materials possess when they become nano-sized (approximately 1-100 nm). One of the grand challenges for N-ST in 21st century, is the integration of this modern field in education across all levels. In response to this challenge this research concerns the design, development and evaluation of a Teaching Learning Sequence (TLS) about the content of N-ST in primary school.

Regarding N-ST content, across literature, nine core concepts, the Big Ideas (BIs.) are detected. Furthermore, the limited research about the educational and didactical value of N-ST content learning, discusses that the incorporation of NST in school curricula seems to be indispensable in order to students (a) become nanoliterate, (b) increase their interest in Science and N-ST and (c) follow professional careers in N-ST related fields.

We included five out of nine BIs (a) size (b) tools and instrumentation (c) size dependent properties (d) models and (e) N-ST applications. The BIs are negotiated within six modules, two hours duration each. The TLS was inquiry based, with lots of hands on and ICT activities. In addition, particular emphasis was placed on the explicit instruction about the nature and role of models.

The aim of our research is to study (a) the evolution of students' conceptions about N-ST content (b) the evolution of students' epistemological knowledge concerning the nature and role of models and (c) in which extent the epistemological knowledge about models can contribute to understanding of N-ST content. The sample was consisted of 22 6th grade primary students in the area of Florina, in Greece. Research tools were (a) a written pre and post questionnaire about the aforementioned BIs that was distributed to all students (b) a semi-structured interview of two case studies.

The results after the implementation of the TLS, reveal that a considerable amount of students (a) referred to N-ST by using terms of nanoliteracy, which are associated with clarity with at least one of the Big Ideas (b) they classified landmark objects that belong to the macroworld, microworld and nanoworld according to the correct tool of observation (c) ordered in a correct manner several objects of the three worlds according to their size (d) described the lotus effect using nanoliterate terms,

such as nanobumps and hydrophobicity (e) described the water filtration process by ordering according to their size the objects that filter (e.g. nanopores) and are filtered (e.g. viruses) (f) described the effect of the nanoworld to the microworld and the macroworld in case of the viral infection. As far as the knowledge about the nature and role of models concerns, almost all students acknowledged the representative nature of models and their usefulness as a learning and / or communicative tool, as well as the value of multiple models for representing the same phenomenon. Finally, the results show that the explicit instruction about the role and nature of models and the initial students' knowledge about NST are two factors that can predict the final cognitive state for a considerable amount of students.

1^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

Η Νανοεπιστήμη – Νανοτεχνολογία (N-ET) θεωρείται ως ένα νέο, σύγχρονο διεπιστημονικό πεδίο, το οποίο τα επόμενα χρόνια ενδέχεται να επηρεάσει την καθημερινότητά μας στο σύνολο των εκφάνσεών της. Μάλιστα, πολλοί επιστήμονες και ερευνητές υποστηρίζουν ότι η N-ET αποτελεί την επόμενη βιομηχανική επανάσταση εγκαινιάζοντας μια νέα εποχή, την «εποχή του Νάνο» (Peters, 2016· Jones et al., 2013· Murty, Shankar, Rath & Murday, 2013· Maynard, 2007· Sobolev & Gutiérrez 2005). Το εύρος των πεδίων που ενδέχεται να επηρεάσει είναι μεγάλο. Ξεκινώντας από τα προϊόντα καλλωπισμού και καταλήγοντας σε διαγνωστικές θεραπευτικές πρακτικές, όπως στην περίπτωση της θεραπείας του καρκίνου ακόμα και στην εξερεύνηση του διαστήματος (Murty, Shankar, Rath & Murday, 2013).

Επιστήμονες, ερευνητές, σχεδιαστές αναλυτικών προγραμμάτων και επικεφαλής στην χάραξη της εκπαιδευτικής πολιτικής, υπογραμμίζουν ότι μια πρόκληση του 21^{ου} αιώνα αποτελεί η ενσωμάτωση στην υποχρεωτική εκπαίδευση του περιεχομένου της N-ET (Blonder & Sakhnini, 2016· Jones, Gardner, Albe, Falvo & Chevrier, 2013· Roco, 2003). Η εργασία αυτή αποτελεί ένα από τα πρώτα βήματα για τον σχεδιασμό, την ανάπτυξη και την αξιολόγηση μιας Διδακτικής Μαθησιακής Ακολουθίας (DMA) για τη N-ET στο δημοτικό σχολείο. Στις παρακάτω ενότητες περιγράφεται το θεωρητικό πλαίσιο μέσα στο οποίο εντάσσεται η έρευνά μας. Πιο συγκεκριμένα παρουσιάζεται μια σύνθεση από την βιβλιογραφική επισκόπηση η οποία περιλαμβάνει θέματα τα οποία καθοδήγησαν τον σχεδιασμό, την ανάπτυξη και την αξιολόγηση της DMA για τη N-ET.

1.1. Ιστορική αναδρομή για την ανάπτυξη της Νανοεπιστήμης - Νανοτεχνολογίας (N-ET)

Η N-ET αποτελεί την αιχμή του δόρατος στον χώρο της επιστήμης και της τεχνολογίας. Πόσο «νέα» είναι όμως η N-ET; Στις ακόλουθες παραγράφους παρουσιάζονται χαρακτηριστικά παραδείγματα από τα οποία απορρέει ότι χιλιάδες χρόνια πριν, διαφορετικοί πολιτισμοί είχαν κατασκευάσει υλικά τα οποία ενσωμάτωναν δομές σχετικές με τη N-ET.

1.1.1. Νανοκρύσταλλοι στη διακόσμηση της Ελληνικής και Ρωμαϊκής κεραμικής

Χαρακτηριστικά παραδείγματα από υλικά τα οποία ενσωμάτωναν δομές της N-ET εντοπίζονται χιλιάδες χρόνια πριν στην ελληνική και ρωμαϊκή κεραμική. Σύμφωνα με τον Sciau (2016) στην διακόσμηση αγγείων της ελληνικής και ρωμαϊκής κεραμικής εντοπίζονται νανοκρύσταλλοι. Οι νανοκρύσταλλοι σε συνδυασμό με τον πηλό και τις διαδικασίες θέρμανσης θεωρείται πως προσδίδουν στα αγγεία το χαρακτηριστικό τους χρώμα αλλά και ιδιαίτερες μηχανικές ιδιότητες. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν τα αγγεία του μελανόμορφου και του ερυθρόμορφου ρυθμού στην αρχαία Ελλάδα τον 7^ο αι. και 6^ο αι. π.Χ. (εικόνα 1.1) τα οποία περιλαμβάνουν νανοκρυστάλλους στην μαύρη γυαλιστερή τους επιφάνεια. Επιπλέον τα αγγεία της ρωμαϊκής κεραμικής, τύπου “Terra Sigillata vessels” περιλαμβάνουν νανοκρυστάλλους στους οποίους αποδίδονται οι ισχυρές μηχανικές τους ιδιότητες και συγκεκριμένα η σκληρότητά τους (εικόνα 1.2).



Εικόνα 1.1. Αττικό κεραμικό αγγείο, ερυθρόμορφου ρυθμού (Sciau, 2016)



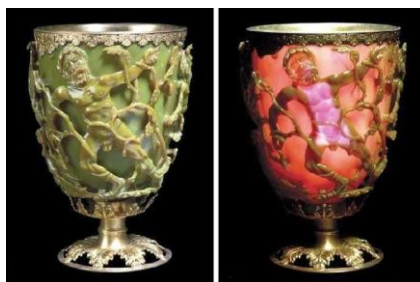
Εικόνα 1.2. Αγγείο της ρωμαϊκής κεραμικής με ισχυρές μηχανικές ιδιότητες (Sciau, 2016)

1.1.2. Το κύπελο του Λυκούργου

Ένα ακόμα παράδειγμα από την ιστορία της N-ET αποτελεί το Κύπελο του Λυκούργου (Lycurgus Cup) το οποίο χρονολογείται στην προ-Χριστιανική περίοδο και αναπαριστά τον θάνατο του βασιλιά Λυκούργου (Kumar, 2016). Το κύπελο του Λυκούργου ανήκει στα Ρωμαϊκά δοχεία γνωστά ως διάτρητα (diatreta) ή cage cups και εμφανίζει ασυνήθιστες οπτικές ιδιότητες (Freestone, Meeks, & Higgitt, 2007). Πιο συγκεκριμένα, όταν το φως πέφτει άμεσα πάνω του, το χρώμα του είναι

πρασινοκίτρινο, ενώ όταν το φως πέφτει από πάνω προς το εσωτερικό του, το χρώμα του είναι βαθύ κόκκινο (εικόνα 1.3). Το εν λόγω ασυνήθιστο οπτικό φαινόμενο οφείλεται στην προσθήκη μετάλλων, σε διαστάσεις νανομέτρων, κατά την κατασκευή του γυαλιού. Πιο συγκεκριμένα οι έρευνες δείχνουν ότι οι Ρωμαίοι είχαν ενσωματώσει στο γυαλί νανοσωματίδια ασημιού, χρυσού και χαλκού τα οποία επηρεάζουν την απορρόφηση και την διάθλαση του φωτός, καθορίζοντας το χρώμα του κυπέλου (Kumar, 2016· Freestone, Meeks, & Higgitt, 2007).

Για την κατασκευή του διχροϊκού γυαλιού, οι ερευνητές υποθέτουν πως σημαντικό ρόλο διαδραμάτιζαν μεταβλητές, όπως ο έλεγχος της θερμοκρασίας, η διάρκεια θέρμανσης του γυαλιού καθώς και οι συνθήκες της ατμόσφαιρας του χώρου μέσα στον οποίο διεξαγόταν η κατασκευή του γυαλιού. Επειδή όμως οι συνθήκες αυτές ήταν δύσκολο να ελέγχονται με ακρίβεια, η παραγωγή διχροϊκών γυαλιών την εποχή εκείνη ήταν σχεδόν αδύνατη πέραν του κυπέλου του Λυκούργου (Freestone, Meeks, & Higgitt, 2007).



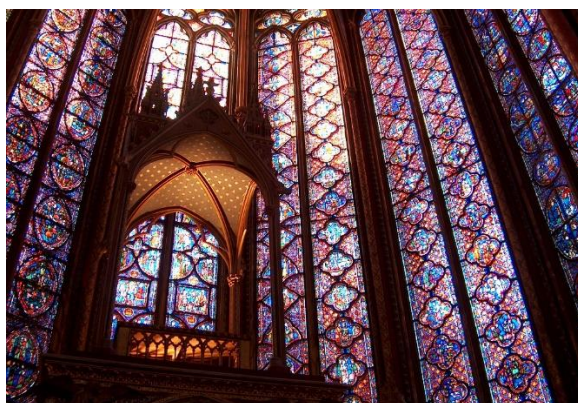
Εικόνα 1.3: Το κύπελο του Λυκούργου (Freestone et al., 2007)

1.1.3. Η τεχνική διακόσμησης “lustre” και τα βιτρό

Επιπλέον, περιπτώσεις χρήσης νανοσωματιδίων εντοπίζονται εκατοντάδες χρόνια πριν στην τεχνική διακόσμησης γνωστή ως lustre (Pradell, Pavlov, Gutiérrez, Climent-Font, & Molera, 2012· Sciau, 2012). Ως lustre, ορίζεται η τεχνική διακόσμησης μέσω της οποίας επιτυγχάνεται η δημιουργία μιας γυαλιστερής- λαμπερής επίστρωσης (golden-shine) πάνω σε μια κατασκευή (π.χ. ένα αγγείο). Για την επίτευξη αυτής της «χρυσής επιφάνειας», χρησιμοποιούνται νανοσωματίδια μετάλλων όπως ασήμι ή/και χαλκός (Pradell, 2016). Σύμφωνα με τον Pradell (2016) η τεχνική αυτή χρονολογείται μεταξύ του 772-779 μ.Χ. και τα αντίστοιχα αρχαιολογικά ευρήματα είναι γυάλινες κατασκευές

που έχουν διακοσμηθεί με την κατασκευή αυτή, πιθανόν στην Αίγυπτο ή στην Συρία. Αντίστοιχα ευρήματα εντοπίζονται και την βυζαντινή περίοδο.

Στην τεχνική αυτή βασίζονται και τα βιτρό (stained glass) με τα έντονα χρώματα τα οποία εντοπίζονται από τον 13^ο αι. μ.Χ. στους καθεδρικούς ναούς (Pradell, 2016) (εικόνα 1.4). Το έντονο χρώμα των τζαμιών είναι αποτέλεσμα προσθήκης νανοσωματιδίων χρυσού κατά την παρασκευή του γυαλιού. Τα νανοσωματίδια χρυσού όταν αποκτήσουν μέγεθος μικρότερο από 100 nm αλλάζουν χρώμα. Έτσι, όταν το μέγεθός τους κυμαίνεται μεταξύ 10 και 30 nm έχουν κόκκινο χρώμα, ενώ όταν έχουν μέγεθος 100 nm είναι βιολετί (Stevens, Sutherland, & Krajcik, 2009). Πέρα από την αισθητική όμως πλευρά, τα νανοσωματίδια που περιλαμβάνει το γυαλί συμβάλλουν στην πρόκληση φωτοκατάλυσης με αποτέλεσμα τον καθαρισμό του αέρα μέσα στον χώρο του ναού (photocatalytic air purifiers)¹.



Εικόνα 1.4: Βιτρό σε καθεδρικό ναό²

1.1.4. Το σπαθί της Δαμασκού

Οι περιπτώσεις που περιγράφηκαν πρωτύτερα αφορούν την εκμετάλλευση ιδιοτήτων της N-ET στον χώρο της τέχνης. Ένα παράδειγμα κατασκευής νανοϋλικών εκτός του χώρου της τέχνης, αλλά στον χώρο του πολέμου, αποτελεί το μέταλλο του σπαθιού της Δαμασκού. Σύμφωνα με τους Reibold, Paufler, Levin, Kochmann, Pätzke & Meyer (2006) το μέταλλο του σπαθιού της Δαμασκού (εικόνα 1.5) εμφανίζεται για πρώτη

¹ <http://www.nano.gov/timeline>

² https://en.wikipedia.org/wiki/Stained_glass

φορά στην μάχη μεταξύ Σταυροφόρων και Μουσουλμάνων. Αυτό που καθιστά ιδιαίτερο το μέταλλο του σπαθιού είναι οι ασυνήθιστες μηχανικές του ιδιότητες και συγκεκριμένα η εξαιρετικά αιχμηρή του λεπίδα. Χρησιμοποιώντας υψηλής ανάλυσης ηλεκτρονικό μικροσκόπιο οι ερευνητές διαπίστωσαν ότι οι ιδιότητες του σπαθιού οφείλονται σε νανοσωλήνες άνθρακα και νανοκαλώδια σεμεντίτη (διαμεταλλική ένωση του σιδήρου με τον άνθρακα) τα οποία περιέχονται στο μέταλλο.



Εικόνα 1.5: Το σπαθί της Δαμασκού³

1.1.5. Προσωπικότητες που συνέβαλαν στην εξέλιξη της N-ET και η ανάπτυξη του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου

Οι καινοτόμες ιδιότητες της N-ET αναγνωρίστηκαν στις αρχές του 20^{ου} αιώνα (Murty et al., 2013). Ο Richard Feynman σε διάλεξή του με τίτλο «There's plenty of room at the bottom» (Feynman, 1960), σε συνέδριο της American Physical Society, έκανε λόγο για τον χειρισμό της ύλης σε πολύ μικρή κλίμακα ανοίγοντας ένα νέο πεδίο, αυτό της νανοτεχνολογίας, χωρίς να αναφέρει τον όρο «νανοτεχνολογία». Ο Feynman θεωρείται ο πρώτος οραματιστής (visionary) της νανοτεχνολογίας. Στην ομιλία του ανέπτυξε το όραμά του για την κατασκευή μηχανών, οι οποίες θα κατασκευάζουν κομμάτια (components) για μικρότερες μηχανές και αυτές με τη σειρά τους για ακόμα μικρότερες έως ότου φτάσουν στο επίπεδο του ατόμου (Ramsden, 2011).

Ο όρος «νανοτεχνολογία» εισήχθη μερικά χρόνια αργότερα από τον Norio Taniguchi το 1974, για να περιγράψει διαδικασίες ημιαγωγής (semiconductor processes), όπου οι λειτουργίες (features) ελέγχονται στο επίπεδο του νανόμετρου (Murty et al., 2013).

³ <http://www.nano.gov/timeline>

Ένας ακόμα οραματιστής της νανοτεχνολογίας, είναι ο Eric Drexler. Ο Drexler το 1986, στο βιβλίο του «*Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology*», αναφέρεται στην κατασκευή μοριακών μηχανών, οι οποίες με τη σειρά τους θα έχουν την ικανότητα να κατασκευάζουν νέες, δεύτερης γενιάς μηχανές αναδεικνύοντας παράλληλα την διεπιστημονική φύση της N-ET (Murty et al., 2013).

Σταθμό στην ιστορία της N-ET αποτελεί η ανακάλυψη εργαλείων για την παρατήρηση και τον χειρισμό δομών σε μέγεθος της νανοκλίμακας (Kumar & Khumhat, 2016). Το 1981 αναπτύχθηκαν τα μικροσκόπια STM (Scanning Tunneling Microscopy) ενώ το 1986 τα AFM (Atomic Force Microscopy) καθώς και τα ηλεκτρονικά μικροσκόπια όπως τα SEM (Scanning Electron Microscope) (Shong, Haur & Wee, 2010). Τα εργαλεία αυτά προσέφεραν μεγάλη ώθηση στην πρόοδο της N-ET καθώς παρέχουν τη δυνατότητα για την κατανόηση της ύλης στο επίπεδο της νανοκλίμακας και την ανάπτυξη πληθώρας εφαρμογών (Stevens et al., 2009).

1.1.6. Συμπεράσματα από την ιστορία της N-ET

Φαίνεται από συγκεκριμένα παραδείγματα που περιγράφηκαν παραπάνω ότι εκατοντάδες χρόνια πριν οι άνθρωποι ήταν ικανοί να κατασκευάζουν νανοϋλικά. Η κατασκευή των νανοϋλικών όμως ήταν περιορισμένη, κυρίως στον χώρο της τέχνης. Αυτό συμβαίνει για παράδειγμα, γιατί οι συνθήκες που είναι απαραίτητες για την κατασκευή των νανοϋλικών ήταν δύσκολο να ελέγχονται με ακρίβεια (Freestone et al., 2007). Σήμερα, η ανάπτυξη εξειδικευμένων εργαλείων και τεχνικών προσφέρουν την δυνατότητα παρατήρησης και χειρισμού των υλικών στις διαστάσεις της νανοκλίμακας. Έτσι είναι εφικτό να κατασκευάζονται νανοϋλικά και συσκευές βασισμένες στη N-ET σε ελεγχόμενες συνθήκες (Murty et al., 2013, Healy, 2009).

1.2. Εισαγωγή στη N-ET

1.2.1. Ορισμοί για τη N-ET

Σε μια προσπάθεια αναζήτησης ενός ορισμού στη βιβλιογραφία για τη Νανοεπιστήμη-Νανοτεχνολογία (N-ET), διαπιστώσαμε δεν υπάρχει κάποιος ομόφωνα αποδεκτός ορισμός για τη NET. Αντίθετα, φαίνεται ότι διαφορετικοί επιστημονικοί – τεχνολογικοί κλάδοι (ηλεκτρονική, περιβάλλον, ενέργεια, ΔΦΕ) διατυπώνουν διαφορετικούς

ορισμούς (Unesco, 2006). Παρακάτω παραθέτονται παραδείγματα ορισμών όπως καταγράφονται στη βιβλιογραφία.

Σύμφωνα με τους Kumar & Kumbhat (2016: 1) στο βιβλίο τους με τίτλο “Essentials of Nanoscience and Nanotechnologies” η Νανοεπιστήμη ορίζεται ως εξής:

«Η νανοεπιστήμη είναι ένα νέο περιεχόμενο το οποίο αφορά τις μοναδικές (unique) ιδιότητες των νανοϋλικών, τα οποία είναι οργανώσεις ατόμων ή μορίων στην νανοκλίμακα. Η νανοεπιστήμη είναι στην πραγματικότητα η μελέτη των αντικειμένων/σωματιδίων και των φαινομένων σε πολύ μικρή κλίμακα, που κυμαίνεται περίπου από 1 έως 100 nm. Το νάνο αναφέρεται σε μια κλίμακα μεγέθους του μετρικού συστήματος. Χρησιμοποιείται στις επιστημονικές μονάδες μέτρησης για να περιγράψει το ένα δισεκατομμυριοστό της μονάδας βάσης, το οποίο είναι περίπου 100.000 φορές μικρότερο από την διάμετρο μιας ανθρώπινης τρίχας. Ένα νανόμετρο είναι $10^{-9} m$ ($1nm = 10^{-9} m$), μια διάσταση στον κόσμο των ατόμων και των μορίων (το μέγεθος του ατόμου υδρογόνου είναι 0.24 nm και για παράδειγμα, 10 άτομα υδρογόνου στη σειρά έχουν μήκος 1 nm). Τα νανοσωματίδια είναι αυτά τα σωματίδια που περιλαμβάνουν από 100 έως 10.000 άτομα. Έτσι τα σωματίδια αυτά έχουν μέγεθος περίπου από 1-100 nm και αποτελούν τα δομικά κομμάτια των νανοϋλικών».

Στο ίδιο βιβλίο για τη νανοτεχνολογία παρατίθεται ο εξής ορισμός (Kumar & Kumbhat, 2016: 2):

«Η νανοτεχνολογία είναι η κατασκευή και χρήση λειτουργικών δομών, σχεδιασμένων σε ατομική και την μοριακή κλίμακα, με μια τουλάχιστον χαρακτηριστική τους διάστασή τους να είναι μετρήσιμη σε νανόμετρα. Το μέγεθός τους επιτρέπει να εμφανίζουν καινοτομικές και σημαντικά βελτιωμένες φυσικές, χημικές και βιολογικές ιδιότητες, φαινόμενα και διαδικασίες. Έτσι η νανοτεχνολογία μπορεί να οριστεί ως η έρευνα και η ανάπτυξη που περιλαμβάνει τη μέτρηση και τον χειρισμό της ύλης σε ατομικά, μοριακά και υπερμοριακά επίπεδα κλιμάκων που έχουν μέγεθος περίπου 1-100 nm σε μια τουλάχιστον διάστασή τους».

Ο Mansoori (2005: 5) στο βιβλίο του “Principles of nanotechnology” υποστηρίζει ότι ένας σύντομος και ολοκληρωμένος ορισμός της νανοτεχνολογίας έχει παραχθεί από

το Αμερικάνικο Εθνικό Κέντρο Επιστήμης και Έρευνας (US National Science and Technology Council Council):

«Ο πυρήνας της νανοτεχνολογίας είναι η δυνατότητα να εργάζεσαι σε μοριακό επίπεδο, άτομο με άτομο, ώστε να δημιουργείς μεγαλύτερες δομές με νέα μοριακή οργάνωση. Ο σκοπός είναι η εκμετάλλευση αυτών των ιδιοτήτων με τον έλεγχο των δομών και των διατάξεων σε ατομικό, μοριακό, υπερμοριακό επίπεδο, και η κατανόηση του πώς να κατασκευάζουμε αποτελεσματικά και να χρησιμοποιούμε αυτές τις διατάξεις».

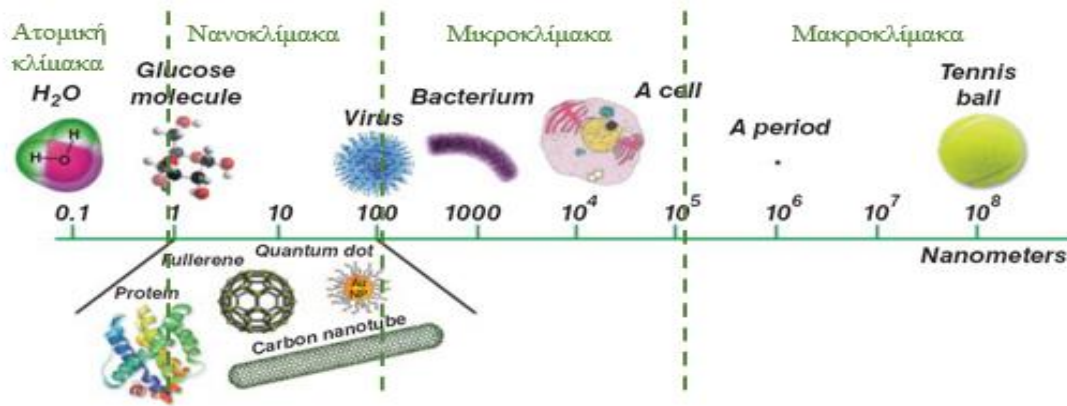
Ο Roco (2011: 428) σε επιστημονικό άρθρο του για την ανάπτυξη της νανοτεχνολογίας καταγράφει ότι:

«Η νανοτεχνολογία είναι η δυνατότητα ελέγχου και ανοικοδόμησης της ύλης σε ατομικά και μοριακά επίπεδα, σε ένα εύρος περίπου από 1-100 nm, και [η δυνατότητα] εκμετάλλευσης των διακριτών ιδιοτήτων που συμβαίνουν σε αυτή τη κλίμακα, σε σύγκριση με τη συμπεριφορά που εμφανίζουν μεμονωμένα άτομα ή μόρια ή υλικά στη μακροκλίμακα (bulk). Στόχος είναι η δημιουργία υλικών, συσκευών και συστημάτων με θεμελιακά νέες ιδιότητες και λειτουργίες...».

Σε επιστημονικό περιοδικό εκπαιδευτικού προσανατολισμού οι Jones et al. (2013) καταγράφουν ότι η N-ET αποτελεί ένα διεπιστημονικό πεδίο έρευνας, το οποίο επικεντρώνεται στο να μελετήσει και να εκμεταλλευτεί τις νέες ιδιότητες των υλικών, όταν αυτά αποκτήσουν μέγεθος που ανήκει στις διαστάσεις της νανοκλίμακας.

Κοινός τόπος μεταξύ των ορισμών αυτών, είναι ότι υπάρχει ισχυρή σύνδεση του επιστημονικού – τεχνολογικού πεδίου της N-ET με τον συνδυασμό μεγέθους - ιδιότητας. Με απλά λόγια, η N-ET εκμεταλλεύεται την αλλαγή των ιδιοτήτων των υλικών εξαιτίας του μεγέθους. Αυτή η απλή πρόταση σύμφωνα με τον Hochilla (2002) θεμελιώνει την επιστημονική – τεχνολογική οντότητα της N-ET.

Όπως φαίνεται από τους ορισμούς που παραθέσαμε η αλλαγή των ιδιοτήτων των υλικών συμβαίνει σε μια περιοχή με διαστάσεις 1 – 100 nm περίπου (Ghattas & Carver, 2012). Αυτές οι διαστάσεις ορίζουν την λεγόμενη «Νανοκλίμακα» η οποία αποτελεί συνέχεια της μακροκλίμακας και μικροκλίμακας (εικόνα 1.6) (Sakhnini & Blonder, 2015· Jones et al., 2013· Roco, 2011· Mansoori, 2005).



Εικόνα 1.6. Σύγκριση μεγεθών αντικειμένων, νανοϋλικών και βιομορίων (προσαρμογή από Kumar & Kumbhat, 2016: 2)

Συγκεκριμένα, οι φυσικές, μαγνητικές, οπτικές, ηλεκτρικές και χημικές ιδιότητες των υλικών στην νανοκλίμακα είναι διαφορετικές από αυτές που έχουν τα υλικά σε μεγαλύτερες διαστάσεις (Klabunde & Richards 2009, Roduner 2006, Behari 2010). Για παράδειγμα ιδιότητες όπως το χρώμα, η αγωγιμότητα και ο μαγνητισμός αλλάζουν καθώς ένα αντικείμενο προσεγγίζει τη νανοκλίμακα (Jones et al., 2013). Στον πίνακα 1.1, παρατίθενται παραδείγματα υλικών τα οποία αλλάζουν ιδιότητες στην νανοκλίμακα.

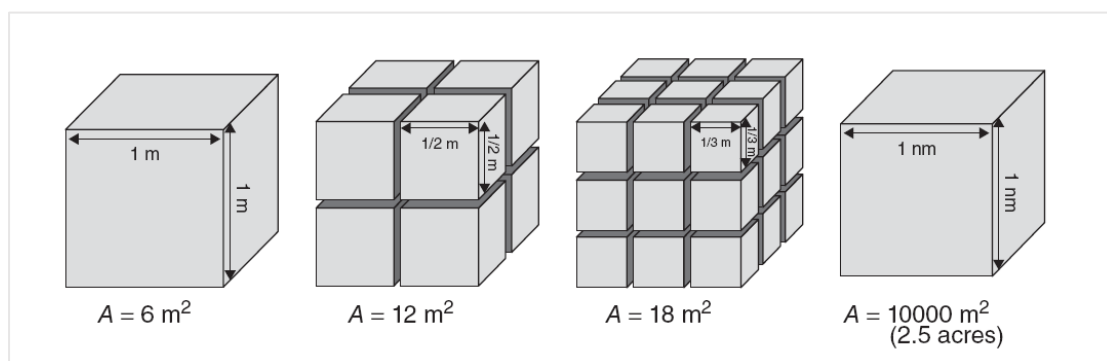
Πίνακας 1.1: Παραδείγματα αλλαγής ιδιοτήτων των υλικών στη νανοκλίμακα (Tarafdar et al. 2013· Minoli, 2006· Roduner 2006)

Υλικό	Ιδιότητες στη νανοκλίμακα
Χαλκός	Γίνεται πιο σκληρός
Χρυσός	Αλλάζει χρώμα (κόκκινο) Αποκτά καταλυτικές ιδιότητες
Αλουμίνιο	Γίνεται εκρηκτικό

1.2.2. Οι μοναδικές ιδιότητες της νανοκλίμακας

Σύμφωνα με τους Kumar & Kumbhat (2016), στη νανοκλίμακα οι ιδιότητες των υλικών είναι μοναδικές για δύο βασικούς λόγους: α) επειδή είναι υψηλός ο λόγος της επιφάνειας προς τον όγκο και β) εξαιτίας κβαντικών φαινομένων. Πιο αναλυτικά, σε αυτή τη κλίμακα μεγέθους αυξάνεται δραματικά ο λόγος της επιφάνειας προς τον όγκο.

Για να κατανοήσουμε καλύτερα το πόσο μεγάλη είναι η αύξηση του λόγου επιφάνειας προς τον όγκο, αρκεί να σκεφτούμε ότι αν τεμαχίσουμε 1 m^2 οποιουδήποτε υλικού σε σωματίδια 1 nm , τότε η συνολική επιφάνειά του αυξάνεται από τα 6 m^2 στα $60.000.000 \text{ m}^2$, αυξάνεται δηλαδή περίπου κατά δέκα εκατομμύρια φορές. Στην εικόνα 1.7 αναπαρίσταται η αύξηση του του λόγου της επιφάνειας προς τον όγκο όσο μικραίνουν οι διαστάσεις.

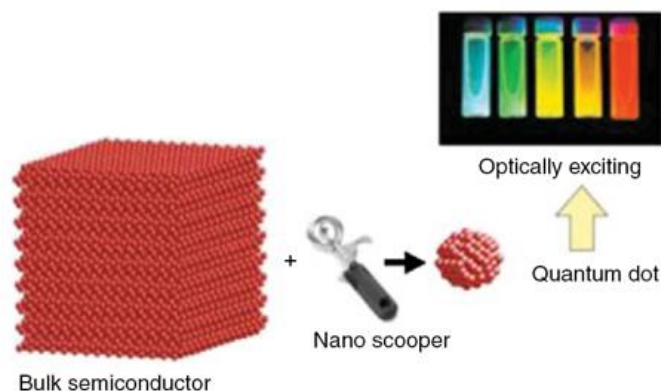


Εικόνα 1.7. Η αύξηση της επιφάνειας των κύβων, σε διαστάσεις από 1 m μέχρι 1 nm (Kumhar & Kumhbat, 2016: 3)

Το φαινόμενο αυτό, παρατηρείται και στην μικροκλίμακα και στην μακροκλίμακα. Στην νανοκλίμακα όμως είναι συνυφασμένο με μοναδικές- καινοτόμες ιδιότητες. Σε αυτό το επίπεδο μεγέθους οι ιδιότητες του υλικού καθορίζονται την επιφάνειά του και όχι από τον όγκο του, επειδή τα άτομα της επιφάνειας είναι περισσότερα σε ποσοστό από τα άτομα στο εσωτερικό του υλικού. Μάλιστα σε ορισμένες περιπτώσεις υπάρχουν υλικά όπως οι νανοσωλήνες (single-walled nanotubes) και τα φουλερένια, των οποίων όλα τα άτομα βρίσκονται αποκλειστικά στην επιφάνειά τους (surface atoms) (Kumhar & Kumhbat, 2016· Stevens et al., 2009). Το φαινόμενο αυτό είναι πολύ χρήσιμο σε εφαρμογές σχετικές με τους καταλύτες, τον καθαρισμό, την ανίχνευση μολύνσεων καθώς και σε άλλες εφαρμογές στις οποίες διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο οι χημικές αντιδράσεις, όπως στην ιατρική (Kumhar & Kumhbat, 2016).

Ο δεύτερος λόγος στον οποίο αποδίδεται η αλλαγή των ιδιοτήτων των υλικών στη νανοκλίμακα σχετίζεται με την εμφάνιση κβαντικών φαινομένων σε αυτές τις διαστάσεις. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η αλλαγή των οπτικών ιδιοτήτων,

όπως της φωτοεκπομπής (photoemission) των ημιαγωγών καθώς προσεγγίζουν την νανοκλίμακα. Στην εικόνα 1.8 παρουσιάζεται η αλλαγή του χρώματος ενός ημιαγωγού καθώς αλλάζει μέγεθος, εξαιτίας του κβαντικού περιορισμού (Kumhar & Kumhbat, 2016).



Εικόνα 1.8. Αλλαγή των οπτικών ιδιοτήτων ενός ημιαγωγού καθώς αλλάζει μέγεθος (Kumhar & Kumhbat, 2016: 4).

Σε επιστημονικά περιοδικά εκπαιδευτικού προσανατολισμού καταγράφονται τρεις χαρακτηριστικές ιδιότητες για τη νανοκλίμακα α) η τραχύτητα (bumpiness) β) η προσκόλληση (sticky) και γ) η συνεχής κίνηση των οντοτήτων που έχουν μέγεθος της νανοκλίμακας (shaky) (Jones et al. 2013· Taylor, Jones & Pearl 2008) (σχήμα 1.1). Παρακάτω περιγράφονται οι τρεις ιδιότητες της νανοκλίμακας.

Τραχύτητα (bumpiness)	Προσκόλληση (sticky)	Συνεχής κίνηση (shaky)
•Π.χ. Το φαινόμενο του λωτού	•Π.χ. Σαύρα Gecko	•Π.χ. Θερμικές δυνάμεις, αυτοοργάνωση

Σχήμα 1.1: Ιδιότητες της νανοκλίμακας και χαρακτηριστικά παραδείγματα (Jones et al. 2013· Taylor et al. 2008)

Η νανοκλίμακα είναι τραχιά (bumpy).

Χαρακτηριστικό παράδειγμα τραχύτητας στη νανοκλίμακα αποτελεί το «Φαινόμενο του λωτού». Το φύλλο του λωτού, παρόλο που φαίνεται λείο, αν το παρατηρήσουμε με

ηλεκτρονικό μικροσκόπιο αποκαλύπτεται μια ασυνήθιστα τραχιά δομή (Taylor et al. 2008).

Η επιφάνεια του φύλλου του λωτού καλύπτεται από εξογκώματα (bumps) τόσο σε μέγεθος της μικροκλίμακας όσο και σε μέγεθος της νανοκλίμακας τα οποία μοιάζουν με τριχίδια. Τα δύο αυτά επίπεδα τραχύτητας (της μικροκλίμακας και νανοκλίμακας) επιτρέπουν στον αέρα να εγκλωβίζεται κάτω από τις σταγόνες νερού (Taylor et al. 2008).

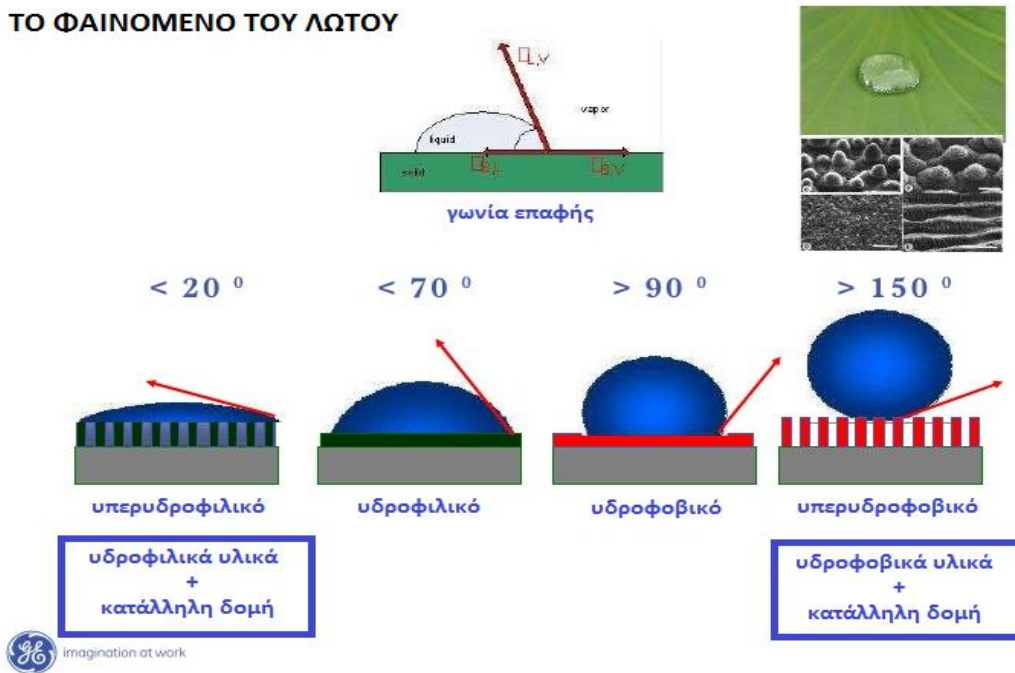
Ο εγκλωβισμένος αέρας μεταξύ των εξογκωμάτων στην επιφάνεια του φύλλου έχει ως αποτέλεσμα η γωνία επαφής μεταξύ της σταγόνας και του φύλλου να είναι υψηλή (περίπου 150°) κάτι που δίνει την ιδιότητα της υπερ-υδροφοβικότητας στο φύλλο του λωτού (Cheng & Rodak, 2006) (εικόνα 1.9). Όταν πέφτουν σταγόνες νερού πάνω σε αυτή την τραχιά επιφάνεια η σταγόνα δεν απορροφάται, γίνεται σφαιρική, κυλάει και μαζεύει όλα τα σωματίδια βρωμιάς, παρέχοντας στο φυτό έναν μηχανισμό αυτοκαθαρισμού (Taylor et al. 2008· Cheng & Rodak, 2006).



Εικόνα 1.9: Σταγόνες νερού πάνω στο υπερυδροφοβο φύλλο του λωτού⁴

⁴ <http://pgtnaturegarden.org/wp-content/uploads/2011/05/Water-Drops-on-Lotus-Leaf.jpg>

ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΟΥ ΛΩΤΟΥ



Εικόνα 1.10: Γωνία επαφής και υδροφοβικότητα⁵

Η εμβρεξιμότητα (wettability) το πόσο δηλαδή απορροφάει η δεν απορροφάει ένα στερεό κάποιο υγρό, εξαρτάται από την επιφανειακή ενέργεια και την τραχύτητα της επιφάνειας. Όταν η επιφανειακή ενέργεια μειώνεται, η υδροφοβικότητα αυξάνεται. Παρόλα αυτά, ακόμα και ένα υλικό με τη μικρότερη επιφανειακή ενέργεια, δίνει μία γωνία επαφής σταγόνας και επιφάνειας περίπου 120° . Για ακόμα πιο υψηλή υδροφοβικότητα, η τραχύτητα της επιφάνειας είναι απαιτούμενη. Πιο συγκεκριμένα, είναι δυνατόν να κατασκευάζονται υπερυδροφόβρες επιφάνειες με γωνία επαφής πάνω από 150° , όταν προστίθεται στις επιφάνειες αυτές επιπλέον τραχύτητα με τεχνητούς τρόπους (Miwa Nakajima, Fujishima, Hashimoto, & Watanabe, 2000) (εικόνα 1.10).

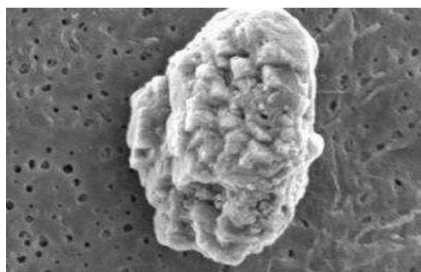
Ένα ακόμα παράδειγμα τραχύτητας αποτελούν τα φίλτρα νανοτεχνολογίας για το φιλτράρισμα του νερού. Τα φίλτρα νανοτεχνολογίας, όπως το LIFESAVER, είναι κατασκευασμένα με σκοπό να αφαιρούν όλη την μικροβιολογική μόλυνση (microbiological contamination) από το νερό μέσω του φιλτραρίσματος. Ως

⁵<http://image.slidesharecdn.com/manoge9th-100318044540-phpapp01/95/mano-manoharan-ge-nanoenabled-manufacturing-13-728.jpg?cb=1269223870>

μικροβιολογική μόλυνση νοείται οτιδήποτε σχετίζεται με οργανισμούς όπως βακτήρια, ιούς, παράσιτα, μύκητες κ.α. τα οποία μπορεί να περιέχονται στο νερό.

Τα συμβατικά φίλτρα μέχρι πρόσφατα μπορούσαν να αφαιρέσουν από το νερό οργανισμούς και σωματίδια μεγέθους μέχρι 200 nm περίπου. Αυτό που καθιστά τα φίλτρα νανοτεχνολογίας καινοτόμα είναι ότι έχουν μεμβράνες υπερ-φιλτραρίσματος (ultra filtration membranes) με πόρους μεγέθους 15 nm. Έτσι καθώς το νερό φιλτράρεται από τους πόρους των 15 nm, οι οργανισμοί και τα σωματίδια τα οποία μπορεί να περιλαμβάνει και έχουν μεγαλύτερο μέγεθος από 15 nm δε χωράνε να διέλθουν. Για παράδειγμα όταν φιλτράρεται από τους νανοπόρους, νερό μολυσμένο ακόμα και με τον μικρότερο ιό, ο οποίος έχει μέγεθος 25 nm περίπου, δε χωράει να διέλθει και το νερό καθίσταται πόσιμο.

Η σύσταση των μεμβρανών αποτελείται από έναν συνδυασμό πλαστικών τα οποία συμπιέζονται για να σχηματίσουν υδροφιλικούς σωλήνες ινών με βαθουλώματα (extruded to form hydrophilic hollow fibre tubes). Η εικόνα 1.11, είναι εικόνα από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο και απεικονίζει ένα σωματίδιο το οποίο έχει κολλήσει στην εξωτερική επιφάνεια της μεμβράνης. Οι νανοπόροι είναι ακόμα πιο μικροί από αυτούς που φαίνονται στην εικόνα⁶.



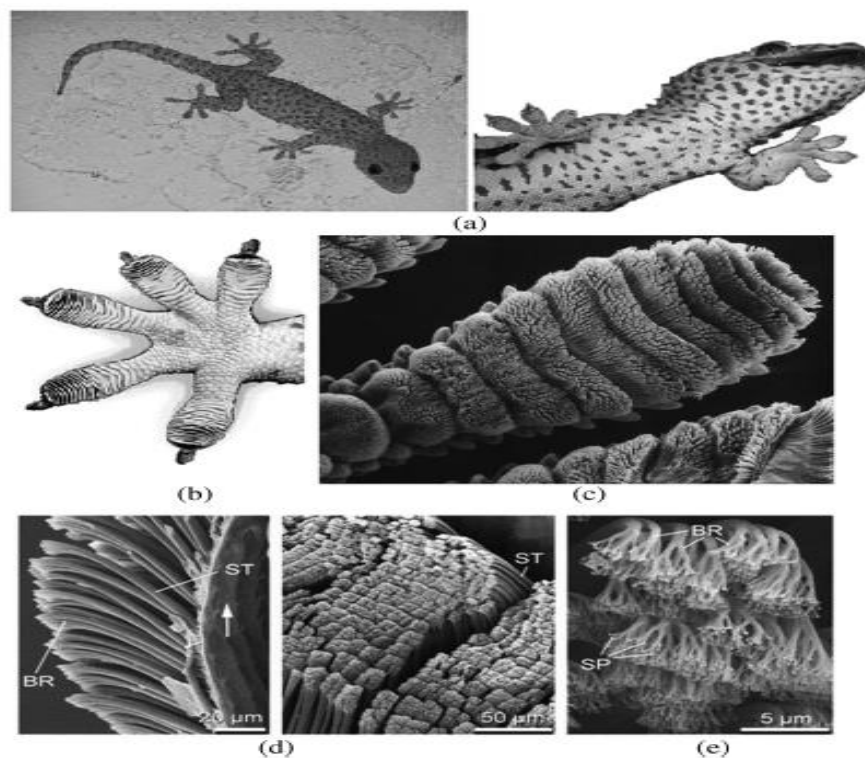
Εικόνα 1.11: Σωματίδιο πάνω σε μεμβράνη υπερ-φιλτραρίσματος⁶

Η νανοκλίμακα είναι προσκολλητική (sticky)

Η προσκολλητικότητα έχει να κάνει με τις διαμοριακές αλληλεπιδράσεις οι οποίες κυριαρχούν στη νανοκλίμακα και υπερνικούν τη βαρύτητα. Τέτοιου είδους αλληλεπιδράσεις αποτελούν οι δυνάμεις van der Waals, οι δεσμοί υδρογόνου και οι

⁶ <http://www.pipars.com/Lifesaver%20Technical%20and%20Standards.pdf>

υδροφοβικές αλληλεπιδράσεις (Jones et al. 2013). Χαρακτηριστικό παράδειγμα προσκολλητικότητας αποτελεί η σαύρα Gecko η οποία μπορεί και «κρατιέται γερά» (cling) τόσο σε λείες όσο και σε τραχιές επιφάνειες (Taylor et al. 2008). Σύμφωνα με τον Bhushan (2007) η επιφάνεια των δαχτύλων της σαύρας είναι κατασκευασμένη από ιεραρχικές δομές της μακροκλίμακας και της νανοκλίμακας. Πιο συγκεκριμένα το δάχτυλο της σαύρας περιλαμβάνει τριχίδια της μικροκλίμακας, γνωστά ως setae τα οποία καταλήγουν σε δομές της νανοκλίμακας οι οποίες ονομάζονται spatulae και τις μεταφράζουμε ως σπάτουλες. Ο βασικός μηχανισμός που εντοπίζεται στην ικανότητα της σαύρας για ισχυρή πρόσφυση στις επιφάνειες είναι οι van der Waals, καθώς η ιεραρχική δομή της επιφάνειας του δαχτύλου αποκαλύπτει μια μεγάλη επιφάνεια επαφής μεταξύ του ποδιού της σαύρας και των επιφανειών με τις οποίες έρχεται σε επαφή.



Εικόνα 1.12: (a) Η σαύρα Gecko. Η ιεραρχική δομή του ποδιού της Gecko: (b) το πόδι της Gecko (c) το δάχτυλο του ποδιού. Κάθε δάχτυλο περιλαμβάνει χιλιάδες setae, και αυτά με τη σειρά τους εκατοντάδες spatulae. Εικόνες από Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Σάρωσης σε διαφορετικές μεγεθύνσεις d) των setae και e) των spatulae (Bhushan, 2007: 1216)

Οι οντότητες που έχουν μέγεθος της νανοκλίμακας κινούνται συνεχώς (shaky)

Η ιδιότητα αυτή αφορά την διάχυτη (pervasive) επίδραση της θερμικής ενέργειας στα μόρια (Jones et al. 2013). Στη νανοκλίμακα η κίνηση των αντικειμένων της είναι συνεχής και χαρακτηρίζεται από υψηλή απόκριση στις αλλαγές της θερμοκρασίας (Taylor et al. 2008). Η ενισχυμένη κίνηση των νανοσωματιδίων στη νανοκλίμακα, αναδεικνύεται ως μια μεγάλη μηχανική πρόκληση στην ανάπτυξη των υλικών (engineering design). Για παράδειγμα οι επιστήμονες και μηχανικοί της νανοκλίμακας επιδιώκουν να εκμεταλλευτούν τη συνεχή αυτή κίνηση (κίνηση Brown) στο να συγκολλήσουν μόρια μεταξύ τους με πολύ καθορισμένο τρόπο ώστε να παραχθούν πολύπλοκες μακρομοριακές δομές. Αυτή η μέθοδος ανάπτυξης υλικών είναι γνωστή ως αυτοοργάνωση (Shong et al., 2010).

1.2.3. Εφαρμογές της N-ET

Οι καινοτόμες φυσικές, χημικές και μηχανικές ιδιότητες των νανοϋλικών φαίνεται πως μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πληθώρα εφαρμογών, από την εξυπηρέτηση βασικών αναγκών της καθημερινότητας μέχρι την εξερεύνηση του διαστήματος. Παρόλο που η N-ET είναι στην αρχή της, παρατηρείται μια ραγδαία αύξηση προϊόντων που ενσωματώνουν καινοτομίες της N-ET και είναι διαθέσιμα για τους καταναλωτές (Kumar & Kumbhat, 2016· Murty et al., 2013). Παρακάτω περιγράφονται συνοπτικά εφαρμογές στις οποίες ενσωματώνονται νανοσωματίδια.

Βιομηχανία τροφίμων

Οι εφαρμογές της N-ET στην βιομηχανία τροφίμων, αφορούν την παραγωγή, την συντήρηση και την αποθήκευση των τροφίμων. Πιο συγκεκριμένα, το πιο συχνό νανοσωματίδιο που χρησιμοποιείται σε σχετικές εφαρμογές είναι ο άργυρος εξαιτίας των αντιμικροβιακών του ιδιοτήτων. Ο άργυρος ενσωματώνεται σε προϊόντα για την καταστροφή βακτηρίων και ιών. Για παράδειγμα, κατασκευάζονται ψυγεία και δοχεία τα οποία περιλαμβάνουν νανοσωματίδια αργύρου με σκοπό την αποφυγή ανάπτυξης βακτηρίων και μούχλας. Επισημαίνεται όμως, πως ακόμα δεν είναι επιστημονικά τεκμηριωμένο το κατά πόσο τα νανοσωματίδια αργύρου απορροφώνται από την τροφή

που περιλαμβάνεται σε τέτοιου είδους δοχεία, και τι επιπτώσεις μπορεί να έχει αυτό στα κύτταρα και τον ανθρώπινο οργανισμό (Kumar & Kumbhat, 2016).

Προϊόντα καλλωπισμού

Όσον αφορά τα προϊόντα καλλωπισμού, στην αγορά είναι διαθέσιμες κρέμες προσώπου και σώματος οι οποίες περιλαμβάνουν νανοσωματίδια, γνωστά ως φουλερένια (fullerenes). Υποστηρίζεται ότι τα εν λόγω νανοσωματίδια είναι αποτελεσματικά στην αφαίρεση από το δέρμα επιβλαβών σωματιδίων όπως είναι οι χημικές ρίζες (free radicals). Επιπλέον, στα ράφια των καταστημάτων βρίσκουμε αντηλιακά στα οποία είναι ενσωματωμένα νανοσωματίδια διοξειδίου του τιτανίου. Σε αντίθεση με τα συμβατικά αντηλιακά τα οποία έχουν συνήθως λευκό χρώμα, τα νανοαντηλιακά είναι άχρωμα. Αυτό συμβαίνει γιατί τα νανοσωματίδια είναι τόσο μικρά που δεν αντανακλούν το ορατό φως ενώ παράλληλα προσφέρουν μια υψηλή προστασία από την υπεριώδη ακτινοβολία (Kumar & Kumbhat, 2016).

Βιομηχανία υφασμάτων

Στην βιομηχανία υφασμάτων παρατηρείται μια τάση για κατασκευή πιο λειτουργικών και «έξυπνων» υφασμάτων. Για παράδειγμα, με την ενσωμάτωση νανοσωματιδίων αργύρου, τα υφάσματα αποκτούν αντιμικροβιακές ιδιότητες. Επιπλέον, εντοπίζονται υφάσματα, όπως σε προϊόντα ένδυσης, τα οποία περιλαμβάνουν μια νανοεπίστρωση (nanofilm). Η νανοεπίστρωση αυτή καθιστά τα υφάσματα υπερυδροφοβικά, δηλαδή ανθεκτικά στους λεκέδες και στο νερό. Τονίζεται όμως, πως η νανοεπίστρωση αυτή έρχεται σε επαφή με το δέρμα και είναι περιορισμένες οι μέχρι τώρα γνώσεις μας για το τι επίδραση μπορεί να έχει η μακροχρόνια χρήση τους. Παρόλα αυτά, η χρήση τους μέχρι σήμερα υποστηρίζεται πως είναι ασφαλής (Kumar & Kumbhat, 2016).

Ιατρική

Η αιχμή του δόρατος στον τομέα της ιατρικής είναι τα νανοσωματίδια αργύρου. Όπως έχει ήδη αναφερθεί τα νανοσωματίδια αργύρου είναι αποτελεσματικά στην καταπολέμηση παθογόνων μικροβίων. Υποστηρίζεται επιπλέον, ότι τα εν λόγω νανοσωματίδια, είναι δυνατό να προσφέρουν μια βιώσιμη λύση στην καταπολέμηση

του υπερβακτηρίου «χρυσίζων σταφυλόκοκκος ανθεκτικός στη μεθικιλίνη» (Methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*), όπως επίσης και στον ιό του HIV που προκαλεί το AIDS. Επιπρόσθετα, πιο σύνθετα νανοσωματίδια υποστηρίζεται ότι μπορούν να συμβάλλουν στην καταστροφή καρκινικών κυττάρων, είτε με την εγκατάστασή τους πάνω στα ίδια τα κύτταρα, είτε με την συμβολή τους στην μεταφορά φαρμάκων απευθείας στα μολυσμένα κύτταρα. Τέλος, καταγράφεται ότι η N-ET μπορεί να συμβάλλει στην κατασκευή αισθητήρων οι οποίοι θα προσφέρουν πληροφορίες για το αν ένας άνθρωπος έχει κάποιο συγκεκριμένο είδος καρκίνου με την χρήση λίγων μόνο σταγόνων αίματος (Kumar & Kumbhat, 2016).

Ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά προϊόντα

Οι Kumar & Kumbhat (2016) αναφέρουν ότι η ανάπτυξη των ηλεκτρονικών συσκευών βασισμένων στη νανοτεχνολογία προέκυψε ως μια φυσική συνέχεια εξαιτίας της εξέλιξης της μικροτεχνολογίας. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάστηκε η ανάγκη να περιέχονται μέσα στα ηλεκτρονικά τσιπ ολοένα και περισσότερα εξαρτήματα ώστε να καθίστανται πιο ισχυρά. Κατά συνέπεια, τα εξαρτήματα αυτά ήταν απαραίτητο να γίνουν μικρότερα σε μέγεθος. Υπό την οπτική αυτή, τα τρανζίστορ τα οποία είχαν παλαιότερα μέγεθος μερικά μικρόμετρα, σήμερα έχουν μέγεθος μερικά νανόμετρα (νανοτρανζίστορ). Η N-ET έχει επηρεάσει πολυάριθμους τομείς της ηλεκτρονικής, μεγαλύτερη όμως επίδραση φαίνεται πως έχει στους κβαντικούς υπολογιστές, στα νανοηλεκτρικά μηχανικά συστήματα και στις οθόνες νέας τεχνολογίας.

Σύμφωνα με του ίδιους ερευνητές, όσον αφορά τους κβαντικούς υπολογιστές υποστηρίζεται ότι θα συμβάλλουν δραματικά στην αύξηση της ταχύτητας των βάσεων δεδομένων καθώς και του Διαδικτύου, προσφέροντας παράλληλα νέες μεθόδους στους υπολογιστικούς χειρισμούς. Τα νανοηλεκτρικά μηχανικά συστήματα, αποτελούν μηχανές σε μέγεθος νάνο, οι οποίες είναι ικανές να εκτελέσουν απλές εργασίες. Οι μηχανές αυτές μπορούν να έχουν εφαρμογή σε ένα ευρύ φάσμα πεδίων, για παράδειγμα στον χειρισμό περιβαλλοντικών ζητημάτων ή στην ιατρική με την κατασκευή νανορομπότ τα οποία καταστρέφουν καρκινικά κύτταρα ή επιδιορθώνουν τους ιστούς. Όσον αφορά τις οθόνες οι οποίες έχουν ενσωματωμένες νανοδομές, όπως νανοσωλήνες άνθρακα είναι αποδοτικότερες και πιο ελαφριές. Επιπλέον, ένα νέο είδος είναι οι οθόνες με ταινίες οργανικών ημιαγωγών (organic semiconductor film). Τα ημιαγωγία

υλικά που χρησιμοποιούνται είναι είτε οργανικά πολυμερή, είτε πολυμερή βασισμένα στον άνθρακα. Υποστηρίζεται ότι, τέτοιου είδους ταινίες τα επόμενα χρόνια θα είναι δυνατό να τυπώνονται ως πλαστικό, παρέχοντας εύκαμπτες και φθηνές οθόνες. Στον πίνακα 1.2 παρουσιάζονται συνοπτικά επιπλέον εφαρμογές της N-ET.

Πίνακας 1.2. Επιπλέον παραδείγματα εφαρμογών της N-ET (Kumar & Kumbhat, 2016)

Πεδίο	Εφαρμογή της N-ET
Προστασία του περιβάλλοντος	Αποκατάσταση του εδάφους και του νερού που έχουν εκτεθεί σε εντομοκτόνα με βάση χλωριωμένους υδρογονάνθρακες
Ενέργεια	Πιο αποτελεσματικές κυψέλες καυσίμου, αυξάνοντας την ικανότητα αποθήκευσης και πιο γρήγορη κινητική απορρόφηση του υδρογόνου
Υγεία	Αποτελεσματικότερες διαδικασίες διάγνωσης, θεραπείας και στενευμένες διανομές φαρμάκων
Άμυνα	Αντιβαλλιστική προστασία, μυστική τεχνολογία (stealth Technology)
Εναέριος χώρος	Κατασκευή αεροσκαφών με υλικά που επιβραδύνουν την ανάφλεξη του εσωτερικού τους χώρου
Αθλητικός εξοπλισμός	Πιο ισχυρά και ευέλικτα υλικά όμως ρακέτες του τένις και ποδήλατα

1.3. Το περιεχόμενο της N-ET στις τρεις βαθμίδες εκπαίδευσης

Μια από τις μεγαλύτερες προκλήσεις του 21^{ου} αιώνα στον χώρο της εκπαίδευσης θεωρείται η εισαγωγή της N-ET σε όλες τις βαθμίδες της εκπαίδευσης (Roco, 2003). Το ερώτημα που τίθεται όμως είναι: «ποιες είναι οι έννοιες της N-ET οι οποίες είναι κατάλληλες να διδαχθούν σε κάθε βαθμίδα της εκπαίδευσης;». Τα πρώτα βήματα για να απαντηθεί το ερώτημα αυτό έχουν ήδη ξεκινήσει, σε μεγαλύτερο βαθμό στην τριτοβάθμια και στην δευτεροβάθμια εκπαίδευση ενώ σε μικρότερο στην πρωτοβάθμια εκπαίδευση. Στην βιβλιογραφία εντοπίζεται ο όρος *Μεγάλες Ιδέες* της N-ET (MIς) (Big Ideas). Ως *Μεγάλες Ιδέες* θεωρούνται οι ιδέες αυτές οι οποίες είναι βασικές/ θεμελιώδεις για ένα περιεχόμενο. Παρέχουν ένα πλαίσιο το οποίο συμβάλλει στην δόμηση μιας μακρόχρονης εννοιολογικής κατανόησης από τους μαθητές για το εν λόγω

περιεχόμενο. Όπως αναφέρουν οι Stevens et al. (2009: XII), «Οι Μεγάλες Ιδέες συμβάλλουν στο να γίνει η κατανόηση προοδευτικά πιο φιλοσοφημένη (*refined*), να εξελιχθεί και να επεκταθεί (*elaborate*). Παρέχουν σε οποιοδήποτε περιεχόμενο τα θεμέλια πάνω στα οποία μπορεί να οικοδομηθεί στο μέλλον μια πιο εξειδικευμένη μάθηση».

Στις παρακάτω ενότητες παρουσιάζονται συγκεκριμένες προτάσεις διδασκαλίας και μάθησης σχετικές με το περιεχόμενο της N-ET στη Γ/θμια, στη Β/θμια και στην Α/θμια εκπαίδευση. Αρχικά, περιγράφονται οι *Μεγάλες Ιδέες* της N-ET για την Γ/θμια εκπαίδευση καθώς και το μοντέλο της αλυσίδας P-N-P-A (Processing-Nanostructure- Properties- Applications) το οποίο αντανακλά το περιεχόμενο των *Μεγάλων Ιδεών*. Έπειτα παρουσιάζονται οι *Μεγάλες Ιδέες* για το περιεχόμενο της N-ET στην Β/θμια εκπαίδευση. Στη συνέχεια παρουσιάζεται το περιεχόμενο της N-ET στην Α/θμια εκπαίδευση, καθώς και έρευνες για τη διδασκαλία της N-ET στην τυπική και άτυπη πρωτοβάθμια εκπαίδευση, εστιάζοντας στο περιεχόμενο της N-ET. Στη βιβλιογραφία εντοπίζονται περισσότερα επιστημονικά άρθρα και βιβλία σχετικά με τη διδασκαλία του περιεχομένου της N-ET στη Γ/θμια και στη Β/θμια εκπαίδευση, ενώ λιγότερα για την Α/θμια. Επισημαίνεται όμως πως τόσο στη διεθνή βιβλιογραφία (Blonder & Sakhnini, 2016) όσο και στην ελληνική βιβλιογραφία (Μάνου, Σπύρτου, Χατζηκρانيώτης & Καριώτογλου, 2015· Σταύρου, 2015· Σγουρός & Σταύρου, 2015) έχει ήδη ανοίξει η συζήτηση για το περιεχόμενο της N-ET μεταξύ των τριών βαθμίδων της εκπαίδευσης.

1.3.1. Η N-ET στη Τριτοβάθμια εκπαίδευση

Το περιεχόμενο της N-ET για την τριτοβάθμια εκπαίδευση περιλαμβάνει 9 *Μεγάλες Ιδέες* (ΜΙς) οι οποίες περιγράφονται συνοπτικά ακολούθως (Μάνου και συν., 2015· Wansom, Mason, Hersam, Drane, Light, Cormia, Stevens & Bodner, 2009).

MII- Μέγεθος και κλίμακα: Το μέγεθος και η κλίμακα, μπορούν να συμβάλλουν στην περιγραφή της ύλης και στην πρόβλεψη της συμπεριφοράς της. Για παράδειγμα, ένας στόχος σχετικός με το μέγεθος και την κλίμακα στην Γ/θμια εκπαίδευση είναι να μπορούν οι μαθητές να εκτιμούν και να συγκρίνουν το μέγεθος αντικειμένων σε όλες τις κλίμακες.

MI2- Λόγος εμβαδόν επιφάνειας / όγκος (SA/V): Καθώς το μέγεθος ενός αντικειμένου προσεγγίζει τη νανοκλίμακα, ο λόγος των ατόμων που βρίσκονται στην επιφάνεια σε σχέση με τα συνολικά άτομά του (SA/V) αυξάνεται σημαντικά. Ο λόγος SA/V είναι υπεύθυνος για τις μοναδικές και καινοτόμες ιδιότητες και συμπεριφορές, οι οποίες εμφανίζονται στη νανοκλίμακα.

MI3- Συμπεριφορά που κυριαρχείται από την επιφάνεια (surface dominated behavior): Οι αλληλεπιδράσεις είναι δυνατό να περιγραφούν με διάφορα είδη δυνάμεων. Η σχετική επίδραση όμως των δυνάμεων αυτών αλλάζει από κλίμακα σε κλίμακα. Για παράδειγμα, στη νανοκλίμακα κυριαρχούν οι ηλεκτρικές δυνάμεις, όπως οι Wan der Waals μεταξύ των αλληλεπιδράσεων των αντικειμένων.

MI4- Αυτοοργάνωση: Η αυτοοργάνωση αφορά την αυθόρμητη συγκρότηση ορισμένων υλικών σε οργανωμένες δομές κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες. Αυτό προσφέρει ένα χρήσιμο μέσο για τον χειρισμό της ύλης στη νανοκλίμακα. Για παράδειγμα, κάτω ειδικές θερμικές και χημικές συνθήκες, υπό την παρουσία καταλυτικών σωματιδίων, οι νανοσωλήνες άνθρακα αυτοοργανώνονται σε μεγάλα μήκη.

MI5- Κβαντική Μηχανική: Καθώς το μέγεθος ενός αντικειμένου πλησιάζει τη νανοκλίμακα, η κλασική μηχανική δε μπορεί να εξηγήσει τη συμπεριφορά της ύλης, και απαιτείται η χρήση της κβαντικής φυσικής. Για παράδειγμα, οι μαθητές για να κατανοήσουν έννοιες σχετικές με τις εξαρτώμενες από το μέγεθος ιδιότητες, ή την λειτουργία των οργάνων της N-ET χρειάζεται να γνωρίζουν έννοιες της κβαντικής μηχανικής.

MI6- Ιδιότητες που εξαρτώνται από το μέγεθος: Οι ιδιότητες της ύλης μπορούν να αλλάξουν καθώς αλλάζει το μέγεθος και η κλίμακα. Συγκεκριμένα, καθώς το μέγεθος ενός υλικού πλησιάζει τη νανοκλίμακα, εμφανίζει νέες ιδιότητες που οδηγούν σε νέες λειτουργίες. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αλλαγής ιδιοτήτων ανάλογα με την κλίμακα αποτελεί ο χρυσός, ο οποίος στην μακροκλίμακα και στη μικροκλίμακα έχει λαμπερό χρυσό χρώμα ενώ στη νανοκλίμακα έχει διάφορα χρώματα όπως μπλε ή κόκκινο.

MI7- Εργαλεία και Όργανα/ Χαρακτηρισμός: Η πρόσφατη ανάπτυξη των ειδικών εργαλείων όπως των ηλεκτρονικών μικροσκοπίων, έχει οδηγήσει σε νέα επίπεδα κατανόησης της ύλης, συμβάλλοντας στην μελέτη και στον χειρισμό της ύλης σε διαστάσεις της νανοκλίμακας με ακρίβεια. Μάλιστα θεωρείται ιδιαίτερα σημαντικό οι

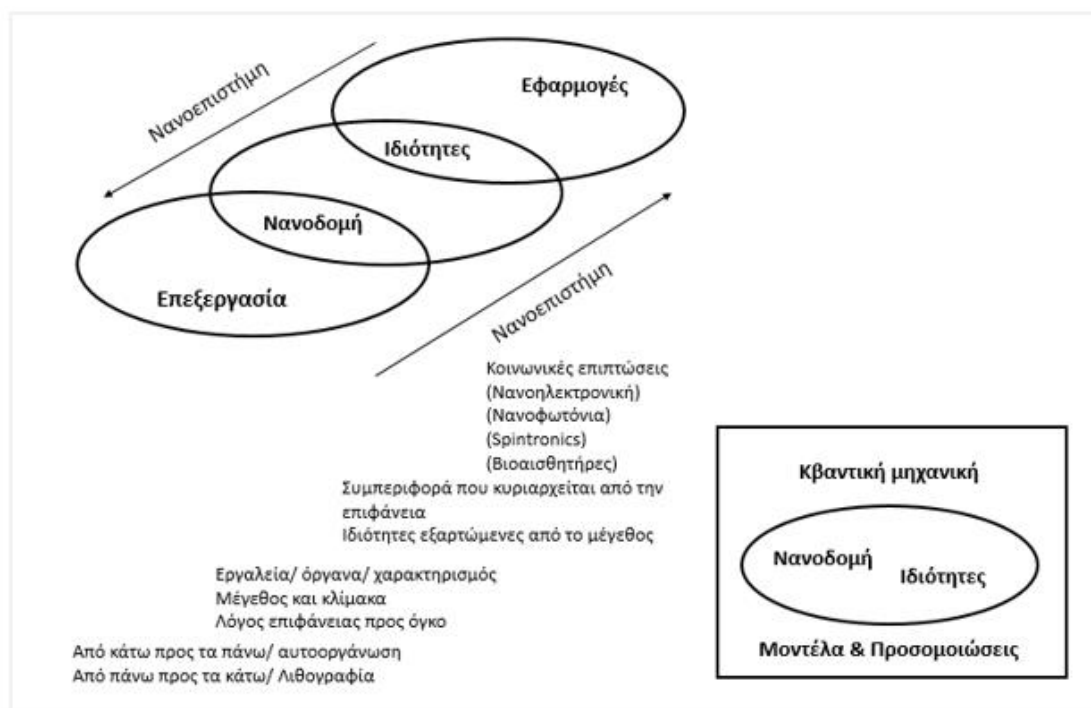
μαθητές να έρθουν σε επαφή με εργαλεία και όργανα της N-ET σε περίπτωση που επιθυμούν να ακολουθήσουν μια σχετική καριέρα.

MI8- Μοντέλα και προσομοιώσεις: Τα αντικείμενα και τα φαινόμενα της N-ET είναι πολύ μικρά σε μέγεθος και θεωρούνται ιδιαίτερα μακριά από την αισθητηριακή μας αντίληψη. Έτσι, τα μοντέλα και οι προσομοιώσεις είναι ζωτικής σημασίας για την κατανόηση, απεικόνιση και πρόβλεψη της συμπεριφοράς της ύλης στη νανοκλίμακα. Επιπλέον, συμβάλλουν καθοριστικά στην εργασία των μηχανικών για τον σχεδιασμό και την κατασκευή υλικών και διατάξεων με δομές της νανοκλίμακας.

MI9- Κοινωνικές επιπτώσεις: Οι κοινωνικές επιπτώσεις αφορούν ζητήματα νανογραμματισμού και ηθικής που σχετίζονται με τις θετικές και αρνητικές επιπτώσεις της νανοτεχνολογίας στον άνθρωπο και στο περιβάλλον. Για παράδειγμα, οι εφαρμογές της N-ET θεωρείται από τη μια ότι μπορούν να συμβάλλουν στην βελτίωση της ποιότητας της ζωής, για παράδειγμα σε θέματα βελτίωσης της ποιότητας του νερού, στην υγεία ή στην βιώσιμη ενέργεια. Από την άλλη όμως, δεν είναι ακόμα τεκμηριωμένο κατά πόσο τα τεχνητά νανοαντικείμενα είναι επιβλαβή για τον άνθρωπο και το περιβάλλον.

Οι Wansom, Hersam, Drane, Light, Cormia & Bodner (2009) υποστηρίζουν ότι για την τριτοβάθμια εκπαίδευση είναι απαραίτητη η σύνδεση του περιεχομένου της N-ET, το οποίο παρουσιάστηκε παραπάνω, με το περιεχόμενο της επιστήμης των υλικών (Material Science Education). Υπό την οπτική αυτή, οργάνωσαν τις 9 *Μεγάλες Ιδέες* της N-ET γύρω από 4 βασικές περιοχές της επιστήμης των υλικών και ανέπτυξαν το πλαίσιο P-N-P-A (Processing-Nanostructure-Properties- Applications) το οποίο μεταφράζουμε ως E- N- I- E (Επεξεργασία- Νανοδομή- Ιδιότητες- Εφαρμογές) (εικόνα 1.12). Στο πλαίσιο αυτό, η επεξεργασία αφορά το πώς κατασκευάζονται τα νανοϋλικά. Η νανοδομή σχετίζεται με το πώς η δομή των νανο-οντοτήτων μπορεί να αναπαρασταθεί και να χαρακτηριστεί. Οι ιδιότητες έχουν να κάνουν με τα αποτελέσματα των εξαρτώμενων από το μέγεθος ιδιοτήτων, καθώς και με τα αποτελέσματα των ιδιοτήτων που εξαρτώνται από την επιφάνεια των υλικών ή των συσκευών που ενσωματώνουν νανοδομές. Οι εφαρμογές αφορούν το πώς τα νανοϋλικά και οι νανosuσκευές μπορούν να σχεδιαστούν και να κατασκευαστούν προς όφελος της κοινωνίας.

Από την εικόνα 1.13 φαίνεται πως οι *Μεγάλες Ιδέες* «κβαντική μηχανική» και τα «μοντέλα και προσομοιώσεις» διαχωρίζονται από την αλυσίδα του πλαισίου E- N- I- E για να επισημάνουν οι ερευνητές ότι οι αυτές οι δυο *Μεγάλες Ιδέες* είναι κομβικές για το περιεχόμενο της N-ET και περιλαμβάνονται σε κάθε κρίκο της αλυσίδας. Μάλιστα αυτές οι δύο *Μεγάλες Ιδέες* αποτελούν θεμελιακές έννοιες για την κατανόηση της N-ET.



Εικόνα 1.13. Το πλαίσιο E- N- I- E (προσαρμογή από Wansom et al., 2009: 620)

Τέλος, η διεπιστημονικότητα των *Μεγάλων Ιδεών* αποτυπώνεται στην εικόνα 1.13 μέσα από τις τομές που παρατηρούνται μεταξύ των τεσσάρων βασικών περιοχών του πλαισίου E- N- I- E.

1.3.2. Η N-ET στη Δευτεροβάθμια εκπαίδευση

Για τον καθορισμό του περιεχομένου της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης το 2006-2007, επιστήμονες από διαφορετικά επιστημονικά πεδία, εκπαιδευτικοί των ΦΕ και επιστήμονες της Διδακτικής των ΦΕ (ΔΦΕ), συμμετείχαν σε μια σειρά σεμιναρίων προκειμένου να συζητήσουν, να επιχειρηματολογήσουν και να καταλήξουν στις *Μεγάλες Ιδέες* της N-ET. Από τα σεμινάρια αυτά προέκυψε συμφωνία για εννιά

Μεγάλες Ιδέες (Πέικος, Μάνου, Σπύρτου, 2015· Μάνου & Σπύρτου, 2015· Stevens et al., 2009). Παρακάτω περιγράφονται αναλυτικά οι *Μεγάλες Ιδέες* καθώς και οι μαθησιακοί στόχοι για κάθε μια από αυτές όπως αποτυπώνονται από τους Stevens et al. (2009).

M11: Μέγεθος και κλίμακα

Σύμφωνα με τους Stevens et al. (2009) παράγοντες σχετικοί με το μέγεθος και την γεωμετρία (όπως το σχήμα και η κλίμακα) βοηθούν στην περιγραφή της ύλης και στην πρόβλεψη της συμπεριφοράς της. Με την κατανόηση των εννοιών αυτών, είναι δυνατό να εκτιμά κανείς και να συγκρίνει τα μεγέθη των αντικειμένων σε όλες τις κλίμακες και όχι μόνο αυτών που ανήκουν μόνο στη μακροκλίμακα ή στη μικροκλίμακα. Για τη *Μεγάλη Ιδέα* «μέγεθος και κλίμακα» προτείνονται έξι μαθησιακοί στόχοι (learning goals).

Πρώτος στόχος είναι οι μαθητές να κατανοήσουν ότι για να υπολογίσουν το μέγεθος ενός αντικειμένου, είναι ανάγκη να το συγκρίνουν με ένα αντικείμενο αναφοράς (Stevens et al., 2009). Ως αντικείμενα αναφοράς χαρακτηρίζονται κάποια υποδείγματα (exemplars) αντικειμένων για ένα εύρος μεγεθών (Tretter, Jones, Andre, Negishi & Minogue, 2006). Για τον πρώτο στόχο οι Stevens et al. (2009) περιλαμβάνουν ειδικούς στόχους οι οποίοι χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: α) ειδικοί στόχοι πριν την μάθηση αναλογικών συλλογισμών και β) ειδικοί στόχοι μετά την μάθηση αναλογικών συλλογισμών. Όσον αφορά τους στόχους πριν την μάθηση των αναλογικών συλλογισμών αναφέρεται ότι οι μαθητές πρέπει να είναι ικανοί: α) να μετρούν ένα αντικείμενο και να εξηγούν γιατί χρησιμοποιούν ένα άλλο αντικείμενο ως αντικείμενο αναφοράς ή μια μονάδα μέτρησης, για να προσδιορίσουν το μέγεθος του, β) να περιγράφουν το μέγεθος των αντικειμένων με διαφορετικούς τρόπους, γ) να μετρούν ποσότητες αντικειμένων όπως το μήκος και τον όγκο, δ) να εκτιμούν το μέγεθος αντικειμένων με βάση ένα αντικείμενο αναφοράς ή μια μονάδα αναφοράς (standardised unit), για παράδειγμα, το μήκος του μυρμηγκιού είναι περίπου 200 φορές μικρότερο από τον άνθρωπο, ε) να χρησιμοποιούν την κλίμακα για να προσδιορίζουν το μέγεθος αντικειμένων σε εικόνες, ζ) να χρησιμοποιούν την κλίμακα σε χάρτες για να υπολογίζουν την απόσταση μεταξύ σημείων.

Όσον αφορά τους επιμέρους στόχους μετά την μάθηση των αναλογικών συλλογισμών, αναφέρεται ότι οι μαθητές χρειάζεται α) να συσχετίζουν τα σχετικά μεγέθη δύο αντικειμένων με τα απόλυτα μεγέθη τους, β) να υπολογίζουν τα σχετικά μεγέθη σε δύο και τρεις διαστάσεις, π.χ. εμβαδόν, όγκο, γ) να εξηγούν πώς ένα δισδιάστατο μέγεθος όπως το εμβαδόν και ένα τρισδιάστατο όπως ο όγκος αλλάζει με βάση την αλλαγή του μήκους μιας διάστασης.

Δεύτερος στόχος, είναι οι μαθητές να κατανοήσουν ότι υπάρχουν μη ορατοί με γυμνό μάτι κόσμοι (μικρόκοσμος, νανόκοσμος, ατομικός και μοριακός κόσμος) καθένας από τους οποίους μπορεί να χαρακτηρίζεται από αντικείμενα αναφοράς (Stevens et al., 2009). Για παράδειγμα, αντικείμενο αναφοράς του μακρόκοσμου είναι ο άνθρωπος, του μικρόκοσμου το κύτταρο και του νανόκοσμου η διάμετρος της διπλής έλικας του DNA (Stevens, et al., 2009· Tretter et al., 2006). Επιπλέον, οι μαθητές πρέπει να συσχετίζουν το μέγεθος των αντικειμένων μεταξύ των κόσμων ποιοτικά και ποσοτικά καθώς και να ονομάζουν αντικείμενα αναφοράς για τον κάθε κόσμο.

Τρίτος στόχος για το μέγεθος και την κλίμακα, είναι να αναγνωρίζουν οι μαθητές ότι το μέγεθος ενός αντικειμένου μπορεί να αναπαρασταθεί με διάφορους τρόπους ποιοτικά και ποσοτικά. Πιο συγκεκριμένα, οι μαθητές χρειάζεται να αναπαριστούν έναν αριθμό με διαφορετικούς τρόπους, π.χ. με κλάσμα ή με δεκαδικό, καθώς και να είναι ικανοί να επιχειρηματολογούν για τα πλεονεκτήματα ή τα μειονεκτήματα του κάθε τρόπου αναπαράστασης.

Τέταρτος στόχος, είναι οι μαθητές να διαπιστώσουν ότι αλλαγές στην κλίμακα μπορούν επιφέρουν αλλαγές στον τρόπο με τον οποίο τα φαινόμενα λειτουργούν και συμπεριφέρονται. Πιο συγκεκριμένα, χρειάζεται να συσχετίζουν την λειτουργία ενός συστήματος ή ενός αντικειμένου με το μέγεθός του, καθώς και να εξηγούν ότι όταν ένα σύστημα αλλάζει κλίμακα, αλλάζει και ο τρόπος λειτουργίας του.

Πέμπτος στόχος είναι οι μαθητές να κατανοήσουν ότι ο λόγος του εμβαδού της επιφάνειας προς τον όγκο ενός αντικειμένου εξαρτάται από το μέγεθος και το σχήμα του. Πιο συγκεκριμένα, οι μαθητές πρέπει να είναι ικανοί να εξηγούν ποιοτικά ότι οι αλλαγές στο μέγεθος του αντικειμένου επιφέρουν αλλαγές στο ποσό της συνολικής επιφάνειας που εκτίθεται στο περιβάλλον. Για παράδειγμα, τεμαχίζοντας ένα αντικείμενο σε μικρότερα κομμάτια, αποκαλύπτονται νέες επιφάνειες επαφής.

Επιπλέον, οι μαθητές πρέπει να μπορούν να εξηγούν με ποσοτικό τρόπο, φαινόμενα σχετικά με τον λόγο εμβαδού επιφάνειας προς τον όγκο.

MI2: Δομή της ύλης

«Τα υλικά αποτελούνται από δομικά κομμάτια τα οποία σχηματίζουν μια ιεραρχία από δομές. Τα άτομα αλληλεπιδρούν μεταξύ τους και σχηματίζουν μόρια. Το επόμενο ιεραρχικό επίπεδο οργάνωσης περιλαμβάνει άτομα, μόρια ή νανοδομές που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους, σχηματίζοντας οργανώσεις νανοκλίμακας και νανοδομές» (Stevens et al., 2009: 87). Για τη Μεγάλη Ιδέα «δομή της ύλης», προτείνονται από τους Stevens et al. (2009) τρεις μαθησιακοί στόχοι.

Πρώτος στόχος, είναι οι μαθητές να κατανοήσουν, ότι θεμελιακό δομικό στοιχείο της της ύλης είναι τα άτομα. Επίσης, η δομή των ατόμων (the structure of atoms) επηρεάζει το πώς αυτά αλληλεπιδρούν για να σχηματίσουν οργανώσεις (organized assemblies) και δομές όπως μόρια και νανοσωματίδια. Πιο συγκεκριμένα, οι μαθητές χρειάζεται α) να περιγράφουν την κίνηση που εμφανίζουν τα σωματίδια, β) να εξηγούν τη σχέση της κίνησης των σωματιδίων με την θερμότητα, γ) να εξηγούν και να αξιολογούν τα διαφορετικά μοντέλα που περιγράφουν την συμπεριφορά των ηλεκτρονίων ως προς την χρησιμότητά τους.

Δεύτερος στόχος είναι οι μαθητές να αναγνωρίσουν ότι οι ιδιότητες των δομικών κομματιών επηρεάζουν τον συνδυασμό τους με άλλα δομικά κομμάτια, κάτι που επηρεάζει τις ιδιότητες του υλικού στο σύνολό του. Οι μαθητές χρειάζεται να εξηγούν α) πώς ένας τύπος δομικών κομματιών επηρεάζει την λειτουργία και τις ιδιότητες ολόκληρου του υλικού, β) ποια σχέση έχουν οι ιδιότητες των δομικών κομματιών με τις ιδιότητες όλου του υλικού.

Τρίτος στόχος είναι οι μαθητές να κατανοήσουν ότι πολλά υλικά αποτελούνται από ιεραρχικές δομές. Προτείνεται οι μαθητές να απαντούν σε ερωτήσεις σχετικές με: α) τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα από την χρήση δομικών κομματιών σε μέγεθος νανοκλίμακας, β) τον τρόπο μέτρησης και σύγκρισης της αντοχής των υλικών.

Μ13: Δυνάμεις και αλληλεπιδράσεις

Όλες οι αλληλεπιδράσεις μπορούν να περιγραφούν από πολλαπλούς τύπους δυνάμεων, η σχετική όμως επίδραση του κάθε τύπου δύναμης αλλάζει με την κλίμακα. Συγκεκριμένα, ενώ στην μακροκλίμακα η βαρύτητα υπερτερεί, στη νανοκλίμακα οι ηλεκτρικές δυνάμεις είναι αυτές που καθορίζουν τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των αντικειμένων. Για τη *Μεγάλη Ιδέα* «δυνάμεις και αλληλεπιδράσεις» προτείνονται πέντε μαθησιακοί στόχοι (Stevens et al., 2009)

Πρώτος στόχος είναι οι μαθητές να κατανοήσουν ότι μικρά αντικείμενα, όπως άτομα, μόρια και νανοσωματίδια, αλληλεπιδρούν μεταξύ τους με πολλούς τρόπους. Οι αλληλεπιδράσεις αυτές βασίζονται σε ηλεκτρικές δυνάμεις, οι οποίες χρησιμοποιούνται για την περιγραφή των αλληλεπιδράσεων αυτών στην νανοκλίμακα. Πιο συγκεκριμένα, οι μαθητές μεταξύ άλλων πρέπει να είναι ικανοί α) να εξηγούν τον ρόλο των ηλεκτρονίων στους διαφορετικούς τρόπους με τους οποίους τα άτομα αλληλεπιδρούν, β) να εξηγούν την διαφορετική συμπεριφορά των ηλεκτρονίων σε διαφορετικούς τύπους αλληλεπιδράσεων, γ) να προβλέπουν τι είδους αλληλεπιδράσεις θα προκύψουν μεταξύ ενός συγκεκριμένου είδους ατόμων ή μορίων.

Δεύτερος στόχος είναι να καταλάβουν ότι τα χαρακτηριστικά των οντοτήτων που αλληλεπιδρούν επηρεάζουν τον σχηματισμό (formation) και την λειτουργία των οργανώσεων (assemblies). Πιο συγκεκριμένα, προτείνεται οι μαθητές να εξηγούν με βάση την γνώση τους για τις ηλεκτρικές δυνάμεις, γιατί κάποια υπομικροσκοπικά αντικείμενα, δομές και οργανώσεις αλληλεπιδρούν ενώ άλλες όχι. Επιπλέον, οι μαθητές χρειάζεται να εξηγούν γιατί οι ηλεκτρικές δυνάμεις επηρεάζουν τις ιδιότητες και την λειτουργία δομών, όπως των μορίων του νερού, των πρωτεϊνών και του DNA.

Τρίτος στόχος είναι οι μαθητές να κατανοήσουν ότι «πολλοί παράγοντες συμπεριλαμβανομένων των χαρακτηριστικών των αντικειμένων που αλληλεπιδρούν και του περιβάλλοντος, παίζουν ρόλο στην διαμόρφωση και στο πόσο ισχυρή είναι κάθε αλληλεπίδραση (Stevens et al., 2009: 108). Πιο συγκεκριμένα, χρειάζεται να απαντούν σε ερωτήσεις όπως: «ποιες περιβαλλοντικές μεταβλητές επηρεάζουν τις αλληλεπιδράσεις στην υπομικροσκοπική κλίμακα και πώς τις επηρεάζουν»;

Τέταρτος στόχος είναι οι μαθητές να διαπιστώσουν ότι οι ηλεκτρικές δυνάμεις είναι απαραίτητες για την εξήγηση και μακροσκοπικών φαινομένων. Επιπλέον, πρέπει να είναι ικανοί να εφαρμόζουν την γνώση αυτή για να εξηγούν μακροσκοπικά

φαινόμενα της καθημερινότητας. Οι μαθητές καλούνται να συνδέσουν την γνώση τους για τις ηλεκτρικές δυνάμεις (πρώτος στόχος) με τις αλληλεπιδράσεις που κυριαρχούν στη μακροκλίμακα. Έτσι, προτείνεται να απαντούν σε ερωτήσεις όπως: «όταν τρίβουμε ένα μπαλόνι σε χαλί και το ακουμπήσουμε στο ταβάνι μένει εκεί για ώρα. Τι συμβαίνει όταν τρίβουμε το μπαλόνι στο χαλί και γιατί μένει το μπαλόνι κολλημένο στο ταβάνι»;

Πέμπτος στόχος είναι να κατανοήσουν οι μαθητές ότι μια ολοκληρωμένη περιγραφή μιας αλληλεπίδρασης περιλαμβάνει και τις δυνάμεις που τη διέπουν και τις αλλαγές της ενέργειας για ολόκληρο το σύστημα.

M14: Κβαντικά φαινόμενα

Διαφορετικά μοντέλα εξηγούν και προβλέπουν τη συμπεριφορά της ύλης βασιζόμενα στην κλίμακα. Για παράδειγμα, όταν το μέγεθος ενός αντικειμένου γίνεται μικρότερο και προσεγγίζει τις διαστάσεις της νανοκλίμακας, τα κβαντικά φαινόμενα γίνονται σημαντικότερα. Οι Stevens et al. (2009) για τη *Μεγάλη Ιδέα* «κβαντικά φαινόμενα» προτείνουν τέσσερις μαθησιακούς στόχους.

Πρώτος στόχος είναι οι μαθητές να κατανοήσουν ότι η ύλη στις πολύ μικρές διαστάσεις συμπεριφέρεται σαν κύμα και σαν σωματίδιο. Καθώς ένα αντικείμενο μικραίνει και φτάνει σε μέγεθος της νανοκλίμακας ο κυματικός χαρακτήρας της ύλης αυξάνεται και είναι απαραίτητη η κβαντική μηχανική για να εξηγήσεις και να προβλέψει την συμπεριφορά του.

Δεύτερος στόχος είναι οι μαθητές να αναγνωρίσουν ότι μόνο ένα διακριτό ποσό ύλης μπορεί να εισέλθει ή να εξέλθει από ατομικά ή υποατομικά συστήματα καθώς και από πολλά συστήματα νανοκλίμακας.

Τρίτος στόχος είναι οι μαθητές να διαπιστώσουν ότι είναι αδύνατο να παρατηρήσουμε τι συμβαίνει με ακρίβεια στην ύλη στην νανοκλίμακα, στην ατομική κλίμακα και στην υποατομική κλίμακα.

Τέταρτος στόχος είναι οι μαθητές να κατανοήσουν ότι η κβαντική συμπεριφορά των ηλεκτρονίων βοηθά στο να εξηγήσουμε την διάταξη (arrangement) των στοιχείων στον περιοδικό πίνακα.

MI5: Ιδιότητες εξαρτώμενες από το μέγεθος

Οι ιδιότητες της ύλης μπορούν να αλλάξουν με την κλίμακα. Πιο συγκεκριμένα, κατά τη μετάβαση ενός υλικού από τη μακροκλίμακα στη νανοκλίμακα, οι ιδιότητές του αλλάζουν απροσδόκητα και το υλικό αποκτά νέα λειτουργικότητα. Για τη *Μεγάλη Ιδέα* «ιδιότητες εξαρτώμενες από το μέγεθος» οι Stevens et al (2009) καταγράφουν τρεις μαθησιακούς στόχους.

Πρώτος στόχος, είναι οι μαθητές να κατανοήσουν ότι ο λόγος της επιφάνειας προς τον όγκο ενός αντικειμένου αυξάνεται καθώς το αντικείμενο γίνεται μικρότερο. Όταν ένα αντικείμενο φτάνει στην νανοκλίμακα τα άτομα της επιφάνειας του αυξάνονται κατά πολύ και οι σχετικές με την επιφάνεια ιδιότητες γίνονται σημαντικότερες.

Δεύτερος στόχος, είναι οι μαθητές να διαπιστώσουν ότι ορισμένες χαρακτηριστικές ιδιότητες της ύλης αλλάζουν μαζί με το μέγεθος, ειδικά όταν το μέγεθος της κλίμακας προσεγγίζει την ατομική κλίμακα. Για παράδειγμα, ο χρυσός όταν μεταφέρεται στην νανοκλίμακα αλλάζει χρώμα.

Τρίτος στόχος, είναι οι μαθητές να κατανοήσουν ότι στο σχήμα των νανοδομών αποδίδεται η ύπαρξη μοναδικών ιδιοτήτων. Για παράδειγμα τα νανοσωματίδια ασημιού έχουν σφαιρικό σχήμα και είναι μπλε, ενώ νανοσωματίδια με τετράγωνο σχήμα είναι κόκκινα και με πεντάγωνο είναι πράσινα.

MI6: Αυτοοργάνωση

Κάτω από ειδικές συνθήκες κάποια υλικά μπορούν αυθόρμητα να συναθροιστούν δημιουργώντας οργανωμένες δομές. Η διαδικασία αυτή είναι πολύ σημαντική στην νανοκλίμακα για τον χειρισμό των υλικών. Για τη *Μεγάλη Ιδέα* «αυτοοργάνωση» οι Stevens et al (2009) καταγράφουν τρεις μαθησιακούς στόχους.

Πρώτος στόχος, είναι οι μαθητές να είναι ικανοί ορίζουν και να περιγράφουν την διαδικασία της αυτοοργάνωσης και να δίνουν συγκεκριμένα παραδείγματα. Χρειάζεται επιπλέον να περιγράφουν το φαινόμενο της αυτοοργάνωσης σε μοριακό επίπεδο με βάση τις ηλεκτρικές δυνάμεις.

Δεύτερος στόχος, είναι οι μαθητές να κατανοήσουν ότι υπάρχουν πολλοί παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν την διαδικασία της αυτοοργάνωσης. Για παράδειγμα, τέτοιοι παράγοντες μπορεί να είναι η δομή, η σύσταση, η κίνηση και οι ιδιότητες των

συστατικών που αυτοοργανώνονται καθώς και το περιβάλλον μέσα στο οποίο συμβαίνει η αυτοοργάνωση.

Τρίτος στόχος, είναι οι μαθητές να μπορούν να περιγράψουν τη διαδικασία της αυτοοργάνωσης με όρους δυνάμεων και ενέργειας.

MI7: Εργαλεία και όργανα

Η ανάπτυξη νέων εργαλείων και οργάνων συμβάλλει στην επιστημονική πρόοδο. Για παράδειγμα, η ανάπτυξη εξειδικευμένων εργαλείων όπως τα ηλεκτρονικά μικροσκόπια οδηγούν σε νέα επίπεδα κατανόησης της ύλης, βοηθώντας τους επιστήμονες στον εντοπισμό, στο χειρισμό, στη μέτρηση και στη διερεύνηση γενικότερα της ύλης στη νανοκλίμακα. Για τη *Μεγάλη Ιδέα* «εργαλεία και όργανα» καταγράφονται από τους Stevens et al. (2009) τέσσερις μαθησιακοί στόχοι.

Πρώτος στόχος, είναι οι μαθητές να κατανοήσουν ότι τα αντικείμενα της νανοκλίμακας είναι τόσο μικρά που δεν είναι ορατά με οπτικό μικροσκόπιο και είναι απαραίτητα εξειδικευμένα εργαλεία για τον εντοπισμό, την μέτρηση και την μελέτη τους. Επιπλέον, οι μαθητές χρειάζεται να αναφέρουν τους περιορισμούς των εργαλείων και των οργάνων για την μέτρηση ή την παρατήρηση της μακροκλίμακας και της μικροκλίμακας όπως χάρακας, μεγεθυντικός φακός, οπτικό μικροσκόπιο.

Δεύτερος στόχος, είναι οι μαθητές να διαπιστώσουν ότι επιστήμονες και μηχανικοί έχουν αναπτύξει ειδικά εργαλεία και τεχνικές για να χειρίζονται και να κατασκευάζουν δομές στην νανοκλίμακα. Οι μαθητές πρέπει να είναι ικανοί να εξηγούν γιατί είναι απαραίτητα τα εξειδικευμένα εργαλεία στην νανοκλίμακα και να δίνουν συγκεκριμένα παραδείγματα εργαλείων.

Τρίτος στόχος, είναι οι μαθητές να κατανοήσουν ότι ο νανόκοσμος υπήρχε στην φύση, όμως οι επιστήμονες δεν είχαν την δυνατότητα να τον μελετήσουν. Η μελέτη του νανόκοσμου της φύσης αλλά και η κατασκευή τεχνητών νανοδομών κατέστη δυνατή με την ανάπτυξη της τεχνολογίας και πιο συγκεκριμένα με την ανάπτυξη εξειδικευμένων και ευαίσθητων εργαλείων.

Τέταρτος στόχος, είναι οι μαθητές να καταλάβουν ότι για τη μελέτη και τον χειρισμό των νανοδομών, τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται αλληλεπιδρούν με κάθε άτομο ή νανοσωματίδιο μέσω ηλεκτρικών δυνάμεων.

M18: Μοντέλα και προσομοιώσεις

Οι επιστήμονες χρησιμοποιούν μοντέλα και προσομοιώσεις για την οπτικοποίηση, την ερμηνεία, την πρόβλεψη και την δημιουργία υποθέσεων για τις δομές, τις ιδιότητες και τις συμπεριφορές των φαινομένων. Το εξαιρετικά μικρό μέγεθος και η πολυπλοκότητα της νανοκλίμακας καθιστούν τα μοντέλα και τις προσομοιώσεις χρήσιμα για την μελέτη και τον σχεδιασμό φαινομένων στη νανοκλίμακα. Για τη *Μεγάλη Ιδέα* «μοντέλα και προσομοιώσεις» καταγράφονται από τους Stevens et al. (2009) δύο στόχοι.

Πρώτος στόχος, είναι οι μαθητές να κατανοήσουν ότι τα μοντέλα έχουν περιορισμούς στην ακρίβεια και στην χρηστικότητά τους. Πιο συγκεκριμένα, ένα μοντέλο μπορεί να έχει σχεδιαστεί για να αναπαραστήσει πολύ συγκεκριμένες όψεις ενός φαινομένου της νανοκλίμακας ή της ατομικής κλίμακας και να μην αναπαριστά άλλα χαρακτηριστικά του φαινομένου.

Δεύτερος στόχος, είναι οι μαθητές να κατανοήσουν ότι υπάρχουν πολλαπλοί τύποι μοντέλων. Για παράδειγμα υπάρχουν τα φυσικά μοντέλα, τα μοντέλα στον Η/Υ και τα μαθηματικά μοντέλα. Οι πολλαπλοί τύποι μοντέλων συμβάλλουν στο να οικοδομήσουμε καλύτερη κατανόηση, στο να κάνουμε προβλέψεις ή να θέτουμε ερωτήματα για τη συμπεριφορά της ύλης στη μακροκλίμακα, στη μικροκλίμακα και στη νανοκλίμακα.

M19: Επιστήμη-Τεχνολογία-Κοινωνία

Η εξέλιξη της επιστήμης προσφέρει εξηγήσεις για το πώς λειτουργεί ο κόσμος γύρω μας, ενώ η εξέλιξη της τεχνολογίας αξιοποιεί την γνώση της επιστήμης για να πετύχει στόχους, δώσει λύσεις σε προβλήματα και να απαντήσει σε ερωτήματα της κοινωνίας. Καθώς η N-ET είναι μια ανερχόμενη επιστήμη, μπορεί να διαδραματίσει έναν σημαντικό ρόλο στην επιστημονική πρόοδο και στη διαδικασία λήψης αποφάσεων για το πώς πρέπει να χρησιμοποιούνται οι νέες τεχνολογίες. Για τη *Μεγάλη Ιδέα* «επιστήμη-τεχνολογία- κοινωνία» καταγράφονται τέσσερις στόχοι από τους Stevens et al. (2009).

Πρώτος στόχος, είναι οι μαθητές να αναγνωρίσουν ότι η N-ET είναι ένα παράδειγμα της δυναμικής φύσης της επιστημονικής προόδου και της ανάπτυξης της τεχνολογίας. Προτείνεται οι μαθητές να απαντούν σε ερωτήσεις για την σχέση της επιστήμης με την τεχνολογία και για το αν τα προϊόντα της N-ET είναι καλύτερα από άλλα συμβατικά προϊόντα.

Δεύτερος στόχος, είναι οι μαθητές να κατανοήσουν ότι όλες οι αποφάσεις που λαμβάνονται από επιστήμονες, κυβερνήσεις, επιχειρηματίες και πολίτες επηρεάζουν την επιστημονική πρόοδο. Επίσης, προτείνεται να συζητηθεί το πώς τα νέα επιτεύγματα της τεχνολογίας ενσωματώνονται στην κοινωνία. Οι μαθητές πρέπει να είναι ικανοί να απαντούν ερωτήσεις όπως: «Με ποιον τρόπο η τεχνολογία επηρεάζει τη ζωή μου;», «Πώς μπορώ να παίρνω σωστές αποφάσεις σχετικές με την τεχνολογία και πιο συγκεκριμένα τη νανοτεχνολογία;», «Είναι οι νέες τεχνολογίες καλύτερες από τις παλιές; Πώς το μαθαίνουμε αυτό;».

Τρίτος στόχος, είναι οι μαθητές να διαπιστώσουν ότι ακόμα και μια μικρή επιστημονική ανακάλυψη μπορεί να επιφέρει αλλαγές στην επιστημονική σκέψη και σε πολλές όψεις στην κοινωνία. Οι μαθητές χρειάζεται να απαντάνε σε ερωτήσεις όπως: «Πώς η νανοτεχνολογία μπορεί να επηρεάσει τη ζωή μου στο σπίτι, την ιατρική, την επικοινωνία κτλ.;», «Πώς επηρεάζει η νανοτεχνολογία την οικονομία;».

Τέταρτος στόχος, είναι οι μαθητές να κατανοήσουν ότι τα προϊόντα της N-ET πρέπει να αξιολογούνται τόσο ως προς τα πλεονεκτήματα τους όσο και ως προς τους κινδύνους που ενδέχεται να επιφέρουν στην υγεία και το περιβάλλον. Η αξιολόγηση αυτή είναι αναγκαία γιατί τα υλικά αυτά είναι καινούργια και τα αποτελέσματά τους μπορεί να μην είναι εμφανή στο παρόν αλλά να είναι στο μέλλον. Οι μαθητές καλούνται να απαντούν σε ερωτήσεις όπως: «Γιατί χρειάζεται χρόνος ώστε να μάθουμε αν τα προϊόντα της νανοτεχνολογίας είναι επικίνδυνα;», «Τι αποτελέσματα μπορεί να έχει η χρήση προϊόντων της νανοτεχνολογίας στους ζωντανούς οργανισμούς;», «Τι είδους αποφάσεις λαμβάνουν παράγοντες της κυβέρνησης για τη νανοτεχνολογία;», «Υπάρχει διαφορά στην επίδραση των φυσικών από τα τεχνητά νανοϋλικά στους ζωντανούς οργανισμούς και στο περιβάλλον;», «Ποιος αποφασίζει ποιος θα ωφεληθεί περισσότερο και ποιος θα ζημιωθεί από την ανάπτυξη και χρήση της νανοτεχνολογίας;».

Πέρα από τις εννιά *Μεγάλες Ιδέες* που καταγράφονται από τους Stevens et al. (2009) οι Sakhnini & Blonder (2015) αναγνωρίζουν πέντε επιπλέον *Νέες Μεγάλες Ιδέες* (NMI). Συνοπτικά το περιεχόμενο των πέντε *Νέων Μεγάλων Ιδεών* παρουσιάζεται από τους Μάνου, Σπύρτου, Χατζηκρανιώτης & Καριώτογλου (2015: 206).

«Δομή της ύλης: Το περιεχόμενο εστιάζεται στην επίδραση της διάταξης των δομικών μονάδων μιας νανοδομής (άτομα, μόρια, νανοσωματίδια) στις ιδιότητές της.

Δυνάμεις και αλληλεπιδράσεις: Το περιεχόμενο αφορά τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ δομών της νανοκλίμακας, μέσω διαφόρων τύπων ηλεκτρικών δυνάμεων, π.χ. Coulomb, van der Waals, δυνάμεις London.

Λειτουργικότητα: είναι μία ιδιότητα που προσδίδεται σε ένα νανουλικό ώστε να επιτελέσει μία συγκεκριμένη δραστηριότητα, όπως αυτής της συνάφειας (bonding).

Ταξινόμηση των νανουλικών: Τα νανουλικά μπορούν να ταξινομηθούν σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με τη χημική τους σύσταση (π.χ. ανόργανα νανοσωματίδια, οργανικές ενώσεις), την ηλεκτρική τους αγωγιμότητα (ημιαγωγοί), την προέλευσή τους (φυσικά – τεχνητά) και τις διαστάσεις τους (μίας διάστασης, δύο διαστάσεων κτλ).

Ερευνητικά χαρακτηριστικά της N-ET (The making of nanotechnology): Σε αυτή την κατηγορία εντάσσονται η πολυεπιστημονικότητα, η συνεργατικότητα μεταξύ των επιστημόνων των διαφορετικών κλάδων των ΦΕ, και η εξέλιξη της έρευνας της N-ET και των εφαρμογών της».

1.3.3. Η N-ET στην Πρωτοβάθμια τυπική εκπαίδευση

Η βιβλιογραφία η οποία αφορά τη N-ET σε τυπικά περιβάλλοντα Α/θμιας εκπαίδευσης είναι στα πρώτα της βήματα. Πιο συγκεκριμένα ανιχνεύθηκαν δύο έρευνες οι οποίες αφορούσαν τη διδασκαλία της N-ET σε τυπικά περιβάλλοντα μάθησης: Huang, Hsu, & Chen (2011) και Chen, Lu, & Sung (2012). Και οι δύο έρευνες αναφέρονται στη διδασκαλία της N-ET σε μαθητές δημοτικού της Ταϊβάν. Μάλιστα οι πληροφορίες από την έρευνα των Huang et al. (2011) διαβάστηκαν στο βιβλίο των Winkelmann & Bhushan (2016) και στο άρθρο των Lin et al. (2015) καθώς η γλώσσα της πρωτότυπης έρευνας ήταν η εθνική γλώσσα της Ταϊβάν.

Σύμφωνα με τους Chen et al. (2012) η Ταϊβανέζικη κυβέρνηση έχει επενδύσει στην ανάπτυξη της νανοτεχνολογίας και έχει δημιουργήσει το «National Nanotechnology Program» από το 2002. Στο πλαίσιο αυτό, στον χώρο της εκπαίδευσης έχει δημιουργηθεί το «Nanotechnology Talent Investment Program» το οποίο στοχεύει

στην κατανόηση της νανοτεχνολογίας και την ανάδειξη των ταλέντων από το νηπιαγωγείο και το δημοτικό μέχρι το πανεπιστήμιο, το εργατικό δυναμικό και την διαβίου μάθηση. Το 2004 μάλιστα εκπαιδευτικά υλικά, σχετικά με τη νανοτεχνολογία εισήχθησαν στα Ταϊβανέζικα βιβλία του δημοτικού σχολείου.

Οι σχετικές με τη νανοτεχνολογία έννοιες οι οποίες έχουν εισαχθεί στα Ταϊβανέζικα βιβλία του δημοτικού σχολείου χωρίζονται σε πέντε κατηγορίες: α) ορισμοί της νανοτεχνολογίας β) χαρακτηριστικά της νανοκλίμακας γ) νανοφαινόμενα στον φυσικό κόσμο δ) νανοϋλικά ε) ανάπτυξη της νανοτεχνολογίας (Blonder & Sakhnini, 2016· Lin et al., 2015) (πίνακας 1.3).

Οι Chen et al., (2012) ερεύνησαν την επίδραση στα μαθησιακά αποτελέσματα της παραδοσιακής διδασκαλίας σε σύγκριση με την βιοματική διδασκαλία σε περιεχόμενο σχετικό με τη Ν-ΕΤ. Δείγμα της έρευνας αποτελούσαν μαθητές Ε΄ τάξης της Ταϊβάν. Το περιεχόμενο της Ν-ΕΤ που επέλεξαν να εισάγουν αφορά α) τον ορισμό του νανόμετρου β) τα φαινόμενα εξαιτίας της επιφάνειας γ) τα φαινόμενα εξαιτίας του μεγέθους δ) το φαινόμενο του λωτού ε) τα νανοσωματίδια και τους νανοσωλήνες. Τα διδακτικά υλικά τα οποία χρησιμοποίησαν για να διδάξουν το εν λόγω περιεχόμενο αποτελούσαν παρουσιάσεις διαφανειών power point, animations, και πειραματικές-διερευνητικές δραστηριότητες.

Πίνακας 1.3. Βασικές έννοιες της Ν-ΕΤ στο δημοτικό σχολείο (προσαρμογή από Blonder & Sakhnini, 2016: 119)

Βασικές έννοιες της νανοτεχνολογίας	Θέματα που συμπεριλαμβάνονται
1. Ορισμοί της νανοτεχνολογίας	Οι μαθητές πρέπει να κατανοήσουν την σημασία του νανόμετρου. Το νάνο είναι μια κλίμακα μήκους. 1 nm είναι ίσο με 10^{-9} m. 1 nm είναι ίσο με 1/100.000 μιας ανθρώπινης τρίχας. Το νάνο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να μετρηθεί το μέγεθος των βακτηρίων. Είναι απαραίτητο το μικροσκόπιο για την παρατήρηση αντικειμένων σε διαστάσεις νανόμετρου. Το πιστοποιημένο σύμβολο των νανοπροϊόντων είναι:



2. Χαρακτηριστικά-ιδιότητες της νανοκλίμακας	Νέα χαρακτηριστικά-ιδιότητες: Οπτικές ιδιότητες Σημείο τήξης Μηχανικές ιδιότητες Φαινόμενα εξαιτίας της επιφάνειας Χημικές ιδιότητες.
3. Νανοφαινόμενα στον φυσικό κόσμο	Αυτοκαθαρισμός (το φαινόμενο του λωτού). Το φαινόμενο της πεταλούδας. Νανομαγνήτες. Σκληρότητα του κελύφους (Shell hardness). Πάπια και υδροφοβικότητα. Τα φαινόμενα της σαύρας Gecko. Η ολισθηρή επιφάνεια του δέρματος του δελφινιού. Τα φτερά των εντόμων.
4. Νανοϋλικά	Φουλερένια (μέγεθος, σχήμα και δομή). Νανოსωλήνες άνθρακα. Οθόνες νανოსωλήνων άνθρακα.
5. Ανάπτυξη της νανοτεχνολογίας	Προϊόντα νανοτεχνολογίας. STM. Νανο-υφάσματα/ νανο-επικάλυψη. CD και σκληρός δίσκος. TiO ₂ . Νανοαισθητήρες. Φως και ενέργεια (υψηλές μηχανικές ιδιότητες). Ιστορία της νανοτεχνολογίας. Κίνδυνοι και οφέλη. Περιβάλλον, ιατρική, και οικονομικές δυνατότητες. Τεχνητά όργανα.

Οι Sakhnini & Blonder (2015) αντιστοίχησαν τις βασικές έννοιες που περιγράφονται στον πίνακα με τις *Μεγάλες Ιδέες* της N-ET και με τις *Νέες Μεγάλες Ιδέες* της N-ET. Πιο συγκεκριμένα αντιστοίχησαν τους «ορισμούς της νανοτεχνολογίας» και τα «χαρακτηριστικά της νανοκλίμακα» με τις *Μεγάλες Ιδέες* «μέγεθος και κλίμακα» και «ιδιότητες εξαρτώμενες από το μέγεθος». Επίσης, αντιστοίχησαν τα «νανοφαινόμενα στον φυσικό κόσμο» με τις εφαρμογές της N-ET, τα «νανοϋλικά» με τη *Νέα Μεγάλη Ιδέα* «ταξινόμηση νανοϋλικών» και την «ανάπτυξη της νανοτεχνολογίας» με τη *Νέα Μεγάλη Ιδέα* «η χάραξη της νανοτεχνολογίας» (the making of nanotechnology).

1.3.4. Η N-ET στην Πρωτοβάθμια μη τυπική και άτυπη εκπαίδευση

Οι περισσότερες προτάσεις της βιβλιογραφίας για τη N-ET, οι οποίες αφορούν ηλικιακές ομάδες μαθητών του δημοτικού σχολείου (μέχρι 12 ετών) εντοπίζονται στην μη τυπική και άτυπη εκπαίδευση. Χαρακτηριστικές περιπτώσεις αποτελούν εκθέσεις για τη N-ET σε μουσεία ΦΕ, εκπαιδευτικές ιστοσελίδες με περιεχόμενο για τη N-ET, διαδικτυακά περιοδικά, camp πανεπιστημίων και επι πληρωμή εκπαιδευτικά προγράμματα (Lin et al., 2015· Chen et al., 2012· Tarnng et al., 2011 Beck et al., 2009· (Filipponi & Sutherland, 2010· Gyalog, 2007). Στο πίνακα 1.4 παρατίθενται παραδείγματα προτάσεων για τη N-ET

Πίνακας 1.4: Μη τυπική και άτυπη εκπαίδευση για τη N-ET

NanoYou (Filipponi & Sutherland, 2010)
NanoAventura (Murriello et al., 2006)
Web-based Virtual Nanotechnology Laboratory for Learning the Basic Concepts of Nanoscience (Tarnng et al., 2011)
Popular science promotion program on nanotechnology for elementary school students (Lin et al., 2015)
Cooperative Program for Gifted and Talented Elementary School Children (Beck et al., 2009)
Antenna on Nanotechnology (Gyalog, 2007)
nisenet.org
NanoDays (http://www.nisenet.org/nanodays)
It's a NanoWorld (Batt, Waldron, & Trautmann, 2004)
nanooze.org

Το Nanoyou (Nano for Youth) είναι ένα πρότζεκτ, το οποίο στοχεύει στην πληροφόρηση των νέων της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τη νανοτεχνολογία και στην ενθάρρυνση της συμμετοχής τους σε συζητήσεις για τις κοινωνικές, ηθικές και νομικές πλευρές της νανοτεχνολογίας. Απευθύνεται σε ηλικιακές ομάδες από 11-18 ετών μέσα στα σχολικά προγράμματα και σε νέους από 18-25 ετών σε κέντρα Φυσικών Επιστημών. Επικεντρώνεται σε περιεχόμενο που αφορά: α) το μέγεθος και την κλίμακα

β) τις νανοδομές που συναντάμε στη φύση, όπως την σαύρα Gecko και το φύλλο του λωτού γ) την ιστορία της νανοτεχνολογίας δ) τα «Νανο-φαινόμενα» (Nano-effects) που σχετίζονται με ηλεκτρικές, οπτικές ιδιότητες κ.α. ε) τα νανοϋλικά π.χ. υδροφοβικά υλικά, εμπνευσμένα από το φαινόμενο του λωτού ή εξαιρετικά προσκολλητικά, εμπνευσμένα από τη σαύρα Gecko στ) τα εργαλεία της νανοκλίμακας, όπως το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο ζ) τις μεθόδους κατασκευής των νανοϋλικών π.χ. την μέθοδο από «πάνω προς τα κάτω» (top down) ή από «κάτω προς τα πάνω» (bottom up) η) την ιατρική θ) την ενέργεια ι) το περιβάλλον και κ) τις τεχνολογίες πληροφοριών και επικοινωνίας (Filipponi & Sutherland 2010).

Το NanoAventura αναπτύχθηκε στο μουσείο ΦΕ “Exploratory Science Museum” της Βραζιλίας. Σκοπός του ήταν να δημιουργηθεί μια διαδραστική έκθεση που θα προκαλούσε το ενδιαφέρον παιδιών 9-12 ετών για τη νανοτεχνολογία. Χρησιμοποιήθηκαν εκπαιδευτικά υλικά όπως βίντεο, ηλεκτρονικά παιχνίδια, μουσική και προσομοιώσεις με τα οποία τα παιδιά καλούνταν να εξερευνήσουν τον «νανοσκοπικό κόσμο» ώστε να αποκομίσουν μαθησιακά οφέλη αλλά και να ψυχαγωγηθούν. Το περιεχόμενο το οποίο διαπραγματεύτηκαν ήταν: η νανοϊατρική, τα νανοκυκλώματα, οι αυτοκαθαριζόμενες επιφάνειες και το μέγεθος και κλίμακα (Murriello, Contier & Knobel, 2006).

Οι Tarng et al., (2011) ερευνήσαν την επίδραση ενός διαδικτυακού εργαστηρίου νανοτεχνολογίας στην μάθηση της N-ET. Το εργαστήριο βασιζόταν σε ένα εικονικό μικροσκόπιο ατομικής σάρωσης (AFM) και απευθύνεται σε μαθητές από το δημοτικό σχολείο μέχρι το λύκειο. Οι μαθητές μπορούσαν να χρησιμοποιήσουν ένα εικονικό μικροσκόπιο για να μελετήσουν δείγματα όπως φύλλο του λωτού και πεταλούδα ώστε να παρατηρήσουν τις νανοδομές τους. Επιπλέον το περιβάλλον του λογισμικού περιλάμβανε ένα «δωμάτιο μάθησης για τη νανοτεχνολογία» (nanotechnology learning room) το οποίο έδινε τη δυνατότητα στους μαθητές να αναζητήσουν πληροφορίες για βασικές έννοιες της νανοτεχνολογίας σε διαδικτυακές πηγές.

Οι Lin et al. (2015) σε ένα πρόγραμμα για την αποτελεσματικότητα της «Δημοφιλούς Επιστήμης» (Popular Science) εισήγαγαν έννοιες και φαινόμενα της νανοτεχνολογίας σε μαθητές δημοτικού. Το περιεχόμενο το οποίο διδάχθηκαν οι μαθητές σχετίζεται α) με νανοφαινόμενα στον φυσικό κόσμο και συγκεκριμένα με το

φαινόμενο του λωτού β) με νανοϋλικά και τα φαινόμενα κλίμακας (scale effects) γ) με τον ορισμό, τα χαρακτηριστικά και τις εφαρμογές της νανοτεχνολογίας. Τα υλικά και τα μέσα που χρησιμοποιήσαν για να διδαχθεί το εν λόγω περιεχόμενο αποτελούνται από α) διάλεξη του δασκάλου, παρουσίαση PowerPoint και βίντεο για τον ορισμό, τις ιδιότητες και τις εφαρμογές της νανοτεχνολογίας, για τα νανοφαινόμενα στη φύση και για τα νανοϋλικά και για τα φαινόμενα κλίμακας β) πειράματα σχετικά με τη νανοτεχνολογία, όπως την υδροφοβικότητα και την παρατήρηση της σταγόνας η οποία κυλάει σε ένα υδρόφοβο υλικό γ) επίσκεψη σε έκθεση για τη νανοτεχνολογία για να έρθουν οι μαθητές σε επαφή με εφαρμογές της νανοτεχνολογίας.

Οι Beck et al. (2009: 1) σε ένα επί πληρωμή εκπαιδευτικό πρόγραμμα για τη νανοτεχνολογία, το οποίο απευθυνόταν σε «χαρισματικούς» (gifted) μαθητές του δημοτικού σχολείου, δίδαξαν ως περιεχόμενο της N-ET τα εξής: «πώς κατασκευάζονται τα τρανζίστορ», «πώς ένα δισδιάστατο αντικείμενο συμπεριφέρεται διαφορετικά από ένα τρισδιάστατο» και «γιατί τα κβαντικά πηγάδια είναι διαφορετικά από μια απλή τρύπα στο έδαφος». Τα διδακτικά υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για να διδαχθεί το περιεχόμενο αυτό είναι: αναλογίες, παιχνίδι ρόλων, ταινίες, ιστορίες και χειραπτικά υλικά.

Η έκθεση «Antenna on Nanotechnology» διεξάγεται στο μουσείο επιστήμης του Λονδίνου και έχει ως σύνθημα το «μικρή επιστήμη, μεγάλη υπόθεση» (small science, big deal)⁷ (Gyalog, 2007). Σκοπός της έκθεσης αυτής, που έκλεισε το 2005, ήταν να γνωρίσουν οι επισκέπτες, κυρίως τα παιδιά με τις οικογένειες τους, τις εφαρμογές της νανοτεχνολογίας στη καθημερινή ζωή, στην ασφάλεια, στο περιβάλλον και την ενέργεια και στην υγεία. Το παιχνίδι “Duckboy in Nanoland”, κατάλληλο για μικρές ηλικίες, σχεδιάστηκε για να γνωρίσουν τα παιδιά, ότι στο νανόκοσμο τα πράγματα είναι διαφορετικά όσον αναφορά τις δυνάμεις, τα όργανα παρατήρησης και τη συμπεριφορά των υλικών.

Το πρόγραμμα NISENET⁸ (Nanoscale Informal Science Education Network), ξεκίνησε το 2005 με σκοπό φέρει σε συνεργασία εκπαιδευτικούς και ερευνητικούς οργανισμούς, ώστε να γνωστοποιηθεί η εργασία των επιστημόνων και μηχανικών που

⁷ <http://www.sciencemuseum.org.uk/antenna/nano/>

⁸ www.nisenet.org

εργάζονται στη νανοτεχνολογία, να ενημερωθεί το κοινό για τα νέα τεχνολογικά επιτεύγματα και να ενημερώσει τους νέους για νέες επαγγελματικές καριέρες. Η συμμετοχή στο πρόγραμμα αυτό μουσείων (π.χ Μουσείο Επιστήμης και Βιομηχανίας του Σικάγο, Κέντρο Επιστήμης Οντάριο-Καναδά), Πανεπιστημίων (π.χ Πανεπιστήμιο Wisconsin, Πανεπιστήμιο Northwestern) και ερευνητικών οργανισμών (π.χ Cornell Nanobiotechnology Center) έχει οδηγήσει στην παραγωγή εκπαιδευτικού υλικού διαθέσιμο για εκπαιδευτικούς και μαθητές όλων των ηλικιών-από νηπιαγωγείο μέχρι τη τελευταία τάξη του λυκείου (Crone, 2010). Αυτό το υλικό περιλαμβάνει σχέδια μαθήματος για όλα τα θέματα που σχετίζονται με τη νανοτεχνολογία, βιντεοσκοπημένες συνεντεύξεις με επιστήμονες, κατασκευή μοντέλων, κόμικ, παιχνίδια, βιντεοσκοπημένες περιηγήσεις σε μουσεία, πειράματα, μικρές ταινίες με αντικείμενο τις ηθικές προεκτάσεις της νανοτεχνολογίας, που είναι διαθέσιμα δωρεάν στην ιστοσελίδα του προγράμματος. Πέρα από τα εκπαιδευτικά υλικά στα πλαίσια του NISENET έχουν δημιουργηθεί τα φεστιβάλ NanoDays⁹, η έκθεση It's a Nanoworld και το περιοδικό Nanooze¹⁰.

Τα NanoDays είναι διεθνή φεστιβάλ με εκπαιδευτικά προγράμματα για την νανοτεχνολογία. Ξεκίνησαν το 2008 και έχουν πραγματοποιηθεί σε περισσότερα από 250 μουσεία φυσικών επιστημών μέχρι σήμερα. Τα φεστιβάλ στόχο έχουν να εμπλέξουν τον κόσμο σε θέματα που αφορούν το μέγεθος, τις ιδιότητες και τις νέες τεχνολογίες που σχετίζονται με την νανοκλίμακα. Διεξάγουν χειραπτικές δραστηριότητες και συζητήσεις μέσω των οποίων όλες οι ηλικιακές ομάδες διερευνούν θέματα του νανόκοσμου, όπως την υδροφοβικότητα, το χρώμα των υλικών που αλλάζει ανάλογα με το μέγεθός τους, αλλά και τα οφέλη και τους κινδύνους που μπορεί να έχουν ως αποτέλεσμα οι εφαρμογές της νανοτεχνολογίας.

Το πρότζεκτ «It's a nanoworld» (Batt, Waldron, & Trautmann, 2004) αποτελεί μια κινητή μουσειακή έκθεση με hands on δραστηριότητες για τη νανοτεχνολογία, το οποίο διεξήχθη στις ΗΠΑ. Στόχος του είναι οι μαθητές από τα τέλη του νηπιαγωγείου μέχρι και την Γ' δημοτικού να εισαχθούν σε έναν κόσμο που δεν μπορούν να δουν με γυμνό μάτι και να δημιουργήσουν ένα πλαίσιο για μελλοντική μάθηση σχετική με τη

⁹ www.nisenet.org/nanodays

¹⁰ <http://www.nanooze.org/main/Nanooze/English.html>

νανοτεχνολογία. Στόχοι των δραστηριοτήτων της έκθεσης αποτελούν οι εξής: α) να προσεγγίσουν στοιχειωδώς οι μαθητές τη ΜΠ1 «Μέγεθος και η Κλίμακα»: πρώτα να αναγνωρίσουν την ύπαρξη του μικρόκοσμου και έπειτα να κατανοήσουν ότι μικρά αντικείμενα είναι κατασκευασμένα από ακόμα μικρότερα β) να οικοδομήσουν ένα βασικό λεξιλόγιο της βιολογίας που είναι απαραίτητο για την κατανόηση της βιοτεχνολογίας (π.χ. είδη κυττάρων του ανθρώπινου σώματος, DNA, ιός, βακτήρια) γ) να είναι ικανοί να διατυπώνουν έναν στοιχειώδη ορισμό για τον όρο «νάνο», π.χ. «το νάνο είναι πολύ, πολύ μικρό».

Πιο αναλυτικά για το «It's a nanoworld», όσον αφορά το «Μέγεθος και Κλίμακα», πραγματοποιήθηκε ένα «γνωστικό ταξίδι» βήμα βήμα από τον μακρόκοσμο, στον μικρόκοσμο και από τον μικρόκοσμο στον νανόκοσμο. Για κάθε μη ορατό κόσμο οι μαθητές γνώριζαν τα χαρακτηριστικά του αντικείμενα. Για παράδειγμα, τα κύτταρα και τα βακτήρια ως χαρακτηριστικά αντικείμενα του μικρόκοσμου και τον ιό, το DNA και τα μόρια, ως χαρακτηριστικά αντικείμενα του νανόκοσμου (Batt, Waldron, & Trautmann, 2004).

Τέλος, το διαδικτυακό περιοδικό Nanooze⁷, απευθύνεται σε μικρά παιδιά και μαθητές, που ενδιαφέρονται να μάθουν για τις εξελίξεις της τεχνολογίας και της νανοτεχνολογίας. Τα άρθρα του αφορούν διάφορα θέματα, όπως το Μέγεθος και Κλίμακα, επιτεύγματα της ιατρικής με τη βοήθεια της νανοτεχνολογίας, τη σχέση της νανοτεχνολογίας με το φαγητό και τη φύση, την αυτό-οργάνωση των υλικών και άλλα.

1.3.5. Συζήτηση για το περιεχόμενο της N-ET στις τρεις βαθμίδες της εκπαίδευσης

Η επισκόπηση της βιβλιογραφίας, φανερώνει ότι η έρευνα για την εισαγωγή της N-ET στην υποχρεωτική εκπαίδευση θα έχει μεγάλη ανάπτυξη τα επόμενα χρόνια. Συγκεκριμένα στη Γ/θμια εκπαίδευση εντοπίζονται 9 *Μεγάλες Ιδέες* οι οποίες οργανώνονται γύρω από 4 βασικές περιοχές του πλαισίου E- N- I- E. Στην Β/θμια εκπαίδευση προτείνεται επίσης η εισαγωγή 9 *Μεγάλων Ιδεών (MI)* και 5 *Νέων Μεγάλων Ιδεών (NM1)* (Sakhnini & Blonder, 2015· Stevens et al. 2009). Όσον αφορά το περιεχόμενο της N-ET στην Α/θμια εκπαίδευση ανιχνεύθηκαν έρευνες οι οποίες επικεντρώνονται σε 4 από τις *Μεγάλες Ιδέες* και σε 2 από τις *Νέες Μεγάλες Ιδέες* (Sakhnini & Blonder, 2015· Huang et al. 2011, Chen et al. 2012). Επιπλέον, σε

προτάσεις που αφορούν την άτυπη και μη τυπική Α/θμια εκπαίδευση στη Ν-ΕΤ (π.χ. Murriello, Contier, & Knobel 2006, nisenet.org), εμπεριέχονται όλες οι *Μεγάλες Ιδέες*.

Πίνακας 1.5: Περιεχόμενο της Ν-ΕΤ στην Γ/θμια, Β/θμια και Α/θμια, Μη τυπική & Άτυπη εκπαίδευση

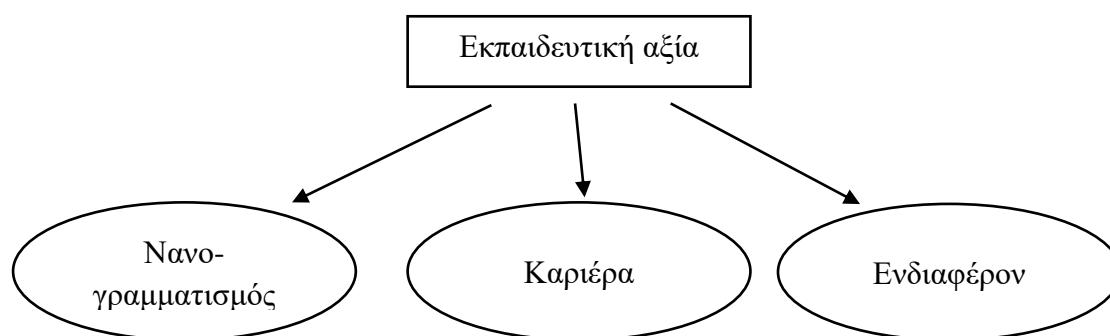
Μεγάλες Ιδέες	Γ/θμια	Β/θμια	Α/θμια υπ.	Α/θμια μη τ. & ά.
ΜΙ1: Μέγεθος και κλίμακα	✓	✓	✓	✓
ΜΙ2: Εμβαδόν επιφάνειας / όγκος	✓	Ενσωματωμένη (ΜΙ1, ΜΙ6)	–	✓
ΜΙ3: Συμπεριφορά που κυριαρχείται στην επιφάνεια	✓	Ενσωματωμένη (ΜΙ6)	–	✓
ΜΙ4: Αυτο-οργάνωση	✓	✓	–	✓
ΜΙ5: Κβαντική Μηχανική	✓	✓	–	✓
ΜΙ6: Ιδιότητες που εξαρτώνται από το μέγεθος	✓	✓	✓	✓
ΜΙ7: Όργανα/Χαρακτηρισμός	✓	✓	✓	✓
ΜΙ8: Μοντέλα και προσομοιώσεις	✓	✓	–	✓
ΜΙ9: Εφαρμογές- Κοινωνικές επιπτώσεις	✓	✓	✓	✓
ΝΜΙ1: Δομή της ύλης	–	✓	–	✓
ΝΜΙ2: Δυνάμεις και αλληλεπιδράσεις	–	✓	–	✓
ΝΜΙ3: Λειτουργικότητα	–	✓	–	✓
ΝΜΙ4: Ταξινόμηση των νανοϋλικών	–	✓	✓	✓
ΝΜΙ5: Η χάραξη της Ν-ΕΤ	–	✓	✓	✓

Με βάση τον πίνακα 1.5 διαπιστώνεται ότι κοινός τόπος μεταξύ της υποχρεωτικής Γ/θμιας, Β/θμιας και της Α/θμιας μη τυπικής και άτυπης εκπαίδευσης φαίνεται πως είναι το «Μέγεθος και Κλίμακα», οι «Ιδιότητες εξαρτώμενες απ' το μέγεθος» οι «Εφαρμογές της Ν-ΕΤ» και τα «Όργανα».

Διευκρινίζεται ότι στην τρίτη στήλη του πίνακα 1.5 ως ενσωματωμένες θεωρούνται οι *Μεγάλες Ιδέες* οι οποίες στην Γ/θμια είναι αυτόνομες ιδέες ενώ στην Β/θμια αποτελούν υπο-περιεχόμενο άλλων ιδεών. Έτσι η ΜΙ2 ενώ στην Γ/θμια είναι αυτόνομη στην Β/θμια αποτελεί μέρος του περιεχομένου της ΜΙ1 και της ΜΙ6 (Μάνου, και συν., 2015).

1.4. Η εκπαιδευτική αξία της Ν-ΕΤ

Αποδελτιώνοντας την βιβλιογραφία γίνεται φανερό ότι πολλοί είναι οι ερευνητές οι οποίοι υποστηρίζουν την αναγκαιότητα εισαγωγής της νανοτεχνολογίας στην υποχρεωτική εκπαίδευση (Jones et al., 2013· Hingant & Albe, 2010· Laherto, 2010). Η εκπαιδευτική αξία της Ν-ΕΤ συνίσταται σε τρεις παράγοντες: α) στον «νανο-γραμματισμό» β) στην ανάγκη για εργατικό δυναμικό σε τομείς της Ν-ΕΤ γ) στο ενδιαφέρον που μπορεί η Ν-ΕΤ να προκαλέσει στους μαθητές (σχήμα 1.2).



Σχήμα 1.2: Εκπαιδευτική αξία της Ν-ΕΤ

1.4.1. Επιστημονικός και Τεχνολογικός γραμματισμός: Νανογραμματισμός

Σύμφωνα με τους Loughran, Smith & Berry (2011) η επιστήμη είναι μια ανθρώπινη κατασκευή η οποία στοχεύει στην εξυπηρέτηση κοινωνικών αναγκών. Καθώς οι ανάγκες αυτές είναι διαφορετικές σε διαφορετικό χρόνο και σε διαφορετικό τόπο, έτσι και η φύση και ο ρόλος της επιστήμης αλλάζει για να ανταποκριθεί στις ανάγκες. Η εκπαίδευση όμως δεν ακολουθεί αυτές τις αλλαγές. Παρατηρείται ένα χάσμα μεταξύ της επιστήμης στην οποία εκτίθεται η κοινωνία και της επιστήμης η οποία διδάσκεται στο σχολείο. Το χάσμα αυτό καλείται να γεφυρώσει αυτό που στην βιβλιογραφία αναφέρεται ως «επιστημονικός γραμματισμός».

Στην βιβλιογραφία επισημαίνεται ότι δεν υπάρχει συμφωνία για έναν σαφή ορισμό του επιστημονικού γραμματισμού (Χαλκιά, 2012). Παρόλα αυτά, όσον αφορά το περιεχόμενο του όρου στα αναλυτικά προγράμματα εντοπίζονται δυο οπτικές, οι οποίες επηρεάζουν τον σχεδιασμό των αναλυτικών προγραμμάτων: η «Οπτική 1» και η «Οπτική 2» (Χαλκιά, 2012· Roberts, 2007). Η «Οπτική I» εστιάζει στην διδασκαλία και μάθηση του επιστημονικού περιεχομένου των ΦΕ. Δίνει έμφαση στην ίδια την επιστήμη, στα προϊόντα της, στους νόμους, στις θεωρίες και στις επιστημονικές διαδικασίες. Στόχος είναι οι μαθητές να αποκτήσουν γνώσεις και δεξιότητες, οι οποίες θα τους βοηθούν να σκέφτονται και να προσεγγίζουν τις καταστάσεις ως επαγγελματίες επιστήμονες. Η «Οπτική II» εξετάζει την επιστήμη από μια πιο κοινωνική πλευρά. Η επιστήμη θεωρείται ότι είναι απαραίτητη ώστε να βοηθά τους μαθητές να λαμβάνουν αποφάσεις για κοινωνικο-επιστημονικά ζητήματα. Στόχος είναι οι μαθητές να αποκτήσουν γνώσεις και δεξιότητες, οι οποίες θα τους βοηθούν να σκέφτονται και να προσεγγίζουν καταστάσεις ως πολίτες καλά πληροφορημένοι για τον επιστημονικό κόσμο (Χαλκιά, 2012· Loughran et al., 2011· Roberts, 2007).

Η N-ET αποτελεί παράδειγμα αλλαγής και από πολλούς θεωρείται ως επανάσταση στον χώρο της επιστήμης (Jones et al., 2013· Laherto, 2010). Η εκπαιδευτική και ερευνητική κοινότητα των ΦΕ κάνει προσπάθειες τα τελευταία χρόνια να εισάγει τις καινοτομίες της N-ET στο σχολείο ώστε να καταστούν οι μαθητές επιστημονικά εγγράμματοι στη N-ET (Stevens et al., 2009). Στη βιβλιογραφία εντοπίζεται ο όρος «νανογραμματισμός» (nano-literacy) (Laherto, 2010), ο οποίος φαίνεται να συμφωνεί περισσότερο με την «Οπτική II». Ο Laherto (2010) καταγράφει πως οι πολίτες σύντομα θα έχουν ανάγκη για κάποιο είδος νανογραμματισμού ώστε να

διαχειρίζονται θέματα βασισμένα στην επιστήμη, τα οποία είναι σχετικά με την καθημερινή τους ζωή και την κοινωνία. Για παράδειγμα, αναλύοντας την εκπαιδευτική αξία της N-ET με βάση το «Μοντέλο της εκπαιδευτικής επανοικοδόμησης» (Duit, 2007) και υπό το πρίσμα της «Οπτικής II» (Roberts, 2007) ο Laherto (2010) αναφέρει πως χρειάζεται οι μαθητές να αποκτήσουν τα εφόδια αυτά που θα τους επιτρέπουν να επιχειρηματολογούν για τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της νανοτεχνολογίας σε θέματα σχετικά με το περιβάλλον και την υγεία.

Επιπλέον, θεμελιακής σημασίας για το περιεχόμενο του Επιστημονικού και Τεχνολογικού Γραμματισμού αποτελεί η κατανόηση της φύσης της επιστήμης η οποία είναι συνυφασμένη με επιστημολογικά ζητήματα (Laherto, 2010· Roberts, 2007). Η φύση της N-ET η οποία είναι διεπιστημονική (Bushman, 2016· Kähkönen, Laherto, Lindell, & Tala, 2016), άρα περιλαμβάνει επιστημολογικά ζητήματα, μπορεί να συμβάλλει στην επίτευξη του παραπάνω στόχου. Για παράδειγμα, σε πολλά πεδία της N-ET γίνεται φανερή η σύνδεση δυο ή περισσότερων παραδοσιακών περιεχομένων ή πεδίων έρευνας όπως της φυσικής, της χημείας, της βιολογίας, της επιστήμης των υλικών και της ιατρικής. Πολλοί μάλιστα υποστηρίζουν πως η διεπιστημονική προσέγγιση της N-ET είναι αυτή που την καθιστά καινοτόμα καθώς οι επιστήμονες της φυσικής, της χημείας, της βιολογίας κ.α. μελετούν την «νανοκλίμακα» (σε ατομικό και μοριακό επίπεδο) εδώ και αιώνες ως ξεχωριστά πεδία. Η διεπιστημονική προσέγγιση των ΦΕ υποστηρίζεται ότι μπορεί να βοηθήσει τους μαθητές να αναγνωρίζουν την σχέση της επιστήμης με την καθημερινή τους ζωή. Κάτι τέτοιο θεωρείται ότι συμβάλλει στην ανάπτυξη μιας θετικής στάσης (can do attitude) από τους μαθητές προς τις ΦΕ (Chang, 2006).

Ένα ακόμα επιστημολογικό ζήτημα που σχετίζεται με τον Επιστημονικό και Τεχνολογικό Γραμματισμό και έχει εκπαιδευτική αξία είναι ο ρόλος της μοντελοποίησης στην περίπτωση της N-ET (Laherto, 2010). Ο Laherto αναφέρει ότι γίνεται εκτεταμένη χρήση μοντέλων για την αναπαράσταση αντικειμένων και φαινομένων της νανοκλίμακας. Παρατηρείται όμως σύγχυση μεταξύ των μοντέλων της N-ET και του τι αναπαριστούν τα μοντέλα. Συνεπώς στην σχολική τάξη στην οποία είναι αναγκαίο να προσεγγίσουμε τα αντικείμενα και τα φαινόμενα της νανοκλίμακας με μοντέλα, χρειάζεται να διδαχθούν ρητά, επιστημολογικά χαρακτηριστικά των

μοντέλων, όπως είναι η φύση και ο ρόλος τους (Schwarz et al., 2009· Schwartz & White 2005).

1.4.2. Ενδιαφέρον των μαθητών για τη N-ET

Σύμφωνα με τους Hidi & Renninger (2006) το ενδιαφέρον, ως μια μεταβλητή για το κίνητρο, αφορά την ψυχολογική κατάσταση της εμπλοκής ή επανεμπλοκής του ατόμου με ένα συγκεκριμένο περιεχόμενο. Το ενδιαφέρον αποτελείται από δύο μέρη, ένα γνωστικό και ένα συναισθηματικό, τα οποία είναι διακεκριμένα αλλά αλληλεπιδρούν. Στην ουσία το συναισθηματικό μέρος δημιουργεί θετικά συναισθήματα κατά τη διάρκεια της εμπλοκής με το περιεχόμενο, ενώ το γνωστικό μέρος σχετίζεται με τις αντιληπτικές δραστηριότητες, οι οποίες διενεργούνται την ίδια στιγμή. Το ενδιαφέρον υπάρχει μεν δυνάμει στο άτομο, το περιβάλλον όμως και το περιεχόμενο είναι αυτά που οδηγούν στην ενεργοποίησή και στην ανάπτυξή του.

Η εκπαιδευτική έρευνα εστιάζει σε δυο είδη ενδιαφέροντος, το καταστασιακό και το ατομικό (Hidi & Renninger, 2006). Από τη μια μεριά, το καταστασιακό ενδιαφέρον προκύπτει όταν ένα ερέθισμα από το περιβάλλον έρχεται στην αντίληψη του ατόμου και δημιουργεί μια βραχύχρονη συναισθηματική αντίδραση. Η αντίδραση αυτή όμως μπορεί να έχει και την προοπτική της μακρόχρονης. Συνδέεται συνήθως με ένα εξειδικευμένο περιεχόμενο (Schunk, Pintrich & Meece, 2010). Από την άλλη μεριά το ατομικό ενδιαφέρον αναφέρεται στην διαρκή τάση του ατόμου να επανεμπλακεί στο συγκεκριμένο περιεχόμενο.

Στην βιβλιογραφία καταγράφεται ότι το ενδιαφέρον των μαθητών για τις φυσικές επιστήμες είναι χαμηλό ακόμα και στις ανεπτυγμένες χώρες (Oon & Subramaniam, 2011· Osborne, 2008· Science Education NOW, 2007). Οι έρευνες όμως, οι οποίες εστιάζουν στο κατά πόσο εγείρεται το ενδιαφέρον για τη N-ET παρουσιάζουν θετικά αποτελέσματα.

Πιο συγκεκριμένα, οι Cheng et al. 2014, μελέτησαν το ενδιαφέρον 64 μαθητών γυμνασίου τη N-ET οι οποίοι συμμετείχαν σε σχετικά μαθήματα. Από τα αποτελέσματα φαίνεται πως αυξήθηκε το καταστασιακό τους ενδιαφέρον. Η αύξηση του ενδιαφέροντος προκλήθηκε τόσο από το περιεχόμενο της νανοτεχνολογίας, όπως για παράδειγμα τα φαινόμενα της νανοκλίμακας στην φύση, όσο και από τις χειραπτικές δραστηριότητες τα πειράματα και τη διερεύνηση. Οι μαθητές ανέφεραν

πως ένιωθαν ότι ασχολούνταν με κάτι καινοτόμο, που είχε νόημα γι' αυτούς και τους προκαλούσε ευχαρίστηση. Η παραπάνω έρευνα βρίσκεται σε συμφωνία με τους Filippini & Sutherland (2010) και Chang (2006), οι οποίοι καταγράφουν ότι η εισαγωγή της N-ET στην εκπαίδευση είναι δυνατό να αυξήσει το ενδιαφέρον των μαθητών, μέσα από τα εντυπωσιακά και «μυστήρια» φαινόμενα τα οποία προσφέρονται για διερεύνηση στην τάξη, ικανοποιώντας μάλιστα της φυσική τους περιέργεια και πυροδοτώντας τη φαντασία τους.

Οι Hutchinson et al. (2007) διεξήγαγαν έρευνα εστιασμένη στο ενδιαφέρον και τα κίνητρα μαθητών γυμνασίου και λυκείου σχετικά με έννοιες και φαινόμενα της N-ET. Οι μαθητές ενεπλάκησαν σε δραστηριότητες για διάφορα θέματα και φαινόμενα της N-ET. Τα αποτελέσματα της έρευνας φανερώνουν ότι οι μαθητές έδειξαν ενδιαφέρον για θέματα της N-ET που σχετίζονταν με τον πραγματικό κόσμο και την καθημερινή τους ζωή. Επίσης οι Hutchinson, Bodner, & Bryan (2011) σε αντίστοιχη έρευνα με μαθητές ίδιας ηλικίας κατέληξαν ότι το ενδιαφέρον των μαθητών προκλήθηκε από τρεις παράγοντες: α) αντικείμενα ή γεγονότα του πραγματικού κόσμου τα οποία σχετίζονται με τη N-ET β) θέματα τα οποία θεωρούνται καινοτόμα γ) φυσικά χειραπτικά υλικά (manipulatives) τα οποία χειρίστηκαν οι μαθητές κατά τις δραστηριότητες στις οποίες ενεπλάκησαν.

Οι Δρογγίτη και Πέικος (2015) μελέτησαν το καταστασιακό ενδιαφέρον 17 μαθητών ΣΤ΄ τάξης του Δημοτικού σχολείου οι οποίοι συμμετείχαν σε εργαστήρια για τη N-ET. Από τα αποτελέσματα της έρευνας φαίνεται πως το ενδιαφέρον των μαθητών προκλήθηκε εξαιτίας του «περιβάλλοντος μάθησης», των «νέων γνώσεων και επιστημονικών διαδικασιών». Πιο συγκεκριμένα όσον αφορά το περιβάλλον μάθησης, οι μαθητές αναφέρθηκαν στα διερευνητικά και ομαδοσυνεργατικά χαρακτηριστικά του, όπως: «Μου άρεσε που χρησιμοποιούσαμε μικροσκόπια», «Που κάναμε συνεχώς πειράματα και μοντέλα», «Που συζητούσαμε». Όσον αφορά τις νέες γνώσεις και επιστημονικές διαδικασίες οι μαθητές ανέφεραν: «...θέλω να ανακαλύπτω πράγματα», «...να ασχολούμαι με τα πράγματα των επιστημόνων», «που μάθαμε πώς να ξέρουμε να πίνουμε καθαρό νερό από την βρύση».

Επιπλέον, ένας ακόμα παράγοντας ο οποίος μπορεί να αποτελέσει καταλύτη για την ενεργοποίηση του ενδιαφέροντος των μαθητών είναι η διεπιστημονική προσέγγιση με την οποία είναι συνυφασμένη η N-ET (Bhushan, 2016). Μάλιστα, ο

Bhushan (2016) εντάσσει την διεπιστημονική προσέγγιση της N-ET μέσα στο πλαίσιο Επιστήμη- Τεχνολογία- Μηχανική- Μαθηματικά, γνωστό ως STEM (Science Technology Engineering Mathematics) το οποίο ενδείκνυται για την σύνδεση της επιστήμης με την ζωή και κατά συνέπεια την αύξηση του ενδιαφέροντος των μαθητών προς τις επιστήμες. Μάλιστα μέσα στο πλαίσιο του STEM οι ερευνητές υποστηρίζουν ότι «υπάρχει χώρος» για την ενασχόληση με την τέχνη και την ανάπτυξη της δημιουργικότητας των μαθητών σε θέματα σχετικά με τη N-ET.

Συνοψίζοντας, οι έρευνες στο χώρο της εκπαίδευσης της N-ET, δείχνουν ότι το ενδιαφέρον των μαθητών μπορεί να προκληθεί από:

- Το περιβάλλον μάθησης (διερευνητική μέθοδος, πειράματα, ομοαδοσυνεργατική διδασκαλία).
- Ένα πλαίσιο της μάθησης όταν έχει νόημα για τους μαθητές (αντικείμενα ή γεγονότα του πραγματικού κόσμου τα οποία σχετίζονται με τη N-ET, εφαρμογές).
- Τα «εντυπωσιακά και μυστήρια» φαινόμενα της N-ET.

1.4.3. Επιστημονική ή επαγγελματική καριέρα σε τομείς της N-ET

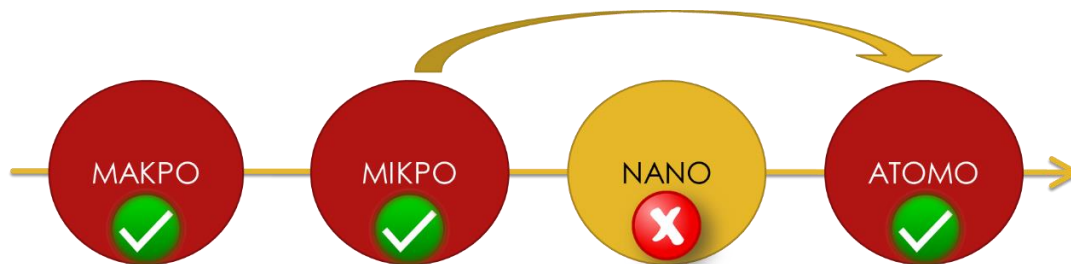
Ο Osborne (2008) σε άρθρο του με τίτλο “Engaging young people with science: does science education need a new vision?” αναφέρει πως η διδασκαλία των ΦΕ χρειάζεται πλέον να περιλαμβάνει και θέματα επαγγελματικού προσανατολισμού σχετικά με μια καριέρα σε τομείς των ΦΕ. Τονίζει ότι «δεν είναι θέμα η πώληση μιας επιστημονικής καριέρας στους μαθητές αλλά μια απλή πληροφόρησή τους, μια διεύρυνση των οριζόντων τους και μια ανάπτυξη της γκάμας των φιλοδοξιών τους». Όσον αφορά την περίπτωση της N-ET φαίνεται πως μέχρι το 2020, θα υπάρχει ανάγκη για επιστήμονες, μηχανικούς και εργατικό δυναμικό σε σχετικούς τομείς (Peter 2016· Jones et al. 2013· Ghattas & Carver 2012· Roco 2003) καθώς εκτιμάται ότι τα προϊόντα νανοτεχνολογίας θα συνεισφέρουν 1τρις δολάρια κάθε χρόνο στην παγκόσμια οικονομία (Roco & Bainbridge, 2001). Αξίζει να σημειωθεί ότι οι μαθητές που φοιτούν σήμερα στο δημοτικό σχολείο θα αποτελέσουν το μελλοντικό εργατικό δυναμικό της N-ET (Lin et al. 2015). Επομένως μόνο εάν οι νέοι γνωρίζουν τους αναπτυσσόμενους τομείς της νανοτεχνολογίας θα έχουν την δυνατότητα να τους επιλέξουν για σπουδές και εργασία στο μέλλον (Stevens et al., 2009).

1.5. Η διδακτική αξία της N-ET

Υπό το πρίσμα της Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών οι έρευνες δείχνουν ότι «στην παραδοσιακή εκπαίδευση της χημείας η σκέψη για το macro-micro περιορίζεται σε 2 επίπεδα στο μάκρο (macro) και στο υπομικροσκοπικό (submicro)» (Majier 2011:12), δηλαδή στο επίπεδο των άμεσα παρατηρήσιμων φαινομένων και στο επίπεδο των ατόμων και των μορίων. Μεταξύ τους φαίνεται πως υπάρχει ένα χάσμα (σχήμα 1.3) της τάξης των 10^9 m στο οποίο οφείλονται παρανοήσεις των μαθητών, π.χ. ότι τα μόρια του νερού είναι μπλε (Majier 2011).

Για να «γεφυρωθεί» το χάσμα προτείνεται να εισαχθούν μεταξύ του macro και του submicro μικρότερα βήματα περιλαμβάνοντας σε αυτά και το επίπεδο της νανοκλίμακας. Ανάλογες παρατηρήσεις έχουν καταγραφεί και για τα αναλυτικά προγράμματα των Φυσικών Επιστημών (Wiser & Smith 2008, Stevens et al. 2009). Οι Wiser & Smith (2008) αναφέρουν ότι χωρίς το επίπεδο του νανόκοσμου, φαινόμενα της καθημερινότητας που οφείλονται στην νανοκλίμακα, μπορούν να κατανοηθούν μόνο υπερφυσικά.

Στη κατεύθυνση του προβληματισμού αυτού μελετήθηκε το ΑΠΣ της Ελλάδας (<http://ebooks.edu.gr/new/ps.php>) για το δημοτικό σχολείο και διαπιστώθηκε ότι υπάρχει αντίστοιχο χάσμα μεταξύ του μακρόκοσμου, του μικρόκοσμου και του ατομικού κόσμου.



Σχήμα 1.3: Διδακτική αξία της N-ET: Χάσμα στην κατηγοριοποίηση του κόσμου με βάση τα μεγέθη (Πέικος, Μάνου & Σπύρτου, 2015β).

Για παράδειγμα, αναγνωρίστηκαν στόχοι οι οποίοι αφορούν τον μικρόκοσμο π.χ. «Να αναγνωρίζουν ότι όλοι οι οργανισμοί είναι φτιαγμένοι από κύτταρα» (Τάξη Ε/ Ενότητα 1, σελ. 508) και τον ατομικό κόσμο π.χ. «Να περιγράψουν, χρησιμοποιώντας την έννοια του μορίου, τη θερμική διαστολή και συστολή των

σωμάτων» (Τάξη Ε/ Ενότητα 3, σελ. 511). Στόχοι οι οποίοι να σχετίζονται με τον νανόκοσμο δεν ανιχνεύθηκαν (πίνακας 1.6).

Πίνακας 1.6: Στόχοι σχετικοί με την μικροκλίμακα και την ατομική κλίμακα στο ΑΠΣ φυσικής για το δημοτικό σχολείο

Τάξη/ Ενότητα	Στόχοι
Ε/ ενότητα 1: Υλικά σώματα και δομή της ύλης <i>ατομική κλίμακα</i>	<p>Να γνωρίζουν ότι το μόριο είναι ένα από τα δομικά συστατικά της ύλης.</p> <p>Να περιγράψουν τον τρόπο κίνησης των μορίων στις τρεις καταστάσεις της ύλης και βάσει αυτού να ερμηνεύουν τη διαφορετική συμπεριφορά στερεών, υγρών και αερίων.</p> <p>Να αναφέρουν ότι τα άτομα συνδυάζονται και σχηματίζουν μόρια.</p> <p>Να διακρίνουν τα στοιχεία από τις χημικές ενώσεις με βάση το είδος των ατόμων που τις αποτελούν (το μόριο του στοιχείου αποτελείται από όμοια άτομα).</p> <p>Να συνδέουν τα χημικά φαινόμενα με τη μεταβολή στη σύσταση (συνδυασμό ατόμων) στο μόριο.</p> <p>Να αποδίδουν την τεράστια ποικιλία των υλικών που βλέπουν γύρω τους στους διαφορετικούς συνδυασμούς μικρού αριθμού διαφορετικών ειδών ατόμων.</p>
Ε/ ενότητα 1: Υλικά σώματα και δομή της ύλης <i>μικροκλίμακα</i>	<p>Να αναγνωρίζουν ότι όλοι οι οργανισμοί είναι φτιαγμένοι από κύτταρα.</p> <p>Να διακρίνουν βασικά μέρη του κυττάρου (κυτταρική μεμβράνη, κυτταρόπλασμα, πυρήνας).</p> <p>Να διακρίνουν τους οργανισμούς σε μονοκύτταρους και πολυκύτταρους.</p> <p>Να διακρίνουν, μέσα από συγκεκριμένα παραδείγματα (ζυμώσεις, αλλοίωση τροφών), τους μικροοργανισμούς σε ωφέλιμους και βλαβερούς για τον άνθρωπο ή το περιβάλλον.</p> <p>Να αναγνωρίζουν τη σχέση των μικροοργανισμών με τον άνθρωπο και τους άλλους οργανισμούς στο περιβάλλον τους.</p>
Ε/ ενότητα 2: Κίνηση και Δύναμη <i>ατ. κλίμακα</i>	<p>Να συνδέουν την πίεση που ασκούν τα αέρια με την κίνηση των μορίων.</p>

<p>Ε/Ενότητα 3: Ενέργεια, Θερμότητα</p> <p><i>ατ. κλίμακα</i></p>	<p>Να περιγράφουν τις μεταβολές των καταστάσεων της ύλης χρησιμοποιώντας τον όρο: μεταφέρεται ενέργεια (θερμότητα), και να τις συνδέουν με τη μεταβολή στον τρόπο κίνησης των μορίων και όχι στη σύστασή τους.</p> <p>Να περιγράφουν, χρησιμοποιώντας την έννοια του μορίου, τη θερμική διαστολή και συστολή των σωμάτων.</p>
<p>Ε/Ενότητα 3: Ενέργεια, Ηλεκτρισμός</p> <p><i>ατ. κλίμακα</i></p>	<p>Να γνωρίσουν ότι το άτομο αποτελείται από πυρήνα και ηλεκτρόνια.</p> <p>Να γνωρίσουν το είδος του φορτίου των ηλεκτρονίων και του πυρήνα.</p> <p>Να περιγράφουν το άτομο χρησιμοποιώντας τους όρους: πυρήνας, ηλεκτρόνιο, θετικό φορτίο, αρνητικό φορτίο, ηλεκτρικά ουδέτερο.</p> <p>Να γνωρίζουν ότι το άτομο παρουσιάζει θετικό ή αρνητικό φορτίο όταν έχει περίσσειμα ή έλλειμμα ηλεκτρονίων.</p> <p>Να περιγράφουν το ηλεκτρικό ρεύμα ως την κίνηση ηλεκτρικά φορτισμένων σωματιδίων προς μία ορισμένη κατεύθυνση.</p>
<p>ΣΤ/ ενότητα 3: Ο ανθρώπινος οργανισμός</p> <p><i>μικροκλίμακα</i></p>	<p>Να αναγνωρίζουν το ρόλο των εμβολίων στην πρόληψη ασθενειών που οφείλονται σε παθογόνους μικροοργανισμούς και να περιγράφουν (συνοπτικά) τον τρόπο δράσης τους.</p>

Οι Wisser & Smith (2008) υποστηρίζουν ότι η αν τα αναλυτικά προγράμματα του δημοτικού σχολείου εστιάσουν στο να βοηθούν τους μαθητές να αποκτήσουν μακροσκοπικές και επιστημολογικές κατανοήσεις για την ύλη (π.χ. ότι η ύλη έχει βάρος, ότι η επιστήμη βασίζεται στα μοντέλα) τότε η μοριακή-ατομική θεωρία θα έχει γι' αυτούς μεγαλύτερο νόημα. Επίσης, υποστηρίζουν ότι η διδασκαλία για τα άτομα και τα μόρια νωρίς, δηλαδή στα τέλη του δημοτικού σχολείου ή στις αρχές του γυμνασίου μπορεί να βοηθήσει στην εδραίωση των μακροσκοπικών κατανοήσεων για την ύλη (π.χ. εξάτμιση, χημικές αντιδράσεις). Στο πλαίσιο του παραπάνω προβληματισμού θέτουν το ανοιχτό ερευνητικό ερώτημα «Είναι ωφέλιμο να εισαχθεί η μοντελοποίηση της ύλης σε νανοσκοπικό επίπεδο ακόμα και νωρίς στα αναλυτικά προγράμματα;».

1.6. Έρευνα για τη διδασκαλία & μάθηση

Όσον αφορά την έρευνα για τη διδασκαλία και μάθηση στη N-ET πραγματοποιήθηκε επισκόπηση της βιβλιογραφίας σχετικά με α) τις ιδέες των μαθητών για τη N-ET β) τα μοντέλα και την μοντελοποίηση στις ΦΕ και τη N-ET γ) τη διερεύνηση στις ΦΕ δ) για το μοντέλο της υποστηρικτικής μάθησης (scaffolding) για την διδασκαλία του «Μεγέθους και της Κλίμακα».

1.6.1. Ιδέες μαθητών δημοτικού σχολείου για τη N-ET

Από την δεκαετία του 1970 εντοπίζεται το ενδιαφέρον της ερευνητικής κοινότητας των ΦΕ για τα εννοιολογικά μοντέλα των μαθητών που βρίσκονται πίσω από τους συλλογισμούς τους για συγκεκριμένους επιστημονικούς τομείς. Το ενδιαφέρον αυτό κλιμακώνεται, και δυο δεκαετίες αργότερα, οι ερευνητές των ΦΕ εστιάζουν στις προϋπάρχουσες ιδέες των μαθητών, οι οποίες διαφέρουν σημαντικά από τις αντίστοιχες επιστημονικές απόψεις και η αλλαγή των ιδεών αυτών ή η τροποποίησή τους αποτελούν μαθησιακούς στόχους της διδασκαλίας. Οι ιδέες αυτές θεωρείται ότι επηρεάζουν την περαιτέρω μάθηση και ότι είναι δύσκολο να αλλάξουν (Χαλκιά 2012· Driver, 1989).

Η Χαλκιά (2012) επισημαίνει ότι το να γνωρίζουμε τις ιδέες των μαθητών είναι ένα πολύ σημαντικό συστατικό για να σχεδιάσουμε μια αποτελεσματική διδασκαλία. Ως εκ τούτου, αναζητήσαμε στη διεθνή βιβλιογραφία ποιες είναι οι ιδέες των μαθητών του δημοτικού σχολείου για τη N-ET, τόσο στην τυπική όσο και στην άτυπη εκπαίδευση.

Οι Castellini, Walejko, Holladay, Theim, Zenner & Crone (2007) διεξήγαγαν έρευνα για να καταγράψουν την δημόσια γνώση (public knowledge) για τη N-ET. Δείγμα αποτελούσαν 495 άτομα εκ των οποίων 65 περίπου ήταν μαθητές του δημοτικού σχολείου. Οι ερευνητές εστίασαν στο να καταγράψουν τη γνώση τους σχετικά με το μέγεθος και την κλίμακα και τον ορισμό της νανοτεχνολογίας. Όσον αφορά το μέγεθος και την κλίμακα ρωτήθηκαν οι μαθητές ποιο είναι το μικρότερο αντικείμενο που μπορούν να σκεφτούν. Στην ερώτηση αυτή οι περισσότεροι μαθητές από την Β΄ έως την Δ΄ τάξη ανέφεραν αντικείμενα ορατά με γυμνό μάτι, όπως μυρμήγκια και ζουζούνια καθώς και αντικείμενα του μικρόκοσμου όπως τα μικρόβια.

Μαθητές από την ΣΤ΄ τάξη και έπειτα άρχισαν να περιλαμβάνουν στις απαντήσεις τους τα κύτταρα και τα άτομα. Επίσης ζητήθηκε να ιεραρχήσουν τα εξής μικροσκοπικά και υπο-μικροσκοπικά αντικείμενα με βάση το μέγεθός τους από το μεγαλύτερο προς το μικρότερο: κύτταρο, βακτήριο, άτομο, μόριο νερού. Στο έργο αυτό οι μαθητές αποτύγχαναν. Σε αντίστοιχο έργο όμως που ζητήθηκε να ιεραρχήσουν μακροσκοπικά αντικείμενα όπως: μύγα, κόκκο αλατιού, βλεφαρίδα είχαν μεγαλύτερο ποσοστό επιτυχίας. Φαίνεται, έτσι ότι είχαν μεγαλύτερη επιτυχία στην ιεράρχηση ορατών με γυμνό μάτι αντικειμένων που έχουν μεταξύ τους σχετικά μεγέθη, ενώ ήταν πιο δύσκολο να συλλάβουν εννοιολογικά (conceptualize) τα μεγέθη μικροσκοπικών και υπομικροσκοπικών αντικειμένων. Όσον αφορά τον ορισμό της νανοτεχνολογίας λίγοι ήταν αυτοί που είχαν ακούσει την λέξη νανοτεχνολογία και ακόμα λιγότεροι αυτοί που έδωσαν έναν σωστό ορισμό. Ως σωστό ορισμό οι Castellini et al. (2007) θεωρούσαν απαντήσεις οι οποίες ανέφεραν «έναν τύπο τεχνολογίας και το μικρό μέγεθος».

Οι Murriello, Contier, & Knobel (2006) κατέγραψαν τις προϋπάρχουσες ιδέες και γνώσεις των μαθητών για τη N-ET σε μουσείο ΦΕ στη Βραζιλία. Η έρευνα, η οποία απευθυνόταν σε μαθητές 9-11 ετών έδειξε ότι λιγότερο από το 20% του δείγματος (72 μαθητές) είχε ακούσει τις λέξεις νανοεπιστήμη ή/και νανοτεχνολογία ενώ κανένας δε μπορούσε να δώσει έναν ορισμό. Επίσης οι μαθητές είχαν δυσκολία να δώσουν σωστούς ορισμούς για τα κύτταρα, τα μόρια και τα άτομα, τα οποία αποτελούν σημαντικές έννοιες στο πεδίο της νανοτεχνολογίας. Επιπλέον, οι μαθητές, σε ερωτήσεις που αφορούσαν το μικρότερο αντικείμενο που μπορούν να σκεφτούν, αναφέρονταν κυρίως σε αντικείμενα του βιολογικού μικρόκοσμου. Οι ερευνητές βασισμένοι στην τελευταία διαπίστωση υποθέτουν πως ο βιολογικός μικρόκοσμος μπορεί να αποτελέσει το «κλειδί» για να κατανοήσουν οι μαθητές τον νανόκοσμο.

Οι Tretter et. al (2006) διεξήγαγαν έρευνα μέρος της οποίας ήταν να μελετήσουν τις ιδέες 37 μαθητών 5^{ης} δημοτικού για το μέγεθος και την κλίμακα. Από τα αποτελέσματα φαίνεται πως οι μαθητές υστερούν στην διάκριση του μεγέθους μικροσκοπικών αντικειμένων. Φαίνεται όμως ότι στην ιεράρχηση αντικειμένων τα οποία έχουν σχετικά μεγέθη μεταξύ τους έχουν μεγαλύτερο βαθμό επιτυχίας σε σχέση με τα απόλυτα μεγέθη κάτι που είναι σε συμφωνία με την έρευνα των Castellini et al. (2007).

Οι Waldron, Spencer & Batt (2006), σε μια έκθεση ενός κινητού μουσείου «travelling museum», κατέγραψαν τις ιδέες 1500 μαθητών, 8-13 ετών α) για το ποιο είναι το μικρότερο αντικείμενο που νομίζουν ότι μπορούν να δουν με γυμνό μάτι β) για το ποιο είναι το μικρότερο αντικείμενο που μπορούν να σκεφτούν γ) την γνώση τους για τους όρους «νάνο» και «νανοτεχνολογία» δ) για την ικανότητά τους να ιεραρχούν μικροσκοπικά και υπομικροσκοπικά αντικείμενα με βάση του μεγεθός τους.

Όσον αφορά το «α» ερώτημα οι μαθητές ανέφεραν μακροσκοπικά αντικείμενα όπως: μυρμήγκι, μύγα, κόκκος άμμου και μύτη από στυλό. Για το «β» ερώτημα οι μαθητές μέχρι 11 ετών ανέφεραν επίσης μακροσκοπικά αντικείμενα. Οι ερευνητές υποστηρίζουν με βάση το παραπάνω εύρημα πως ο ορατός κόσμος με τον κόσμο που οι μαθητές καλούνται να φανταστούν είναι συχνά ο ίδιος. Σε κάποιες περιπτώσεις σημείωσαν διαφορετικά αντικείμενα του μακρόκοσμου στο «α» και «β» ερώτημα κάτι που δείχνει ότι μπορεί να θεωρούν ότι υπάρχει κάποια διαφορά, χωρίς όμως να δείχνουν κάποια κατανόηση του μικρόκοσμου. Από την ηλικία των 11 ετών και μετά οι μισοί μαθητές κατέγραψαν μικροσκοπικά και νανοσκοπικά αντικείμενα ως τα μικρότερα που μπορούν να σκεφτούν. Μάλιστα το 25% αυτών ανέφεραν νανοσκοπικά αντικείμενα.

Όσον αφορά το «γ» ερώτημα οι περισσότεροι μαθητές δεν έχουν ακούσει τους όρους «νάνο» και «νανοτεχνολογία» ενώ από αυτούς που τους έχουν ακούσει δεν μπορούσαν να δώσουν έναν σωστό ορισμό. Ως σωστό ορισμό οι ερευνητές θεωρούσαν απαντήσεις που κατέγραφαν πως το «νάνο» είναι ένα δισεκατομμυριοστό του μέτρου και η «νανοτεχνολογία» αφορά τον χειρισμό της ύλης σε διαστάσεις κάτω από τα 100nm. Ως μερικώς σωστό ορισμό θεωρούσαν ότι το νάνο σχετίζεται με κάτι μικρό ή πολύ μικρό. Πολλοί ήταν οι μαθητές που θεωρούσαν το νάνο ως ακρωνύμιο Ισπανικής λέξης ή ως άλλος όρος για την λέξη «γιαγιά» (grandmother). Επίσης για την «νανοτεχνολογία» ανέφεραν πως αφορά την κατασκευή μικρών αντικειμένων, νανορομπότ, ρομπότ και μικρών καμερών που εισέρχονται μέσα στο σώμα.

Όσον αφορά το «δ» ερώτημα το σύνολο των μαθητών δε μπορούσε να σειροθετήσει με βάση το μεγεθός τους τα αντικείμενα: μικρόβιο, μόριο, άτομο. Μόνο το 15% των μαθητών τα ιεράρχησε με τον σωστό τρόπο. Κάτι τέτοιο δείχνει πως οι μαθητές δεν σκέφτονται ότι τα μικρόβια είναι φτιαγμένα από μόρια και τα μόρια με τη σειρά τους φτιαγμένα από άτομα ώστε να τα σειροθετήσουν ως μικρότερα.

Στην ελληνική βιβλιογραφία οι Πείκος, Μάνου & Σπύρτου (2015β) μελέτησαν σε δείγμα 15 μαθητών ΣΤ τάξης του δημοτικού σχολείου α) το πώς οι μαθητές νονηματοδοτούν τον όρο «νανοτεχνολογία» β) τις ιδέες των μαθητών για «το φαινόμενο του λάχανου» το οποίο αφορά την υπερυδροφοβικότητα και γ) τι ιδέες των μαθητών για τα όργανα παρατήρησης. Από τα αποτελέσματά για το πρώτο ερώτημα φαίνεται πως περίπου οι μισοί μαθητές θεωρούσαν ότι η νανοτεχνολογία σχετίζεται «με κάτι μικρό». Για το «φαινόμενο του λάχανου» αναδείχθηκαν οι εναλλακτικές ιδέες των μαθητών. Πιο συγκεκριμένα φάνηκε ότι οι μαθητές αποδίδουν το φαινόμενο της υπερυδροφοβικότητας στα φυσικά χαρακτηριστικά του λάχανου τα οποία είναι ορατά στον μακρόκοσμο, όπως για παράδειγμα ότι έχει λεπτό φύλλο, ότι είναι μαλακό και ότι έχει στρογγυλό σήμα. Σχετικά με τα όργανα παρατήρησης τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η πλειοψηφία των μαθητών γνωρίζει το οπτικό μικροσκόπιο ως όργανο παρατήρησης μη ορατών με γυμνό μάτι αντικειμένων.

Επίσης, οι Πείκος, Παπαδοπούλου & Μάνου (2015) σε δείγμα 54 μαθητών Ε΄ και Στ΄ τάξης του δημοτικού σχολείου μελέτησαν α) τη νοηματοδότηση του όρου νανοτεχνολογία και β) τις ιδέες των μαθητών για τα όργανα παρατήρησης. Όσον αφορά τη νοηματοδότηση του όρου νανοτεχνολογία το 46% των μαθητών ανέφερε πως η νανοτεχνολογία ασχολείται με «κάτι μικρό». Επίσης ένα σημαντικό ποσοστό (18,5%) έδωσε απαντήσεις στις οποίες η νανοτεχνολογία θεωρείται από ανθρωποκεντρική οπτική, δηλαδή ότι αποτελεί μια τεχνολογία για κοντούς ανθρώπους ή για νάνους. Όσον αφορά τα όργανα παρατήρησης οι περισσότεροι μαθητές ανέφεραν το οπτικό μικροσκόπιο ενώ εντοπίστηκε και ένα μικρό ποσοστό μαθητών (4%) το οποίο ανέφερε ως όργανο ένα «ισχυρό μικροσκόπιο», υπονοώντας ότι το διαχωρίζει από το οπτικό μικροσκόπιο ως ισχυρότερο.

Επίσης, οι Peikos, Manou, Spyrtou & Papadopoulou (2016), ερεύνησαν σε δείγμα 48 μαθητών Ε΄ και Στ΄ τάξης του δημοτικού σχολείου α) τη νοηματοδότηση των μαθητών για τον όρο νανοτεχνολογία β) τη νοηματοδότηση των μη ορατών αντικειμένων γ) την ικανότητα των μαθητών να σειροθετούν αντικείμενα του μακρόκοσμου, του μικρόκοσμου και του νανόκοσμου από το μεγαλύτερο στο μικρότερο και δ) την ικανότητά τους να ταξινομούν αντικείμενα στον νανόκοσμο με κριτήριο το όργανο παρατήρησης. Όσον αφορά τη νοηματοδότηση της νανοτεχνολογίας περίπου το 42% των μαθητών θεωρεί πως η N-ET σχετίζεται «με κάτι

μικρό» ενώ το περίπου το 40% δίνει ασαφείς απαντήσεις ή θεωρεί τη νανοτεχνολογία από μια ανθρωποκεντρική σκοπιά. Σχετικά με τη νοηματοδότηση των μη ορατών αντικειμένων το περίπου το 33% των μαθητών ανέφερε αντικείμενα του μικρόκοσμου ενώ το 35% αντικείμενα του μακρόκοσμου. Όσον αφορά τη σειροθέτηση των αντικειμένων το 12,5% των μαθητών σειροθέτησε σωστά όλα τα αντικείμενα του μακρόκοσμου, του μικρόκοσμου και του νανόκοσμου, το 22% σειροθέτησε σωστά τα αντικείμενα του μακρόκοσμου και του μικρόκοσμου και το 22% σειροθέτησε σωστά μόνο τα αντικείμενα του μακρόκοσμου. Σχετικά με τη ταξινόμηση αντικειμένων στον νανόκοσμο μόνο το 6% ταξινόμησε τον ιό και το DNA στο νανόκοσμο ενώ μόνο το 2% ανέφερε ως όργανο παρατήρησης του νανόκοσμου ένα «πολύ ισχυρό μικροσκόπιο».

Ολοκληρώνοντας οι Batt, Waldron, & Trautmann (2004) και Stafford & Mollinago (2005) συμφωνούν με ότι η γνώση των μαθητών δημοτικού για τη N-ET είναι περιορισμένη παρουσιάζοντας ανάλογα αποτελέσματα με τις προηγούμενες έρευνες. Επισημαίνεται όμως, ότι οι έρευνες στην ελληνική βιβλιογραφία δείχνουν πως οι Έλληνες μαθητές συνδέουν τη N-ET με το μικρό μέγεθος, ενώ στη διεθνή βιβλιογραφία το ποσοστό αυτό είναι πολύ χαμηλότερο. Επίσης, σχετικά με την σειροθέτηση και ταξινόμηση μικροσκοπικών και υπομικροσκοπικών αντικειμένων οι μαθητές αντιμετωπίζουν δυσκολίες, αν και φαίνεται πως στην σειροθέτηση σε σχέση με την ταξινόμηση εντοπίζεται μεγαλύτερος βαθμός επιτυχίας. Όσον αφορά τα μικρότερα αντικείμενα, στην βιβλιογραφία κυριαρχεί η άποψη ότι στο δημοτικό σχολείο οι μαθητές αναφέρουν κυρίως μικροσκοπικά αντικείμενα κάτι που έρχεται σε συμφωνία με το ότι οι μαθητές καταγράφουν ως όργανο παρατήρησης το οπτικό μικροσκόπιο.

1.6.2. Η διερεύνηση στις ΦΕ

Τόσο στην Ευρώπη όσο και τις ΗΠΑ φαίνεται πως οι διερευνητικές προσεγγίσεις στις ΦΕ αποτελούν θεμελιακό στοιχείο της εκπαιδευτικής πολιτικής και των προγραμμάτων σπουδών (Forsthuber, Motiejunaite & Coutinho, 2011· National Research Council (NRC), 2000). Σύμφωνα με το NRC (2000) αφενός η επιστημονική διερεύνηση αφορά τους διάφορους τρόπους με τους οποίους οι επιστήμονες μελετούν τον φυσικό κόσμο και προτείνουν εξηγήσεις, βασισμένες σε στοιχεία. Αφετέρου, η διερεύνηση στη

διδασκαλία και μάθηση αφορά τις δραστηριότητες των μαθητών με τις οποίες αναπτύσσουν τη γνώση και τη κατανόησή για τις επιστημονικές ιδέες.

Η διερεύνηση στη ΔΦΕ χωρίζεται σε δύο κατηγορίες. Στη διερεύνηση ως μέσο (inquiry as means) και στη διερεύνηση ως σκοπό (inquiry as ends) (Abd-El-Khalick et al., 2004). Η διερεύνηση ως μέσο σχετίζεται με τη διδακτική προσέγγιση. Μέσω της διερευνητικής προσέγγισης οι μαθητές αναπτύσσουν κατανόηση για ένα περιεχόμενο των ΦΕ το οποίο μπορεί να αποτελεί τον τελικό σκοπό της διδασκαλίας. Η διερεύνηση ως σκοπός, αφορά την διερεύνηση η οποία αποτελεί η ίδια τον τελικό σκοπό της διδασκαλίας και οι μαθητές μαθαίνουν να διεξάγουν διερευνήσεις στο περιεχόμενο των ΦΕ. Επιπλέον, αναπτύσσουν επιστημολογική κατανόηση για τη φύση της επιστήμης και την ανάπτυξη της επιστημονικής γνώσης. Ένα ακόμα στοιχείο της αποτελεί η άσκηση των μαθητών σε επιστημονικές δεξιότητες, όπως είναι η κατασκευή μοντέλων και η ανάπτυξη ερμηνειών (Abd-El-Khalick et al., 2004).

Στη βιβλιογραφία καταγράφονται διάφορες μορφές (forms) διερεύνησης. Αυτό που διαφοροποιεί τις μορφές αυτές είναι το κατά πόσο παρέχονται από τον δάσκαλο οι πληροφορίες στους μαθητές. Για παράδειγμα στο Science Education in Europe (Forsthuber, Motiejunaite & Coutinho, 2011) καταγράφονται τέσσερις χαρακτηριστικές διερευνητικές προσεγγίσεις α) η επιβεβαιωτική διερεύνηση (confirmation inquiry) β) η δομημένη διερεύνηση (structured inquiry) γ) η καθοδηγούμενη διερεύνηση (guided inquiry) και δ) η ανοιχτή διερεύνηση (open inquiry). Φαίνεται μεταξύ των προσεγγίσεων αυτών πως απ' τη μια μεριά έχουμε την επιβεβαιωτική διερεύνηση, η οποία συνάδει με την παραδοσιακή διδασκαλία, ενώ απ' την άλλη την ανοιχτή διερεύνηση όπου οι μαθητές θέτουν μόνοι τους ερωτήματα, επιλέγουν την μέθοδο διερεύνησης και προτείνουν λύσεις.

Πίνακας 1.7: Βασικά χαρακτηριστικά της διερεύνησης στην τάξη και η διαφοροποίησή της (NRC, 2000: 29)

Βασικά χαρακτηριστικά	Διαφοροποίηση			
Ο μαθητής εμπλέκεται σε επιστημονικά οριοθετημένα ερωτήματα	Ο μαθητής θέτει τα ερωτήματα	Ο μαθητής επιλέγει μεταξύ ερωτημάτων και θέτει νέα ερωτήματα	Ο μαθητής παραλλάσει ή αποσαφηνίζει τα ερωτήματα που τίθεται απ' τον δάσκαλο ή άλλες πηγές	Ο μαθητής εμπλέκεται σε ερωτήματα που τίθενται από τον δάσκαλο ή άλλες πηγές
Ο μαθητής δίνει προτεραιότητα σε τεκμήρια για την απάντηση ερωτημάτων	Ο μαθητής καθορίζει ποια είναι τα τεκμήρια και τα συλλέγει	Ο μαθητής καθοδηγείται για να συλλέξει τα βασικά δεδομένα	Στον μαθητή παρέχονται τα δεδομένα και του ζητείται να τα αναλύσει	Στον μαθητή παρέχονται τα δεδομένα και οδηγίες για το πώς θα τα αναλύσει
Ο μαθητής διαμορφώνει ερμηνείες με βάση τα τεκμήρια	Ο μαθητής διαμορφώνει ερμηνείες αφού συνοψίσει τα τεκμήρια	Ο μαθητής καθοδηγείται στη διαδικασία διαμόρφωσης ερμηνειών με βάση τα τεκμήρια	Στον μαθητή παρέχονται πιθανοί τρόποι χρησιμοποίησης των τεκμηρίων για να διαμορφώσει ερμηνείες	Στον μαθητή παρέχονται μαζί με τα τεκμήρια και οι τρόποι ώστε διαμορφώσει ερμηνείες
Ο μαθητής συνδέει τις ερμηνείες με την επιστημονική γνώση	Ο μαθητής εξετάζει ανεξάρτητος και άλλες πηγές για να συνδέσει τις ερμηνείες	Ο μαθητής καθοδηγείται σε περιοχές και πηγές επιστημονικής γνώσης	Στον μαθητή δίνονται πιθανές συνδέσεις	
Ο μαθητής επικοινωνεί και αιτιολογεί τις ερμηνείες	Ο μαθητής διαμορφώνει αιτιακά και λογικά επιχειρήματα για να επικοινωνήσει τις ερμηνείες	Ο μαθητής καθοδηγείται για την ανάπτυξη της επικοινωνίας	Στον μαθητή παρέχονται διευρυμένες κατευθυντήριες γραμμές για να διαμορφώσει την επικοινωνία	Στον μαθητή παρέχονται βήματα και διαδικασίες για την επικοινωνία
<p>Μεγαλύτερος ___ βαθμός αυτο-καθοδήγησης (self-direction) του μαθητή ___ Μικρότερος Μικρότερος ___ βαθμός καθοδήγησης από τον δάσκαλο ή τα υλικά ___ Μεγαλύτερος</p>				

Στο NRC (2000) περιγράφεται αναλυτικότερα η διαφοροποίηση της διερεύνησης ανάλογα με τον βαθμό καθοδήγησης των μαθητών από τον δάσκαλο (πίνακας 1.7).

Ένα κρίσιμο ζήτημα για τη ΔΦΕ είναι το κριτήριο με το οποίο ο εκπαιδευτικός θα επιλέξει τον βαθμό καθοδήγησης του μαθητή κατά την διερεύνηση. Στο NRC (2000) καταγράφεται ότι ο βαθμός καθοδήγησης εξαρτάται από τα μαθησιακά αποτελέσματα στα οποία στοχεύει η διδασκαλία. Για παράδειγμα από τη μια μεριά, αν στόχος της διδασκαλίας είναι η μάθηση εννοιών για ένα συγκεκριμένο περιεχόμενο των ΦΕ, τότε καταλληλότερη είναι η καθοδηγούμενη διερεύνηση. Απ' την άλλη μεριά, αν στόχος της διδασκαλίας είναι η γνωστική ανάπτυξη και η οι επιστημονικοί συλλογισμοί (scientific reasoning) ως καταλληλότερη προτείνεται μια πιο ανοιχτή διερεύνηση. Γενικά υποστηρίζεται ότι οι μαθητές κατά τη σχολική τους ζωή πρέπει να έχουν ευκαιρίες να εμπλακούν σε όλους του τύπους διερεύνησης στα μαθήματα των ΦΕ.

Στη ΔΦΕ σήμερα, δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στις διερευνητικές προσεγγίσεις. Μάλιστα ως καινοτομικό στοιχείο των αναλυτικών προγραμμάτων θεωρείται η δημόσια κατανόηση της επιστήμης (public understanding of science), εστιάζοντας στο να αποκτήσουν οι μαθητές επίγνωση του πώς η επιστημονική γνώση κατασκευάζεται και εφαρμόζεται. Στο πλαίσιο αυτό τα μοντέλα μπορούν να συμβάλλουν στην επίτευξη του παραπλανώ στόχου καθώς η επιστήμη βασίζεται στην διαδικασία κατασκευής μοντέλων. Στην επόμενη ενότητα παρουσιάζονται θέματα σχετικά με τα μοντέλα και τη μοντελοποίηση στις ΦΕ και στην περίπτωση της N-ET.

1.6.3. Τα μοντέλα και η μοντελοποίηση στις ΦΕ και στην περίπτωση της N-ET

Από την επισκόπηση της βιβλιογραφίας φαίνεται πως έχουν διατυπωθεί διάφοροι ορισμοί για τον όρο «μοντέλο» στις ΦΕ. Για παράδειγμα οι Schwatz & White (2005) καταγράφουν πως ο όρος επιστημονικό μοντέλο αναφέρεται σε ένα «σύνολο αναπαραστάσεων, κανόνων και αιτιακών δομών που επιτρέπουν σε κάποιον να παράγει προβλέψεις και ερμηνείες». Οι Gilbert et al. (2000) αναφέρουν ότι ένα μοντέλο είναι η αναπαράσταση ενός αντικειμένου, μιας ιδέας, ενός γεγονότος, μιας διαδικασίας, ενός συστήματος, ενός φαινομένου ή γενικότερα ενός στόχου. Ο Constantinou (1999) (διαβάστηκε στο Ζουπίδης, 2012: 33) δηλώνει ότι μοντέλα είναι «συστηματοποιημένες αναπαραστάσεις ή μερικώς απλοποιημένες όψεις ενός συστήματος που περιλαμβάνουν

αντικείμενα, μεταβλητές, διαδικασίες και αλληλεπιδράσεις. Έχουν συνήθως προβλεπτικές και ερμηνευτικές δυνατότητες, αφού αναπαριστούν τον μηχανισμό λειτουργίας κάποιου φαινομένου, και προκύπτουν μέσα από την εφαρμογή μιας θεωρίας σε συγκεκριμένο φαινόμενο ή κατάσταση».

Οι Van Der Valk et al. (2007) διεξήγαγαν έρευνα για να καταλήξουν στα κοινά χαρακτηριστικά μεταξύ των ορισμών που ανιχνεύονται στη βιβλιογραφία. Από την έρευνά τους προκύπτουν οχτώ κοινά χαρακτηριστικά.

Τα πρώτα δύο χαρακτηριστικά αφορούν την φύση και τον ρόλο των μοντέλων.

1. «Ένα μοντέλο πάντα αναπαριστά έναν στόχο και σχεδιάζεται για έναν συγκεκριμένο σκοπό» (σελ. 3). Με τον όρο στόχο, νοείται ένα αντικείμενο, ένα φαινόμενο, ένα γεγονός, μια διαδικασία ένα σύστημα ή μια ιδέα. Ένα μοντέλο μπορεί να κατασκευαστεί με διάφορους τρόπους, μπορεί για παράδειγμα να είναι μια τρισδιάστατη κατασκευή ή να αποτελείται από μια μαθηματική εξίσωση. Ο τρόπος κατασκευής του εξαρτάται συνήθως από τον σκοπό που εξυπηρετεί.
2. «Ένα μοντέλο μας παρέχει ένα ερευνητικό εργαλείο το οποίο χρησιμοποιούμε για να αντλήσουμε πληροφορίες για τον στόχο, τον οποίο δε μπορούμε να παρατηρήσουμε ή να μετρήσουμε άμεσα» (σελ. 3). Πιο αναλυτικά, ένα μοντέλο συμβάλλει στο να αποκτήσουμε γνώση για κάτι το οποίο μας είναι άγνωστο, συγκρίνοντάς το με κάτι γνωστό. Επιπλέον, στην επιστημονική έρευνα σκοπός του μοντέλου είναι να συμβάλλει στην πρόβλεψη ή στην ερμηνεία.

Τα επόμενα δύο χαρακτηριστικά αφορούν τα κριτήρια τα οποία πρέπει να πληροί ένα μοντέλο.

3. «Το μοντέλο έχει κάποιες αναλογίες με τον στόχο» (σελ. 3). Μέσω των αναλογιών του μοντέλου με τον στόχο μπορούν να παραχθούν ερμηνείες. Επίσης, οι αναλογίες καθιστούν ικανό τον ερευνητή να επιτύχει τον σκοπό του μοντέλου. Συγκεκριμένα, βοηθούν στο να διατυπωθούν υποθέσεις από το μοντέλο ή να γίνουν προβλέψεις, οι οποίες μπορούν να ελεγχθούν κατά την χρήση του μοντέλου.
4. «Ένα μοντέλο διαφέρει από τον στόχο σε βασικά στοιχεία. Οι διαφορές είναι αυτές που το καθιστούν πιο προσβάσιμο για έρευνα από τον στόχο» (σελ. 3). Από το μοντέλο μπορούν να παραλείπονται στοιχεία τα οποία περιλαμβάνει ο

στόχος. Τα στοιχεία αυτά που αφαιρούνται εξαρτώνται από τα συγκεκριμένα ερευνητικά ενδιαφέροντά αυτού που κατασκευάζει το μοντέλο. Επίσης το μοντέλο πρέπει να είναι όσο πιο απλό γίνεται ώστε να είναι προσβάσιμο για παρατήρηση ή κάποιον άλλο σκοπό. Για παράδειγμα ένας στόχος μπορεί να είναι πολύ μικρός και μη ορατός με γυμνό μάτι, όπως το άτομο ή πολύ μεγάλος όπως το σύμπαν. Το μοντέλο μας δίνει έναν εναλλακτικό τρόπο για να συλλέξουμε πληροφορίες για τον στόχο ο οποίος δεν είναι προσβάσιμος.

Τα επόμενα τέσσερα χαρακτηριστικά περιγράφουν την επιλογή και ανάπτυξη ενός μοντέλου.

5. Το μοντέλο είναι πάντα αποτέλεσμα συμβιβασμού. Συγκεκριμένα, ενός συμβιβασμού μεταξύ των αντιθέσεων που προκύπτουν από τις αναλογίες αλλά και τις διαφορές που έχει το μοντέλο με τον στόχο. Ο ερευνητής συχνά καλείται να επιλέξει ανάμεσα σε ένα περίπλοκο μοντέλο που αναπαριστά πολύπλευρα τον στόχο και σε ένα πιο απλό μοντέλο που είναι πιο εύκολο στον χειρισμό, με την ευρεία έννοια. Η επιλογή εν τέλει εξαρτάται από τη φύση του ερευνητικού προβλήματος, από μεταβλητές όπως ο διαθέσιμος χρόνος, χρήματα και εγκαταστάσεις καθώς και από την προσωπική απόδοση του ερευνητή.
6. «Ένα μοντέλο δεν αλληλεπιδρά άμεσα με τον στόχο που αναπαριστά. Έτσι, πάντα υπάρχει ένας βαθμός δημιουργικότητας στον σχεδιασμό του μοντέλου, σχετικό με τον στόχο που αναπαριστά» (σελ. 4). Για παράδειγμα μια φωτογραφία ή κάποια άλλη πηγή πληροφοριών δεν υπάρχει ανεξάρτητα από τον στόχο, δεν θεωρείται ως μοντέλο ακόμα και αν βοηθάει στη συλλογή πληροφοριών για τον στόχο. Το μοντέλο πρέπει να περιέχει απ' τη μια στοιχεία τα οποία έχουν αντληθεί (derived) από τον στόχο, απ' την άλλη να περιέχει στοιχεία κάποια ερμηνείας (interpretation), κάποιας απλοποίησης και κάποιας ομοιότητας.
7. «Διαφορετικά μοντέλα συναίνεσης μπορούν να συνυπάρχουν για την αναπαράσταση του ίδιου στόχου» (σελ. 4). Για παράδειγμα, μπορεί ο στόχος να είναι ο ίδιος, όπως η μοριακή δομή του νερού, όμως η επιλογή ή η κατασκευή μοντέλων για τη μοριακή δομή του νερού εξαρτάται από τον σκοπό και το πλαίσιο της έρευνας. Ως εκ τούτου, από διαφορετικά είδη ερευνητικών

ερωτημάτων μπορεί να προκύπτουν και διαφορετικά μοντέλα για τον ίδιο στόχο.

8. Ένα μοντέλο μπορεί να βελτιώνεται μέσα από μια επαναλαμβανόμενη διαδικασία. Καθώς η έρευνα εξελίσσεται προκύπτουν νέα δεδομένα για τον στόχο, τα οποία οδηγούν στην αναθεώρηση του μοντέλου.

Η μοντελοποίηση σχετίζεται με την κατασκευή και την αναθεώρηση ενός μοντέλου και πραγματοποιείται για την επίτευξη ενός σκοπού. Για παράδειγμα σκοπός μπορεί να είναι η περιγραφή ενός φαινομένου, ο καθορισμός των στοιχείων από τα οποία αποτελείται, οι μεταξύ τους σχέσεις, η εξήγησή ή η πρόβλεψη ενός φαινομένου, ή ένας συνδυασμός των παραπάνω (Gilbert et al., 1998).

Στη βιβλιογραφία καταγράφεται ότι τα μοντέλα αποτελούν μια *Μεγάλη Ιδέα* της N-ET (βλέπε 1.3). Ερευνητές, όμως υποστηρίζουν ότι οι μαθητές αντιμετωπίζουν δυσκολίες και έχουν παρανοήσεις σχετικά με τα μοντέλα και τη μοντελοποίηση τόσο στην περίπτωση της N-ET (Laherto, 2010· Stevens et al., 2009) όσο και σε άλλα περιεχόμενα των ΦΕ (Louca & Zacharias, 2012· Schwartz 2009, 2005· Wiser & Smith, 2008· Daly & Bryan, 2007· Coll 2005· Petrosino, 2002). Στον παρακάτω πίνακα καταγράφονται συχνές παρανοήσεις των μαθητών σχετικά με τα μοντέλα και τη μοντελοποίηση.

Πίνακας 1.8: Συχνές παρανοήσεις των μαθητών για τα μοντέλα και τη μοντελοποίηση

Παρανοήσεις - δυσκολίες	Αναφορά
Σύγχυση μεταξύ του μοντέλου και του τι αναπαριστά.	Laherto, 2010· Stevens et al., 2009· Daly & Bryan 2007
Σύγχυση των ορίων μεταξύ του μοντέλου και της πραγματικότητας.	Daly & Bryan 2007
Δυσκολία κατανόησης ότι μπορούμε να έχουμε διαφορετικά μοντέλα για τον ίδιο στόχο.	Stevens et al., 2009
Δεν κατανοούν τον σκοπό εμπλοκής τους σε διαδικασίες διερεύνησης με βάση τα μοντέλα.	Schwartz & White, 2005
Θεωρούν ότι τα μοντέλα πρέπει να είναι πιστά αντίγραφα του στόχου που αναπαριστούν.	Treagust et al., 2002

Για να ξεπεραστούν οι παρανοήσεις και δυσκολίες των μαθητών για τα μοντέλα καθώς και για να είναι ικανοί να χρησιμοποιούν και να αναπτύσσουν επιστημονικά μοντέλα οι Schwartz & White (2005) υποστηρίζουν ότι οι μαθητές είναι ανάγκη να αποκτήσουν «γνώση για την μοντελοποίηση» (knowledge about modeling) την οποία ονομάζουν «μεταγνώση για τη μοντελοποίηση» (metamodeling knowledge). Η μεταγνώση για τη μοντελοποίηση περιλαμβάνει τη γνώση για τη φύση και τον σκοπό των επιστημονικών μοντέλων.

Στον πίνακα 1.9 καταγράφονται τα στοιχεία της μεταγνώσης για τη μοντελοποίηση, τα οποία προτείνονται ως υποψήφια προς ενσωμάτωση σε μια ΔΜΑ για τη μοντελοποίηση στο δημοτικό σχολείο (Schwartz et al., 2009).

Πίνακας 1.9: Υποψήφια συστατικά της μεταγνώσης για τη μοντελοποίηση σε μια ΔΜΑ για τη μοντελοποίηση (Schwartz et al., 2009)

Φύση των μοντέλων

- Τα μοντέλα μπορούν να αναπαριστούν μη ορατές και μη προσβάσιμες διαδικασίες και χαρακτηριστικά.
- Διαφορετικά μοντέλα έχουν διαφορετικά πλεονεκτήματα.
- Τα μοντέλα είναι αναπαραστάσεις οι οποίες έχουν περιορισμούς.
- Υπάρχουν πολλαπλά είδη μοντέλων: διαγράμματα, μοντέλα υλικής υπόστασης, προσομοιώσεις κ.α.

Σκοπός των μοντέλων

- Τα μοντέλα είναι εργαλεία αισθητοποίησης (sense making) και οικοδόμησης της γνώσης.
- Τα μοντέλα είναι εργαλεία επικοινωνίας και μεταφοράς της κατανόησης και της γνώσης.
- Τα μοντέλα μπορεί να χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη νέας κατανόησης μέσω της πρόβλεψης νέων όψεων των φαινομένων που αναπαριστούν.
- Τα μοντέλα χρησιμοποιούνται για να οπτικοποιήσουν, να εξηγήσουν και να προβλέψουν φαινόμενα.

Κριτήρια αξιολόγησης και αναθεώρησης των μοντέλων

- Τα μοντέλα πρέπει να βασίζονται σε στοιχεία σχετικά με το φαινόμενο που αναπαριστούν.
 - Τα μοντέλα πρέπει να περιλαμβάνουν μόνο ότι σχετίζεται με τον σκοπό τους.
-

Επιπλέον οι Schwartz et al. (2009) προτείνουν τέσσερα στοιχεία τα οποία συνθέτουν την πρακτική της μοντελοποίησης στην τάξη:

- Κατασκευή μοντέλων από τους μαθητές με βάση προϋπάρχοντα στοιχεία και θεωρίες για να απεικονίσουν, να εξηγήσουν ή να προβλέψουν φαινόμενα.
- Χρήση μοντέλων από τους μαθητές για να απεικονίσουν, να εξηγήσουν ή να προβλέψουν φαινόμενα.
- Σύγκριση και αξιολόγηση από τους μαθητές της ικανότητας διαφορετικών μοντέλων να αναπαριστούν και να εξηγούν με ακρίβεια φαινόμενα ή να προβλέπουν νέα φαινόμενα.
- Αναθεώρηση των μοντέλων από τους μαθητές ώστε να βελτιώσουν την επεξηγηματική ή προβλεπτική ισχύ του μοντέλου, με βάση τα νέα στοιχεία που προκύπτουν για το φαινόμενο.

Η αλληλεπίδραση των στοιχείων της πρακτικής της μοντελοποίησης με την μεταγνώση για τη μοντελοποίηση συμβάλλει στο να αναγνωρίσουν οι μαθητές τα μοντέλα είτε ως μέσα αισθητοποίησης είτε ως μέσα επικοινωνίας είτε και τα δυο. Οι μαθητές χρειάζεται να λαμβάνουν υπ' όψη τους σε ποιόν απευθύνεται το μοντέλο που κατασκευάζουν. Όταν κατασκευάζουν ένα μοντέλο για τον εαυτό τους, το μοντέλο θεωρείται ως μέσο αισθητοποίησης για την κατανόηση π.χ. του φαινομένου, από τους ίδιους τους μαθητές. Όταν κατασκευάζουν ένα μοντέλο για να μοιραστούν τις ιδέες τους με άλλους, τότε το μοντέλο θεωρείται ως μέσο επικοινωνίας και συμβάλλει για παράδειγμα στο να βοηθήσουν τους άλλους να κατανοήσουν το φαινόμενο (Schwartz et al., 2009).

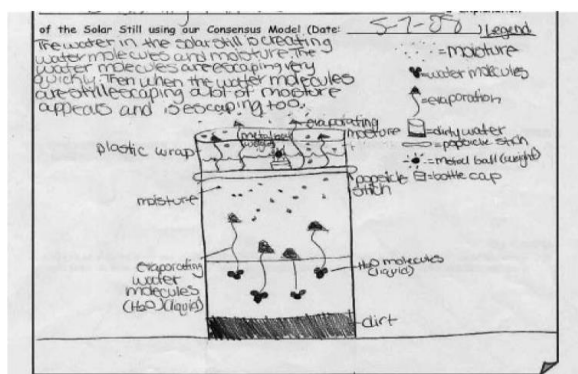
Επιπρόσθετα, βλέποντας τη μοντελοποίηση από μια παιδαγωγική οπτική γωνία φαίνεται πως μπορεί να συμβάλλει στο να αποτυπώσουν οι μαθητές ξεκάθαρα την προσωπική τους κατανόηση για το πώς ένα επιστημονικό φαινόμενο συμπεριφέρεται. Επίσης, η αναθεώρηση των μοντέλων, που οι ίδιοι οι μαθητές έχουν κατασκευάσει συμβάλλει στο να αναστοχαστούν πάνω στη γνώση τους για ένα φαινόμενο και να την εξελίξουν (Schwartz et al., 2009).

Η Vosniadou (2010:50) καταγράφει ότι τα μοντέλα «μπορούν να βοηθήσουν τους μαθητές να κατανοήσουν σύνθετες και μη αναμενόμενες [counterintuitive] έννοιες της φυσικής και των μαθηματικών». Η διδασκαλία και μάθηση στη N-ET εμπίπτει σε αυτό το πλαίσιο καθώς είναι δύσκολη πρακτικά και εννοιολογικά γιατί οι έννοιες και τα φαινόμενα της νανοκλίμακας δεν είναι εύκολο να οπτικοποιηθούν και να περιγραφούν, είναι αφηρημένα και η σχέση τους με τον ορατό κόσμο είναι μη αναμενόμενη (Magana

et al., 2012). Έτσι τα μοντέλα και η μοντελοποίηση θεωρούνται ζωτικής σημασίας εργαλεία για την ανάπτυξη της εννοιολογικής κατανόησης στη N-ET (Stevens et al. 2009, Daly & Bryan 2007).

Οι Schwartz et al. (2009) διεξήγαγαν έρευνα στην οποία μελέτησαν την μεταγνώση για τα μοντέλα στην περίπτωση μη ορατών με γυμνό μάτι φαινομένων σε μαθητές Ε' και Στ' τάξης. Πιο συγκεκριμένα, διδάχθηκε παράλληλα η πρακτική της μοντελοποίησης και η μεταγνώση για τη μοντελοποίηση στο περιεχόμενο α) της εξάτμιση και η υγροποίησης, στην Ε τάξη του δημοτικού σχολείου και β) στο «Πώς μπορώ να μυρίζω πράγματα από απόσταση», στην Στ' τάξη. Βασικός μαθησιακός στόχος για το περιεχόμενο ήταν να αναπτύξουν μια σωματιδιακή οπτική για την ύλη.

Με βάση τα αποτελέσματα της έρευνάς τους, οι Schwartz et al. (2009) υποστηρίζουν ότι οι μαθητές μετά την εφαρμογή της ΔΜΑ ήταν ικανοί να κατασκευάζουν μοντέλα τα οποία ήταν αφηρημένα σε κάποιο βαθμό από τα φαινόμενα που μελέτησαν (τους στόχους δηλαδή). Επίσης, υποστηρίζουν ότι οι μαθητές απέκτησαν σημαντικούς επεξηγηματικούς μηχανισμούς και αναγνώριση των σχέσεων μεταξύ των συστατικών των μοντέλων. Για παράδειγμα ένα μοντέλο μαθητή Ε' τάξης για την εξάτμιση (εικόνα 1.14) υποδεικνύει την κατανόηση του μαθητή για τα σωματίδια που εξατμίζονται καθώς και για την κίνηση των μορίων του νερού.



Εικόνα 1.14: Μοντέλο μαθητή Ε' τάξης για την εξάτμιση

1.6.4. Υποστηρικτική μάθηση για το «Μέγεθος και Κλίμακα»

Από μια πρόσφατη επισκόπηση της βιβλιογραφίας (Bryan, Magana & Sederberg 2015) φαίνεται ότι στη Μεγάλη Ιδέα «Μέγεθος και Κλίμακα» δίνεται ιδιαίτερη έμφαση από

ερευνητικές προσπάθειες στον χώρο της διδακτικής των ΦΕ για τη Ν-ΕΤ, καθώς ανιχνεύθηκαν 14 σχετικές έρευνες, κυρίως στην Β/μια εκπαίδευση. Οι έννοιες αυτές θεωρείται πως είναι βασικές για την διδασκαλία της Ν-ΕΤ και βρίσκονται στο επίκεντρο των διδακτικών προτάσεων και στις τρεις βαθμίδες εκπαίδευσης (Winkellmann & Bhushan, 2016· Bryan et al., 2015· Blonder & Sakhnini 2012).

Έννοιες σχετικές με την κλίμακα είναι απαραίτητες για τη μελέτη φαινομένων σε ένα μικροσκοπικό, νανοσκοπικό ή ατομικό επίπεδο. Σημαντικό για τους εκπαιδευτικούς είναι να αναγνωρίζουν ότι η διεξοδική κατανόηση φαινομένων ξεκινά από την αναγνώριση ότι οι διαδικασίες που συμβαίνουν σε διαφορετικές κλίμακες διέπονται από φυσικούς νόμους με διαφορετικά χαρακτηριστικά (Magana, Brophy & Bryan, 2012).

Υπό το πρίσμα της γνωστικής ψυχολογίας, η γνώση για την *Μεγάλη Ιδέα* «Μέγεθος και η Κλίμακα» αποτελεί μια βασική ικανότητα που σχετίζεται με συλλογισμούς και έννοιες διαφόρων τομέων της επιστήμης όπως της τεχνολογίας, της μηχανικής και των μαθηματικών. Έννοιες σχετικές με τη μετάβαση μεταξύ των κλιμάκων (scaling) εφαρμόζονται άμεσα στη μελέτη της μικροκλίμακας, της νανοκλίμακας και της ατομικής κλίμακας (Magana et al., 2012). Το γεγονός όμως ότι οι διαστάσεις της νανοκλίμακας (10^{-9}m) είναι μακριά από την αισθητηριακή αντίληψη καθιστά δύσκολο για τους μαθητές να κατασκευάσουν εύλογα (plausible) νοητικά μοντέλα για το πώς συμβαίνουν τα φαινόμενα στη νανοκλίμακα (Magana et al., 2012).

Στη βιβλιογραφία εντοπίζονται συγκεκριμένες προτάσεις για την εννοιολογική κατανόηση του μεγέθους και της κλίμακας (Delgado, Stevens, Shin & Krajcik, 2015· Magana, 2014· Magana et al. 2012· Delgado, 2009· Delgado, Stevens, Shin, Yunker, & Krajcik, 2007· Tretter et al. 2006). Οι προτάσεις αυτές συμφωνούν στο ότι η εννοιολογική κατανόηση του μεγέθους και της κλίμακας περιλαμβάνει τέσσερις γνωστικές διαδικασίες: τη γενίκευση (generalization), τη διάκριση (discrimination), την λογική αναλογική σκέψη (logical proportional reasoning), και την απόδοση του απόλυτου μεγέθους (absolute size). Οι Magana (2014) και οι Magana et al. (2012), έχουν προσθέσει άλλη μία γνωστική διαδικασία, την αριθμητική αναλογική σκέψη (numerical proportional reasoning) μεταξύ της λογικής αναλογικής σκέψης και της απόδοσης του απόλυτου μεγέθους. Από αυτές τις πέντε γνωστικές διαδικασίες, οι τρεις πρώτες είναι ποιοτικές ενώ οι δύο επόμενες είναι ποσοτικές.

Διευκρινίζεται ότι σε όλες αυτές τις προτάσεις της βιβλιογραφίας, το μέγεθος και η κλίμακα σχετίζονται μεταξύ τους, όμως το μέγεθος αναφέρεται στην ποιοτική σημασιολογική ιδιότητα ενός αντικειμένου, ενώ η κλίμακα στην ποσοτική, αυστηρά λογική (forma) ιδιότητα, ως μονάδα μέτρησης. Επιπλέον, η μετάβαση από το μέγεθος στην κλίμακα αναφέρεται ως scaling και για την πραγμάτωση του σκοπού αυτού οι προτείνεται ως γνωστική διαδικασία η αναλογική σκέψη Magana et al. (2012).

Οι Magana et al. (2012) παρουσιάζουν τις γνωστικές αυτές διαδικασίες μαζί με τα αντίστοιχα επίπεδα κατανόησης ως ένα πλαίσιο υποστηρικτικής μάθησης για την κατανόηση του «Μεγέθους και της Κλίμακας», «Framework to Characterize and Scaffold Size and Scale Cognition (FS2C) (πίνακας 1.10).

Πίνακας 1.10: FS2C (Magana et al., 2012: 2187).

Γνωστικές διαδικασίες	Επίπεδα Κατανόησης
Γενίκευση (generalization)	Ποιοτική κατηγοριοποιητική αντίληψη – μέγεθος
Διάκριση (discrimination)	Ποιοτική σχεσιακή αντίληψη – μέγεθος
Λογική αναλογική σκέψη	Ποιοτική αναλογική αντίληψη – μέγεθος
Αριθμητική αναλογική σκέψη	Ποσοτική αναλογική αντίληψη – κλίμακα
Μαθηματική σκέψη	Ποσοτική απόλυτη αντίληψη – κλίμακα

Πιο αναλυτικά, για το πλαίσιο FS2C, οι Magana et al. (2012) τοποθετούν τις έννοιες μέγεθος και κλίμακα στην κατηγορία των νοητικών δεξιοτήτων (intellectual skills) με βάση ταξινόμια του Gagne (1987) για τα μαθησιακά αποτελέσματα. Οι νοητικές δεξιότητες είναι συνυφασμένες με την διαδικαστική γνώση και αποτελούνται από πέντε ιεραρχικά σειροθετιμένες υποκατηγορίες: την διάκριση (discrimination), τις συγκεκριμένες έννοιες (concrete concepts), τις ορισμένες έννοιες (defined concepts), τους κανόνες (rules) και τους υψηλότερους κανόνες (high order rules) (Driscoll, 2000). Η ιεραρχία μεταξύ των νοητικών δεξιοτήτων υποδηλώνει ότι κάθε επόμενη υποκατηγορία δεξιοτήτων είναι πιο σύνθετη από την προηγούμενη. Όπως αναφέρεται στον Driscoll (2000: 358) οι μαθητές «χρειάζεται να μάθουν ένα σύνολο δεξιοτήτων πριν προχωρήσουν στην μάθηση πιο σύνθετων δεξιοτήτων των οποίων αποτελούν μέρος».

Σύμφωνα με τους Magana et al. (2012) σε αυτή την κατηγοριοποίηση αρχικές νοητικές διαδικασίες για την προσέγγιση της κλίμακας αποτελούν η γενίκευση και η

διάκριση μεταξύ αντικειμένων διαφορετικών μεγεθών. Η γενίκευση εξαρτάται από την ταξινόμηση αντικειμένων και η διάκριση εξαρτάται από την σειριακή τοποθέτηση αντικειμένων.

Το ακόλουθο παράδειγμα με τα 10 αντικείμενα: βακτήρια, ιοί, ερυθρά αιμοσφαίρια, άτομα, ωάριο, μυρμήγκι, διάμετρος της διπλής του DNA, άνθρωπος, παρατίθεται για να κατανοήσουμε καλύτερα για την γνωστική διαδικασία της γενίκευσης και της διάκρισης. Η διαδικασία της γενίκευσης του μεγέθους περιλαμβάνει την ταξινόμηση των παραπάνω αντικειμένων στην μακροκλίμακα, στην μικροκλίμακα, στην νανοκλίμακα και στην ατομική κλίμακα. Πιο συγκεκριμένα, το άτομο ταξινομείται στην ατομική κλίμακα, ο ιός και η διάμετρος της διπλής έλικας του DNA στη νανοκλίμακα, τα βακτήρια, το ωάριο και το ερυθρό αιμοσφαίριο στην μικροκλίμακα και ο άνθρωπος στην μακροκλίμακα. Η διαδικασία της διάκρισης περιλαμβάνει την σειροθέτηση των αντικειμένων σύμφωνα με το μέγεθός τους από το μικρότερο προς το μεγαλύτερο: άτομο < ιός <, βακτήρια < ερυθρό αιμοσφαίριο < ωάριο < μυρμήγκι < άνθρωπος.

Όσον αφορά την αναλογική σκέψη οι Inhelder και Piaget (1958) (διαβάστηκε στο Magana et al., 2012) υποστηρίζουν ότι αποτελείται από δύο συστατικά, το λογικό (logical) και το μαθηματικό (mathematical). Γενικά, μια αναλογία είναι η ισότητα μιας σχέσης στην οποία συνδέουμε δυο όρους, τον «α» και «β» με δυο άλλους όρους σχετικούς, τον «γ» και «δ». Υποστηρίζουν ότι αφού ο μαθητής κατακτήσει την λογική διάσταση έπειτα μπορεί να εισαχθεί η μαθηματική. Ομοίως οι Lesh, Post, και Behr (1988) (διαβάστηκε στο Magana et al., 2012) αναγνωρίζουν τον αναλογικό συλλογισμό ως ένα είδος μαθηματικού συλλογισμού που περιλαμβάνει πολλαπλές συγκρίσεις-παραλληλισμούς, συμπεράσματα και πρόβλεψη και τις δυο μεθόδους σκέψης, την ποιοτική και την ποσοτική.

Το ακόλουθο παράδειγμα με αντικείμενα: τη διπλή κλίμακα του DNA, τα βακτήρια, το μυρμήγκι και τον άνθρωπο, παρατίθεται για να κατανοήσουμε καλύτερα την γνωστική διαδικασία της αναλογικής σκέψης για το μέγεθος και την κλίμακα. «Η διαφορά του μεγέθους του ύψους του ανθρώπου με το μήκος του μυρμηγκιού, είναι ίδια αναλογικά με την διαφορά των μεγεθών μεταξύ του βακτηρίου και της διαμέτρου της διπλής έλικας του DNA» (Magana et al., 2012: 2187).

Ομοίως, παράδειγμα μαθηματικής αναλογικής σκέψης (mathematical proportional conception) για την κλίμακα αποτελεί εξής αναλογία: «Η διαφορά του μήκους του μυρμηγκιού με το ύψος του ανθρώπου είναι ότι το μήκος του μυρμηγκιού είναι 1000 μικρότερο από το ύψος του ανθρώπου, όπως η διαφορά του μεγέθους μεταξύ του βακτηρίου και του DNA είναι ότι το DNA είναι 1000 μικρότερο από το βακτήριο» (Magana et al., 2012: 2187).

Τελευταίο σκαλοπάτι της υποστηρικτικής μάθησης για την κλίμακα αποτελεί η απόδοση του απόλυτου αριθμητικού μεγέθους ενός αντικειμένου και η γνωστική διαδικασία στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι η μαθηματική σκέψη. Παράδειγμα για να κατανοήσουμε καλύτερα το τι είναι η μαθηματική σκέψη αποτελεί το εξής: «το μέγεθος των βακτηρίων είναι $1\mu\text{m}$ ή $1 \times 10^{-6} \text{ m}$ » (Magana et al., 2012: 2187).

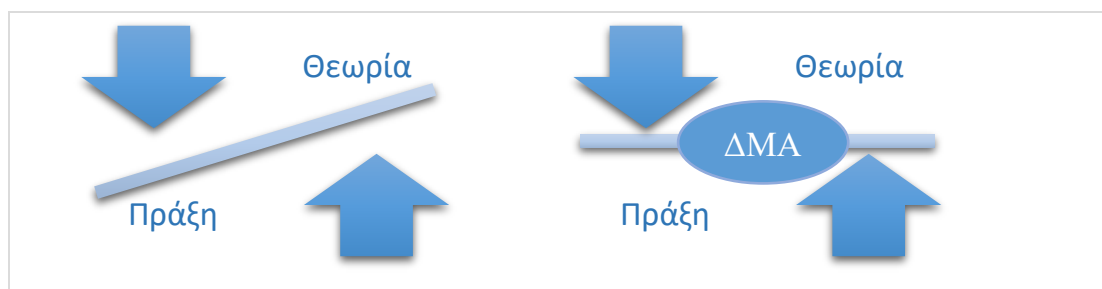
Ολοκληρώνοντας, υπογραμμίζεται ότι το FS2C πλαίσιο, είναι χρήσιμο σύμφωνα με τους Magana et al. (2012) όχι μόνο γιατί καλύπτει όλες τις πιθανές διαστάσεις που αφορούν τη γνώση του μεγέθους και της κλίμακας αλλά γιατί προσφέρει μια πρακτική καθοδήγηση για τον σχεδιασμό σχετικών διδακτικών υλικών.

1.7. Διδακτικές Μαθησιακές Ακολουθίες (ΔΜΑ)

Αποδελτιώνοντας την βιβλιογραφία για τις Διδακτικές Μαθησιακές Ακολουθίες (ΔΜΑ), μπορούμε να πούμε ότι υπάρχει ενδιαφέρον τα τελευταία χρόνια της επιστημονικής και ερευνητικής κοινότητας της Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών (ΔΦΕ) στον τομέα αυτό, καθώς ανιχνεύθηκαν πολλές σχετικές έρευνες (Ενδεικτικά: Psillos & Kariotoglou 2016· Ζουπίδης, 2012: Duit et al_2012· Bensson et al., 2010· Spyrtou, Hatzikraniotis, Kariotoglou, 2009· Tiberghien et al., 2009· Psillos, Spyrtou, Kariotoglou, 2005· Psillos, Tselfes & Kariotoglou, 2004· Buty, Tiberghien & Le Maréchal, 2004· Meheut, 2004· Lijnse 2004· Kariotoglou, 2003· Kattmann & Duit 1996). Οι ΔΜΑ προέκυψαν την δεκαετία του 80' ως αποτέλεσμα της έρευνας γύρω απ' τις ιδέες των μαθητών για έννοιες και φαινόμενα των ΦΕ, υπό την επιρροή της θεωρίας του εποικοδομητισμού στις Φυσικές Επιστήμες ΦΕ (Ζουπίδης, 2012· Méheut & Psillos, 2004).

Σύμφωνα με τον Lijnse (2004) και την βιβλιογραφική του επισκόπηση το 2004 η επιστημονική κοινότητα της Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών προσέφερε

περισσότερο γενικές εκπαιδευτικές ή/και ψυχολογικές θεωρίες μέχρι τότε. Οι ερευνητές της ΔΦΕ τότε δεν είχαν ως πρωταρχικό μέλημα την ανάπτυξη μικρής κλίμακας θεωριών με συγκεκριμένο περιεχόμενο. Οι Διδακτικές Μαθησιακές Ακολουθίες περνούν από τις γενικές αυτές θεωρίες της προηγούμενης περιόδου σε προτεινόμενες εφαρμογές στις σχολικές τάξεις των Φυσικών Επιστημών. Συνδυάζουν έτσι τη θεωρία με την πράξη (Psillos & Kariotoglou, 2016) (σχήμα 1.4).



Σχήμα: 1.4. Η ΔΜΑ φέρνει σε ισορροπία την θεωρία με την πράξη.

Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με τους Kariotoglou, Psillos & Tselfes (2003) οι ΔΜΑ είναι αναλυτικά προγράμματα μικρής κλίμακας, διαρκούν μερικές εβδομάδες και αποτελούν προϊόντα αναπτυξιακής έρευνας. Αυτό σημαίνει ότι η έρευνα συνυφαίνεται με την εφαρμογή της ΔΜΑ σε ένα συγκεκριμένο περιεχόμενο των ΦΕ και ακολουθεί μια κυκλική εξελικτική διαδικασία. Τα δεδομένα της έρευνας τα οποία συλλέγονται κατά την διαδικασία αυτή, όπως είναι τα μαθησιακά αποτελέσματα από τις εκάστοτε δραστηριότητες, αξιολογούνται και συμβάλλουν στην βελτίωση και στον εμπλουτισμό της ΔΜΑ. Έτσι η ΔΜΑ αποτελεί ερευνητική διαδικασία καθώς και προϊόν το οποίο περιλαμβάνει διδακτικές -μαθησιακές δραστηριότητες βασισμένες στην έρευνα (well-researched teaching-learning activities). Με άλλα λόγια ο σχεδιασμός της ΔΜΑ είναι μια μακρόχρονη αναθεωρήσιμη προσπάθεια, ένα προϊόν καινοτομικό το οποίο αλλάζει πλαίσιο και διαφέρει από τα πολυάριθμα σχολικά βιβλία και αναλυτικά προγράμματα. Επιπρόσθετα, μέσω των ΔΜΑ προσφέρονται μέσα για τη σύνδεση της έρευνας με την καινοτομία. Για παράδειγμα οι ΔΜΑ σήμερα μπορούν να αναλαμβάνουν το ρόλο στην προώθηση καινοτομιών στην εκπαίδευση σχετικά με νέες στρατηγικές διδασκαλίας, νέες διαδικασίες, νέα εργαλεία (tools) καθώς και νέο περιεχόμενο (Psillos & Kariotoglou, 2016).

1.7.1. Θεωρητικά πλαίσια για τον σχεδιασμό των ΔΜΑ

Για τον σχεδιασμό των ΔΜΑ, μεγάλες θεωρίες (grand theories) σχετικές με την παιδαγωγική, την μάθηση, τα κίνητρα, την επιστημολογία κ.α. δεν έχουν πολλά να προσφέρουν αν ληφθούν υπ' όψη ξεκομμένες από το πλαίσιο διδασκαλίας και το επιστημονικό περιεχόμενο της ΔΜΑ. Οι ΦΕ πραγματεύονται εννοιολογικά πλούσια θέματα και περίπλοκα φαινόμενα. Έτσι για να απαντηθούν ερωτήματα του τύπου «πώς θα ασχοληθώ με τους μαθητές για να ξεπεραστούν εννοιολογικές δυσκολίες σε ένα συγκεκριμένο θέμα», είναι ανάγκη οι μεγάλες θεωρίες να πλαισιοποιηθούν και να συνυφανθούν με το συγκεκριμένο επιστημονικό περιεχόμενο που επιθυμούμε να διδάξουμε (Psillos & Kariotoglou, 2016).

Στην βιβλιογραφία καταγράφονται έξι θεωρητικά πλαίσια για τον σχεδιασμό και την ανάπτυξη των ΔΜΑ: α) το μοντέλο της «Αναπτυξιακής Έρευνας» (*Developmental Research*) (Lijnse, 2004, 1995), β) το μοντέλο του «Διδακτικού Ρόμβου» (*Didactical Rhombus*) (Méheut & Psillos, 2004) γ) το μοντέλο της «Εκπαιδευτικής Επανοικοδόμησης» (*Educational Reconstruction*) (Duit, 2012, 2007) δ) το μοντέλο «Κόσμος – Ιδέες– Τεκμήρια» (Cosmos – Ideas – Evidence) (Psillos, Tselfes & Kariotoglou, 2004), ε) το μοντέλο της «βασισμένης στο Σχεδιασμό Έρευνας» (Design-based Research) (Brown, 1992, Design-based Research Collective, 2003, Tiberghien et al., 2009) στ) το μοντέλο «Δύο κόσμοι» (Two Worlds) (Buty et al., 2004).

Ο Laherto (2010) υποστηρίζει πως για την ανάλυση του περιεχομένου της Ν-ΕΤ από μια εκπαιδευτική οπτική είναι κατάλληλο το «Μοντέλο της Εκπαιδευτικής Επανοικοδόμησης» (Duit, 2012, 2007). Καταγράφει πως το μοντέλο αυτό συμβάλλει στο να μελετηθούν προσεκτικά, καινοτόμα θέματα τα οποία δεν έχουν εισαχθεί ακόμα στα αναλυτικά προγράμματα. Τα τρία στοιχεία τα οποία συνθέτουν το «Μοντέλο της Εκπαιδευτικής Επανοικοδόμησης» είναι αυτά τα οποία αξιοποιήθηκαν για τον σχεδιασμό της ΔΜΑ για τη Ν-ΕΤ.

1.7.2. Το μοντέλο της Εκπαιδευτικής Επανοικοδόμησης

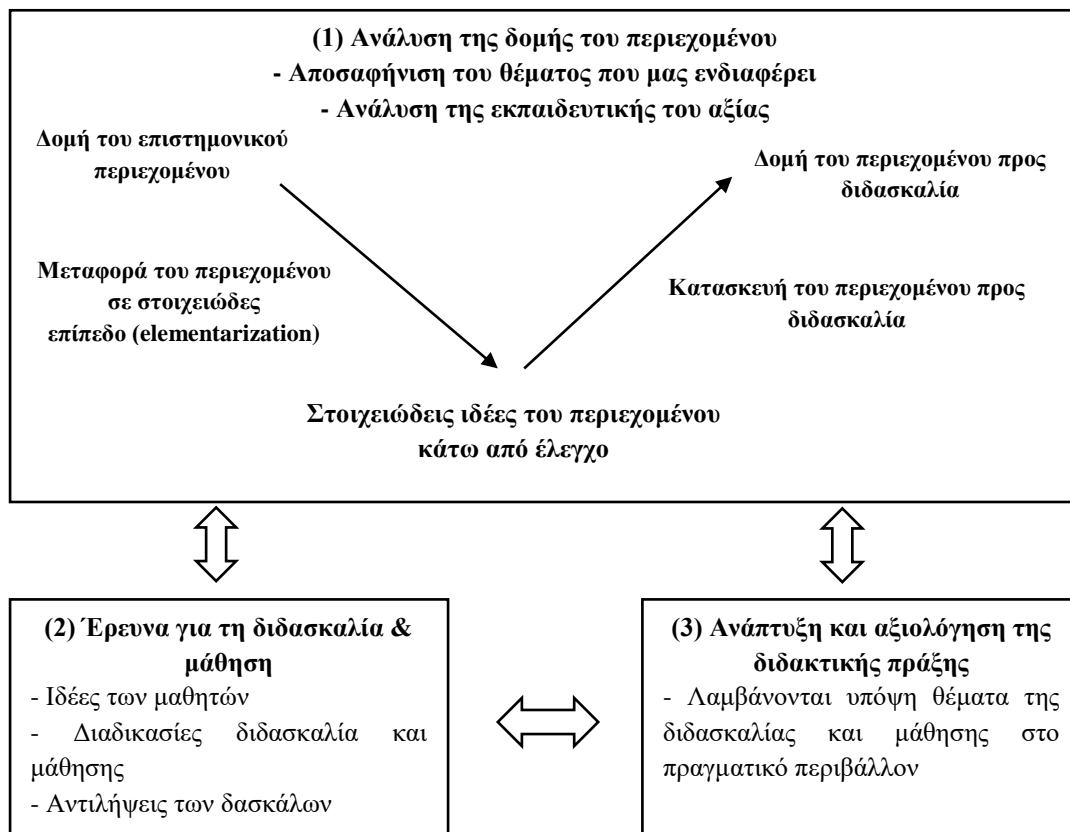
Το μοντέλο της Εκπαιδευτικής Επανοικοδόμησης (*Educational Reconstruction*) (Duit et al., 2012, 2007), προσφέρει ένα αρκετά συγκεκριμένο πλαίσιο για τον σχεδιασμό και την ανάλυση μιας ΔΜΑ (Ζουπίδης, 2012). Οι Duit, Gropengieber, Kattmann, Komorek, & Parchmann (2012) και ο Duit (2007) καταγράφουν 3 συνιστώσες οι οποίες

είναι άρρηκτα συνδεδεμένες μεταξύ τους και σκιαγραφούν το μοντέλο της Εκπαιδευτικής Επανοικοδόμησης (σχήμα 1.5) α) την ανάλυση της δομής του περιεχομένου που πρόκειται να διδαχθεί β) την έρευνα για την διδασκαλία και μάθηση γ) την ανάπτυξη και την αξιολόγηση της διδακτικής πράξης.

Όσον αφορά την πρώτη συνιστώσα, η οποία αντανακλά μια επιστημολογική διάσταση, το επιστημονικό περιεχόμενο αναλύεται και οδηγείται σε στοιχειώδες επίπεδο (elementarization). Έπειτα, με βάση τις στοιχειώδεις ιδέες που θα προκύψουν και υπό το πρίσμα της εκπαιδευτικής τους αξίας κατασκευάζεται το επιστημονικό περιεχόμενο που πρόκειται να διδαχθεί (Psillos & Kariotoglou, 2016· Duit, et al., 2012).

Όσον αφορά την δεύτερη συνιστώσα, η οποία ανακλά μια ψυχογνωστική διάσταση, διερευνώνται οι προϋπάρχουσες ιδέες των μαθητών και των δασκάλων για το θέμα που πρόκειται να διδαχθεί, τα ενδιαφέροντά τους, οι στάσεις τους και οι δεξιότητές τους (Psillos & Kariotoglou, 2016· Duit, 2012).

Η τρίτη συνιστώσα, ανακλά την διδακτική διάσταση. Περιλαμβάνει μεταξύ άλλων τα διδακτικά υλικά που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν, τις μαθησιακές δραστηριότητες, την ανάπτυξη και αξιολόγηση των διδακτικών ενοτήτων καθώς και τους περιορισμούς και τις δυσκολίες που εγείρονται στη διδασκαλία και μάθηση μέσα στη πραγματική τάξη (Psillos & Kariotoglou, 2016· Duit et al., 2012). Ολοκληρώνοντας, επισημαίνεται ότι πρόκειται για ένα μοντέλο που βασίζεται σε μια μικτή κonstruktivistική οπτική. Δηλαδή αφενός η διαδικασία απόκτησης της γνώσης θεωρείται ως μια ενεργή ατομική διαδικασία κατασκευής μέσα σε ένα ορισμένο κοινωνικό και δομημένο περιβάλλον, αφετέρου το επιστημονικό περιεχόμενο θεωρείται ως μια αβέβαιη (tentative) ανθρώπινη κατασκευή (Psillos & Kariotoglou, 2016· Duit et al., 2012· Duit, 2007).



Σχήμα 1.5: Το μοντέλο της Εκπαιδευτικής Επανοικοδόμησης (Duit, 2007: 6)

1.7.3. Το μοντέλο του Pickering ως θεωρητικό πλαίσιο για την ανάδειξη, περιγραφή και ερμηνεία των βελτιωτικών αλλαγών μιας ΔΜΑ

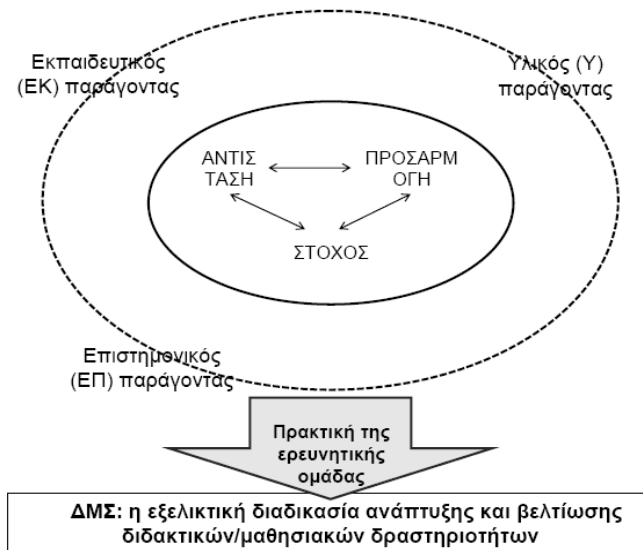
Όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω, βασικό χαρακτηριστικό των ΔΜΑ είναι ότι αναθεωρούνται και βελτιώνονται μέσα μια σταδιακή, κυκλική, και εξελικτική διαδικασία βασισμένη στα ερευνητικά αποτελέσματα (Zoupidis, Spyrtou, Malandrakis et al., 2016, Mithout and Psillos 2004, Psillos, Kariotoglou, Tselfes et al., 2003). Για την ανάλυση και περιγραφή της διαδικασίας βελτίωσης της ΔΜΑ, από την μια εφαρμογή της στην τάξη, στην επόμενη εφαρμογή, προτείνεται το μοντέλο του Pickering (1995) (σχήμα 1.6) όπως αναφέρεται στους Zoupidis, Spyrtou, Malandrakis et al. (2016) και Psillos, Kariotoglou, Tselfes et al. (2003). «Ο επιστήμονας των ΦΕ ή ο δάσκαλος (didactitian) μέσα από τις πρακτικές του κατασκευάζει και συνδέει τις διδακτικές/ μαθησιακές δραστηριότητες για να παράγει την ΔΜΑ» (Psillos, Kariotoglou, Tselfes et al., 2003). Οι δραστηριότητες και οι συνδέσεις μεταξύ τους επηρεάζονται ή/και περιορίζονται από τρεις βασικούς παράγοντες: α) τον εκπαιδευτικό παράγοντα

β) τον υλικό παράγοντα γ) τον επιστημονικό παράγοντα (Zoupidis, Spyrtou, Malandrakis et. al., 2016· Psillos, Kariotoglou, Tselfes et al., 2003). Έτσι, ο επιστήμονας των ΦΕ καλείται να επιτύχει τους στόχους που θέτει και να ξεπεράσει τις δυσκολίες- αντιστάσεις που παρουσιάζονται, μέσα από μια διαδικασία προσαρμογής (Psillos, Kariotoglou, Tselfes et al., 2003).

Πιο αναλυτικά, σύμφωνα με τον Ζουπίδη (2012):

- Ο *εκπαιδευτικός παράγοντας* αφορά μεταξύ άλλων τα χαρακτηριστικά του σχολείου στο οποίο θα εφαρμοστεί η ΔΜΑ, των μαθητών, των εκπαιδευτικών, τους γονείς των μαθητών, το αναλυτικό πρόγραμμα, το εκπαιδευτικό σύστημα και την εκπαιδευτή παράδοση της περιοχής.
- Ο *υλικός παράγοντας* σχετίζεται με τις υποδομές του σχολείου που αφορούν τόσο τον χώρο π.χ. ύπαρξη εργαστηρίου Φ.Ε. όσο και τα χειραπτικά υλικά για τη διδασκαλία των Φ.Ε. π.χ. απλά υλικά καθημερινής χρήσης που μπορούν να αξιοποιηθούν στη διδασκαλία των ΦΕ.
- Ο *επιστημονικός παράγοντας* αφορά τη Διδακτική των Φυσικών Επιστημών (ΔΦΕ). Για παράδειγμα σχετίζεται με τις κυρίαρχες διδακτικές/μαθησιακές θεωρίες της ΔΦΕ π.χ. την διερεύνηση καθώς και με επιμέρους στοιχεία τους π.χ. την μοντελοποίηση.
- *Οι στόχοι* σχετίζονται με τους διδακτικούς στόχους και τα αναμενόμενα μαθησιακά αποτελέσματα του συγκεκριμένου επιστημονικού περιεχομένου της ΔΜΑ.
- *Οι αντιστάσεις* σχετίζονται με τις δυσκολίες που προκύπτουν κατά τον σχεδιασμό, την ανάπτυξη και την εφαρμογή της ΔΜΑ π.χ. δυσκολίες στη διαχείριση πειραμάτων.
- *Οι προσαρμογές* έχουν να κάνουν με τις τροποποιήσεις που γίνονται στην διδακτική πρακτική για να ξεπεραστούν οι αντιστάσεις π.χ. αλλαγές στη διδακτική προσέγγιση.

Από την ανάλυση των παραπάνω παραγόντων αναδεικνύεται το περιεχόμενο των αλλαγών για τη βελτίωση της ΔΜΑ, οι πηγές των δεδομένων που υποδεικνύουν τις αλλαγές αυτές καθώς και ο ρόλος του κάθε παράγοντα στη διαδικασία βελτίωσης της ΔΜΑ (Zoupidis, Spyrtou, Malandrakis et. al., 2016).



Σχήμα 1.6: Το μοντέλο του Pickering για τη βελτίωση της ΔΜΑ (Ζουπίδης, 2012: 79)

1.7.4. Αξιολόγηση των ΔΜΑ

Σύμφωνα με τους Méheut & Psillos (2004) υπάρχουν στη βιβλιογραφία δυο τάσεις μεθοδολογικών προσεγγίσεων για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των ΔΜΑ: α) σύγκριση της αρχικής γνωστικής κατάστασης των μαθητών με την τελική β) ανάδειξη των γνωστικών μονοπατιών των μαθητών καθ' όλη την διάρκεια της διδακτικής- μαθησιακής διαδικασίας.

Όσον αφορά την πρώτη περίπτωση, η μεθοδολογία έχει ως στόχο να ελέγξει την αποτελεσματικότητα της ΔΜΑ σε σχέση με συγκεκριμένους μαθησιακούς στόχους. Τα δεδομένα για την αξιολόγηση της επίτευξης των στόχων συλλέγονται μέσω ερωτηματολογίων πριν και μετά την εφαρμογή της ΔΜΑ (Méheut & Psillos, 2004).

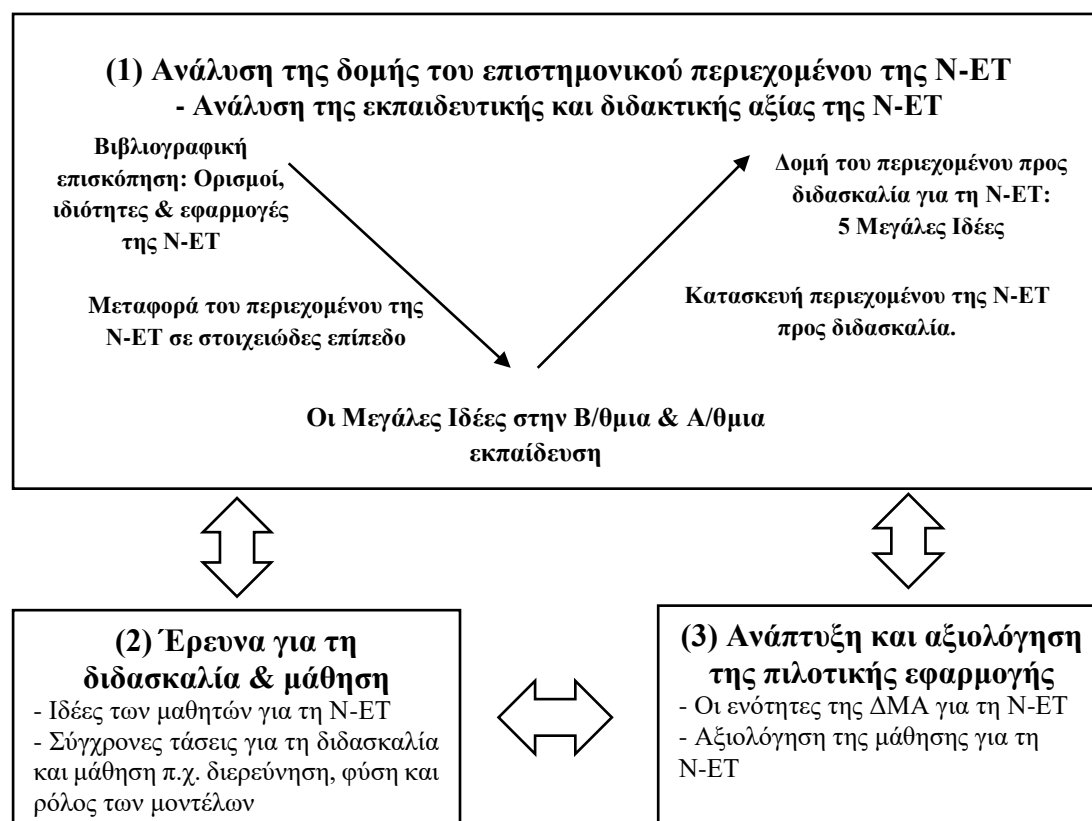
Η αξιολόγηση διακρίνεται σε «εσωτερική» και «εξωτερική». Η εσωτερική αξιολόγηση αφορά την σύγκριση των αποτελεσμάτων στα ερωτηματολόγια των μαθητών στους οποίους εφαρμόστηκε η ΔΜΑ. Έχει ως στόχο την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας της ΔΜΑ σε σχέση με τους αρχικούς στόχους που έχουν τεθεί. Η εξωτερική αξιολόγηση αφορά την σύγκριση των απαντήσεων που έδωσαν οι μαθητές στους οποίους εφαρμόστηκε η ΔΜΑ με μαθητές ίδιου επιπέδου, στους οποίους όμως δεν εφαρμόστηκε η ΔΜΑ. Στόχος της εξωτερικής αξιολόγησης είναι να

εγκυροποιήσει ότι για την για τους ίδιους στόχους, η ΔΜΑ είναι πιο αποτελεσματική από άλλου είδους διδασκαλίες (Méhaut & Psillos, 2004).

Όσον αφορά τη δεύτερη περίπτωση, στοχεύει στη μελέτη των μαθησιακών διαδικασιών για περιπτώσεις στις οποίες επιθυμούμε να ελέγξουμε τις επιλογές που θα κάνουμε για την ανάπτυξη διδακτικών-μαθησιακών καταστάσεων. Η λεπτομερής ανάλυση των μαθησιακών μονοπατιών μπορεί να προσφέρει πληροφορίες α) για την αποτελεσματικότητα των ειδικών μαθησιακών καταστάσεων και την συνολική αξιολόγηση της ΔΜΑ β) για τον έλεγχο των υποθέσεων με βάση τις οποίες σχεδιάστηκαν οι μαθησιακές καταστάσεις γ) για την βελτίωση των μαθησιακών καταστάσεων (Méhaut & Psillos, 2004).

2^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΗΣ ΔΜΑ ΓΙΑ ΤΗ Ν-ΕΤ

Ο σχεδιασμός και η ανάπτυξη της ΔΜΑ βασίστηκε στο Μοντέλο της Εκπαιδευτικής Επανοικοδόμησης (Duit et al., 2012· Duit, 2007) καθώς και στο μοντέλο του Pickering (Psillos, Kariotoglou, Tselfes et al. 2003). Πιο συγκεκριμένα λάβαμε υπόψη τρεις συνιστώσες, οι οποίες αποτελούν τους πυλώνες των σχεδιαστικών αρχών: (α) την ανάλυση του περιεχομένου στο επίπεδο της επιστήμης καθώς στο επίπεδο της υποχρεωτικής εκπαίδευσης (β) την έρευνα για τη διδασκαλία & μάθηση (γ) την ανάπτυξη και αξιολόγηση της πιλοτικής εφαρμογής της ΔΜΑ. Οι τρεις συνιστώσες του Μοντέλου της Εκπαιδευτικής Επανοικοδόμησης αλληλεπιδρούν μεταξύ τους επηρεάζοντας η μια την άλλη και δεν υποδεικνύουν μια αυστηρή σειρά με την οποία σχεδιάζεται μια ΔΜΑ. Στο σχήμα 2.1 αναπαριστώνται οι τρεις συνιστώσες του μοντέλου στην περίπτωση της Ν-ΕΤ.



Σχήμα 2.1. Το μοντέλο της Εκπαιδευτικής Επανοικοδόμησης στην περίπτωση της Ν-ΕΤ

2.1. Οι σχεδιαστικές αρχές της ΔΜΑ για τη Ν-ΕΤ

2.1.1. Ανάλυση του περιεχομένου της Ν-ΕΤ στα επίπεδα της επιστήμης και της υποχρεωτικής εκπαίδευσης

Όσον αφορά την ανάλυση του επιστημονικού περιεχομένου, στην βιβλιογραφία καταγράφεται ότι στόχος είναι αφενός να αποσαφηνιστεί το επιστημονικό περιεχόμενο, αφετέρου να περιγράψει η δομή του υπό την εκπαιδευτική οπτική, αναδεικνύοντας παράλληλα την εκπαιδευτική του αξία (Duit, 2012). Για την εξυπηρέτηση αυτού του σκοπού προτείνεται η αναζήτηση του πυρήνα του επιστημονικού περιεχομένου στα κυρίαρχα βιβλία (leading books) και τις πιο καίριες δημοσιεύσεις (key publications) δίνοντας έμφαση στην περιγραφή της δομής του και της εκπαιδευτικής του αξίας υπό το πρίσμα των δημοσιεύσεων στον χώρο της Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών (Duit, 2012).

Πιο συγκεκριμένα, για την αποσαφήνιση του επιστημονικού περιεχόμενου της Ν-ΕΤ καταγράψαμε α) ορισμούς της Ν-ΕΤ από διαφορετικά επιστημονικά βιβλία και περιοδικά με προσανατολισμό στο επιστημονικό περιεχόμενο (ενότητα 1.2.1) β) τις ιδιότητες της ναοκλίμακας, οι οποίες καθιστούν τη Ν-ΕΤ καινοτόμα (1.2.2) γ) τις εφαρμογές της Ν-ΕΤ (ενότητα 1.2.3). Στη συνέχεια περιγράψαμε το περιεχόμενο-βασικές έννοιες, οι οποίες διδάσκονται στην Γ/θμια, στην Β/θμια και στην Α/θμια εκπαίδευση (ενότητα 1.3).

Πρώτο βήμα για την μεταφορά του επιστημονικού περιεχομένου σε στοιχειώδες επίπεδο αποτελεί η αναζήτηση και ο καθορισμός των βασικών στοιχείων του περιεχομένου που πρόκειται να διδαχθεί. Με βάση την ανάλυση της δομής του περιεχομένου της Ν-ΕΤ καθώς και την έρευνα για τη διδασκαλία και μάθηση επιλέξαμε αρχικά ποιες *Μεγάλες Ιδέες* θα ενσωματώσουμε στη ΔΜΑ. Μεταξύ των τριών βαθμίδων της εκπαίδευσης εντοπίζονται έξι *Μεγάλες Ιδέες* για τη Ν-ΕΤ (βλέπε ενότητα 1.3.6). Από αυτές τις έξι επιλέξαμε τις πέντε, το «Μέγεθος και Κλίμακα», τα «Εργαλεία και όργανα», τις «Εφαρμογές της Ν-ΕΤ» και τις «Ιδιότητες εξαρτώμενες από το μέγεθος», τα «Μοντέλα και προσομοιώσεις». Στις ακόλουθες παραγράφους περιγράφεται η αιτιολόγηση της επιλογής των πέντε *Μεγάλων Ιδεών*.

Μέγεθος και Κλίμακα

Στη βιβλιογραφία, η *Μεγάλη Ιδέα* «Μέγεθος και Κλίμακα» θεωρείται ότι ενυπάρχει σε όλες τις άλλες *Μεγάλες Ιδέες* και αποτελεί προϋπόθεση για την κατανόηση των υπόλοιπων εννοιών της N-ET (Stevens et al., 2009· Wansom et al., 2009). Μάλιστα οι περισσότερες έρευνες για τη N-ET, από μια εκπαιδευτική οπτική, έχουν διεξαχθεί για τη *Μεγάλη Ιδέα* «Μέγεθος και Κλίμακα» (Blonder & Sakhnini, 2016· Bryan et al., 2015). Οι έρευνες καταλήγουν πως οι μαθητές δημοτικού αντιμετωπίζουν δυσκολίες σε δεξιότητες οι οποίες αφορούν την έννοια του μεγέθους. Για παράδειγμα, δεν μπορούν να σειροθετήσουν αντικείμενα διαφορετικών μεγεθών μη ορατών κόσμων (Tretter et al., 2016) (βλέπε αναλυτικά ενότητα (1.6.1)).

Επίσης, από τους ορισμούς για τη N-ET αλλά και τις *Μεγάλες Ιδέες* φαίνεται πως το μέγεθος της νανοκλίμακας είναι αυτό το οποίο ευθύνεται για τις μοναδικές ιδιότητες και φαινόμενα, τα οποία λαμβάνουν χώρα στην νανοκλίμακα (βλέπε 1.2.2). Συνεπώς οι μαθητές χρειάζεται να έχουν επίγνωση της ιδέας αυτής ώστε να μπορέσουν να προσεγγίσουν και άλλες έννοιες της N-ET, όπως τις «Ιδιότητες εξαρτώμενες από το μέγεθος». Μάλιστα στην έρευνα για την εκπαίδευση στη N-ET εντοπίζεται ένα πλαίσιο για την διδασκαλία και μάθηση του Μεγέθους και της Κλίμακας, το οποίο μας δίνει σαφείς κατευθύνσεις «τι είναι ωφέλιμο» να διδαχθεί για την έννοια του μεγέθους και της κλίμακας (Magana et al., 2012) (βλέπε αναλυτικά 1.6.4).

Σχεδιαστική Αρχή 1:

Η *Μεγάλη Ιδέα*, «Μέγεθος και Κλίμακα» αναδεικνύεται ως πυρήνας για την κατανόηση του περιεχομένου της N-ET.

Εργαλεία και Όργανα

Η ραγδαία εξέλιξη του πεδίου της N-ET οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στην ανάπτυξη εργαλείων όπως το μικροσκόπιο ατομικών δυνάμεων (AFM) και του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης (STM) τα οποία κατέστησαν δυνατή την παρατήρηση δομών της νανοκλίμακας (Kumar & Kumbhat, 2016· Murty et al., 2013· Stevens et al., 2009). Στη βιβλιογραφία καταγράφεται ότι μια τάση των διδακτικών προτάσεων για τη N-ET δίνει έμφαση στη διδασκαλία στα όργανα παρατήρησης των μη ορατών κόσμων (Jones et al. 2013). Σύμφωνα με τους Stevens et al. (2009) ένας τρόπος για να διακρίνουμε

τον μακρόκοσμο, τον μικρόκοσμο και τον νανόκοσμο είναι συνδέσουμε τον κάθε κόσμο με το όργανο παρατήρησής του. Έτσι η *Μεγάλη Ιδέα* «Εργαλεία και Όργανα» αναδεικνύεται ως χρήσιμη για την κατανόηση της *Μεγάλης Ιδέας* «Μέγεθος και Κλίμακα».

Σχεδιαστική Αρχή 2:

Η παράλληλη προσέγγιση των *Μεγάλων Ιδεών* «μέγεθος και κλίμακα»-«εργαλεία και όργανα» έχει διδακτική αξία, αφού τα «εργαλεία και όργανα» μπορούν να συμβάλλουν στην εκμάθηση του «μεγέθους και κλίμακας».

Επιστήμη-Τεχνολογία-Κοινωνία: Εφαρμογές της N-ET

Οι Lin et al. (2015) σε άρθρο τους για την Α/θμια εκπαίδευση, τονίζουν ότι νανοφαινόμενα, όπως το «φαινόμενο του λωτού», μπορούν να συνδεθούν με εφαρμογές της N-ET, (π.χ. τα υπερυδρόφοβα προϊόντα) και ως εκ τούτου, οι μαθητές εύκολα μπορούν να τα προσεγγίσουν. Στην ίδια λογική, οι Sakhnini & Blonder (2016) υποστηρίζουν ότι οι εφαρμογές της N-ET, όπως τα υπερυδρόφοβα προϊόντα, μπορούν να αποτελέσουν το πλαίσιο το οποίο θα αποτελέσει την αφετηρία για να κατανοήσουν οι μαθητές άλλες *Μεγάλες Ιδέες* της N-ET, όπως για παράδειγμα τις «εξαρτώμενες από το μέγεθος ιδιότητες».

Σχεδιαστική Αρχή 3:

Η μάθηση για το περιεχόμενο της N-ET φαίνεται να αποκτά νόημα για τους μαθητές όταν έχουν ευκαιρίες να αναγνωρίσουν την σχέση της επιστήμης και της τεχνολογίας στην κλίμακα του νάνο με τις εφαρμογές της καθημερινής τους ζωής (Sakhnini & Blonder 2016· O'Connor & Hayden, 2008· Hutchinson et al., 2007).

Ιδιότητες εξαρτώμενες απ' το μέγεθος

Η *Μεγάλη Ιδέα* «Ιδιότητες εξαρτώμενες από το μέγεθος» θεωρείται «η πραγματικά καινούργια ιδέα ανάμεσα στις εννιά *Μεγάλες Ιδέες* της N-ET» (Stevens et al., 2009: 41). Εξάλλου ένα σημαντικό ποσοστό της επανάστασης, που υπόσχεται η νανοτεχνολογία, αφορά την εκμετάλλευση των νέων ιδιοτήτων της ύλης στη νανοκλίμακα, ώστε να προκύψουν νέες εφαρμογές, για παράδειγμα άχρωμα αντηλιακά

με υψηλή προστασία. Επίσης, σύμφωνα με τον Hochella (2002), ο συνδυασμός του μεγέθους με τις ιδιότητες είναι αυτό το χαρακτηριστικό που ξεχωρίζει τη N-ET από άλλα πεδία έρευνας. Επιπλέον, οι Stevens et al. (2009) επισημαίνουν, ότι η διαπραγμάτευση της αλλαγής των ιδιοτήτων από την μακροκλίμακα στη νανοκλίμακα, μπορεί να οδηγήσει τους μαθητές σε μια πιο βαθύτερη κατανόηση της συμπεριφοράς της ύλης. Παράλληλα, υποστηρίζεται ότι η κατανόηση εννοιών της νανοκλίμακας μπορεί να βοηθήσει τους μαθητές να προσεγγίσουν ευκολότερα το περιεχόμενο της ατομικής-μοριακής θεωρίας (Wiser & Smith, 2008).

Σχεδιαστική Αρχή 4:

Η οικοδόμηση του συλλογισμού «όταν ένα υλικό μικραίνει σε διαστάσεις της νανοκλίμακας, τότε αλλάζει δραματικά τις ιδιότητές τους» φαίνεται να είναι ένας σημαντικός επιδιωκόμενος μαθησιακός στόχος για το περιεχόμενο της N-ET. Συνδέεται πέρα από την κατανόηση των φαινομένων/ιδιοτήτων στη νανοκλίμακα και με την κατανόηση της ατομικής-μοριακής θεωρίας.

Μοντέλα και προσομοιώσεις

Καθώς στην σχολική τάξη δε μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ηλεκτρονικό μικροσκόπιο για να παρατηρήσουν οι μαθητές αντικείμενα του νανόκοσμου, η γνώση για τα μοντέλα και τη μοντελοποίηση κρίνεται απαραίτητη. Πιο συγκεκριμένα, για να προσεγγίσουν οι μαθητές έννοιες και φαινόμενα τα οποία δεν είναι ορατά με γυμνό μάτι, στη βιβλιογραφία προτείνεται η διδασκαλία για τη φύση και το ρόλο των μοντέλων καθώς και η εμπλοκή των μαθητών σε διαδικασίες κατασκευής μοντέλων (Schwartz et al., 2009) (βλέπε 1.6.3). Μάλιστα, οι Wansom et al. (2009) υπογραμμίζουν ότι τα μοντέλα αποτελούν την αιχμή του δόρατος στο πεδίο της N-ET, διαπερνούν όλες τις *Μεγάλες Ιδέες* και αποτελούν κομβική έννοια για την κατανόηση της N-ET. Στο πλαίσιο του παραπάνω προβληματισμού, ερευνητές καταγράφουν πως η διδασκαλία εννοιών και φαινομένων της N-ET είναι δύσκολη γιατί οι μαθητές δεν έχουν εμπειρίες σχετικές με τον μικρόκοσμο και τον νανόκοσμο, όπως έχουν για τον μακρόκοσμο (Jones et al., 2013).

Σχεδιαστική Αρχή 5.

Συνεπώς θεωρούμε, ότι η κατασκευή μοντέλων από τους μαθητές σε συνδυασμό με τη γνώση τους για τη φύση και τον ρόλο των μοντέλων μπορεί να συμβάλλει στην απόκτηση εμπειριών, οι οποίες θα βοηθήσουν στην κατανόηση των εννοιών και των φαινομένων της N-ET.

2.1.2. Έρευνα για τη διδασκαλία & μάθηση στη N-ET

Σχετικά με την έρευνα για τη διδασκαλία & μάθηση, περιγράψαμε αρχικά τις ιδέες μαθητών του δημοτικού σχολείου για έννοιες σχετικές με τη N-ET (βλέπε ενότητα 1.6.1). Συνοπτικά, οι έρευνες εστιάζουν στις ιδέες των μαθητών σχετικά με την ΜΙ «μέγεθος και κλίμακα» και υποδεικνύουν ότι οι μαθητές συνήθως αποτυγχάνουν σε έργα σχετικά με την ταξινόμηση και σειροθέτηση αντικειμένων/οντοτήτων του μακρόκοσμου, του μικρόκοσμου και του νανόκοσμου. Επίσης, φαίνεται ότι έχουν γνώσεις για βιολογικές οντότητες του μικρόκοσμου. Έτσι, προκύπτουν οι σχεδιαστικές αρχές έξι και επτά.

Σχεδιαστική Αρχή 6

Οι μαθητές αντιμετωπίζουν δυσκολίες στην ταξινόμηση και σειροθέτηση αντικειμένων/οντοτήτων που δεν είναι ορατά με γυμνό μάτι.

Σχεδιαστική Αρχή 7

Οι μαθητές στις τελευταίες τάξεις του δημοτικού σχολείου έχουν προϋπάρχουσες γνώσεις για οντότητες του βιολογικού μικρόκοσμου. Ως εκ τούτου, ο βιολογικός μικρόκοσμος μπορεί να αποτελέσει το «όχημα» για το πέρασμα στον νανόκοσμο.

Επίσης, αναλύσαμε θέματα σχετικά με την διερευνητική μέθοδο διδασκαλίας καθώς και την άμεση διδασκαλία της φύσης και του ρόλου των μοντέλων στις φυσικές επιστήμες (βλέπε ενότητες 1.6.2 και 1.6.3). Συνοπτικά, από την βιβλιογραφική επισκόπηση φαίνεται ότι η διερεύνηση μέρος της οποίας αποτελούν τα μοντέλα και η μοντελοποίηση μπορούν να συμβάλλουν σημαντικά στην προσέγγιση του περιεχομένου της N-ET.

Σχεδιαστική Αρχή 8

Οι μαθητές αντιμετωπίζουν δυσκολία στην αναγνώριση της αναπαραστατικής φύσης των μοντέλων, ενώ φαίνεται ότι αναγνωρίζουν ευκολότερα στοιχεία του ρόλου των μοντέλων.

Επιπλέον, παρουσιάσαμε ένα συγκεκριμένο πλαίσιο όπως καταγράφεται στη βιβλιογραφία για την διδασκαλία και μάθηση σχετικά με την *Μεγάλη Ιδέα* «Μέγεθος και Κλίμακα» (βλέπε ενότητα 1.6.4). Το πλαίσιο αυτό υποστηρίζεται ότι καλύπτει όλες τις όψεις αυτής της Μεγάλης Ιδέας και προσφέρει κατευθυντήριες γραμμές για τον σχεδιασμό σχετικών διδακτικών υλικών (Magana et al. 2012).

Σχεδιαστική Αρχή 9

Η εκμάθηση της Μεγάλης Ιδέας του «μεγέθους και της κλίμακας» μπορεί να οικοδομηθεί με βάση το μοντέλο των πέντε επιπέδων FS2C (Magana et al. 2012). Αυτό σημαίνει ότι οι μαθητές εξοικειώνονται αρχικά με την έννοια του μεγέθους (τρία πρώτα επίπεδα) και στη συνέχεια με την έννοια της κλίμακας.

Τέλος, από την βιβλιογραφική επισκόπηση για το περιεχόμενο της N-ET σε όλες τις βαθμίδες της εκπαίδευσης, αλλά και από προτάσεις της Διδακτικής των ΦΕ φαίνεται ότι ένα από τα βασικότερα χαρακτηριστικά της N-ET είναι η διεπιστημονική της φύση (Bhushan, 2016). Συγκεκριμένα, υποστηρίζεται ότι η N-ET είναι «ανοιχτή» για διεπιστημονική μελέτη όσον αφορά τα υλικά, τις ιδιότητές τους και τις σχετικές εφαρμογές στην κλίμακα του νάνο (Kähkönen et al., 2016).

Σχεδιαστική Αρχή 10

Η φύση της N-ET είναι διεπιστημονική και μπορεί να συνδέσει δύο ή περισσότερα παραδοσιακά περιεχόμενα, όπως τη φυσική, τη βιολογία, τη χημεία, τη μηχανική και την επιστήμη των υλικών.

2.2. Διδακτικός Μετασχηματισμός των πέντε Μεγάλων Ιδεών για το δημοτικό σχολείο

Στην ενότητα αυτή περιγράφεται η απλοποίηση του επιστημονικού περιεχομένου των *Μεγάλων Ιδεών* λαμβάνοντας αφενός υπόψη την ηλικία των μαθητών (Μαθητές Στ τάξης του δημοτικού σχολείου) αφετέρου τον περιορισμό του χρόνου μέσα στον οποίο θα διδαχθούν οι *Μεγάλες Ιδέες* καθώς η ΔΜΑ αποτελεί μικρής κλίμακας αναλυτικό πρόγραμμα.

Μέγεθος – Εργαλεία και Όργανα

Από την *Μεγάλη Ιδέα* «Μέγεθος και Κλίμακα» στη ΔΜΑ για τη Ν-ΕΤ στο δημοτικό σχολείο, εισάγουμε μόνο την έννοια «Μέγεθος». Καταλήξαμε στην διάκριση του Μεγέθους από την Κλίμακα συμφωνώντας με το FS2C πλαίσιο των Magana et al. (2012). Το πλαίσιο αυτό σκιαγραφεί μια μέθοδο υποστηρικτικής διδασκαλίας και μάθησης για τη *Μεγάλη Ιδέα* «Μέγεθος και της Κλίμακα» (Βλέπε 1.3.4). Το μέγεθος αφορά μια ποιοτική σημασιολογική ιδιότητα ενός αντικειμένου ενώ η κλίμακα μια ποσοτική ιδιότητά. Οι ερευνητές προτείνουν 5 σκαλοπάτια- γνωστικές διαδικασίες για να καταφέρει ο μαθητής να φτάσει από ένα ποιοτικό επίπεδο κατανόησης του μεγέθους σε μια ποσοτική, απόλυτη αντίληψη για την κλίμακα. Στο δημοτικό σχολείο επικεντρωνόμαστε στις δύο πρώτες γνωστικές διαδικασίες του μοντέλου, την «γενίκευση» και τη «διάκριση», οι οποίες αφορούν μόνο το «Μέγεθος» και αποτελούν τα δύο πρώτα σκαλοπάτια τα οποία καλούνται να ανέβουν οι μαθητές για να προχωρήσουν στις επόμενες γνωστικές διαδικασίες.

Η «γενίκευση», στην ΔΜΑ για τη Ν-ΕΤ αφορά την ταξινόμηση (Magana et al., 2012) αντικειμένων αναφοράς (landmark objects) στον μακρόκοσμο, στον μικρόκοσμο και στον νανόκοσμο με κριτήριο το όργανο παρατήρησης των αντικειμένων (Sevens et al., 2009). Πιο αναλυτικά, στον μακρόκοσμο προτείνεται η ταξινόμηση αντικειμένων τα οποία είναι ορατά με γυμνό μάτι. Στον μικρόκοσμο η ταξινόμηση αντικειμένων αναφοράς τα οποία είναι ορατά με οπτικό μικροσκόπιο και αφορούν τον χώρο της βιολογίας (όπως κύτταρα κρεμμυδιού, πυρήνες κυττάρου, ερυθρά αιμοσφαίρια). Ο βιολογικός μικρόκοσμος φαίνεται πως είναι οικείος στους μαθητές δημοτικού και το κλειδί για την μετάβαση στον νανόκοσμο (Murriello et al., 2006). Τέλος στον

Νανόκοσμο ταξινομούνται αντικείμενα αναφοράς τα οποία είναι ορατά με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο όπως ο ιός και το DNA (Stevens et al., 2009).

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, το ποιοτική κριτήριο για την ταξινόμηση των αντικειμένων στον κάθε κόσμο πραγματοποιείται με βάση τα αντίστοιχα όργανα παρατήρησής τους (Stevens et al., 2009). Πιο συγκεκριμένα εισάγονται οι μαθητές μέσα από βιωματικές δραστηριότητες στα όρια των οργάνων παρατήρησής του κάθε κόσμου. Διαπιστώνεται ότι το γυμνό μάτι έχει όρια και δε μπορώ να δω κάτι μικρότερο π.χ. από τον κόκκο χρώματος και χρειάζεται ένα καινούργιο όργανο. Έπειτα, παρατηρώντας τον πυρήνα του κυττάρου κρεμμυδιού διαπιστώνεται ότι δε μπορώ να δω π.χ. το DNA μέσα στον πυρήνα οπότε χρειάζομαι επίσης ένα καινούργιο όργανο που να προσφέρει ακόμα μεγαλύτερη μεγέθυνση. Έτσι, οι κόσμοι χαρακτηρίζονται από τα όργανα με τα οποία γίνονται ορατοί. Το γυμνό μάτι είναι αυτό που χαρακτηρίζει με τον μακρόκοσμο, το οπτικό μικροσκόπιο με τον μικρόκοσμο και το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο με τον νανόκοσμο. Συνεπώς, η *Μεγάλη Ιδέα* «Εργαλεία και όργανα» αποτελεί το διδακτικό και εννοιολογικό μας εργαλείο για να προσεγγίσουμε τη *Μεγάλη Ιδέα* «Μέγεθος» και συγκεκριμένα την ταξινόμηση των αντικειμένων.

Όσον αφορά την δεύτερη γνωστική διαδικασία, τη «Διάκριση», αποτελεί μια ποιοτική διαδικασία η οποία περιλαμβάνει την σειροθέτηση αντικειμένων (Magana et al., 2012). Οι Tretter et al. (2006) υποστηρίζουν ότι οι μαθητές δημοτικού δυσκολεύονται να σειροθετήσουν αντικείμενα που δεν έχουν ποιοτική σχέση μεταξύ τους. Έτσι προτείνουμε στην ΔΜΑ την σειροθέτηση αντικειμένων τα οποία μεταξύ τους έχουν κάποια ποιοτική σχέση. Πιο συγκεκριμένα, την ποιοτική αυτή σχέση την προσδιορίζουμε με δύο τρόπους: α) τον κόσμο στον οποίο ανήκει το κάθε αντικείμενο και β) «αν ένα αντικείμενο βρίσκεται μέσα σε ένα άλλο αντικείμενο». Για παράδειγμα, η ποιοτική σχέση του πυρήνα του κυττάρου κρεμμυδιού με το κύτταρο κρεμμυδιού, προκύπτει από το ότι ο «πυρήνας του κυττάρου βρίσκεται μέσα στο κύτταρο, άρα είναι μικρότερος απ' το κύτταρο». Ομοίως, η ποιοτική σχέση του DNA με τον ιό προκύπτει από το ότι «το DNA βρίσκεται μέσα στον ιό, άρα είναι μικρότερο από τον ιό».

Επίσης, βλέποντας το εν λόγω στοιχειώδες περιεχόμενο υπό το πρίσμα των γνωστικών διαδικασιών και των επιπέδων, που προτείνει το μοντέλο των Magana et al. (2012) μπορούμε να πούμε ότι τα ΣΠ1 και ΣΠ2 (πίνακας 2.1) ανήκουν στην πρώτη γνωστική διαδικασία με τίτλο «Γενίκευση» η οποία συνάδει με το επίπεδο της

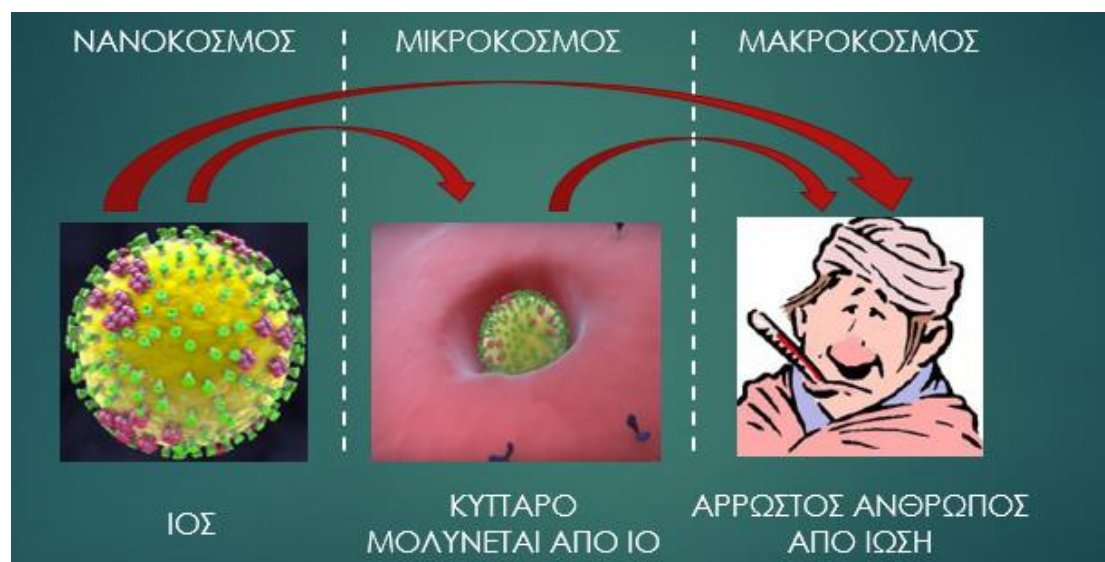
ποιοτικής κατηγοριοποιητικής αντίληψης. Το ΣΠ3 ανήκει στην δεύτερη γνωστική διαδικασία, με τίτλο «Σύγκριση», η οποία συνάδει με το επίπεδο της ποιοτικής συσχετικής αντίληψης.

Πίνακας 2.1: Το περιεχόμενο των *Μεγάλων Ιδεών* «Μέγεθος» και «Εργαλεία και Όργανα» στη ΔΜΑ της Ν-ΕΤ για το δημοτικό σχολείο.

Μεγάλη Ιδέα	Στοιχειώδες Περιεχόμενο (ΣΠ)
Μέγεθος & Εργαλεία και όργανα	(ΣΠ 1) Στον Μακρόκοσμο ταξινομούνται αντικείμενα τα οποία είναι ορατά με γυμνό μάτι. Στον Μικρόκοσμο ταξινομούνται αντικείμενα τα οποία είναι ορατά με το οπτικό μικροσκόπιο. Στον Νανόκοσμο ταξινομούνται αντικείμενα τα οποία είναι ορατά μόνο με το Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο.
Μέγεθος & Εργαλεία και όργανα	(ΣΠ 2) Τα ερυθρά αιμοσφαίρια, τα κύτταρα κρεμμυδιού και ο πυρήνας του κυττάρου του κρεμμυδιού ταξινομούνται στον μικρόκοσμο γιατί είναι ορατά με οπτικό μικροσκόπιο. Ο ιός και το DNA ταξινομούνται στον Νανόκοσμο γιατί είναι ορατά μόνο με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο.
Μέγεθος	(ΣΠ 3) Σειροθέτηση από το μεγαλύτερο στο μικρότερο: μπάλα ποδοσφαίρου > κόκκος αλατιού > Κύτταρο κρεμμυδιού > πυρήνας κυττάρου > ιός > DNA
Εργαλεία και όργανα	(ΣΠ 4) Το Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο προσφέρει πολύ μεγαλύτερη μεγέθυνση από το οπτικό μικροσκόπιο

Ένα επιπλέον ζήτημα το οποίο υπογραμμίζουν ερευνητές στον χώρο της εκπαίδευσης των ΦΕ είναι ότι οι μαθητές χρειάζεται να αποκτήσουν επίγνωση της αλληλεπίδρασης μεταξύ των τριών κόσμων, δηλαδή του μακρόκοσμου του μικρόκοσμου και του νανόκοσμου (Majier 2011· Stevens et al., 2009). Μάλιστα, η Healy (2009) αναφέρει ότι στο δημοτικό σχολείο είναι σημαντικό να κατανοήσουν οι μαθητές ότι πολύ μικρά αντικείμενα που είναι αόρατα με γυμνό μάτι (αντικείμενα της μικροκλίμακας και της νανοκλίμακας) μπορούν να επηρεάσουν πράγματα που είναι ορατά με γυμνό μάτι (μακροκλίμακα). Έτσι στη ΔΜΑ για τη Ν-ΕΤ επιδιώκουμε να εισάγουμε την ιδέα αυτή εντάσσοντάς την μέσα σε ένα βιολογικό φαινόμενο και συγκεκριμένα του φαινομένου της ίωσης. Το περιεχόμενο της ιδέας αυτής συνίσταται στην εξής πρόταση: «Ένα αντικείμενο του νανόκοσμου, ο ιός, επηρεάζει τα κύτταρα του ανθρώπινου σώματος, δηλαδή τον μικρόκοσμο με αποτέλεσμα να αρρωστήσει ο

άνθρωπος ο οποίος ανήκει στον μακρόκοσμο» (εικόνα 2.1). Στην παραπάνω πρόταση παρατηρούμε ότι για να περιγράψει η αλληλεπίδραση μεταξύ των τριών κόσμων είναι απαραίτητο οι μαθητές να αναφέρουν ποιο αντικείμενο ανήκει σε κάθε κόσμο. Έτσι θεωρούμε πως το φαινόμενο της ίωσης μπορεί να συμβάλλει στην άσκηση των μαθητών στην δεξιότητα ταξινόμησης των αντικειμένων στους τρεις κόσμους.



Εικόνα: 2.1: Ίωση: ο νανόκοσμος επηρεάζει τον μικρόκοσμο και τον μακρόκοσμο¹¹

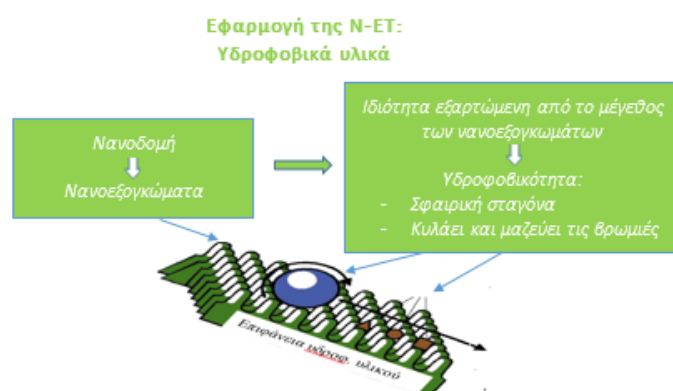
Επιστήμη – Τεχνολογία – Κοινωνία: Εφαρμογές & «Ιδιότητες εξαρτώμενες απ’ το μέγεθος

Οι Sakhnini & Blonder (2016) υποστηρίζουν ότι οι Εφαρμογές της N-ET αποτελούν ένα πλαίσιο με νόημα για τους μαθητές μέσω του οποίου μπορούν να διδαχθούν άλλες έννοιες της N-ET όπως οι «εξαρτώμενες από το μέγεθος ιδιότητες». Υπό το πρίσμα της παραπάνω πρότασης επιλέξαμε να εισάγουμε στο δημοτικό σχολείο δύο εφαρμογές της N-ET: α) τα υπερυδροφоба υλικά και β) τα φίλτρα καθαρισμού του νερού μέσω νανοτεχνολογίας. Όσον αφορά τα υπερυδροφоба υλικά, συνδέονται με την ιδιότητα της υπερυδροφοβικότητας. Στη βιβλιογραφία καταγράφεται ότι η υπερυδροφοβικότητα συνδέεται με εφαρμογές της N-ET οι οποίες έχουν ευρεία

¹¹ Εικόνες από <http://swine-flu-h1n1-virus.scientificanimations.com/> και <http://www.clipartkid.com/feeling-ill-cliparts/>

χρησιμότητα στην καθημερινότητα και το φαινόμενο του λωτού είναι εύκολο να παρατηρηθεί στον μακρόκοσμο. Μάλιστα τέτοιου είδους εφαρμογές της N-ET θεωρούνται ως κατάλληλες για διαπραγμάτευση και στο δημοτικό σχολείο (Sakhnini & Blonder, 2016· Lin et al., 2015· Murriello, Contier & Knobel, 2006). Όσον αφορά τα φίλτρα νανοτεχνολογίας θεωρούμε ότι επίσης αποτελούν ένα πλαίσιο με νόημα για τους μαθητές καθώς πρόκειται να συζητηθεί η ανάγκη για πόσιμο νερό σε χώρες του τρίτου κόσμου.

Οι εφαρμογές προσεγγίζονται από δύο οπτικές γωνίες. Η πρώτη αφορά την περιγραφή των χαρακτηριστικών τους μέσα από τη *Μεγάλη Ιδέα* «Μέγεθος» και συγκεκριμένα τη νανοδομή (Wansom et al., 2009) καθώς και μέσα από τη *Μεγάλη Ιδέα* «Ιδιότητες εξαρτώμενες από το μέγεθος». Η δεύτερη αφορά την χρησιμότητα των εφαρμογών αυτών στην καθημερινή ζωή.



Σχήμα 2.2: Το περιεχόμενο στη DMA της N-ET για το δημοτικό σχολείο, για τις *Μεγάλες Ιδέες* «Ιδιότητες εξαρτώμενες από το Μέγεθος» και «Εφαρμογές της N-ET» στην περίπτωση της υπερυδροφοβικότητας.

Το στοιχειώδες περιεχόμενο για τη *Μεγάλη Ιδέα* «Ιδιότητες εξαρτώμενες από το μέγεθος» στην περίπτωση της εφαρμογής των υδροφοβικών υλικών, αφορά την περιγραφή της νανο-δομής τους και την σχέση της με την ιδιότητα της υπερυδροφοβικότητας. Πιο συγκεκριμένα για το δημοτικό σχολείο η παρακάτω πρόταση αντιπροσωπεύει το στοιχειώδες περιεχόμενο για τις εν λόγω *Μεγάλες Ιδέες*: «Η επιφάνεια ενός υδροφοβικού υλικού είναι καλυμμένη με εξογκώματα σε μέγεθος νάνο (νανοεξογκώματα). Οι σταγόνες του νερού δεν χωράνε ανάμεσα από τα

νανοεξογκώματα. Έτσι τα νανοεξογκώματα είναι σαν να κρατούν τις σταγόνες στον αέρα, οι οποίες παίρνουν σχήμα σφαιρικό. Καθώς έχουν σχήμα σφαιρικό μπορούν να κυλάνε έξω από επιφάνεια του υλικού και να μαζεύουν τα σωματίδια βρωμιάς που μπορεί να υπάρχουν πάνω στα νανοεξογκώματα. Έτσι το υλικό διατηρείται στεγνό και καθαρό» (σχήμα 2.2). Διευκρινίζεται ότι στο δημοτικό σχολείο ο όρος υπερυδροφοβικότητα αποδόθηκε ως «υδροφοβικότητα».

Όσον αφορά την χρησιμότητα των υδροφοβικών υλικών στο δημοτικό σχολείο προτείνεται να αναφέρουν οι ίδιοι οι μαθητές σε ποιες περιπτώσεις νομίζουν ότι τέτοιου είδους υλικά θα τους ήταν χρήσιμα. Ενδεικτικά αναφέρονται περιπτώσεις ένδυσης, υπόδησης και τεχνολογίας, για παράδειγμα υδροφοβικά κινητά τηλέφωνα κ.α.

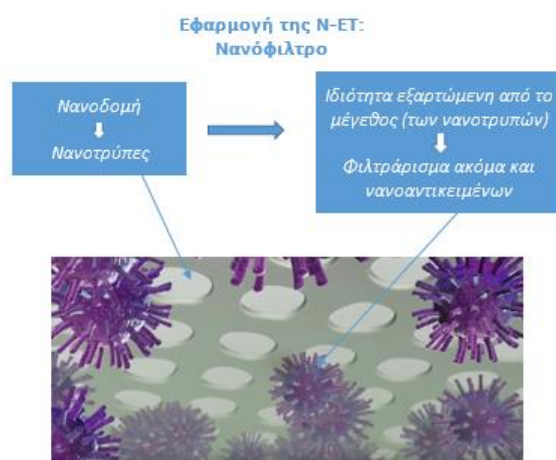
Το στοιχειώδες περιεχόμενο για τη *Μεγάλη Ιδέα* «Ιδιότητες εξαρτώμενες από το μέγεθος» στην περίπτωση της εφαρμογής των φίλτρων νανοτεχνολογίας, αφορά επίσης την περιγραφή της νανο-δομής τους και την σχέση της με την ιδιότητά τους να φιλτράρουν ακόμα και αντικείμενα σε μέγεθος νανοκλίμακας (σχήμα 2.3).

Πιο συγκεκριμένα για το δημοτικό σχολείο η παρακάτω πρόταση αντιπροσωπεύει το στοιχειώδες περιεχόμενο για τις εν λόγω *Μεγάλες Ιδέες*: «Τα φίλτρα νανοτεχνολογίας (νανόφιλτρα) έχουν τρύπες σε μέγεθος νάνο (νανοτρύπες) οι οποίες δεν επιτρέπουν να περνούν μέσα από αυτές αντικείμενα με μεγαλύτερο μέγεθος. Τα νανόφιλτρα μπορούν να συγκρατήσουν ακόμα και αντικείμενα σε μέγεθος νάνο π.χ. τους ιούς. Έτσι, νερό μολυσμένο ακόμα και από ιούς, όταν φιλτράρεται με νανόφιλτρο γίνεται πόσιμο».

Στην παραπάνω πρόταση υπογραμμίζουμε ότι για να περιγράψει ο μηχανισμός φιλτραρίσματος είναι απαραίτητο οι μαθητές να συγκρίνουν τα μεγέθη των αντικειμένων που φιλτράρονται σε σχέση με το μέγεθος των οπών του φίλτρου. Έτσι θεωρούμε πως η εν λόγω εφαρμογή της N-ET μπορεί να συμβάλλει στην άσκηση των μαθητών να σειροθετούν αντικείμενα διαφορετικών μεγεθών τα οποία ανήκουν στον μακρόκοσμο (π.χ. ακαθαρσίες όπως χώμα), στον μικρόκοσμο (όπως τα βακτήρια) και στον νανόκοσμο (όπως οι ιοί και οι οπές του φίλτρου).

Όσο αφορά την χρησιμότητα των νανόφιλτρων στο δημοτικό σχολείο προτείνεται να συζητηθούν καταστάσεις της ζωής στις οποίες δεν είναι διαθέσιμο πόσιμο νερό. Πιο συγκεκριμένα μπορεί να συζητηθεί η αξία της επιστήμης και της

τεχνολογίας για την επίλυση στο πρόβλημα της έλλειψης πόσιμου νερού, όπως για παράδειγμα σε χώρες όπου το νερό είναι μολυσμένο ή σε περιπτώσεις φυσικών καταστροφών οι οποίες μπορούν να οδηγήσουν σε έλλειψη πόσιμου νερού.



Σχήμα 2.3: Το περιεχόμενο στη ΔΜΑ της N-ET για το δημοτικό σχολείο, για τις *Μεγάλες Ιδέες* «Ιδιότητες εξαρτώμενες από το Μέγεθος» και «Εφαρμογές της N-ET» στην περίπτωση των νανοφίλτρων.

Μοντέλα

Στη ΔΜΑ για τη N-ET προτείνουμε τόσο την κατασκευή μοντέλων όσο και την διδασκαλία της φύσης και του ρόλου των μοντέλων (Schwartz et al., 2009). Η N-ET, όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω περιλαμβάνει έννοιες και φαινόμενα μη ορατά με γυμνό μάτι και μη προσβάσιμα με άλλα επιστημονικά εργαλεία στο σχολείο, όπως το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο. Η διδασκαλία τόσο για την κατασκευή μοντέλων όσο και για τη φύση και τον ρόλο των μοντέλων καθίσταται αναγκαία για δύο λόγους. Πρώτον, για να προσεγγίσουν εννοιολογικά έννοιες και φαινόμενα του νανόκοσμου που δεν είναι άμεσα αισθητά. Δεύτερον, για να μειωθούν οι παρανοήσεις των μαθητών που ενδέχεται να προκύψουν σχετικά με την σχέση των μοντέλων με τα πραγματικά φαινόμενα και έννοιες της N-ET. Στον πίνακα 2.2 καταγράφονται τα στοιχεία για τη φύση και τον ρόλο των μοντέλων τα οποία επιλέξαμε, και τροποποιήσαμε, από το σύνολο των υποψήφιων στοιχείων που προτείνουν οι Schwartz et al. (2009).

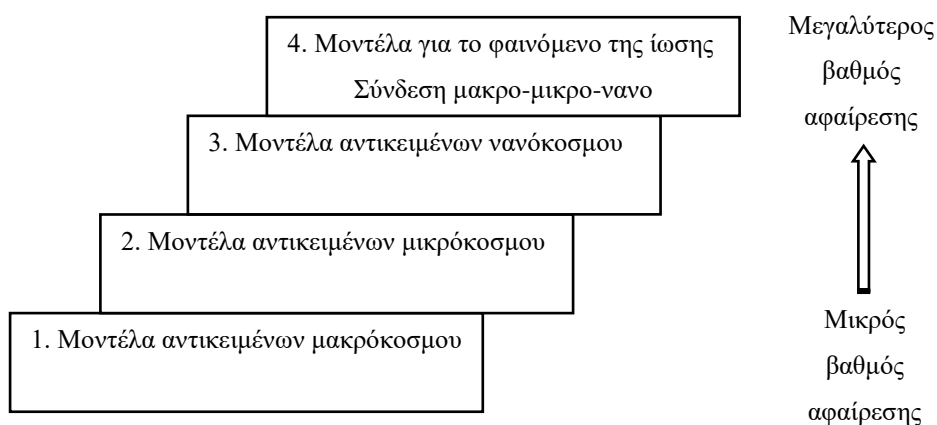
Τα μοντέλα και η μεταγνώση για τα μοντέλα εισάγονται στην ΔΜΑ για τη N-ET μέσω της μεθόδου της υποστηρικτικής μάθησης (scaffolding). Αρχικά οι μαθητές

εισάγονται σε κατασκευή απλών αναπαραστάσεων, κατασκευάζοντας μοντέλα αντικειμένων του μακρόκοσμου ενώ παράλληλα διδάσκονται ρητά στοιχεία για τη φύση και τον ρόλο των μοντέλων. Επιλέγουμε αρχικά την κατασκευή μοντέλων για αντικείμενα μακρόκοσμου καθώς σύμφωνα με τον Petrosino (2003), οι μαθητές κατανοούν καλύτερα την σχέση του μοντέλου με τον πραγματικό κόσμο όταν μοντελοποιούν αντικείμενα τα οποία μοιάζουν με το αντικείμενο-στόχο.

Πίνακας 2.2: Τα συστατικά για τη φύση και τον ρόλο της των μοντέλων στη ΔΜΑ για τη Ν-ΕΤ.

Συστατικά για τη φύση & τον ρόλο των μοντέλων (Schwartz et al., 2009)	Τροποποίηση
Φύση των μοντέλων	
Τα μοντέλα μπορούν να αναπαριστούν μη ορατές και μη προσβάσιμες διαδικασίες και χαρακτηριστικά	Μοντέλο είναι η αναπαράσταση ενός αντικειμένου ή φαινομένου
Διαφορετικά μοντέλα έχουν διαφορετικά πλεονεκτήματα	Διαφορετικά μοντέλα έχουν διαφορετικά πλεονεκτήματα
Σκοπός των μοντέλων	
Τα μοντέλα είναι εργαλεία αισθητοποίησης (sense making) και οικοδόμησης της γνώσης	Το μοντέλο μπορεί να βοηθήσει εμένα τον ίδιο να καταλάβω πώς μοιάζει ένα αντικείμενο ή πώς λειτουργεί ένα φαινόμενο
Τα μοντέλα είναι εργαλεία επικοινωνίας και μεταφοράς της κατανόησης και της γνώσης	Το μοντέλο μπορεί να με βοηθήσει στο να περιγράψω σε κάποιον πώς μοιάζει ένα αντικείμενο ή πως λειτουργεί ένα φαινόμενο
Κριτήρια αξιολόγησης και αναθεώρησης των μοντέλων	
Τα μοντέλα πρέπει να βασίζονται σε στοιχεία σχετικά με το φαινόμενο	Για να φτιάξω ένα μοντέλο σκέφτομαι ότι το μοντέλο πρέπει να βασίζεται σε στοιχεία
Τα μοντέλα πρέπει να περιλαμβάνουν μόνο ότι σχετίζεται με τον σκοπό τους	Για να φτιάξω ένα μοντέλο σκέφτομαι ότι το μοντέλο πρέπει να περιλαμβάνει μόνο ό,τι σχετίζεται με το σκοπό του (ό,τι θέλω να δείξω)

Έπειτα, κατασκευάζουν μοντέλα αντικειμένων του μικρόκοσμου και του νανόκοσμου καθώς και μοντέλα φαινομένων του νανόκοσμου. Παράλληλα σε κάθε διδασκαλία, τα στοιχεία για την φύση και τον ρόλο των μοντέλων εμπλουτίζονται. Στο σχήμα 2.4 παρουσιάζονται τα βήματα του scaffolding για την διδασκαλία των μοντέλων και της μοντελοποίησης στην ΔΜΑ για τη Ν-ΕΤ.



Σχήμα 2.4: Υποστηρικτική μάθηση για τα μοντέλα και τη μεταγνώση για τα μοντέλα στη ΔΜΑ για τη Ν-ΕΤ.

Στο πρώτο σκαλοπάτι οι μαθητές κατασκευάζουν μοντέλα του μακρόκοσμου και διδάσκονται ότι: α) μοντέλο είναι η αναπαράσταση ενός αντικειμένου β) το μοντέλο μπορεί να με βοηθήσει στο να περιγράψω σε κάποιον πώς μοιάζει ένα αντικείμενο γ) για να φτιάξω ένα μοντέλο σκέφτομαι ότι το μοντέλο πρέπει να περιλαμβάνει μόνο ό,τι σχετίζεται με το σκοπό του (ό,τι θέλω να δείξω).

Στο δεύτερο σκαλοπάτι οι μαθητές κατασκευάζουν μοντέλα του μικρόκοσμου και διδάσκονται ότι: για να φτιάξω ένα μοντέλο σκέφτομαι ότι το μοντέλο πρέπει να βασίζεται σε στοιχεία.

Στο τρίτο σκαλοπάτι οι μαθητές κατασκευάζουν μοντέλα του νανόκοσμου και διδάσκονται ότι: το μοντέλο μπορεί να βοηθήσει εμένα τον ίδιο να καταλάβω πώς μοιάζει ένα αντικείμενο.

Στο τέταρτο σκαλοπάτι οι μαθητές κατασκευάζουν μοντέλα για το φαινόμενο της ίωσης και διδάσκονται ότι: α) το μοντέλο είναι η αναπαράσταση ενός αντικειμένου

ή φαινομένου β) το μοντέλο μπορεί να βοηθήσει εμένα τον ίδιο να καταλάβω πώς μοιάζει ένα αντικείμενο ή πώς λειτουργεί ένα φαινόμενο γ) διαφορετικά μοντέλα μου δίνουν διαφορετικές πληροφορίες για το ίδιο φαινόμενο.

Επιπλέον, επισημαίνεται ότι κατά την διάρκεια της υποστηρικτικής μάθησης οι μαθητές αρχικά μοντελοποιούν αντικείμενα για τα οποία μπορούν να συλλέξουν πληροφορίες άμεσα με γυμνό μάτι (π.χ. τρίχα, μυρμήγκι). Στη συνέχεια, μοντελοποιούν αντικείμενα τα οποία δεν είναι ορατά με γυμνό μάτι αλλά είναι απαραίτητο να τα παρατηρήσουν με οπτικό μικροσκόπιο ώστε να συλλέξουν πληροφορίες για αυτά (π.χ. ερυθρά αιμοσφαίρια, κύτταρα κρεμμυδιού). Έπειτα μοντελοποιούν αντικείμενα του νανόκοσμου όπου τα αντικείμενα του δεν είναι ορατά ούτε με γυμνό μάτι ούτε με οπτικό μικροσκόπιο, αλλά μόνο με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο. Καθώς όμως ηλεκτρονικό μικροσκόπιο δεν είναι διαθέσιμο στο σχολείο αναδεικνύεται η ανάγκη της χρήσης μοντέλων ώστε να συλλέξουν πληροφορίες για τα αντικείμενα του νανόκοσμου ή για τα φαινόμενά του και έπειτα να κατασκευάσουν με βάση αυτά τα δικά τους μοντέλα. Ξεκινούν έτσι οι μαθητές να αναπαριστούν στόχους – αντικείμενα του μακρόκοσμου τα οποία έχουν μικρό βαθμό αφαίρεσης και καταλήγουν σε περισσότερο αφαιρετικές αναπαραστάσεις αντικειμένων και φαινομένων του νανόκοσμου που δεν είναι άμεσα αισθητές.

Συνοψίζοντας, επισημαίνεται ότι τα μοντέλα είναι χρήσιμα στη ΔΜΑ για τη Ν-ΕΤ γιατί οι μαθητές αναπαριστούν τα αντικείμενα αναφοράς του κάθε κόσμου καθώς και φαινόμενα της Ν-ΕΤ τα οποία έπειτα χρησιμοποιούν σε δραστηριότητες σχετικές με την κατανόηση- περιγραφή όλων των άλλων *Μεγάλων Ιδεών* της ΔΜΑ.

2.3. Παρουσίαση των ενότητων της ΔΜΑ για τη Ν-ΕΤ

Η ΔΜΑ αποτελείται από έξι ενότητες, κάθε μια από τις οποίες διαρκεί δύο ώρες διδασκαλίας. Οι τρεις πρώτες αφορούν την διερεύνηση του μακρόκοσμου, του μικρόκοσμου και του νανόκοσμου, η τέταρτη αφορά το φαινόμενο της ίωσης, η πέμπτη τα υδροφοβικά υλικά και το φαινόμενο του λωτού, και η έκτη τα φίλτρα νανοτεχνολογίας. Στον πίνακα 2.3 περιγράφεται συνοπτικά η δομή του περιεχομένου της ΔΜΑ και οι μεγάλες ιδέες που ενσωματώνονται σε κάθε ενότητα.

Στις τρεις πρώτες ενότητες οι μαθητές επιδιώκεται να κατακτήσουν το επίπεδο της ποιοτικής κατηγοριοποιητικής αντίληψης καθώς και το επίπεδο της ποιοτικής σχεσιακής αντίληψης (Magana et al., 2012). Το πρώτο επίπεδο προσεγγίζεται μέσα από την ταξινόμηση αντικειμένων στον μακρόκοσμο, τον μικρόκοσμο και τον νανόκοσμο, με κριτήριο τα όργανα παρατήρησης τους καθώς και τα αντικείμενα αναφοράς. Για παράδειγμα ως αντικείμενα αναφοράς (landmark objects) θεωρούνται ο άνθρωπος, το ερυθρό αιμοσφαίριο και το πλάτος της έλικας του DNA, αντίστοιχα για τον κάθε κόσμο (Stevens et al., 2009). Το δεύτερο επίπεδο προσεγγίζεται μέσα από τη σειροθέτηση των αντικειμένων αναφοράς του κάθε κόσμου. Για παράδειγμα, για τον μικρόκοσμο η σειροθέτηση είναι: κύτταρο κρεμμυδιού > πυρήνας κυττάρου.

Πίνακας 2.3 Το περιεχόμενο της ΔΜΑ για κάθε ενότητα

Ενότητα	Τίτλος	Περιεχόμενο
1 ^η	Μακρόκοσμος: Διερευνώντας αντικείμενα που βλέπω με γυμνό μάτι	«Μέγεθος», «Εργαλεία και Όργανα», «Μοντέλα»
2 ^η	Μικρόκοσμος: Διερευνώντας τον αόρατο κόσμο των κυττάρων	«Μέγεθος», «Εργαλεία και Όργανα», «Μοντέλα»
3 ^η	Νανόκοσμος: Διερευνώντας τον αόρατο κόσμο των ιών και του DNA	«Μέγεθος», «Εργαλεία και Όργανα», «Μοντέλα»
4 ^η	Το φαινόμενο της ίωσης	«Μέγεθος», «Εργαλεία και Όργανα», «Μοντέλα»
5 ^η	Το φαινόμενο του λάχανου-Υδροφοβικά υλικά	«Μέγεθος», «Ιδιότητες εξαρτώμενες από το μέγεθος», «Μοντέλα», «Εφαρμογές της N-ET»
6 ^η	Καθαρισμός νερού μέσω νανόφιλτρων	«Μέγεθος», «Ιδιότητες εξαρτώμενες από το μέγεθος», «Μοντέλα», «Εφαρμογές της N-ET»

2.3.1. Ενότητα 1^η: Μακρόκοσμος: Διερευνώντας τον κόσμο που βλέπω με γυμνό μάτι

Οι στόχοι της 1^{ης} ενότητας είναι οι εξής:

α) Οι μαθητές να ταξινομούν αντικείμενα στον μακρόκοσμο με κριτήριο το όργανο παρατήρησής του, το γυμνό μάτι.

β) Οι μαθητές να κατανοήσουν για τη φύση και τον ρόλο των μοντέλων ότι: α) το μοντέλο είναι αναπαράσταση ενός αντικειμένου β) το μοντέλο είναι χρήσιμο για να περιγράψω σε κάποιον πώς μοιάζει ένα αντικείμενο γ) το μοντέλο περιλαμβάνει μόνο τα χαρακτηριστικά που θέλω να δείξω.

Αρχικά πραγματοποιείται μια «αδεοθύελλα» (brainstorming) για τον όρο νανοτεχνολογία. Έπειτα, οι μαθητές πληροφορούνται ότι θα συμμετάσχουν σε 6 εργαστήρια νανοτεχνολογίας στα οποία ως επιστήμονες θα διερευνήσουν τα πολύ μικρά πράγματα και ακολουθεί συζήτηση για την εργασία των επιστημόνων.

Ο εκπαιδευτικός καλεί τους μαθητές να μεταβαίνουν στην αυλή του σχολείου με σκοπό να συλλέξουν το μικρότερο αντικείμενο που μπορούν να δουν με γυμνό μάτι χρησιμοποιώντας εργαλεία όπως λαβίδες και πλαστικά ποτήρια (εικόνα 2.2). Μετά την ολοκλήρωση της δραστηριότητας αυτής, επιστρέφουν στην αίθουσα και παρατηρούν στις ομάδες τους τα αντικείμενα που συνέλεξαν με μεγεθυντικό φακό για να διαπιστώσουν πιο είναι τελικά το μικρότερο. Ο εκπαιδευτικός καταγράφει στον πίνακα το μικρότερο αντικείμενο που συνέλεξε η κάθε ομάδα. Ζητείται από κάθε ομάδα να δημιουργήσει μια κατασκευή με πλαστελίνη ή ζωγραφιά για το αντικείμενο που συνέλεξε.



Εικόνα 2.2: Αναζήτηση του μικρότερου μακροσκοπικού αντικειμένου

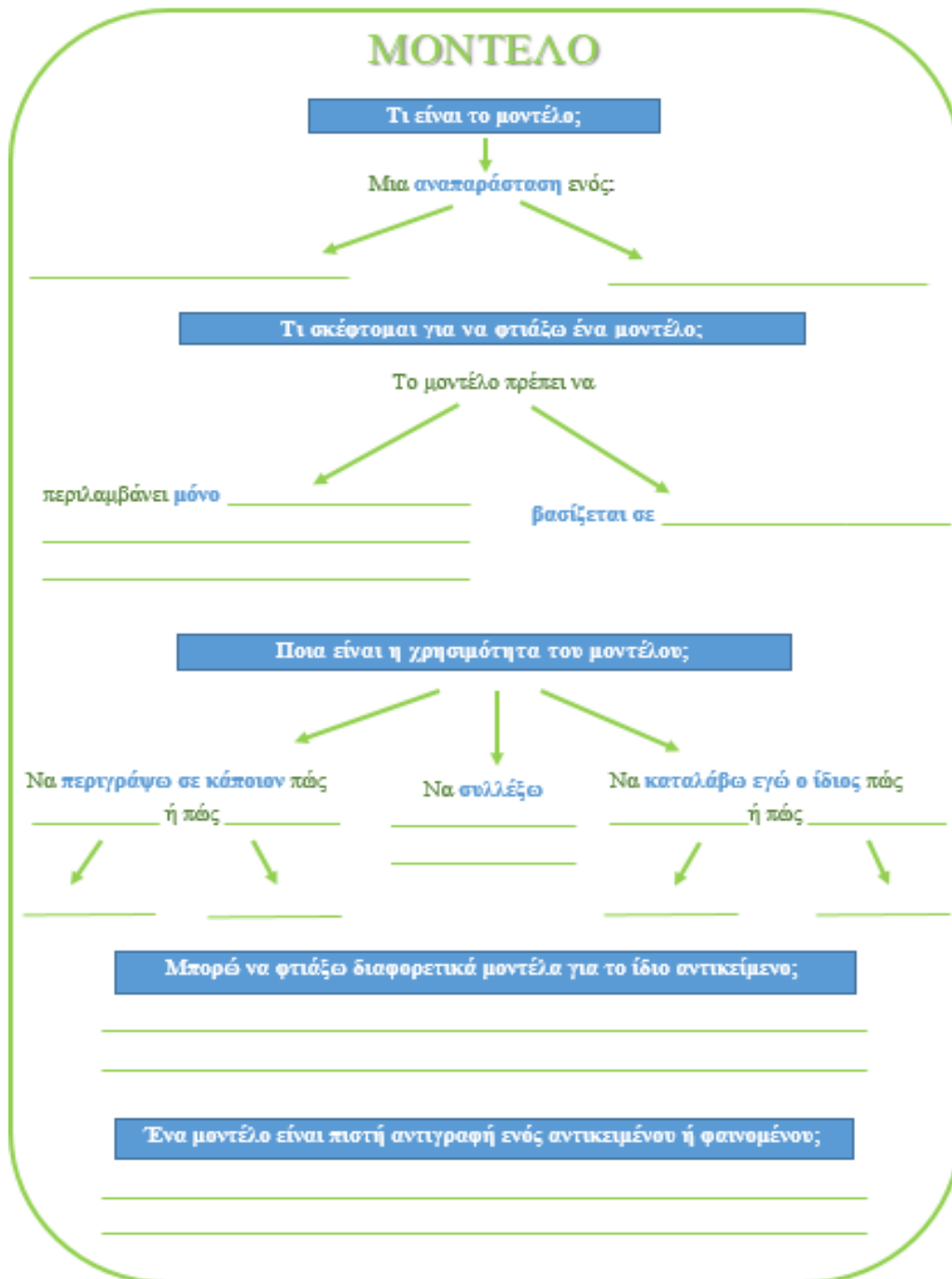
Στη συνέχεια, γίνεται παρουσίαση των κατασκευών στην ολομέλεια της τάξης. Στο σημείο αυτό ο εκπαιδευτικός με την υποστήριξη παρουσίασης power point εισάγει τους μαθητές στην φύση και στον ρόλο των μοντέλων. Πρώτα ρωτάει τους μαθητές αν έχουν ακούσει τον όρο μοντέλο στις ΦΕ και με τι νομίζουν ότι σχετίζεται. Έπειτα, παραθέτει τον ορισμό του μοντέλου. Να σημειωθεί ότι η διδασκαλία για τα μοντέλα

και τη μοντελοποίηση πραγματοποιείται μέσα από τη μέθοδο της υποστηρικτικής διδασκαλίας. Έτσι, στην πρώτη ενότητα κατά την οποία οι μαθητές διερευνούν και μοντελοποιούν αντικείμενα του μακρόκοσμου ο ορισμός του μοντέλου είναι ο εξής: «το μοντέλο είναι αναπαράσταση ενός αντικειμένου».

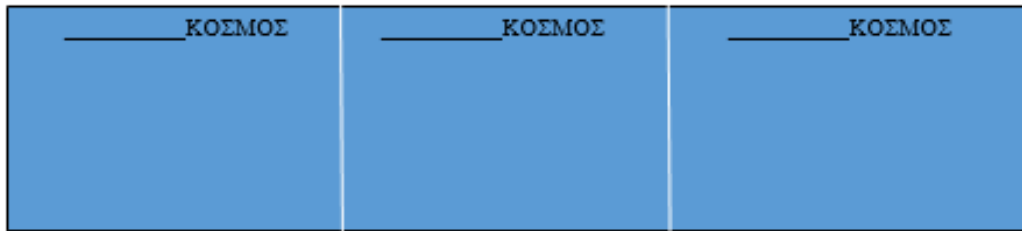
Μετά από τον ορισμό πραγματοποιείται συζήτηση για τη χρησιμότητα του μοντέλου, την οποία ο εκπαιδευτικός κατευθύνει προς την άποψη ότι «το μοντέλο είναι χρήσιμο για να περιγράψω σε κάποιον πώς μοιάζει ένα αντικείμενο». Ακολουθεί συζήτηση για το τι σκέφτομαι για να κατασκευάζω ένα μοντέλο, την οποία επίσης ο εκπαιδευτικός κατευθύνει στο ότι σκέφτομαι το «τι θέλω να δείξω με το μοντέλο μου» και ότι «το μοντέλο περιλαμβάνει μόνο τα χαρακτηριστικά που θέλω να δείξω». Κατά την διάρκεια της συζήτησης οι μαθητές συμπληρώνουν μια ημι-δομημένη αφίσα για τη φύση και τον ρόλο των μοντέλων την οποία θα εμπλουτίζουν σε κάθε ενότητα (εικόνα 2.3).

Έπειτα οι μαθητές καλούνται με βάση τη νέα γνώση για τη φύση και τον ρόλο των μοντέλων να αναστοχαστούν πάνω στα μοντέλα που οι ίδιοι έχουν κατασκευάσει. Η συζήτηση κατευθύνεται από ερωτήσεις όπως: «ποια είναι η χρησιμότητα του μοντέλου που έχεις κατασκευάσει;», «τι θέλεις να δείξεις με το μοντέλο σου;», «το μοντέλο που έχεις φτιάξει (π.χ. για μια τρίχα) είναι ανάγκη να είναι τόσο μικρό σε μέγεθος; Αν ήταν πιο μεγάλο σε μέγεθος θα μας βοηθούσε σε κάτι παραπάνω;».

Στη συνέχεια στους μαθητές δίνεται μια ακόμα ημιδομημένη αφίσα ταξινόμησης η οποία αποτελείται από 3 περιοχές (εικόνα 2.4). Η πρώτη περιοχή αντιστοιχεί τον μακρόκοσμο, δεύτερη στον μικρόκοσμο και η τρίτη στον νανόκοσμο. Σε κάθε περιοχή της αφίσας αναγράφεται μόνο το δεύτερο συνθετικό «κόσμος», ενώ το πρώτο καλούνται να γράψουν οι μαθητές έπειτα από σχετική συζήτηση.



Εικόνα 2.3: Ημιδομημένη αφίσα για τη φύση και τον ρόλο των μοντέλων



Εικόνα 2.4: Σχεδιάγραμμα της ημιδομημένης αφίσας για την ταξινόμηση αντικειμένων στους 3 κόσμους

Στο σημείο αυτό, διεξάγεται συζήτηση με τους μαθητές για τον επιμερισμό του κόσμου σε κατηγορίες (μάκρο, μικρο, νάνο) με βάση τα όργανα παρατήρησή του. Ο εκπαιδευτικός ρωτάει τους μαθητές πώς ονομάζεται ο κόσμος τον οποίο βλέπουμε με γυμνό μάτι και στη συνέχεια καταγράφουν στην αφίσα το πρώτο συνθετικό της λέξης «μακρό-κοσμος». Επίσης, αναρτούν στην περιοχή του μακρόκοσμου τα μοντέλα που έχουν κατασκευάσει (εικόνα 2.5). Τότε τίθεται το εξής ερώτημα: «μπορώ να δω κάτι μικρότερο από το μικρότερο αντικείμενο που βλέπω με γυμνό μάτι; Αν ναι, πώς μπορώ να το δω;». Τα ερωτήματα αυτά τίθενται για να συζητηθούν τα όρια του ανθρώπινου ματιού και η ανάγκη ενός νέου οργάνου το οποίο προσφέρει κατάλληλη μεγέθυνση ώστε τα αντικείμενα του μικρόκοσμου να είναι ορατά.



Εικόνα 2.5: Οι μαθητές αναρτούν στην αφίσα τα μοντέλα τους

2.3.2. Ενότητα 2^η: Μικρόκοσμος: Διερευνώντας τον αόρατο κόσμο των κυττάρων

Οι στόχοι της 2^{ης} ενότητας είναι οι εξής:

- α) Οι μαθητές να ταξινομούν αντικείμενα στον μικρόκοσμο με κριτήριο το όργανο παρατήρησής του, το οπτικό μικροσκόπιο.
- β) Οι μαθητές να σειροθετούν αντικείμενα του μικρόκοσμου, με ένα ποιοτικό κριτήριο.

γ) Οι μαθητές να κατανοήσουν για τη φύση και τον ρόλο των μοντέλων ότι: για να φτιάξω ένα μοντέλο σκέφτομαι ότι το μοντέλο πρέπει να βασίζεται σε στοιχεία.

Αρχικά πραγματοποιείται συζήτηση για τα μοντέλα του μικρόκοσμου τα οποία κατασκεύασαν οι μαθητές στην προηγούμενη ενότητα καθώς και για τη φύση και τον ρόλο τους. Ο εκπαιδευτικός θέτει ερωτήματα όπως: «τι είναι το μοντέλο;», «τι αναπαριστά το μοντέλο που έχεις κατασκευάσει;», «ποια είναι η χρησιμότητα του μοντέλου που έχεις κατασκευάσει;», «τι θέλεις να δείξεις με το μοντέλο σου;». Έπειτα ρωτά τους μαθητές με ποιο όργανο είναι ορατός ο μακρόκοσμος και πως μπορώ να δω ένα αντικείμενο μικρότερο από το μικρότερο αντικείμενο που βλέπω με το μάτι μου. Τα ερωτήματα με τα οποία ξεκινά η δεύτερη ενότητα είναι τα ίδια με τα ερωτήματα τα οποία τελειώνει η πρώτη ενότητα. Έτσι οι μαθητές και αναστοχάζονται πάνω σε όσα διαπραγματεύτηκαν στην πρώτη ενότητα και συνδέεται η πρώτη με τη δεύτερη ενότητα.

Αφού γίνει συζήτηση για την ανάγκη ενός νέου οργάνου, του οπτικού μικροσκοπίου, το οποίο είναι απαραίτητο για να δούμε αντικείμενα μικρότερα από τα μικρότερα αντικείμενα που βλέπουμε με το μάτι μας, σε κάθε ομάδα μαθητών παρέχεται ένα οπτικό μικροσκόπιο. Ο εκπαιδευτικός κάνει επίδειξη της λειτουργίας του μικροσκοπίου σε όλη την τάξη και έπειτα κάθε ομάδα ξεχωριστά έχει χρόνο δεκαπέντε λεπτά για να εξοικειωθεί με την χρήση του. Προσφέρεται βοήθεια σε κάθε ομάδα να χειριστεί το μικροσκόπιο έως ότου οι μαθητές καταφέρουν να πετύχουν μια ευκρινή εστίαση στο δείγμα που μελετούν.

Στη συνέχεια, δίνονται φύλλα εργασίας σε κάθε ομάδα με τίτλο «Ανακαλύψτε τον αόρατο κόσμο των κυττάρων του κρεμμυδιού» (παράρτημα 1). Οι μαθητές αρχικά μελετούν την εικόνα στο φύλλου εργασίας, η οποία προσφέρει πληροφορίες για τα κύτταρα καθώς και μια εικόνα μαζί με κείμενο στον Η/Υ επίσης με πληροφορίες για τα κύτταρα (παράρτημα 1). Η μελέτη του κειμένου και των εικόνων κυττάρων κρεμμυδιού κρίνεται απαραίτητη πριν την παρατήρηση των κυττάρων με το οπτικό μικροσκόπιο στην τάξη, ώστε να έχουν μια πρώτη αναπαράσταση οι μαθητές για το τι πρόκειται να μελετήσουν με το οπτικό μικροσκόπιο και το πώς αυτό μοιάζει. Στη συνέχεια χρησιμοποιώντας οπτικά μικροσκόπια καλούνται να μελετήσουν δείγμα κρεμμυδιού ώστε να παρατηρήσουν τα κύτταρα και τους πυρήνες τους (εικόνα 2.6). Μετά τις παρατηρήσεις καλούνται να σειροθετήσουν στο φύλλο εργασίας τα

αντικείμενα: πυρήνας κυττάρου, κρεμμύδι, κύτταρο κρεμμυδιού. Αφού ολοκληρώσουν την σειροθέτηση γίνεται συζήτηση για τον τρόπο με τον οποίο σκέφτηκαν οι μαθητές. Ο εκπαιδευτικός οδηγεί τη συζήτηση στο ότι για την σειροθέτηση των αντικειμένων είναι χρήσιμος ο εξής συλλογισμός: «ποιο αντικείμενο χωράει μέσα σε ποιο, ώστε να αποφασίσω ότι είναι μικρότερό του;». Έπειτα, οι μαθητές κατασκευάζουν μοντέλα κυττάρων κρεμμυδιού και πυρήνων, με ζωγραφιά ή πλαστελίνη και τα κολλούν στην δεύτερη περιοχή της αφίσας ταξινόμησης (εικόνα 2.7).

Στη συνέχεια, παρέχεται ένα ακόμα φύλλο εργασίας το οποίο τους καθοδηγεί στην παρατήρηση των κυττάρων του αίματος (παράρτημα 1). Στο φύλλο εργασίας παρουσιάζεται ένα σενάριο στο οποίο οι μαθητές ως γιατροί καλούνται να δώσουν πληροφορίες σε έναν ασθενή σχετικά με τα κύτταρα του αίματος. Οι μαθητές συλλέγουν και καταγράφουν πληροφορίες από ένα κομμάτι στον Η/Υ για τα ερυθρά και τα λευκά αιμοσφαίρια καθώς και από εικόνες στον Η/Υ για το πώς μοιάζουν τα κύτταρα αυτά. Έπειτα, με τη χρήση οπτικού μικροσκοπίου παρατηρούν ερυθρά αιμοσφαίρια σε δείγμα αίματος και καλούνται να κατασκευάσουν μοντέλα για να εξηγήσουν στον ασθενή πώς μοιάζουν τα ερυθρά αιμοσφαίρια. Επίσης, τοποθετούν τα μοντέλα τους στην δεύτερη περιοχή της αφίσας. Στο σημείο αυτό γίνεται συζήτηση για το πώς θα ονομαστεί αυτή η περιοχή της αφίσας. Εισάγεται έτσι ο όρος «μικρόκοσμος» και συνδέεται με το όργανο παρατήρησής του αλλά και με τα μοντέλα των αντικειμένων αναφοράς που έχουν κατασκευάσει οι μαθητές.



Εικόνα 2.6. Οι μαθητές παρατηρούν κύτταρα με το μικροσκόπιο



Εικόνα 2.7. Μοντέλο κυττάρων κρεμμυδιού και πυρήνων

Επιπλέον, με την υποστήριξη παρουσιάσής power point για τη φύση των μοντέλων γίνεται διαπραγμάτευση για το εξής χαρακτηριστικό: «για να φτιάξω ένα μοντέλο σκέφτομαι ότι το μοντέλο πρέπει να βασίζεται σε στοιχεία. Επιπλέον, διεξάγεται αναστοχαστική συζήτηση κατά την οποία οι μαθητές συζητούν για τα μέσα από τα οποία συνέλεξαν στοιχεία για την κατασκευή του μοντέλου τους και σε ποια από αυτά βασίστηκαν. Τέλος, συμπληρώνουν στην ημιδομημένη αφίσα για τα μοντέλα (εικόνα 2.3) τη νέα τους γνώση.

2.3.3. Ενότητα 3^η: Διερευνώντας τον αόρατο κόσμο των ιών και του DNA

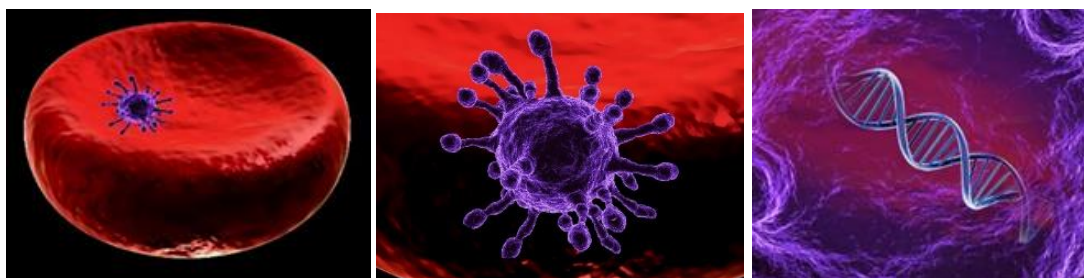
Στόχοι της 3^{ης} ενότητας είναι:

- α) Οι μαθητές να ταξινομούν αντικείμενα στον νανόκοσμο με κριτήριο το όργανο παρατήρησής του, το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο.
- β) Οι μαθητές να σειροθετούν αντικείμενα του νανόκοσμου, με ένα ποιοτικό κριτήριο.
- γ) Οι μαθητές να κατανοήσουν για τη φύση και τον ρόλο των μοντέλων ότι: το μοντέλο μπορεί να βοηθήσει εμένα τον ίδιο να καταλάβω πώς μοιάζει ένα αντικείμενο.

Για της ανάγκες της ΔΜΑ αναπτύξαμε λογισμικό στο scratch.mit.edu. Το λογισμικό αποτελείται από δύο μέρη. Το πρώτο έχει τίτλο «ο αόρατος κόσμος των ιών»¹² και το δεύτερο έχει τίτλο «Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο»¹³. Το πρώτο μέρος αποτελείται από εικόνες, ήχο και κείμενο και περιλαμβάνει πληροφορίες για τον ιό. Το δεύτερο μέρος το παρουσιάζουμε ως μια προσομοίωση Ηλεκτρονικού μικροσκοπίου. Περιλαμβάνει πληροφορίες για το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο και μοντέλα ερυθρών αιμοσφαιρίων, ιών και DNA σε σταδιακές μεγεθύνσεις (εικόνα 2.8). Οι μαθητές έχουν την δυνατότητα με τη χρήση του πληκτρολογίου του Η/Υ να αλλάζουν τη μεγέθυνση δίνοντας τους μια αίσθηση ότι χρησιμοποιούν ηλεκτρονικό μικροσκόπιο έχοντας τη δυνατότητα να μεγεθύνουν τις εικόνες από τον μικρόκοσμο (κύτταρα του αίματος) μέχρι να γίνουν ορατά τα αντικείμενα του νανόκοσμου δηλαδή ο ιός και το DNA.

¹² <https://scratch.mit.edu/projects/64453424/>

¹³ <https://scratch.mit.edu/projects/64452484/>



Εικόνα 2.8: Στιγμιότυπο από την προσομοίωση του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου

Στην αρχή της δεύτερης ενότητας πραγματοποιείται συζήτηση για τα μοντέλα του μικρόκοσμου που κατασκεύασαν οι μαθητές στην δεύτερη ενότητα καθώς για τα στοιχεία της φύσης και του ρόλου των μοντέλων. Η συζήτηση κατευθύνεται από ερωτήσεις όπως: «ποια η χρησιμότητα του μοντέλου που κατασκεύασες;», «σε ποια στοιχεία βασίστηκες για να φτιάξεις το μοντέλο σου;». Έπειτα ρωτά τους μαθητές με ποιο όργανο είναι ορατός ο μικρόκοσμος και πώς μπορώ να δω ένα αντικείμενο μικρότερο από το μικρότερο αντικείμενο που βλέπω με το οπτικό μικροσκόπιο, δηλαδή τον πυρήνα του κυττάρου. Τα ερωτήματα με τα οποία ξεκινά η τρίτη ενότητα είναι τα ίδια με τα ερωτήματα τα οποία τελειώνει η δεύτερη ενότητα. Έτσι οι μαθητές αναστοχάζονται πάνω σε όσα έμαθαν στην δεύτερη ενότητα και συνδέεται η δεύτερη με την τρίτη ενότητα.

Στη συνέχεια, παρουσιάζεται μέσω PowerPoint ένα σενάριο με τίτλο «Ανακαλύψτε τον αόρατο κόσμο των ιών» (εικόνα 2.9). Αφού παρακολουθήσουν το σενάριο παρέχεται φύλλο εργασίας το οποίο τους καθοδηγεί στην αναζήτηση των πληροφοριών για τον ιό (παράρτημα 1). Το φύλλο εργασίας παραπέμπει τους μαθητές στο πρώτο μέρος του λογισμικού από όπου καλούνται να συλλέξουν και να καταγράψουν πληροφορίες για το όργανο με το οποίο μπορούμε να παρατηρήσουμε τον ιό και για το τι περιλαμβάνεται στο εσωτερικό του ιού. Ως απαραίτητο όργανο για την παρατήρηση του ιού παρουσιάζεται στο λογισμικό το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο. Για το τι υπάρχει στο εσωτερικό του ιού, στο λογισμικό αναφέρεται μόνο το DNA και όχι π.χ. το RNA, καθώς το DNA καταγράφεται ως αντικείμενο αναφοράς του νανόκοσμου (Stevens et al., 2009) και εξυπηρετεί τις ανάγκες της ΔΜΑ.



Εικόνα 2.9: Σενάριο «Ανακαλύψτε τον αόρατο κόσμο των ιών»

Στη συνέχεια ο εκπαιδευτικός με την υποστήριξη παρουσίασης PowerPoint εισάγει στους μαθητές το εξής: «Όταν ένα αντικείμενο είναι τόσο μικρό που φαίνεται μόνο με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο, τότε το αντικείμενο αυτό έχει μέγεθος νάνο ή αλλιώς «ανήκει στον νανόκοσμο». Έπειτα οι μαθητές παρακολουθούν το βίντεο «what nano means»¹⁴ το οποίο έχουμε μεταφράσει στα ελληνικά και στο φύλλο εργασίας αναφέρεται με τον τίτλο «νανόκοσμος». Οι μαθητές καθώς το παρακολουθούν καλούνται να εντοπίσουν ποιο αντικείμενο του νανόκοσμου αναφέρεται (ο ιός) και να το καταγράψουν το φύλλο εργασίας.

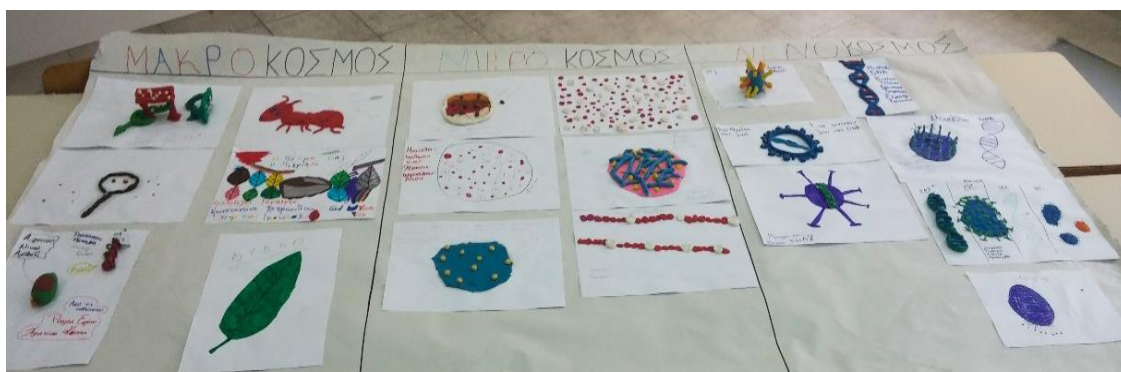
Έπειτα, δίνεται σε κάθε ομάδα μαθητών ένας φάκελος με εκτυπωμένες εικόνες ενός ερυθρού αιμοσφαιρίου, DNA και ιού. Οι μαθητές καλούνται να κολλήσουν τις εικόνες από το μεγαλύτερο προς το μικρότερο αντικείμενο (σειροθέτηση) στην αντίστοιχη δραστηριότητα του φύλλου εργασίας.

Μετά την δραστηριότητα αυτή γίνεται συζήτηση (όπως και στην αντίστοιχη δραστηριότητα σειροθέτησης στον μικρόκοσμο) για το κριτήριο με το οποίο αποφάσισαν οι μαθητές να σειροθετήσουν τα αντικείμενα.

Στη συνέχεια, οι μαθητές καλούνται να κατασκευάσουν μοντέλα ιού ή/και DNA με ζωγραφιές ή πλαστελίνες και να τα κολλήσουν στην τρίτη περιοχή της αφίσας

¹⁴ <https://www.youtube.com/watch?v=3FLKDUJL8w>

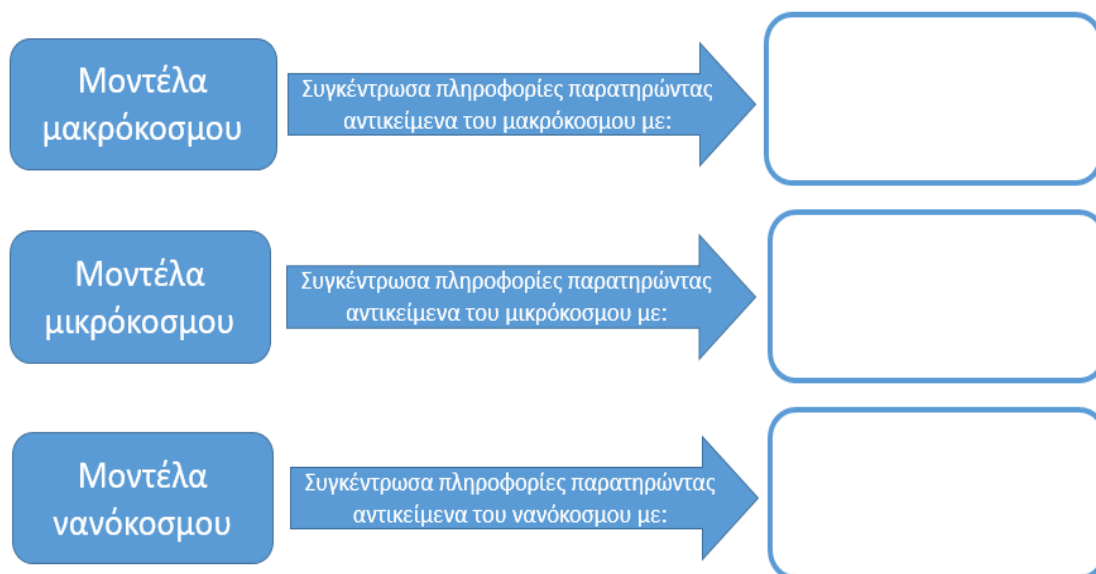
ταξινόμησης (εικόνα 2.10). Στο σημείο αυτό διεξάγεται συζήτηση με βάση την αφίσα για την ταξινόμηση των αντικειμένων στον μακρόκοσμο, στον μικρόκοσμο και στον νανόκοσμο. Η συζήτηση κατευθύνεται από ερωτήσεις όπως: «με ποιο κριτήριο ταξινομούμε τα αντικείμενα σε κάθε κόσμο;», «με ποιο όργανο παρατηρούμε τα αντικείμενα του μακρόκοσμου, με ποιο του μικρόκοσμου και με ποιο του νανόκοσμου;», «Ποια είναι τα χαρακτηριστικά αντικείμενα του κάθε κόσμου με βάση την αφίσα μας;».



Εικόνα 2.10: Αφίσα ταξινόμησης: Μακρόκοσμος – Μικρόκοσμος- Νανόκοσμος

Έπειτα, σε κάθε ομάδα μαθητών δίνεται ένα φύλλο εργασίας για τα μοντέλα (εικόνα 2.11). Οι μαθητές καλούνται να συζητήσουν στην ομάδα τους με ποιόν τρόπο συγκέντρωσαν πληροφορίες για τα αντικείμενα του κάθε κόσμου. Μετά τη συμπλήρωση του φύλλου εργασίας διεξάγεται συζήτηση για τη φύση και τον ρόλο των μοντέλων. Πιο συγκεκριμένα οι μαθητές συνέλεξαν πληροφορίες για να φτιάξουν μοντέλα αντικειμένων του μακρόκοσμου παρατηρώντας άμεσα τα αντικείμενα-στόχους του μοντέλου με γυμνό μάτι. Αντίστοιχα παρατήρησαν αντικείμενα του μικρόκοσμου με οπτικό μικροσκόπιο. Στην περίπτωση όμως του νανόκοσμου δεν είχαν την δυνατότητα να παρατηρήσουν τα αντικείμενά του με γυμνό μάτι ή με το οπτικό μικροσκόπιο, συνεπώς συνέλεξαν πληροφορίες από άλλα μοντέλα όπως αυτά που προσφέρονται από το λογισμικό «Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο». Έτσι η συζήτηση που διεξάγεται έχει ως στόχο να αναδείξει ένα ακόμα στοιχείο για τον ρόλο και την φύση των μοντέλων, ότι δηλαδή «το μοντέλο μπορεί να βοηθήσει εμένα τον ίδιο να καταλάβω πώς μοιάζει ένα αντικείμενο». Τέλος συμπληρώνουν τη νέα τους γνώση για τα μοντέλα στην ημιδομημένη αφίσα για τα μοντέλα.

Πώς συγκέντρωσα πληροφορίες για να φτιάξω μοντέλα



Εικόνα 2.11: Φύλλο εργασίας για το μοντέλα

2.3.4. Ενότητα 4^η: Το νανοφαινόμενο της ίωσης

Στόχοι της 4^{ης} ενότητας είναι:

- Οι μαθητές να αναγνωρίσουν την αλληλεπίδραση μεταξύ των οντοτήτων του νανόκοσμου, του μικρόκοσμου και του μακρόκοσμου στην περίπτωση της ίωσης.
- Οι μαθητές να περιγράψουν την αλληλεπίδραση των τριών κόσμων στην περίπτωση της ίωσης, ταξινομώντας τις οντότητες που αλληλεπιδρούν στον μακρόκοσμο, στον μικρόκοσμο και στον νανόκοσμο.
- Οι μαθητές να κατανοήσουν για τη φύση και τον ρόλο των μοντέλων ότι: α) το μοντέλο είναι η αναπαράσταση ενός φαινομένου β) το μοντέλο μπορεί να βοηθήσει εμένα τον ίδιο να καταλάβω πώς λειτουργεί ένα φαινόμενο γ) διαφορετικά μοντέλα μου δίνουν διαφορετικές πληροφορίες για το ίδιο φαινόμενο.

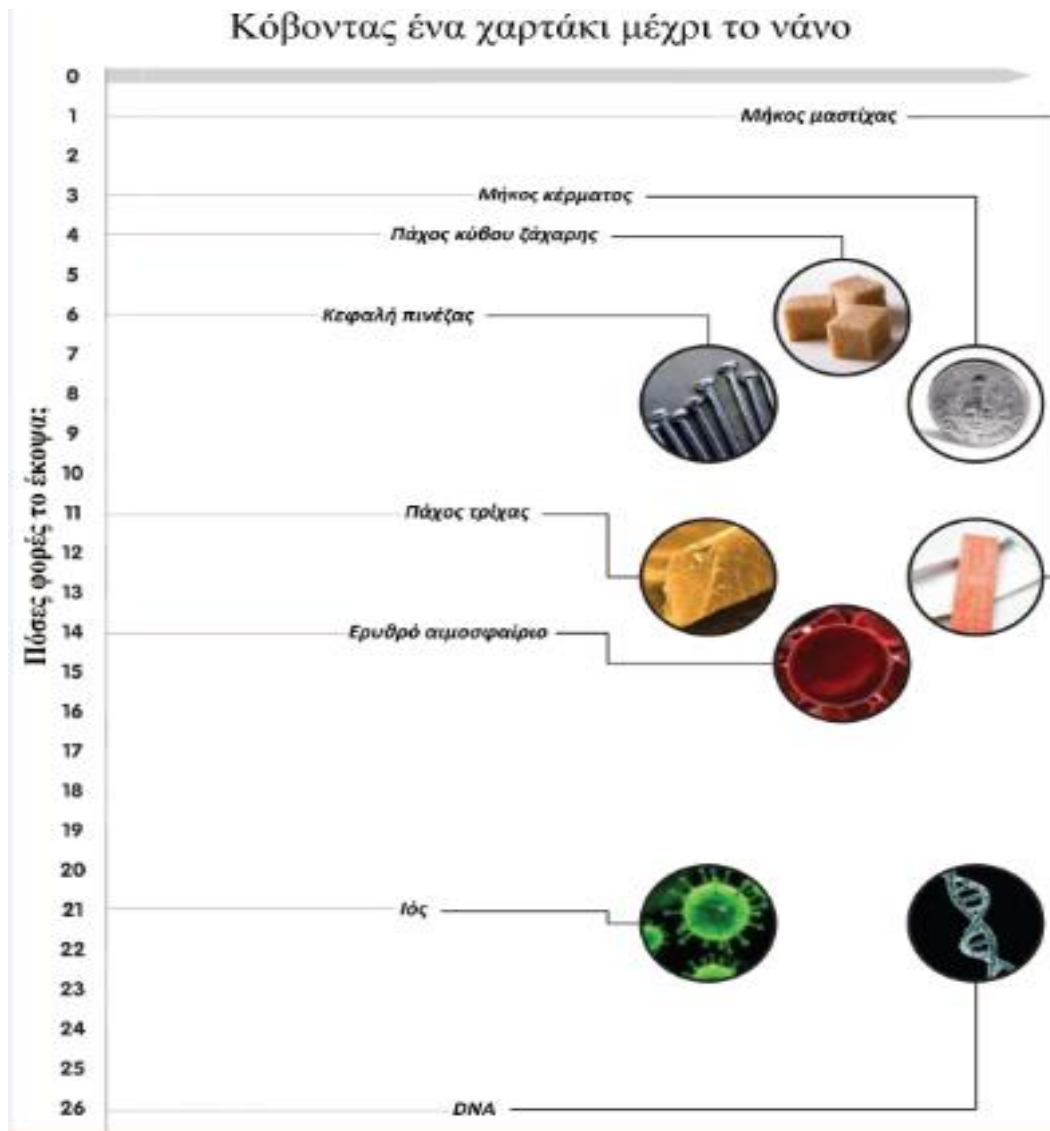
Αρχικά, δίνονται στους μαθητές εκτυπωμένες εικόνες των οργάνων παρατήρησης του μακρόκοσμου, του μικρόκοσμου και του νανόκοσμου (γυμνό μάτι, οπτικό μικροσκόπιο, ηλεκτρονικό μικροσκόπιο). Οι μαθητές καλούνται να κολλήσουν στην αφίσα ταξινόμησης (εικόνα 2.10) τα όργανα παρατήρησης των αντικειμένων του

κάθε κόσμου και διεξάγεται συζήτηση για την χρησιμότητα των μοντέλων στην παρατήρηση των αντικειμένων του νανόκοσμου.

Στη συνέχεια δίνεται στους μαθητές μια λωρίδα χαρτιού 15 cm και καλούνται να πραγματοποιήσουν την εξής δραστηριότητα. Να κόψουν με ψαλίδι την λωρίδα κάθετα προς το μήκος της όσες περισσότερες φορές μπορούν. Αναμένεται να τα καταφέρουν 8-9 φορές το πολύ. Έπειτα με βάση την αφίσα που παρουσιάζεται στην εικόνα 2.12 καλούνται να σκεφτούν πόσες φορές θα πρέπει να κόψουν το χαρτάκι για να φτάσει σε μέγεθος νάνο.

Η δραστηριότητα αυτή αποσκοπεί στο να εντοπίσουν οι μαθητές τα αντικείμενα αναφοράς του νανόκοσμου στην συγκεκριμένη αφίσα (ιό και DNA) και να σκεφτούν ότι καθώς αυτά τα αντικείμενα ανήκουν τον νανόκοσμο, αν και το χαρτάκι είχε το ίδιο μέγεθος θα άνηκε και αυτό στον νανόκοσμο. Ο παραπάνω συλλογισμός βασίζεται στην ιδέα ότι από την στιγμή που οι μαθητές οικοδόμησαν κάποια αντικείμενα αναφοράς για καθέναν από τους τρεις κόσμους αναμένεται να μπορούν να τα ταξινομήσουν και άλλα αντικείμενα αν γνωρίσουν ότι έχουν παραπλήσιο μέγεθος (Stevens et al., 2009) Με την δραστηριότητα αυτή πραγματοποιείται εφαρμογή της γνώσης που απέκτησαν οι μαθητές στην ενότητα για την ταξινόμηση αντικειμένων στον νανόκοσμο (3^η ενότητα της ΔΜΑ).

Στην ενότητα τρία οι μαθητές συμμετείχαν σε ένα σενάριο κατά το οποίο στόχος ήταν να συλλέξουν πληροφορίες ως γιατροί και να ενημερώσουν μια ασθενή για το ποια κύτταρα υπάρχουν στο αίμα, για το πώς μοιάζει ένας ιός και για το τι υπάρχει στο εσωτερικό του ιού. Στην ενότητα τέσσερα, το σενάριο συνεχίζεται με τους μαθητές να αναζητούν πληροφορίες για το πώς ένα αντικείμενο του νανόκοσμου, δηλαδή ο ιός, μπορεί να επηρεάσει τον μικρόκοσμο, όπως τα κύτταρα του ανθρώπινου σώματος και αυτά με την σειρά τους να επηρεάσουν τον μακρόκοσμο δηλαδή τον ίδιο τον άνθρωπο.

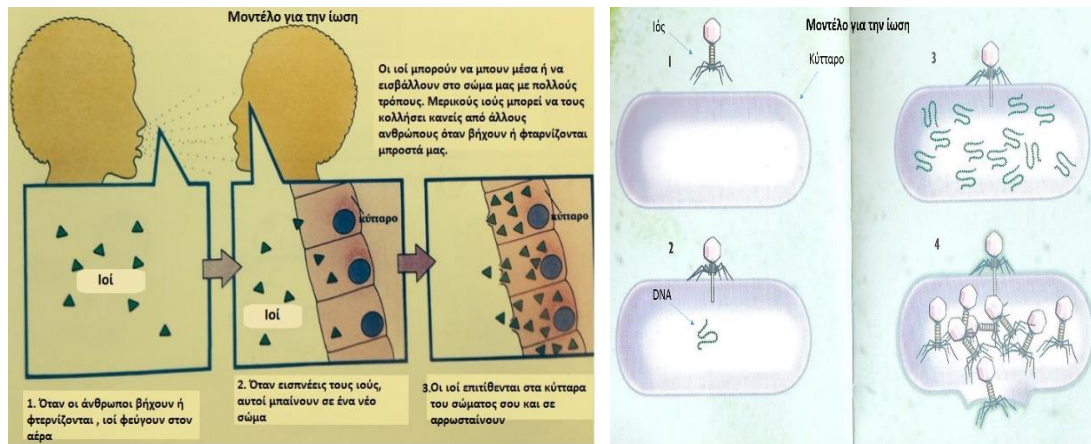


Εικόνα 2.12: Κόβοντας ένα χαρτάκι μέχρι το νάνο¹⁵

Σε κάθε ομάδα μαθητών δίνεται ένα φύλλο εργασίας (παράρτημα Ι). Οι μαθητές καλούνται να μελετήσουν τέσσερα μοντέλα για την ίωση. Πιο συγκεκριμένα, δύο βίντεο¹⁶ (τα οποία μεταφράσαμε στα ελληνικά) και δύο εικόνες στον Η/Υ (εικόνα 2.13).

¹⁵http://www.nisenet.org/sites/default/files/catalog/uploads/2008/05/1657/cuttingitdown_scaleladder_may10.pdf

¹⁶ Βίντεο 1: <https://www.youtube.com/watch?v=cE0qdqoBFa8>,
βίντεο 2: <https://www.youtube.com/watch?v=PHp6iYDi9ko>



Εικόνα 2.13: Μοντέλα για την ίωση

Έπειτα, με βάση τα μοντέλα για την ίωση οι μαθητές καλούνται να καταγράψουν στο φύλλο εργασίας (παράρτημα Ι) α) ποια αντικείμενα σχετίζονται με την ίωση και β) ποια από αυτά τα αντικείμενα ανήκουν στον νανόκοσμο, στον μικρόκοσμο και στον μακρόκοσμο. Στόχος είναι οι μαθητές να κατασκευάσουν σε ομάδες μοντέλα με ζωγραφιές ή/και πλαστελίνες ώστε να περιγράψουν πώς ένα αντικείμενο του νανόκοσμου μπορεί να επηρεάσει τον μικρόκοσμο και τον μακρόκοσμο στην περίπτωση της ίωσης (εικόνα 2.14).

Η κατασκευή του μοντέλου στην συγκεκριμένη περίπτωση συμβάλλει στο να ασκηθούν οι μαθητές στην δεξιότητα της ταξινόμησης των αντικειμένων που σχετίζονται με το φαινόμενο της ίωσης στους τρεις κόσμους. Για παράδειγμα στην εικόνα 2.15 παρατηρούμε το μοντέλο μιας ομάδας μαθητών οι οποίοι αναπαριστούν τον νανόκοσμο με πλαστελίνες και καταγράφουν ότι «Ο νανόκοσμος είναι οι μπλε ιοί». Αναπαριστούν τον μικρόκοσμο με ζωγραφιά και καταγράφουν ότι «ο μικρόκοσμος είναι τα κόκκινα κύτταρα» και αναπαριστούν τον μακρόκοσμο με την ζωγραφιά των δυο ανθρώπων. Επιπλέον, παρήγαγαν και κείμενο με το οποίο περιγράφουν το φαινόμενο της ίωσης.

Στη συνέχεια οι ομάδες παρουσιάζουν τα μοντέλα που κατασκεύασαν και γίνεται συζήτηση για τη φύση και τον ρόλο τους. Οι γνώσεις των μαθητών εμπλουτίζονται με τα εξής στοιχεία: α) το μοντέλο είναι η αναπαράσταση ενός αντικειμένου ή φαινομένου β) το μοντέλο μπορεί να βοηθήσει εμένα τον ίδιο να καταλάβω πώς μοιάζει ένα αντικείμενο ή πώς λειτουργεί ένα φαινόμενο γ) το μοντέλο

είναι χρήσιμο για να περιγράψω σε κάποιον πώς λειτουργεί ένα φαινόμενο δ) διαφορετικά μοντέλα μου δίνουν διαφορετικές πληροφορίες για το ίδιο φαινόμενο.



Εικόνα 2.14: Μοντέλο μαθητών για την ίωση

Επισημαίνεται ότι μέχρι και την τρίτη ενότητα, οι μαθητές είχαν διδαχθεί ότι τα μοντέλα αναπαριστούν αντικείμενα και είναι χρήσιμα είτε για να συλλέξουμε από αυτά πληροφορίες για το πώς μοιάζει ένα αντικείμενο είτε να περιγράψουμε σε κάποιον πώς μοιάζει ένα αντικείμενο. Στην τέταρτη ενότητα προστίθεται ότι το μοντέλο μπορεί να αναπαραστήσει και ένα φαινόμενο (ίωση) και μάλιστα να περιγράψει το πώς λειτουργεί το φαινόμενο.

Οι νέες γνώσεις για τα μοντέλα συζητούνται κατά την διάρκεια της παρουσίασης των μοντέλων των μαθητών. Η συζήτηση κατευθύνεται από ερωτήσεις όπως: «Γιατί είναι χρήσιμο ένα μοντέλο για την ίωση;», «Πού βρήκατε πληροφορίες για να φτιάξετε το μοντέλο σας;», «Για να κατασκευάσετε το μοντέλο σας βασιστήκατε σε ένα από τα 4 μοντέλα ή σε παραπάνω; Ποια ακριβώς στοιχεία πήρατε από κάθε μοντέλο;», «Είναι χρήσιμο να έχω διαφορετικά μοντέλα για το ίδιο φαινόμενο;».

2.3.5. Ενότητα 5^η: Το φαινόμενο του λάχανου (υπερ-υδροφοβικότητα)

Στόχοι της 5^{ης} ενότητας είναι:

- α) Οι μαθητές να είναι ικανοί να περιγράψουν το φαινόμενο του λάχανου χρησιμοποιώντας όρους του νανογραμματισμού σχετικούς με τη νανοδομή της επιφάνειας του και της λειτουργίας του όπως: νανοεξογκώματα και υδροφοβικότητα.
- β) Να εφαρμόσουν τη γνώση τους για τη φύση και τον ρόλο των μοντέλων κατασκευάζοντας ένα τρισδιάστατο μοντέλο για την λειτουργία του φαινομένου του λάχανου.

Αρχικά πραγματοποιείται συζήτηση για τα μοντέλα τα οποία κατασκεύασαν οι μαθητές στην τέταρτη ενότητα. Η συζήτηση κατευθύνεται από ερωτήσεις όπως: «ποια αντικείμενα του μοντέλου σου ανήκουν στον μακρόκοσμο, ποια στον μικρόκοσμο και ποια στον νανόκοσμο;», «πώς ο νανόκοσμος επηρεάζει τον μικρόκοσμο και τον μακρόκοσμο στην περίπτωση της ίωσης;», «γιατί είναι χρήσιμο το μοντέλο σου», «γιατί είναι χρήσιμό να έχουμε διαφορετικά μοντέλα για το ίδιο φαινόμενο;».

Στη συνέχεια, ο εκπαιδευτικός αναφέρει ότι στην προηγούμενη ενότητα έγινε διαπραγμάτευση για ένα φαινόμενο της N-ET που σχετίζεται με την ίωση και τον άνθρωπο. Αντικείμενο της ενότητας αυτής αποτελεί ένα φαινόμενο της N-ET που σχετίζεται με τη φύση και ονομάζεται «το φαινόμενο του λάχανου». Σε κάθε ομάδα μαθητών δίνεται ένα φύλλο λάχανου, ένα φύλλο μαρουλιού, ένα ποτήρι με νερό και μια πιπέτα. Με την υποστήριξη PowerPoint ζητείται από την κάθε ομάδα μαθητών να ρίξει σταγόνες νερού πάνω στο φύλλο του λάχανου και στο φύλλο του μαρουλιού. Έπειτα καλούνται να εστιάσουν την παρατήρησή τους σε δύο χαρακτηριστικά: α) ποια διαφορά παρατηρούν στο σχήμα των σταγόνων β) πώς συμπεριφέρεται η σταγόνα στο φύλλο του λάχανου και πώς στο φύλλο του μαρουλιού. Αναμένεται οι μαθητές να αναφέρουν ότι οι σταγόνες στο φύλλο του λάχανου είναι σφαιρικές και κυλάνε ενώ στο φύλλο του μαρουλιού απλώνονται στο φύλλο. Στη συνέχεια, δίνονται στους μαθητές υδρόφοβα και υδρόφιλα ξύλα, χωρίς να ενημερωθούν για το ποια από αυτά είναι υδρόφοβα και ποια υδρόφιλα. Ζητείται να ρίξουν πάνω τους σταγόνες και να συζητήσουν αν υπάρχει αντιστοιχία με το φύλλο του λάχανου και το φύλλο του μαρουλιού. Αναμένεται να αντιστοιχίσουν τα υδρόφοβα ξύλα με το φύλλο του λάχανου και τα υδρόφιλα με το φύλλο του μαρουλιού. Στη συνέχεια, παρακολουθούν βίντεο στο οποίο παρουσιάζονται υδρόφοβα προϊόντα όπως γάντια, γυαλί, πέτρα και αντίστοιχα

υδρόφιλα. Στο βίντεο φαίνεται ότι στα υδρόφοβα προϊόντα όταν πέφτουν διάφορα υγρά όπως λάσπη, λάδι κ.α. δεν λερώνονται ενώ τα υδρόφιλα λερώνονται.

Έπειτα, δίνεται σε κάθε ομάδα φύλλο εργασίας το οποίο καθοδηγεί τους μαθητές στην διερεύνηση του «φαινομένου του λάχανου» (παράρτημα Ι). Αρχικά ζητείται να μελετήσουν μια εκτυπωμένη αφίσα σε μέγεθος Α3 (παράρτημα 1) και να συζητήσουν στην ομάδα τους με βάση την αφίσα ποιες ιδιότητες έχει το φύλλο του λάχανου και πώς εξηγούνται αυτές οι ιδιότητες. Στην αφίσα μεταξύ άλλων παρουσιάζονται πληροφορίες για τη δομή της επιφάνειας του φύλλου του λωτού και την ιδιότητά του να αυτοκαθαρίζεται, τόσο με μορφή κειμένου όσο και με μοντέλα (εικόνες). Έπειτα ζητείται από τους μαθητές να παρακολουθήσουν βίντεο¹⁷ στο οποίο παρουσιάζεται τρισδιάστατα η δομή της επιφάνειας του λωτού και η ιδιότητά του να αυτοκαθαρίζεται. Οι μαθητές καλούνται να συζητήσουν στην ομάδα τους τι κοινό παρατηρούν στην αφίσα και στο βίντεο. Έπειτα, με βάση τις πληροφορίες αυτές, καλούνται να κατασκευάσουν σε ομάδες μοντέλα για να περιγράψουν πώς λειτουργεί το φαινόμενο του λάχανου (εικόνα 2.15). Τα υλικά που δίνονται στους μαθητές είναι: κομμάτι φελιζόλ, καρφιά, χαρτοπετσέτες, μπαλόνι.

Μόλις ολοκληρώσουν τα μοντέλα, κάθε ομάδα το παρουσιάζει το δικό της όλη την τάξη. Κατά την διάρκεια της παρουσίασης των μοντέλων διεξάγεται συζήτηση για την φύση και τον ρόλο τους. Συγκεκριμένα, η συζήτηση κατευθύνεται από δύο χαρακτηριστικά της φύσης και του ρόλου των μοντέλων: α) «ένα μοντέλο πρέπει να περιλαμβάνει μόνο τα χαρακτηριστικά που θέλω να δείξω» και β) «το μοντέλο πρέπει να βασίζεται σε στοιχεία». Κατά τη συζήτηση διεξάγονται ερωτήματα όπως «το μοντέλο που έφτιαξες περιλαμβάνει περιττά στοιχεία;», «το μοντέλο που έφτιαξες περιλαμβάνει κάτι το οποίο ακόμα και να μην υπήρχε θα καταλάβαιναν οι συμμαθητές σου πώς λειτουργεί το φαινόμενο του λάχανου;», «σε ποια ακριβώς στοιχεία της αφίσας ή/και του βίντεο βασίστηκες για να φτιάξεις το μοντέλο σου;», «τι ακριβώς αναπαρέστησες από το πραγματικό αντικείμενο με τα καρφιά, με το μπαλόνι, με τα χαρτάκια και με το φελιζόλ;».

¹⁷ <https://www.youtube.com/watch?v=M9wKko4ur7A>



Εικόνα 2.15: μαθητές κατασκευάζουν μοντέλο για το φαινόμενο του λάχανου

2.3.6. Ενότητα 6^η: Καθαρισμός του νερού μέσω νανοτεχνολογίας

Στόχοι της 6^{ης} ενότητας είναι:

- α) Οι μαθητές να είναι ικανοί να περιγράφουν τον μηχανισμό φιλτραρίσματος χρησιμοποιώντας όρους του νανογραμματισμού σχετικούς με τη νανοδομή του φίλτρου και τη σχέση μεγέθους- ιδιότητας.
- β) Οι μαθητές να περιγράφουν τον μηχανισμό φιλτραρίσματος συγκρίνοντας-σειροθετώντας με βάση το μέγεθός τους τα αντικείμενα που φιλτράρουν και φιλτράρονται.
- γ) Να εφαρμόσουν τη γνώση τους για τη φύση και τον ρόλο των μοντέλων κατασκευάζοντας ένα τρισδιάστατο μοντέλο για να περιγράψουν τον μηχανισμό φιλτραρίσματος.

Αρχικά πραγματοποιείται συζήτηση για τα μοντέλα τα οποία κατασκεύασαν οι μαθητές στην πέμπτη ενότητα. Η συζήτηση κατευθύνεται από ερωτήσεις όπως: «ποια η χρησιμότητα του μοντέλου σου για το φαινόμενο του λάχανου;», «τι ακριβώς αναπαρέστησε από το πραγματικό αντικείμενο με τα καρφιά, με το μπαλόνι, με τα χαρτάκια, με το φελιζόλ;», «σε ποια στοιχεία βασίστηκες για να φτιάξεις το μοντέλο σου;».

Στη συνέχεια, ο εκπαιδευτικός αναφέρει ότι στο έκτο εργαστήριο, το θέμα το οποίο θα διερευνήσουν οι μαθητές αφορά τον καθαρισμό του νερού. Με την υποστήριξη PowerPoint διεξάγεται συζήτηση για το αν νομίζουν οι μαθητές ότι πίνουν όλοι οι άνθρωποι καθαρό νερό. Έπειτα παρακολουθούν το βίντεο «The Zambia

Project»¹⁸, (το οποίο έχουμε μεταφράσει στα ελληνικά) στο οποίο παρουσιάζεται το πρόβλημα της έλλειψης πόσιμου νερού σε χώρες του τρίτου κόσμου. Μετά την παρακολούθηση του βίντεο γίνεται συζήτηση για το τι επιπτώσεις μπορεί να έχει το μολυσμένο νερό και αν νομίζουν ότι οι επιστήμονες πρέπει να βρουν τρόπους ώστε οι άνθρωποι να πίνουν καθαρό νερό. Οι μαθητές καλούνται να διερευνήσουν, πώς μπορεί η νανοτεχνολογία να συμβάλλει στη λύση αυτού του προβλήματος.

Σε κάθε ομάδα δίνεται φύλλο εργασίας (παράρτημα 1) το οποίο καθοδηγεί τους μαθητές στην διερεύνηση για το τι είναι απαραίτητο να γίνει ώστε να φιλτράρεται αποτελεσματικά το νερό. Με τη βοήθεια φύλλου εργασίας οι μαθητές ξεκινούν να διερευνούν την χρήση φίλτρων για τον καθαρισμό του νερού (εικόνα 2.16). Πιο συγκεκριμένα καλούνται να φιλτράρουν λασπόνερο μέσα από τούλι με μεγάλες τρύπες, τούλι με μικρές τρύπες και φίλτρο του καφέ. Στο φύλλο εργασίας καταγράφουν τι είναι αυτό που αλλάζει σε κάθε φίλτρο και το νερό βγαίνει πιο καθαρό.

Από τα διαθέσιμα φίλτρα αυτό που φιλτράρει πιο αποτελεσματικά το λασπόνερο είναι το φίλτρο του καφέ. Στο σημείο αυτό συζητείται με τους μαθητές αν θα έπιναν λασπόνερο φιλτραρισμένο από το φίλτρο του καφέ και αν νομίζουν ότι το νερό είναι τελείως καθαρό. Στη συνέχεια, χρησιμοποιώντας ένα αυτοσχέδιο μικροσκόπιο τύπου “Water drop projector” (Planinsic, 2001), το οποίο κατασκεύασαν οι ερευνητές, οι μαθητές παρατηρούν ότι το νερό αν και φαίνεται σχεδόν καθαρό με το μάτι, με την χρήση του μικροσκοπίου αποκαλύπτονται πολλές ακαθαρσίες.



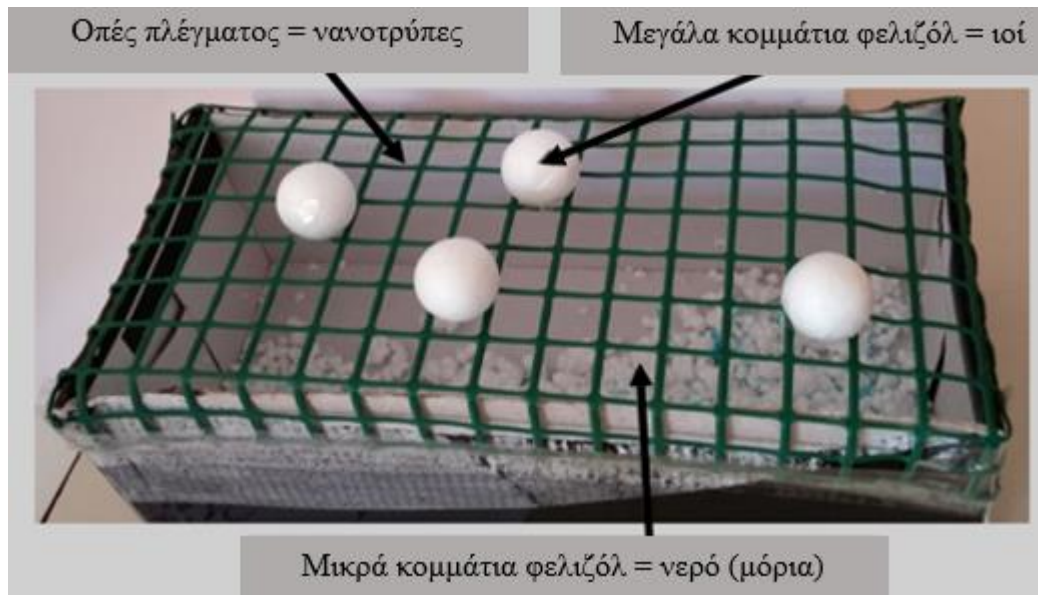
Εικόνα 2.16. Οι μαθητές διερευνούν διάφορα φίλτρα για τον καθαρισμό του νερού.

¹⁸ <https://www.youtube.com/watch?v=bg1iLMnKD-4>

Έπειτα, διεξάγεται συζήτηση για το «τι χρειάζεται να έχει ένα φίλτρο ώστε να μη χωράνε να περάσουν καθόλου βρωμίες, ούτε καν οι ιοί παρά μόνο το καθαρό νερό;». Η συζήτηση καταλήγει στο ότι χρειάζεται να έχει τρύπες μικρότερες από τον ιό, σε μέγεθος νάνο. Στη συνέχεια, παρακολουθούν βίντεο σχετικό με το φίλτρο νανοτεχνολογίας και καλούνται να κατασκευάσουν, με βάση τις πληροφορίες που έχουν συλλέξει, ένα μοντέλο για να περιγράψουν την λειτουργία του μηχανισμού φιλτραρίσματος στην περίπτωση του νανόφιλτρου (εικόνα 2.17). Τα υλικά που δίνονται στους μαθητές μεταξύ άλλων είναι: φελιζόλ, πλαστικό πλέγμα, κουτί, χαρτοταινίες, ψαλίδια, πλαστελίνες μαρκαδόροι και κόλλες A4.

Η κατασκευή του μοντέλου για την περιγραφή του μηχανισμού φιλτραρίσματος στην πραγματικότητα συμβάλλει στο να ασκηθούν οι μαθητές στην δεξιότητα της σειροθέτησης των αντικειμένων με βάση το μέγεθός τους. Πιο συγκεκριμένα, κατά τη διάρκεια κατασκευής του μοντέλου καλούνται να σκεφτούν ποια αντικείμενα χωράνε ή δεν χωράνε να περάσουν από τις οπές του φίλτρου. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι καθώς οι οπές του φίλτρου είναι σε μέγεθος νανοκλίμακας επιτρέπουν την διέλευση του νερού (μορίων νερού) αλλά δεν επιτρέπουν την διέλευση μεγαλύτερων αντικειμένων όπως είναι ο ιός ο οποίος ανήκει στον νανόκοσμο, τα βακτήρια τα οποία ανήκουν στον μικρόκοσμο και η λάσπη- ακαθαρσίες που ανήκουν στον μακρόκοσμο. Έτσι οικοδομείται μια ποιοτική σχέση μεταξύ των αντικειμένων. Για παράδειγμα, μεταξύ των υπομικροσκοπικών αντικειμένων στην περίπτωση του φιλτραρίσματος αναπτύσσεται ο εξής συλλογισμός: «ο ιός αφού δεν χωράει να περάσει από το νανόφιλτρο, είναι μεγαλύτερος από τις νανοτρύπες ενώ το νερό (μόρια) αφού χωράει να περάσει, είναι μικρότερο από τις νανοτρύπες».

Στη συνέχεια οι μαθητές παρουσιάζουν τα μοντέλα τους σε όλη την τάξη περιγράφοντας τον μηχανισμό φιλτραρίσματος και η συζήτηση εστιάζει στην σειροθέτηση των αντικειμένων που περιλαμβάνονται στο μοντέλο τους. Τέλος, διεξάγεται συζήτηση για τη φύση και τον ρόλο των μοντέλων ανάλογη με τη συζήτηση της προηγούμενης ενότητας.

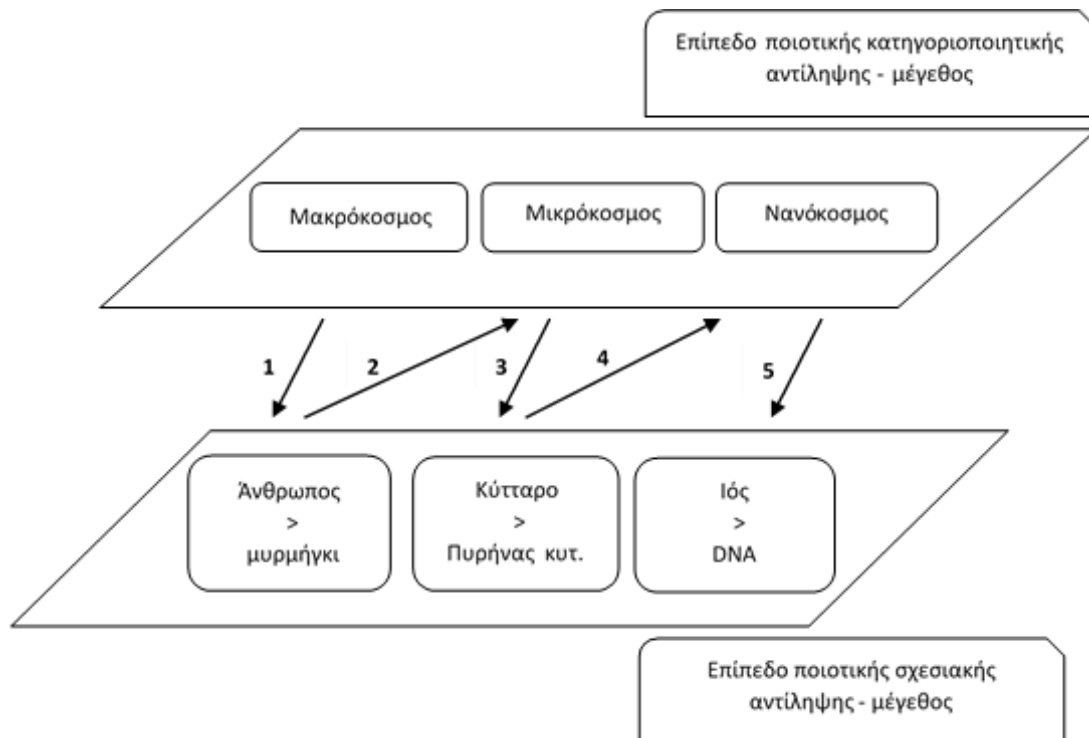


Εικόνα 2.17: Μοντέλο μαθητών για τη λειτουργία του νανόφιλτρου

2.3.7. Συζήτηση για τις ενότητες της ΔΜΑ υπό το πρίσμα της ποιοτικής κατηγοριοποιητικής και ποιοτικής σχεσιακής αντίληψης

Με το σχήμα 2.5 αναπαριστούμε τις δραστηριότητες που αναπτύξαμε στις τρεις πρώτες ενότητες της ΔΜΑ για να κατακτήσουν οι μαθητές το επίπεδο της ποιοτικής κατηγοριοποιητικής και ποιοτικής σχεσιακής αντίληψης.

Πιο συγκεκριμένα, στη πρώτη ενότητα οι μαθητές, σε ομάδες, αναζητούν το μικρότερο αντικείμενο που μπορούν να δουν με γυμνό, στη συνέχεια κατασκευάζουν μοντέλα των αντικειμένων που συνέλεξαν και τα τοποθετούν στην πρώτη περιοχή της αφίσας ταξινόμησης (εικόνα 2.10). Η δραστηριότητα αυτή αναπαρίσταται στο σχήμα 2.5 στο πρώτο επίπεδο (μακρόκοσμος). Έπειτα παρατηρούν τα αντικείμενα που συνέλεξαν με μεγεθυντικό φακό και συζητείται στο σύνολο της τάξης, ποιο είναι το μικρότερο αντικείμενο. Η δραστηριότητα αυτή αναπαρίσταται στο σχήμα 2.5 με το βέλος 1 και το δεύτερο επίπεδο κατανόησης (πετραδάκι>μυρμήγκι). Τέλος διεξάγεται συζήτηση για το αν υπάρχει κάποιο μικρότερο αντικείμενο από αυτό που συνέλεξαν και ποιο όργανο νομίζουν ότι είναι απαραίτητο να χρησιμοποιήσουν, ώστε να το παρατηρήσουν. Με τη συζήτηση αυτή γίνεται η μετάβαση από τον μακρόκοσμο στον μικρόκοσμο (βέλος 2, σχήμα 2.5).



Σχήμα 2.5: Αναπαράσταση των δραστηριοτήτων της ΔΜΑ για την ανάπτυξη των 2 πρώτων επιπέδων κατανόησης (Σπύρτου, Πείκος, Μάνου, 2016).

Στο δεύτερο δίωρο, οι μαθητές με την βοήθεια φύλλων εργασίας και ηλεκτρονικών πηγών συλλέγουν πληροφορίες για τα κύτταρα. Έπειτα παρατηρούν με την χρήση οπτικών μικροσκοπίων κύτταρα, αντίστοιχα κατασκευάζουν μοντέλα και τα τοποθετούν στην μεσαία περιοχή της αφίσας, στον μικρόκοσμο (εικόνα 2.10). Η δραστηριότητα αυτή αναπαρίσταται στο σχήμα 2.5 στο πρώτο επίπεδο (μικρόκοσμος). Στο φύλλο εργασίας ζητείται από τους μαθητές να σειροθετήσουν τα αντικείμενα - πυρήνας κυττάρου, κρεμμύδι και κύτταρο κρεμμυδιού- από το μεγαλύτερο προς το μικρότερο καθώς και να εξηγήσουν τον τρόπο με έκαναν την σειροθέτηση.

Θεωρούμε ότι η συγκεκριμένη η δραστηριότητα έχει ιδιαίτερη διδακτική αξία γιατί αφορά την καλλιέργεια της ποιοτικής σχεσιακής αντίληψης, η οποία αναγνωρίζεται ως ιδιαίτερα δύσκολη στη περίπτωση του μικρόκοσμου. Όπως επισημαίνεται στη βιβλιογραφία, οι μαθητές με ευκολία σειροθετούν αντικείμενα του μακρόκοσμου, με βασικό κριτήριο ότι είναι ορατά με το μάτι. Στην περίπτωση του μικρόκοσμου, που δεν είναι ορατός με γυμνό μάτι, οι έρευνες υπογραμμίζουν την

δυσκολία των μαθητών να διατυπώσουν με σαφήνεια ένα κριτήριο σειροθέτησης (Tretter et al., 2006).

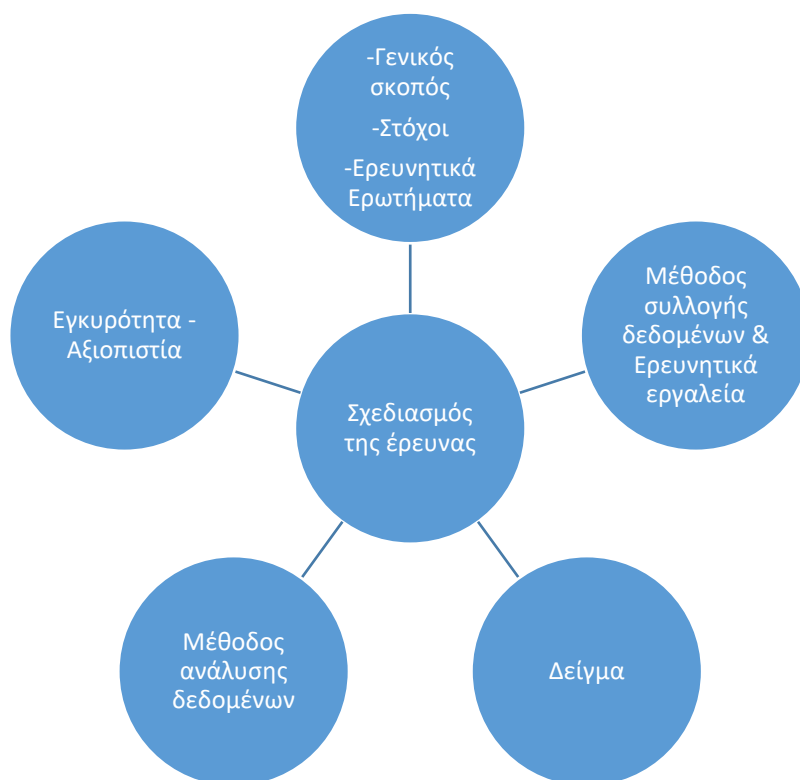
Λαμβάνοντας υπόψη μας αυτές τις επισημάνσεις αποφασίσαμε μετά τη συμπλήρωση του φύλλου εργασίας να αναπτύξουμε συζήτηση με τους μαθητές με δύο κεντρικά ερωτήματα: α) «ποιο αντικείμενο χωράει μέσα σε ποιο, ώστε να αποφασίσω ότι είναι μικρότερό του;» β) «υπάρχει κάτι μικρότερο από τον πυρήνα του κυττάρου και αν ναι, με ποιο όργανο νομίζουν ότι μπορούν να το παρατηρήσουν». Με το πρώτο ερώτημα στοχεύουμε οικοδομήσουμε ένα ποιοτικό σχεσιακό κριτήριο για το μέγεθος των αντικειμένων του μικρόκοσμου. Η δραστηριότητα αυτή αναπαρίσταται στο σχήμα 2.5 με το βέλος 3 και το δεύτερο επίπεδο κατανόησης (κύτταρο>πυρήνας κυττάρου). Με το δεύτερο ερώτημα και τη σχετική συζήτηση γίνεται η μετάβαση από τον μικρόκοσμο στον νανόκοσμο (βέλος 4, σχήμα 2.5).

Στο τρίτο δώρο οι μαθητές διερευνούν αντικείμενα του νανόκοσμου με τα εξής βασικά ερωτήματα: «με ποιο όργανο μπορώ να παρατηρήσω τον ιό;», «τι υπάρχει στο εσωτερικό του ιού;». Για την απάντηση των παραπάνω ερωτημάτων καθοδηγούνται με φύλλο εργασίας και συλλέγουν πληροφορίες από βίντεο και λογισμικό το οποίο αναπτύχθηκε από τους ερευνητές. Στη συνέχεια, εισάγεται στους μαθητές μέσω παρουσίασης power point η κατηγορία τους νανόκοσμου ως εξής: «Όταν ένα αντικείμενο είναι τόσο μικρό που φαίνεται μόνο με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο, τότε το αντικείμενο αυτό έχει μέγεθος νάνο ή αλλιώς ανήκει στον νανόκοσμο». Επιπλέον οι μαθητές καλούνται να κατασκευάσουν μοντέλα ιού και DNA και να τα τοποθετήσουν στην τρίτη περιοχή της αφίσας, στον νανόκοσμο. Οι δραστηριότητες αυτές αναπαριστώνται στο σχήμα 2.5, στο πρώτο επίπεδο (νανόκοσμος).

Έπειτα, παρέχονται στους μαθητές εκτυπωμένες εικόνες ιού, DNA και ερυθρού αιμοσφαιρίου. Καλούνται να κολλήσουν τις εικόνες στο φύλλο εργασίας με τρόπο που να σειροθετήσουν τα αντικείμενα των εικόνων από το μεγαλύτερο προς το μικρότερο. Το κριτήριο της σειροθέτησης είναι το ίδιο με το κριτήριο στο οποίο ασκήθηκαν δεύτερο δώρο. Η δραστηριότητα αυτή αναπαρίσταται στο σχήμα 2.5 με το βέλος 5 και το δεύτερο επίπεδο κατανόησης (ιός>DNA).

3^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Η βιβλιογραφία, για τον σχεδιασμό της εκπαιδευτικής έρευνας περιλαμβάνει μεθοδολογικά ζητήματα τα οποία αποτυπώνονται σχήμα 3.1 (Creswell, 2011· Cohen et al., 2008· Ιωσηφίδης, 2008).



Σχήμα 3.1: Μεθοδολογικά ζητήματα της εκπαιδευτικής έρευνας

Στις ακόλουθες παραγράφους πρόκειται να περιγράψουμε αναλυτικά καθένα από τα παραπάνω ζητήματα, τα οποία συντέλεσαν στον σχεδιασμό της έρευνας μας.

3.1. Σκοπός της έρευνας, ειδικότεροι στόχοι και ερευνητικά ερωτήματα

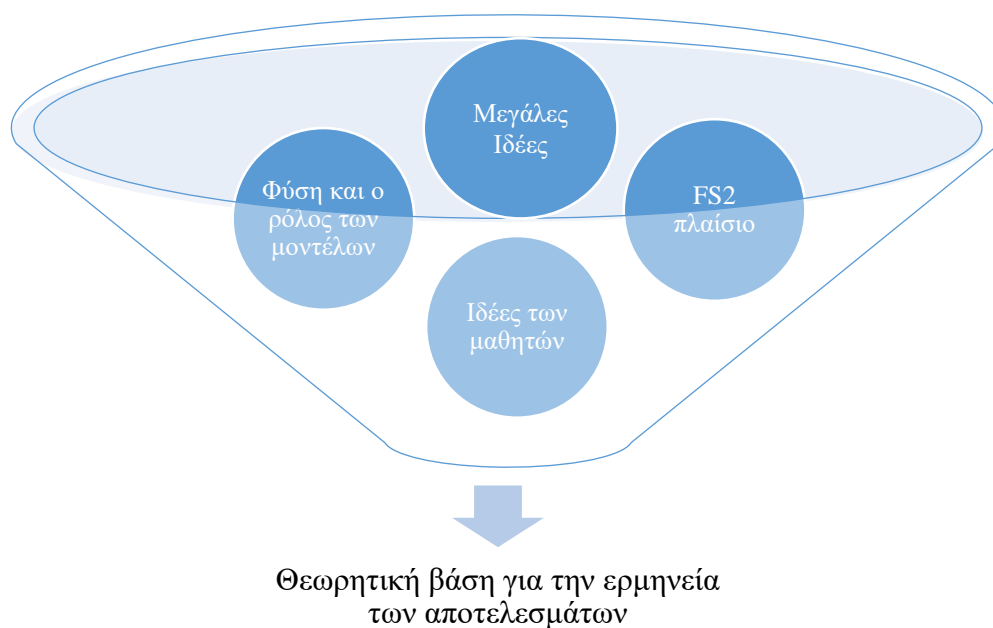
Σκοπός της έρευνας είναι να αξιολογήσουμε τη ΔΜΑ για τη Ν-ΕΤ ως προς τα μαθησιακά αποτελέσματα (Méhaut & Psillos, 2004). Θεωρητική βάση για την ερμηνεία των αποτελεσμάτων μας (σχήμα 3.2) είναι οι *Μεγάλες Ιδέες* της Ν-ΕΤ (Stevens et al., 2009; Πέικος κ.α., 2015), το FS2 πλαίσιο (Magana et al., 2012), η φύση και ο ρόλος των μοντέλων στη Διδακτική των Φυσικών Επιστημών (Schwartz et al.,

2009) και η έρευνες για τις ιδέες των μαθητών για τη N-ET (ενότητα 1.6.1). Έτσι, ο γενικός σκοπός της έρευνας επιμερίζεται σε ειδικότερους στόχους:

1^{ος} στόχος: Πώς εξελίσσονται οι αντιλήψεις των μαθητών για τη N-ET;

2^{ος} στόχος: Πώς εξελίσσεται η επιστημολογική γνώση των μαθητών για τη φύση και τον ρόλο των μοντέλων;

3^{ος} στόχος: Κατά πόσο επηρεάζει η εξέλιξη της επιστημολογικής γνώσης των μαθητών για τα μοντέλα τις αντιλήψεις των μαθητών για τη N-ET;



Σχήμα 3.2: Θεωρητική βάση για την ερμηνεία των αποτελεσμάτων

Ιδιαίτερα κρίσιμο για μια αποτελεσματική έρευνα θεωρείται το να μετατρέψουμε έναν γενικό ερευνητικό σκοπό, σε επιμέρους στόχους και έπειτα να μετατρέψουμε τους στόχους αυτούς σε συγκεκριμένα ερευνητικά ερωτήματα. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται λειτουργικοποίηση (Cohen et al., 2008).

Ως εκ τούτου, τον πρώτο στόχο τον μετατρέψαμε σε οχτώ ερευνητικά ερωτήματα (EE) (EE1-EE8) και τον δεύτερο σε ένα ερευνητικό ερώτημα (EE 9) και τον τρίτο επίσης σε ένα ερευνητικό ερώτημα (EE10). Τα ερευνητικά ερωτήματα διατυπώνονται ως εξής:

EE1. Πώς εξελίσσεται η νοηματοδότηση της νανοτεχνολογίας από τους μαθητές;

- EE2. Πώς εξελίσσονται οι ιδέες των μαθητών για το μικρότερο αντικείμενο που υπάρχει;
- EE3. Πώς εξελίσσεται η γνώση των μαθητών για τα όργανα παρατήρησης του μακρόκοσμου, του μικρόκοσμου και του νανόκοσμου;
- EE4. Πώς εξελίσσεται η ικανότητα των μαθητών να ταξινομήν αντικείμενα διαφορετικών μεγεθών με κριτήριο το όργανο παρατήρησής τους;
- EE5. Πώς εξελίσσεται η ικανότητα των μαθητών να σειροθετούν αντικείμενα διαφορετικών μεγεθών;
- EE6. Πώς εξελίσσεται η περιγραφή του φαινομένου της υδροφοβικότητας από τους μαθητές;
- EE7. Πώς εξελίσσεται η περιγραφή του μηχανισμού φιλτραρίσματος με φίλτρα νανοτεχνολογίας από τους μαθητές;
- EE8. Σε ποιο βαθμό είναι ικανοί οι μαθητές να περιγράφουν την επίδραση του νανόκοσμου στον μικρόκοσμο και τον μακρόκοσμο μετά την εφαρμογή της ΔΜΑ;
- EE9. Πώς εξελίσσονται οι γνώσεις των μαθητών για την φύση και τον ρόλο των μοντέλων;
- EE10. Κατά πόσο επηρεάζει η εξέλιξη της επιστημολογικής γνώσης των μαθητών για τα μοντέλα τις αντιλήψεις των μαθητών για τη Ν-ΕΤ;

3.2. Μέθοδοι συλλογής δεδομένων

Στην ενότητα αυτή πρόκειται να παρουσιαστούν τα ερευνητικά εργαλεία που χρησιμοποιήσαμε για να συλλέξουμε τα δεδομένα για την έρευνά μας.

3.2.1. Επιλογή και ανάπτυξη των ερευνητικών εργαλείων

Η ποιοτική κοινωνική έρευνα ορίζεται ως «ένα είδος εκπαιδευτικής έρευνας στην οποία ο ερευνητής βασίζεται στις απόψεις των συμμετεχόντων. Κάνει γενικές ερωτήσεις μεγάλου εύρους. Συγκεντρώνει δεδομένα που αποτελούνται σε μεγάλο βαθμό από λέξεις (ή κείμενο) από τους συμμετέχοντες. Περιγράφει και αναλύει αυτές τις λέξεις αναδεικνύοντας θέματα» (Creswell, 2011: 66). Υπό την οπτική αυτή η έρευνά μας έρευνά εντάσσεται στην κατηγορία των ποιοτικών κοινωνικών ερευνών (Ιωσηφίδης,

2008). Η διαδικασία της λειτουργικοποίησης που περιγράφηκε στην προηγούμενη ενότητα ανέδειξε τα ερευνητικά ερωτήματα. Το σύνολο των ερευνητικών ερωτημάτων αποσκοπεί στην ανίχνευση των νοηματοδοτήσεων και των αναπαραστάσεων των μαθητών σχετικά με έννοιες και φαινόμενά της N-ET.

Τα ερευνητικά εργαλεία τα οποία επιλέχθηκαν για την συλλογή των ποιοτικών δεδομένων είναι:

1. Το γραπτό ερωτηματολόγιο, το οποίο συμπλήρωσαν οι μαθητές πριν και μετά την εφαρμογή της ΔΜΑ.
2. Η ημιδομημένη συνέντευξη, την οποία έδωσαν μαθητές μετά την εφαρμογή της ΔΜΑ.

Το γραπτό ερωτηματολόγιο χρησιμοποιήθηκε για να συλλέξουμε δεδομένα για όλο το δείγμα και ημιδομημένη συνέντευξη χρησιμοποιήθηκε για να συλλέξουμε δεδομένα σε βάθος σχετικά με δύο μελέτες περίπτωσης.

3.2.2. Το γραπτό ερωτηματολόγιο

Οι Meheut & Psillos (2004) καταγράφουν ότι μια τάση της μεθοδολογίας στην εκπαιδευτική έρευνα, για την αξιολόγηση της ΔΜΑ είναι η σύγκριση της αρχική με την τελική γνωστική κατάσταση των μαθητών. Πιο συγκεκριμένα η σύγκριση της αρχικής με την τελική κατάσταση των μαθητών πραγματοποιείται ως προς τους αρχικούς μαθησιακούς στόχους της ΔΜΑ και η συλλογή των δεδομένων μπορεί να πραγματοποιηθεί με γραπτά ερωτηματολόγια πριν και μετά την εφαρμογή της ΔΜΑ.

Από την επισκόπηση της βιβλιογραφίας δεν εντοπίστηκε κάποιο ερευνητικό εργαλείο με το οποίο μπορούμε να μετρήσουμε την γνωστική κατάσταση μαθητών δημοτικού ως προς τους στόχους της ΔΜΑ για τη N-ET στο δημοτικό σχολείο. Εντοπίστηκαν όμως έρευνες οι οποίες συνέβαλαν στην ανάπτυξη του γραπτού ερωτηματολογίου. Στις ακόλουθες παραγράφους περιγράφεται το γραπτό ερωτηματολόγιο, η αντιστοίχιση κάθε έργου του ερωτηματολογίου με το περιεχόμενο της ΔΜΑ καθώς οι έρευνες από τις οποίες εμπνευστήκαμε το κάθε έργο.

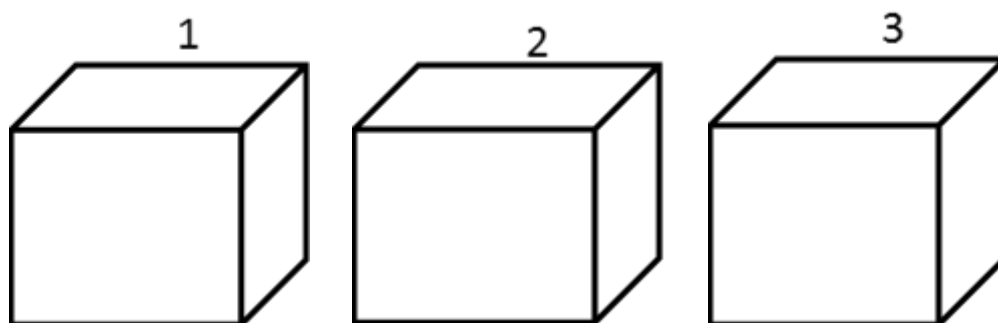
Το γραπτό ερωτηματολόγιο (πίνακας 3.1) αποτελείται από 12 έργα – ερωτήματα (Ε) (αναλυτικά στο παράρτημα 2). Τα ερωτήματα είναι ανοιχτού τύπου καθώς επιδιώκεται οι μαθητές να εκφραστούν ελεύθερα (Cohen et al., 2008), ώστε να αναδειχθούν οι ιδέες και γνώσεις τους για τη N-ET. Στον παρακάτω πίνακα

παρουσιάζονται τα έργα του γραπτού ερωτηματολογίου. Διευκρινίζεται ότι τα έργα E8, E11 και E12 περιλαμβάνονται μόνο στο ερωτηματολόγιο τελικής μέτρησης.

Πίνακας 3.1: Τα έργα (E) του γραπτού ερωτηματολογίου

- E1. Ένας μαθητής διάβασε στο διαδίκτυο την λέξη **νανοτεχνολογία** και αναρωτήθηκε τι άραγε να σημαίνει. Προσπάθησε να του εξηγήσεις τι νομίζεις εσύ ότι είναι η **νανοτεχνολογία**.
- E2. Ποιο νομίζεις ότι είναι **το μικρότερο** αντικείμενο που υπάρχει;
- E3. **Πώς μπορείς να δεις** το αντικείμενο που έγραψες;
- E4. Α) Ταξινόμησε τα παρακάτω αντικείμενα στα κουτιά με **βάση το μέγεθός τους**.

Κόκκος αλατιού, μπάλα ποδοσφαίρου, κύτταρο κρεμμυδιού, ερυθρό αιμοσφαίριο, άνθρωπος, DNA, ιός, πυρήνας κυττάρου



Με ποιά **όργανο** μπορείς να δεις τα αντικείμενα του:

Κουτιού 1	
Κουτιού 2	
Κουτιού 3	

- E5. Τοποθέτησε τα παρακάτω αντικείμενα από το **μεγαλύτερο προς το μικρότερο**.

Κύτταρο κρεμμυδιού, DNA, κόκκος αλατιού, μπάλα ποδοσφαίρου, ιός, πυρήνας κυττάρου



E6. Δυο αδέρφια, αφού έπλυναν ένα κομμάτι λάχανο παρατήρησαν το εξής: «**οι σταγόνες μόλις έπεφταν πάνω στο λάχανο γίνονταν στρόγγυλες σαν μπίλιες**». Για ποιο λόγο νομίζεις ότι μπορεί να συμβαίνει αυτό;



E7. Φαντάσου ότι είσαι για ψάρεμα σε μια λίμνη με έναν φίλο σου. Έχεις ξεχάσει να πάρεις μαζί σου νερό και δεν υπάρχει κοντά κάποια βρύση με πόσιμο νερό. Μαζί σου όμως έχεις ένα **μπουκάλι με νανόφιλτρο**. Θα έπινες νερό από την λίμνη χρησιμοποιώντας το νανόφιλτρο;

Τι θα έλεγες στον φίλο σου για να του εξηγήσεις **πώς λειτουργεί το νανόφιλτρο**;

E8. Μια μαθήτριά αρρώστησε από **ίωση**. Περιέγραψε **πώς ο νανόκοσμος επηρεάζει τον μικρόκοσμο και τον μακρόκοσμο** στην περίπτωση της **ίωσης**.

E9. Γράψε μία πρόταση, την πιο αντιπροσωπευτική για σένα, που να περιέχει τη λέξη **μοντέλο**.

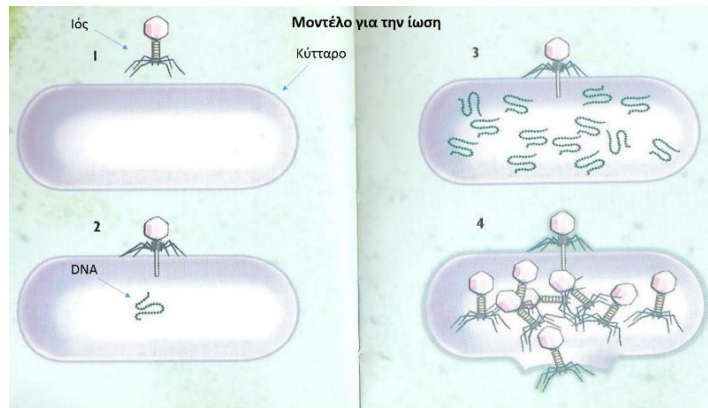
E10. Παρακάτω βλέπεις μια κατασκευή που παριστάνει ένα μάτι.



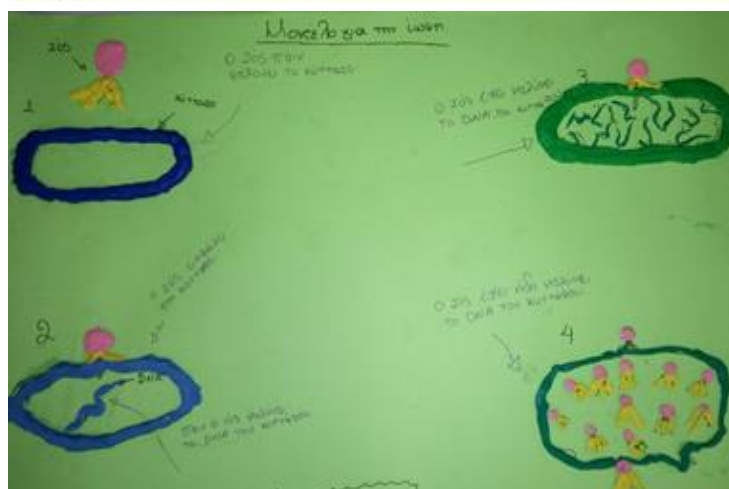
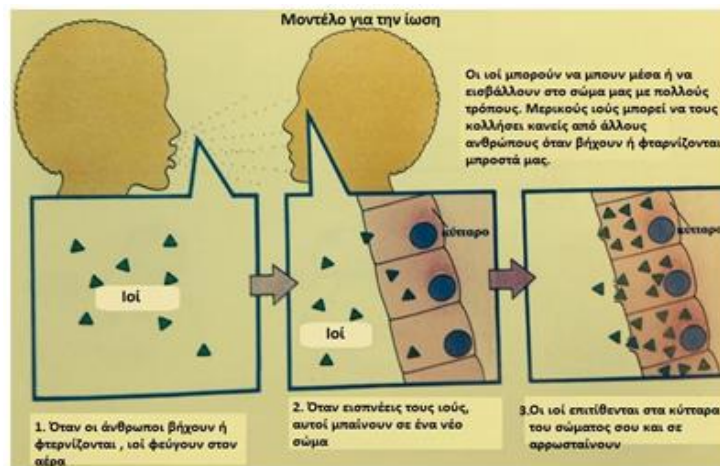
A) Σε τι νομίζεις ότι μας **χρησιμεύει** αυτή η κατασκευή;

B) Πώς θα **ονόμαζες** την παρακάτω κατασκευή;

E11. Παρακάτω βλέπεις ένα **μοντέλο** που χρησιμοποιήσαμε για να αναπαραστήσουμε το φαινόμενο της **ίωσης**. Σε τι μας **βοήθησε** αυτό το μοντέλο;



E12. Παρακάτω φαίνονται **και άλλα μοντέλα** για το φαινόμενο της **ίωσης**. Χρειάζεται να υπάρχουν διαφορετικά **μοντέλα** για το ίδιο φαινόμενο; Αιτιολόγησε την απάντησή σου.



Η ΔΜΑ περιλαμβάνει πέντε *Μεγάλες Ιδέες* τη Ν-ΕΤ: α) το μέγεθος β) τα εργαλεία και όργανα γ) τις ιδιότητες εξαρτώμενες από το μέγεθος δ) την επιστήμη-τεχνολογία- κοινωνία: εφαρμογές ε) τα μοντέλα και προσομοιώσεις (ενότητα 2.2). Έτσι, σχεδιάσαμε κάθε έργο του γραπτού ερωτηματολογίου με σκοπό να αξιολογεί τη γνωστική κατάσταση των μαθητών προς τους μαθησιακούς στόχους που έχουν τεθεί στη ΔΜΑ σχετικά με αυτές τις πέντε ιδέες. Στον πίνακα 3.2 παρουσιάζεται η αντιστοίχιση του ερωτηματολογίου με τις *Μεγάλες Ιδέες* της ΔΜΑ (βλέπε και ενότητα 2.2). Επιπλέον παρατίθεται ο στόχος τον οποίο καλείται να εξυπηρετήσει το κάθε έργο. Δηλαδή αναφέρεται, για ποιες συγκεκριμένες αντιλήψεις των μαθητών μπορεί να αποτελέσει πηγή συλλογής δεδομένων το κάθε έργο.

Πιο αναλυτικά, με το έργο 1 επιδιώκουμε να συλλέξουμε πληροφορίες για το πώς οι μαθητές νοηματοδοτούν τη Ν-ΕΤ πριν και μετά την εφαρμογή της ΔΜΑ. Επισημαίνεται ότι δεν διδάχθηκε στους μαθητές ρητά ένας ορισμός για τη νανοτεχνολογία. Στη βιβλιογραφία εντοπίζονται σχετικά ερωτήματα για τη νοηματοδότηση της νανοτεχνολογίας. Από βιβλιογραφική επισκόπηση γίνεται φανερό ότι μαθητές δεν δίνουν σαφείς απαντήσεις για το τι είναι η νανοτεχνολογία ή το «νάνο», ενώ ένα μικρό ποσοστό συνδέει τη νανοτεχνολογία με κάτι μικρό (Murriello, Contier, & Knobel, 2006· Castellini et al., 2007· Waldron et al., 2006) (βλέπε ενότητα 1.6.1).

Με το έργο 2 επιδιώκουμε να ανιχνεύσουμε τις ιδέες των μαθητών για το ποιο νομίζουν ότι είναι το μικρότερο αντικείμενο που υπάρχει. Το ερώτημα αυτό σχετίζεται με τη *Μεγάλη Ιδέα* «μέγεθος». Πιο συγκεκριμένα επιδιώκουμε να εξετάσουμε σε ποια κλίμακα εντάσσονται τα αντικείμενα τα οποία οι μαθητές δημοτικού αναφέρουν ως τα μικρότερα που νομίζουν πως υπάρχουν. Σχετικά ερωτήματα εντοπίζονται και στις έρευνες των (Murriello, Contier, & Knobel, 2006· Castellini et al., 2007· Waldron et al., 2006).

Το έργο 3 σχετίζεται με τη *Μεγάλη Ιδέα* «εργαλεία και όργανα». Η γνώση για τα όργανα παρατήρησης των αντικειμένων μπορεί να συμβάλλει στην οικοδόμηση της ιδέας «μέγεθος». Πιο συγκεκριμένα με κριτήριο τα όργανα παρατήρησης των αντικειμένων μπορεί να γίνει ομαδοποίηση των κόσμων στον μακρόκοσμο, στον μικρόκοσμο και στον νανόκοσμο (Stevens et al., 2009). Με το ερώτημα αυτό επιδιώκουμε να ανιχνεύσουμε αν οι μαθητές γνωρίζουν το σωστό όργανο παρατήρησης του αντικειμένου που ανέφεραν στο ερώτημα 2.

Πίνακας 3.2: Οι *Μεγάλες Ιδέες* και ο στόχος με τον οποίο σχετίζεται το κάθε έργο.

Έργο	ΜΙς -Περιεχόμενο	Στόχος
E1	Νοηματοδότηση της N-ET	Να καταγραφούν οι αντιλήψεις των μαθητών για τον όρο «νανοτεχνολογία»
E2		Να καταγραφούν οι ιδέες των μαθητών για το μικρότερο αντικείμενο
E4	Μέγεθος, Εργαλεία και όργανα	Να καταγραφεί η ικανότητα ταξινόμησης αντικειμένων διαφορετικών μεγεθών σε κόσμους (μακρο-μικρο-νανο) με βάση το όργανο παρατήρησης τους.
E6		Να καταγραφεί η ικανότητα σειροθέτησης αντικειμένων διαφορετικών μεγεθών.
E3	Εργαλεία και όργανα	Να καταγραφούν τα όργανα τα οποία οι μαθητές γνωρίζουν για την παρατήρηση μη ορατών αντικειμένων.
E6	Ιδιότητες εξαρτώμενες από το μέγεθος, Μέγεθος	Να καταγραφούν οι ιδέες των μαθητών για την ιδιότητα της υδροφοβικότητας.
E7	Εφαρμογές της N-ET, Μέγεθος Ιδιότητες εξαρτώμενες από το μέγεθος	Να καταγραφεί η ικανότητα των μαθητών να περιγράψουν τον μηχανισμό φιλτραρίσματος σειροθετώντας τα αντικείμενα τα οποία λαμβάνουν μέρος.
E8	Μέγεθος	Να καταγραφεί η ικανότητα των μαθητών να περιγράψουν το φαινόμενο της ίωσης ταξινομώντας τα αντικείμενα που λαμβάνουν μέρος στον μακρόκοσμο, στον μικρόκοσμο και στον νανόκοσμο.
E9, E10 E11, E12	Μοντέλα	Να καταγραφούν οι αντιλήψεις των μαθητών για την φύση και τον ρόλο των μοντέλων.

Με το έργο 4 επιδιώκουμε να ανιχνεύσουμε κατά πόσοι οι μαθητές είναι ικανοί να ταξινομούν αντικείμενα στον μακρόκοσμο στον μικρόκοσμο και στον νανόκοσμο με κριτήριο το όργανο παρατήρησης. Τα έργα αυτά σχετίζονται με τη *Μεγάλη Ιδέα* «μέγεθος» και πιο συγκεκριμένα με την ποιοτική κατηγοριοποιητική αντίληψη (Magana et al., 2012) (βλέπε ενότητα 1.6.4). Παρόμοια ερωτήματα καταγράφονται σε έρευνες των Tretter et al. (2006), Delgado et al. (2009), Magana et al. (2012).

Το έργο 5 σχετίζεται επίσης με τη *Μεγάλη Ιδέα* «μέγεθος» και πιο συγκεκριμένα με την ποιοτική σχεσιακή αντίληψη (Magana et al., 2012). Με το έργο αυτό

επιδιώκουμε να ανιχνεύουμε κατά πόσο οι μαθητές είναι ικανοί να σειροθετούν αντικείμενα του μακρόκοσμου, του μικρόκοσμου και του νανόκοσμου. Παρόμοια έργα εντοπίζονται σε έρευνες των Waldron et al. (2006), Tretter et al. (2006), Delgado et al. (2009), Magana et al. (2012).

Το έργο 6 σχετίζεται με τη *Μεγάλη Ιδέα* «μέγεθος» στην οποία περιλαμβάνεται η περιγραφή της νανοδομής (Wansom et al., 2009) της επιφάνειας του λάχανου και με τη *Μεγάλη Ιδέα* «ιδιότητες εξαρτώμενες από το μέγεθος» (Stevens et al., 2009) που σχετίζεται με τη λειτουργία της επιφάνειας του λάχανου. Με το ερώτημα αυτό επιδιώκουμε να συλλέξουμε πληροφορίες για το κατά πόσο οι μαθητές είναι ικανοί να περιγράψουν το φαινόμενο χρησιμοποιώντας επιστημονικό λεξιλόγιο σχετικό με τη νανοδομή και τις ιδιότητες εξαρτώμενες από το μέγεθος όπως: νανοεξογκώματα και υδροφοβικότητα αντίστοιχα.

Το έργο 7 σχετίζεται επίσης με τη *Μεγάλη Ιδέα* «μέγεθος» στην οποία περιλαμβάνεται η περιγραφή της νανοδομής (Wansom et al., 2009) του φίλτρου καθώς και η *Μεγάλη Ιδέα* «εφαρμογές της N-ET» (Stevens et al., 2009). Με το ερώτημα αυτό επιδιώκουμε να συλλέξουμε πληροφορίες για το κατά πόσο οι μαθητές είναι ικανοί να εφαρμόσουν την γνώση τους για την σειροθέτηση αντικειμένων σε μια εφαρμογή της N-ET. Πιο συγκεκριμένα οι μαθητές αναμένεται να εξηγούν τον μηχανισμό φιλτραρίσματος συγκρίνοντας ποια αντικείμενα χωρούν να περάσουν από τις οπές του φίλτρου και ποια όχι.

Με το έργο 8 επιδιώκουμε να συλλέξουμε πληροφορίες για το κατά πόσο είναι ικανοί οι μαθητές να περιγράψουν την επίδραση του νανόκοσμου στον μικρόκοσμο και τον μακρόκοσμο. Ερευνητές καταγράφουν πως οι γνώσεις που σχετίζονται με τους τρεις κόσμους δεν πρέπει να διδάσκονται αποσπασματικά αλλά να δίνεται έμφαση στην αλληλεπίδρασή τους, για παράδειγμα στο πως ο νανόκοσμος επηρεάζει τους άλλους δύο κόσμους (Stevens et al., 2009, Healy 2009, Majier 2011). Με το έργο αυτό καταγράφουμε το κατά πόσο οι μαθητές είναι ικανοί να εφαρμόσουν τη γνώση τους για την ταξινόμηση στους τρεις κόσμους (μακρο, μικρο, νανο) σε ένα φαινόμενο της N-ET. Επισημαίνεται ότι το ερώτημα αυτό περιλαμβάνεται μόνο στο ερωτηματολόγιο τελικής μέτρησης.

Με τα έργα 9, 10,11 και 12 επιδιώκουμε να συλλέξουμε πληροφορίες για τις γνώσεις των μαθητών σχετικά με τη φύση και τον ρόλο των μοντέλων (βλέπε ενότητες

1.3.5 και 2.2.1.) Τα έργα 10 και 11 είναι ίδια με τα έργα που χρησιμοποιήθηκαν στην έρευνα του Ζουπίδη (2012: 389 & 390). Τα έργα αυτά έχουν ως στόχο να καταγράψουν τις αντιλήψεις των μαθητών σχετικά με το αν αναγνωρίζουν τα μοντέλα ως αναπαραστάσεις καθώς και αν αναγνωρίζουν την χρησιμότητά τους. Τα έργα 12 και 13 περιλαμβάνονται μόνο στο ερωτηματολόγιο τελικής μέτρησης και είναι βασισμένα σε σχετικές προτάσεις του Ζουπίδη (2012) και των Schwartz et al. (2009). Πιο συγκεκριμένα τα έργα 12 και 13 έχουν ως στόχο επίσης την καταγραφή των αντιλήψεων των μαθητών για την αναπαραστατική φύση των μοντέλων καθώς και την χρησιμότητα πολλαπλών μοντέλων. Στα δύο τελευταία έργα τα ερωτήματα αφορούν συγκεκριμένα μοντέλα τα οποία οι μαθητές χρησιμοποίησαν ή κατασκεύασαν κατά την διάρκεια της ΔΜΑ.

Στον πίνακα 3.3 καταγράφεται για κάθε έργο η έρευνα πάνω στην οποία βασίστηκε ο σχεδιασμός του.

Πίνακας 3.3: Οι έρευνες στις οποίες βασίστηκε ο σχεδιασμός του κάθε έργου

Έργο	Οι έρευνες στις οποίες βασίζονται τα έργα
E1, E2	Castellini et al., 2007· Murriello, Contier, & Knobel, 2006· Waldron, Spencer & Batt, 2006.
E3	Stevens et al., 2009.
E6, E7, E8	Ερευνητής της παρούσας εργασίας.
E4, E5	Delgado et al., 2015· Magana et al., 2012· Delgado, 2009· Tretter et al. 2006.
E9, E10,	Ζουπίδης, 2012.
E11, E12	Schwartz et al., 2009· Ζουπίδης, 2012.

Στον πίνακα 3.3 βλέπουμε ότι για τα 9 από τα 12 έργα βασιστήκαμε σε έρευνες δημοσιευμένες σε έγκριτα επιστημονικά περιοδικά καθώς και σε δυο διδακτορικές διατριβές (Ζουπίδης, 2012· Delgado, 2009), ενώ 3 έργα αναπτύχθηκαν από τους ερευνητές της εργασίας αυτής για τις ανάγκες της ΔΜΑ. Λεπτομέρειες για το κάθε έργο ξεχωριστά παρουσιάζονται στην ενότητα 3.5 η οποία περιλαμβάνει την ανάλυση των δεδομένων για κάθε έργο.

3.2.3. Η ημιδομημένη συνέντευξη- 2 Μελέτες Περίπτωσης

Η Μελέτη Περίπτωσης αποτελεί «ένα συγκεκριμένο παράδειγμα για να σκιαγραφήσει μια γενικότερη κατάσταση» (Cohen et al., 2008: 309). Η ημιδομημένη συνέντευξη ανταποκρίνεται στον σκοπό αυτό καθώς ενδείκνυται για συλλογή πλούσιων δεδομένων. Πρόκειται για μια μέθοδο η οποία επιτρέπει να διερευνηθούν σε βάθος οι αντιλήψεις των μαθητών καθώς εστιάζουμε στα υποκειμενικά νοήματα (νοηματοδοτήσεις) που αποδίδουν οι μαθητές στα ερωτήματα που τους τίθενται (Ιωσηφίδης, 2008). Περιλαμβάνει μεν ένα σύνολο προκαθορισμένων ερωτήσεων αλλά ο ερευνητής είναι ευέλικτος ως προς την σειρά που θέτει τις ερωτήσεις, έχει τη δυνατότητα να τροποποιεί τις ερωτήσεις ανάλογα με τον συνεντευξιζόμενο, καθώς και να προσθαιρεί ερωτήσεις ή θέματα προς συζήτηση (Creswell, 2011· Ιωσηφίδης, 2008). Πράγματι, κατά τη διάρκεια των συνεντεύξεων αρκετές φορές ήταν αναγκαίο να διατυπωθούν με εναλλακτικό τρόπο οι ερωτήσεις ή να παραληφθούν ανάλογα με τις απαντήσεις που έδινε ο μαθητής σε προηγούμενα έργα.

Στην έρευνά μας επιλέξαμε δύο μαθητές ως ξεχωριστές μελέτες περίπτωσης ώστε να συλλέξουμε πλούσια δεδομένα σχετικά με την κατανόηση εννοιών και φαινομένων της N-ET, αλλά και σχετικά με την επιστημολογική τους γνώση για τα μοντέλα και την μοντελοποίηση. Ως εργαλείο για τη συλλογή των δεδομένων χρησιμοποιήσαμε την ημιδομημένη συνέντευξη σε συνδυασμό με το γραπτό ερωτηματολόγιο.

Όσον αφορά τα έργα της συνέντευξης, ήταν κοινά με τα έργα του γραπτού ερωτηματολογίου τα οποία συμπληρώνονταν από βοηθητικές ερωτήσεις. Πιο συγκεκριμένα παρέχονταν στον μαθητή το γραπτό ερωτηματολόγιο που είχε συμπληρώσει. Για κάθε έργο ο μαθητής καλούνταν να διαβάσει δυνατά την απάντησή του και έπειτα διεξαγόταν συζήτηση. Η συζήτηση περιλάμβανε βοηθητικές ερωτήσεις όπως: «έχεις να προσθέσεις κάτι σχετικό με αυτό που έχεις γράψει;», «μπορείς να μου δώσεις ένα παράδειγμα;». Αναλυτικά οι εναλλακτικές ερωτήσεις παρουσιάζονται στην ενότητα 3.6 στην οποία παρατίθεται αποσπάσματα από την ημιδομημένη συνέντευξη.

3.3. Το δείγμα της έρευνας

Η ΔΜΑ εφαρμόστηκε σε ένα αστικό δημοτικό σχολείο της Φλώρινας. Πρόκειται για ένα σχολείο το οποίο έχει παράδοση στην εφαρμογή εκπαιδευτικών καινοτομιών. Δείγμα για την μελέτη της αρχικής και της τελικής γνωστικής κατάστασης αποτελούν 22 μαθητές του δημοτικού σχολείου. Συγκεκριμένα οι μαθητές φοιτούσαν στην Στ τάξη και οι 10 ήταν αγόρια ενώ οι 12 κορίτσια.

Δείγμα για την μελέτη περίπτωσης αποτελούν δύο μαθητές από το σύνολο των 22. Η επιλογή αυτών των μαθητών πραγματοποιήθηκε με βάση τα εξής κριτήρια: α) να έχουν περάσει οι μαθητές από συνέντευξη, β) να παρατηρείται διαφορετικός βαθμός βελτίωσης (μεγάλος, μικρός) με βάση τα αποτελέσματα από τα γραπτά ερωτηματολόγια. Επιδιώξαμε να ικανοποιούνται και τα δύο κριτήρια ώστε να εμπλουτίσουμε την έρευνα με περισσότερα ποιοτικά δεδομένα.

Από συνέντευξη πέρασαν έξι μαθητές. Ο ερευνητής, ως εκπαιδευτικός επέλεξε αυτούς τους μαθητές με βασικό κριτήριο την εμπλοκή τους στο μάθημα κατά την εφαρμογή της ΔΜΑ. Δύο από αυτούς είχαν υψηλή εμπλοκή και φαινόταν ότι είχαν στον προφορικό τους λόγο υψηλή επίδοση. Δύο είχαν μέτρια εμπλοκή και δύο χαμηλή εμπλοκή. Επίσης για τους έξι αυτούς μαθητές μελετήσαμε ποιοι παρουσιάζουν τον μεγαλύτερο και ποιοι τον μικρότερο βαθμό βελτίωσης. Στον πίνακα 3.4 παρουσιάζεται το επίπεδο στο οποίο ανήκουν οι απαντήσεις για κάθε έναν από τους έξι μαθητές, για κάθε μια από τις κατευθύνσεις ανάλυσης (ΚΑ). Στην τελευταία γραμμή του πίνακα αναφέρεται ο αριθμός που αντιπροσωπεύει το Υψηλότερο Επίπεδο (Υ.Ε.) για κάθε κατεύθυνση ανάλυσης. Για παράδειγμα στην δεύτερη στήλη του πίνακα, στην κατεύθυνση ανάλυσης ΚΑ1 έχουμε τέσσερα επίπεδα (E3, E2, E1, E0). Ο αριθμός τρία που καταγράφεται στη γραμμή Υ.Ε. αντιστοιχεί στο επίπεδο E3 το οποίο αντιπροσωπεύει την «επιστημονική άποψη».

Στον πίνακα 3.4 έχουμε επισημάνει με αστερίσκο (*) τα επίπεδα στα οποία οι μαθητές έχουν βαθμό χαμηλότερο από τον βαθμό του υψηλότερου επιπέδου. Παρατηρούμε ότι ο M4 έχει 14/15 απαντήσεις στα υψηλότερα επίπεδα, ο M7 12/15, ο M13 13/15, ο M19 13/15, ο M20 14/15 και ο M21 9/15. Συνεπώς τις περισσότερες απαντήσεις στα υψηλότερα επίπεδα έχουν οι M4 και M20, τις λιγότερες ο M21.

Καθώς οι μαθητές M4 και M20 ισοβαθμούσαν, επιλέξαμε ως μελέτη περίπτωσης με την μεγαλύτερη βελτίωση στη μάθηση τον M4 καθώς η ανάλυση της

συνέντευξής του παρείχε περισσότερα ερευνητικά δεδομένα. Ως μελέτη περίπτωσης με την μικρότερη βελτίωση επιλέξαμε τον M21 ο οποίος έχει τις λιγότερες απαντήσεις στα υψηλότερα επίπεδα.

Πίνακας 3.4. Επίπεδο για κάθε μαθητή ανά κατεύθυνση ανάλυσης

ΚΑ/Μ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
M4	3	3	3	3	3	3	3	2	0*	1	1	1	1	1	1
M7	3	3	3	3	2*	3	3	1*	0*	1	1	1	1	1	1
M13	2*	3	3	3	3	3	3	2	0*	1	1	1	1	1	1
M19	3	3	3	3	2*	3	2*	2	1	1	1	1	1	1	1
M20	3	3	3	3	2*	3	3	2	1	1	1	1	1	1	1
M21	3	3	3	3	3	0*	0*	2	0*	0*	0*	1	0*	1	1
Υ.Κ.	3	3	3	3	3	3	3	2	1	1	1	1	1	1	1

3.4. Μέθοδος ανάλυσης δεδομένων

Η έρευνα για τις αντιλήψεις των μαθητών για τη Ν-ΕΤ και ιδιαίτερα για τις αντιλήψεις μαθητών του δημοτικού σχολείου είναι ακόμα στην αρχή της. Όταν η γνώση μας για ένα πεδίο έρευνας είναι περιορισμένη, όπως για παράδειγμα οι αντιλήψεις των μαθητών δημοτικού σχολείου στη Ν-ΕΤ, τότε η Θεμελιωμένη Θεωρία των Strauss & Corbin (1994) θεωρείται ιδιαίτερα χρήσιμη (Ιωσηφίδης, 2008· Sherman & Webb, 2005).

«Η Θεμελιωμένη Θεωρία προσφέρει μια συστηματική μέθοδο με την οποία μπορεί να μελετηθεί ο πλούτος και η ποικιλία της ανθρώπινης εμπειρίας οδηγώντας στην παραγωγή σχετικών ευλογοφανών θεωριών. Οι θεωρίες αυτές με τη σειρά τους μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να κατανοήσουμε την πλαισιοποιημένη πραγματικότητα της κοινωνικής εμπειρίας. Υπό το πρίσμα αυτό μπορούμε να μελετήσουμε το τι συμβαίνει σε συγκεκριμένες ομάδες ατόμων και να σχεδιάσουμε παρεμβάσεις ώστε να βελτιωθεί η ποιότητα της εκπαίδευσης» (Sherman & Webb, 2005: 126).

Σημαντικό στοιχείο της Θεμελιωμένης Θεωρίας είναι η ανακάλυψη μιας βασικής μεταβλητής. Η μεταβλητή αυτή αποτυπώνει το κύριο θέμα της συμπεριφοράς

των υποκειμένων και αποκαλύπτει «τι συμβαίνει με τα δεδομένα» (What is going on with the data) (Glaser, 1978, p. 94, διαβάστηκε στο Sherman & Webb, 2005). Για την ανίχνευση αυτής της μεταβλητής απαιτείται συνεχής αναφορά στα δεδομένα και αυστηρή (rigorous) αναλυτική σκέψη (Sherman & Webb, 2005). Η βασική μεταβλητή έχει τρία χαρακτηριστικά α) εμφανίζεται συχνά στα δεδομένα β) συνδέει τα δεδομένα μαζί γ) εξηγεί πολλά για την ποικιλία (variation) των δεδομένων (Sherman & Webb, 2005: 132). Οι κατηγορίες, οι ιδιότητες, οι φάσεις και οι διαστάσεις της θεωρίας που οικοδομείται, συνδέονται με την βασική μεταβλητή, η οποία αποτελεί και την βάση της θεωρίας (Sherman & Webb, 2005).

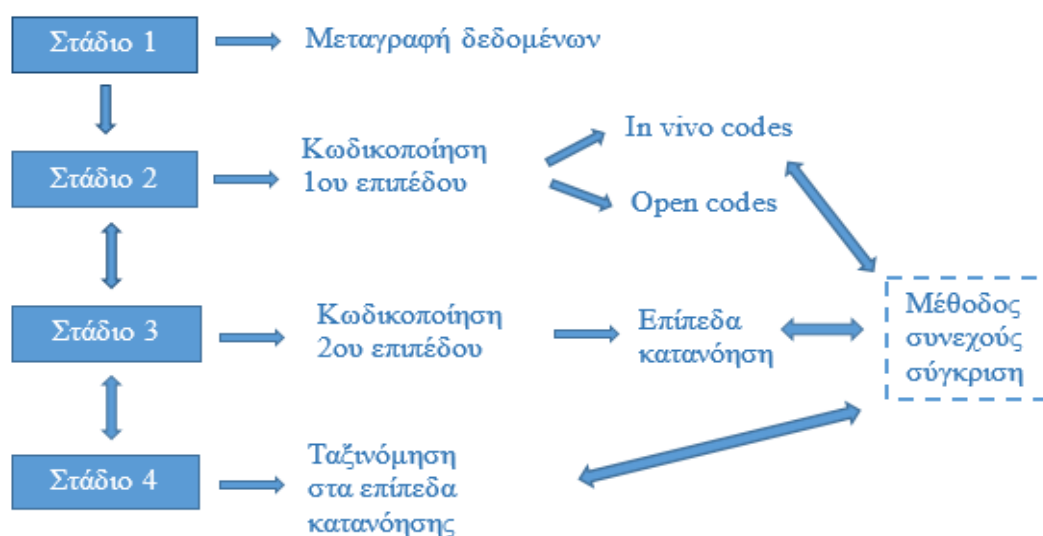
Η ανάλυση των δεδομένων της έρευνάς μας πραγματοποιείται με βάση δύο άξονες ανάλυσης. Ο πρώτος άξονας αντιστοιχεί στον πρώτο ερευνητικό μας στόχο και ο δεύτερος άξονας στον δεύτερο ερευνητικό μας στόχο (ενότητα 3.1). Στον πρώτο άξονα περιλαμβάνονται 10 κατευθύνσεις ανάλυσης (Κ.Α.) και συγκεκριμένα οι Κ.Α. Π1- Π10 οι οποίες αφορούν το περιεχόμενο της Ν-ΕΤ (Π= Περιεχόμενο), ενώ στον δεύτερο άξονα ανάλυσης περιλαμβάνονται 5 Κ.Α. και συγκεκριμένα οι Κ.Α. Μ1 – Κ.Α. Μ5, οι οποίες αφορούν την επιστημολογική γνώση για τα μοντέλα και την μοντελοποίηση (Μ= Μοντέλα- Μοντελοποίηση). Για την ομαδοποίηση των απαντήσεων και την ανάδειξη των επιπέδων κατανόησης στις Κ.Α. 1-10 βασιστήκαμε στην Θεμελιωμένη Θεωρία καθώς δεν εντοπίσαμε στη βιβλιογραφία κατηγορίες ανάλυσης ή επίπεδα κατανόησης που να ανταποκρίνονται στα ερωτήματά μας. Για τις Κ.Α. Μ1-Μ5 εντοπίσαμε στη βιβλιογραφία επίπεδα κατανόησης τα οποία εμπλουτίσαμε και χρησιμοποιήσαμε τη μέθοδο της συνεχούς σύγκρισης της Θεμελιωμένης Θεωρίας για την ταξινόμηση των απαντήσεων σε αυτά (Sherman & Webb, 2005). Στις παρακάτω παραγράφους περιγράφεται η μέθοδος ανάλυσης των δεδομένων της έρευνάς μας.

Όσον αφορά την ανάλυση των δεδομένων για τον 1^ο στόχο της έρευνάς μας είναι επαγωγική (inductive) και βασίζεται στην Θεμελιωμένη Θεωρία (Mayring, 2014· Elo et al., 2008). Επιλέγουμε ως μέθοδο ανάλυσης την Θεμελιωμένη Θεωρία για να αναγνωρίσουμε προοδευτικά τα επίπεδα κατανόησης με βάση τα δεδομένα, εφαρμόζοντας τη μέθοδο συνεχούς σύγκρισης (Willig, 2013· Sherman & Webb, 2005) λαμβάνοντας όμως παράλληλα υπόψη και την επιθυμητή γνώση στην οποία στόχευε η ΔΜΑ (Ζουπίδης, 2012).

Με τον τρόπο αυτό θέλουμε να αξιολογήσουμε τα αποτελέσματα της μάθησης σε σχέση με τους αρχικούς μαθησιακούς στόχους της ΔΜΑ. Θεωρούμε ότι από την μελέτη των απαντήσεων των μαθητών στα ερωτήματα που τίθενται με τα ερευνητικά εργαλεία, θα εξάγουμε συμπεράσματα για τις περιοχές μάθησης της Ν-ΕΤ στις οποίες οι μαθητές αντιμετωπίζουν δυσκολίες ή τα καταφέρνουν με μεγαλύτερη επιτυχία. Τα συμπεράσματα αυτά ενδέχεται να συμβάλλουν στο να παράγουμε μια νέα βελτιωμένη ΔΜΑ για τη Ν-ΕΤ

Πηγή δεδομένων για τη μελέτη της εξέλιξης των αντιλήψεων των μαθητών αποτελούν τα γραπτά ερωτηματολόγια τα οποία συμπλήρωσαν οι μαθητές πριν και μετά την εφαρμογή της ΔΜΑ. Στον πρώτο άξονα ανάλυσης περιλαμβάνεται η ανάλυση των έργων που αφορούν τα Ερευνητικά Ερωτήματα ΕΕ1-ΕΕ8. Καθένα από τα Ερευνητικά Ερωτήματα αποτελεί και μια Κατεύθυνση Ανάλυσης (ΚΑ) των δεδομένων, επομένως προκύπτουν 8 κατευθύνσεις ανάλυσης.

Όσον αφορά την κωδικοποίηση των δεδομένων, στη βιβλιογραφία καταγράφεται ότι η μέθοδος κωδικοποίησης αποτελεί μια κυκλική διαδικασία. Αυτό σημαίνει ότι ο ερευνητής έχει τη δυνατότητα να αλλάξει το θέμα στο οποίο εστιάζει σε περίπτωση που η ανάλυση των δεδομένων αναδεικνύει νέες κατευθύνσεις (Sherman & Webb, 2005). Η ομαδοποίηση των δεδομένων, η ανάδειξη των επιπέδων και η ταξινόμηση στα επίπεδα βασίζεται στην κωδικοποίηση που προτείνει η Θεμελιωμένη Θεωρία και στην μέθοδο της συνεχούς σύγκρισης.



Σχήμα 3.3: Τα τέσσερα στάδια της ανάλυσης δεδομένων στην έρευνα μας.

Η ανάλυση των δεδομένων για την ανάδειξη των επιπέδων κατανόησης αλλά και την ταξινόμηση των απαντήσεων στα επίπεδα περιλαμβάνει 4 στάδια τα οποία παρουσιάζονται στο σχήμα 3.3 και περιγράφονται στις επόμενες ενότητες.

1^ο Στάδιο: Μεταγραφή των δεδομένων για κάθε κατεύθυνση ανάλυσης

Στο πρώτο στάδιο μεταγράψαμε τα δεδομένα από τα γραπτά ερωτηματολόγια σε φύλλα excel (Creswell, 2005). Σε ένα φύλλο μεταγράφηκαν τα δεδομένα από το ερωτηματολόγιο αρχικής μέτρησης και σε ένα άλλο φύλλο τα δεδομένα από το ερωτηματολόγιο τελικής μέτρησης. Στην πρώτη στήλη του excel καταγράφηκε ο κωδικός κάθε μαθητή (M1-M22) και στην δεύτερη το φύλλο του. Στις επόμενες στήλες καταγράφηκαν οι απαντήσεις του κάθε μαθητή για κάθε μια από τις 8 κατευθύνσεις ανάλυσης.

2^ο στάδιο: Κωδικοποίηση δεδομένων: in vivo & open codes

Κωδικοί “in vivo”. Αρχικά αναζητήθηκαν στα δεδομένα λέξεις ή φράσεις με αυτοτελές εννοιολογικό περιεχόμενο, οι οποίες αντιπροσωπεύουν την καταγεγραμμένη πληροφορία και της αποδίδουν ολοκληρωμένο νόημα. Οι λέξεις αυτές ονομάζονται Μονάδες Ανάλυσης (MA) (Ιωσηφίδης, 2008· Cohen et al., 2008). Ως αρχικοί κωδικού χρησιμοποιούνται αυτούσιες λέξεις – Μονάδες Ανάλυσης όπως ακριβώς αναφέρονται από τους μαθητές. Οι κωδικοί αυτοί στη διεθνή βιβλιογραφία αναφέρονται ως “in vivo” ή “substantive codes” και είναι απαραίτητο να έχουν νόημα για αυτό που θέλει να περιγράψει το υποκείμενο (Sherman & Webb, 2005: 133). Στο παράδειγμά της εικόνας 3.2 στο επίπεδο 1, κωδικούς in vivo, αποτελούν οι λέξεις «νανόκοσμος», «ιός», «DNA», και «ηλεκτρονικό μικροσκόπιο».

Ανοιχτή κωδικοποίηση. Στη συνέχεια του πρώτου σταδίου κωδικοποίησης ακολουθούμε την ανοιχτή κωδικοποίηση (open coding) (Sherman & Webb, 2005). Με την ανοιχτή κωδικοποίηση επιδιώκουμε τη σύνδεση φράσεων ή λέξεων που προέρχονται από τα δεδομένα, με «συγκεκριμένες ιδέες και έννοιες που έχουν ερμηνευτικό και θεωρητικό χαρακτήρα» (Ιωσηφίδης, 2008: 184). Η ανοιχτή κωδικοποίηση αποτελεί θεμελιακό στοιχείο της ανάλυσης των δεδομένων, καθώς συμβάλλει στην ανακάλυψη των αρχικών κωδικών και των ιδιοτήτων τους (Cho & Lee,

2014). Για τον πρώτο άξονα της έρευνάς μας ο «ερμηνευτικός και θεωρητικός χαρακτήρας» με τον οποίο επιδιώκουμε να συνδέσουμε τις μονάδες ανάλυσης διαμορφώνεται από α) τις *Μεγάλες Ιδέες* της N-ET (Stevens et al., 2009· Πείκος κ.α., 2015) και πιο συγκεκριμένα από τις *Μεγάλες Ιδέες* που ενσωματώνονται στη ΔΜΑ για τη N-ET (βλέπε κεφάλαιο 2), β) από το FS2 πλαίσιο και συγκεκριμένα την ποιοτική κατηγοριοποιητική και σχεσιακή αντίληψη για το μέγεθος (Magana et al., 2012) (βλέπε ενότητες 1.6.4) και γ) τις έρευνες για τις ιδέες των μαθητών για τη N-ET (βλέπε ενότητα 1.6.1).

Πιο αναλυτικά, στα δεδομένα που προέκυψαν από το στάδιο 1, εντοπίστηκαν μονάδες ανάλυσης οι οποίες αρχικά συνδέθηκαν- κωδικοποιήθηκαν με «ιδέες και έννοιες που έχουν θεωρητικό χαρακτήρα» και στη συνέχεια μετασχηματίστηκαν σε ευρύτερα επίπεδα κατανόησης (στάδιο 3). Για παράδειγμα με βάση το σχήμα 3.4 στο 2^ο στάδιο οι μονάδες ανάλυσης «νανόκοσμος», «ιός» και «DNA», συνδέονται με την *Μεγάλη Ιδέα* «Μέγεθος» (Stevens et al., 2009) και κωδικοποιούνται ως «Μέγεθος».

3^ο στάδιο: Κωδικοποίηση δεδομένων: Επίπεδα κατανόησης

Κατά το δεύτερο επίπεδο κωδικοποίησης στόχος είναι οι κωδικοί που αποδώσαμε στις μονάδες ανάλυσης του πρώτου επιπέδου να ανέλθουν σε πιο αφηρημένο επίπεδο. Πιο αναλυτικά, αυτό τα αφηρημένο επίπεδο προκύπτει από την σύμπτυξη (condensing) των κωδικών του πρώτου επιπέδου (Sherman & Webb, 2005). Η σύμπτυξη των κωδικών πραγματοποιείται όταν οι κωδικοί αυτοί μοιράζονται κοινά νοήματα ή όπως αναφέρεται στους Cho & Lee (2014: 7) «οι έννοιες [κωδικοί] για τα ίδια φαινόμενα μπορούν να ομαδοποιηθούν στην ίδια κατηγορία». Φαίνεται ότι τα δυο πρώτα επίπεδα είναι άμεσα συνδεδεμένα μεταξύ τους καθώς η κωδικοποίηση των μονάδων ανάλυσης με λέξεις οι οποίες έχουν «θεωρητικό χαρακτήρα» οδηγεί στην ανάπτυξη ευρύτερων κωδικών (Ιωσηφίδης, 2008· Cohen et al., 2008).

Για την καλύτερη κατανόηση του δεύτερου επιπέδου κωδικοποίησης οι Sherman & Webb (2005: 134) αναφέρουν ότι οι αποφάσεις για τον τρόπο κατηγοριοποίησης λαμβάνονται θέτοντας συγκεκριμένα ερωτήματα για τα δεδομένα μας.

«Για παράδειγμα ένας ερευνητής μπορεί να ρωτήσει “Τι υποδεικνύει αυτό το συμβάν;” και στη συνέχεια να συγκρίνει το συμβάν αυτό με όλα τα άλλα [συμβάντα] στα καταγεγραμμένα δεδομένα. Έπειτα ο ερευνητής ρωτά, “Σε ποια κατηγορία εμπίπτουν παρόμοια συμβάντα;”. Τέλος ο ερευνητής συγκρίνει κάθε κατηγορία που αναδεικνύεται με όλες τις υπόλοιπες για να σιγουρευτεί ότι είναι αλληλοαποκλειόμενες και καλύπτουν όλες τις διακυμάνσεις της συμπεριφοράς».

Αναφορικά με το παράδειγμα της δικής μας έρευνας (σχήμα 3.4), οι μονάδες ανάλυσης που κωδικοποιήθηκαν ως «Μέγεθος» εντάσσονται στο ευρύτερο επίπεδο «Επιστημονική Άποψη». Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω για την δημιουργία των επιπέδων βασιστήκαμε και στα δεδομένα αλλά και στην επιθυμητή γνώση στην οποία στόχευε η ΔΜΑ. Έτσι για το συγκεκριμένο παράδειγμα που αφορά την κατεύθυνση ανάλυσης, «νοηματοδότηση της N-ET», ενώ στη ΔΜΑ ενσωματώνονται 5 *Μεγάλες Ιδέες*, κατά την ανάλυση των δεδομένων εντοπίστηκαν ΜΑ για 2 από τις *Μεγάλες Ιδέες*, το «Μέγεθος» και τα «Εργαλεία και Όργανα». Κατά συνέπεια στο επίπεδο της «επιστημονικής άποψης» η οποία στην ουσία αντιπροσωπεύει την επιθυμητή γνώση της ΔΜΑ εντάσσονται απαντήσεις στις οποίες εντοπίζονται ΜΑ για μια τουλάχιστον από τις δύο *Μεγάλες Ιδέες*. Στην ενότητα 3.5 περιγράφονται αναλυτικά τα επίπεδα κατανόησης που αναδείχθηκαν για κάθε μια από τις κατευθύνσεις ανάλυσης.

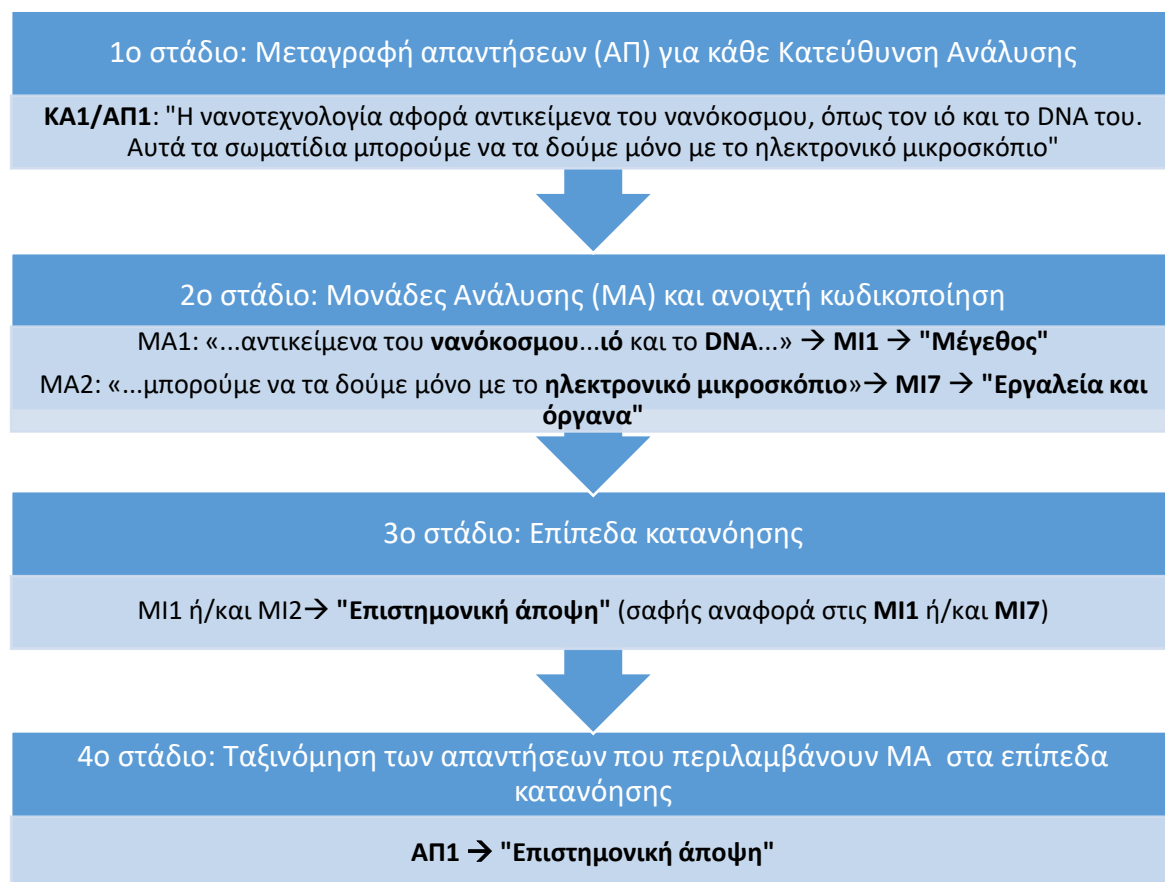
4^ο Στάδιο: Καταμέτρηση και ταξινόμηση των μονάδων ανάλυσης στα επίπεδα κατανόησης

Στο 4^ο στάδιο καταμετρήθηκαν οι απαντήσεις των μαθητών στις οποίες περιλαμβάνονταν μονάδες ανάλυσης και ταξινομήθηκαν στα επίπεδά κατανόησης που προέκυψαν στο στάδιο 3 με βάση την μέθοδο της συνεχούς σύγκρισης.

Η Μέθοδος της Συνεχούς Σύγκρισης

Κατά το δεύτερο, τρίτο και τέταρτο στάδιο της έρευνας ακολουθήσαμε την μέθοδο της συνεχούς σύγκρισης. Σύμφωνα με τους Sherman & Webb (2005) η μέθοδος της συνεχούς σύγκρισης είναι θεμελιακή μέθοδος για την ανάλυση των δεδομένων στην

Θεμελιωμένη Θεωρία. Πιο αναλυτικά, κατά την διάρκεια κωδικοποίησης και ανάλυσης των δεδομένων, ο ερευνητής εστιάζει στον εντοπισμό επαναλαμβανόμενων μοτίβων στα δεδομένα. Επιπλέον, ο ερευνητής συγκρίνει τους κωδικούς του πρώτου επιπέδου μεταξύ τους, τους κωδικούς του πρώτου επιπέδου με τα επίπεδα κατανόησης και τα επίπεδα κατανόησης μεταξύ τους. Με την μέθοδο αυτή μπορούν να διακριθούν οι ομοιότητες και οι διαφορές μεταξύ των κωδικών του πρώτου επιπέδου. Συγκρίνοντας όμοιους κωδικούς ορίζονται οι βασικές ιδιότητες του κάθε επιπέδου κατανόησης. Οι διαφορές μεταξύ των κωδικών αυτών αναδεικνύουν σταδιακά τα όρια και τις σχέσεις μεταξύ των επιπέδων κατανόησης. Επισημαίνεται ότι η μέθοδος της συνεχούς σύγκρισης βοηθά τον ερευνητή να συλλέξει σε βάθος πληροφορίες και να καταστήσει σαφέστερο (tease out) το νόημα κάθε επιπέδου. Ολοκληρώνοντας, η μέθοδος της συνεχούς σύγκρισης διασφαλίζει την «δυναμική» (momentum) της διαδικασίας κωδικοποίησης καθώς ο ερευνητής ελέγχει συνεχώς τις διαφορές και τις ομοιότητες μεταξύ των επιπέδων (Willig, 2013).



Σχήμα 3.4. Παράδειγμα για τα τέσσερα στάδια της ανάλυσης.

3.5. Επίπεδα κατανόησης για κάθε Κατεύθυνση Ανάλυσης (Κ.Α.)

Τα επίπεδα κατανόησης (Ε) είναι ιεραρχικά. Το υψηλότερο επίπεδο περιλαμβάνει απαντήσεις από τις οποίες φαίνεται πως οι μαθητές προσεγγίζουν την επιθυμητή γνώση στην οποία στόχευε η ΔΜΑ για καθένα από τα Ερευνητικά Ερωτήματα. Στην χαμηλότερο επίπεδο ταξινομούνται απαντήσεις οι οποίες είναι μακριά από την επιθυμητή γνώση.

Κ.Α. Π1: Νοηματοδότηση της Ν-ΕΤ

Για την νοηματοδότηση της Ν-ΕΤ έχουν δημοσιευθεί αποτελέσματα από την πιλοτική εφαρμογή της ΔΜΑ (Πέικος, Μάνου, Σπύρτου, 2015). Όπως και στην πιλοτική έτση και στην κανονική εφαρμογή αναδεικνύονται τέσσερα επίπεδα απαντήσεων (Ε3, Ε2, Ε1, Ε0). Για την κατεύθυνση ανάλυσης 1 συλλέξαμε δεδομένα από το πρώτο έργο του γραπτού ερωτηματολογίου.

Το Ε3 αποτελεί την «Επιστημονική Άποψη». Πιο συγκεκριμένα, μια απάντηση εντάσσεται στο Ε3 όταν στο περιεχόμενό της εντοπίζονται μονάδες ανάλυσης οι οποίες συνδέονται με σαφήνεια τουλάχιστον με μία *Μεγάλη Ιδέα*. Με άλλα λόγια αναζητούμε στις απαντήσεις των μαθητών όρους του νανογραμματισμού για μια τουλάχιστον από τις ΜΙς.

Πιο συγκεκριμένα, όσον αφορά την ΜΙ «μέγεθος», αναζητούμε όρους όπως «νανόκοσμος» και αντικείμενα του νανόκοσμου π.χ. «ιός» και «DNA». Στο σημείο αυτό είναι σημαντικό να υπογραμμίσουμε ότι οι περισσότερες εκπαιδευτικές έρευνες που έχουν δημοσιευτεί επικεντρώνονται στη ΜΙ «μέγεθος» (Stevens et al., 2009· Bryan et al., 2015· Castellini et al., 2007).

Για την ΜΙ «εργαλεία και όργανα», αναζητούμε μονάδες ανάλυσης σχετικές με τα όργανα παρατήρησης του νανόκοσμου, και συγκεκριμένα το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (Stevens et al., 2009· Wansom et al., 2009). Στα όργανα παρατήρησης περιλαμβάνουμε και μονάδες ανάλυσης όπως το «νανοσκόπιο» (Ramsden & Freeman, 2009) και το «νανομικροσκόπιο». Κατά την διάρκεια των διδασκαλιών οι μαθητές ανέφεραν τις λέξεις αυτές ως συνώνυμες του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου και έγινε συμφωνία μεταξύ του διδάσκοντα και των μαθητών ότι θα θεωρούνται κοινώς αποδεκτές.

Σχετικά με τα «μοντέλα» αναζητούμε μονάδες ανάλυσης στις οποίες αναγνωρίζεται η χρησιμότητα των μοντέλων την περίπτωση της N-ET. Όσον αφορά τα τις «εφαρμογές τη N-ET» αναζητήθηκαν μονάδες ανάλυσης όπως «υδροφοβικά υλικά» ή «φίλτρα νανοτεχνολογίας». Σχετικά με τις «εξαρτώμενες από το μέγεθος ιδιότητες» αναζητήθηκαν μονάδες ανάλυσης, οι οποίες περιλαμβάνουν όρους του νανογραμματισμού που αφορούν τις ιδιότητες αυτές. Για παράδειγμα τον όρο «νανοεξογκώματα» ο οποίος προσδιορίζει την ιδιότητα της υδροφοβικότητας και τον όρο «νανοτρύπες» του φίλτρου νανοτεχνολογίας στις οποίες οφείλεται η ικανότητά του να φιλτράρει ακόμα και αντικείμενα του νανόκοσμου.

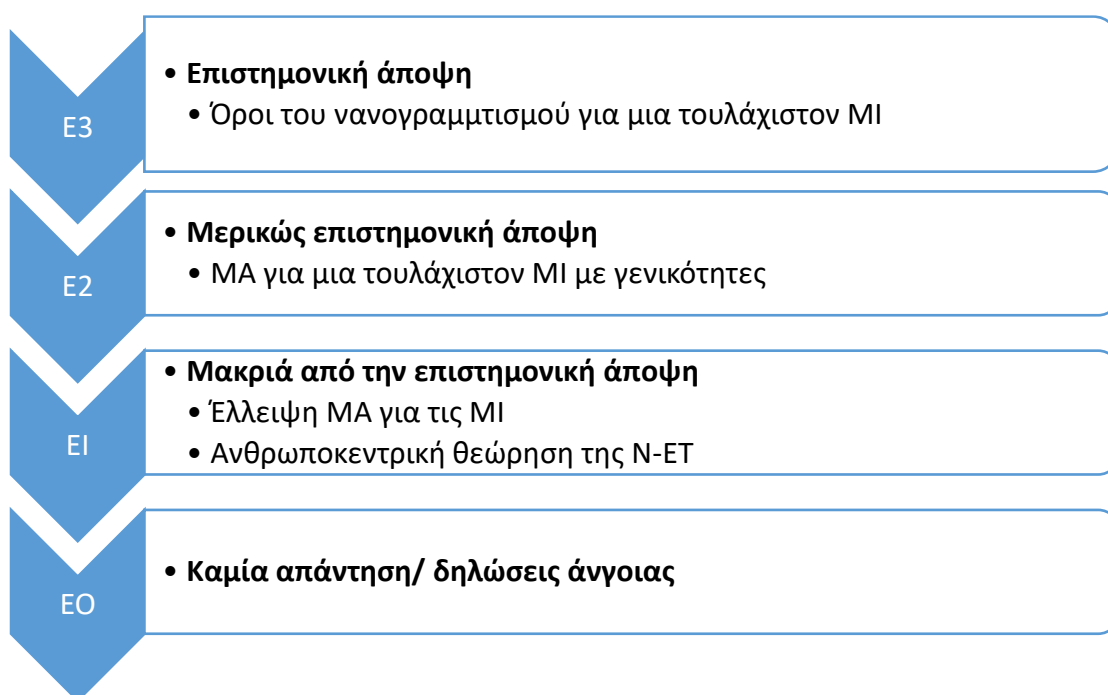
Παραδείγματα απαντήσεων οι οποίες ανήκουν στο E3 είναι τα εξής: «Μαθητής 12, Ερωτηματολόγιο Τελικής Μέτρησης (M12, ETM): Η νανοτεχνολογία είναι πολύ τα πολύ μικρά πράγματα που δεν μπορούμε να τα δούμε με γυμνό μάτι, μόνο με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σε αυτήν την κατηγορία υπάρχει ο ιός και το DNA του ιού», «M21, ETM: Η νανοτεχνολογία είναι τα πολύ μικρά πράγματα που τα βλέπουμε μόνο με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο», «M9, EAM: Η νανοτεχνολογία είναι κάτι πολύ μικρά πράγματα που δεν φαίνονται με γυμνό μάτι πρέπει να τα δεις με το νανοσκόπιο».

Το E2 περιλαμβάνει την «Μερικώς Επιστημονική Άποψη». Στο E2 εντάσσονται απαντήσεις στις οποίες ανιχνεύονται μονάδες ανάλυσης που συνδέονται με μια τουλάχιστον από τις ΜΙς αλλά όχι με σαφήνεια. Για παράδειγμα για τη *Μεγάλη Ιδέα* «μέγεθος» μαθητές αναφέρουν ότι η νανοτεχνολογία σχετίζεται με κάτι μικρό αλλά δεν διευκρινίζουν το πόσο μικρό χρησιμοποιώντας όρους του νανογραμματισμού όπως τον «νανόκοσμο». Επιπλέον, στο E2 εντάσσονται απαντήσεις στις οποίες οι μαθητές αναφέρονται στη ΜΙ «όργανα» αλλά με γενικότητες όπως «ειδικά εργαλεία» ή αναφέρουν ως όργανο παρατήρησης για τη N-ET το «μικροσκόπιο». Παραδείγματα απαντήσεων οι οποίες ανήκουν στο E2 είναι τα εξής: «M13, ETM: Είναι κάποιοι επιστήμονες (νανοεπιστήμονες) που ασχολούνται με πολύ μικρά αντικείμενα», «M22, ETM: Σημαίνει η τεχνολογία των μικρών πραγμάτων», «M1, EAM: Νανοτεχνολογία είναι όταν δεν μπορούμε να δούμε κάτι με γυμνό μάτι όμως μπορούμε να το δούμε με μικροσκόπιο ή με ειδικά εργαλεία».

Το E1 αντιπροσωπεύει το επίπεδο κατανόησης το οποίο είναι «μακριά από την επιστημονική άποψη». Στο E1 εντάσσονται απαντήσεις α) στις οποίες δεν ανιχνεύονται μονάδες ανάλυσης που να συνδέονται με καμία από τις *Μεγάλες Ιδέες* ή β) ανιχνεύονται

μονάδες ανάλυσης σχετικές με μια ανθρωποκεντρική προσέγγιση της νανοτεχνολογίας. Όταν λέμε ανθρωποκεντρική προσέγγιση εννοούμε απαντήσεις στις οποίες η νανοτεχνολογία θεωρείται ως μια τεχνολογία για κοντούς ανθρώπους ή νάνους. Επιπλέον, στο E1 εντάσσονται απαντήσεις οι οποίες περιλαμβάνουν ταυτολογίες με την ερώτηση ή γενικότητες. Παραδείγματα απαντήσεων οι οποίες ανήκουν στο E1 είναι τα εξής: «M22, EAM: Νομίζω πως είναι η τεχνολογία των νάνων», «M19, EAM: Η νανοτεχνολογία δεν είμαι σίγουρος τι είναι αλλά σίγουρα έχει νάνο», «M2, EAM: Νανοτεχνολογία σημαίνει ότι μπορούμε να ερευνήσουμε πολλά πράγματα ή να μελετήσουμε την φύση. Επίσης με την νανοτεχνολογία μπορούμε να μάθουμε πολλά πράγματα τα οποία δεν ξέρουμε».

Στο E0 εντάσσονται κενές απαντήσεις ή δηλώσεις άγνοιας. Παραδείγματα απαντήσεων οι οποίες ανήκουν στο E0 είναι τα εξής: «M11, EAM: Δεν ξέρω τι είναι η νανοτεχνολογία γιατί δεν την έχω κάνει», «M20, EAM: καμία απάντηση». Στο σχήμα 3.5 παρουσιάζονται συνοπτικά οι κατηγορίες.



Σχήμα 3.5. Επίπεδα για τη νοηματοδότηση της N-ET.

Κ.Α. Π2: Ιδέες των μαθητών για το μικρότερο αντικείμενο

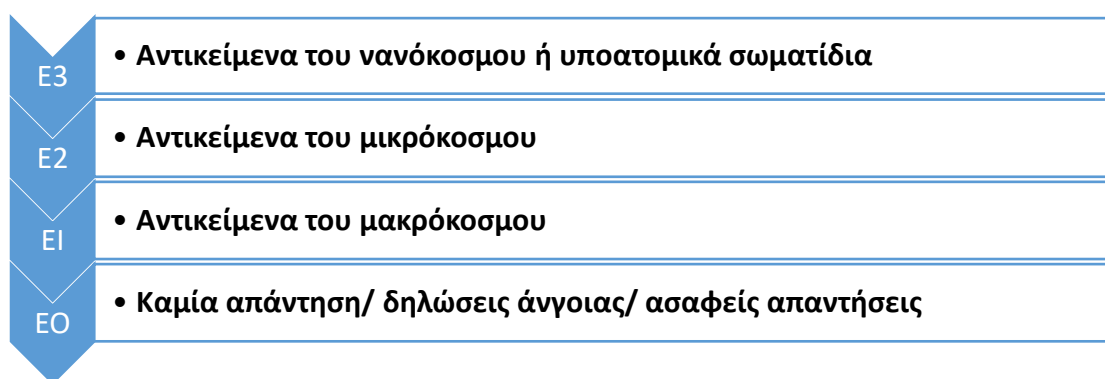
Για τις ιδέες των μαθητών για το μικρότερο αντικείμενο συλλέχθηκαν δεδομένα από το έργο 2 του ερωτηματολογίου. Όσον αφορά τις ιδέες των μαθητών για το ποιο είναι το μικρότερο αντικείμενο που υπάρχει αναδεικνύονται τέσσερα επίπεδα (σχήμα 3.6).

Το E3 περιλαμβάνει απαντήσεις των μαθητών στις οποίες αναφέρονται ως μικρότερα αντικείμενα, αντικείμενα του νανόκοσμου ή υποατομικά σωματίδια. Παραδείγματα απαντήσεων που ανήκουν στο E3 είναι τα εξής: «M8, EAM: ιός», «M14, ETM: DNA», : «M4, EAM: Τα άτομα (ηλεκτρόνια, νετρόνια πρωτόνια)». Βάζουμε στο ίδιο επίπεδο τα αντικείμενα του νανόκοσμου με τα υποατομικά σωματίδια γιατί η ΔΜΑ εστιάζει στην διάκριση του μακρόκοσμου από τον μικρόκοσμο και τον νανόκοσμο. Δεν εστιάζουμε στην διάκριση του νανόκοσμου από τον ατομικό ή υποατομικό κόσμο, κάτι που θα μπορούσε να αποτελεί στόχο μιας νέας ΔΜΑ για μαθητές μεγαλύτερης ηλικίας.

Το E2 περιλαμβάνει απαντήσεις των μαθητών στις οποίες αναφέρονται ως τα μικρότερα αντικείμενα που υπάρχουν, αντικείμενα του μικρόκοσμου. Παραδείγματα απαντήσεων που ανήκουν στο E2 είναι τα εξής: «M3, EAM: Το μικρόβιο», «M16, EAM: ερυθρό αιμοσφαίριο».

Το E1 περιλαμβάνει απαντήσεις των μαθητών στις οποίες αναφέρονται ως τα μικρότερα αντικείμενα, αντικείμενα του μακρόκοσμου. Παραδείγματα απαντήσεων που ανήκουν στο E1 είναι τα εξής: «M17, EAM: Ο κόκκος ρυζιού», «M22: EAM: Το δάκρυ».

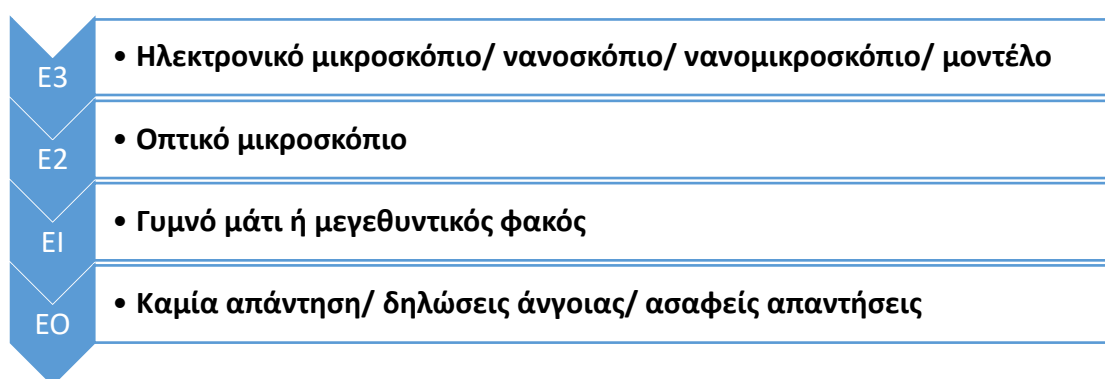
Το E0 περιλαμβάνει ασαφείς απαντήσεις/ κενές απαντήσεις ή δηλώσεις άγνοιας.



Σχήμα 3.6. Επίπεδα για το μικρότερο αντικείμενο.

Κ.Α. Π3: Ποια όργανα παρατήρησης γνωρίζουν οι μαθητές;

Η κατεύθυνση ανάλυσης 3 συλλέξαμε δεδομένα από το έργο 3. Για την κατεύθυνση ανάλυσης 3 αναδεικνύονται τέσσερα επίπεδα (σχήμα 3.7). Το E3 στο οποίο εντάσσονται μονάδες ανάλυσης με όργανο το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο/ νανοσκόπιο/ νανομικροσκόπιο/ μοντέλο. Το E2 στο οποίο εντάσσονται μονάδες με όργανο το οπτικό μικροσκόπιο ή μικροσκόπιο. Το E1 στο οποίο εντάσσονται μονάδες ανάλυσης με όργανο το μάτι ή τον μεγεθυντικό φακό. Και το E0 στο οποίο εντάσσονται κενές απαντήσεις.



Σχήμα 3.7. Επίπεδα για τα όργανα παρατήρησης.

Κ.Α. Π4: Κατά πόσο τα όργανα παρατήρησης τα οποία καταγράφουν οι μαθητές είναι τα σωστά για τα μακροσκοπικά, μικροσκοπικά και νανοσκοπικά αντικείμενα;

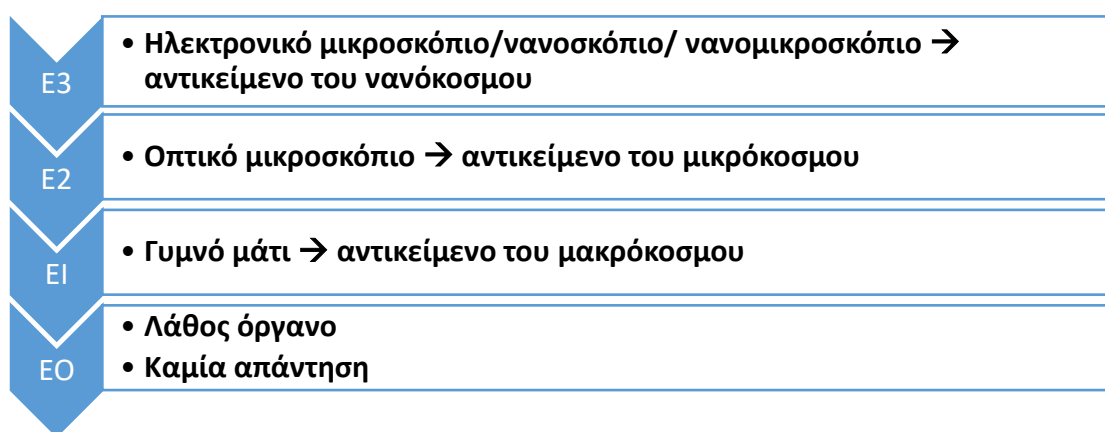
Για την Κ.Α.4 αναδεικνύονται τέσσερα επίπεδα (σχήμα 3.8). Για την ερώτηση αυτή αναλύθηκαν τα δεδομένα από τα ερωτήματα 2 και 3 του ερωτηματολογίου.

Στο E3 εντάσσονται απαντήσεις στις οποίες καταγράφεται το σωστό όργανο παρατήρησης για ένα αντικείμενο του νανόκοσμου, δηλαδή το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο/ νανοσκόπιο/ νανομικροσκόπιο.

Στο E2 ταξινομούνται οι απαντήσεις στις οποίες οι μαθητές αναφέρουν το σωστό όργανο για την παρατήρηση ενός αντικειμένου του μικρόκοσμου, δηλαδή το οπτικό μικροσκόπιο.

Στο E1 κατατάσσονται απαντήσεις στις οποίες οι μαθητές καταγράφουν το σωστό όργανο για την παρατήρηση ενός αντικείμενου του μακρόκοσμου, δηλαδή το γυμνό μάτι.

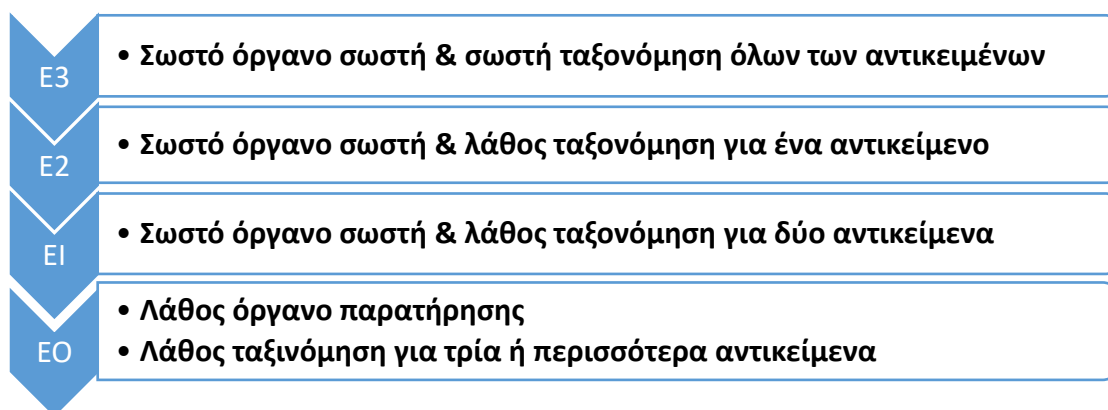
Στο E0 εντάσσονται απαντήσεις στις οποίες οι μαθητές αναφέρουν λάθος όργανο για το αντικείμενο το οποίο έχουν καταγράψει ως το μικρότερο που υπάρχει. Για παράδειγμα ο μαθητής M4 αναφέρει ότι το μικρότερο αντικείμενο είναι τα άτομα και ως όργανο παρατήρησής τους το μικροσκόπιο. Στο E0 εντάσσουμε επιπλέον, απαντήσεις στις οποίες οι μαθητές καταγράφουν μεν ποιο νομίζουν ότι είναι το μικρότερο αντικείμενο που υπάρχει δεν καταγράφουν όμως το όργανο παρατήρησής του. Επίσης στην Κ0 κατατάσσουμε απαντήσεις στις οποίες το αντικείμενο που ανέφεραν στο έργο 2 εντάχθηκε στο E0 της κατεύθυνσης ανάλυσης 2. Τέλος, στο E0 εντάσσονται απαντήσεις στις οποίες αναφέρονται παραπάνω από ένα όργανα παρατήρησης και ένα από αυτά είναι λάθος. Για παράδειγμα ο μαθητής M21 στο EAM καταγράφει ως μικρότερο αντικείμενο τη σκόνη αλλά στο ερώτημα για το όργανο παρατήρησης απαντάει «όχι». Ο μαθητής M8 στο EAM αναφέρει ως μικρότερο αντικείμενο τον ίδιο και ως όργανα παρατήρησης καταγράφει το «μικροσκόπιο» και «νανοσκόπιο».



Σχήμα 3.8. Επίπεδα για το κατά πόσο τα όργανα παρατήρησης τα οποία καταγράφουν οι μαθητές είναι τα σωστά για τα μακροσκοπικά, μικροσκοπικά και νανοσκοπικά αντικείμενα.

Κ.Α. Π5: Ταξινόμηση αντικειμένων με κριτήριο το όργανο παρατήρησης

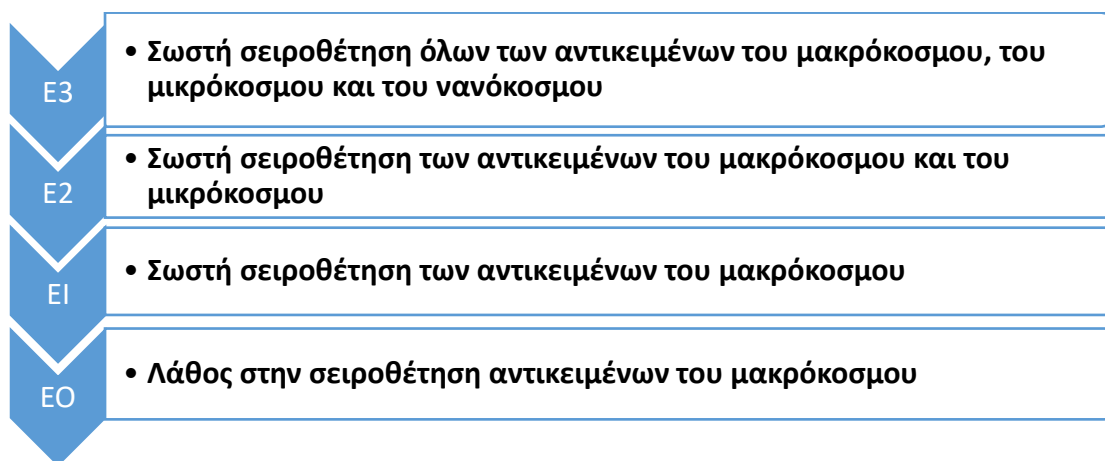
Για την κατεύθυνση ανάλυσης 5 συλλέχθηκαν δεδομένα από το έργο 4. Αναγνωρίζονται τέσσερα επίπεδα (σχήμα 3.9). Τα επίπεδα και τα αποτελέσματα για την Κ.Α. 4 έχουν δημοσιευτεί από τους Σπύρτου, Πέικος, Μάνου (2016). Προϋπόθεση για να ενταχθεί μια απάντηση στα επίπεδα E3, E1 και E1 είναι οι μαθητές να καταγράφουν το σωστό όργανο παρατήρησης για κάθε κουτί (κουτί 1: γυμνό μάτι, κουτί 2: μικροσκόπιο, κουτί 3: ηλεκτρονικό μικροσκόπιο). Επιπλέον, στο E3 εντάσσονται απαντήσεις στις οποίες η ταξινόμηση των αντικειμένων είναι σωστή (κουτί 1: άνθρωπος, μπάλα, κόκκος αλατιού, κουτί 2: ερυθρό αιμοσφαίριο, κύτταρο κρεμμυδιού, πυρήνας κυττάρου, κουτί 3: ιός, DNA). Στο E2 εντάσσονται απαντήσεις στις οποίες οι μαθητές κάνουν λάθος ταξινόμηση για ένα αντικείμενο ή ένα αντικείμενο δεν το τοποθετούν σε κανένα κουτί. Στο E1 εντάσσονται απαντήσεις στις οποίες οι μαθητές ταξινομούν δύο αντικείμενα σε λάθος κουτιά ή δύο αντικείμενα δεν τα τοποθετούν σε κανένα κουτί. Στο E0 εντάσσουμε απαντήσεις στις οποίες οι μαθητές κάνουν έστω και ένα λάθος για το όργανο παρατήρησης ενός κουτιού, ή αναφέρουν παραπάνω από 1 όργανα για ένα κουτί και ένα από αυτά είναι λάθος. Επίσης στο E0 εντάσσουμε απαντήσεις στις οποίες οι μαθητές ταξινομούν τρία ή περισσότερα αντικείμενα σε λάθος κουτιά.



Σχήμα 3.9. Επίπεδα για την ταξινόμηση των αντικειμένων με κριτήριο το όργανο παρατήρησης.

Κ.Α. Π6: Σειροθέτηση αντικειμένων

Για την κατεύθυνση ανάλυσης 5 συλλέχθηκαν δεδομένα από το έργο 5. Αναγνωρίζονται τέσσερα επίπεδα κατανόησης (σχήμα 3.10). Τα επίπεδα και τα αποτελέσματα για την Κ.Α. 4 έχουν ήδη δημοσιευτεί από τους Σπύρτου, Πέικος, Μάνου (2016). Το E3 περιλαμβάνει σωστή σειροθέτηση όλων των αντικειμένων του μακρόκοσμου, του μικρόκοσμου και του νανόκοσμου. Για παράδειγμα ο M1 στο ETM καταγράφει «μπάλα ποδοσφαίρου > κόκκος αλατιού > κύτταρο κρεμμυδιού > πυρήνας κυττάρου > ιός > DNA». Το E2 περιλαμβάνει σωστή σειροθέτηση των αντικειμένων του μακρόκοσμου και του μικρόκοσμου π.χ. ο M9 στο EAM αναφέρει «μπάλα ποδοσφαίρου > κόκκος αλατιού > κύτταρο κρεμμυδιού > πυρήνας κυττάρου > DNA > ιός». Το E1 περιλαμβάνει σωστή σειροθέτηση των αντικειμένων του μακρόκοσμου και ένα τουλάχιστον λάθος στο μικρόκοσμο ή στο νανόκοσμο. Για παράδειγμα ο M16 στο EAM καταγράφει: «μπάλα ποδοσφαίρου > κόκκος αλατιού > κύτταρο κρεμμυδιού > DNA > ιός > πυρήνας κυττάρου». Το E0 περιλαμβάνει λάθος στην σειροθέτηση αντικειμένων του μακρόκοσμου π.χ. ο M22 στο EAM αναφέρει: «μπάλα ποδοσφαίρου > DNA > κόκκος αλατιού > κύτταρο κρεμμυδιού > πυρήνας κυττάρου > ιός».



Σχήμα 3.10. Επίπεδα για την σειροθέτηση αντικειμένων του μακρόκοσμου, του μικρόκοσμου και του νανόκοσμου.

Κ.Α. Π7: Το φαινόμενο του λωτού

Για την κατεύθυνση ανάλυσης 7 συλλέχθηκαν δεδομένα από το έργο 6. Αναδεικνύονται τέσσερα επίπεδα (σχήμα 3.11). Για το φαινόμενο της

υπερυδροφοβικότητας έχουν δημοσιευτεί τα επίπεδα και τα αποτελέσματα από την πιλοτική εφαρμογή της ΔΜΑ από τους Πέικος, Μάνου & Σπύρτου (2015β). Τα παρακάτω επίπεδα έχουν εμπλουτιστεί σε σχέση με την πιλοτική εφαρμογή.

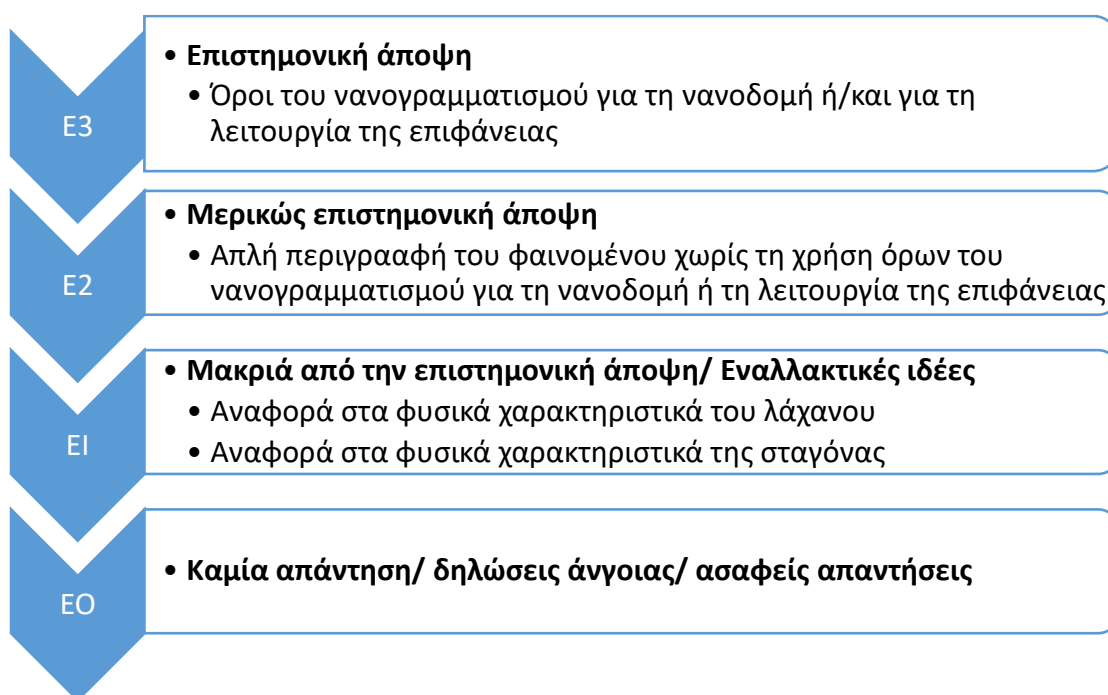
Το Ε3 αποτελεί την «Επιστημονική άποψη». Στο Ε3 εντάσσονται απαντήσεις στις οποίες οι μαθητές περιγράφουν το φαινόμενο χρησιμοποιώντας έννοιες του νανογραμματισμού σχετικές με το συγκεκριμένο φαινόμενο. Δηλαδή έννοιες σχετικές με τη νανοδομή ή/ και την λειτουργία της επιφάνειας του λάχανου, όπως νανοεξογκώματα και υδροφοβικότητα. Για παράδειγμα ο Μ20 στο ΕΤΜ αναφέρει «Τα φύλλα του λάχανου έχουν πάρα πολύ μικρά πραγματάκια στο φύλλο του που τα λένε εξογκώματα ή νανοεξογκώματα. Τα νανοεξογκώματα δεν αφήνουν το νερό να διαλυθεί και να μπει μέσα. Τα φύλλα ή οτιδήποτε άλλο που απορροφούν και διαλύουν τη σταγόνα λέγονται υδροφιλικά ενώ αυτά που δεν απορροφούν και δεν διαλύουν λέγονται υδροφοβικά. Το φύλλο του λάχανου είναι υδροφοβικό». Επίσης, ο Μ10 στο ΕΤΜ καταγράφει «Το λάχανο, το φύλλο της ακακίας και ο λωτός έχουν πάνω τους κάποια εξογκώματα, τα ΝΑΝΟΕΞΟΓΚΩΜΑΤΑ. Έτσι οι σταγόνες δεν μπορούν να τα περάσουν και μένουν στον αέρα».

Το Ε2 αποτελεί την «Μερικώς επιστημονική άποψη». Στο Ε2 εντάσσονται απαντήσεις στις οποίες οι μαθητές περιγράφουν το φαινόμενο χωρίς να αναφέρουν έννοιες του νανογραμματισμού για τη νανοδομή ή/ και την λειτουργία της επιφάνειας του λάχανου, αναφέρονται για παράδειγμα σε μικρά εξογκώματα χωρίς όμως αναφορά στο νάνο ή στην υδροφοβικότητα. Ενδεικτικά, ο Μ19 στο ΕΤΜ αναφέρει «Γιατί το λάχανο έχει πάνω πάνω του κάτι μικρά εξογκώματα τα οποία δεν μπορούμε να τα δούμε με το μάτι και έτσι οι σταγόνες δε κυλούν και γίνονται στρόγγυλες». Επίσης ο Μ4 στο ΕΑΜ καταγράφει «Γιατί τα κύτταρα του λάχανου δεν αφήνουν να περάσει μέσα το νερό. Και γι' αυτό μαζεύονται στην επιφάνεια και τα βλέπουμε».

Το Ε1 αποτελεί την «Μακριά από την επιστημονική άποψη/Εναλλακτικές ιδέες». Στο Ε1 εντάσσονται απαντήσεις στις οποίες στις οποίες περιγράφεται το φαινόμενο με όρους οι οποίοι σχετίζονται με τα φυσικά χαρακτηριστικά του λάχανου όπως για παράδειγμα ότι το λάχανο έχει λεπτό φύλλο, είναι μαλακό και είναι στρογγυλό ή με τα φυσικά χαρακτηριστικά της σταγόνας. Για παράδειγμα ο Μ7 στο ΕΑΜ αναφέρει «Γιατί μπορεί να έχει το λάχανο ένα συστατικό μέσα που να κρατάει κάποια υγρά μέσα και κάποια έξω. Γιατί είναι και λίγο κολλώδη η επιφάνεια του

λάχανου». Ο Μ18 στο ΕΑΜ αναφέρει «Γιατί έτσι είναι οι σταγόνες. Δεν μπορούμε να τους δώσουμε εμείς σχήμα».

Στο Ε0 εντάσσουμε απαντήσεις στις οποίες οι μαθητές προβαίνουν σε ταυτολογία με την ερώτηση, δίνουν ατελείς απαντήσεις ή δεν έχουν νόημα για το συγκεκριμένο ερώτημα. Για παράδειγμα ο Μ13 στο ΕΑΜ αναφέρει: «Γιατί όταν το έπλυναν όλες οι βρωμιές μαζεύτηκαν και έγιναν πολλές μπιλίτσες. Νομίζω ότι έχουν μαζευτεί πολλά νάνο μέσα σε αυτές. Για αυτό δεν απορρόφησε το λάχανο το νερό».



Σχήμα 3.11. Επίπεδα για το φαινόμενο της υδροφοβικότητας

Κ.Α. Π8. Χρήση του Νανόφιλτρου

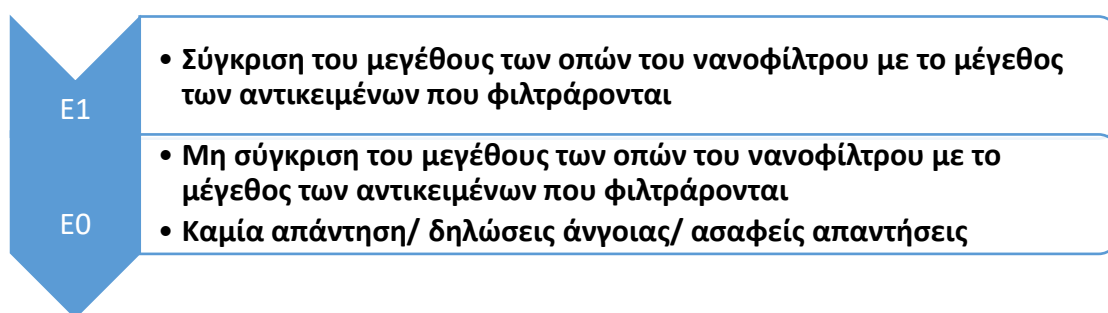
Για την Κ.Α. 8 συλλέχθηκαν δεδομένα από το έργο 8. Αυτή η κατεύθυνση ανάλυσης αφορά το αν οι μαθητές θα έπιναν από το νερό της λίμνης χρησιμοποιώντας το νανόφιλτρο.

Για την Κ.Α. 8 αναδεικνύονται τρία επίπεδα (E2, E1, E0). Στο E2 εντάσσονται οι θετικές απαντήσεις των μαθητών, στο E1 οι αρνητικές απαντήσεις και στο E0 οι ασαφείς απαντήσεις ή οι απαντήσεις που δηλώνουν άγνοια.

Κ.Α. Π9: Περιγραφή του μηχανισμού φιλτραρίσματος υπό το πρίσμα της σειροθέτησης
Για την Κ.Α. 9 συλλέχθηκαν δεδομένα από το έργο 8 του ερωτηματολογίου. Οι μαθητές καλούνται να περιγράψουν τον μηχανισμό φιλτραρίσματος υπό το πρίσμα της σειροθέτησης. Για την κατεύθυνση ανάλυσης 9 αναδεικνύονται δύο επίπεδα (σχήμα 3.12).

Στο Ε1 εντάσσουμε απαντήσεις στις οποίες οι μαθητές περιγράφουν τον μηχανισμό φιλτραρίσματος, συγκρίνοντας το μέγεθος των οπών του νανοφίλτρου με το μέγεθος των αντικειμένων που φιλτράρονται (σειροθέτηση). Για παράδειγμα ο Μ20 στο ΕΤΜ αναφέρει «Το νανόφιλτρο λειτουργεί για το καθάρισμα του νερού που και να μην είναι πόσιμο και πολύ βρώμικο μπορείς να το πιείς. Το νανόφιλτρο έχει πολύ μικρές τρυπούλες σε μέγεθος νάνο που δεν μπορούμε να τα δούμε. Έτσι καθαρίζει ουσίες κακές μέχρι και το μέγεθος νάνο που έχουν οι τρυπούλες του». Επίσης, ο Μ6 στο ΕΤΜ καταγράφει: «το νανόφιλτρο έχει τρύπες σε μέγεθος νάνο. Ο ιός δε μπορεί να το διαπεράσει».

Στο Ε0 εντάσσουμε α) απαντήσεις στις οποίες δεν συγκρίνεται το μέγεθος των οπών του νανόφίλτρου με το μέγεθος των αντικειμένων που φιλτράρονται β) ασαφείς απαντήσεις γ) κενές απαντήσεις. Για παράδειγμα ο Μ11 στο ΕΤΜ αναφέρει «Όπως κάναμε και το πείραμα θα εξηγήσω στον φίλο μου ότι άμα βάλεις νανόφιλτρο το νερό γίνεται πόσιμο».



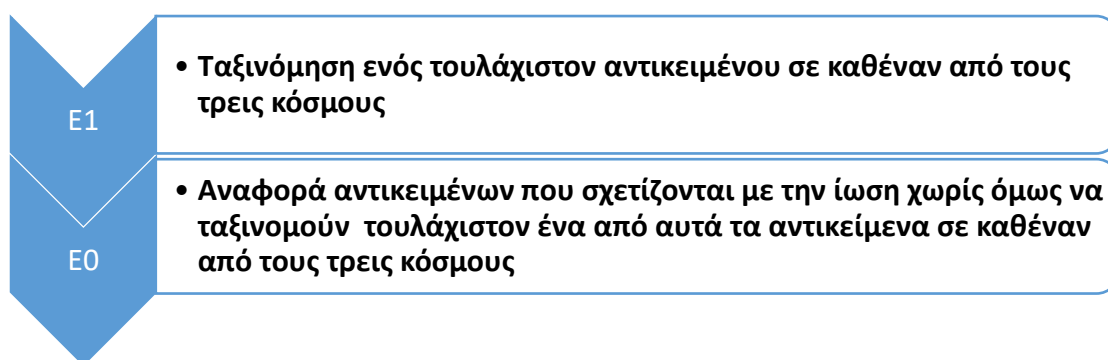
Σχήμα 3.12. Επίπεδα για την περιγραφή του μηχανισμού φιλτραρίσματος υπό το πρίσμα της σειροθέτησης

Κ.Α. Π10: Περιγραφή του φαινομένου της ίωσης υπό το πρίσμα της ταξινόμησης

Για την κατεύθυνση ανάλυσης 8 συλλέχθηκαν δεδομένα από το έργο 8. Από την ανάλυση των δεδομένων αναδεικνύονται 2 επίπεδα (σχήμα 3.13).

Το E1 αποτελεί την «Επιστημονική άποψη». Στο E1 εντάσσουμε απαντήσεις στις οποίες οι μαθητές περιγράφουν το φαινόμενο ταξινομώντας τα αντικείμενα που σχετίζονται με την ίωση στους τρεις κόσμους. Πιο συγκεκριμένα στο E1 περιλαμβάνονται απαντήσεις στις οποίες οι μαθητές ταξινομούν τουλάχιστον ένα αντικείμενο στον μακρόκοσμο, ένα στον μικρόκοσμο και ένα στον νανόκοσμο. Για παράδειγμα ο M4 αναφέρει «Όταν ένα άτομο είναι άρρωστο και φτερνιστεί ή βήξει πάνω σε ένα άλλο άτομο, τότε ο ιός εισχωρεί μέσα στον οργανισμό του άλλου ατόμου. Ο ιός κατευθύνεται προς τα κύτταρα και έτσι αρρωσταίνει ο οργανισμός. Ο Νανόκοσμος είναι ο ιός και το DNA, ο μικρόκοσμος είναι τα κύτταρα και έτσι ο ιός εισχωρώντας στα κύτταρα αρρωσταίνει τον άνθρωπο που ανήκει στον μακρόκοσμο».

Το E0 αποτελεί την «μακριά από την επιστημονική άποψη». Στο E0 εντάσσουμε απαντήσεις στις οποίες οι μαθητές αναφέρουν αντικείμενα που σχετίζονται με την ίωση χωρίς όμως να ταξινομούν αντικείμενα και στους τρεις κόσμους. Για παράδειγμα ο M3 στο ETM αναφέρει: «Ένας άλλος άνθρωπος φτερνίστηκε και αυτή το εισέπνευσε επομένως ο ιός μόλυνε κάποιο κύτταρο και έκανε διάφορα αντίγραφα και μόλυνε και τα άλλα κύτταρά της. Έτσι αρρώστησε. Ο νανόκοσμος είναι το φτέρνισμα, ο μικρόκοσμος ήταν τα κύτταρα που αρρωσταίνουν». Επίσης Στο E0 εντάσσονται απαντήσεις στις οποίες οι μαθητές προβαίνουν σε ταυτολογία με την ερώτηση, δίνουν ατελείς απαντήσεις ή δεν έχουν νόημα για το συγκεκριμένο ερώτημα. Για παράδειγμα ο M15 αναφέρει «Με το βήξιμο ή το φτάρνισμα η ιοί που ανήκουν στον νανόκοσμο εισχωρούν στο σώμα της μαθήτριας και κολλάνε στα κύτταρα. Οι ιοί μολύνουν το DNA και έτσι αρρωσταίνει ο άνθρωπος».



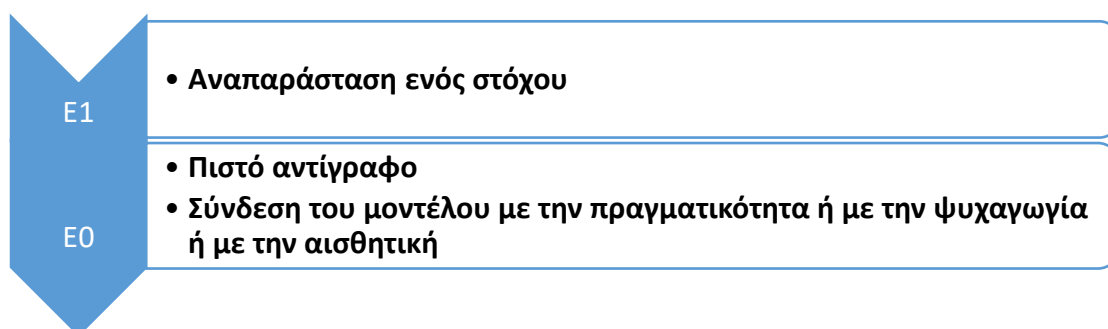
Σχήμα 3.13. Επίπεδα για την περιγραφή του φαινομένου της ίωσης υπό το πρίσμα της ταξινόμησης

Όσον αφορά το έργο 9 «Γράψε μία πρόταση, την πιο αντιπροσωπευτική για σένα, που να περιέχει τη λέξη μοντέλο» για την ανάδειξη των επιπέδων βασιστήκαμε στα επίπεδα που προτείνονται από τον Ζουπίδη (2012). Βασικό κριτήριο για την ταξινόμηση των απαντήσεων στα επίπεδα αποτελεί το αν οι μαθητές θεωρούν το μοντέλο αναπαράσταση ενός στόχου ή όχι (E1 και E0). Στον Ζουπίδη (2012: 269) στην E1 εντάσσονται «απαντήσεις που δηλώνουν ότι ένα μοντέλο είναι μια αναπαράσταση ενός στόχου, είτε θεωρείται πιστό αντίγραφο είτε όχι, ακόμη και όταν αυτό δηλώνεται έμμεσα», ενώ στην E0 κατατάσσονται «απαντήσεις που συνδέουν ένα μοντέλο με την πραγματικότητα και δεν το θεωρούν αναπαράσταση ενός στόχου, π.χ. τα μοντέλα δεν πρέπει να τρώνε πολύ για να μην παχαίνουν». Βασιστήκαμε σε αυτή την ανάλυση των απαντήσεων καθώς δώσαμε στους μαθητές ακριβώς το ίδιο έργο με την παραπάνω έρευνα και το δείγμα μας περιλαμβάνει υποκείμενα της ίδια ηλικιακής ομάδας.

Στην περίπτωση της δικής μας έρευνας επιλέγουμε να προχωρήσουμε σε μια διάκριση μεταξύ των απαντήσεων οι οποίες υποδηλώνουν ότι το μοντέλο αποτελεί αναπαράσταση σε σχέση με τις απαντήσεις που αναφέρονται στο μοντέλο ως πιστό αντίγραφο ενός στόχου. Στη βιβλιογραφία καταγράφεται πως οι μαθητές που θεωρούν το μοντέλο ως πιστό αντίγραφο ενός στόχου, αντιμετωπίζουν δυσκολίες στην αναγνώριση της σχέσης μεταξύ του μοντέλου με το πραγματικό αντικείμενο. Για παράδειγμα μαθητές που θεωρούν το μοντέλο αντίγραφο του στόχου αναφέρουν ότι τα μόρια έχουν μπλε χρώμα γιατί έτσι αναπαριστώνται στα σχολικά εγχειρίδια (Turkoglu & Oztekin, 2016).

Θεωρούμε πως αυτή η διάκριση της αναπαράστασης από το αντίγραφο έχει ιδιαίτερη σημασία στην περίπτωση των μοντέλων της N-ET γιατί αφορά αντικείμενα τα οποία είναι μακριά από την αισθητηριακή αντίληψη και ο μόνος τρόπος προσέγγισής τους στο σχολείο είναι τα μοντέλα. Με βάση τον παραπάνω προβληματισμό υποθέτουμε για παράδειγμα, ότι οι μαθητές αν παρατηρήσουν ένα μοντέλο ιού και ένα μοντέλο κυττάρου τα οποία να αναπαριστώνται στο ίδιο μέγεθος, θα θεωρήσουν ότι και ο ιός και το κύτταρο έχουν παρόμοιο μέγεθος. Συνεπώς, οι απαντήσεις των μαθητών στις οποίες το μοντέλο θεωρούνταν πιστό αντίγραφο ενός στόχου ομαδοποιήθηκαν στο E0.

Με βάση τα παραπάνω, στην δική μας ανάλυση (σχήμα 3.14) στο επίπεδο E1, εντάσσουμε απαντήσεις στις οποίες δηλώνεται ότι ένα μοντέλο είναι μια αναπαράσταση ενός στόχου, είτε αυτό δηλώνεται άμεσα είτε έμμεσα. Για παράδειγμα ο M3 στο ETM αναφέρει: «Χρησιμοποιώ τα μοντέλα για να αναπαραστήσω κάτι», επίσης ο M8 «Το μοντέλο είναι η αναπαράσταση ενός αντικειμένου και φαινομένου». Στο E0, εντάσσουμε απαντήσεις στις οποίες δεν αναγνωρίζεται το μοντέλο ως αναπαράσταση. Πιο συγκεκριμένα στο E0 εντάσσονται α) απαντήσεις στις οποίες οι μαθητές φαίνεται πως θεωρούν το μοντέλο ως αντίγραφο του στόχου π.χ. «Το μοντέλο είναι ένα μεγάλο πράγμα που το αντιγράφουμε σε πιο μικρό (M12, ETM)» β) απαντήσεις που συνδέουν το μοντέλο με την πραγματικότητα ή με την ψυχαγωγία ή με την αισθητική π.χ. «Υπάρχουν πολλά είδη μοντέλων: Μοντέλα αυτοκινήτων, αεροπλάνων, μοντέλα που ασχολούνται με μόδα κ.α. (M6, EAM)». Επίσης στο E0 εντάσσουμε απαντήσεις οι οποίες δεν περιλαμβάνουν περιεχόμενο (κενό) ή δηλώνουν άγνοια ή είναι ασαφείς ή περιλαμβάνουν ταυτολογίες σε σχέση με την ερώτηση π.χ. «Σε όλες τις χώρες υπάρχουν μοντέλα (M18, EAM)».



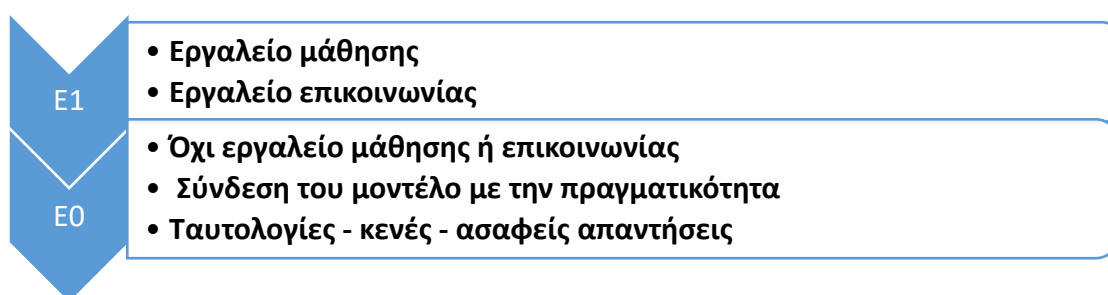
Σχήμα 3.14. Επίπεδα για την φύση του μοντέλου

Κ.Α. M2: Χρησιμότητα του μοντέλου ενός ματιού

Όσον αφορά την χρησιμότητα του μοντέλου του ματιού συλλέξαμε δεδομένα από το πρώτο μέρος του έργου 10 «Παρακάτω βλέπεις μια κατασκευή που παριστάνει ένα μάτι. Σε τι νομίζεις ότι μας χρησιμεύει αυτή η κατασκευή;»

Για την ομαδοποίηση των απαντήσεων βασιστήκαμε σε σχετική έρευνα του Ζουπίδη (2012). Σύμφωνα με αυτή έχουμε δύο επίπεδα, το E1 και το E0 (σχήμα 3.15). Στο E1 εντάσσουμε απαντήσεις στις οποίες το μοντέλο του ματιού θεωρείται εργαλείο

για τη μάθηση και την κατανόηση των συστατικών του ή/και της λειτουργίας του ή/και στις οποίες αναφέρεται η χρήση του ως μέσο μεταφοράς πληροφοριών π.χ. «Για να πάρουμε πληροφορίες, πως είναι το μάτι, γιατί εμείς δε μπορούμε να το δούμε από μέσα (M8, ETM)». Στο E0 εντάσσουμε απαντήσεις που δεν θεωρούν την κατασκευή του ματιού που φαίνεται στην ως εργαλείο μάθησης και κατανόησης π.χ. «Στη κατασκευή ματιών, σε παιχνίδια (M10, EAM)». Επίσης στο E0, εντάσσουμε απαντήσεις που ταυτίζουν το μοντέλο με την πραγματικότητα ή δεν περιλαμβάνουν περιεχόμενο (κενό) ή δηλώνουν άγνοια ή είναι ασαφείς ή είναι ταυτολογίες.

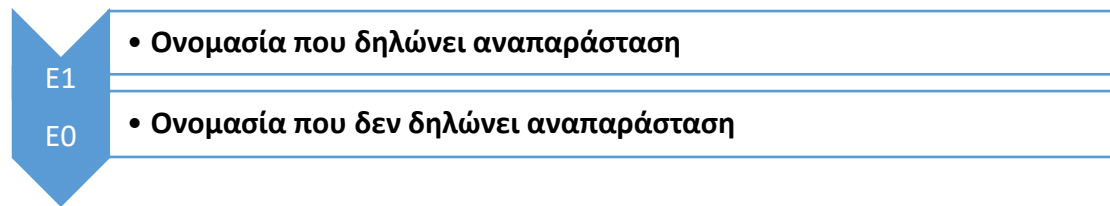


Σχήμα 3.15. Επίπεδα για τη χρησιμότητα του μοντέλου του ματιού.

Κ.Α. Μ3: Ονομασία του μοντέλου ενός ματιού

Όσον αφορά την ονομασία του μοντέλου του ματιού συλλέξαμε δεδομένα από το δεύτερο μέρος του έργου 10 «Πώς θα ονόμαζες την παραπάνω κατασκευή;».

Για την ομαδοποίηση των απαντήσεων ακολουθούμε επίσης την ανάλυση που προτείνει ο Ζουπίδης (2012). Στον Ζουπίδη καταγράφονται δύο επίπεδα, το E1 και το E0 (σχήμα 3.16). Στο E1 εντάσσουμε απαντήσεις στις οποίες το όνομα που αποδίδεται στο μοντέλο του ματιού δείχνει ότι ο μαθητής αντιλαμβάνεται την κατασκευή ως αναπαράσταση ενός ματιού και τη διαφοροποιεί από την πραγματικότητα π.χ. «Μοντέλο ματιού. Αναπαράσταση ματιού (M20, ETM)». Στο E0 εντάσσουμε απαντήσεις στις οποίες γίνεται χρήση μιας ονομασίας που δε δηλώνει αναπαράσταση, αλλά αναφέρεται στην πραγματικότητα «Κατασκευή ματιού (M18, ETM)». Επίσης στο E0, εντάσσουμε απαντήσεις που δεν περιλαμβάνουν περιεχόμενο (κενό) ή δηλώνουν άγνοια ή είναι ασαφείς ή είναι ταυτολογίες.



Σχήμα 3.16. Επίπεδα για την ονομασία του μοντέλου του ματιού.

Κ.Α. Μ4: Χρησιμότητα ενός μοντέλου για το φαινόμενο της ίωσης

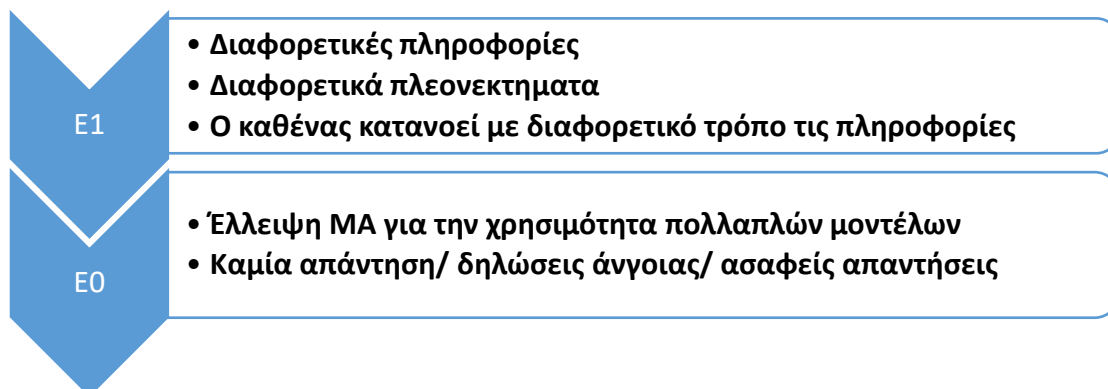
Όσον αφορά το έργο (11 δόθηκε μόνο στο ETM) («Παρακάτω βλέπεις ένα μοντέλο που χρησιμοποιήσαμε στην τάξη για την ίωση. Σε τι μας βοήθησε αυτό το μοντέλο;») για την ανάλυση των απαντήσεων βασιστήκαμε στα ίδια επίπεδα κατανόησης με την Κ.Α. Μ2. Θεωρούμε ότι τα επίπεδα είναι κοινά καθώς και τις δύο περιπτώσεις οι μαθητές καλούνται να αναγνωρίσουν την χρησιμότητα ενός μοντέλου.

Κ.Α. Μ5: Χρησιμότητα πολλαπλών μοντέλων για το φαινόμενο της ίωσης

Όσον αφορά το έργο 12 («Παρακάτω φαίνονται και άλλα μοντέλα για το φαινόμενο της ίωσης. Χρειάζεται να υπάρχουν διαφορετικά μοντέλα για το ίδιο φαινόμενο; Αιτιολόγησε...»). Το ερώτημα αυτό αφορά την φύση των μοντέλων και μάλιστα χρησιμότητα των πολλαπλών μοντέλων (Schwartz et al., 2009). Για το ερώτημα αυτό αναδεικνύονται δύο επίπεδα (σχήμα 3.17). Στο E1 εντάσσονται απαντήσεις στις οποίες ανιχνεύονται μονάδες ανάλυσης που έχουν νόημα για την εξής φράση: «τα διαφορετικά μοντέλα είναι χρήσιμα γιατί μας δίνουν διαφορετικές πληροφορίες» ή «διαφορετικά μοντέλα έχουν διαφορετικά πλεονεκτήματα», για παράδειγμα ο καθένας κατανοεί με διαφορετικό τρόπο τις πληροφορίες και η ύπαρξη διαφορετικών μοντέλων μπορεί να βοηθήσει σε αυτό (Oh et al., 2011). Παραδείγματα απαντήσεων στο E1 είναι τα εξής: «Ναι γιατί κάθε μοντέλο μπορεί να μας δώσει διαφορετικές πληροφορίες και επειδή κάποιος να μην καταλάβει το ένα αλλά να καταλάβει το άλλο» (M6, ETM), «Όσο πιο πολλά μοντέλα έχουμε τόσες πιο πολλές πληροφορίες και υπεράσματα μπορούμε να βγάλουμε» (M2, ETM), «Ναι γιατί το κάθε μοντέλο μπορεί να θέλει να τονίσει κάτι διαφορετικό» (M19, ETM).

Στο E0 εντάσσονται απαντήσεις στις οποίες δεν ανιχνεύονται μονάδες ανάλυσης που να έχουν νόημα για τις παραπάνω φράσεις ή αποτελούν ταυτολογίες

προς την ερώτηση ή είναι ασαφής ή δεν περιλαμβάνουν περιεχόμενο. Για παράδειγμα «Ναι. Γιατί όσο πιο πολλά τόσο το καλύτερο και περισσότερο από το κάθε ένα» (M20, ETM), «Όχι γιατί είναι πολλά μοντέλα για το φαινόμενο» (M15, ETM).



Σχήμα 3.17. Επίπεδα για την χρησιμότητα των πολλαπλών μοντέλων.

3.6. Εγκυρότητα- αξιοπιστία της έρευνας

Η εγκυρότητα και η αξιοπιστία αποτελούν δύο έννοιες οι οποίες είναι άρρηκτα συνδεδεμένες με την μεθοδολογία της ποιοτικής και ποσοτικής έρευνας (Ιωσηφίδης, 2008· Cohen, Manion & Morrison, 2007).

Η εγκυρότητα στην ποιοτική έρευνα, αναφέρεται στο κατά πόσο οι ερευνητικοί στόχοι σχετίζονται με τα αποτελέσματα της έρευνας. Με άλλα λόγια είναι απαραίτητο σε μια ποιοτική έρευνα να αξιολογούμε σε ποιο βαθμό τα δεδομένα τα οποία συλλέξαμε, η ανάλυσή τους και η ερμηνεία τους ανταποκρίνονται με επάρκεια στα ερευνητικά ερωτήματα (Ιωσηφίδης, 2008).

Για την εξασφάλιση της εγκυρότητας των δεδομένων επιλέξαμε την περιεκτική επεξεργασία των δεδομένων (comprehensive data treatment) (Ιωσηφίδης, 2008). Αυτό σημαίνει ότι τόσο στην περίπτωση των δεδομένων που προέρχονταν από τα γραπτά ερωτηματολόγια όσο και από την ημιδομημένη συνέντευξη, αναλύσαμε το σύνολο των δεδομένων και όχι μόνο αυτά τα οποία θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε επιθυμητά συμπεράσματα και ερμηνείες (Ιωσηφίδης, 2008).

Επιπλέον, όσον αφορά την εγκυρότητα επιλέξαμε τον έλεγχο των δεδομένων από άλλους ερευνητές (peer examination) (Ιωσηφίδης, 2008). Για την εξυπηρέτηση του σκοπού αυτού ακολουθήσαμε την παρακάτω διαδικασία.

Αρχικά ένας ερευνητής ταξινομήσε τις απαντήσεις των μαθητών στα επίπεδα κατανόησης όπως περιγράφεται στην ενότητα 3.4 και 3.5. Έπειτα έγινε η διασταύρωση των απαντήσεων από έναν ανεξάρτητο ερευνητή. Ο ανεξάρτητος ερευνητής κλήθηκε να ταξινομήσει τις απαντήσεις των μαθητών στα επίπεδα, σε ένα κατάλληλα δομημένο φύλλο Excel, με βάση τον ορισμό που δίνεται για την κάθε επίπεδο στην ενότητα 3.5. Με άλλα λόγια, με βάση το σχήμα 3.3, του ανατέθηκε να μελετήσει το 3^ο στάδιο της ανάλυσης των δεδομένων και να πραγματοποιήσει το 4^ο στάδιο. Τονίζεται ότι ο ανεξάρτητος ερευνητής δεν ήταν ενήμερος για τον τρόπο με τον οποίο ταξινομήσε ο πρώτος ερευνητής τις απαντήσεις.

Στη συνέχεια, διασταυρώθηκε με στατιστική ανάλυση στο SPSS, και συγκεκριμένα με τον δείκτη Cohen's Kappa, κατά πόσο υπάρχει συμφωνία για την ταξινόμηση των απαντήσεων στα επίπεδα κατανόησης, μεταξύ των δύο ερευνητών (Tang, Hu, Zhang, Wu & He, 2015· Cleophas & Zwinderman, 2010). Η τιμή (Value) του Kappa κυμαίνεται από μηδέν μέχρι ένα. Το ένα σημαίνει ότι υπάρχει πλήρης συμφωνία ενώ το μηδέν ότι δεν υπάρχει συμφωνία (Cleophas & Zwinderman, 2010). Από τον πίνακα 3.5 φαίνεται ότι στο σύνολο των απαντήσεων υπάρχει υψηλός βαθμός συμφωνίας για όλες τις περιπτώσεις καθώς ο δείκτης Kappa είναι μεγαλύτερος από 0,800.

Επόμενο βήμα ήταν να συζητήσουμε και να αναλύσουμε ξεχωριστά κάθε μια από τις περιπτώσεις στις οποίες υπήρχε διαφωνία. Κατά τη διάρκεια της συζήτησης συμπληρώσαμε ειδικότερες περιγραφές στα επίπεδα κατανόησης ώστε να οδηγηθούμε σε συμφωνία της τάξης του 100%.

Στη συνέχεια, τρίτη ανεξάρτητη ερευνήτρια της Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών, με εμπειρία στην έρευνα και την ανάλυση δεδομένων, ανέλυσε το 1/3 των δεδομένων, το οποίο επιλέχθηκε τυχαία. Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε με βάση τα τελικά επίπεδα τα οποία προέκυψαν μετά τη συμπλήρωση των λεπτομερειών στο προηγούμενο βήμα. Μεταξύ της ανάλυσης της ερευνήτριας της ΔΦΕ και των ερευνητών της συγκεκριμένης εργασίας αναδείχθηκε πλήρης συμφωνία (Kappa= 1,000, sig. 0,000).

Η αξιοπιστία (reliability) της έρευνας αφορά την συνέπεια της ερευνητικής διαδικασίας, την ευρύτερη αξία της έρευνας καθώς και το κατά πόσο άλλοι ερευνητές μπορούν να χρησιμοποιήσουν την μέθοδο ανάλυσης των δεδομένων της έρευνάς μας

ώστε να την αναπαραγάγουν σε παρόμοιο δείγμα μαθητών (Ιωσηφίδης, 2008). Θωρούμε ότι εν λόγω έρευνα ότι ανταποκρίνεται στις αρχές της αξιοπιστίας καθώς τα ερευνητικά ερωτήματα είναι διατυπωμένα με ακρίβεια και σαφήνεια, η ανάλυση των δεδομένων παρουσιάζεται εκτενώς, η ανάλυση των δεδομένων διασταυρώθηκε από ανεξάρτητους ερευνητές και τα αποτελέσματα της έρευνας συζητήθηκαν με βάση τη σχετική βιβλιογραφία (Ιωσηφίδης, 2008).

Πίνακας 3.5: Διασταύρωση της ταξινόμησης των απαντήσεων μεταξύ δύο ερευνητών

Κ.Α.	Αρχική μέτρηση		Τελική μέτρηση	
	Value (Kappa)	Sig.	Value (Kappa)	Sig.
Π1	1,000	0,000	0,831	0,000
Π2	0,871	0,000	0,817	0,000
Π3	1,000	0,000	1,000	0,000
Π4	0,808	0,000	0,812	0,000
Π5	δεν υπάρχει διακύμανση (όλα 0)		0,810	0,000
Π6	1,000	0,000	1,000	0,000
Π7	0,867	0,000	0,891	0,000
Π8	1,000	0,000	1,000	0,000
Π9	δεν υπάρχει διακύμανση (όλα 0)		0,891	0,000
Π10	δεν υπάρχει διακύμανση (όλα 0)		0,908	0,000
M1	δεν υπάρχει διακύμανση (όλα 0)		0,831	0,000
M2	1,000	0,000	0,831	0,000
M3	1,000	0,000	1,000	0,000
M4	δεν υπάρχει διακύμανση (όλα 0)		1,000	0,000
M5	δεν υπάρχει διακύμανση (όλα 0)		0,861	0,000

3.7. Μέθοδος για την ανάδειξη των βελτιωτικών αλλαγών από την Πιλοτική Εφαρμογή της ΔΜΑ στην Κανονική Εφαρμογή.

3.7.1. Το περιεχόμενο της N-ET στη ΔΜΑ της πιλοτικής εφαρμογής

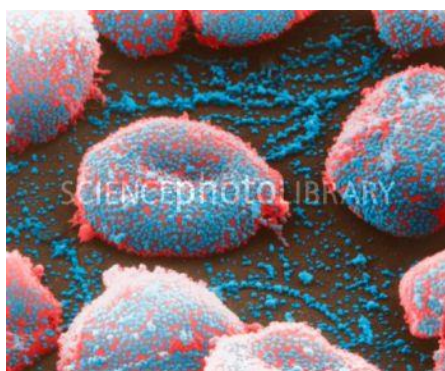
Το περιεχόμενο της πιλοτικής εφαρμογής της ΔΜΑ έχει δημοσιευτεί από τους Πέικος, Μάνου και Σπύρτου (2015β). Αποτελείται από 5 Μεγάλες Ιδέες οι οποίες εισάγονται σε έξι δίωρα διδασκαλίας οι οποίες είναι οι εξής: α) «Μέγεθος και κλίμακα» β) «Εργαλεία και όργανα» γ) «Μοντέλα» δ) «Ιδιότητες εξαρτώμενες απ' το μέγεθος» ε) «Εφαρμογές». Το διδακτικό-μαθησιακό περιβάλλον της ΔΜΣ είναι διερευνητικού χαρακτήρα και συνδυάζει χειραπτικές δραστηριότητες με ΤΠΕ.

Στο 1ο δίωρο οι μαθητές παρατηρούν τον μακρόκοσμο και μοντελοποιούν αντικείμενά του π.χ. ένα μυρμήγκι, μια πέτρα, όπως και στο πρώτο δίωρο της κανονικής εφαρμογής. Στη συνέχεια, συμμετέχουν σε ένα παιχνίδι ρόλων με σκοπό την εισαγωγή τους στη φύση και τον ρόλο των μοντέλων. Ο εκπαιδευτικός μοιράζει στη κάθε ομάδα μια κάρτα με τίτλο «Συνέντευξη από έναν επιστήμονα» με τις εξής ερωτήσεις: α) Ποια χαρακτηριστικά του πραγματικού αντικείμενου επέλεξες να φαίνονται στην κατασκευή σου; β) Υπάρχει κάτι στο πραγματικό αντικείμενο που δε φαίνεται στην κατασκευή σου; γ) Νομίζεις ότι το πραγματικό αντικείμενο απεικονίζεται καλύτερα με τη ζωγραφιά ή με την πλαστελίνη; δ) Πού νομίζεις είναι χρήσιμη η κατασκευή σου; Ένας μαθητής της κάθε ομάδας αναλαμβάνει τη θέση του δημοσιογράφου, ένας του επιστήμονα και ένας του ηχολήπτη. Όλοι μαθητές της ομάδας πρέπει να περάσουν από όλες τις θέσεις του παιχνιδιού. Στη συνέχεια, γίνεται συζήτηση στην ολομέλεια την τάξη με βάση αυτές τις ερωτήσεις. Τέλος, οι μαθητές αναρτούν τα μοντέλα τους σε μια αφίσα ταξινόμησης όπως και στην κανονική εφαρμογή της ΔΜΑ (εικόνα 2.4).

Στο 2ο δίωρο οι μαθητές διαπιστώνουν ότι χρειάζονται οπτικά μικροσκόπια για να παρατηρήσουν αντικείμενα του μικρόκοσμου, π.χ. κύτταρο κρεμμυδιού, ερυθρά αιμοσφαίρια και παράλληλα τα μοντελοποιούν. Στο δεύτερο δίωρο εφαρμόζεται η ομαδοσυνεργατική μέθοδος Jigsaw. Συγκεκριμένα, οι μαθητές απαρτίζουν τρεις ομάδες ειδίκευσης, οι οποίες είναι οι εξής: α) «Επιστήμονες- Γιατροί» οι οποίοι μελετούν τα κύτταρα του αίματος β) «Επιστήμονες- Βιολόγοι» οι οποίοι μελετούν τα κύτταρα του κρεμμυδιού και γ) «Επιστήμονες- Περιβαλλοντολόγοι» οι οποίοι

μελετούν τα κύτταρα των φύλλων και συγκεκριμένα τα στόματα των φύλλων. Κάθε ομάδα με την υποστήριξη φύλλων εργασίας μελετά κύτταρα και στη συνέχεια εξηγούν στις ομάδες σύνθεσης τα αποτελέσματα της έρευνάς τους. Επίσης, οι μαθητές κατασκευάζουν μοντέλα αντικειμένων του μικρόκοσμου, τα αναρτούν στην αφίσα ταξινόμησης και γίνεται συζήτηση για την φύση και τον ρόλο των μοντέλων.

Στο 3ο δώρο οι μαθητές διαπιστώνουν ότι δεν μπορούν να παρατηρήσουν ένα αντικείμενο του νανόκοσμου με οπτικό μικροσκόπιο π.χ. έναν ιό, αλλά χρειάζονται ένα νέο όργανο που να προσφέρει μεγαλύτερη μεγέθυνση. Για να καταλήξουν οι μαθητές στο συμπέρασμα ότι δεν είναι δυνατόν να παρατηρήσουν έναν ιό με το μικροσκόπιό τους προσπαθούν να συγκρίνουν μια εικόνα (εικόνα 3.3) στην οποία παρουσιάζονται ιοί πάνω σε ερυθρά αιμοσφαίρια με την δική τους παρατήρηση του αίματος στο οπτικό μικροσκόπιο. Έτσι εισάγεται στους μαθητές το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο ως απαραίτητο όργανο για την παρατήρηση των ιών. Επιπλέον, η μοντελοποίηση αναδεικνύεται ως ο μόνος τρόπος για να μελετήσουν αντικείμενα και φαινόμενα του νανόκοσμου, καθώς δεν έχουν τη δυνατότητα να χρησιμοποιήσουν ηλεκτρονικό μικροσκόπιο. Υπογραμμίζουμε ότι βασικός στόχος των τριών πρώτων δώρων είναι να διακρίνουν οι μαθητές τους τρεις κόσμους, με βάση τα αντίστοιχα όργανα παρατήρησής τους. Στη συνέχεια οι μαθητές συλλέγουν πληροφορίες για τους ιούς και το DNA από βίντεο με σκοπό να κατασκευάσουν αντίστοιχα μοντέλα. Τέλος, αναρτούν τα μοντέλα που κατασκεύασαν στην αφίσα ταξινόμησης και γίνεται συζήτηση για τη φύση και τον ρόλο των μοντέλων.



Εικόνα 3.3. ιοί πάνω σε ερυθρά αιμοσφαίρια¹⁹

¹⁹ <http://www.sciencephoto.com/media/94754/view>

Στο 4^ο δίωρο οι μαθητές εμπλέκονται σε πειραματικές δραστηριότητες για να διερευνήσουν την σχέση μεγέθους- ιδιότητας. Για παράδειγμα μέσα σε έναν δοκιμαστικό σωλήνα με νερό ρίχνουν ένα ολόκληρο αναβράζον δισκίο ενώ σε έναν άλλο δοκιμαστικό σωλήνα με ίση ποσότητα νερού ένα θρυμματισμένο αναβράζον δισκίο. Με τη δραστηριότητα αυτή παρατηρούν ότι το θρυμματισμένο δισκίο «κάνει περισσότερο αφρό» σε σχέση με το ολόκληρο και συμπεραίνουν ότι όταν ένα υλικό μικραίνει σε μέγεθος αλλάζουν οι ιδιότητές του.

Στο 5^ο δίωρο οι μαθητές διερευνούν υδρόφοβα φυσικά υλικά όπως φύλλο λάχανου, τεχνητά, όπως υδρόφοβα υφάσματα, και κατασκευάζουν αντίστοιχα μοντέλα όπως και στο 5^ο δίωρο της κανονικής εφαρμογής.

Τέλος, στο 6^ο δίωρο μελετούν τρόπους καθαρισμού του νερού με τη χρήση νανόφιλτρων με ανάλογες δραστηριότητες μοντελοποίησης όπως και στο 6^ο δίωρο της κανονικής εφαρμογής.

3.7.2. Βελτιωτικές αλλαγές από την Πιλοτική στην Κανονική Εφαρμογή της ΔΜΑ



Σχήμα 3.18: Ανάδειξη βελτιωτικών αλλαγών σε 4 περιοχές της ΔΜΑ.

Για την διαδικασία βελτίωσης της ΔΜΑ λάβαμε υπόψη το μοντέλο του Pickering (βλέπε ενότητα 1.7.3). Εντοπίσαμε αρχικά τις αντιστάσεις, οι οποίες αφορούν τις δυσκολίες που αντιμετώπισαν οι μαθητές ή ο εκπαιδευτικός κατά τη διάρκεια της

διδασκαλίας σε σχέση με τους στόχους της ΔΜΑ. Έπειτα προχωρήσαμε σε προσαρμογές, δηλαδή σε αλλαγές στην διδασκαλία ώστε να επιτύχουμε τους στόχους της ΔΜΑ. Συγκεκριμένα εντοπίσαμε επτά αντιστάσεις και προχωρήσαμε σε επτά προσαρμογές οι οποίες αφορούν α) το εκπαιδευτικό υλικό β) το περιβάλλον μάθησης γ) το περιεχόμενο και δ) ερευνητικά εργαλεία (σχήμα 3.18). Όσον αφορά τον εντοπισμό των αντιστάσεων στις τρεις πρώτες περιπτώσεις βασικό εργαλείο αποτέλεσαν οι σημειώσεις του ερευνητή. Όσον αφορά την τέταρτη περίπτωση βασικό εργαλείο ήταν τα αποτελέσματα από ίδιο το ερωτηματολόγιο.

Αντίσταση 1. Στο πρώτο δίωρο οι μαθητές έλαβαν μέρος στο παιχνίδι ρόλων «Συνέντευξη από έναν επιστήμονα» με βάση το οποίο έγινε συζήτηση για τη φύση και τον ρόλο των μοντέλων. Το παιχνίδι αυτό απαιτούσε μεγάλο μέρος του διδακτικού χρόνου και δεν ήταν επαρκής ο υπολειπόμενος χρόνος για να διεξαχθεί επαρκής συζήτηση για τη φύση και τον ρόλο των μοντέλων.

Προσαρμογή 1. Το παιχνίδι αυτό αφαιρέθηκε. Για την φύση και τον ρόλο των μοντέλων στην κανονική εφαρμογή της ΔΜΑ αναπτύχθηκε συζήτηση με βάση τα μοντέλα τα οποία κατασκεύασαν οι μαθητές σε συνδυασμό με την υποστήριξη σχετικής παρουσίασης PowerPoint. Επίσης προστέθηκε ως διδακτικό εργαλείο μια ημιδομημένη αφίσα για τη φύση και τον ρόλο των μοντέλων την οποία συμπλήρωναν οι μαθητές σε κάθε ενότητα της ΔΜΑ.

Αντίσταση 2. Στο δεύτερο δίωρο διδασκαλίας οι μαθητές εργάστηκαν με τη μέθοδο Jigsaw. Επειδή όμως δεν ήταν εξοικειωμένοι με τη μέθοδο αυτή χρειάστηκε πολύς χρόνος για καταλάβουν πώς πρέπει να εργαστούν με αποτέλεσμα να υπάρξει επαρκής χρόνος για να γίνει συζήτηση σε όλη την τάξη τόσο για το περιεχόμενο της ΔΜΑ όσο και για τη φύση και τον ρόλο των μοντέλων.

Προσαρμογή 2. Στη κανονική εφαρμογή της ΔΜΑ δεν εφαρμόστηκε η μέθοδος Jigsaw καθώς οι μαθητές του δείγματος δεν ήταν εξοικειωμένοι με τη μέθοδο αυτή. Το περιβάλλον μάθησης όμως παρέμεινε διερευνητικό και οι μαθητές εργάστηκαν ομαδοσυνεργατικά.

Αντίσταση 3. Στο δεύτερο δίωρο μια ομάδα ειδίκευσης μελέτησε τα κύτταρα του αίματος, μια τα κύτταρα του κρεμμυδιού και μια τα κύτταρα των φύλλων και συγκεκριμένα τα στόματα των φύλλων. Η ομάδα η οποία μελέτησε τα στόματα των

φύλλων αντιμετώπισε δυσκολία στο να καταλάβει «τι ακριβώς από αυτά που παρατηρεί με το μικροσκόπιο είναι τα στόματα των φύλλων».

Προσαρμογή 3. Αφαιρέθηκε η παρατήρηση των κυττάρων των φύλλων για δύο λόγους. Πρώτον, γιατί οι μαθητές αντιμετώπιζαν δυσκολία στην παρατήρησή τους. Δεύτερον, γιατί αφαιρέθηκε και η μέθοδος Jigsaw οπότε δεν είναι επαρκής ο χρόνος για να παρατηρήσουν όλοι οι μαθητές και τα τρία δείγματα κυττάρων.

Αντίσταση 4. Στο τρίτο δίωρο για να καταλήξουν οι μαθητές στο συμπέρασμα ότι δεν είναι δυνατόν να παρατηρήσουν έναν ιό με το μικροσκόπιό τους, προσπαθούν να συγκρίνουν μια εικόνα (εικόνα 3.3) στην οποία παρουσιάζονται ιοί πάνω σε ερυθρά αιμοσφαίρια με την δική τους παρατήρηση του αίματος στο οπτικό μικροσκόπιο. Οι μαθητές αντιμετώπισαν δυσκολία στο να συγκρίνουν αυτή την εικόνα με αυτό που παρατηρούσαν με το δικό τους μικροσκόπιο.

Προσαρμογή 4. Οι ερευνητές ανέπτυξαν εκπαιδευτικό λογισμικό το οποίο παρουσιάζεται ως προσομοίωση του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου και δίνει τη δυνατότητα σταδιακών μεγεθύνσεων ερυθρών αιμοσφαιρίων, ιών και DNA (βλέπε 2.6. 3^η ενότητα). Το λογισμικό αυτό θεωρούμε ότι θα βοηθήσει τους μαθητές «να αποκτήσουν εμπειρίες παρατήρησης αντικείμενων του νανόκοσμου» κάτι που στη βιβλιογραφία θεωρείται ιδιαίτερα σημαντικό (βλέπε 1.6.1).

Αντίσταση 5. Το περιεχόμενο της 4^{ης} ενότητας το οποίο περιλάμβανε δραστηριότητες για την διερεύνηση της σχέσης μεγέθους- ιδιότητας. Οι πειραματικές δραστηριότητες στις οποίες ενεπλάκησαν οι μαθητές συμβάλλουν στην διαπίστωση ότι όσο μικραίνει το μέγεθος ενός υλικού αλλάζουν οι ιδιότητές του, αλλά οι δραστηριότητες περιορίζονται σε μακροσκοπικό επίπεδο. Συνεπώς η σύνδεση των ιδιοτήτων με τον νανόκοσμο ήταν δύσκολη γιατί απαιτούσε οι μαθητές να φανταστούν τι θα γινόταν αν τεμάχιζαν ένα αντικείμενο μέχρι τον νανόκοσμο.

Προσαρμογή 5. Το περιεχόμενο της 4^{ης} ενότητας αφαιρέθηκε και αντικαταστάθηκε από το φαινόμενο της ίωσης και την αλληλεπίδραση των τριών κόσμων ενισχύοντας τη *Μεγάλη Ιδέα* «Μέγεθος».

Αντίσταση 6. Στο ερωτηματολόγιο της πιλοτικής εφαρμογής δόθηκαν τα εξής ερωτήματα.

- Ποιο νομίζεις ότι είναι το μικρότερο αντικείμενο που μπορείς να δεις με το μάτι σου;

- Πιστεύεις πως υπάρχει κάτι ακόμα πιο μικρό από το μικρότερο αντικείμενο που βλέπεις με το μάτι σου; Αν ναι πως μπορείς να το δεις;

Από τις απαντήσεις των μαθητών φάνηκε πως αντιμετώπιζαν δυσκολίες με τα ερωτήματα αυτά. Πιο συγκεκριμένα για το πρώτο ερώτημα κατέγραφαν συχνά ένα αντικείμενο του μακρόκοσμου αλλά όχι το μικρότερο. Δηλαδή ανέφεραν αντικείμενα όπως «μια πέτρα» ή «ένα τραπέζι». Αυτό είχε ως συνέπεια στο δεύτερο ερώτημα να μην καταγράφουν ένα αντικείμενο μη ορατών κόσμων, και απλά να αναφέρουν ένα μικρότερο αντικείμενο από αυτό που κατέγραψαν στο προηγούμενο ερώτημα, το οποίο και πάλι ήταν ορατό με γυμνό μάτι. Στην παρατήρηση αυτή καταλήγουμε και από έρευνα σε μεγαλύτερο αριθμό δείγματος στο οποίο δόθηκε το ίδιο ακριβώς ερώτημα. Στη έρευνα αυτή φάνηκε ότι το 1/3 περίπου των μαθητών ανέφερε και στο δεύτερο ερώτημα ένα αντικείμενο του μακρόκοσμου (Peikos, Manou, Spyrtou, Papadopoulou, 2016).

Προσαρμογή 6. Το ερώτημα τροποποιήθηκε και διατυπώθηκε με μεγαλύτερη σαφήνεια ως εξής: «Ποιο νομίζεις ότι είναι το μικρότερο αντικείμενο που υπάρχει;»

Αντίσταση 7. Στο ερωτηματολόγιο της πιλοτικής εφαρμογής δόθηκαν τα εξής ερωτήματα.

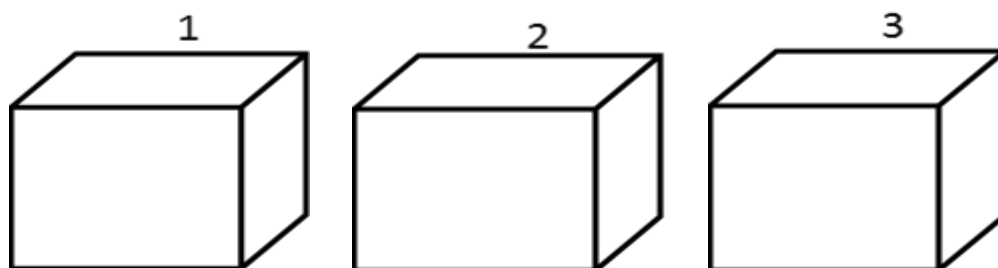
- Τοποθέτησε τα παρακάτω αντικείμενα από το μεγαλύτερο προς το μικρότερο: κύτταρα, κόκκος αλατιού, DNA, ιός
- Ποια από αυτά ανήκουν στον νανόκοσμο; Αιτιολόγησε την απάντησή σου.

Με τα ερωτήματα αυτά επιδιώκαμε την συλλογή δεδομένων για την ικανότητα των μαθητών να σειροθετούν και να ταξινομούν αντικείμενα. Το πρώτο ερώτημα μας προσφέρει πληροφορίες για το αν οι μαθητές είναι ικανοί να σειροθετήσουν ένα αντικείμενο του μακρόκοσμου ως μεγαλύτερο από ένα του μικρόκοσμου, ένα αντικείμενο του μικρόκοσμου ως μεγαλύτερο από δύο του νανόκοσμου και κατά πόσο είναι ικανοί να σειροθετήσουν μεταξύ τους δύο αντικείμενα του νανόκοσμου. Με άλλα λόγια δε μας δίνει πληροφορίες για το αν οι μαθητές είναι ικανοί να σειροθετήσουν αντικείμενα μεταξύ τους στον μακρόκοσμο και στον μικρόκοσμο. Επίσης, το δεύτερο ερώτημα μας προσφέρει πληροφορίες μόνο για το αν οι μαθητές είναι ικανοί να ταξινομούν αντικείμενα στον νανόκοσμο με κριτήριο το όργανο παρατήρησής τους.

Προσαρμογή 7. Καθώς στην κανονική εφαρμογή δίνεται μεγαλύτερη έμφαση στη *Μεγάλη Ιδέα* «Μέγεθος», για παράδειγμα προτέθηκε το φαινόμενο της ίωσης στο

4^ο δίωρο για την εξυπηρέτηση του σκοπού αυτού, τα ερωτήματα τροποποιήθηκαν ώστε να μας προσφέρουν περισσότερες πληροφορίες για την ικανότητα των μαθητών να ταξινομούν και να σειροθετούν αντικείμενα. Στο ερώτημα για τη σειροθέτηση, τα αντικείμενα αυξήθηκαν από τέσσερα σε έξι ώστε να σειροθετήσουν οι μαθητές δύο αντικείμενα από κάθε κόσμο. Επίσης, το ερώτημα για την ταξινόμηση επεκτάθηκε και στους τρεις κόσμους. Τα δυο ερωτήματα διατυπώνονται ως εξής:

- Ταξινόμησε τα παρακάτω αντικείμενα στα κουτιά με βάση το μέγεθός τους.
Κόκκος αλατιού, μπάλα ποδοσφαίρου, κύτταρο κρεμμυδιού, ερυθρό αιμοσφαίριο, άνθρωπος, DNA, ιός, πυρήνας κυττάρου



Με ποιά όργανο μπορείς να δεις τα αντικείμενα του:

Κουτιού 1	
Κουτιού 2	
Κουτιού 3	

- Τοποθέτησε τα παρακάτω αντικείμενα από το μεγαλύτερο προς το μικρότερο.
Κύτταρο κρεμμυδιού, DNA, κόκκος αλατιού, μπάλα ποδοσφαίρου, ιός, πυρήνας κυττάρου



4^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

4.1. Αποτελέσματα από τα γραπτά ερωτηματολόγια

Στην ενότητα αυτή αρχικά παρουσιάζονται α) τα αποτελέσματα για την εξέλιξη των αντιλήψεων των μαθητών για το περιεχόμενο της N-ET καθώς και για την επιστημολογική γνώση για τα μοντέλα και β) τα αποτελέσματα για το κατά πόσο επηρεάζει η εξέλιξη της επιστημολογικής γνώσης για τα μοντέλα την μάθηση του περιεχομένου της N-ET.

4.1.1. Αποτελέσματα από τα γραπτά ερωτηματολόγια όσον αφορά την εξέλιξη των αντιλήψεων των μαθητών για το περιεχόμενο της N-ET και την επιστημολογική γνώση για τα μοντέλα

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της έρευνας. Πιο συγκεκριμένα για κάθε ερευνητικό ερώτημα παρουσιάζονται τα ποσοστά των απαντήσεων που έδωσαν οι μαθητές για κάθε επίπεδο κατανόησης. Επιπλέον στα ερωτήματα τα οποία μελετάται η εξέλιξη των αντιλήψεων των μαθητών, δηλαδή στα ερωτήματα για τα οποία έχουμε αποτελέσματα και από την αρχική και από την τελική μέτρηση, καταγράφονται τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης Wilcoxon σχετικά με την ύπαρξη ή όχι στατιστικά σημαντικής διαφοράς (Κατσής, Σιδερίδης, Εμβαλιωτής, 2010) της αρχικής με την τελική γνωστική κατάσταση των μαθητών (Méheut & Psillos, 2004). Διευκρινίζεται ότι στο υπόμνημα κάθε πίνακα ο όρος «pre» αναφέρεται στην αρχική μέτρηση και ο όρος «post» στην τελική μέτρηση.

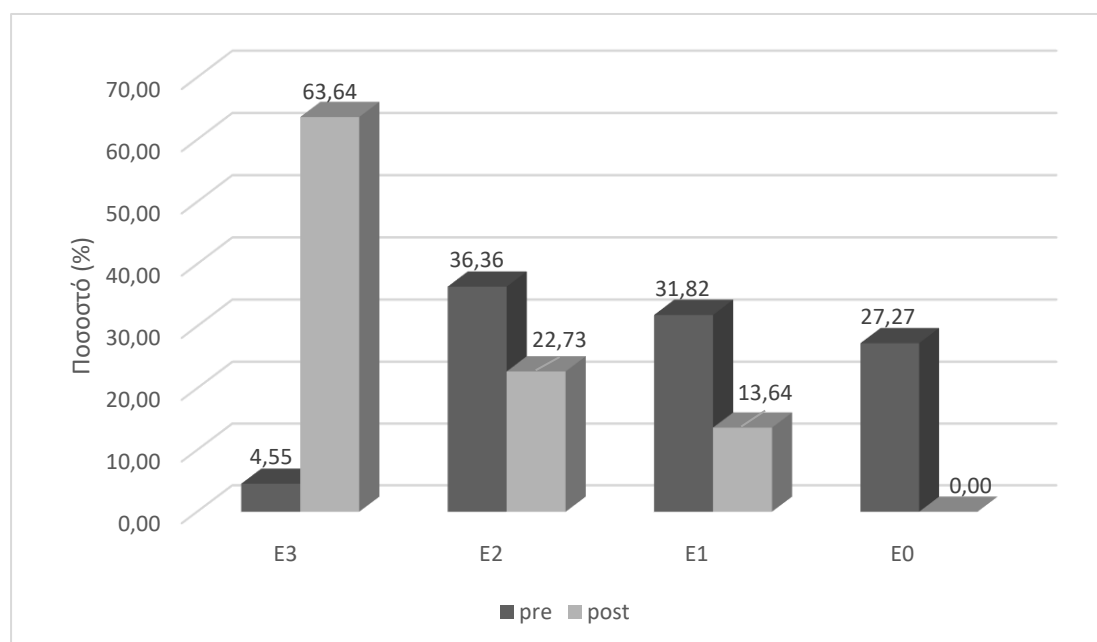
ΕΕ. 1: Πώς εξελίσσεται η νοηματοδότηση της νανοτεχνολογίας από τους μαθητές;

Από γράφημα 4.1 φαίνεται πως η μεγαλύτερη αλλαγή στις απαντήσεις των μαθητών εντοπίζεται στο επίπεδο «Επιστημονική άποψη» (E3). Πιο συγκεκριμένα πριν την εφαρμογή της ΔΜΑ μόνο 4,55 % των μαθητών έδωσε απάντηση στο E3, ενώ μετά την εφαρμογή το ποσοστό αυτό αυξήθηκε στο 63,64%. Δηλαδή το μεγαλύτερο ποσοστό των μαθητών στο ETM συνέδεσε τη N-ET με σαφήνεια με την ΜΙ «μέγεθος» ή/και με την ΜΙ «εργαλεία και όργανα». Παράδειγμα απάντησης στο E3 είναι το εξής: «Η

νανοτεχνολογία είναι πολύ τα πολύ μικρά πράγματα που δεν μπορούμε να τα δούμε με γυμνό μάτι, αλλά μόνο με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο, σε αυτήν την κατηγορία υπάρχει ο ιός και το DNA του ιού». Στο επίπεδο «μερικώς επιστημονική άποψη» (E2), δηλαδή στο επίπεδο στο οποίο εντάσσονται απαντήσεις με μονάδες ανάλυσης για μια από τις 2 ΜΙς αλλά με γενικότητες εντοπίζεται το 33,36% στην αρχική μέτρηση το οποίο μειώνεται στο 22,73% στην τελική μέτρηση, για παράδειγμα: «Σημαίνει η τεχνολογία των μικρών πραγμάτων». Στο επίπεδο «μακριά από την επιστημονική άποψη» (E1), στο οποίο εντάσσονται απαντήσεις που δεν περιλαμβάνουν μονάδες ανάλυσης για καμία ΜΙ ή θεωρούν τη νανοτεχνολογία από μια ανθρωποκεντρική σκοπιά, εντοπίζεται το 31,82% των απαντήσεων πριν την εφαρμογή της ΔΜΑ και το 13,64% μετά την εφαρμογή. Ενδεικτική απάντηση στη E1 είναι η εξής: «Νομίζω πως είναι η τεχνολογία των νάνων». Στο επίπεδο E0 στην αρχική μέτρηση εντοπίζεται το 27,27% των απαντήσεων ενώ στην τελική μέτρηση το ποσοστό μειώνεται στο 0%.

Τέλος, η στατιστική ανάλυση Wilcoxon δείχνει ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ της αρχικής με την τελική γνωστική κατάσταση των μαθητών ($z = 3,568, p = ,000$).

Γράφημα 4.1. Εξέλιξη της νοηματοδότησης της N-ET



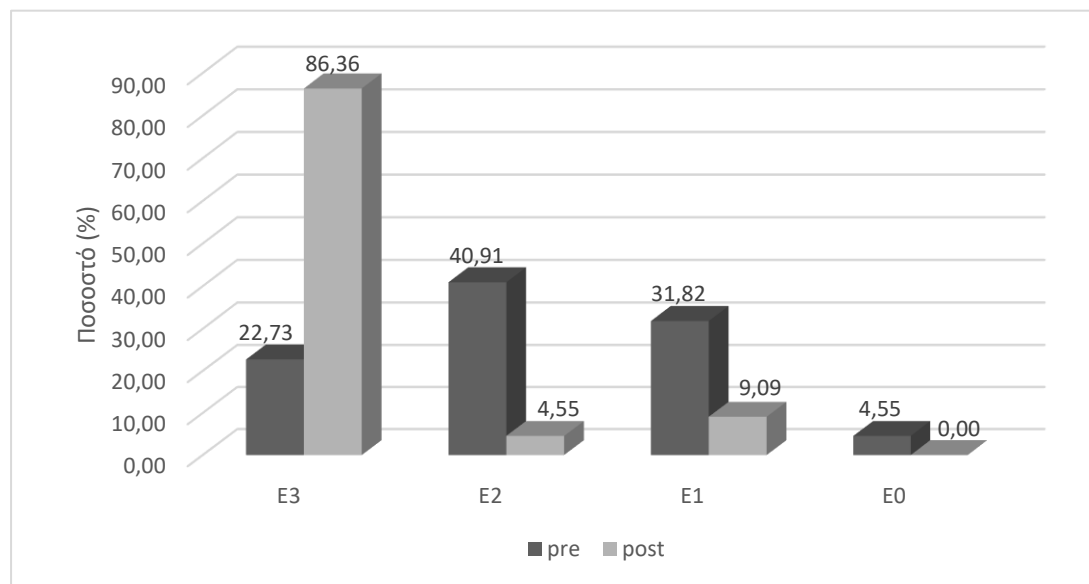
Στον οριζόντιο άξονα: E3: επιστημονική άποψη, E2: μερικώς επιστημονική άποψη, E1: μακριά από την επιστημονική άποψη, E0: καμία απάντηση/ δεν ξέρω

ΕΕ 2: Πώς εξελίσσονται οι ιδέες των μαθητών για το μικρότερο αντικείμενο που υπάρχει;

Με βάση το γράφημα 4.2 παρατηρούμε ότι πριν την εφαρμογή της ΔΜΑ το 22,73% των μαθητών καταγράφει ως το μικρότερο αντικείμενο, ένα αντικείμενο του νανόκοσμου ή του ατομικού κόσμου (E3), ενώ μετά την εφαρμογή το ποσοστό αυξάνεται θεαματικά στο 86,36%. Χαρακτηριστικές απαντήσεις μαθητών σε αυτό το επίπεδο είναι ο «ιός» και το «DNA». Στο επίπεδο E2, το οποίο περιλαμβάνει τα αντικείμενα του μικρόκοσμου, όπως τα κύτταρα, στην αρχική μέτρηση εντοπίζεται το 40,91% των απαντήσεων το οποίο ελαττώνεται στην τελική μέτρηση στο 4,55%. Στο E1 το οποίο αφορά τα αντικείμενα του μακρόκοσμου, όπως π.χ. «Ο κόκκος ρυζιού» αρχικά εντοπίζεται το 31,82% των απαντήσεων ενώ μετά το 9,09%. Όσον αφορά το E0, δηλαδή τις ασαφείς ή τις απαντήσεις κενού περιεχομένου αρχικά εντοπίζεται το 4,55% μετά την παρέμβαση το ποσοστό μειώνεται στο 0%.

Από την στατιστική ανάλυση Wilcoxon φαίνεται ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ της αρχικής με την τελική γνωστική κατάσταση των μαθητών ($z=3,535$, $p=,000$).

Γράφημα 4.2. Οι ιδέες των μαθητών για το μικρότερο αντικείμενο



Οριζόντιος άξονας: E3: αντ. νανόκοσμου- ατομικού κόσμου, E2: αντ. μικρόκοσμου, E1: αντ. μακρόκοσμου, E0: ασαφής/ καμία απάντηση

ΕΕ 3: Πως εξελίσσεται η γνώση των μαθητών για τα όργανα παρατήρησης του μακρόκοσμου, του μικρόκοσμου και του νανόκοσμου;

Το ΕΕ 3 επιμερίζεται σε δύο υποερωτήματα:

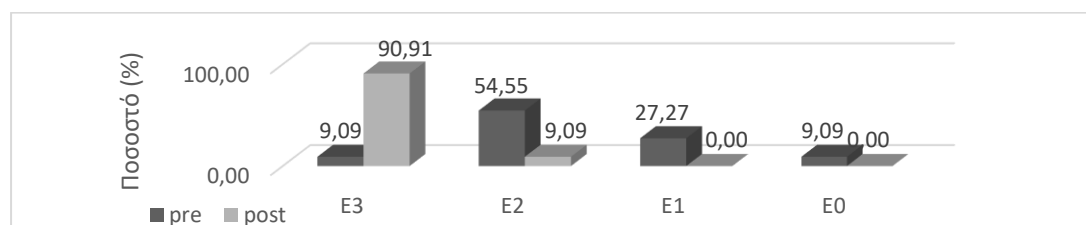
A) Ποια όργανα αναφέρουν οι μαθητές για την παρατήρηση μη ορατών κόσμων με γυμνό μάτι πριν και μετά την εφαρμογή της ΔΜΑ;

B) Κατά πόσο τα όργανα που αναφέρουν οι μαθητές είναι τα σωστά όργανα παρατήρησης για το αντικείμενο που κατέγραψαν στο έργο 2, πριν και μετά την εφαρμογή της ΔΜΑ;

Όσον αφορά το πρώτο υποερώτημα στο γράφημα 4.3α και συγκεκριμένα στο επίπεδο Ε3, δηλαδή στο επίπεδο που περιλαμβάνει ως όργανο το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (βλέπε αναλυτικά 3.5) παρατηρούμε ότι πριν την εφαρμογή της ΔΜΑ έχουμε μόνο το 9,09% των απαντήσεων, ενώ μετά την παρέμβαση το 90,91% των μαθητών αναφέρει ως όργανο το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο. Επίσης πριν την παρέμβαση το επίπεδο με το υψηλότερο ποσοστό είναι το Ε2 το οποίο περιλαμβάνει ως όργανο παρατήρησης το οπτικό μικροσκόπιο. Μετά την παρέμβαση το ποσοστό αυτό μειώνεται στο 9,09%. Επίσης πριν την εφαρμογή το 27,27% ανέφερε ως όργανο παρατήρησης το γυμνό μάτι ή τον μεγεθυντικό φακό (Ε1), ενώ στην τελική μέτρηση το ποσοστό αυτό μειώθηκε στο 0%. Όσον αφορά τις ασαφείς απαντήσεις και τις απαντήσεις κενού περιεχομένου (Ε0) αρχικά είχαμε ένα ποσοστό 9,09% το οποίο μειώθηκε στο 0%.

Τέλος, η στατιστική ανάλυση Wilcoxon φανερώνει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ της αρχικής γνωστικής κατάστασης των μαθητών και της τελικής ($z=4,053$, $p=,000$).

Γράφημα 4.3α. Ποια όργανα παρατήρησης γνωρίζουν οι μαθητές



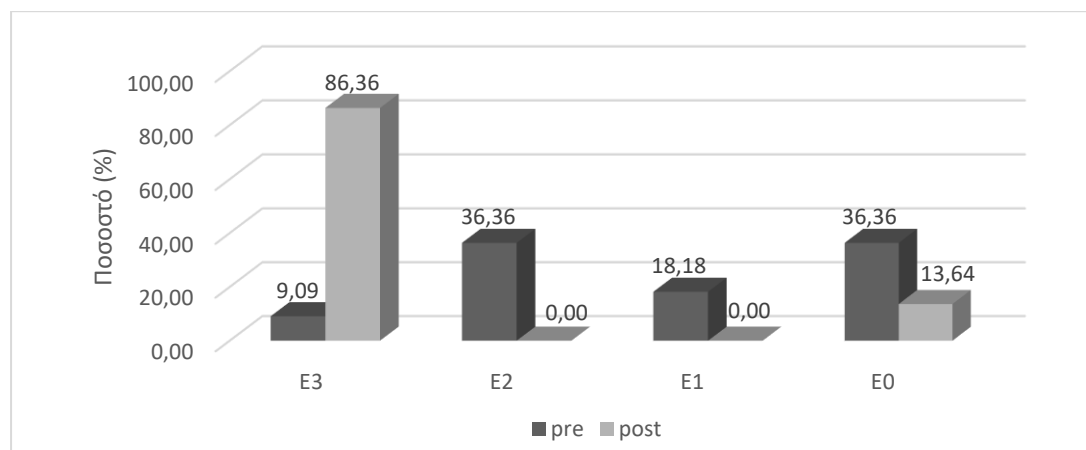
Οριζόντιος άξονας: Ε3: ηλεκτρονικό μικροσκόπιο, Ε2: οπτικό μικροσκόπιο, Ε1: γυμνό μάτι, Ε0: ασαφής-καμία απάντηση.

Όσον αφορά το δεύτερο υποερώτημα (γράφημα 4.3β), πριν την εφαρμογή της ΔΜΑ μόνο το 9,09% των μαθητών κατέγραψε το σωστό όργανο παρατήρησης για ένα αντικείμενο του νανόκοσμου (E3) ενώ μετά την παρέμβαση το ποσοστό αυτό αυξήθηκε θεαματικά στο 86,36%. Στο επίπεδο E2, δηλαδή στην καταγραφή του σωστού οργάνου για ένα αντικείμενο του μικρόκοσμου αρχικά εντοπίζεται το 36,36% των απαντήσεων, ενώ μετά την εφαρμογή το 0% των απαντήσεων. Επίσης στο E1, δηλαδή στο σωστό όργανο για αντικείμενο του μακρόκοσμου πριν την εφαρμογή έχουμε το 18,18% των απαντήσεων το οποίο στη συνέχεια μειώνεται το ποσοστό μειώνεται στο 0%. Στο E0, στο οποίο περιλαμβάνεται είτε αναφορά λάθος οργάνου, είτε ασαφείς και κενές απαντήσεις αρχικά εντοπίζεται το 36,36% των απαντήσεων ενώ τελικά το 13,64%.

Επίσης στην E0, δηλαδή στην καταγραφή λάθος οργάνου για το αντικείμενου που ανέφεραν, ή στην καταγραφή ασαφούς- κενής απάντησης στην αρχική μέτρηση εντοπίζεται το 36,36% των απαντήσεων ενώ στην τελική το 13,64%.

Τέλος η διαφορά μεταξύ της αρχικής και της τελικής γνωστικής κατάστασης των μαθητών θεωρείται στατιστικά σημαντική με βάση την ανάλυση Wilcoxon ($z=3,420$, $p=,001$).

Γράφημα 4.3β. Κατά πόσο είναι σωστό το όργανο παρατήρησης για το αντικείμενο που κατέγραψαν οι μαθητές στο έργο 2



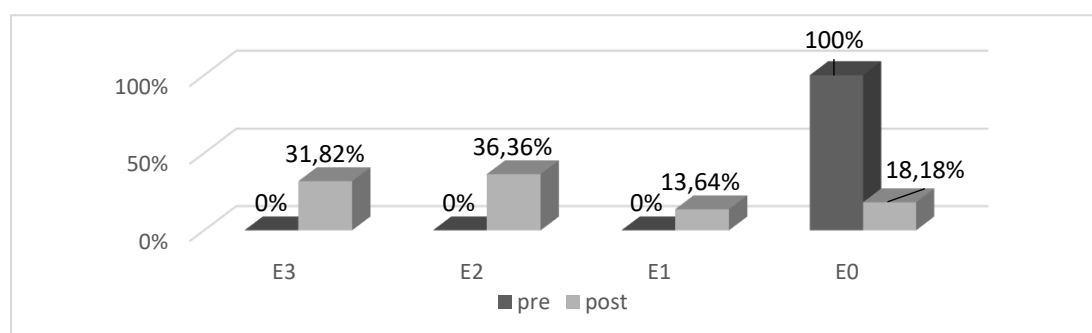
Οριζόντιος άξονας: E3: σωστό όργανο για αντ. νάνο, E2: σωστό όργανο για αντ. μικρο, E1: σωστό όργανο για μακρο, E0: λάθος όργανο/ ασαφής-καμία απάντηση.

ΕΕ 4: Πώς εξελίσσεται η ικανότητα των μαθητών να ταξινομούν αντικείμενα τριών διαφορετικών κατηγοριών με κριτήριο το όργανο παρατήρησης τους;

Αρχικά, αναφέρουμε ότι τα αποτελέσματα για το ΕΕ4 έχουν δημοσιευτεί από τους Σπύρτου, Πείκο & Μάνου (2015). Από το γράφημα 4.4 απορρέει ότι πριν την εφαρμογή της ΔΜΑ κανένας μαθητής δεν ήταν ικανός να πραγματοποιήσει ταξινόμηση αντικειμένων με κριτήριο το όργανο παρατήρησης. Για αυτό και τα επίπεδα Ε3, Ε2 και Ε1 στα οποία για να ενταχθεί μια απάντηση προϋπόθεση είναι να καταγράψει ο μαθητής τα σωστά όργανα παρατήρησης έχουν ποσοστό απαντήσεων 0%. Αντίθετα μετά την εφαρμογή της ΔΜΑ 31,82% των μαθητών ήταν ικανό να ταξινομήσει σωστά όλα τα αντικείμενα και να καταγράψει το σωστό όργανο για κάθε κουτί (Ε3). Επίσης υψηλό ήταν και το ποσοστό των μαθητών (36,36%) που κατέγραψε τα σωστά όργανα και έκανε ένα μόνο λάθος στην ταξινόμηση των οχτώ αντικειμένων (Ε2). Μικρότερο ποσοστό μαθητών (13,64%) φαίνεται πως κατέγραψε τα σωστά όργανα παρατήρησης και ταξινόμησε λάθος δύο αντικείμενα. Η μετακίνηση των μαθητών προς την κατεύθυνση των επιπέδων που περιλαμβάνουν σωστή ταξινόμηση είτε όλων των αντικειμένων, είτε των εφτά ή έξι από τα οχτώ αντικείμενα, με κριτήριο το όργανο παρατήρησης φαίνεται και από την μεγάλη πτώση του ποσοστού του επιπέδου Ε0. Πριν την παρέμβαση περιλάμβανε το 100% των απαντήσεων ενώ μετά μόνο το 18,18%.

Τέλος η διαφορά μεταξύ της αρχικής με την τελική γνωστική κατάσταση των μαθητών, με βάση την ανάλυση Wilcoxon είναι στατιστικά σημαντική ($z=3,779$, $p=,000$).

Γράφημα 4.4. Ταξινόμηση αντικειμένων (Αρχική – Τελική μέτρηση)



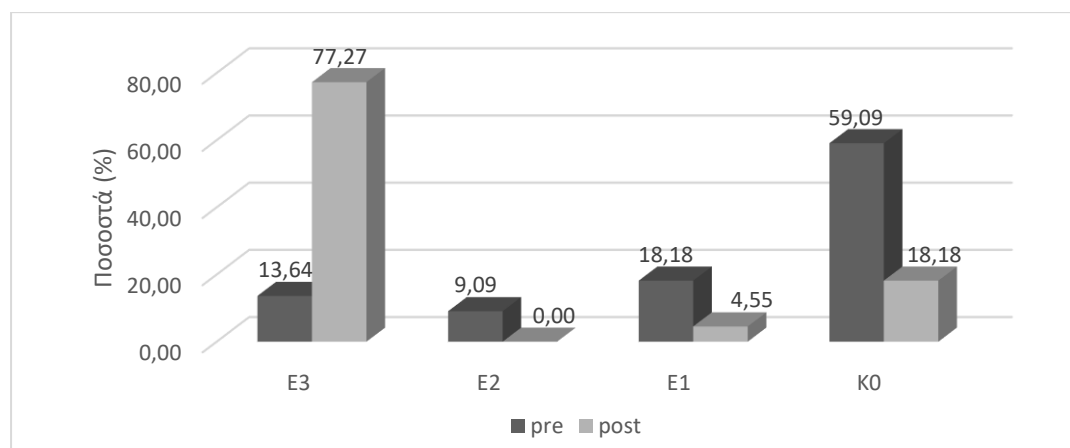
Στον οριζόντιο άξονα: Ε3: σωστό όργανο- σωστή ταξ. όλων, Ε2: σωστό όργανο- λάθος ταξ. σε 1 αντικείμενο, Ε1: σωστό όργανο- λάθος ταξ. σε 2 αντικείμενα, Ε0: λάθος όργανο

ΕΕ 5: Πώς εξελίσσεται η ικανότητα των μαθητών να σειροθετούν αντικείμενα;

Αναφέρουμε ότι τα αποτελέσματα και για το ΕΕ5 έχουν δημοσιευτεί από τους Σπύρτου, Πέικο & Μάνου (2015). Στο γράφημα 4.5 παρατηρούμε ότι πριν την εφαρμογή της ΔΜΑ μόνο το 13,60% των μαθητών μπορούσε να σειροθετήσει σωστά όλα τα αντικείμενα (Ε3) ενώ μετά την εφαρμογή το ποσοστό των μαθητών που μπορούσε να σειροθετήσει σωστά όλα τα αντικείμενα αυξάνεται σημαντικά και φτάνει στο 81,80%. Αντίθετα στις υπόλοιπες κατηγορίες τα ποσοστά των απαντήσεων της αρχικής μέτρησης μειώνονται. Πιο συγκεκριμένα στο επίπεδο Ε2, η οποία περιλαμβάνει την σωστή σειροθέτηση των αντικειμένων του μακρόκοσμου και του μικρόκοσμου πριν την εφαρμογή είχαμε ποσοστό 9,10% ενώ μετά 0%. Επίσης στο επίπεδο Ε1, δηλαδή στη σωστή σειροθέτηση μόνο των αντικειμένων του μακρόκοσμου το αρχικό ποσοστό 18,20% μειώνεται στο 4,60%. Όσον αφορά το Ε0, στο οποίο εντάσσεται η λάθος σειροθέτηση των αντικειμένων του μακρόκοσμου το αρχικό ποσοστό των απαντήσεων στην αρχική μέτρηση ήταν 59,10, το οποίο στην τελική μέτρηση φαίνεται πως μειώθηκε σημαντικά στο 13,60%.

Τέλος με βάση την ανάλυση Wilcoxon η διαφορά μεταξύ της αρχικής με την τελική γνωστική κατάσταση των μαθητών είναι στατιστικά σημαντική ($z=3,249$, $p=,001$).

Γράφημα 4.5. Σειροθέτηση αντικειμένων (Αρχική – Τελική μέτρηση)



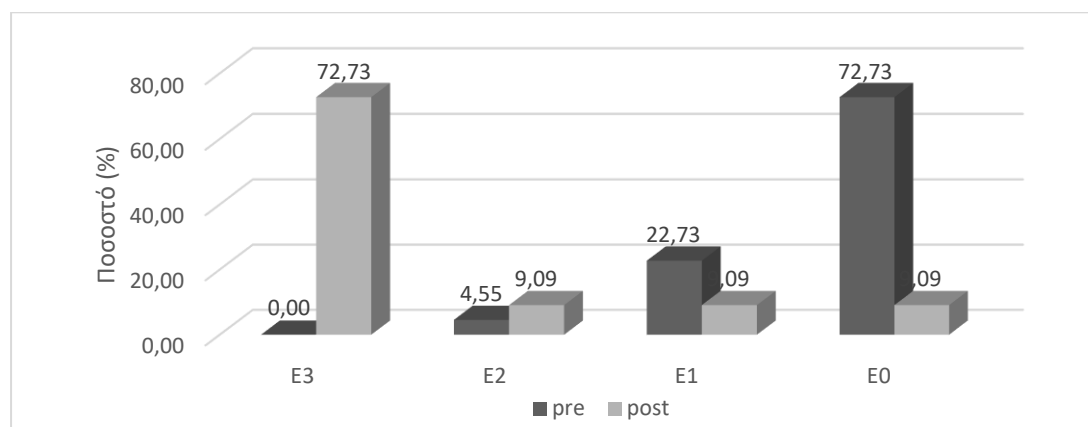
Οριζόντιος άξονας: E3: σωστή σειροθέτηση όλων, E2: σωστή σειροθέτηση αντ. του μάκρο & μικρο, E1: σωστή σειροθέτηση των αντ. του μάκρο & 1 τουλάχιστον λάθος στο μικρο ή νάνο, E0: λάθος σειρ. των αντ. του μάκρο.

ΕΕ 6: Πώς εξελίσσεται η περιγραφή του φαινομένου του λωτού από τους μαθητές;

Σύμφωνα με το γράφημα 4.6, πριν την εφαρμογή της ΔΜΑ κανένας μαθητής δεν αναγνωρίστηκε να αναφέρει στις περιγραφές του όρους του νανογραμματισμού για το φαινόμενο του λάχανου (νανοεξογκώματα και υδροφοβικότητα) (Ε3). Αντίθετα μετά την εφαρμογή το ποσοστό που χρησιμοποίησε σχετικούς όρους αυξήθηκε σημαντικά 72,73%. Ενδεικτική απάντηση για το επίπεδο Ε3 αποτελεί η εξής «Το λάχανο, το φύλλο της ακακίας και ο λωτός έχουν πάνω τους κάποια εξογκώματα, τα νανοεξογκώματα. Έτσι οι σταγόνες δεν μπορούν να τα περάσουν και μένουν στον αέρα». Επίσης, στην αρχική μέτρηση το 4,55% των μαθητών περιγράφει το φαινόμενο χωρίς να χρησιμοποιεί τους σχετικούς όρους του νανογραμματισμού (Ε2), π.χ. «Γιατί το λάχανο έχει πάνω πάνω του κάτι μικρά εξογκώματα τα οποία δεν μπορούμε να τα δούμε με το μάτι και έτσι οι σταγόνες δε κυλούν και γίνονται στρόγγυλες». Στην τελική μέτρηση στο επίπεδο αυτό έχουμε μικρή αύξηση του ποσοστού των απαντήσεων των μαθητών (9,09). Στο επίπεδο Ε1, το οποίο αντιπροσωπεύει την κατηγορία «μακριά από την επιστημονική άποψη/ εναλλακτικές ιδέες» εντοπίζεται πριν την εφαρμογή το 27,27% των απαντήσεων, ενώ μετά την εφαρμογή το ποσοστό μειώνεται στο 9,09%. Παράδειγμα απάντησης σε αυτό το επίπεδο είναι η εξής: «Γιατί μπορεί να έχει το λάχανο ένα συστατικό μέσα που να κρατάει κάποια υγρά μέσα και κάποια έξω. Γιατί είναι και λίγο κολλώδη η επιφάνεια του λάχανου». Αξιοσημείωτη είναι η αλλαγή του ποσοστού στο επίπεδο Ε0 το οποίο αφορά τις δηλώσεις άγνοιας των μαθητών, των ασαφών απαντήσεων ή και των κενών απαντήσεων. Ενώ πριν την εφαρμογή στο Ε0 είχαμε το 68,18% των απαντήσεων, μετά το ποσοστό αυτό ελαττώθηκε στο 9,09%.

Τέλος η διαφορά της αρχικής με την γνωστική κατάσταση των μαθητών σχετικά με την περιγραφή του φαινομένου της υδροφοβικότητας είναι στατιστικά σημαντική με βάση την ανάλυση Wilcoxon ($z= 3,998, p= ,000$).

Γράφημα 4.6. Περιγραφή του φαινομένου του λωτού.



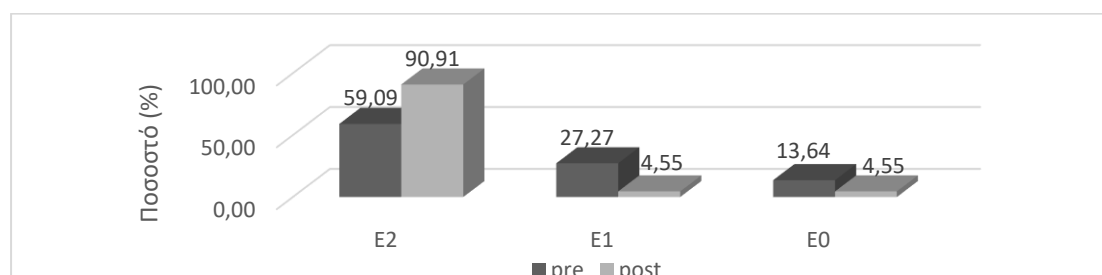
Στον οριζόντιο άξονα: E3: επιστημονική άποψη, E2: μερικώς επιστημονική άποψη, E1: μακριά από την επιστημονική άποψη, E0: ασαφής/ καμία απάντηση/ δεν ξέρω

EE 7: Πώς εξελίσσεται η περιγραφή του μηχανισμού φιλτραρίσματος, με φίλτρα νανοτεχνολογίας από τους μαθητές;

Στο γράφημα 4.7 παρατηρούμε ότι πριν την εφαρμογή της ΔΜΑ το 59,09 των μαθητών απαντούν πως θα έπιναν νερό από ένα φίλτρο νανοτεχνολογίας (E2) ενώ μετά το ποσοστό αυτό αυξάνεται στο 90,91%. Επίσης οι μαθητές που απαντούν αρχικά ότι δεν θα έπιναν (E1) αποτελούν το 27,27% ενώ τελειά μειώνονται στο 4,55%. Μικρή διαφορά παρατηρείται και στο E0, που αντιπροσωπεύει τις ασαφείς απαντήσεις ή απαντήσεις με κενό περιεχόμενο. Αρχικά περιλάμβανε το 13,64% των απαντήσεων ενώ τελικά το ποσοστό ελαττώθηκε στο 4,55%.

Η διαφορά μεταξύ της αρχικής και της τελικής απόφασης των μαθητών για το αν θα έπιναν νερό από ένα νανόφιλτρο είναι στατιστικά σημαντική με βάση την ανάλυση Wilcoxon ($z=2,210$, $p=0,021$).

Γράφημα 4.7. Θα έπινες νερό από το νανόφιλτρο;



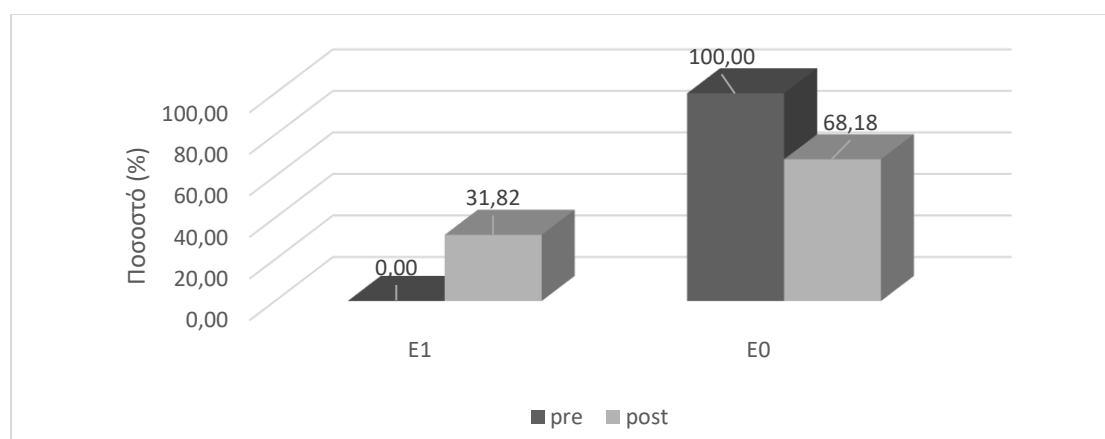
Στον οριζόντιο άξονα: E2: Ναι, E1: Όχι, E0: ασαφής/ καμία απάντηση

Όσον αφορά την περιγραφή του μηχανισμού φιλτραρίσματος υπό το πρίσμα της σειροθέτησης, πριν την εφαρμογή της ΔΜΑ κανένας μαθητής δεν έδωσε απάντηση που να εντάχθηκε στο επίπεδο «επιστημονική άποψη» (E1) (γράφημα 4.8). Μετά την εφαρμογή όμως το 31,82% των απαντήσεων εντάχθηκαν στο επίπεδο E1. Δηλαδή στις απαντήσεις αυτές περιγράφεται ο μηχανισμός φιλτραρίσματος, συγκρίνοντας το μέγεθος των σπών του νανοφίλτρου με το μέγεθος των αντικειμένων που φιλτράρονται (π.χ. ιός, σωματίδια βρωμιάς, νερό). Παράδειγμα απάντησης για το E1 είναι το εξής: «Το νανόφιλτρο λειτουργεί για το καθάρισμα του νερού που να μην είναι και πόσιμο και πολύ βρώμικο μπορείς να το πιείς. Το νανόφιλτρο έχει πολύ μικρές τρυπούλες σε μέγεθος νάνο που δεν μπορούμε να τα δούμε. Έτσι καθαρίζει ουσίες κακές μέχρι και το μέγεθος νάνο που έχουν οι τρυπούλες του».

Στο επίπεδο «μακριά από την επιστημονική άποψη» (E0) στην αρχική μέτρηση περιλαμβάνει το 100% των απαντήσεων ενώ στην τελική μέτρηση το ποσοστό μειώνεται στο 68,18%.

Τέλος, η διαφορά μεταξύ της αρχικής και της τελικής μέτρησης είναι στατιστικά σημαντική με βάση της ανάλυση Wilcoxon ($z = 2,646, p = ,008$).

Γράφημα 4.8. Περιγραφή του μηχανισμού φιλτραρίσματος



Στον οριζόντιο άξονα: E1:σειροθέτηση E0: μη σειροθέτηση ασαφής/ καμία απάντηση

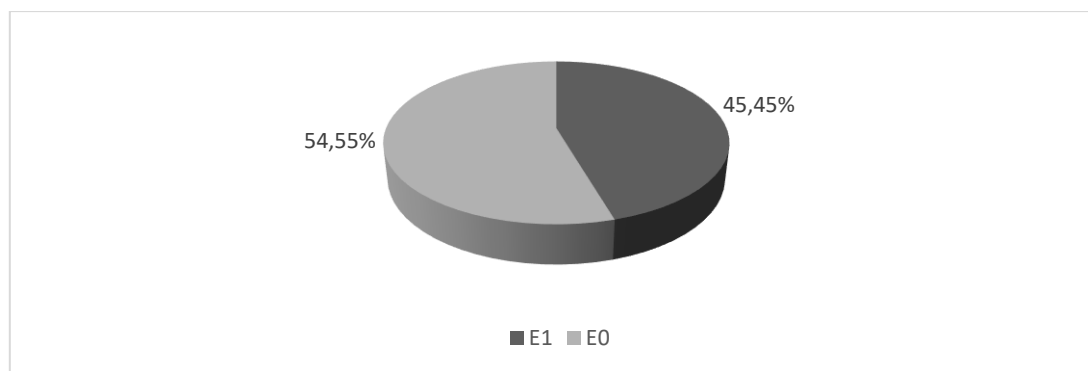
EE 8: Σε ποιο βαθμό είναι ικανοί οι μαθητές να περιγράφουν την επίδραση του νανόκοσμου στον μικρόκοσμο και τον μακρόκοσμο;

Το EE8 αφορά μόνο την τελική μέτρηση. Στο γράφημα 4.9 παρατηρούμε ότι το 54,55% των απαντήσεων ανήκει στο επίπεδο «επιστημονική άποψη» (E1). Πιο

συγκεκριμένα στις απαντήσεις αυτές περιγράφεται η επίδραση του νανόκοσμου στον μικρόκοσμο και στον μακρόκοσμο ταξινομώντας ένα τουλάχιστον αντικείμενο που σχετίζεται με την ίωση σε καθέναν από τους τρεις κόσμους. Ενδεικτική απάντηση για το E1 είναι το εξής: «Όταν ένα άτομο είναι άρρωστο και φτερνιστεί ή βήξει πάνω σε ένα άλλο άτομο, τότε ο ιός εισχωρεί μέσα στον οργανισμό του άλλου ατόμου. Ο ιός κατευθύνεται προς τα κύτταρα και έτσι αρρωσταίνει ο οργανισμός. Ο Νανόκοσμος είναι ο ιός και το DNA, ο μικρόκοσμος είναι τα κύτταρα και έτσι ο ιός εισχωρώντας στα κύτταρα αρρωσταίνει τον άνθρωπο που ανήκει στον μακρόκοσμο».

Αντίθετα στο επίπεδο «μακριά από την επιστημονική άποψη» (E0), η οποία περιλαμβάνει απαντήσεις με αναφορές σε αντικείμενα που σχετίζονται με την ίωση, χωρίς όμως να ταξινομούνται τα αντικείμενα αυτά και στους τρεις κόσμους, κατατάσσεται το 45,45% των απαντήσεων.

Γράφημα 4.9. Επίδραση του νανόκοσμου στον μικρόκοσμο και τον μακρόκοσμο



E1: ταξινόμηση αντικειμένων και στους 3 κόσμους, E0: μη ταξινόμηση αντικειμένων και στους 3 κόσμους/ασαφής/ καμία απάντηση

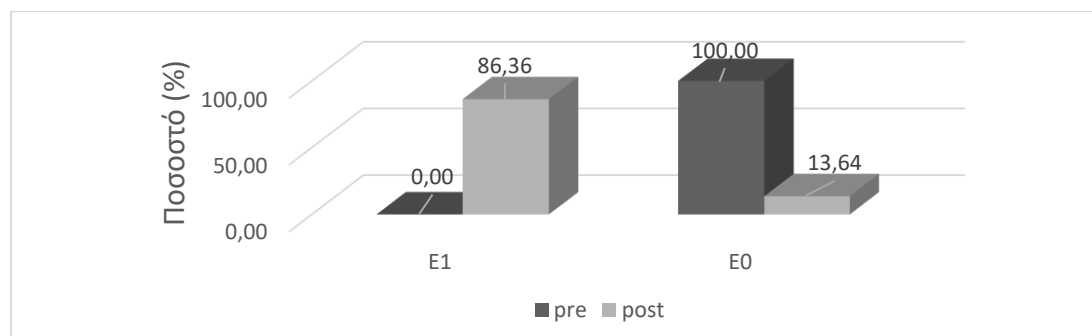
EE 9 Πώς εξελίσσονται οι γνώσεις των μαθητών για την φύση και τον ρόλο των μοντέλων;

EE9α. Η φύση του μοντέλου

Από τους μαθητές ζητήθηκε να γράψουν μια πρόταση που να περιλαμβάνει τη λέξη μοντέλο. Από τα αποτελέσματα φαίνεται ότι πριν την εφαρμογή σε καμία απάντηση δεν αναγνωρίζεται το μοντέλο ως αναπαράσταση (E0) ενώ μετά την εφαρμογή αναγνωρίζεται το μοντέλο ως αναπαράσταση στο 86,36% των απαντήσεων (E1) (γράφημα 4.10). Χαρακτηριστική απάντηση για το E1 είναι η εξής: «Το μοντέλο είναι

η αναπαράσταση ενός αντικειμένου και φαινομένου». Με βάση την ανάλυση Wilcoxon, η διαφορά της αρχικής με την τελική γνωστική κατάσταση των μαθητών είναι στατιστικά σημαντική ($z= 3,796, p= ,000$).

Γράφημα 4.10. Η φύση του μοντέλου

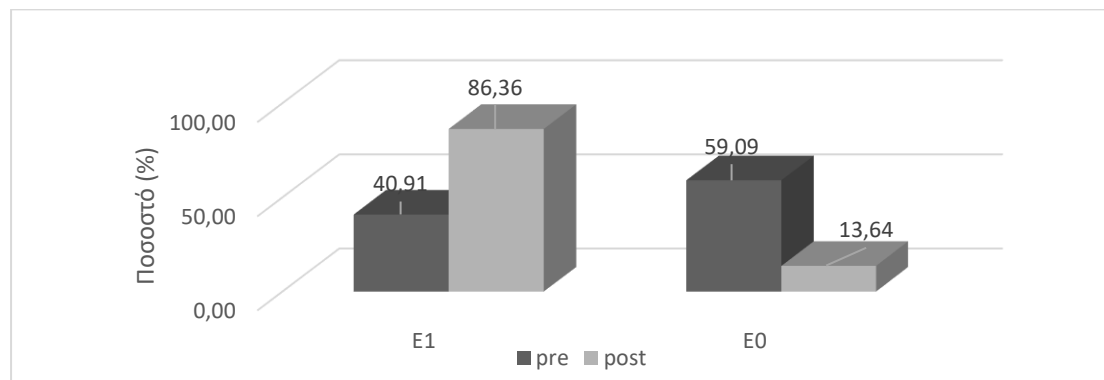


Στον οριζόντιο άξονα: E1: αναπαράσταση, E0: όχι αναπαράσταση/ ασαφείς

EE9β. Χρησιμότητα του μοντέλου ενός ματιού

Όσον αφορά την χρησιμότητα του μοντέλου του ματιού, στην αρχική μέτρηση εντοπίζεται το 40,91% των απαντήσεων στο επίπεδο «εργαλείο μάθησης ή/και επικοινωνίας» (E1) ενώ στην τελική μέτρηση το ποσοστό αυτό αυξάνεται στο 86,36% (γράφημα 4.11). Ενδεικτική απάντηση για το E1 είναι η εξής: «[Είναι χρήσιμο] για να πάρουμε πληροφορίες, πως είναι το μάτι, γιατί εμείς δε μπορούμε να το δούμε από μέσα». Η διαφορά μεταξύ της αρχικής με την τελική γνωστική κατάσταση των μαθητών είναι στατιστικά σημαντική με βάση την ανάλυση Wilcoxon ($z= 3,162, p= ,002$).

Γράφημα 4.11. Χρησιμότητα του μοντέλου ενός ματιού

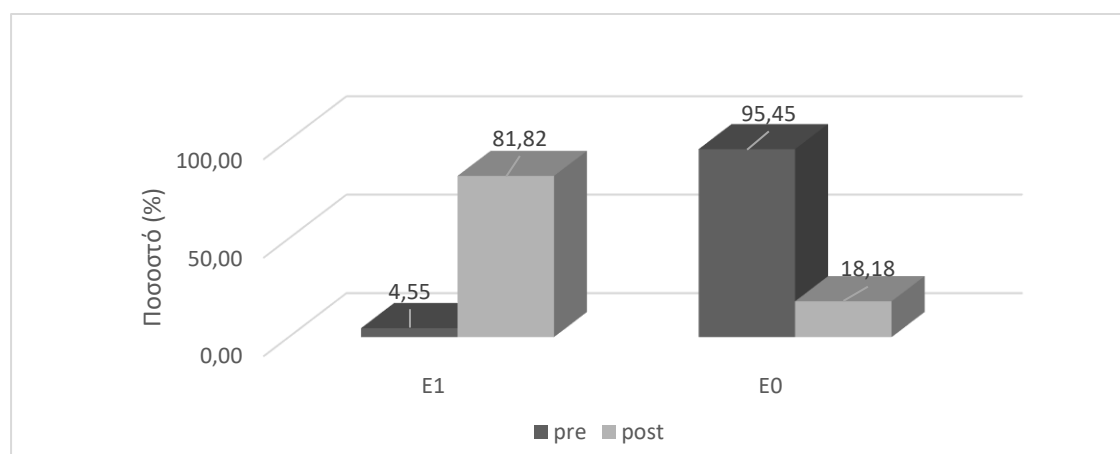


Οριζόντιος άξονας: E1: Εργαλείο μάθησης ή/και επικοινωνίας E0: όχι εργαλείο/ασαφής

EE9γ. Ονομασία του μοντέλου ενός ματιού

Οι μαθητές κλήθηκαν να δώσουν τίτλο στην κατασκευή ενός ματιού. Στο γράφημα 4.12 φαίνεται ότι πριν την εφαρμογή της ΔΜΑ μόνο το 4,55% των μαθητών κατέγραψε έναν τίτλο με τον οποίο να δηλώνεται άμεσα ή έμμεσα ότι η κατασκευή αποτελεί αναπαράσταση ενός ματιού (E1). Αντίθετα μετά την εφαρμογή το 81,82% των απαντήσεων κατέγραψαν έναν τίτλο από τον οποίο φαίνεται πως αναγνώρισαν την κατασκευή, ως μια αναπαράσταση του ματιού. Παράδειγμα απάντησης σε αυτό το επίπεδο είναι το εξής: «Μοντέλο ματιού. Αναπαράσταση ματιού». Η διαφορά μεταξύ της αρχικής γνωστικής κατάστασης με την τελική θεωρείται στατιστικά σημαντική με βάση την ανάλυση Wilcoxon ($z = 4,123, p = ,000$).

Γράφημα 4.12. Ονομασία του μοντέλου ενός ματιού

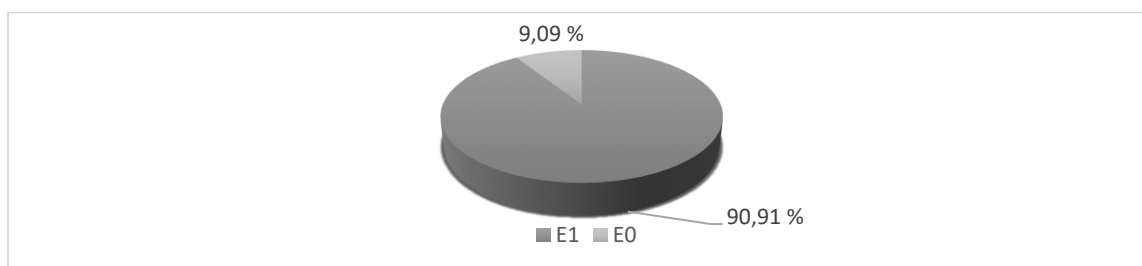


Οριζόντιος άξονας: E1: αναπαράσταση E0: όχι αναπαράσταση/ασαφής

EE9δ. Χρησιμότητα του μοντέλου της ίωσης

Τα αποτελέσματα αυτά αφορούν μόνο την τελική μέτρηση. Οι μαθητές κλήθηκαν να εξηγήσουν γιατί ήταν χρήσιμο ένα μοντέλο της ίωσης που επεξεργάστηκαν στην τάξη. Από το γράφημα 4.13 φαίνεται ότι το 90,91% μαθητών θεωρεί το μοντέλο ως ένα εργαλείο μάθησης ή/και επικοινωνίας (E1), ενώ μόνο το 9,09% δεν αναγνωρίζει το μοντέλο ως εργαλείο (E0).

Γράφημα 4.13. Χρησιμότητα του μοντέλου της ίωσης

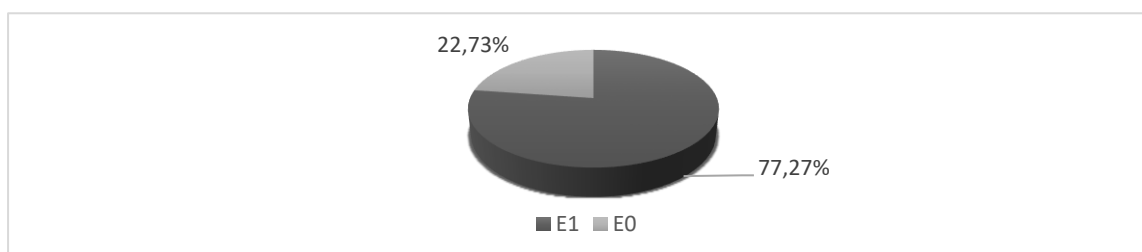


E1: Εργαλείο οπτικοποίησης, κατανόησης, επικοινωνίας E0: όχι εργαλείο/ασαφής

ΕΕ9ε. Χρησιμότητα πολλαπλών μοντέλων

Στους μαθητές δόθηκαν εικόνες με διαφορετικά μοντέλα που επεξεργάστηκαν για το φαινόμενο της ίωσης και ρωτήθηκαν αν είναι χρήσιμο να υπάρχουν διαφορετικά μοντέλα για το ίδιο φαινόμενο. Από το γράφημα 4.14 φαίνεται ότι το 77,27% των μαθητών θεωρεί πως είναι χρήσιμα τα διαφορετικά μοντέλα καθώς προσφέρουν διαφορετικές πληροφορίες ή έχουν διαφορετικά πλεονεκτήματα (E1). Χαρακτηριστική απάντηση για το E1 αποτελεί η εξής: «Ναι γιατί το κάθε μοντέλο μπορεί να θέλει να τονίσει κάτι διαφορετικό». Αντίθετα το 22,73% δεν θεωρεί χρήσιμα τα διαφορετικά μοντέλα (E0).

Γράφημα 4.14. Χρησιμότητα διαφορετικών μοντέλων για το φαινόμενο της ίωσης



E1: διαφορετικές πληροφορίες/πλεονεκτήματα E0: όχι διαφορετικές πληροφορίες/πλεονεκτήματα-ασαφής.

ΕΕ10. Κατά πόσο επηρεάζει η εξέλιξη της επιστημολογικής γνώσης των μαθητών για τα μοντέλα τις αντιλήψεις των μαθητών για τη Ν-ΕΤ;

Για την απάντηση του ερωτήματος αυτού χρησιμοποιήσαμε τα αποτελέσματα από τα γραπτά ερωτηματολόγια για τις Κ.Α. Π1-Π7 τα οποία αφορούν το περιεχόμενο της Ν-ΕΤ και από τις Κ.Α. Μ1-Μ5, τα οποία αφορούν την επιστημολογική γνώση για τη φύση και τον ρόλο των μοντέλων.

Πρώτο βήμα των στατιστικών αναλύσεων ήταν να διασφαλίσουμε την αξιοπιστία της ανάλυσης των δεδομένων η οποία περιγράφεται αναλυτικά στην ενότητα 3.6. Στη συνέχεια, μετρήσαμε την αξιοπιστία της εσωτερικής συνέπειας για τις Κ.Α. Π1-Π7 και τις Κ.Α. Μ1-Μ5 χρησιμοποιώντας τον συντελεστή άλφα του Cronbach's (Cronbach's Alpha). Οι τιμές του συντελεστή άλφα κυμαίνονται από 0 έως 1. Γενικά, για ικανοποιητική συνάφεια ο δείκτης πρέπει να είναι μεγαλύτερος του 0.70 (Kline, 2000). Από τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης φαίνεται ότι για το περιεχόμενο της Ν-ΕΤ στο σύνολό του (αρχική και τελική μέτρηση) ο δείκτης άλφα είναι 0.83 (αρχική μέτρηση = 0.58, τελική μέτρηση = 0.84). Όσον αφορά την επιστημολογική γνώση για τα μοντέλα συνολικά ο δείκτης άλφα είναι 0.68 (αρχική μέτρηση = 0.20, τελική μέτρηση 0.73).

Στα αποτελέσματα για την επιστημολογική γνώση για τα μοντέλα παρατηρούμε ότι στο ο δείκτης άλφα συνολικά είναι στα όρια του αποδεκτού 0.68. Επισημαίνεται ότι στην αρχική μέτρηση ο δείκτης άλφα είναι ιδιαίτερα χαμηλός (0.20). Αυτό συμβαίνει γιατί δύο από τα πέντε έργα για τα μοντέλα που αφορούν τις Κ.Α. Μ4 και Μ5 δόθηκαν στους μαθητές μόνο στην τελική μέτρηση καθώς αφορούσαν μοντέλα τα οποία οι μαθητές χρησιμοποίησαν κατά την εφαρμογή της ΔΜΑ. Έτσι για το Μ4 και Μ5 θεωρήσαμε ότι η αρχική γνώση των μαθητών είναι στο χαμηλότερο επίπεδο (μηδέν) κάτι που σε συνδυασμό με το μικρό αριθμό υποκειμένων επηρεάζει συνολικά τον δείκτη άλφα.

Στη συνέχεια, μελετήσαμε το κατά πόσο παρατηρείται βελτίωση στην μάθηση του περιεχομένου της Ν-ΕΤ καθώς και στην επιστημολογική γνώση για τα μοντέλα. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιήσαμε την στατιστική ανάλυση του Paired Samples t-test. Η διαδικασία αυτή προσφέρει πληροφορίες για την ισότητα των μέσων τιμών μιας μεταβλητής όταν αυτή μετριέται σε δύο εξαρτημένες ομάδες υποκειμένων. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι οι μαθητές βελτίωσαν την γνώση τους για το περιεχόμενο της Ν-ΕΤ από $M = 6,86$, $T.A. = 3.11$ σε $M = 17.36$, $T.A. 4.54$. Η βελτίωση είναι στατιστικά σημαντική καθώς $t(21) = 12.79$, $p < 0.001$. Αντίστοιχα, για την επιστημολογική γνώση για τα μοντέλα βελτίωσαν τις επιδόσεις τους από $M = 0.45$, $T.A. = 0.60$ σε $M = 4.23$, $T.A. 1.27$. Η διαφορά είναι στατιστικά σημαντική καθώς $t(21) = 14.84$, $p < 0.001$.

Επιπλέον, μελετήσαμε τη συσχέτιση μεταξύ των εξής μεταβλητών: α) αρχική γνώση για το περιεχόμενο της N-ET, β) αρχική επιστημολογική γνώση για τα μοντέλα, γ) τελική γνώση για το περιεχόμενο της N-ET και δ) τελική επιστημολογική γνώση για τα μοντέλα. Από τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης (πίνακας 3.6) φαίνεται ότι υπάρχει ισχυρή στατιστικά σημαντική συσχέτιση μεταξύ της τελικής επιστημολογικής γνώσης και της τελικής γνώσης για το περιεχόμενο της N-ET $r = 0,74$ $p < 0,01$ και μέτρια στατιστικά σημαντική συσχέτιση μεταξύ της αρχικής με την τελική γνώση για το περιεχόμενο της N-ET $r = 0,55$, $p < 0,01$.

Πίνακας 3.6: Συσχέτιση μεταξύ τεσσάρων μεταβλητών (N=22)

		CONTENT _PRE	MODELS _PRE	CONTENT _POST	MODEL S_POST
CONTENT_PRE	Pearson Correlation	1	,498*	,547**	,346
	Sig. (2-tailed)		,018	,008	,114
MODELS_PRE	Pearson Correlation	,498*	1	,464*	,360
	Sig. (2-tailed)	,018		,030	,099
CONTENT_POST	Pearson Correlation	,547**	,464*	1	,736**
	Sig. (2-tailed)	,008	,030		,000
MODELS_POST	Pearson Correlation	,346	,360	,736**	1
	Sig. (2-tailed)	,114	,099	,000	

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Όσον αφορά το κατά πόσο επηρεάζει η εξέλιξη της επιστημολογικής γνώσης των μαθητών για τα μοντέλα τις αντιλήψεις των μαθητών για τη N-ET, χρησιμοποιήσαμε την ανάλυση παλινδρόμησης. Η αρχική μας υπόθεση είναι η εξής: «Η ρητή διδασκαλία για τη φύση και τον ρόλο των μοντέλων θα βοηθήσει στην κατανόηση του περιεχομένου της N-ET». Ως εκ τούτου εξαρτημένη μεταβλητή αποτέλεσε η τελική μέτρηση για το περιεχόμενο της N-ET, ενώ ανεξάρτητες μεταβλητές ήταν η τελική μέτρηση για την επιστημολογική γνώση σχετικά με τα μοντέλα (MODELS_POST) καθώς και η αρχική μέτρηση για το περιεχόμενο της N-ET (CONTENT_PRE).

Η ανάλυση παλινδρόμησης για την τελική γνωστική κατάσταση των μαθητών σχετικά με το περιεχόμενο της N-ET, με παράγοντα πρόβλεψης την αρχική γνωστική κατάσταση για το περιεχόμενο της N-ET (model 1, πίνακας 3.7) αποκάλυψε ότι το 26%

της εξηγούμενης διακύμανσης των επιδόσεων στην εννοιολογική κατανόηση σχετικά με το περιεχόμενο της N-ET εξηγείται από την προηγούμενη σχετική γνώση πριν την παρέμβαση $F_{(1,20)} = 8.549, p < 0.01, R^2_{\text{Adjusted}} = 0.264$. Επιπλέον, η κατανόηση του ρόλου και της φύσης των μοντέλων μετά την παρέμβαση ερμηνεύει ακόμη 34% της συνολικής κατανόησης του περιεχομένου της N-ET, με συνέπεια, οι δύο αυτές μεταβλητές (η προϋπάρχουσα γνώση σχετικά με την N-ET και η κατανόηση της φύσης και του ρόλου των μοντέλων) να ερμηνεύουν το 60.1% της συνολικής διακύμανσης στην N-ET μετά την παρέμβαση, $F_{(1,19)} = 17.904, p < 0.001, R^2_{\text{Adjusted}} = 0.601$.

Πίνακας 3.7: Παράγοντες που προβλέπουν την μάθηση του περιεχομένου της N-ET

	R ²	R ² Change	F	Sig.	Beta	t	Sig.	Partial
Model 1	.299	.264	8.549	.008				
CONTENT_PRE					.547	2.924	.008	
Model 2	.639	.601	17.904	.000				
CONTENT_PRE					.332	2.261	.036	
MODELS_POST					.621	4.231	.000	.697

4.2 Αποτελέσματα από δύο Μελέτες περίπτωσης

Για κάθε μια από τις μελέτες περίπτωσης θα παρουσιάζονται αναλυτικά οι απαντήσεις τους από το γραπτό ερωτηματολόγιο και την ημιδομημένη συνέντευξη για κάθε κατεύθυνση ανάλυσης. Η ανάλυση των δεδομένων βασιστήκαμε στα επίπεδα που διαμορφώθηκαν από την ανάλυση των γραπτών ερωτηματολογίων (βλέπε ενότητα 3.5). Στα αποσπάσματα των συνεντεύξεων ο κωδικός «E» αναφέρεται στον ερευνητή ενώ ο κωδικός «M» στον μαθητή.

4.2.1 Μελέτη περίπτωσης M4

EE 1: Πώς εξελίσσεται η νοηματοδότηση της ναυτεχνολογίας από τους μαθητές;

Για την KA1 ο M4 στο γραπτό Ερωτηματολόγιο Αρχικής Μέτρησης (EAM) έγραψε:

«Είναι μια σύνθετη λέξη που βγαίνει από το νανος + Τεχνολογία (MA1). Η έννοια αυτής της λέξης είναι ότι μελετάμε το ποιο μικρό αντικείμενο που υπάρχει στον κόσμο (MA2). Επίσης πάνω σε αυτό κάνουμε πειράματα (MA3)».

Στην απάντηση του M4 στο γραπτό ερωτηματολόγιο εντοπίζονται 3 MA: «νανος + Τεχνολογία», «Η έννοια αυτής της λέξης είναι ότι μελετάμε το ποιο μικρό αντικείμενο που υπάρχει στον κόσμο», «πάνω σε αυτό [το μικρότερο αντικείμενο] κάνουμε πειράματα». Από τις δυο πρώτες MA φαίνεται ότι ο μαθητής προσπαθεί να νοηματοδοτήσει τον όρο νανοτεχνολογία με έναν συλλογισμό που βασίζεται στην ετυμολογία της λέξης «νανοτεχνολογία». Μάλιστα συνδέει την μελέτη του πιο μικρού αντικειμένου με την διεξαγωγή πειραμάτων. Η απάντηση του M4 στο EAM κατατάχθηκε στο επίπεδο «Μερικώς επιστημονική άποψη» καθώς αναφέρεται στη *Μεγάλη Ιδέα* «Μέγεθος» αλλά όχι με σαφήνεια, χωρίς να χρησιμοποιεί όρους του επιστημονικού λεξιλογίου της N-ET.

Στο γραπτό Ερωτηματολόγιο Τελικής Μέτρησης (ETM) ο M4 αναφέρει: *«Η νανοτεχνολογία είναι η παρατήρηση κάποιων αντικειμένων του νανόκοσμου και γενικά του κόσμου που δε μπορούμε να δούμε με το μάτι».*

Στην απάντηση του M4 η MA «παρατήρηση κάποιων αντικειμένων του νανόκοσμου» συνδέεται με τη *Μεγάλη Ιδέα* «Μέγεθος» με σαφήνεια καθώς ο όρος «νανόκοσμος», είναι όρος του επιστημονικού λεξιλογίου της N-ET. Πιο συγκεκριμένα οι Stevens et al. (2009) αναφέρουν ότι μπορούμε να επιμερίσουμε το μεγάλο εύρος των μεγεθών σε κλίμακες ή κόσμους χρησιμοποιώντας όρους όπως νανόκοσμος, μικρόκοσμος, μακρόκοσμος. Η απάντηση του M4 ταξινομήθηκε στην κατηγορία «Επιστημονική άποψη».

Στην συνέντευξη ο M4 αναφέρει:
*«Ε. Ωραία. Στην πρώτη ερώτηση: 1. Ένας μαθητής διάβασε στο διαδίκτυο την λέξη νανοτεχνολογία και αναρωτήθηκε τι άραγε να σημαίνει. Προσπάθησε να του εξηγήσεις τι νομίζεις εσύ ότι είναι η νανοτεχνολογία. Διάβασε την απάντησή σου να τη θυμηθείς.
Μ. Η νανοτεχνολογία είναι η παρατήρηση κάποιων αντικειμένων του νανόκοσμου και γενικά του κόσμου που δε μπορούμε να δούμε με το μάτι.
Ε. Ωραία. Έχεις να προσθέσεις κάτι; Με τι άλλο μπορεί να ασχολείται η νανοτεχνολογία;
Μ. Κάνουμε διάφορα πειράματα, αναπαραστήσαμε διάφορα αντικείμενα (MA1) και παρατηρήσαμε.»*

E. Τα πράγματα του νανόκοσμου με ποιο τρόπο μπορώ να τα δω;

M. Του νανόκοσμου; Με το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (MA2) ή με μοντέλα (MA3).

E. Να σε ρωτήσω κάτι άλλο. Κάποιο προϊόν της νανοτεχνολογίας;

M. Προϊόν;

E. Ναι κάτι που να έχει φτιάξει η νανοτεχνολογία που να μας είναι χρήσιμο;

M. Εκείνο το νανόφιλτρο (MA4) που είπαμε.

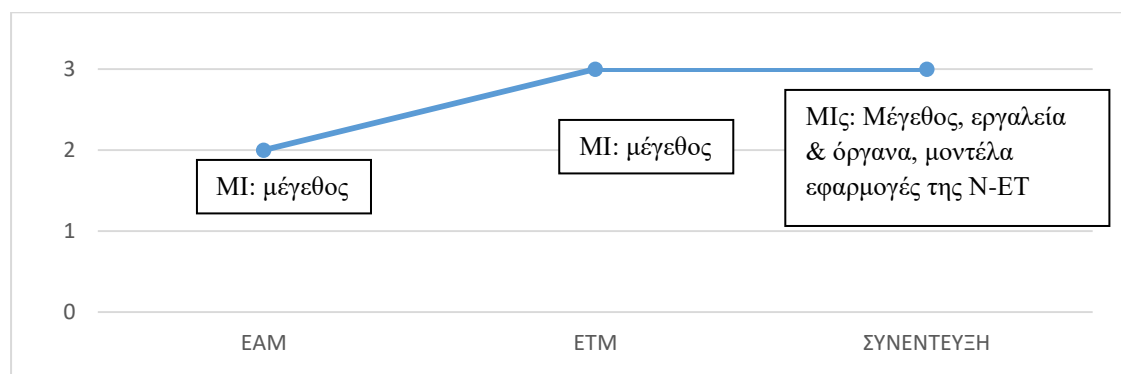
E. Ναι. Δηλαδή; Τι είναι αυτό;

M. Το νανόφιλτρο είναι κάτι σαν μικρό σφουγγαράκι που έχει πάρα πολλές μικρές τρύπες που δε μπορούν να περάσουν ούτε καν οι ιοί και έτσι καθαρίζει το νερό (MA5)».

Στα δεδομένα της συνέντευξης για τον M4 εντοπίζονται μονάδες ανάλυσης α) για την ΜΙ «εργαλεία και όργανα» π.χ. «ηλεκτρονικό μικροσκόπιο» (MA2) β) για τη ΜΙ «μοντέλα» π.χ. αναφέρει ότι τα αντικείμενα του νανόκοσμου μπορούμε να τα δούμε «με το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο ή με μοντέλα» (MA3) γ) για την ΜΙ «εφαρμογές της N-ET» π.χ. «το νανόφιλτρο» (MA4 και MA5). Από τα δεδομένα αυτά φαίνεται ενώ στο γραπτό ερωτηματολόγιο αναγνωρίστηκαν μονάδες ανάλυσης μόνο για την ΜΙ «μέγεθος», στην ημιδομημένη συνέντευξη, με την υποστήριξη βοηθητικών ερωτήσεων αναγνωρίζονται MA για άλλες τρεις ΜΙ. Αξίζει να σημειωθεί πως ο M4 αναγνωρίζει τα μοντέλα ως μέσα αισθητοποίησης του νανόκοσμου κάτι που θα σχολιαστεί πιο αναλυτικά στην κατεύθυνση ανάλυσης 11.

Για την KA1 μπορούμε να πούμε πως ο μαθητής πριν την εφαρμογή της ΔΜΑ είχε μια μερικώς επιστημονική άποψη για τη N-ET (επίπεδο 2), ενώ μετά την ΔΜΑ μετατοπίστηκαν οι απαντήσεις του προς την επιστημονική άποψη (επίπεδο 3). Μάλιστα με βάση τα δεδομένα τόσο από το ETM όσο και από την συνέντευξη νοηματοδοτεί τη N-ET με όρους που σχετίζονται με 4 Μεγάλες Ιδέες (γράφημα 4.15).

Γράφημα 4.15. Εξέλιξη της νοηματοδότηση της N-ET

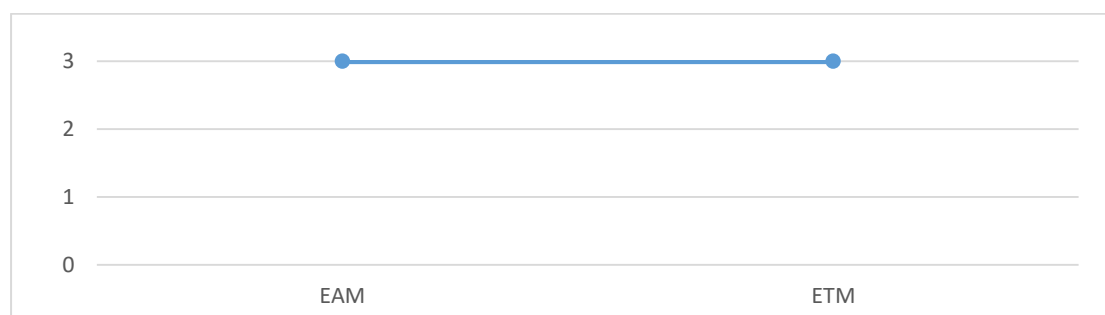


Στον κατακόρυφο άξονα: 3: επιστημονική άποψη, 2: μερικώς επιστημονική άποψη, 1: μακριά από την επιστημονική άποψη, 0: καμία απάντηση/ δεν ξέρω

ΕΕ 2: Πώς εξελίσσονται οι ιδέες των μαθητών για το μικρότερο αντικείμενο που υπάρχει;

Ο Μ4 ως το μικρότερο αντικείμενο που υπάρχει ανέφερε «τα άτομα (ηλεκτρόνια, νετρόνια, πρωτόνια)» στο ΕΑΜ. Στο ΕΤΜ, κατέγραψε ως μικρότερο το «DNA». Και στις δύο περιπτώσεις οι ΜΑ που εντοπίζονται εντάσσονται στο υψηλότερο επίπεδο (Ε3) (γράφημα 4.16). Δηλαδή ο μαθητής πριν και μετά την εφαρμογή της ΔΜΑ ανέφερε αντικείμενα που ανήκουν στον νανόκοσμο ή την ατομική κλίμακα. Υπενθυμίζεται ότι στόχος της ΔΜΑ δεν ήταν να γίνει διάκριση μεταξύ του νανόκοσμου και του ατομικού ή υποατομικού κόσμου.

Γράφημα 4.16. Ιδέες για το μικρότερο αντικείμενο

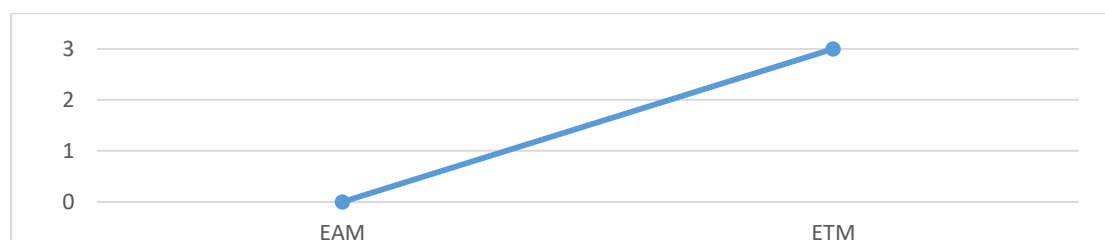


Κατακόρυφος άξονας: 3:αντ. νανόκοσμου- ατομικού κόσμου, 2: αντ. μικρόκοσμου, 1: αντ. μακρόκοσμου, 0: ασαφής/ καμία απάντηση

ΕΕ 3: Πως εξελίσσεται η γνώση των μαθητών για τα όργανα παρατήρησης του μακρόκοσμου, του μικρόκοσμου και του νανόκοσμου;

Στο ΕΑΜ, ο Μ4 κατέγραψε το μικροσκόπιο ως όργανο με το οποίο μπορεί να παρατηρήσει «τα άτομα (ηλεκτρόνια, πρωτόνια, νετρόνια)». Ως εκ τούτου η απάντηση αυτή εντάχθηκε στο επίπεδο Ε0. Στο ΕΤΜ, ανέφερε το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο για το «DNA». Για αυτό και η απάντηση αυτή του μαθητή εντάχθηκε στο υψηλότερο επίπεδο (Ε3) (γράφημα 4.17).

Γράφημα 4.17. Γνώσεις για τα όργανα παρατήρησης



Κατακόρυφος άξονας: 3: σωστό όργανο για αντ. νάνο, 2: σωστό όργανο για αντ. μικρο, 1: σωστό όργανο για αντικείμενο μάκρο, 0: ασαφής/καμία απάντηση

ΕΕ 4: Πώς εξελίσσεται η ικανότητα των μαθητών να ταξινομήσουν αντικείμενα τριών διαφορετικών κατηγοριών με κριτήριο το όργανο παρατήρησης τους;

Για την ΚΑ4 στο ΕΑΜ, ο Μ4 ταξινόμησε τα αντικείμενα στα κουτιά. Ωστόσο, δεν συμπλήρωσε το όργανο παρατήρησης στο έργο που σχετίζεται με το κριτήριο της ταξινόμησης. Έτσι η απάντησή του ταξινομήθηκε στο επίπεδο Ε0, το οποίο είναι το χαμηλότερο από τα τέσσερα επίπεδα. Στο ΕΤΜ, ο Μ4 τοποθέτησε τα αντικείμενα «άνθρωπος, μυρμήγκι, κόκκος αλατιού» στο κουτί 1 γιατί τα αντικείμενα αυτά μπορούμε να τα δούμε με το «μάτι», τα αντικείμενα «ερυθρό αιμοσφαίριο, κύτταρο κρεμμυδιού, πυρήνα κυττάρου» στο κουτί 2 επειδή μπορούμε να τα δούμε με «οπτικό μικροσκόπιο» και τα αντικείμενα «Ιό, DNA» στο κουτί 3 γιατί τα βλέπουμε «μόνο με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο». Επομένως, ταξινόμησε όλα τα αντικείμενα σωστά με κριτήριο τα σωστά όργανα παρατήρησης για κάθε κουτί, και η απάντηση εντάχθηκε στο υψηλότερο επίπεδο (Ε3).

Στη συνέντευξη σχετικά με την ΚΑ4 ο Μ4 αναφέρει:

« Ε. Ωραία. Στην ερώτηση 4. Ταξινόμησε τα παρακάτω αντικείμενα στα κουτιά με βάση το μέγεθος τους. Με τι κριτήριο χώρισες ή μάλλον αποφάσισες να βάλεις αυτά τα αντικείμενα σε αυτά τα κουτιά;

Μ. Πέρα από το ότι [τα έβαλα] με βάση το μέγεθός τους **με το τι μπορούμε να το δούμε (MA1)**. Το 1ο μπορούμε να το δούμε με το **μάτι**, το 2ο με **μικροσκόπιο** και το 3ο με **ηλεκτρονικό (MA2)**.

Ε. Έχεις ονομάσει τα κουτιά: μεγάλα μεσαία μικρά. Μπορείς να βρεις έναν άλλο τίτλο;

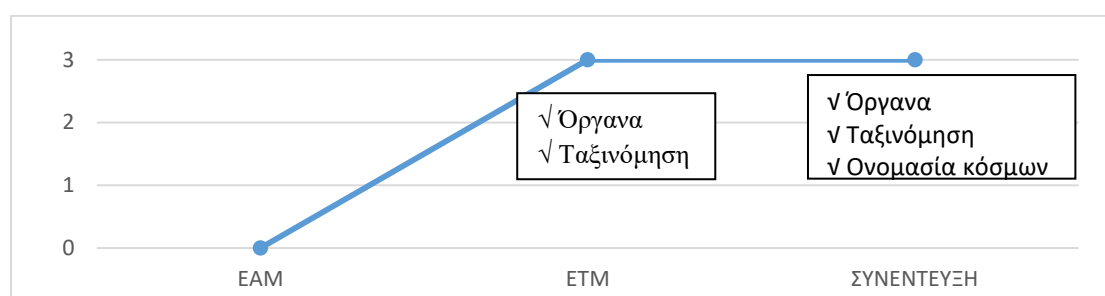
Μ. Ναι. **Με μάτι, με μικροσκόπιο και με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (MA3)**.

Ε. Ωραία, άλλο;

Μ. Εεε άλλο... **Μακρόκοσμος, μικρόκοσμος, νανόκοσμος (MA4)**»

Από τα δεδομένα της συνέντευξης φαίνεται πως ο Μ4 χρησιμοποιεί ως κριτήριο το όργανο παρατήρησης για να ταξινομήσει τα αντικείμενα στα κουτιά και μάλιστα καταγράφοντας τα σωστά όργανα παρατήρησης (MA1, MA2 και MA3). Ο μαθητής με δική του πρωτοβουλία στο ETM είχε ονομάσει τα κουτιά: «μεγάλα, μεσαία, μικρά». Όταν από τον ερευνητή ζητήθηκε να δώσει άλλους τίτλους στα κουτιά ανέφερε αρχικά τα όργανα παρατήρησης των αντικειμένων του εκάστοτε κουτιού (MA3), ενώ στη συνέχεια τα ονόμασε «Μακρόκοσμο, μικρόκοσμο και νανόκοσμο» (MA4). Οι νέες μονάδες ανάλυσης για την ερώτηση αυτή σε σχέση με το ETM είναι η ονομασία των τριών κόσμων που ανέφερε ο μαθητής χρησιμοποιώντας όρους του νανογραμματισμού (γράφημα 4.18).

Γράφημα 4.18. Ταξινόμηση



Στον κατακόρυφο άξονα: 3: σωστό όργανο- σωστή ταξ. όλων, 2: σωστό όργανο- λάθος ταξ. σε 1 αντικείμενο, 1: σωστό όργανο- λάθος ταξ. σε 2 αντικείμενα, 0: λάθος όργανο

Συμπερασματικά ο Μ4 πριν την εφαρμογή της ΔΜΑ αναφέρει αντικείμενα του νανόκοσμου- ατομικού κόσμου χωρίς να γνωρίζει το αντίστοιχο όργανο παραίτησής

τους καθώς και ότι ανήκουν σε τρεις διαφορετικούς κόσμους. Μετά την εφαρμογή της ΔΜΑ διαπιστώνουμε ότι έχει βελτιώσει τις απαντήσεις του όσον αφορά την ταξινόμηση των αντικειμένων στους τρεις κόσμους με κριτήριο το όργανο παρατήρησής τους και μπορεί να τους ονοματίσει.

ΕΕ 5: Πώς εξελίσσεται η ικανότητα των μαθητών να σειροθετούν αντικείμενα;

Ο Μ4 τόσο στο ΕΑΜ όσο και στο ΕΤΜ σειροθέτησε σωστά όλα τα αντικείμενα του μακρόκοσμου, του μικρόκοσμου και του νανόκοσμου και οι απαντήσεις του εντάχθηκαν στο υψηλότερο επίπεδο (Ε3).

Στη συνέντευξη σχετικά με τον συλλογισμό της σειροθέτησης αναφέρεται:

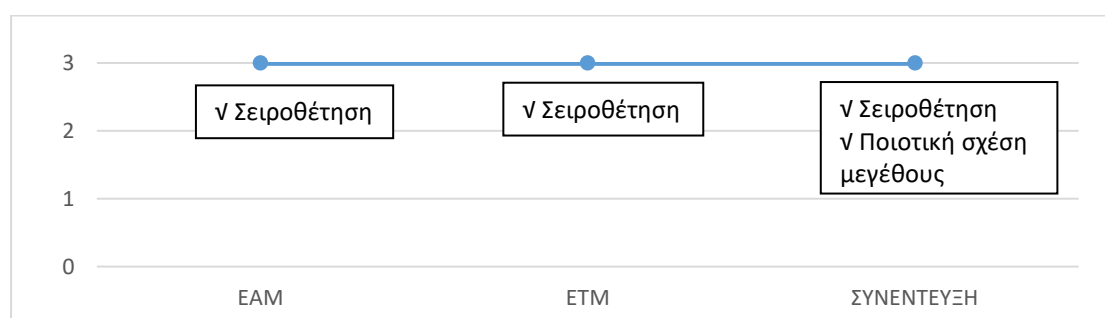
«Ε. Τοποθέτησε τα αντικείμενα από το μεγαλύτερο προς το μικρότερο. Τα έχεις βάλει σωστά στη σειρά πολύ ωραία. Να σου κάνω μια ερώτηση. Γιατί έχεις βάλει τον πυρήνα του κυττάρου μικρότερο από το κύτταρο του κρεμμυδιού; Πώς το αποφάσισες αυτό; Πώς το σκέφτηκες;

Μ. Γιατί το κρεμμύδι έχει κύτταρα αλλά ο πυρήνας είναι μέσα στο κύτταρο οπότε είναι μικρότερος (ΜΑ1).

Ε. Ωραία. Το DNA γιατί μικρότερο από τον ιό;

Μ. Γιατί είναι μέσα στον ιό (ΜΑ2)».

Γράφημα 4.19. Σειροθέτηση



Κατακόρυφος άξονας: 3: σωστή σειροθέτηση όλων, 2: σωστή σειροθέτηση αντ. του μάκρο & μικρο, 1: σωστή σειροθέτηση των αντ. του μάκρο & 1 τουλάχιστον λάθος στο μικρο ή νάνο, 0: λάθος σειρά των αντ. του μάκρο.

Στη συνέντευξη εντοπίζονται δύο μονάδες ανάλυσης σχετικές με τον συλλογισμό της σειροθέτησης (ΜΑ1 και ΜΑ2). Από αυτές τις μονάδες ανάλυσης

μπορούμε να πούμε ότι ο M4 χρησιμοποιεί τον συλλογισμό «όταν χωράει κάτι μέσα σε κάτι άλλο τότε είναι μικρότερό του», κάτι που αποτελούσε μαθησιακό της δεύτερης και τρίτης ενότητας της ΔΜΑ. Επομένως ο μαθητής έχει οικοδομήσει ένα κριτήριο για να αποφασίζει την ταξινόμηση μη ορατών αντικειμένων και αυτό είναι η ποιοτική σχέση μεγέθους (Tretter et al., 2006) (γράφημα 4.19).

ΕΕ 6: Πώς εξελίσσεται η περιγραφή του φαινομένου του λωτού από τους μαθητές;

Στο ΕΑΜ ο M4 ανέφερε «Γιατί τα κύτταρα του λάχανου δεν αφήνουν να περάσει μέσα το νερό. Και γι' αυτό μαζεύονται στην επιφάνεια και τα βλέπουμε». Η απάντηση αυτή εντάχθηκε στο επίπεδο E2, που αποτελεί την «μερικώς επιστημονική άποψη γιατί περιγράφεται μεν το φαινόμενο, αλλά δεν εντοπίζονται μονάδες ανάλυσης σχετικές με το επιστημονικό λεξιλόγιο της N-ET για το φαινόμενο αυτό.

Στο ETM κατέγραψε «Επειδή το λάχανο έχει **νανοεξογκώματα** τα οποία δεν τα διακρίνουμε με το μάτι και κρατάει το νερό στην επιφάνειά του (MA1)». Η απάντηση αυτή κατατάχθηκε στο E3, την «επιστημονική άποψη» καθώς περιγράφεται το φαινόμενο με όρους του επιστημονικού λεξιλογίου της N-ET και πιο συγκεκριμένα με τον όρο «νανοεξογκώματα».

Στη συνέντευξη ο M4 ανέφερε:

«Ε. Οκ. Τέλεια. Πάμε στην ερώτηση 7. Δυο αδέρφια, αφού έπλυναν ένα κομμάτι λάχανο για την σαλάτα του μεσημεριανού παρατήρησαν το εξής: «οι σταγόνες μόλις έπεφταν πάνω στο λάχανο γίνονταν στρόγγυλες σαν μπίλιες». Για ποιο λόγο νομίζεις ότι συμβαίνει αυτό;

Μ. Να το διαβάσω; Επειδή το λάχανο έχει νανοεξογκώματα τα οποία δε διακρίνουμε με το μάτι και κρατάει το νερό στην επιφάνειά του.

Ε. Πάρα πολύ ωραία. Έχεις να προσθέσεις κάτι;

Μ. Ναι. Δεν είναι μόνο αυτό, είναι και τέτοια η επιφάνεια και είναι ...υδροφιλικό; Υδροφιλική επιφάνεια...

Ε. Υδροφιλική;

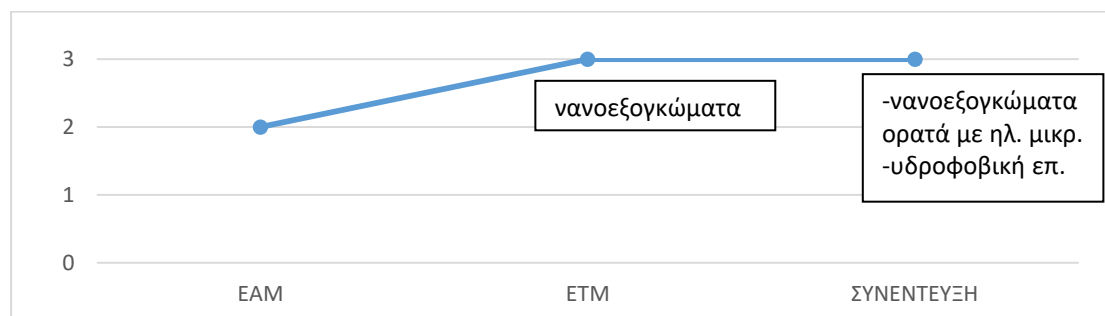
Μ. Όχι υδροφοβική (MA1).

Ε. Οκ. Αυτά τα νανοεξογκώματα με ποιο τρόπο μπορούμε να τα δούμε;

Μ. Με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (MA2)».

Από τη συνέντευξη ανιχνεύονται 2 νέες μονάδες ανάλυσης (MA1 και MA2) σχετικές με την επιστημονική άποψη. Φαίνεται πως ο M4 με τις κατάλληλες βοηθητικές ερωτήσεις να περιγράψει το φαινόμενο μετά την παρέμβαση χρησιμοποιώντας 3 μονάδες ανάλυσης που αντιστοιχούν στο επιστημονικό λεξιλόγιο της N-ET (γράφημα 4.20).

Γράφημα 4.20. Το φαινόμενο του λωτού



Στον κατακόρυφο άξονα: 3: επιστημονική άποψη, 2: μερικώς επιστημονική άποψη, 1: μακριά από την επιστημονική άποψη, 0: ασαφής/ καμία απάντηση/ δεν ξέρω

Επιπλέον στη συνέντευξη ο M4 ρωτήθηκε τι κοινό έχει η επιφάνεια του λάχανου με το υδροφοβικό ξύλο. Στο παρακάτω απόσπασμα της συνέντευξης παρατίθεται ο σχετικός διάλογος.

«Ε. Να σε ρωτήσω αν είχαμε ένα κομμάτι ξύλο το οποίο είχαμε ψεκάσει με σπρέι και γινόταν υδροφοβικό, όπως είχαμε τα ξύλα για παράδειγμα στο φεστιβάλ και θέλαμε να φτιάξουμε ένα μοντέλο, πώς περίπου θα μπορούσαμε να φτιάξουμε το μοντέλο;

Μ. Μμμ... Υδροφοβικό άρα θα έχει... η σταγόνα θα απομακρύνεται δε θα μένει γιατί είναι υδροφοβικό (MA1). Άρα... μμμ μπορούμε να βάζαμε κάτω ας πούμε σαν πλαστελίνη και πάνω ας πούμε μπιλίτσες που να φεύγουν και να γράφουμε από κάτω ότι είναι υδροφοβική επιφάνεια.

Ε. Θα είχε κάτι κοινό με το μοντέλο που φτιάξαμε με το λάχανο;

Μ. Ναι

Ε. Τι;

Μ. Ότι οι σταγόνες δε θα έμεναν εκεί (MA2).

Ε. Ένα αυτό. Κάτι άλλο; Η επιφάνεια;

Μ. Δε θα.. θα ήτανε λεία δε θα ήτανε ανώμαλη (MA3)...

Ε. Η επιφάνεια του λάχανου είναι ανώμαλη;

M. Λίγο ναι αλλά δε μπορούμε να τη δούμε.

E. Να σε ρωτήσω διαφορετικά. Άμα κοιτούσαμε με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο την επιφάνεια του λάχανου τι θα βλέπαμε;

M. Νανοεξογκώματα

E. Στο υδροφοβικό ξύλο;

M. Ότι θα ήτανε λείο (MA4) και δε θα.. οι σταγόνες δε θα έμεναν εκεί θα έφευγαν θα κυλούσαν (MA5).

E. Θα είχε ή δε θα είχε νανοεξογκώματα το ξύλο; Το υδροφοβικό;

M. Δε θα είχε (MA6).

E. Οκ. Και πως θα γινόταν υδροφοβικό;

M. Με αυτό που ψεκάσαμε (MA7)».

Από τα δεδομένα της συνέντευξης φαίνεται πως ο M4 σε μια εφαρμογή της NET μπορεί να περιγράψει το μακροσκοπικό μέρος του φαινομένου, δηλαδή να αναφέρει ότι οι σταγόνες κυλάνε (MA1, MA2, MA5). Δε το σχετίζει με τις εξαρτώμενες από το μέγεθος ιδιότητες, και συγκεκριμένα με το μέγεθος των νανοεξογκωμάτων. Μάλιστα θεωρεί την επιφάνεια του υδροφοβικού ξύλου λεία και όχι τραχιά (MA4, MA6), αποδίδοντας την υδροφοβικότητα στο σπρέι με το οποίο είχε ψεκαστεί το ξύλο.

EE 7: Πώς εξελίσσεται η περιγραφή του μηχανισμού φιλτραρίσματος, με φίλτρα νανοτεχνολογίας από τους μαθητές;

Στο EAM ο M4 αναφέρει: «Στην αρχή θα του έλεγα: τι είναι το νανόφιλτρο; Πώς λειτουργεί; Σε τι μας βοηθάει; Σε τι μας χρησιμεύει; Αν είναι υγιεινό να πίνουμε από αυτό το νερό;». Η απάντηση αυτή ταξινομήθηκε στο E0, «μακριά από την επιστημονική άποψη» καθώς δεν περιγράφεται ο μηχανισμός φιλτραρίσματος χρησιμοποιώντας τον συλλογισμό της σειροθέτησης. Στο ETM επίσης η απάντηση του μαθητή ταξινομείται στην E0 «Το νανόφιλτρο λειτουργεί όπως μια σταγόνα όταν πέσει πάνω σε ένα φύλλο ή λάχανο που περνάει από τα νανοεξογκώματα του και καθαρίζουν τις βρωμιές. Έτσι μετά από πολύ λίγο έχουμε καθαρό νερό». Από την απάντηση του μαθητή φαίνεται πως συγχέει το φαινόμενο της υδροφοβικότητας με το φιλτράρισμα του νερού.

Από τα δεδομένα της συνέντευξης φαίνεται πως ο μαθητής με την υποστήριξη βοηθητικών ερωτήσεων δίνει απαντήσεις που ανήκουν στην κατηγορία επιστημονική άποψη (E1) (γράφημα 4.21).

« E. Το νανόφιλτρο γιατί το λέμε νανόφιλτρο;

M. Γιατί είναι ένα φίλτρο που έχει νανότρυπες (MA1). Δηλαδή πάρα πολύ μικρές τρύπες.

E. Τι ρόλο παίζουν αυτές οι τρύπες;

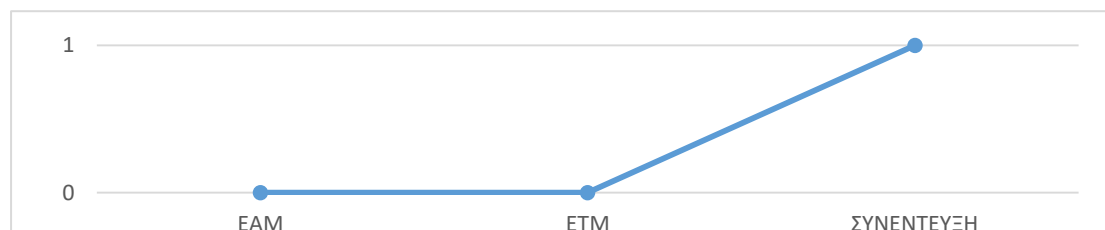
M. Καθαρίζει ακόμα και τους ιούς, πάρα πολύ μικρά αντικείμενα στο νανόκοσμο (MA2)

E. Πώς είναι δυνατόν αφού είναι και οι τρύπες νάνο και ο ιός νάνο να μη χωράει να περάσει ο ιός;

M. E δε θα χωράει γιατί οι τρύπες είναι νάνο αλλά αυτό δε λέει ότι θα είναι ίσες σε μέγεθος μπορεί να είναι μικρότερες (MA3)».

Οι τρεις μονάδες ανάλυσης που εντοπίζονται δείχνουν ότι ο μαθητής χρησιμοποιεί συλλογισμό βασισμένο στην σειροθέτηση των αντικειμένων για να περιγράψει τον μηχανισμό φιλτραρίσματος. Πιο συγκεκριμένα θεωρεί τις «νανότρυπες» ως μικρότερες σε μέγεθος από τους «ιούς», οι οποίοι δε μπορούν να τις διαπεράσουν.

Γράφημα 4.21. Περιγραφή του μηχανισμού φιλτραρίσματος



Στον κατακόρυφο άξονα: 1: επιστημονική άποψη, 0: μακριά από την επιστημονική άποψη

EE 8: Σε ποιο βαθμό είναι ικανοί οι μαθητές να περιγράψουν την επίδραση του νανόκοσμου στον μικρόκοσμο και τον μακρόκοσμο;

Το έργο για την περιγραφή του φαινομένου της ίωσης περιλαμβάνεται μόνο στο ETM και στην ημιδομημένη συνέντευξη.

Όσον αφορά το γραπτό ερωτηματολόγιο ο M4 στο έργο αυτό αναφέρει:

«Όταν ένα άτομο είναι άρρωστο και φτερνιστεί ή βήξει πάνω σένα άλλο άτομο, τότε ο ιός εισχωρεί μέσα στον οργανισμό του άλλου ατόμου. Ο ιός κατευθύνεται προς τα κύτταρα και έτσι αρρωσταίνει ο οργανισμός. Ο Νανόκοσμος είναι ο ιός και το DNA, ο μικρόκοσμος είναι τα κύτταρα και έτσι ο ιός εισχωρώντας στα κύτταρα αρρωσταίνει τον άνθρωπο που ανήκει στον μακρόκοσμο». Η απάντηση του μαθητή εντάσσεται στο υψηλότερο επίπεδο (E1), καθώς περιγράφει το φαινόμενο της ίωσης ταξινομώντας παράλληλα τα αντικείμενα στον μακρόκοσμο, στον μικρόκοσμο και στον νανόκοσμο.

Στη συνέντευξη που έδωσε ο μαθητής, για το φαινόμενο της ίωσης, παρατίθεται το εξής απόσπασμα:

«Τέλεια. Για δεξ τι απάντησες στην ερώτηση για την ίωση, δηλαδή το πώς ο νανόκοσμος επηρεάζει τον μικρόκοσμο και τον νανόκοσμο στην περίπτωση της ίωσης. Τι έχεις γράψει;

Μ. Όταν ένα άτομο είναι άρρωστο και φτερνιστεί ή βήξει πάνω σε ένα άλλο άτομο τότε ο ιός εισχωρεί μέσα στον οργανισμό του άλλου ατόμου. Ο ιός κατευθύνεται προς τα κύτταρα και έτσι αρρωσταίνει ο οργανισμός. Ο νανόκοσμος είναι ο ιός και το DNA ο μικρόκοσμος είναι τα κύτταρα και έτσι ο ιός εισχωρεί στα κύτταρα και αρρωσταίνει τον άνθρωπο που ανήκει στον μακρόκοσμο.

Ε. Καταπληκτικά. Έχεις να προσθέσεις κάτι;

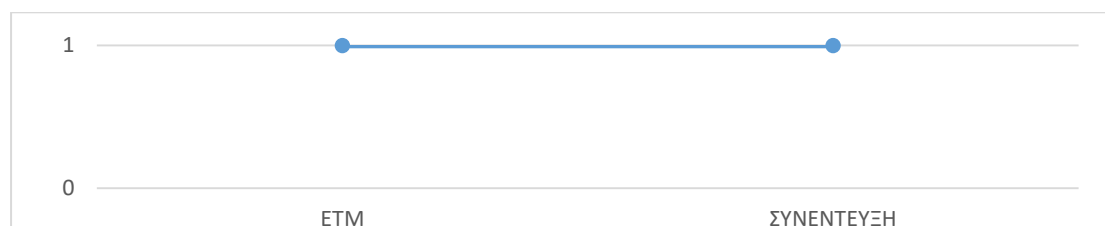
Μ. Όχι

Ε. Άμα κάποιος ερχόταν και σου έλεγε στο φεστιβάλ να του εξηγήσεις αυτό το πράγμα χωρίς μοντέλο τι θα του έλεγες; Δηλαδή πώς ο νανόκοσμος τον μικρόκοσμο και τον νανόκοσμο με λίγα λόγια;

Μ. Ότι ο ιός που είναι ο νανόκοσμος εισχωρεί στα κύτταρα που είναι ο μικρόκοσμος και έτσι αφού αρρωσταίνει τα κύτταρα αρρωσταίνει ο οργανισμός του ατόμου και έτσι αρρωσταίνει το άτομο που είναι ο μακρόκοσμος. Έτσι ο νανόκοσμος αρρωσταίνει τον μακρόκοσμο (ΜΑ1)».

Όπως και στο γραπτό ερωτηματολόγιο έτσι και στην συνέντευξη οι απαντήσεις του Μ4 εντάσσονται στο υψηλότερο επίπεδο (γράφημα 4.22).

Γράφημα 4.22. Επίδραση του νανόκοσμου στο μικρόκοσμο και στο μακρόκοσμο



Στον κατακόρυφο άξονα: 1: επιστημονική άποψη, 0: μακριά από την επιστημονική άποψη

ΕΕ 9 Πώς εξελίσσονται οι γνώσεις των μαθητών για την φύση και τον ρόλο των μοντέλων;

ΕΕ 9α: Η φύση του μοντέλου

Για την Κ.Α.9, οι μαθητές καλούνταν να απαντήσουν το ερώτημα: «Γράψε μία πρόταση, την πιο αντιπροσωπευτική για σένα, που να περιέχει τη λέξη μοντέλο».

Στο ΕΑΜ, ο Μ4 αναφέρει: «Το μοντέλο είναι το αρχικό πείραμα που κάνει κάποιος. Και πάνω σε αυτό γίνονται οι έρευνες». Η απάντηση αυτή του μαθητή δεν μπορεί να συνδεθεί με τη ιδέα ότι το μοντέλο είναι αναπαράσταση, αλλά είναι ασαφής και εντάσσεται στο επίπεδο Ε0.

Στο ΕΤΜ, ο Μ4 καταγράφει: «Το μοντέλο είναι η **αναπαράσταση ενός αντικειμένου (ΜΑ1)**». Στην απάντηση αυτή του Μ4 εντοπίζεται ΜΑ που να συνδέεται με την ιδέα ότι το μοντέλο είναι αναπαράσταση και κατατάσσεται στο υψηλότερο επίπεδο (Ε1).

Στη συνέντευξη ο Μ4 για το ίδιο έργο αναφέρει:

«Ε. Τέλεια. Μοντέλα. Γράψε μια πρόταση που να περιέχει τη λέξη μοντέλο.

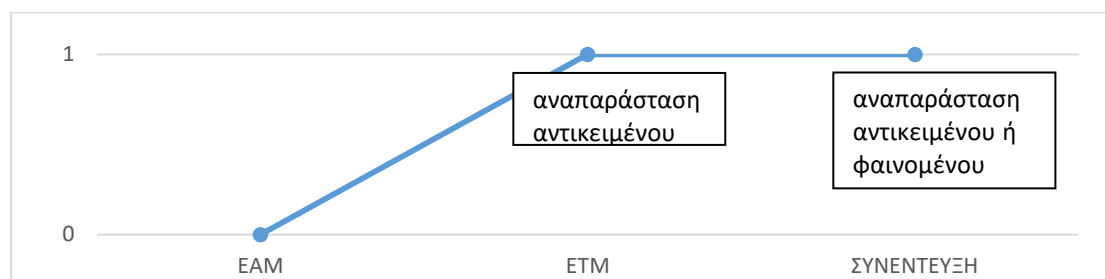
Μ. Ναι το μοντέλο είναι η **αναπαράσταση ενός αντικειμένου (ΜΑ1)** ή ενός **φαινομένου (ΜΑ2)**.

Ε. Έχεις να προσθέσεις κάτι;

Μ. Όχι».

Αυτό που προστίθεται στα δεδομένα από την συνέντευξη είναι ότι εντοπίζονται ΜΑ από όπου φαίνεται ότι ο Μ4 θεωρεί ότι το μοντέλο δεν αναπαριστά μόνο αντικείμενα αλλά και φαινόμενα (ΜΑ1 και ΜΑ2) (γράφημα 4.23).

Γράφημα 4.23. Το μοντέλο ως αναπαράσταση



Στον κατακόρυφο άξονα: 2: αναπαράσταση, 1: όχι αναπαράσταση, 0: ασαφής/καμία απάντηση (βλέπε ενότητα 3.5)

ΕΕ 9β: Χρησιμότητα του μοντέλου ενός ματιού

Ο Μ4 στο ΕΑΜ αναφέρει: «Στο να μελετήσουμε καλύτερα το μάτι του ανθρώπου. Για να δούμε πως λειτουργεί». Η απάντηση αυτή του Μ4 εντάσσεται στο υψηλότερο επίπεδο, στο Ε1, καθώς εντοπίζονται ΜΑ οι οποίες εντάσσονται στο επίπεδο «εργαλείο μάθησης ή/και επικοινωνίας».

Στο ΕΤΜ ο Μ4 καταγράφει: «Η χρησιμότητα ενός μοντέλου είναι για να δούμε πώς λειτουργεί το μοντέλο (ΜΑ1) για να πάρουμε (ΜΑ2) και να δώσουμε πληροφορίες (ΜΑ3)».

Η απάντηση αυτή εντάσσεται επίσης στο Ε1. Εδώ εντοπίζονται τρεις ΜΑ και για τις για το επίπεδο Ε1. Πιο αναλυτικά φαίνεται πως ο μαθητής αναγνωρίζει το μοντέλο ως «εργαλείο οπτικοποίησης», ως «εργαλείο κατανόησης» και ως «εργαλείο επικοινωνίας».

Στην συνέντευξη ο Μ4 αναφέρει:

«Ε. Ωραία. Παρακάτω βλέπεις ένα μάτι. Μια κατασκευή ενός ματιού. Σε τι νομίζεις ότι χρησιμεύει;

Μ. Η χρησιμότητα ενός μοντέλου είναι να δούμε πως λειτουργεί το μοντέλο, για να πάρουμε πληροφορίες αλλά και να δώσουμε πληροφορίες.

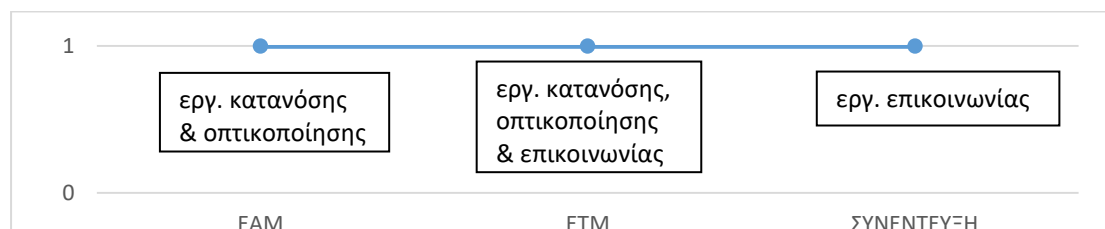
Ε. Ωραία. Για παράδειγμα στη περίπτωση του φεστιβάλ που θα ήταν χρήσιμο αυτό αν ασχολούμασταν με το ανθρώπινο σώμα.

Μ. Στο να περιγράψουμε πως είναι μέσα το μάτι, τις λειτουργίες του ματιού».

Στη συνέντευξη ο ερευνητής ζητά από τον Μ4 να εξηγήσει την χρησιμότητα του μοντέλου σε μια συγκεκριμένη δραστηριότητα της μη τυπικής εκπαίδευσης, αυτή του Φεστιβάλ Φυσικών Επιστημών και Τεχνολογίας (ΦΦΕ/Τ) (Σπύρτου & Ζάχου,

2015), στο οποίο επρόκειτο να συμμετάσχουν οι μαθητές τους δείγματος μετά την εφαρμογή της ΔΜΑ και την συλλογή των δεδομένων. Στην απάντηση της ερώτησης αυτής εντοπίζεται ΜΑ για το Ε1 και συγκεκριμένα φαίνεται πως ο μαθητής αναγνωρίζει το μοντέλο ως «εργαλείο επικοινωνίας» (γράφημα 4.24). Με άλλα λόγια ο Μ4 θεωρεί πως το μοντέλο αυτό είναι χρήσιμο για να περιγράψει στους επισκέπτες του ΦΦΕ/Τ, πώς είναι το μάτι από μέσα καθώς και τις λειτουργίες του. Επιπλέον, υποδηλώνεται έμμεσα πως ο Μ4 αναγνωρίζει πως το μοντέλο είναι χρήσιμο να για περιγράψουμε αντικείμενα (το εσωτερικό του ματιού) αλλά και λειτουργίες που δεν είναι ορατές με γυμνό μάτι (Schwarz et al., 2009).

Γράφημα 4.24. Χρησιμότητα του μοντέλου ενός ματιού

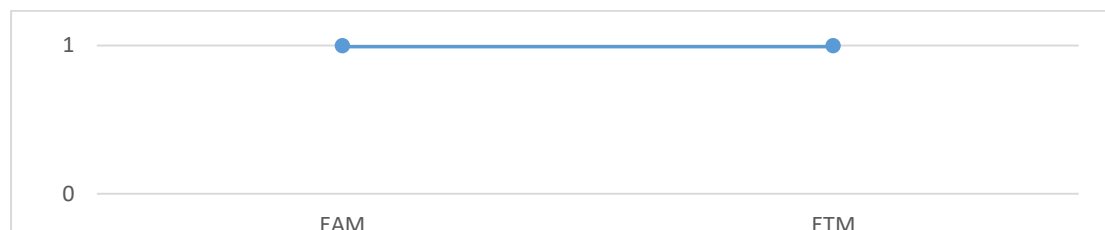


Κατακόρυφος άξονας: 1: Εργαλείο μάθησης ή/ και επικοινωνίας 0: όχι εργαλείο/ασαφής

ΕΕ 9γ: Ονομασία του μοντέλου ενός ματιού

Και στο ΕΑΜ και στο ΕΤΜ ο Μ4 καταγράφει: «Είναι ένα μοντέλο ματιού». Στη συνέντευξη δεν ρωτήθηκε περαιτέρω για την συγκεκριμένη ερώτηση καθώς και από την Κ.Α.9α φαίνεται πως ο ΜΑ4 αναγνωρίζει το μοντέλο ως αναπαράσταση και όχι ως πιστό αντίγραφο του στόχου (γράφημα 4.25).

Γράφημα 4.25. Ονομασία του μοντέλου ενός ματιού



Κατακόρυφος άξονας: 1: αναπαράσταση 2: όχι αναπαράσταση/ ασαφής

ΕΕ 9δ: Χρησιμότητα του μοντέλου της ίωσης

Το έργο για την χρησιμότητα του μοντέλου της ίωσης δόθηκε μόνο μετά την εφαρμογή της ΔΜΑ. Στο ETM ο Μ4 αναφέρει: «Μας βοηθάει ώστε να **καταλάβουμε πως εισβάλλει ο ιός μέσα στο κύτταρο**». Η απάντηση αυτή του Μ4 εντάσσεται στο υψηλότερο επίπεδο Ε1 δηλαδή στο «εργαλείο κατανόησης ή/και επικοινωνίας».

Στην συνέντευξη ο Μ4 αναφέρει:

«Ε. Τώρα. Παρακάτω βλέπεις ένα μοντέλο που χρησιμοποιήσαμε για να αναπαραστήσουμε το φαινόμενο της ίωσης. Σε τι μας βοήθησε αυτό το μοντέλο;

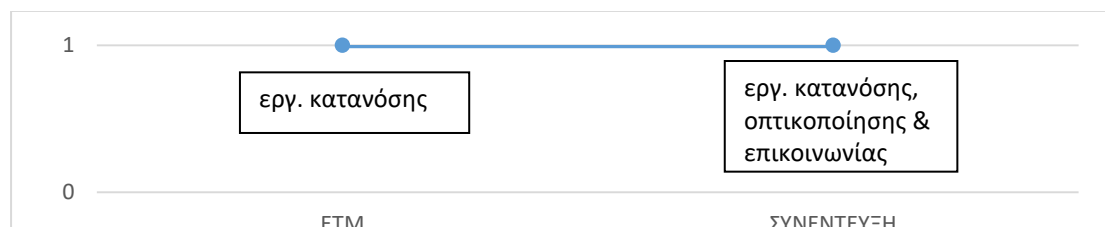
Μ. Για να δούμε πώς λειτουργεί το φαινόμενο της ίωσης (ΜΑ1) και για δώσουμε (ΜΑ2) ή να πάρουμε πληροφορίες (ΜΑ3)

Ε. Ωραία. Κάποιος άλλος λόγος που μας βοήθησε

Μ. Για να βγάλουμε συμπεράσματα (ΜΑ4)».

Οι μονάδες ανάλυσης που εντοπίζονται στα δεδομένα της συνέντευξης εντάσσονται επίσης στο Ε1 «Εργαλείο μάθησης ή/ και επικοινωνίας». Πιο συγκεκριμένα από τη ΜΑ1 «φαίνεται πως ο μαθητής αναγνωρίζει το μοντέλο ως «εργαλείο οπτικοποίησης», από τη ΜΑ2 ως «εργαλείο επικοινωνίας» και από τις ΜΑ3 και ΜΑ4 ως «εργαλείο κατανόησης» (γράφημα 4.26).

Γράφημα 4.26. Χρησιμότητα του μοντέλου της ίωσης



Κατακόρυφος άξονας: 1: Εργαλείο μάθησης ή/ και επικοινωνίας 0: όχι εργαλείο/ασαφής

ΕΕ 9ε: Χρησιμότητα πολλαπλών μοντέλων

Στο ETM ο Μ4 αναφέρει: «Χρειάζεται, γιατί όσα περισσότερα μοντέλα έχουμε τόσο **πιο πολλά συμπεράσματα θα βγάλουμε**». Η απάντηση αυτή του μαθητή εντάσσεται στο υψηλότερο επίπεδο (Ε1). Στην απάντηση εντοπίζεται 1 ΜΑ η οποία φανερώνει πως ο μαθητής αναγνωρίζει πως με την ύπαρξη διαφορετικών μοντέλων είναι δυνατό να κατανοήσουν καλύτερα το φαινόμενο.

Στην συνέντευξη ο M4 αναφέρει:

«*E. Ωραία. Εδώ έχουμε 2 μοντέλα για την ίωση. Γιατί να υπάρχουν 2 διαφορετικά μοντέλα;*

*M. Γιατί χρειάζονται τα διαφορετικά μοντέλα γιατί όσο περισσότερα μοντέλα και όσο περισσότερες απόψεις έχουμε τόσο **πιο πολλά συμπεράσματα μπορούμε να βγάλουμε (MA1)**.*

E. Και που μας χρειάζονται εμάς αυτά;

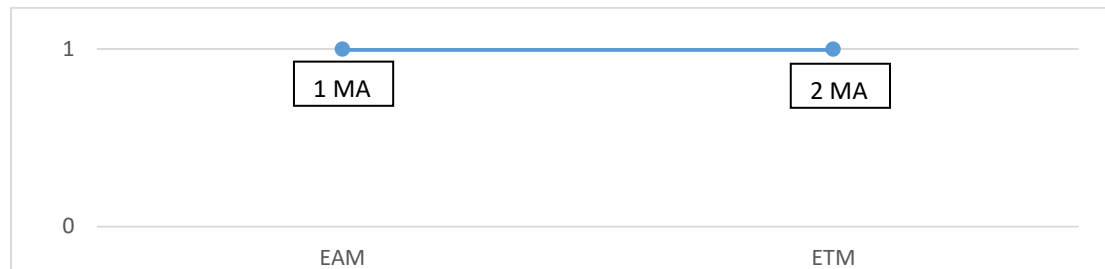
M. Τα μοντέλα

E. Ναι. Τα διαφορετικά

*M. Στο να βγάλουμε περισσότερα συμπεράσματα και να **πάρουμε περισσότερες πληροφορίες (MA2)**».*

Στην απάντηση του μαθητή στην συνέντευξη εντοπίζονται 2 ΜΑ οι οποίες εντάσσονται στο Ε1. Η πρώτη ΜΑ είναι η ίδια με το γραπτό ερωτηματολόγιο, ενώ η δεύτερη σχετίζεται με το ότι τα διαφορετικά μοντέλα μπορούν να συμβάλλουν ως μέσα συλλογής περισσότερων πληροφοριών (γράφημα 4.27).

Γράφημα 4.27. Χρησιμότητα διαφορετικών μοντέλων για την ίωση



Κατακόρυφος άξονας: 1: διαφορετικές πληροφορίες/πλεονεκτήματα 0: όχι διαφορετικές πληροφορίες/πλεονεκτήματα-ασαφής

4.2.2 Μελέτη περίπτωσης M21

ΕΕ. 1: Πώς εξελίσσεται η νοηματοδότηση της νανοτεχνολογίας από τους μαθητές;

Ο M21 στο έργο για τη νοηματοδότηση της N-ET στο EAM απαντάει: «*Η νανοτεχνολογία είναι **κάτι που παρατηρούμε αλλά είναι μικρά (MA1)***». Η μονάδα ανάλυσης που εντοπίζεται αναφέρεται στη *Μεγάλη Ιδέα* «μέγεθος» αλλά όχι με σαφήνεια. Πιο συγκεκριμένα δεν διευκρινίζεται «το πόσο μικρά είναι τα πράγματα που

παρατηρούμε» με όρους του επιστημονικού λεξιλογίου της N-ET. Έτσι η απάντηση αυτή εντάσσεται στο επίπεδο «μερικώς επιστημονική άποψη» (E2).

Στο ETM ο M21 καταγράφει: «*Η νανοτεχνολογία είναι τα πολύ μικρά πράγματα (MA 1) που τα βλέπουμε μόνο με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (MA2)*». Στην απάντηση αυτή του μαθητή εντοπίζονται δύο MA που συνδέονται με σαφήνεια και με όρους του επιστημονικού λεξιλογίου της N-ET με τις ΜΙς «μέγεθος» και «εργαλεία και όργανα». Πιο συγκεκριμένα φαίνεται ότι ο μαθητής σε αντίθεση με το EAM διευκρινίζει το «μικρό μέγεθος των πραγμάτων», αναφέροντας ότι είναι τόσο μικρά που τα βλέπουμε «μόνο με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο» και η απάντηση του εντάσσεται στο επίπεδο της «επιστημονικής άποψης» (E3).

Στη συνέντευξη ο M21 αναφέρει:

« Ε. Ένας μαθητής διάβασε στο διαδίκτυο τη λέξη νανοτεχνολογία και αναρωτήθηκε τι άραγε να σημαίνει. Προσπάθησε να του εξηγήσεις τι νομίζεις εσύ ότι είναι η νανοτεχνολογία. Πες μου σε πρώτη φάση τι έχεις γράψει.

Μ. Η νανοτεχνολογία είναι τα πολύ μικρά πράγματα που τα βλέπουμε μόνο με το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο.

Ε. Τέλεια. Πες μου ένα παράδειγμα.

Μ. Για παράδειγμα το DNA (MA1).

Ε. Ωραία. Κάποιο προϊόν της νανοτεχνολογίας θυμάσαι;

Μ. Το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο.

Ε. Ωραία. Κάποιο άλλο που να μπορούμε να το χρησιμοποιήσουμε και μείς;

Μ. Το νανόφιλτρο (MA 2).

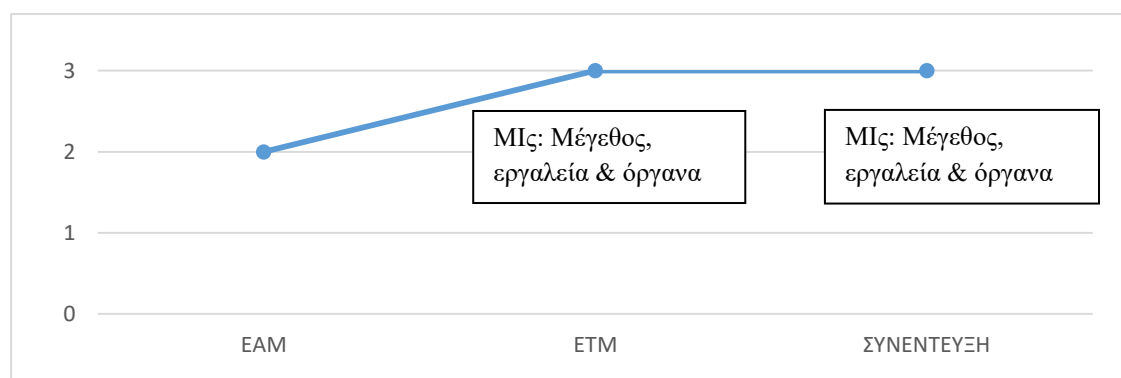
Ε. Το νανόφιλτρο. Τι είναι το νανόφιλτρο;

Μ. Όταν θες ας πούμε να... πιούμε νερό όταν είμαστε έξω, και θέλουμε να πιούμε νερό και δεν έχουμε μπουκάλι έχει μέσα... και το καθαρίζει από μόνο του (MA 3).

Στη συνέντευξη του M21 εντοπίζονται 3 MA για τη νοηματοδότηση της N-ET που ανήκουν στο υψηλότερο επίπεδο (E3). Πιο συγκεκριμένα ο M21 με κατάλληλες βοηθητικές ερωτήσεις, δίνει ένα συγκεκριμένο παράδειγμα αντικειμένου που ανήκει στον νανόκοσμο και είναι ορατό μόνο με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο, το DNA (MA1). Επίσης εντοπίζονται και MA για τις «εφαρμογές τις N-ET» και πιο συγκεκριμένα για το φιλτράρισμα του νερού με φίλτρα νανοτεχνολογίας (MA2 και MA3).

Συνολικά για τον M21 και την KA1 μπορούμε να πούμε πως οι αρχικές του απόψεις για τη N-ET μετατοπίστηκαν μετά την εφαρμογή της ΔΜΑ από το επίπεδο E2, δηλαδή τη «μερικώς επιστημονική άποψη» στο επίπεδο E3, δηλαδή στην «επιστημονική άποψη». Μάλιστα με βάση τη συνέντευξη και το ETM ήταν ικανός να νοηματοδοτεί τη N-ET με όρους που συνδέονται με 3 ΜΙς. Βέβαια η MA3 η οποία αφορά τις Εφαρμογές της N-ET δεν ήταν σαφής, οπότε δεν την εμφανίζουμε στο γράφημα 4.28.

Γράφημα 4.28. Εξέλιξη της νοηματοδότησης της N-ET

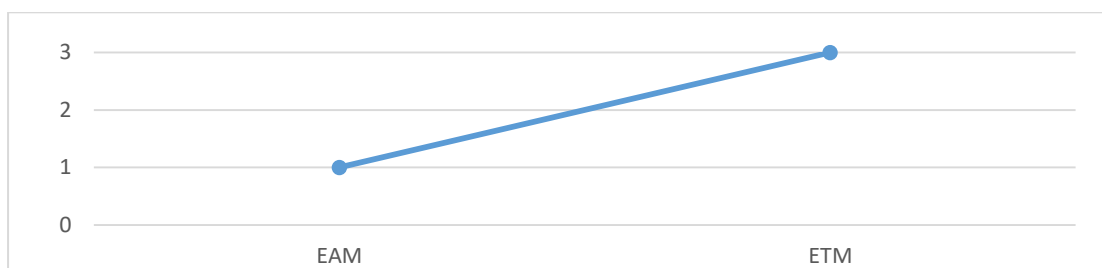


Στον κατακόρυφο άξονα: 3: επιστημονική άποψη, 2: μερικώς επιστημονική άποψη, 1: μακριά από την επιστημονική άποψη, 0: καμία απάντηση/ δεν ξέρω

EE 2: Πώς εξελίσσονται οι ιδέες των μαθητών για το μικρότερο αντικείμενο που υπάρχει;

Ο M21 στο EMA κατέγραψε ως μικρότερο αντικείμενο που υπάρχει ένα μακροσκοπικό αντικείμενο «τη σκόνη» και η απάντησή του ταξινομήθηκε στο επίπεδο E1, το οποίο αφορά τα αντικείμενα του μακρόκοσμου. Στο ETM κατέγραψε ως μικρότερο αντικείμενο το «DNA» και η απάντησή του ταξινομήθηκε στο E3, δηλαδή στο υψηλότερο επίπεδο το οποίο αφορά αντικείμενα του νανόκοσμου ή υποατομικά σωματίδια (γράφημα 4.29).

Γράφημα 4.29. Ιδέες για το μικρότερο αντικείμενο

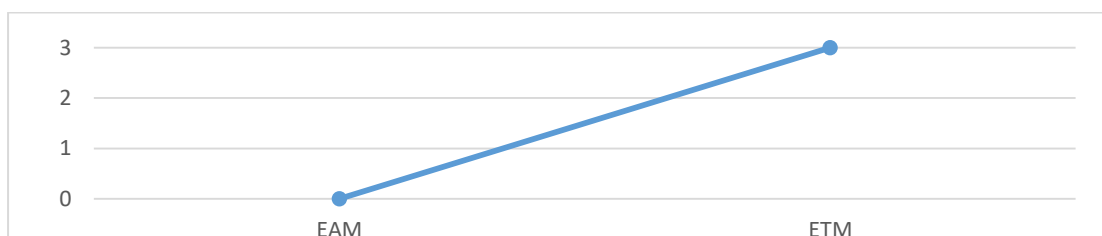


Κατακόρυφος άξονας: 3: αντ. νανόκοσμου- ατομικού κόσμου, 2: αντι. μικρόκοσμου, 1: αντ. μακρόκοσμου, 0: ασαφής/ καμία απάντηση

ΕΕ 3: Πώς εξελίσσεται η γνώση των μαθητών για τα όργανα παρατήρησής του μακρόκοσμου, του μικρόκοσμου και του νανόκοσμου;

Ως όργανο παρατήρησης του αντικειμένου που κατέγραψε στο προηγούμενο έργο, δηλαδή την σκόνη ο μαθητής κατέγραψε τη λέξη «όχι» και η απάντησή του ταξινομήθηκε στο χαμηλότερο επίπεδο (E0). Αντίθετα στο ETM κατέγραψε ως όργανο το «ηλεκτρονικό μικροσκόπιο» για το αντικείμενο του νανόκοσμου η απάντησή του ταξινομήθηκε στο υψηλότερο επίπεδο (E3).

Γράφημα 4.30. Γνώσεις για τα όργανα παρατήρησης



Κατακόρυφος άξονας: 3: σωστό όργανο για αντ. νάνο, 2: σωστό όργανο για αντ. μικρο, 1: σωστό όργανο για το μάκρο, 0: ασαφής/καμία απάντηση

ΕΕ 4: Πώς εξελίσσεται η ικανότητα των μαθητών να ταξινομούν αντικείμενα τριών διαφορετικών κατηγοριών με κριτήριο το όργανο παρατήρησής τους;

Ο Μ21 στο ΕΑΜ ταξινόμησε τα αντικείμενα στα κουτιά όμως τα όργανα παρατήρησης με τα οποία ανέφερε ότι μπορεί να δει τα αντικείμενα του κάθε κουτιού δεν ήταν σωστά για όλα τα κουτιά, έτσι η απάντησή του ταξινομήθηκε στο χαμηλότερο επίπεδο (E0). Πιο συγκεκριμένα στο πρώτο κουτί ταξινόμησε τα αντικείμενα «άνθρωπος και μπάλα» και ανέφερε ως όργανο παρατήρησης το «μάτι». Στο δεύτερο κουτί ταξινόμησε το

«DNA» και κατέγραψε ως όργανο το «μικροσκόπιο». Στο τρίτο κουτί τοποθέτησε τα αντικείμενα «κόκκος αλατιού, κύτταρο κρεμμυδιού, ερυθρό αιμοσφαίριο, πυρήνας κυττάρου, ιός» και απάντησε ότι τα αντικείμενα αυτά μπορούμε να τα παρατηρήσουμε με το «μικροσκόπιο». Από την παραπάνω απάντηση φαίνεται πως ο μαθητής καταγράφει λάθος όργανο για τη παρατήρηση του DNA και του ιού, ενώ στο τρίτο κουτί ταξινομεί αντικείμενα και των τριών κόσμων.

Αντίθετα στο ETM τοποθέτησε ο M21 όλα τα αντικείμενα στα σωστά κουτιά και κατέγραψε το σωστό όργανο παρατήρησης για κάθε κουτί. Πιο συγκεκριμένα ταξινόμησε τα αντικείμενα «άνθρωπος, μυρμήγκι, κόκκος αλατιού» στο κουτί 1 αναφέροντας ότι τα αντικείμενα αυτά μπορούμε να τα δούμε με το «μάτι», τα αντικείμενα «ερυθρό αιμοσφαίριο, κύτταρο κρεμμυδιού, πυρήνα κυττάρου» στο κουτί 2 επειδή μπορούμε να τα δούμε με «οπτικό μικροσκόπιο» και τα αντικείμενα «Ιό, DNA» στο κουτί 3 γιατί τα βλέπουμε με «ηλεκτρονικό μικροσκόπιο». Έτσι η απάντησή του ταξινομήθηκε στο υψηλότερο επίπεδο (E3).

Στην συνέντευξη για το έργο της ταξινόμησης ο M21 αναφέρει:

«Ε. Ωραία. Στην ερώτηση τέσσερα πολύ σωστά τα έχει βάλει...»

Μ. Η μπάλα ποδοσφαίρου είναι το... μεγαλύτερο και επίσης ο άνθρωπος και ο κόκκος αλατιού. Το κύτταρο κρεμμυδιού που το είδαμε μόνο με οπτικό μικροσκόπιο, ο πυρήνας του κυττάρου και το ερυθρό αιμοσφαίριο. Και το DNA που είναι το πιο μικρό που το βλέπουμε μόνο με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο και ο ιός

Ε. Τέλεια. Δηλαδή με τι κριτήριο εσύ, δηλαδή πώς σκέφτηκες να τα βάλεις αυτά τα αντικείμενα σε αυτά τα κουτιά; Και τα χώρισες με αυτό τον τρόπο;

Μ. Απ το μεγαλύτερο στο μικρότερο (ΜΑ 1).

Ε. Με τι κριτήριο αποφάσισες όμως ότι θα βάλεις στο πρώτο κουτί αυτά τα τρία στο δεύτερο κουτί αυτά τα τρία.

Μ. Επειδή αυτά είναι μεγαλύτερα και τα βλέπουμε με γυμνό μάτι, αυτά εδώ πέρα στο κουτί 2 τα βλέπουμε με οπτικό μικροσκόπιο και το DNA και ο ιός στο 3 τα βλέπουμε μόνο με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (ΜΑ 2).

Ε. Τέλεια. Μπορείς να δώσεις τίτλους στα κουτιά; Δηλαδή αν βάζαμε ένα τίτλο εδώ πέρα τι θα βάζαμε;

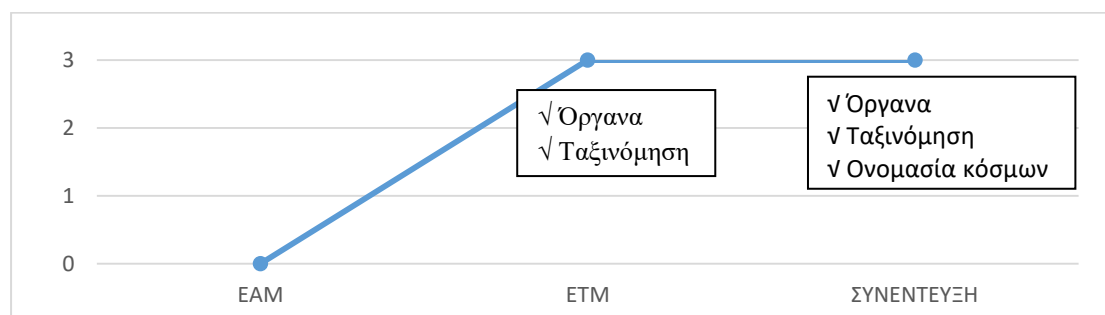
Μ. Η όψη του ματιού (στο 1). Οπτικό μικροσκόπιο (στο 2) και στο 3ο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (ΜΑ 3).

Ε. Ωραία. Μπορείς να βάλεις... να τα... χωρίσεις σε κόσμους; Ποιο θα ήταν ο μακρόκοσμος ποιο ο μικρόκοσμος ποιο ο νανόκοσμος;

Μ. Ο μακρόκοσμος θα ήταν το 1. Το δεύτερο κουτί θα ήταν ο μικρόκοσμος και ο νανόκοσμος είναι το DNA και ο ιός (MA4)».

Από τα δεδομένα της συνέντευξης φαίνεται πως ο μαθητής έχει οικοδομήσει ως κριτήριο για να ταξινομήει τα αντικείμενα με παρόμοια μεγέθη, το κοινό όργανο με το οποίο μπορεί να παρατηρήσει τα αντικείμενα αυτά (MA1, MA 2, MA 3), όπως και στο ETM. Επιπλέον ο M21 στη συνέντευξη με κατάλληλες βοηθητικές ερωτήσεις ήταν ικανός να αναφέρει την ονομασία του κόσμου στο οποίο ανήκουν τα αντικείμενα του κάθε κουτιού (MA 4) (γράφημα 4.31).

Γράφημα 4.31. Ταξινόμηση



Στον κατακόρυφο άξονα: 3: σωστό όργανο- σωστή ταξ. όλων, 2: σωστό όργανο- λάθος ταξ. σε 1 αντικείμενο, 1: σωστό όργανο- λάθος ταξ. σε 2 αντικείμενα, 0: λάθος όργανο

ΕΕ 5: Πώς εξελίσσεται η ικανότητα των μαθητών να σειροθετούν αντικείμενα;

Όσον αφορά το έργο της σειροθέτησης, η απάντηση του M21 τόσο στο EAM όσο και στο ETM κατατάσσεται στο χαμηλότερο επίπεδο (E0), καθώς σειροθέτησε λάθος τα αντικείμενα του μακρόκοσμου. Στο EAM έκανε την εξής σειροθέτηση: «Μπάλα ποδοσφαίρου > πυρήνας κυττάρου > DNA > κύτταρο κρεμμυδιού > ιός > κόκκος αλατιού» και στο ETM την εξής: «μπάλα ποδοσφαίρου > κύτταρο κρεμμυδιού > πυρήνας κυττάρου > κόκκος αλατιού > DNA > ιός».

Στη συνέντευξη ο M21 αναφέρει:

«Ε. Να σε ρωτήσω... διάβασε λίγο τα αντικείμενα...

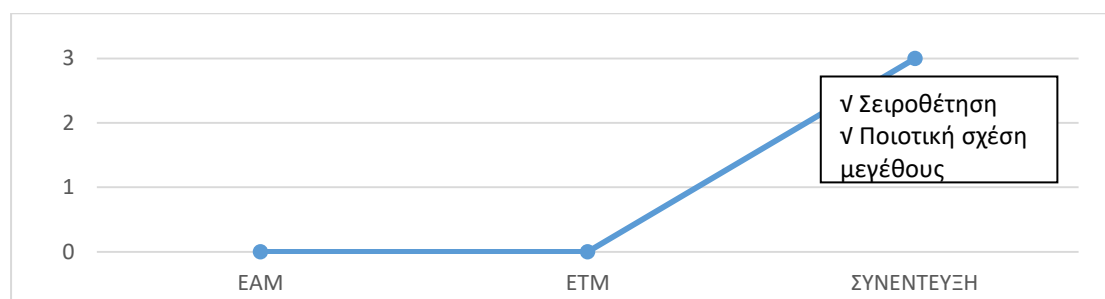
Μ. Μπάλα ποδοσφαίρου > κύτταρο κρεμμυδιού > πυρήνας κυττάρου > κόκκος αλατιού > DNA > ιός.

E. Υπάρχει κάποιος που νομίζεις ότι δε το έχεις βάλει σε σωστή σειρά; Σκέψου το.
M. Ναι. Ο ιός. Το DNA τελευταίο είναι. Γιατί μέσα στον ιό υπάρχει ένα DNA (MA 1).
E. Κάτι άλλο;
M. Ο κόκκος αλατιού που πρέπει να είναι δεύτερος (MA 2).
E. Μπράβο. Πάρα πολύ ωραία. Γιατί μου είπες ότι το DNA πρέπει να μπει τελευταίο;
M. Γιατί υπάρχει μέσα στον ιό (MA 3).
E. Και γιατί τον πυρήνα του κυττάρου τον έβαλες μικρότερο απ το κύτταρο;
M. Γιατί είναι σχεδόν ίσα.
E. Ναι αλλά γιατί έβαλες τον πυρήνα μικρότερο απ το κύτταρο;
M. Γιατί σε κάθε κύτταρο υπάρχει από ένας πυρήνας και είναι μικρός (MA 4)».

Με τις βοηθητικές ερωτήσεις της συνέντευξης φαίνεται πως ο μαθητής καταφέρνει να αλλάξει την θέση των αντικειμένων που έκανε λάθος και να πραγματοποιήσει τελικά μια σωστή σειροθέτηση όλων των αντικειμένων (Μπάλα ποδοσφαίρου > κόκκος αλατιού > κύτταρο κρεμμυδιού > πυρήνας κυττάρου > ιός > DNA).

Η αλλαγή αυτή των αντικειμένων φαίνεται καθαρά από την MA1 και την MA2. Η αλλαγή σειροθέτησης των αντικειμένων προς τη σωστή κατεύθυνση πραγματοποιήθηκε με βάση τον συλλογισμό «όταν χωράει κάτι μέσα σε κάτι άλλο τότε είναι μικρότερό του», που αποτυπώνει μια ποιοτική σχέση μεταξύ των μεγεθών των αντικειμένων. Ο συλλογισμός αυτός εντοπίζεται σε τρεις MA, στην MA 1, στην MA 3 και στην MA 4 (γράφημα 4.32).

Γράφημα 4.32. Σειροθέτηση



Κατακόρυφος άξονας: 3: σωστή σειροθέτηση όλων, 2:σωστή σειροθέτηση αντ. του μάρκο & μίκρο, 1: σωστή σειροθέτηση των αντ. του μάρκο & 1 τουλάχιστον λάθος στο μίκρο ή νάνο, 0: λάθος σειρ. των αντ. του μάρκο.

ΕΕ 6: Πώς εξελίσσεται η περιγραφή του φαινομένου του λωτού από τους μαθητές;

Ο Μ21 στο έργο για το φαινόμενο της υδροφοβικότητας στο ΕΑΜ απάντησε «δεν ξέρω» ενώ στο ΕΤΜ «γιατί έχουνε ρίξει σπρέι νανόφιλτρου». Και στις δύο περιπτώσεις οι απαντήσεις ταξινομήθηκαν στο χαμηλότερο επίπεδο (Ε0) καθώς στην πρώτη περίπτωση ο μαθητής δήλωσε άγνοια, ενώ στη δεύτερη, φαίνεται πως συγχέει το σπρέι για την υδροφοβικότητα με τα φίλτρα νανοτεχνολογίας και δίνει μια ασαφή απάντηση.

Στη συνέντευξη ο Μ26 αναφέρει:

«Ε. Ωραία. Τώρα στην επόμενη ερώτηση στο λάχανο. Βλέπουμε ότι μόλις οι σταγόνες έπεφταν πάνω στο λάχανο γίνονταν στρόγγυλες σαν μπίλιες. Για ποιο λόγο νομίζεις συμβαίνει αυτό;

Μ. Γιατί ρίξατε σπρέι νανόφιλτρου.

Ε. Στο λάχανο;

Μ. Ναι. Και μερικές αυτές επειδή είναι στρόγγυλο γλιστράνε (ΜΑ 2) επειδή είναι λείο (ΜΑ 3).

Ε. Αν έφτιαχνες ένα μοντέλο για την επιφάνεια του λάχανου πώς θα το έφτιαχνες; Για να δείξεις πώς είναι η επιφάνειά του;

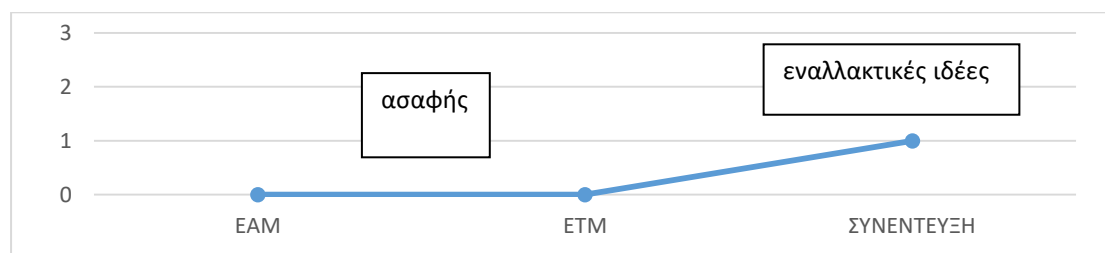
Μ. Στρόγγυλο. Θα το έφτιαχνα στρόγγυλο (ΜΑ 4).

Ε. Οκ. Δηλαδή άμα δε ψεκάσαμε το λάχανο με σπρέι θα γίνονταν οι σταγόνες πάνω στρόγγυλες;

Μ. Όχι».

Ο μαθητής στην συνέντευξη αρχικά διαβάζει την απάντηση που έδωσε στο ΕΤΜ και ο ερευνητής κάνει διευκρινιστικές ερωτήσεις. Από τις ερωτήσεις αυτές αναδεικνύονται εναλλακτικές ιδέες του μαθητή για το συγκεκριμένο φαινόμενο που ανήκουν στο επίπεδο Ε1. Οι ιδέες αυτές εντοπίζονται στις ΜΑ 2, ΜΑ3 και ΜΑ4 (γράφημα 4.33). Φαίνεται έτσι ότι ο μαθητής αφενός υποστηρίζει ότι το φαινόμενο οφείλεται στο «σπρέι νανόφιλτρου» αφετέρου ότι οφείλεται σε φυσικά χαρακτηριστικά του λάχανου όπως ότι είναι «στρόγγυλο και λείο». Εντοπίζεται μια ασυνέπεια στον συλλογισμό του μαθητή καθώς από τη μια αποδίδει το φαινόμενο σε χημική επεξεργασία (σπρέι) από την άλλη στα φυσικά χαρακτηριστικά του.

Γράφημα 4.33. Το φαινόμενο του λωτού



Στον κατακόρυφο άξονα: 3: επιστημονική άποψη, 2: μερικώς επιστημονική άποψη, 1: μακριά από την επιστημονική άποψη/ εναλλακτικές ιδέες, 0: ασαφής/ καμία απάντηση/ δεν ξέρω

ΕΕ 7: Πώς εξελίσσεται η περιγραφή του μηχανισμού φιλτραρίσματος, με φίλτρα νανοτεχνολογίας από τους μαθητές;

Στο έργο για την περιγραφή του μηχανισμού φιλτραρίσματος ο Μ21 και στο ΕΑΜ και στο ΕΤΜ έδωσε απαντήσεις που ταξινομήθηκαν στην χαμηλότερη κατηγορία. Πιο συγκεκριμένα στο ΕΑΜ δήλωσε άγνοια, «δεν ξέρω». Στο ΕΤΜ απάντησε «το νανόφιλτρο καθαρίζει το βρόμικο νερό» και εντάχθηκε στο επίπεδο Ε0 ως ταυτολογία με την ερώτηση.

Ε. Οκ. Πάμε στο επόμενο. Λοιπόν θα έπινες νερό από τη λίμνη με το νανόφιλτρο;

Μ. Ναι γιατί το νανόφιλτρο έχει... υπάρχει... έχει μέσα... υπάρχουνε μέσα πολλοί μικρά νανόφιλτρα. Και έτσι καθαρίζει το νερό.

Ε. Πώς λειτουργεί το νανόφιλτρο;

Μ. ... το ξεβιδώνουμε από το κάτω μέρος, βάζουμε το νερό και με τη βοήθεια του νανόφιλτρου που είναι τα φίλτρα σε νάνο καθαρίζει το νερό.

Ε. Τέλεια. Το νανόφιλτρο γιατί το λέμε νανόφιλτρο;

Μ. Γιατί καθαρίζει τα μικρά σκουπίδια (ΜΑ1).

Ε. Ωραία. Τι διαφορά νομίζεις ότι έχει το νανόφιλτρο με το φίλτρο του καφέ. Δηλαδή το φίλτρο του καφέ δε καθαρίζει τελείως το νερό ενώ το νανόφιλτρο το καθαρίζει. Γιατί; Τι διαφορετικό έχει το νανόφιλτρο το φίλτρο του καφέ και καθαρίζει όλες τις βρωμιές;

Μ. Ότι το φίλτρο του καφέ είναι ένα συγκεκριμένο και για να καθαρίζει μόνο το καφέ και όχι τα λασπωμένα νεράκια.

Ε. Ξέρεις πώς το καθαρίζει; Πώς είναι δυνατό να περνάει το νερό από το φίλτρο του καφέ και να κρατάει κάποιες βρωμιές. Γιατί τις κρατάει;

Μ. Γιατί το νερό είναι υγρό και τα υγρά ας πούμε περνάνε μέσα από οτιδήποτε τα βάζω.

Ε. Ωραία. Το νανόφιλτρο γιατί που είπες ότι το ονομάζουμε έτσι; Τι σχέση έχει με τη νανοτεχνολογία; Με το νάνο;

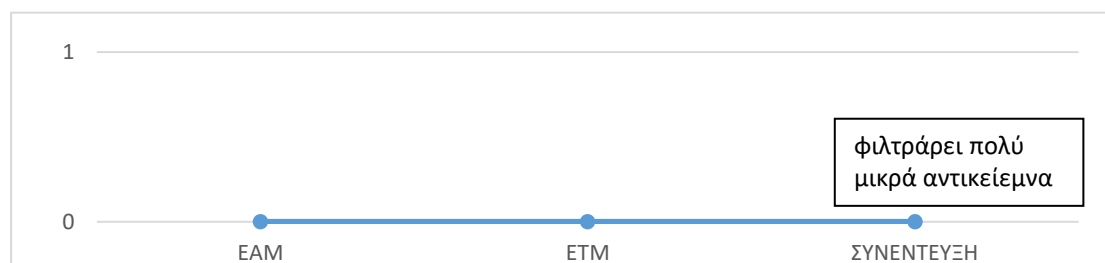
Μ. Γιατί καθαρίζει τα πάρα πολύ μικρά σκουπίδια (ΜΑ2)

Ε. Όπως;

Μ. Όπως οι πολύ μικρές πέτρες και τα ζουζούνια που δε βλέπουμε (ΜΑ3)».

Από τα δεδομένα της συνέντευξης φαίνεται πως ο μαθητής δε μπορεί να περιγράψει τον μηχανισμό φιλτραρίσματος σειροθετώντας τα αντικείμενα που φιλτράρουν (νανοτρύπες) και φιλτράρονται (π.χ. ιός, χώμα). Αναφέρει όμως ότι το νανόφιλτρο φιλτράρει τα πολύ μικρά αντικείμενα (ΜΑ 1, ΜΑ2 και ΜΑ3) (γράφημα 4.34).

Γράφημα 4.34. Περιγραφή του μηχανισμού φιλτραρίσματος



Στον κατακόρυφο άξονα: 1: επιστημονική άποψη, 0: μακριά από την επιστημονική άποψη

ΕΕ 8: Σε ποιο βαθμό είναι ικανοί οι μαθητές να περιγράφουν την επίδραση του νανόκοσμου στον μικρόκοσμο και τον μακρόκοσμο;

Όσον αφορά το έργο για την περιγραφή του φαινομένου της ίωσης υπό το πρίσμα της ταξινόμησης στο ETM ο Μ21 καταγράφει: «όταν φτερνίζεσαι κολλάει ο άλλος ιούς και μετά αρρωσταίνει». Στην απάντηση αυτή του μαθητή δεν εντοπίζονται ΜΑ που να περιγράφουν το φαινόμενο ταξινομώντας τα αντικείμενά του στον μακρόκοσμο, στον μικρόκοσμο και στον νανόκοσμο.

Στη συνέντευξη ο Μ21 αναφέρει:

«Ε. Ωραία. Τώρα στην ίωση. Πρέπει να περιγράψουμε πώς επηρεάζει ο νανόκοσμος τον μικρόκοσμο και τον μακρόκοσμο στην περίπτωση της ίωσης.

Μ. Εδώ έγραφα όταν φτερνίζεσαι κολλάει ο άλλος που είναι από δίπλα σου ιό και μετά αρρωσταίνει

E. Πολύ σωστά. Τώρα πώς σχετίζεται με το νανόκοσμο, το μικρόκοσμο και το μακρόκοσμο;

M. Eεε...

E. Δηλαδή ποια αντικείμενα της ίωσης...

M. Το DNA και ο ιός.

E. Τι είναι αυτά;

M. Είναι του νανόκοσμου (MA 1).

E. Τι γίνεται με αυτά;

M. Μολύνεται ο ιός. Όταν φτερνίζεσαι ο άλλος όταν αναπνέει... το αναπνέει και έτσι πάει στο ιό και έτσι μολύνεται ο ιός (MA 2).

E. Κάτι άλλο παθαίνει ο άνθρωπος;

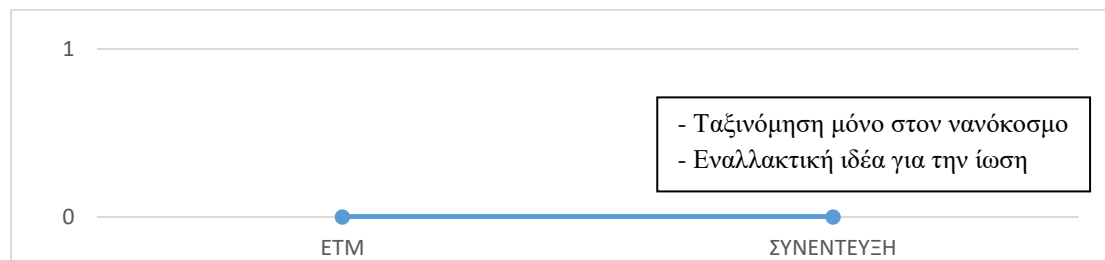
M. Αρρωσταίνει

E. Ωραία. Έχεις να μου πεις κάτι άλλο;

M. Όχι».

Στα δεδομένα της συνέντευξης εντοπίζεται μια MA η οποία συνδέεται με την ταξινόμηση αντικειμένων της ίωσης (Ιός και DNA) στον νανόκοσμο. Έτσι και στην περίπτωση αυτή η απάντηση του μαθητή εντάσσεται στο χαμηλότερο επίπεδο (E0). Μάλιστα ο μαθητής έχει την εναλλακτική ιδέα για την ίωση ότι ο ίδιος ο ιός είναι αυτός που αρρωσταίνει (MA2) (γράφημα 4.35).

Γράφημα 4.35. Επίδραση του νανόκοσμου στο μικρόκοσμο και στο μακρόκοσμο



Στον κατακόρυφο άξονα: 1: επιστημονική άποψη, 0: μακριά από την επιστημονική άποψη.

ΕΕ 9 Πώς εξελίσσονται οι γνώσεις των μαθητών για την φύση και τον ρόλο των μοντέλων;

ΕΕ 9α: Η φύση του μοντέλου

Στο έργο κατά το οποίο οι μαθητές καλούνταν να γράψουν μια πρόταση για τον όρο μοντέλο, ο Μ21 στο ΕΑΜ δεν απάντησε (Ε0) ενώ στο ΕΤΜ απάντησε: **«τα μοντέλα τα ζωγραφίζουμε, τα αναπαριστούμε σαν κανονικό [αντικείμενο] (ΜΑ1)»**. Στην απάντηση του μαθητή στο ΕΤΜ εντοπίζεται μια ΜΑ από την οποία φαίνεται πως ο μαθητής αναγνωρίζει το μοντέλο ως αναπαράσταση και κατατάσσεται στο υψηλότερο επίπεδο (Ε1)

Στην συνέντευξη ο Μ21 αναφέρει:

«Ε. Τώρα για τα μοντέλα. Γράψε μια πρόταση τη πιο αντιπροσωπευτική που να περιέχει τη λέξη μοντέλο. Τι έχεις γράψει;

Μ. Έχω γράψει ότι τα μοντέλα τα ζωγραφίζουμε, τα αναπαριστούμε σαν κανονικό.

Ε. Δηλαδή;

*Μ. Όταν το βλέπουμε. Δηλαδή ας πούμε όταν το βλέπουμε δε γίνεται να το κάνουμε τρισδιάστατο για να φαίνεται σαν κανονικό αλλά **το μοντέλο είναι όταν... εεε... όταν το ζωγραφίζουμε για να το αναπαραστήσουμε (ΜΑ1)**.*

Ε. Ωραία. Πες μου ένα παράδειγμα

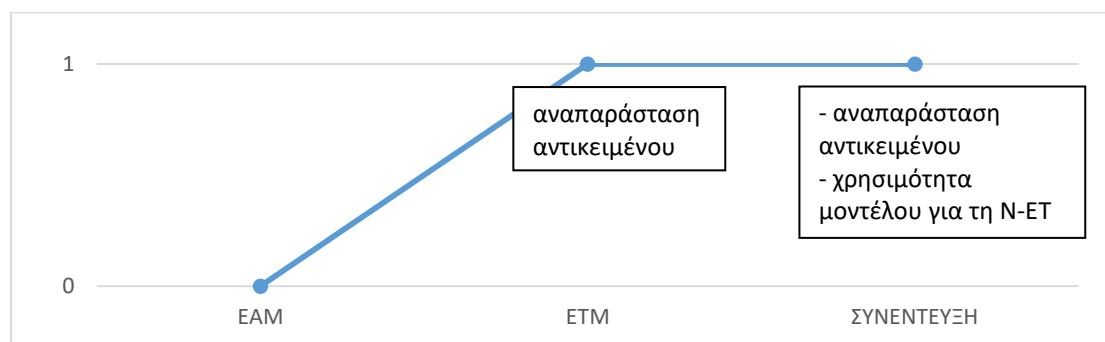
Μ. Για παράδειγμα το DNA. Υπάρχει μέσα στο σώμα μας και δε μπορούμε να το δούμε έτσι απλά. Μπορούμε να το δούμε μόνο με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο και το ζωγραφίζουμε γιατί δε μπορούμε να κάνουμε κάτι άλλο (ΜΑ2).

Ε. Ωραία. Αμα φτιάξουμε.. αν το κάνουμε αντί για ζωγραφιά με πλαστελίνη που είναι τρισδιάστατο θα είναι μοντέλο;

Μ. Ναι θα είναι πάλι (ΜΑ3)».

Όπως και στο ΕΤΜ έτσι και στα δεδομένα της συνέντευξης εντοπίζονται ΜΑ οι οποίες εντάσσονται στο επίπεδο Ε1 (γράφημα 4.36). Από τις απαντήσεις φαίνεται πως ο Μ21 θεωρεί το μοντέλο ως αναπαράσταση (ΜΑ1 και ΜΑ3) και μάλιστα δίνει ένα συγκεκριμένο παράδειγμα μοντέλου από την ΔΜΑ. Πιο συγκεκριμένα αναφέρει το μοντέλο του DNA το οποίο μάλιστα θεωρεί πως είναι αναγκαίο για να το μελετήσουμε καθώς δεν υπάρχει κάποιο άλλο διαθέσιμο εργαλείο για τη μελέτη των αντικειμένων της Ν-ΕΤ στο σχολείο (ΜΑ 2). Η τελευταία αυτή παρατήρηση συνδέεται και με το επόμενο ερώτημα που αφορά την χρησιμότητα του μοντέλου.

Γράφημα 4.36. Το μοντέλο ως αναπαράσταση



Στον κατακόρυφο άξονα: 1: αναπαράσταση, 0: όχι αναπαράσταση/ασαφής/καμία απάντηση

ΕΕ 9β: Χρησιμότητα του μοντέλου ενός ματιού

Στο EAM ο μαθητής για την χρησιμότητα της κατασκευής του ματιού απάντησε: «Στο να βάλουμε κάμερα». Η απάντηση αυτή εντάχθηκε στο χαμηλότερο επίπεδο (E0) ως ασαφής. Στο ETM ο M21 αναφέρει: «**Είναι ένα μοντέλο ματιού (MA1). Μπορούμε να δούμε πως είναι μέσα ένα μάτι (MA2)**». Στην απάντηση αυτή του μαθητή αναγνωρίζεται η χρησιμότητα του μοντέλου ως αναπαράσταση (MA1) και πιο συγκεκριμένα ως εργαλείο οπτικοποίησης (MA2). Έτσι ταξινομήθηκε στο υψηλότερο επίπεδο (E1) «εργαλείο μάθησης ή/και επικοινωνίας».

Στην συνέντευξη ο M21 αναφέρει:

Ε. Ωραία. Παρακάτω βλέπεις μια κατασκευή που παριστάνει ένα μάτι. Σε τι νομίζεις ότι μας χρησιμεύει αυτή η κατασκευή; Διάβασε πρώτα την απάντησή σου.

Μ. Ότι μπορούμε να δούμε πως είναι μέσα το μάτι.

Ε. Μας χρησιμεύει σε κάτι άλλο;

Μ. Όχι

Ε. Δηλαδή αν το είχαμε στο φεστιβάλ θα μας χρησίμευε σε κάτι; Αν ασχολούμασταν με το ανθρώπινο σώμα για παράδειγμα;

Μ. Ναι θα το είχαμε γιατί αυτό ανήκει στο ανθρώπινο σώμα.

Ε. Και που θα μας βοηθούσε; Σε τι θα μας χρησίμευε στο φεστιβάλ εκεί που ήμασταν στο ποτάμι;

Μ. Για να δουν οι άλλοι πώς είναι μέσα το μάτι μας και πώς βλέπουμε (MA1)».

Από τα δεδομένα της συνέντευξης φαίνεται πως ο M21 όπως και από το γραπτό ερωτηματολόγιο αναγνωρίζει την χρησιμότητα του μοντέλου ως «εργαλείο μάθησης»

και συγκεκριμένα ως εργαλείο οπτικοποίησης (MA1) χωρίς να προσθέτει κάποια άλλη πληροφορία παρόλο που έγιναν οι ίδιες βοηθητικές ερωτήσεις με την M4 και η απάντησή του εντάσσεται στο επίπεδο E1 (γράφημα 4.37).

Γράφημα 4.37. Χρησιμότητα του μοντέλου ενός ματιού



Κατακόρυφος άξονας: 1: Εργαλείο μάθησης ή/και επικοινωνίας 0: όχι εργαλείο/ασαφής.

ΕΕ 9γ: Ονομασία του μοντέλου ενός ματιού

Ο Μ21 στο ερώτημα που κλήθηκε να ονομάσει την κατασκευή του ματιού στο ΕΑΜ απάντησε: «το μάτι κάμερα» και στο ΕΤΜ κατέγραψε: «το μάτι του όζοντος». Και στις δύο περιπτώσεις οι απαντήσεις εντάσσονται στο χαμηλότερο επίπεδο (Ε0) καθώς δεν εντοπίζονται ΜΑ που να υποδηλώνουν άμεσα ή έμμεσα ότι το μοντέλο αποτελεί αναπαράσταση (γράφημα 4.38). Στην προηγούμενη όμως ερώτηση του ΕΤΜ, στην 9β, ο μαθητής έχει καταγράψει ότι «**Είναι ένα μοντέλο ματιού**». Έτσι καθώς φαίνεται πως ο μαθητής αναγνωρίζει το μοντέλο του ματιού ως αναπαράσταση χρησιμοποιούμε αυτή ως μονάδα ανάλυσης και την εντάσσουμε στο υψηλότερο επίπεδο (Ε1). Επιπλέον τεκμήρια (ΜΑ1) για την ερώτηση αυτή εντοπίζονται στο παρακάτω απόσπασμα της συνέντευξης:

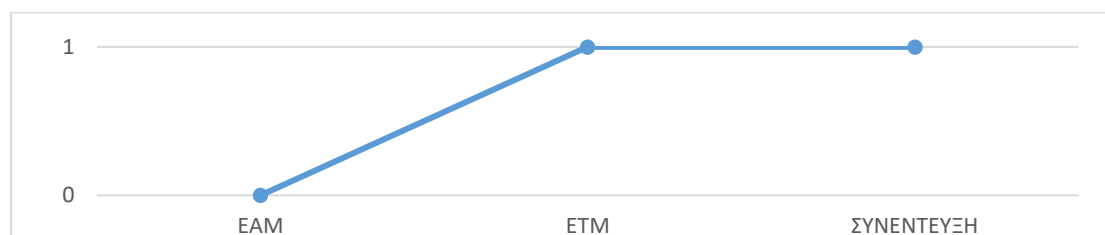
«Ε. Τέλεια. Πώς θα ονόμαζες την παραπάνω κατασκευή;

Μ. Το μάτι του ανθρώπινου σώματος.

Ε. Οκ. Εδώ τι έχεις γράψει;

Μ. **Ότι είναι μοντέλο ματιού (ΜΑ1)**».

Γράφημα 4.38. Ονομασία του μοντέλου ενός ματιού



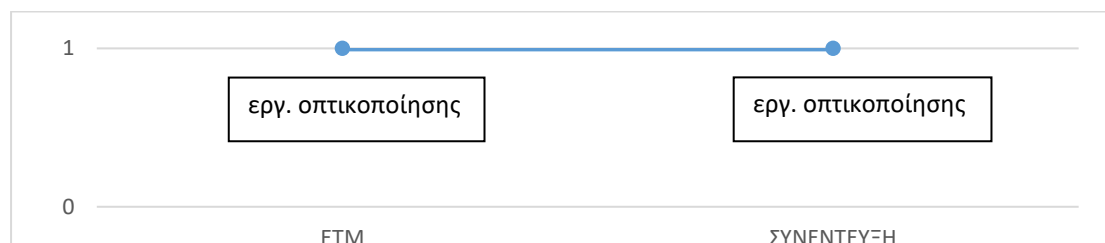
Κατακόρυφος άξονας: 1: αναπαράσταση 0: όχι αναπαράσταση/ ασαφής

ΕΕ 9δ: Χρησιμότητα του μοντέλου της ίωσης

Στο έργο για την χρησιμότητα του μοντέλου της ίωσης στο ETM ο M21 απαντάει: «*Το μοντέλο μας βοήθησε να δούμε πως κολλάμε έναν ιό (MA1)*». Στην απάντηση του μαθητή εντοπίζεται 1 MA η οποία κατατάσσεται στο υψηλότερο επίπεδο, στο E1 δηλαδή στο «εργαλείο μάθησης ή/και επικοινωνίας» και συγκεκριμένα αναγνωρίζει το μοντέλο ως εργαλείο οπτικοποίησης.

Στη συνέντευξη ο μαθητής επαναλαμβάνει την απάντηση που έδωσε στο γραπτό ερωτηματολόγιο χωρίς να δίνει περαιτέρω πληροφορίες, παρά τις βοηθητικές ερωτήσεις από τον ερευνητή (γράφημα 4.39).

Γράφημα 4.39. Χρησιμότητα του μοντέλου της ίωσης.



Κατακόρυφος άξονας: 1: Εργαλείο οπτικοποίησης, κατανόησης, επικοινωνίας 0: όχι εργαλείο/ασαφής.

ΕΕ 9: Χρησιμότητα πολλαπλών μοντέλων

Όσον αφορά την χρησιμότητα των πολλαπλών μοντέλων ο M21 στο ETM απαντάει: «*Ναι, γιατί όσα πιο πολλά μοντέλα κάνουμε τόσο πιο πολλές πληροφορίες έχουμε (MA1)*». Στην απάντηση του μαθητή εντοπίζεται μια MA από την οποία ο μαθητής αναγνωρίζει την αξία των πολλαπλών μοντέλων ως μέσα συλλογής περισσότερων πληροφοριών και κατατάσσεται στο επίπεδο E1.

Στην συνέντευξη ο μαθητής αναφέρει:

«Ε. Εδώ έχουμε 2 διαφορετικά μοντέλα για την ίωση. Χρειάζεται να έχουμε διαφορετικά μοντέλα για το ίδιο φαινόμενο;

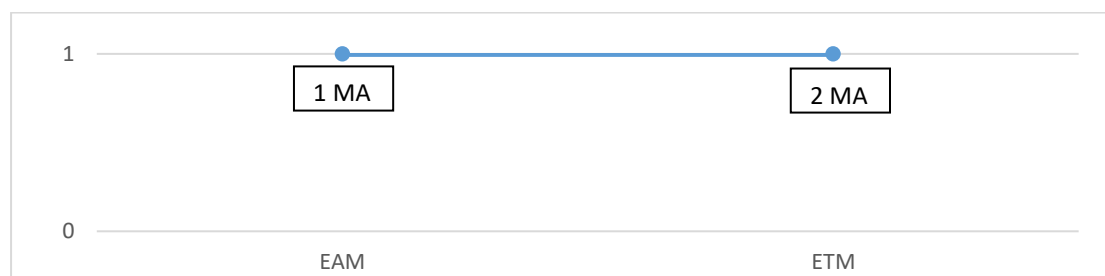
Μ. Χρειάζεται γιατί όσο πιο πολλά μοντέλα έχουμε τόσο πιο πολλές πληροφορίες παίρνουμε (MA1).

Ε. Τέλεια. Πάρα πολύ ωραία. Εμάς σε τι μας βοήθησαν αυτά τα διαφορετικά μοντέλα για την ίωση;

Μ. Το πρώτο μοντέλο για να αναπαραστήσουμε πώς είναι.. πώς κολλάμε ιούς και το δεύτερο είναι πώς μολύνει το κύτταρο... ο ιός το DNA (MA2)».

Στην συνέντευξη ο M21 αρχικά επαναλαμβάνει την απάντηση που έδωσε στο γραπτό ερωτηματολόγιο χωρίς να αλλάξει κάτι. Στη συνέχεια με τις βοηθητικές ερωτήσεις του ερευνητή δηλώνει έμμεσα ότι τα δυο μοντέλα με τα οποία μελέτησαν το φαινόμενο της ίωσης στην τάξη, ήταν χρήσιμα γιατί τους βοήθησαν να συλλέξουν διαφορετικές πληροφορίες (MA2). Έτσι η MA1 και η MA2 εντάσσονται στο υψηλότερο επίπεδο (E1) (γράφημα 4.40).

Γράφημα 4.40. Χρησιμότητα διαφορετικών μοντέλων για την ίωση



Κατακόρυφος άξονας: 1: διαφορετικές πληροφορίες/πλεονεκτήματα 0: όχι διαφορετικές πληροφορίες/πλεονεκτήματα-ασαφής

5^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ- ΣΥΖΗΤΗΣΗ

5.1. Νοηματοδότηση της N-ET

Η ΔΜΑ είχε ως περιεχόμενο πέντε *Μεγάλες Ιδέες*. Από τα αποτελέσματα των γραπτών ερωτηματολογίων φαίνεται ότι οι μαθητές νοηματοδότησαν τη N-ET μέσα από μία ή δύο *Μεγάλες Ιδέες*, το «μέγεθος» ή/και τα «εργαλεία και όργανα». Μια πιθανή ερμηνεία για το εύρημα αυτό έγκειται στον διδακτικό χρόνο που αφιερώθηκε σε αυτές τις δύο ΜΙς. Στον πίνακα 2.3 φαίνεται πως το «μέγεθος» εισάγεται ως *Μεγάλη Ιδέα* και στις έξι ενότητες της ΔΜΑ και τα «εργαλεία και όργανα» στις τέσσερις.

Επιπλέον, άξιο παρατήρησης είναι ότι στην αρχική μέτρηση ένα σημαντικό ποσοστό των μαθητών κατέγραψε ότι η νανοτεχνολογία σχετίζεται με κάτι μικρό. Το εύρημα αυτό διαφοροποιείται με αντίστοιχα της διεθνούς βιβλιογραφίας, στην οποία επισημαίνεται ότι μικρό ποσοστό συνδέει τη «νανοτεχνολογία» ή το «νάνο» με κάτι μικρό (Castellini et al., 2007· Murriello, Contier, & Knobel, 2006). Πιθανόν, για τους Έλληνες μαθητές, ο όρος «νάνο» έχει νόημα στο πλαίσιο της καθημερινής τους επικοινωνίας, γιατί η λέξη νάνος στην ελληνική γλώσσα έχει την σημασία του «μικρού» (Μπαμπινιώτης, 2002). Το γεγονός ότι οι μαθητές προσπαθούν να προσεγγίσουν τον όρο «νανοτεχνολογία» ετυμολογικά καταγράφεται και στην διεθνή βιβλιογραφία. Σε έρευνα των Waldron et al. (2006) πολλοί ήταν οι μαθητές που θεώρησαν το «νάνο» ως ακρωνύμιο Ισπανικής λέξης ή ως άλλος όρος για την λέξη «γιαγιά» (grandmother) κάτι που όμως ήταν μακριά από το νόημα του όρου νανοτεχνολογία.

Επιπρόσθετα, για το πρώτο ερευνητικό ερώτημα, το κριτήριο για να θεωρήσουμε ότι μια απάντηση ανήκει στην «επιστημονική άποψη» ήταν η αναγνώριση μιας από τις πέντε ΜΙς στις απαντήσεις των μαθητών. Το κριτήριο αυτό φαίνεται να είναι «ελαστικό». Στη βιβλιογραφία, συναντάμε ανάλογη αξιολόγηση αρχικών ιδεών για το περιεχόμενο για τη N-ET. Συγκεκριμένα, σε έρευνα των Castellini et al. (2007) ένας σωστός ορισμός για τον όρο νανοτεχνολογία περιλάμβανε «την αναφορά σε έναν τύπο τεχνολογίας και στο μικρό μέγεθος» (σελ. 185). Επίσης, οι Waldron et al. (2006) καταγράφουν ως σωστό ορισμό για τη «νανοτεχνολογία» αυτόν στον οποίο τα υποκείμενα ανέφεραν ότι η νανοτεχνολογία αφορά «τον χειρισμό της ύλης σε κλίμακα μικρότερη των 100nm» (σελ. 573). Επομένως, ανοιχτό ζητούμενο σε επόμενη

αναθεωρημένη εφαρμογή της ΔΜΑ μπορεί να είναι η διερεύνηση της δυνατότητάς να εμπλουτιστεί το σχετικό κριτήριο με μεγαλύτερο αριθμό ΜΙ.

5.2. Μέγεθος - αντικείμενα αναφοράς

Όσον αφορά τις ιδέες των μαθητών για το μικρότερο αντικείμενο που υπάρχει, φαίνεται ότι πριν την εφαρμογή της ΔΜΑ, ένα μικρό ποσοστό των μαθητών ανέφερε οντότητες του νανόκοσμου ή του ατομικού κόσμου. Το εύρημα αυτό είναι σύμφωνο με τη βιβλιογραφία (Castellini et al., 2007· Waldron et al., 2006). Ωστόσο, στη βιβλιογραφία επισημαίνεται ότι οι περισσότεροι μαθητές δημοτικού σχολείου αναφέρουν οντότητες του μικρόκοσμου. Μάλιστα, οι Murriello, Contier, & Knobel (2006) υποστηρίζουν ότι ο βιολογικός μικρόκοσμος μπορεί να αποτελέσει ένα όχημα για να περάσουμε στον νανόκοσμο. Όντως, και στην δική μας έρευνα σχεδόν οι μισοί μαθητές στην αρχική μέτρηση κατέγραψαν βιολογικές οντότητες του μικρόκοσμου όπως τα κύτταρα. Το εύρημα αυτό επηρέασε τον σχεδιασμό της ΔΜΑ, στο να προσεγγίσουμε τους -μη ορατούς με γυμνό μάτι κόσμους-, ξεκινώντας από τον βιολογικό μικρόκοσμο, για παράδειγμα με τα κύτταρα και τους πυρήνες των κυττάρων. Επόμενο βήμα ήταν η προσέγγιση του βιολογικού νανόκοσμου διερευνώντας το φαινόμενο της ίωσης, τον ιό και το DNA.

Επιπλέον, με βάση την τελική μέτρηση φαίνεται πως η πλειοψηφία των μαθητών ανέφερε σωστά τα αντικείμενα αναφοράς (landmark objects) για τον νανόκοσμο. Λαμβάνοντας υπόψη ότι τα αντικείμενα αναφοράς θεωρούνται ως ένα χρήσιμο εργαλείο για τη διάκριση του μακρόκοσμου, του μικρόκοσμου και του νανόκοσμου, το παραπάνω εύρημα εκτιμούμε ότι είναι ιδιαίτερα σημαντικό γιατί αναδεικνύει την επιτυχή εφαρμογή της ΔΜΑ (Bryan et al., 2015· Stevenst et al., 2009· Delgado, 2009· Tretter et al., 2006).

5.3. Εργαλεία και Όργανα

Όσον αφορά τα όργανα παρατήρησης, φαίνεται πως πριν την εφαρμογή της ΔΜΑ, κανένας μαθητής δεν γνώριζε το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο, δηλαδή το όργανο παρατήρησης τους νανόκοσμου. Ελάχιστοι διέκριναν το οπτικό μικροσκόπιο από ένα πιο ισχυρό μικροσκόπιο με όρους όπως «νανοσκόπιο», ή ένα «πολύ ισχυρό

μικροσκόπιο». Μετά την εφαρμογή, οι περισσότεροι κατέγραψαν το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο για την παρατήρηση ενός αντικειμένου του νανόκοσμου. Το εύρημα αυτό είναι σημαντικό καθώς τα όργανα παρατήρησης αποτελούν έναν ποιοτικό κριτήριο για τον διαχωρισμό του ευρέως φάσματος των μεγεθών σε κόσμους (μάκρο, μικρο, νάνο) (Stevens et al., 2009).

Επιπλέον, επισημαίνουμε ότι στην αρχική μέτρηση οι μισοί περίπου μαθητές σωστά ανέφεραν το οπτικό μικροσκόπιο ως όργανο παρατήρησης μιας οντότητας του μικρόκοσμου π.χ. του κυττάρου. Τα αποτελέσματα αυτά είναι σε συμφωνία με προγενέστερες έρευνες σε δείγμα 69 μαθητών της Ε' και Στ' τάξης (Πέικος, Μάνου, Σπύρτου, 2015· Πέικος, Παπαδοπούλου, Μάνου, 2015). Οι Murriello et al. (2006) κατέληξαν στο ίδιο αποτέλεσμα, δηλαδή στο ότι οι μαθητές της ίδιας ηλικίας έχουν προϋπάρχουσες γνώσεις για οντότητες του μικρόκοσμου. Έτσι ενισχύεται η επιλογή μας να προσεγγίσουμε το νανόκοσμο με βάση τον περιορισμό των ορίων παρατήρησης του οπτικού μικροσκοπίου. Για παράδειγμα, οι μαθητές παρατηρώντας κύτταρα με το οπτικό μικροσκόπιο αναρωτιούνται πως μπορούν να δουν αν ένα κύτταρο είναι μολυσμένο με ιό. Ως εκ τούτου, διαπιστώνουν ότι το οπτικό μικροσκόπιο δεν είναι ικανό να προσφέρει την κατάλληλη μεγέθυνση και είναι απαραίτητο ένα νέο όργανο, το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο.

5.4. Μέγεθος: ταξινόμηση & σειροθέτηση

Όσον αφορά την ταξινόμηση (EE4) πριν την εφαρμογή της ΔΜΑ, κανένας μαθητής δε μπορούσε να ταξινομήσει αντικείμενα στο μακρόκοσμο, στο μικρόκοσμο και στο νανόκοσμο με κριτήριο το όργανο παρατήρησης. Αντίθετα, μετά την εφαρμογή το μεγαλύτερο ποσοστό των μαθητών είχε οικοδομήσει την δεξιότητα της ταξινόμησης με κριτήριο το όργανο παρατήρησης. Με βάση το FS2 πλαίσιο (Magana et al., 2012) η ταξινόμηση αποτελεί το πρώτο σκαλοπάτι μιας υποστηρικτικής διδασκαλίας για το μέγεθος και την κλίμακα.

Παρατηρούμε ότι πριν την εφαρμογή της ΔΜΑ πολύ λίγοι μαθητές γνώριζαν αντικείμενα αναφοράς του νανόκοσμου (EE2) και ακόμα λιγότεροι το σωστό όργανο παρατήρησής τους (EE3). Τα χαμηλά αυτά ποσοστά των μαθητών είναι πιθανόν να δικαιολογούν και τα χαμηλά ποσοστά της ταξινόμησης, η οποία φαίνεται πως

προϋποθέτει την γνώση αντικειμένων και των τριών κόσμων αλλά και των οργάνων παρατήρησής τους. Το εύρημα αυτό ενισχύεται από τα αποτελέσματα της τελικής μέτρησης στην οποία καταγράφεται σημαντική αύξηση στα υψηλότερα επίπεδα και των τριών αυτών ερευνητικών ερωτημάτων. Πιο αναλυτικά, παρατηρείται πως οι περισσότεροι μαθητές οικοδόμησαν α) αντικείμενα αναφοράς του νανόκοσμου β) όργανα παρατήρησης των τριών κόσμων γ) σωστή ταξινόμηση με κριτήριο το όργανο τουλάχιστον για επτά από το σύνολο των οχτώ αντικειμένων αναφοράς. Με βάση τα παραπάνω μπορούμε να υποθέσουμε ότι για το περιεχόμενο της N-ET η οικοδόμηση της ταξινόμησης σχετίζεται με την μάθηση των αντικειμένων αναφοράς (EE2) καθώς και με τα αντίστοιχα όργανα παρατήρησής τους (EE3). Ως εκ τούτου, αναδεικνύεται η ανάγκη περαιτέρω και εις βάθος έρευνας για το εύρημα αυτό.

Όσον αφορά την σειροθέτηση (EE5), στην αρχική μέτρηση καταγράφηκε ότι περίπου το ένα τέταρτο των μαθητών ήταν ικανό να σειροθετήσει σωστά είτε όλα τα αντικείμενα είτε τα αντικείμενα του μακρόκοσμου και του μικρόκοσμου. Το εύρημα αυτό συνάδει με την βιβλιογραφία, η οποία καταγράφει πως οι μαθητές έχουν αρχικά καλύτερες επιδόσεις στην σειροθέτηση σε σχέση με την ταξινόμηση (Delgado et al., 2007). Στην τελική μέτρηση ο μεγαλύτερος αριθμός των μαθητών σειροθέτησε σωστά όλα τα αντικείμενα. Επομένως, μπορούμε να υποστηρίξουμε ότι η ΔΜΑ βοήθησε τους μαθητές να οικοδομήσουν ένα ποιοτικό κριτήριο για τη σειροθέτηση: το «ποιο αντικείμενο χωράει μέσα σε ποιο». Οι Tretter et al. (2006) αναφέρουν πως οι μαθητές έχουν μεγαλύτερη επιτυχία σε έργα σειροθέτησης του μακρόκοσμου όταν αναγνωρίζουν κάποια ποιοτική σχέση μεταξύ των αντικειμένων του. Επίσης, υποστηρίζουν ότι οι μαθητές λόγω έλλειψης εμπειρίας με τον μη ορατό κόσμο δεν φαίνεται να έχουν οικοδομήσει κάποιο ποιοτικό κριτήριο. Έτσι, αποτυγχάνουν στο να σειροθετήσουν σωστά αντικείμενα του μη ορατού κόσμου (Laherto, 2010· Tretter et al., 2006). Τα αποτελέσματα της έρευνάς μας για τις δύο μελέτες περίπτωσης είναι σύμφωνα με την παραπάνω θέση.

5.5. Περιγραφή του μηχανισμού φιλτραρίσματος υπό το πρίσμα της σειροθέτησης

Στο έργο «ο καθαρισμός του νερού με φίλτρα νανοτεχνολογίας» αξιολογήσαμε την ανάπτυξη της ικανότητάς των μαθητών να σειροθετούν σωστά τα αντικείμενα (Magana et al., 2012) και παράλληλα να χρησιμοποιούν σχετικούς όρους του νανογραμματισμού π.χ. «νανοτρύπες» και «ιός». Πριν την εφαρμογή κανένας μαθητής δεν εξήγησε τη λειτουργία του νανόφιλτρου σειροθετώντας τα σχετικά αντικείμενα/οντότητες. Μετά την εφαρμογή το 1/3 περίπου των μαθητών τα κατάφερε. Αυτοί οι μαθητές, όπως και ο M4 της μελέτης περίπτωσης, περιέγραψαν το φιλτράρισμα με έναν συλλογισμό που βασίζεται στο ποιοτικό μέγεθος των αντικειμένων που φιλτράρουν και φιλτράρονται για παράδειγμα «οι τρύπες του νανόφιλτρου είναι τόσο μικρές που ο ιός δε χωράει να περάσει ενώ το νερό είναι πιο μικρό και χωράει να περάσει».

Επισημαίνεται όμως ότι περισσότεροι από τους μισούς μαθητές δεν ήταν ικανοί να εφαρμόσουν την σειροθέτηση σε μια συγκεκριμένη εφαρμογή της N-ET. Με άλλα λόγια δεν ήταν ικανοί να εφαρμόσουν την σειροθέτηση σε ένα νέο πλαίσιο. Το εύρημα αυτό είναι σε συμφωνία με τη βιβλιογραφία στην οποία καταγράφεται ότι οι μαθητές δυσκολεύονται να μεταφέρουν την γνώση τους σε ποικίλα πλαίσια (Spyrtou, Hatzikraniotis & Kariotoglou, 2009). Ως εκ τούτου, αναδεικνύεται η ανάγκη να σχεδιαστούν κατάλληλα έργα, τα οποία θα βοηθήσουν τους μαθητές να εφαρμόζουν την σειροθέτηση ως συλλογισμό για να περιγράψουν σχετικές εφαρμογές της N-ET.

5.6. Επίδραση του νανόκοσμου στον μικρόκοσμο και τον μακρόκοσμο υπό το πρίσμα της ταξινόμησης

Στο EE4 εξετάσαμε την ικανότητα των μαθητών να ταξινομούν αντικείμενα στους τρεις κόσμους και παρατηρήσαμε στην τελική μέτρηση ότι οι περισσότεροι μαθητές τα κατάφεραν. Επιπλέον, αξιολογήσαμε την ικανότητά τους να εφαρμόσουν τη γνώση τους για την ταξινόμηση στο φαινόμενο της ίωσης. Από τα αποτελέσματα φαίνεται πως περισσότεροι από τους μισούς μαθητές, κατάφεραν να περιγράψουν την επίδραση του νανόκοσμου, στον μικρόκοσμο και στον μακρόκοσμο ταξινομώντας στους τρεις κόσμους τα σχετικά αντικείμενα. Συνεπώς, μπορούμε να υποστηρίξουμε πως η πλειοψηφία των μαθητών κατέκτησε το επίπεδο της ποιοτικής κατηγοριοποιητικής

αντίληψης, που αποτελεί το πρώτο βήμα για την κατανόηση του μεγέθους και της κλίμακας (Magana et al., 2012) σε διαφορετικά έργα και άρα διαφορετικά πλαίσια (Spyrtou, Hatzikraniotis & Kariotoglou, 2009).

Επιπλέον, τα θετικά αυτά αποτελέσματα ενισχύουν την αποτελεσματικότητα της ΔΜΑ καθώς ερευνητές της εκπαίδευσης υποστηρίζουν ότι είναι σημαντικό οι τρεις κόσμοι να μη διδάσκονται αποσπασματικά, αλλά να αναδεικνύεται η αλληλεπίδρασή τους (Majier 2011· Stevens et al., 2009· Healy, 2009).

5.7. Το φαινόμενο του λωτού (υπερ-υδροφοβικότητα)

Όσον αφορά το «φαινόμενο του λωτού» πριν την εφαρμογή της ΔΜΑ, οι περισσότεροι μαθητές δήλωναν άγνοια ή έδιναν ασαφείς απαντήσεις. Επιπλέον, αναδείχθηκαν εναλλακτικές ιδέες των μαθητών οι οποίες σχετίζονταν με τα φυσικά χαρακτηριστικά του λάχανου, όπως το σχήμα του. Η ΔΜΑ φαίνεται πως βοήθησε τους μαθητές να αναπτύξουν τον νανογραμματισμό τους στις περιγραφές του φαινομένου, όπως νανοεξογκώματα και υδροφοβικότητα.

Από τα αποτελέσματα της μελέτης περίπτωσης M4, -ο οποίος έδωσε τις περισσότερες απαντήσεις στα υψηλότερα επίπεδα- φαίνεται ότι όταν του ζητήθηκε να περιγράψει το φαινόμενο της υδροφοβικότητας σε μια εφαρμογή της NET (υδροφοβικό ξύλο) εξέφρασε την εναλλακτική ιδέα ότι το ξύλο είναι λείο, γι' αυτό κυλάνε οι σταγόνες. Διευκρινίζεται ότι στην 5^η ενότητα της ΔΜΑ οι μαθητές ενεπλάκησαν σε δραστηριότητες οι οποίες σχετίζονταν κυρίως με φυσικά υπερυδροφόβα νανοϋλικά, όπως το λάχανο, τα οποία κλήθηκαν να μοντελοποιήσουν. Έτσι λαμβάνοντας υπόψη το παραπάνω εύρημα φαίνεται ότι θα ήταν χρήσιμο να εμπλουτιστεί μια επόμενη ΔΜΑ με δραστηριότητες πειραματισμού και μοντελοποίησης τεχνητών υπερυδροφοβικών νανοϋλικών.

5.8. Φύση και ρόλος των μοντέλων

Αναγνωρίστηκε σημαντική εξέλιξη στις απόψεις των μαθητών για τη φύση των μοντέλων, αφού η πλειοψηφία των μαθητών μετά την εφαρμογή της ΔΜΑ αναγνώρισε το μοντέλο ως αναπαράσταση. Τα ευρήματα της αρχικής μέτρησης είναι σύμφωνα με αντίστοιχα της βιβλιογραφίας, στα οποία φαίνεται ότι οι μαθητές δεν

αναγνωρίζουν την αναπαραστατική φύση του μοντέλου (Ζουπίδης, 2012· Treagust et al., 2002). Αποδίδουμε τη θετική εξέλιξη των μαθητών, στο γεγονός ότι σε όλα τα δίωρα διδασκαλίας έγινε διαπραγμάτευση της φύσης και του ρόλου των μοντέλων. Επιπλέον, σε κάθε δίωρο οι μαθητές κατασκεύαζαν μοντέλο σχετικό με το περιεχόμενο διαπραγμάτευσης.

Σχετικά με τον ρόλο του μοντέλου του ματιού, πριν την εφαρμογή της ΔΜΑ μεγάλο μέρος των μαθητών αναγνώρισε το μοντέλο ως εργαλείο μάθησης ή επικοινωνίας και μάλιστα μετά την εφαρμογή το σύνολο των μαθητών μπορούσε να αναφέρει την χρησιμότητα των μοντέλων. Το εύρημα αυτό είναι σε συμφωνία με τη βιβλιογραφία και δείχνει ότι οι μαθητές έχουν προϋπάρχουσες ιδέες, κοντά στην επιστημονική άποψη, για τον ρόλο των μοντέλων, δηλαδή ότι είναι χρήσιμα για κάποιο σκοπό (Ζουπίδης, 2012· Vosniadou· 2010· Treagust et al., 2002).

Επίσης, η τελική μέτρηση της έρευνας για τη χρησιμότητα των μοντέλων είναι σε θετική κατεύθυνση. Αφενός γιατί οι περισσότεροι μαθητές αναγνώρισαν ότι τα μοντέλα του νανόκοσμου είναι χρήσιμα εργαλεία μάθησης και επικοινωνίας. Αφετέρου αναγνώρισαν την αξία των πολλαπλών μοντέλων στο νανόκοσμο (μοντέλα ίωσης), δηλαδή αναγνώρισαν ότι με διαφορετικά μοντέλα μπορούμε να συλλέξουμε διαφορετικές και περισσότερες πληροφορίες (Turkoglu & Oztekin, 2016, Schwartz, et al., 2009· Stevens et al., 2009).

Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφέρουμε ότι τα μοντέλα ήταν η βασική πηγή συλλογής δεδομένων για τον νανόκοσμο, καθώς δεν είναι δυνατή η χρήση του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου. Υπό το πρίσμα της Διδακτικής, η πλοκή του περιεχομένου της N-ET με τα μοντέλα φαίνεται ότι έχει διττή διδακτική αξία. Από τη μια, το περιεχόμενο της N-ET -μακριά από την αισθητηριακή αντίληψη- φαίνεται ότι μπορεί να προσεγγιστεί με τη ρητή διδασκαλία των μοντέλων· από την άλλη, φαίνεται ότι είναι κατάλληλο για την μάθηση της φύσης και του ρόλου των μοντέλων.

5.9. Η επιστημολογική γνώση για τα μοντέλα και οι αντιλήψεις των μαθητών για τη N-ET

Στη βιβλιογραφία καταγράφεται ότι η επιστημολογική γνώση για τα μοντέλα μπορεί να συμβάλλει στο να γίνουν κατανοητές έννοιες συνθέτες οι οποίες βρίσκονται μακριά

από την αισθητηριακή μας αντίληψη (Vosniadou, 2010), όπως είναι οι έννοιες και τα φαινόμενα της N-ET (Magana et al., 2012). Τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης της έρευνάς μας έδειξαν ότι η γνώση για τη φύση και τον ρόλο των μοντέλων μπορεί να προβλέψει την γνώση για το περιεχόμενο της N-ET στο 34% των μαθητών του συγκεκριμένου δείγματος.

Το εύρημα αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τον σχεδιασμό μιας αναθεωρημένης ΔΜΑ στην οποία θα μπορούσε να ενισχυθεί η διδασκαλία για τη φύση και τον ρόλο των μοντέλων, όπως για παράδειγμα με την συζήτηση για την αξία ενός μοντέλου και τη δυνατότητα βελτίωσής του (Louca & Zacharia, 2015· Schwarz et al., 2009· Constantinou, 1999).

5.10. Περιορισμοί της έρευνας και προτάσεις για το μέλλον

Η ΔΜΑ εφαρμόστηκε σε 22 μαθητές της ΣΤ τάξης του δημοτικού σχολείου και τα αποτελέσματα από την αξιολόγηση της ΔΜΑ φαίνεται ότι είναι ενθαρρυντικά για την μάθηση του περιεχομένου της N-ET καθώς και της φύσης και του ρόλου των μοντέλων. Το δείγμα όμως της έρευνας είναι μικρό και το σχολείο στο οποίο εφαρμόστηκε η ΔΜΑ έχει παράδοση στην εφαρμογή καινοτομιών. Συνεπώς δε μπορούμε να εξάγουμε γενικά συμπεράσματα. Σε μελλοντική έρευνα είναι απαραίτητο αφενός να αυξηθεί το δείγμα των μαθητών και αφετέρου να συμμετέχουν μαθητές από διαφορετικά σχολικά περιβάλλοντα.

Επιπλέον, βασικό εργαλείο για την αξιολόγηση της μάθησης αποτέλεσε το γραπτό ερωτηματολόγιο, ενώ η ημιδομημένη συνέντευξη χρησιμοποιήθηκε για δύο μελέτες περίπτωσης. Στην έρευνά μας στο γραπτό ερωτηματολόγιο της τελικής μέτρησης, οι μαθητές νοηματοδότησαν τη N-ET μέσα από δύο *Μεγάλες Ιδέες*, ενώ στην ημιδομημένη συνέντευξη με την υποστήριξη κατάλληλων ερωτήσεων νοηματοδότησαν τη N-ET μέσα από τρεις ή τέσσερις *Μεγάλες Ιδέες*. Σε μελλοντική έρευνα είναι απαραίτητο να αυξηθεί ο αριθμός των ημιδομημένων συνεντεύξεων για τον ίδιο ερευνητικό στόχο.

Επιπλέον, από την επισκόπηση της βιβλιογραφίας για την διδασκαλία και μάθηση της *Μεγάλης Ιδέας* «Μέγεθος και Κλίμακα» παρατηρούμε ότι οι προτάσεις που εντοπίζονται (Delgado et al., 2015· Magana, 2014· Magana et al. 2012· Delgado, 2009·

Delgado, et al., 2007· Tretter et al. 2006) βασίζονται σε θεωρίες της γνωστικής ψυχολογίας του Gagne (1987) και των Inhelder και Piaget (1958). Με άλλα λόγια ένα από τα πιο σύγχρονα θέματα στη Διδακτική των Φυσικών Επιστημών, δηλαδή η εκμάθηση του περιεχομένου της N-ET, προσεγγίζεται μέσω θεωριών της γνωστικής ψυχολογίας οι οποίες ήταν αναπτύχθηκαν από τα μέσα του προηγούμενου αιώνα. Με βάση τον παραπάνω προβληματισμό εγείρεται το ερώτημα, εάν μπορούμε να προσεγγίσουμε τη μάθηση και διδασκαλία «Μέγεθος και Κλίμακα» με σύγχρονες θεωρίες της γνωστικής ψυχολογίας.

Επιπλέον, μια από τις πιο σύγχρονες τάσεις στην Διδακτική των Θετικών Επιστημών είναι η διεπιστημονική προσέγγιση μέσα στο πλαίσιο του STEM (Science Technology Engineering Mathematics) (Bhushan, 2016), το οποίο τα τελευταία χρόνια έχει εμπλουτιστεί με το πεδίο της Τέχνης (Art) και στη βιβλιογραφία εντοπίζεται με τον όρο STEAM (Science Technology Engineering Art Mathematics) (Herr, 2016). Η N-ET αποτελεί από την φύση της ένα διεπιστημονικό πεδίο και ήδη για το αναλυτικό πρόγραμμα των ΦΕ έχει γίνει μια πρώτη πρόταση σύνδεσης των *Μεγάλων Ιδεών* με συγκεκριμένες ενότητες του (Μάνου και συν., 2013). Επομένως, η ανάπτυξη μιας διεπιστημονικής προσέγγισης του περιεχομένου της N-ET υπό το πρίσμα του STEAM φαίνεται ότι είναι ένα επίκαιρο ερευνητικό ζητούμενο της Διδακτική των ΦΕ.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Abd-El-Khalick, F., Boujaoude, S., Duschl, R., Lederman, N. G., Mamlok-Naaman, R., Hofstein, A, & Tuan, H. L. (2004). Inquiry in science education: International perspectives. *Science education*, 88 (3), 397-419.
- Batt, C., Waldron, A., & Trautmann, C. (2004). It's a Nanoworld: A study of use. Retrieved from http://www.informalscience.org/sites/default/files/report_121.pdf (Προπλάστηκε 06/07/16).
- Beck, D. M., Vrabel, G., & Budnik, M. M. (2009, October). Introduction to Nanotechnology: implementation of a cooperative program for gifted and talented elementary school children. In *2009 39th IEEE Frontiers in Education Conference* (pp. 1-7). IEEE.
- Behari, J. (2010). Principles of nanoscience: An overview. *Indian Journal of experimental Biology*, 48, 1008-1019.
- Besson, U., Borghi, L., De Ambrosis, A., & Mascheretti, P. (2010). A Three-Dimensional Approach and Open Source Structure for the Design and Experimentation of Teaching-Learning Sequences: The case of friction. *International Journal of Science Education*, 32 (10), 1289-1313.
- Bhushan, B. (2007). Adhesion of multi-level hierarchical attachment systems in gecko feet. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 21 (12-13), 1213-1258.
- Bhushan, B. (2016). Introduction to Nanotechnology: History, Status, and Importance of Nanoscience and Nanotechnology Education. In K. Winkelmann & B. Bhushan (eds.), *Global Perspectives of Nanoscience and Engineering Education, Science Policy Reports* (pp. 1-31). Switzerland: Springer International Publishing.
- Blonder, R., & Sakhnini, S. (2012). Teaching two basic nanotechnology concepts in secondary school by using a variety of teaching methods. *Chemistry Education Research and Practice*, 13 (4), 500-516.

- Blonder, R., & Sakhnini, S. (2016). What Are the Basic Concepts of Nanoscale Science and Technology (NST) that Should Be Included in NST Educational Programs? In K. Winkelmann, B. Bhushan (eds.), *Global Perspectives of Nanoscience and Engineering Education, Science Policy Reports*. Switzerland: Springer International Publishing.
- Brown, A. L. (1992). Design experiments: Theoretical and methodological challenges in creating complex interventions in classroom settings. *The Journal of the Learning Sciences*, 2 (2), 141–178.
- Bryan, L. A., Magana, A. J., & Sederberg, D. (2015). Published research on pre-college students' and teachers' nanoscale science, engineering, and technology learning. *Nanotechnology Reviews*, 4 (1), 7-32.
- Buty, C., Tiberghien, A., & Le Maréchal, J. F. (2004). Learning hypotheses and associated tools to design and to analyse teaching-learning sequences. *International Journal of Science Education*, 26, 579–604.
- Castellini, O. M., Walejko, G. K., Holladay, C. E., Theim, T. J., Zenner, G. M., Crone, W. C. (2007). Nanotechnology and the public: Effectively nanoscale science and engineering concepts. *Journal of Nanoparticle Research*, 9 (2), 183-189.
- Chang, R. P. (2006). A call for nanoscience education. *Nano Today*, 1 (2), 6-7.
- Chen, Y. Y., Lu, C. C., & Sung, C. C. (2012). Inquire learning effects to elementary school students' nanotechnology instructions. In *Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching*, 13 (1).
- Cheng, J. C., Hung, J. F., & Huang, T. C. (2014). Promoting Middle School Students' Understanding and Situational Interest in Integrating Nanotechnology Into Science Curriculum. *US-China Education Review*, 4 (1), 48-53.
- Cheng, Y. T., & Rodak, D. E. (2005). Is the lotus leaf superhydrophobic? *Applied physics letters*, 86 (14), 144101.

- Cho, J. Y., & Lee, E. H. (2014). Reducing confusion about grounded theory and qualitative content analysis: Similarities and differences. *The Qualitative Report*, 19 (32), 1.
- Cleophas, T. J. & Zwinderman, A. H. (2010). *SPSS for Starters*. London: Springer Science & Business Media.
- Cohen, L., Manion, L. & Morrison, K. (2007). *Research Methods in Education*. New York: Routledge.
- Cohen, L., Manion, L. & Morrison, K. (2008). *Μεθοδολογία Εκπαιδευτικής Έρευνας*. Αθήνα: Μεταίχμιο.
- Coll, R. K., France, B., & Taylor, I. (2005). The role of models/and analogies in science education: implications from research. *International Journal of Science Education*, 27 (2), 183-198.
- Constantinou, C.P. (1999). The Cocoa Microworld as an Environment for Modeling Physical Phenomena. *International Journal of Continuing Education and Life-Long Learning*, 9 (2), 201-213.
- Creswell, J. W. (2011). *Η έρευνα στην εκπαίδευση: Σχεδιασμός, διεξαγωγή και αξιολόγηση της ποσοτικής και ποιοτικής έρευνας*. Αθήνα: Έλλην.
- Crone, W. C. (2010). Bringing nano to the public: A collaboration opportunity for researchers and museums. *Journal of Nano Education*, 2(1-2), 102-116.
- Daly, S., & Bryan, L. (2007). Models of nanoscale phenomena as tools for engineering design and science inquiry. In *Proceedings of the American Society for Engineering Education*.
- Delgado, C., Stevens, S. Y., Shin, N., & Krajcik, J. (2015). A middle school instructional unit for size and scale contextualized in nanotechnology. *Nanotechnology Reviews*, 4(1), 51-69.

- Delgado, C. (2009). *Development of a research-based learning progressin for middle school through undergraduate students' conceptual understanding of size and scale*. Doctoral dissertation: The University of Michigan.
- Delgado, C., Stevens, S. Y., Shin, N., Yunker, M., & Krajcik, J. (2007, April). The development of students' conceptions of size. Presented at the *annual meeting of the National Association of Research in Science Teaching*. New Orleans, LA.
- Design-Based Collective. (2003). Design-based research: An emerging paradigm for educational inquiry. *Educational Researcher*, 32, 5–8.
- Driscoll, M. P. (2000). *Psychology of learning for instruction*. Boston: Allyn and Bacon
- Driver, R. (1989). Students' conceptions and the learning of science. *International journal of science education*, 11 (5), 481-490.
- Δρογγίτη, Ε., Πέικος, Γ., Μάνου, Α. & Σπύρτου, Α. (2015) Διδασκαλία της Νανοεπιστήμης-Νανοτεχνολογίας (N-ET) στο δημοτικό σχολείο: μελέτη του ενδιαφέροντος των μαθητών για τη N-ET. Στο Δ. Ψύλλος, Α., Μολοχίδης & Μ. Καλλέρη (Επιμ.), Διδασκαλία και Μάθηση στις Φυσικές Επιστήμες και την Τεχνολογία: Έρευνες, Καινοτομίες και Πρακτικές, *Πρακτικά του 9^{ου} Πανελληνίου συνεδρίου των Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση* (σσ. 1073-1080). Θεσσαλονίκη: Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο.
- Duit, R. (2007). Science education research internationally: Conceptions, research methods, domains of research. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 3 (1), 3–15.
- Duit, R., Gropengießer, H., Kattmann, U., Komorek, M., & Parchmann, I. (2012). The Model of Educational Reconstruction—a Framework for Improving Teaching and Learning Science1. In *Science education research and practice in Europe*, 13-37.
- Elo, S., & Kyngäs, H. (2007). The qualitative content analysis process. *Journal of advanced nursing*, 62 (1), 107-115.

- European Commission. (2007). *Science education now. A renewed pedagogy for the future of Europe*. Brussels: European Commission.
- Feynman, R. P. (1960). There's plenty of room at the bottom. *Engineering and science*, 23 (5), 22-36.
- Filipponi, L. and Sutherland, D., (2010) Introduction to Nanoscience and Nanotechnologies. Chapter 1, http://nanoyou.eu/attachments/188_Module-1-chapter-1.pdf (Προσπελάστηκε 04/06/2016)
- Forsthuber, B., Motiejunaite, A., & de Almeida Coutinho, A. S. (2011). *Science Education in Europe: National Policies, Practices and Research*. Education, Audiovisual and Culture Executive Agency, European Commission.
- Freestone, I., Meeks, N., Sax, M., & Higgitt, C. (2007). The Lycurgus cup-a roman nanotechnology. *Gold Bulletin*, 40 (4), 270-277.
- Gagné, R. M., & Glaser, R. (1987). Foundations in learning research. In R. M. Gagné (Ed.) *Instructional technology: foundations* (pp. 49-83). New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Ghattas, N., & Carver, J. (2012) Integrating nanotechnology into school education: a review of the literature. *Research in Science & Technological Education*, 30 (3), 271-284.
- Gilbert, J.K., Boulter, C., & Rutherford, M. (1998). Models in explanations, Part1: horses for courses? *International Journal of Science Education*, 20 (1), 83-97.
- Gilbert, J.K., Boulter, C.J., & Elmer, R. (2000). Positioning models in science education and in design and technology education. In J.K. Gilbert & C.J. Boulter (Eds.), *Developing models in science education* (pp. 3–18). New York: Springer Science & Business Media.
- Gyalog, T. (2007). Nanoscience education in Europe. *Europhysics News*, 38 (1), 13-15
- Healy, N. (2009). Why nano education? *Journal of Nano Education*, 1 (1), 6-7.

- Herr, D. J. (2016). The Need for Convergence and Emergence in Twenty-first Century Nano-STEAM+ Educational Ecosystems. In K. Winkelmann & B. Bhushan (Eds) *Global Perspectives of Nanoscience and Engineering Education* (pp. 83-115). Switzerland: Springer International Publishing.
- Hidi, S., & Renninger, K. A. (2006). The four-phase model of interest development. *Educational psychologist, 41* (2), 111-127.
- Hingant, B., & Albe, V. (2010). Nanosciences and nanotechnologies learning and teaching in secondary education: A review of literature. *Studies in Science Education, 46* (2), 121-152.
- Hochella, M. F. (2002). Nanoscience and technology: the next revolution in the Earth sciences. *Earth and Planetary Science Letters, 203* (2), 593-605.
- Huang, C. Y., Hsu, L. R., and Chen, H. C. (2011). "A Study on the Core Concepts of Nanotechnology for the Elementary School." *Journal of National Taichung University: Mathematics, Science & Technology 25* (1), 1–22.
- Huang, C., Notten, A., & Rasters, N. (2011). Nanoscience and technology publications and patents: a review of social science studies and search strategies. *The Journal of Technology Transfer, 36* (2), 145-172.
- Hutchinson, K., Bodner, G. M., & Bryan, L. A. (2011). Middle-and high-school students' interest in nanoscale science and engineering topics and phenomena. *Journal of Pre-College Engineering Education Research, 1*, 30–39.
- Hutchinson, K., Shin, N., Stevens, S., Yunker, M., Delgado, C., Giordano, N., & Bodner, G. (2007, April). *Exploration of student understanding and motivation in nanoscience*. Paper presented at NARST 2007, New Orleans, LA.
- Ιωσηφίδης, Θ. (2008). *Ποιοτικές μέθοδοι έρευνας στις κοινωνικές επιστήμες*. Αθήνα: Κριτική.

- Jones, G. Blonder, R., Gardner, G., Albe, V., Falvo, M., Chevrier, J. (2013). Nanotechnology and Nanoscale Science: Educational challenges. *International Journal of Science Education*. 35 (9), 1490-1512.
- Jones, M. G., Tretter, T., Paechter, M., Kubasko, D., Bokinsky, A., Andre, T., & Negishi, A. (2007). Differences in African-American and European-American students' engagement with nanotechnology experiences: Perceptual position or assessment artifact?. *Journal of Research in Science Teaching*, 44 (6), 787-799.
- Kähkönen, A. L., Laherto, A., Lindell, A., & Tala, S. (2016). Interdisciplinary Nature of Nanoscience: Implications for Education. In K. Winkelmann & B. Bhushan (eds.). *Global Perspectives of Nanoscience and Engineering Education* (pp. 35-81). Switzerland: Springer International Publishing.
- Kariotoglou, P., Psillos, D., & Tselfes, V. (2003). Modelling the evolution of teaching – Learning sequences: From discovery to constructivism. In D. Psillos, P. Kariotoglou, V. Tselfes, E. Hatzikraniotis, G. Fassoulopoulos, & M. Kallery (Eds.), *Science education research in the knowledge-based society* (pp. 259–268). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Κατσής, Α., Σιδερίδης, Γ., Εμβαλωτής, Α. (2010). *Στατιστικές μέθοδοι στις κοινωνικές επιστήμες*. Αθήνα: Τόπος.
- Kattmann, U., Duit, R., Gropengießer, H., & Komorek, M. (1996, April). Educational reconstruction—bringing together issues of scientific clarification and students' conceptions. In *Annual Meeting of the National Association of Research in Science Teaching (NARST)*, St. Louis.
- Klabunde, K., Richards, R. (2009). *Nanoscale materials in chemistry*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Kline, P. (2000). *The handbook of psychological testing* (2nd ed.). London: Routledge.
- Kumar, N., & Kumbhat, S. (2016). *Essentials in Nanoscience and Nanotechnology*. John Wiley & Sons.

- Laherto, A. (2010). An Analysis of the Educational Significance of Nanoscience and Nanotechnology in Scientific and Technological Literacy. *Science Education International*, 21 (3), 160-175.
- Lijnse, P. (1995). “Developmental Research” as a way to an empirically based “Didactical Structure” of Science. *Science Education*, 79 (2), 189–199.
- Lijnse, P. (2004). Didactical structures as an outcome of research on teaching–learning sequences?. *International Journal of Science Education*, 26 (5), 537-554.
- Lin, S. Y., Wu, M. T., Cho, Y. I., & Chen, H. H. (2015). The effectiveness of a popular science promotion program on nanotechnology for elementary school students in I-Lan City. *Research in Science & Technological Education*, 33 (1), 1-16.
- Louca, L. T., & Zacharia, Z. C. (2012). Modeling-based learning in science education: cognitive, metacognitive, social, material and epistemological contributions. *Educational Review*, 64 (4), 471-492.
- Louca, L. T., & Zacharia, Z. C. (2015). Examining learning through modeling in K-6 science education. *Journal of Science Education and Technology*, 24(2-3), 192-215.
- Loughran, J., Smith, K., & Berry, A. (2011). *Scientific literacy under the microscope: A whole school approach to science teaching and learning*. Rotterdam: Sense Publishers.
- Magana, A. J. (2014). Learning strategies and multimedia techniques for scaffolding size and scale cognition. *Computers & Education*, 72, 367-377.
- Magana, A., Brophy, S., Bryan, L. (2012) An Integrated Knowledge Framework to Characterize and Scaffold Size and Scale Cognition (FS2C). *International Journal of Science Education*, 34 (14), 2181-2203.
- Μάνου, Α. & Σπύρτου, Α. (2013). Η εισαγωγή της Νανοεπιστήμης – Νανοτεχνολογίας στην υποχρεωτική εκπαίδευση: βιβλιογραφική επισκόπηση του περιεχομένου και σύνδεση του με το Νέο Πρόγραμμα Σπουδών για τις Φυσικές Επιστήμες. Στο Δ.

- Βαβουγιός & Σ. Παρασκευόπουλος (Επμ.), Πρακτικά του 8^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου της Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση (σσ. 658-665). Βόλος: Παιδαγωγικό Τμήμα Ειδικής Αγωγής.
- Μάνου, Λ., Σπύρτου, Α., Χατζηκρανιώτης, Ε., Καριώτογλου, Π. (2015). Βιβλιογραφική επισκόπηση του περιεχομένου της διδασκαλίας της Νανοεπιστήμης και Νανοτεχνολογίας στις τρεις βαθμίδες εκπαίδευσης. Στο Δ., Ψύλλος, Α., Μολοχίδης & Μ. Καλλέρη, (Επμ.), Πρακτικά 9^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση - Διδασκαλία και Μάθηση στις Φυσικές Επιστήμες και την Τεχνολογία: Έρευνες, Καινοτομίες και Πρακτικές, (σς. 203-21).Θεσσαλονίκη.
- Mansoori, G. A. (2005). *Principles of nanotechnology: molecular-based study of condensed matter in small systems*. World Scientific.
- Maynard, A. D. (2007). Nanotechnology: the next big thing, or much ado about nothing?. *Annals of Occupational Hygiene*, 51 (1), 1-12.
- Mayring, P. (2014). Qualitative content analysis: theoretical foundation, basic procedures and software solution. <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0168-ssoar-395173> (Προσπελάστηκε 10/09/2016)
- Méheut, M. (2004). Designing and validating two teaching–learning sequences about particle models. *International Journal of Science Education*, 26 (5), 605-618.
- Méheut, M., & Psillos, D. (2004). Teaching–learning sequences: aims and tools for science education research. *International Journal of Science Education*, 26 (5), 515-535.
- Meijer, M. (2011). *Macro-meso-micro thinking with structure-property relations for chemistry education*. Doctoral thesis, Faculty of Science, Utrecht, The Netherlands. <http://dspace.library.uu.nl/handle/1874/205840> (Προσπελάστηκε 14/05/2016).

- Peters, M., A. (2016): Technological unemployment: Educating for the fourth industrial revolution. *Educational Philosophy and Theory*, 1-6.
- Minoli, D. (2005). *Nanotechnology applications to telecommunications and networking*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Miwa, M., Nakajima, A., Fujishima, A., Hashimoto, K., & Watanabe, T. (2000). Effects of the surface roughness on sliding angles of water droplets on superhydrophobic surfaces. *Langmuir*, 16 (13), 5754-5760.
- Μπαμπινιώτης, Γ. (2002). *Λεξικό της Νέας Ελληνικής Γλώσσας (2^η έκδοση)*. Αθήνα: Κέντρο Λεξικολογίας Ε.Π.Ε.
- Murriello, S., Contier, D., & Knobel, M. (2006). Challenges of an exhibit on nanoscience and nanotechnology. *Journal of Science Communication*, 5 (4), 1-10.
- Murty, B., Shankar, P., Raj, B., Rath, B. B, Murday, J. (2013). *Textbook of Nanoscience and Nanotechnology*. Bangalore: Springer & Universities Press (India) Private Limited.
- National Research Council (NRC). 2000. *Inquiry and the national science education standards: A guide for teaching and learning*. Washington, DC: National Academy Press.
- O'Connor, C., & Hayden, H. (2008). Contextualising nanotechnology in chemistry education. *Chemistry Education Research and Practice*, 9 (1), 35-42.
- Oh, P. S., & Oh, S. J. (2011). What teachers of science need to know about models: An overview. *International Journal of Science Education*, 33 (8), 1109-1130.
- Oon, P. T., & Subramaniam, R. (2011). On the declining interest in physics among students—from the perspective of teachers. *International journal of Science education*, 33 (5), 727-746.
- Osborne, J. (2008). Engaging young people with science: does science education need a new vision?. *School Science Review*, 89 (328), 67.

- Peikos, G., Manou, L., Spyrtou., A & Papadopoulou, Ch. (2016). Study of the evolution of primary students' ideas about Nanoscience-Nanotechnology. *Proceedings in the Third International Conference "Education across Borders" Education and Research across Time and Space*. Bitola: Faculty of Education (in press).
- Πέικος, Γ., Μάνου, Λ. & Σπύρτου, Α. (2015α). Σχεδιασμός και ανάπτυξη εκπαιδευτικού υλικού για τη διδασκαλία της νανοτεχνολογίας στο δημοτικό σχολείο. Πιλοτική εφαρμογή. Στο Χ. Σκουμπουρδή & Μ. Σκουμιάς (Επιμ.), *Πρακτικά του Ιου Πανελληνίου Συνεδρίου με Διεθνή Συμμετοχή «Ανάπτυξη Εκπαιδευτικού Υλικού στα Μαθηματικά και τις Φυσικές Επιστήμες»*, (σσ. 327-346). Ρόδος: Σχολή Ανθρωπιστικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Αιγαίου.
- Πέικος, Γ., Μάνου, Λ. & Σπύρτου, Α. (2015β). Ανάπτυξη και αξιολόγηση Διδακτικής Μαθησιακής Σειράς για την διδασκαλία της Νανοεπιστήμης - Νανοτεχνολογίας στο δημοτικό σχολείο. Στο Δ. Ψύλλος, Α. Μολοχίδης & Μ. Καλλέρη (Επιμ.), *Διδασκαλία και Μάθηση στις Φυσικές Επιστήμες και την Τεχνολογία: Έρευνες, Καινοτομίες και Πρακτικές*, *Πρακτικά του 9^{ου} Πανελληνίου συνεδρίου των Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση* (σσ. 279-286). Θεσσαλονίκη: Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο.
- Πέικος, Γ., Παπαδοπούλου., Χ. & Μάνου, Λ. (2015). Ιδέες και γνώσεις των μαθητών για τη Νανοεπιστήμη - Νανοτεχνολογία στο δημοτικό σχολείο. Στο Δ. Ψύλλος, Α. Μολοχίδης & Μ. Καλλέρη (Επιμ.), *Διδασκαλία και Μάθηση στις Φυσικές Επιστήμες και την Τεχνολογία: Έρευνες, Καινοτομίες και Πρακτικές*, *Πρακτικά του 9^{ου} Πανελληνίου συνεδρίου των Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση* (σσ. 1047-1052). Θεσσαλονίκη: Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο.
- Petrosino, A. (2003). Commentary: A framework for supporting learning and teaching about mathematical and scientific models. *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*, 3 (3), 288-299.
- Planinsic, G. (2001). Water-drop projector. *Physics Teacher*, 39 (2), 76-79.

- Pradell, T. (2016). Lustre and Nanostructures- Ancient Technologies Revisited. In Dillmann, P., Bellot-Gurlet, L., & Nenner, I (Eds). *Nanoscience and Cultural Heritage* (pp. 3-40). Paris, France: Atlantis Press.
- Pradell, T., Pavlov, R. S., Gutiérrez, P. C., Climent-Font, A., & Molera, J. (2012). Composition, nanostructure, and optical properties of silver and silver-copper lusters. *Journal of Applied Physics*, *112* (5), 054307.
- Psillos, D., & Kariotoglou, P. (2016). Theoretical Issues Related to Designing and Developing Teaching-Learning Sequences. In D. Psillos, & P. Kariotoglou (Eds). *Iterative design of teaching-learning sequences* (pp. 11-34). Dordrecht: Springer Science & Business Media.
- Psillos, D., Spyrtou, A., & Kariotoglou, P. (2005). Science teachers education: Issues and proposals. In K. Boersma, M. Goedhart, O. De Jong, & H. Eijkelhof (Eds.), *Research and the quality of science education* (pp. 119–128). Dordrecht: Springer.
- Psillos, D., Tselfes, V. & Kariotoglou P. (2004). An epistemological analysis of the evolution of didactical activities in teaching–learning sequences: the case of fluids. *International Journal of Science Education*, *26* (5), 555-578.
- Ramsden, J. J., & Freeman, J. (2009). The nanoscale. *Nanotechnology Perceptions*, *5*, 3-25.
- Ramsden, J. (2011). *Nanotechnology: an introduction*. United States: Elsevier Inc.
- Reibold, M., Paufler, P., Levin, A. A., Kochmann, W., Pätzke, N., & Meyer, D. C. (2006). Materials: Carbon nanotubes in an ancient Damascus sabre. *Nature*, *444*, 286-286.
- Roberts, D. A. (2007). Scientific literacy/Science literacy. In S. K. Abell & N. G. Lederman (Eds.), *Handbook of research on science education* (pp. 729–780). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Roco, M. C. (2003). Converging science and technology at the nanoscale: opportunities for education and training. *Nature biotechnology*, *21* (10), 1247-1249.

- Roco, M. C. (2011). The long view of nanotechnology development: the National Nanotechnology Initiative at 10 years. *Journal of Nanoparticle Research*, 13 (2), 427-445.
- Roco, M., C. & Bainbridge, W., S. (2001). *Societal Implications of Nanoscience and Nanotechnology*. Arlington, Virginia
- Roduner, E. (2006). Size matters: why nanomaterials are different. *Chemical Society Reviews*, 35(7), 583-592.
- Sakhnini, S., & Blonder, R. (2015). Essential Concepts of Nanoscale Science and Technology for High School Students Based on a Delphi Study by the Expert Community. *International Journal of Science Education*, 37 (11), 1699-1738.
- Sakhnini, S., & Blonder, R. (2016). Nanotechnology applications as a context for teaching the essential concepts of NST. *International Journal of Science Education*, 38 (3), 521-538.
- Schunk, D., Pintrich, P., & Meece, J. (2010). Τα κίνητρα στην εκπαίδευση. Επιμ.: Ν. Μακρής, Δ. Πνευματικός. Αθήνα: Gutenberg.Schwartz 2005
- Schwarz, C. V., & White, B. Y. (2005). Metamodeling knowledge: Developing students' understanding of scientific modeling. *Cognition and instruction*, 23 (2), 165-205.
- Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., Achér, A., Fortus, D., Shwartz, Y., Hug B. & Krajcik, J. (2009). Developing a learning progression for scientific modeling: Making scientific modeling accessible and meaningful for learners. *Journal of Research in Science Teaching*, 46 (6), 632-654.
- Sciau, P. (2012). Nanoparticles in Ancient Materials: The Metallic Lustre Decorations of Medieval Ceramics. In A.A. Hashim (Ed.) *The Delivery of Nanoparticles* (pp. 525-540). Rijeka: InTech.

- Sciau, P. (2016). Nano-crystallization in Decorative Layers of Greek and Roman Ceramics. In P., Dillmann, L., Bellot-Gurlet & I., Nenner (Eds). *Nanoscience and Cultural Heritage* (pp. 41-58). Paris: Atlantis Press.
- Σγουρός, Γ. & Σταύρου, Δ. (2015). Εκπαίδευση Εκπαιδευτικών στην Ανάπτυξη Διδακτικών Ενοτήτων Νανοτεχνολογίας στο πλαίσιο μιας "Κοινότητας Μάθησης". Στο Δ. Ψύλλος, Α. Μολοχίδης & Μ. Καλλέρη (Επμ.), *Διδασκαλία και Μάθηση στις Φυσικές Επιστήμες και την Τεχνολογία: Έρευνες, Καινοτομίες και Πρακτικές, Πρακτικά του 9^{ου} Πανελληνίου συνεδρίου των Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση* (σσ. 45-52). Θεσσαλονίκη: Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο.
- Sherman, R. R., & Webb, R. B. (2005). *Qualitative Research in Education: Focus and Methods*. London: Routledge Falmer
- Shong, C. W., Sow, C. H., & Wee, A. T. (2010). *Science at the nanoscale: an introductory textbook*. Singapore: Pan Stanford Publishing Pte. Ltd.
- Sobolev, K., & Gutiérrez, M. F. (2005). How nanotechnology can change the concrete world. *American Ceramic Society Bulletin*, 84 (10), 14.
- Σταύρου, Δ. (2015). Αλληλεπίδραση Εκπαίδευσης, Επιστημονικής Έρευνας και Κέντρων Φυσικών Επιστημών για την Ανάπτυξη Διδακτικής Ενότητας Νανοτεχνολογίας: το πρόγραμμα Irresistible. Στο Δ. Ψύλλος, Α. Μολοχίδης & Μ. Καλλέρη (Επμ.), *Διδασκαλία και Μάθηση στις Φυσικές Επιστήμες και την Τεχνολογία: Έρευνες, Καινοτομίες και Πρακτικές, Πρακτικά του 9^{ου} Πανελληνίου συνεδρίου των Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση* (σσ. 43-44). Θεσσαλονίκη: Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο.
- Spyrtou, A., Hatzikraniotis, E., & Kariotoglou, P. (2009). Educational software for improving learning aspects of Newton's Third Law for student teachers. *Education and Information Technologies*, 14 (2), 163-187.

- Spyrtou, A., Hatzikraniotis, E., & Kariotoglou, P. (2009). Educational software for improving learning aspects of Newton's Third Law for student teachers. *Education and Information Technologies*, 14 (2), 163-187.
- Σπύρτου, Α., & Ζάχου, Π. (2015). Εκπαιδευτικό υλικό για τις Φυσικές Επιστήμες στο Δημοτικό Σχολείο: ανάπτυξη και παρουσίαση του υλικού σε Φεστιβάλ Φυσικών Επιστημών και Τεχνολογίας. Στο Χ. Σκουμπουρδή & Μ. Σκουμιός (Επιμ.), *Πρακτικά του 1ου Πανελληνίου Συνεδρίου με Διεθνή Συμμετοχή «Ανάπτυξη Εκπαιδευτικού Υλικού στα Μαθηματικά και τις Φυσικές Επιστήμες»*, (σσ. 393-408). Ρόδος: Σχολή Ανθρωπιστικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Αιγαίου.
- Σπύρτου, Α., Πέικος, Γ. & Μάνου, Α. (2016). Ταξινόμηση και σειροθέτηση αντικειμένων για την κατανόηση του μεγέθους στην κλίμακα του νάνο από μαθητές Δημοτικού Σχολείου. Στο Μ. Σκουμιός & Χ. Σκουμπουρδή (Επιμ.), *Πρακτικά του 2ου Πανελληνίου Συνεδρίου με Διεθνή Συμμετοχή «Το εκπαιδευτικό υλικό στα Μαθηματικά και το εκπαιδευτικό υλικό στις Φυσικές Επιστήμες: μοναχικές πορείες ή αλληλεπιδράσεις;»* (σσ. 169-205). Ρόδος: Σχολή Ανθρωπιστικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Αιγαίου.
- Stafford, C. L., Molinaro, M., & Nanozone Leader Team. (2005) *Lessons learned from Nanozone*. <http://nanosense.sri.com/documents/papers/ICLS2006HsiSabelli.pdf> (Προσπελάστηκε 08/07/2016)
- Stevens, S., Sutherland, L., & Krajcik, J. (2009). *Big ideas of nanoscale science and engineering: A guidebook for secondary teachers*. Arlington, VA: NSTA Press.
- Strauss, A., & Corbin, J. (1994). Grounded theory methodology: An overview. In N. Denzin & Y. Lincoln (Eds.), *Handbook of qualitative research* (pp. 273-285). Thousand Oaks, CA: Sage.
- Tang, W., Hu, J., Zhang, H., Wu, P., & He, H. (2015). Kappa coefficient: a popular measure of rater agreement. *Shanghai Arch Psychiatry*, 27 (1), 62-67.
- Tarafdar, J. C., Sharma, S., & Raliya, R. (2013). Nanotechnology: Interdisciplinary science of applications. *African Journal of Biotechnology*, 12 (3), 219-226.

- Tarng, W., Chang, C. H., Lin, C. M., Pei, J. H., & Lee, C. Y. (2011). Development and Research of Web-based Virtual Nanotechnology Laboratory for Learning the Basic Concepts of Nanoscience. *Science*, 2 (6), 1255-1263.
- Taylor, A., Jones, G., & Pearl, T. P. (2008). Bumpy, Sticky, and Shaky: Nanoscale Science and the Curriculum. *Science Scope*, 31(7), 28-35.
- Tiberghien, A., Vince, J., & Gaidioz, P. (2009). Design-based Research: Case of a teaching sequence on mechanics. *International Journal of Science Education*, 31 (17), 2275-2314.
- Treagust, D. F., Chittleborough, G., & Mamiala, L. T. (2002). Students' understanding of the role of scientific models in learning science. *International Journal of Science Education*, 24, 357 – 368.
- Tretter, T. R., Jones, M. G., & Minogue, J. (2006). Accuracy of scale conceptions in science: Mental maneuverings across many orders of spatial magnitude. *Journal of Research in Science Teaching*, 43 (10), 1061-1085.
- Tretter, T., Jones, M., Andre, T., Negishi, A., & Minogue, J. (2006). Conceptual boundaries and distances: Students' and experts' concepts of the scale of scientific phenomena. *Journal of Research in Science Teaching*, 43 (3), 282–319.
- Turkoglu, A., Y., & Oztekin, C. (2016). Science teacher candidates' perceptions about roles and nature of scientific models. *Research in Science & Technological Education*, 34 (2), 219-236.
- Unesco (2006). *The ethics and politics of nanotechnology*. France: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.
- Van der Valk, T., van Driel, J. H., & de Vos, W. (2007). Common characteristics of models in present-day scientific practice. *Research in Science Education*, 37 (4), 469-488.

- Vosniadou, S. (2010). Instructional considerations in the use of external representations. In L. Verschaffel, et al. (Eds.), *Use of representations in reasoning and problem solving* (pp. 36–54). New York: Routledge.
- Waldron, A., M., Spencer, D., & Batt, C., A. (2006). The current state of public understanding of nanotechnology. *Journal of Nanoparticle Research*, 8 (5), 569-575.
- Wansom, S., Mason, T. O., Hersam, M. C., Drane, D., Light, G., Cormia, R., ... & Bodner, G. (2009). A rubric for post-secondary degree programs in nanoscience and nanotechnology. *International Journal of Engineering Education*, 25 (3), 615.
- Willig, C. (2013). *Introducing qualitative research in psychology*. New York: Open University Press.
- Χαλκιά, Κ. (2012). *Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες*. Αθήνα: Εκδόσεις Πατάκη.
- Zoupidis, A., Spyrtou, A., Malandrakis, G., & Kariotoglou, P. (2016). The Evolutionary Refinement Process of a Teaching-Learning Sequence for Introducing Inquiry Aspects and Density as Materials' Property in Floating/Sinking Phenomena. In D. Psillos & P. Kariotoglou (Eds.), *Iterative Design of Teaching-Learning Sequences* (pp. 167-199). Dordrecht: Springer Science & Business Media.
- Ζουπίδης, Α. (2012). *Διδασκαλία και μάθηση με τη χρήση μοντέλων Φυσικών Επιστημών και Τεχνολογίας: Εφαρμογή στα φαινόμενα της πλεύσης και της βύθισης*. Διδακτορική διατριβή. Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας. Ελλάδα.

Ανακαλύψτε τον αόρατο κόσμο των κυττάρων του κρεμμυδιού

Σημειωματάριο Επιστημονικής Ομάδας

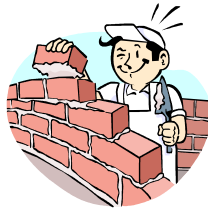
Ονοματεπώνυμο επιστημόνων:



Ο Αντρέας βρίσκεται στην αίθουσα αναμονής ενός ιατρείου. Στον τοίχο διαβάζει την παρακάτω αφίσα.

Όλα τα πράγματα φτιάχνονται από μικρότερα κομμάτια.

Για παράδειγμα ένας



φτιάχνεται από τούβλα,

ένα



από μικρότερα κομματάκια

ένα



από χάντρες

Έτσι, και οι ζωντανοί οργανισμοί, όπως

το κρεμμύδι ,



ο σκύλος



και ο



άνθρωπος

φτιάχνονται από μικρότερα κομμάτια, **τα κύτταρα!**



Πρώτη φορά ακούω για
κύτταρα στο κρεμμύδι. Πώς να
μοιάζουν άραγε; Θα ρωτήσω
έναν επιστήμονα- βιολόγο!

Ως επιστήμονες βιολόγοι καλείστε να εξηγήσετε στον Ανδρέα πως μοιάζουν τα κύτταρα του κρεμμυδιού. Για να το πραγματοποιήσετε ακολουθήστε τα παρακάτω βήματα.

Βήμα 1^ο: Μελετήστε το κείμενο και την εικόνα για τα κύτταρα που βρίσκεται με τίτλο «Κύτταρο» που βρίσκεται στην επιφάνεια εργασίας του υπολογιστή σας.

Με βάση το κείμενο και την εικόνα αυτή, ανακαλύψτε με το μικροσκόπιο σας τα κύτταρα και τους πυρήνες από τα οποία αποτελείται ένα μικρό κομματάκι κρεμμυδιού.

Βήμα 2^ο: Τοποθέτησε τα παρακάτω αντικείμενα από το μεγαλύτερο προς το μικρότερο

Πυρήνας κυττάρου, κρεμμύδι, κύτταρο κρεμμυδιού



Βήμα 3^ο: Φτιάξτε ένα μοντέλο κυττάρων κρεμμυδιού με ζωγραφιά ή πλαστελίνη για να εξηγήσετε στον Ανδρέα πως μοιάζουν τα κύτταρα του κρεμμυδιού.

Ανακαλύψτε τον αόρατο κόσμο των κυττάρων του αίματος

Σημειωματάριο Επιστημονικής Ομάδας

Ονοματεπώνυμο επιστημόνων:



Δουλεύετε ως γιατροί - επιστήμονες σε ένα νοσοκομείο. Ένας ασθενής σας ζητά να κάνει εξετάσεις αίματος. Εξηγήστε στον ασθενή σας ποια κύτταρα περιέχονται στο αίμα και σε τι χρησιμεύει το καθένα.

Βήμα 1^ο : Αναζητήστε στο κόμικ «Τι υπάρχει μέσα στο αίμα», από ποια κύτταρα αποτελείται το αίμα και εξηγήστε το παρακάτω σκίτσο.

ερυθρά αιμοσφαίρια
ή
ερυθροκύτταρα

λευκά αιμοσφαίρια
ή
λευκοκύτταρα

Βήμα 2^ο : Παρατηρήστε στην εικόνα με τίτλο «Συστατικά του αίματος», τα διάφορα κύτταρα του αίματος όπως φαίνονται στην πραγματικότητα.

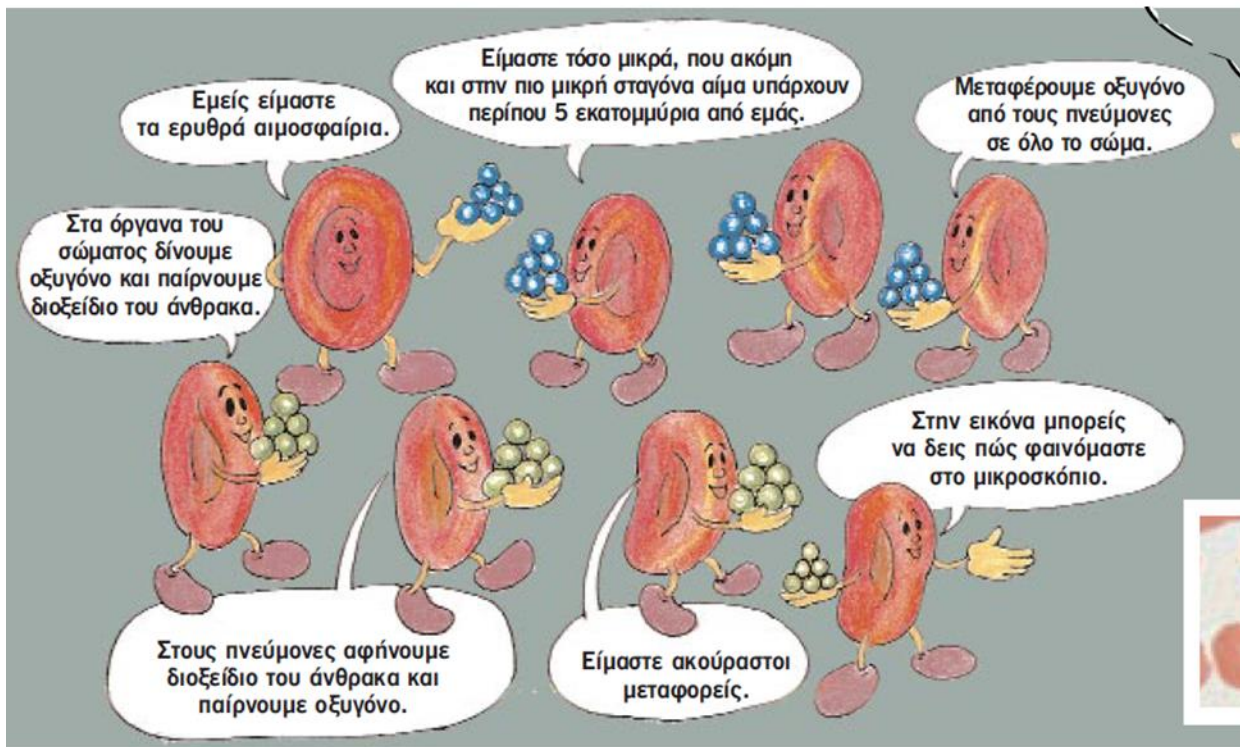
Βήμα 3^ο : Με το μικροσκόπιο παρατηρήστε μία σταγόνα αίματος. Ποια κύτταρα από τα παραπάνω αναγνωρίσατε;



Τα κύτταρα που αναγνωρίσαμε με το μικροσκόπιό μας είναι τα: _____

Βήμα 4: Φτιάξτε ένα μοντέλο ερυθροκυττάρων με ζωγραφιά ή πλαστελίνη.

Ενότητα 2: Comix «Τι υπάρχει μέσα στο αίμα;»

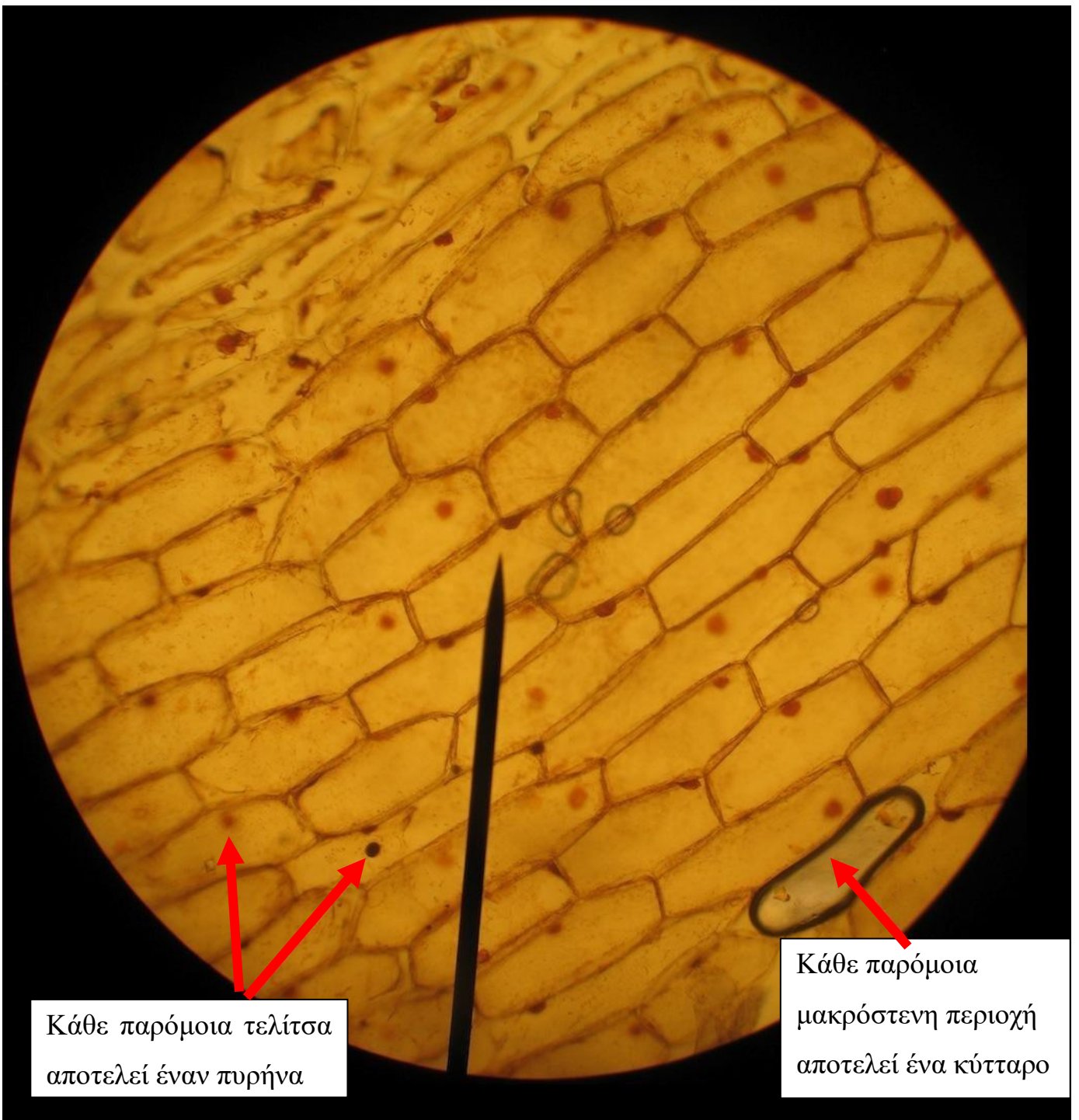


Ενότητα 2: Εικόνα και κείμενο για το κύτταρο και τους πυρήνες

Κύτταρο

Όλοι οι ζωντανοί οργανισμοί αποτελούνται από **κύτταρα**. Το **κύτταρο** είναι η μικρότερη μονάδα ζωής. Ανεξάρτητα από το σχήμα και τη μορφή τους, που ποικίλλουν πολύ, στα περισσότερα κύτταρα μπορούμε να διακρίνουμε τον **πυρήνα**.

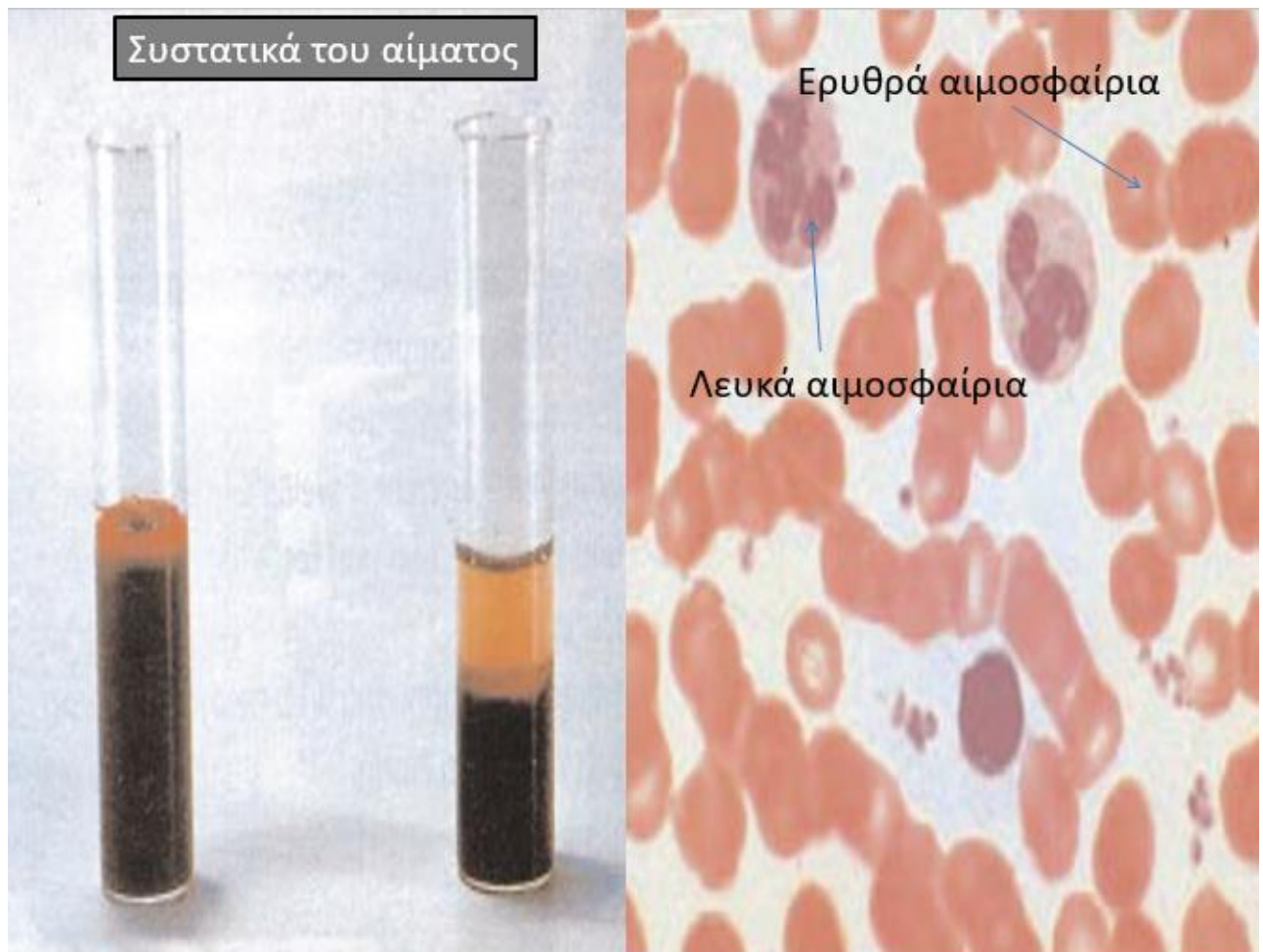
Στην εικόνα βλέπουμε τα κύτταρα και τους πυρήνες ενός κρεμμυδιού όπως ακριβώς φαίνονται με ένα **οπτικό μικροσκόπιο**.



Κάθε παρόμοια τελίτσα αποτελεί έναν πυρήνα

Κάθε παρόμοια μακρόστενη περιοχή αποτελεί ένα κύτταρο

Ενότητα 2: Εκτυπωμένη εικόνα για τα ερυθρά και τα λευκά αιμοσφαίρια



Ανακαλύψτε τον άορατο κόσμο των ιών

Σημειωματάριο Επιστημονικής Ομάδας

Ονοματεπώνυμο επιστημόνων:



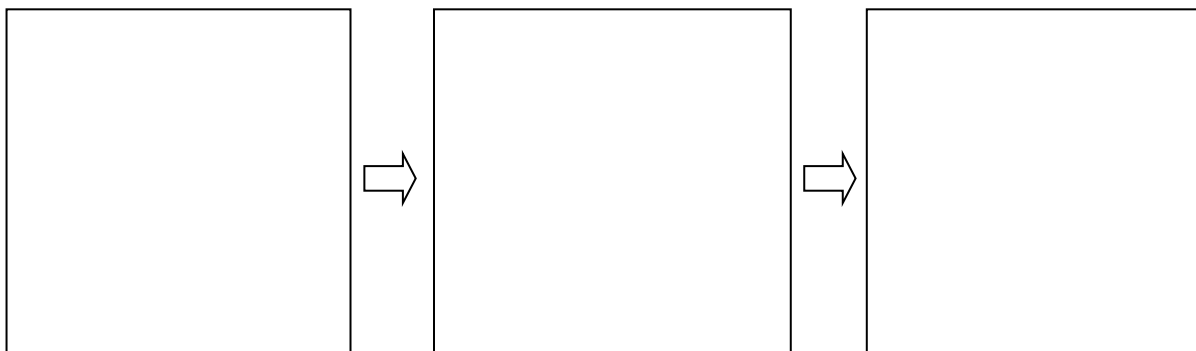
1) Ανοίξτε το λογισμικό «Ο αόρατος κόσμος των ιών» και ακολουθήστε τις οδηγίες ώστε να απαντήσετε στα εξής:

A) Με ποιο **όργανο** μπορώ να δω έναν **ιό**;

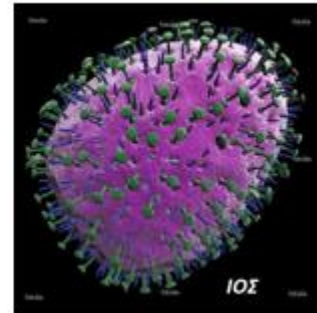
B) Τι **υπάρχει στο εσωτερικό του** ιού;

2) Παρακολουθήστε το βίντεο με τίτλο «Νανόκοσμος» και καταγράψτε ποιο αντικείμενο αναφέρεται ως αντικείμενο του νανόκοσμου.

3) Ανοίξτε τον φάκελο που βρίσκεται στο θρανίο σας και κόλλησε τα αντικείμενα **από το μεγαλύτερο προς το μικρότερο**.

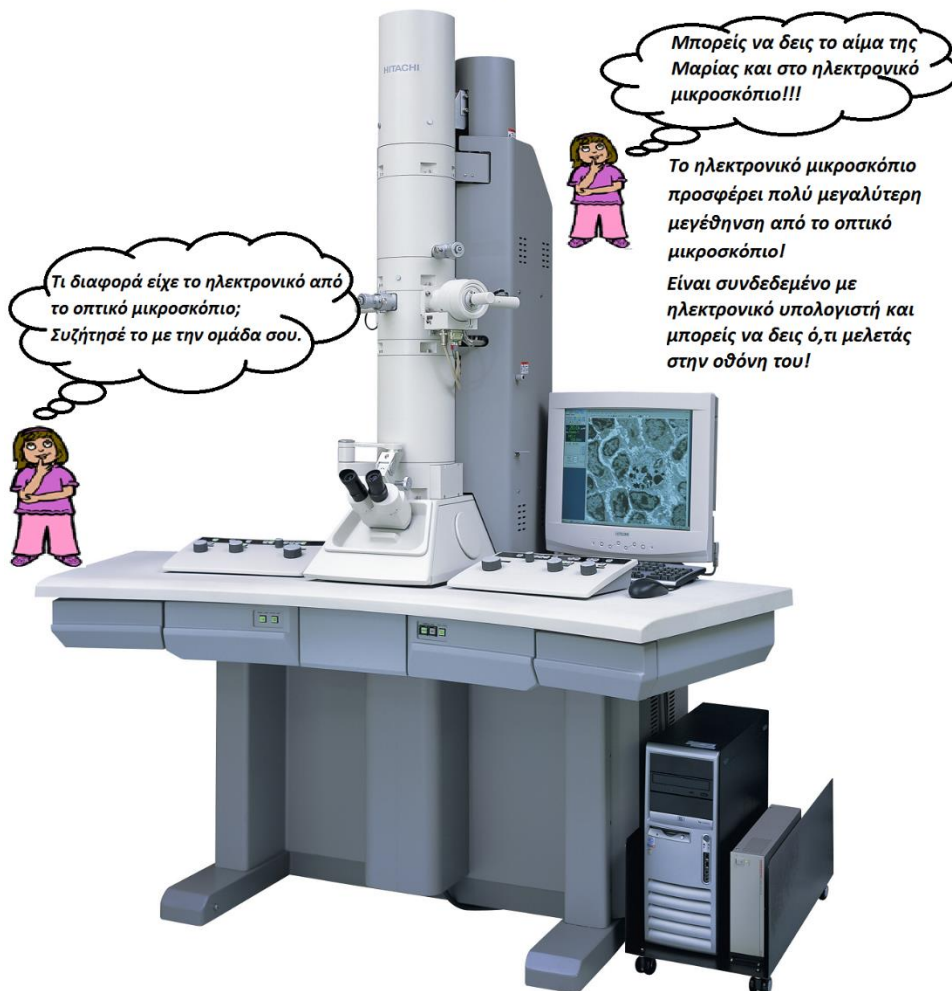


Οι εικόνες που δόθηκαν εκτυπωμένες στους μαθητές, για την σειροθέτηση στο ερώτημα 3 του φύλλου εργασίας



Ενότητα 3: Εικόνα που δόθηκε στους μαθητές με πληροφορίες για το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο

Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο



Το φαινόμενο της ίωσης: Πώς ο νανόκοσμος επηρεάζει τον μακρόκοσμο;

Σημειωματάριο Επιστημονικής Ομάδας

Όνοματεπώνυμο επιστημόνων:



Ως γιατροί καλείστε να δώσετε στη Μαρία πληροφορίες για το πώς αρρώστησε από τον ιό!

Στην επιφάνεια εργασίας του υπολογιστή σας υπάρχουν **4 μοντέλα** από τα οποία μπορείτε να συγκεντρώσετε **πληροφορίες για το πώς ένας ιός μας αρρωσταίνει**.

Με βάση τα 4 μοντέλα απαντήστε στα εξής:

1. Ποια αντικείμενα σχετίζονται με την ίωση;

2. Ποια από τα αντικείμενα που έγραψες ανήκουν στον:

Νανόκοσμο:

Μικρόκοσμο:

Μακρόκοσμο:

3. Καλείστε να κατασκευάσετε ένα **μοντέλο** για να εξηγήσετε στη Μαρία **πώς την αρρώστησε ο ιός**. Στο μοντέλο σας πρέπει να φαίνεται **πώς ένα αντικείμενο του νανόκοσμου επηρεάζει τον μικρόκοσμο και τον μακρόκοσμο**.

Βήματα για να κατασκευάσω το μοντέλο μου:

Τι θέλω να δείξω με το μοντέλο μου για την ίωση;

Από πού συγκέντρωσα πληροφορίες για να κατασκευάσω το μοντέλο μου;

«Το φαινόμενο του λάχανου» Ανακαλύψτε την υδροφοβικότητα

Σημειωματάριο Επιστημονικής Ομάδας

Ονοματεπώνυμο επιστημόνων:



**Ως νανοεπιστήμονες καλείστε να ανακαλύψετε πώς λειτουργεί
«Το φαινόμενο του λάχανου».**

Για να το πραγματοποιήσετε αυτό ακολουθήστε τα παρακάτω βήματα.

Βήμα 1^ο

A. Μελετήστε ως επιστημονική ομάδα την αφίσα με τίτλο «Το φαινόμενο του λάχανου» για να ανακαλύψετε:

- Ποιες **ιδιότητες** έχει το φύλλο του λάχανου
- **Πώς εξηγούνται** αυτές οι ιδιότητες

Συζητήστε πάνω σε αυτά

B. Παρακολουθήστε το βίντεο με τίτλο «Το φαινόμενο του λωτού» και συζητήστε τι **κοινό παρατηρείτε** στο βίντεο με αυτά που μελετήσατε στην αφίσα.

Βήμα 2^ο

Κατασκευάστε ένα **μοντέλο για να εξηγήσετε πώς λειτουργεί το φαινόμενο του λάχανου** με τα υλικά που σας δίνονται. Το μοντέλο μπορεί να συνοδεύεται από **κείμενο με σχετικές πληροφορίες**.

Το φαινόμενο του λάχανου

Παρά τη συνεχή έκθεση σε σκόνη, βροχή και βρομιά, τα φύλλα του λάχανου παραμένουν καθαρά και στεγνά.

Οι επιστήμονες διαπίστωσαν ότι το μυστικό του λάχανου βρίσκεται στην επιφάνεια των φύλλων.

Η επιφάνεια του φύλλου καλύπτεται από εξογκώματα σε μέγεθος νάνο, τα οποία δεν επιτρέπουν στο νερό και στη βρομιά να κολλήσουν σε αυτό. Αυτό κρατά τα φύλλα καθαρά και στεγνά ακόμα και στις πιο έντονες βροχοπτώσεις!

Εξογκώματα σε μέγεθος νάνο



Οι επιστήμονες χρησιμοποιούν τη νανοτεχνολογία για να μιμηθούν το αποτέλεσμα αυτό και να κάνουν τις καθημερινές επιφάνειες αυτοκαθαριζόμενες και αδιάβροχες.

Η επιφάνεια των φύλλων του λάχανου καλύπτεται από νανοεξογκώματα. Αυτά τα νανοεξογκώματα είναι τόσο μικρά ώστε τα βρόμικα σωματίδια και οι σταγόνες του νερού δε χωρούν ανάμεσά τους. Έτσι τα νανοεξογκώματα κρατούν τα βρόμικα σωματίδια και τις σταγόνες στον αέρα!



υδρο-φοβική: νερό (repels), φέτος (attracts)

υδρο-φιλική: νερό (attracts), αγάπη (repels)

Καθαρισμός νερού μέσω νανοτεχνολογίας

Σημειωματάριο Επιστημονικής Ομάδας

Ονοματεπώνυμο επιστημόνων:



Ως νανοεπιστήμονες καλείστε να ανακαλύψετε με ποιο τρόπο μπορείτε να καθαρίσετε το βρώμικο νερό ώστε να έχουν όλοι οι άνθρωποι καθαρό νερό.

Για να το πραγματοποιήσετε αυτό ακολουθήστε τα παρακάτω βήματα

Βήμα 1^ο

Πάνω από την λεκάνη τοποθετήστε το **φίλτρο** από τούλι με τις **μεγάλες τρύπες**. Ρίξτε πάνω του λασπόνερο.

Καθάρισε το νερό αφού πέρασε από τις μεγάλες τρύπες;

Βήμα 2^ο

Πάνω από την λεκάνη τοποθετήστε το **φίλτρο** από τούλι με τις **μικρές τρύπες**. Ρίξτε πάνω του λασπόνερο.

Καθάρισε το νερό **περισσότερο** αφού πέρασε από τις μικρές τρύπες σε **σχέση με την προηγούμενη παρατήρηση;**

Βήμα 3^ο

Πάνω από τον δοκιμαστικό σωλήνα τοποθετήστε το **φίλτρο** του καφέ με τις **μικροσκοπικές τρύπες**. Ρίξτε πάνω του λασπόνερο.

Καθάρισε το νερό **περισσότερο** αφού πέρασε από τις μικροσκοπικές τρύπες **σε σχέση με την προηγούμενη παρατήρηση;**

Βήμα 4^ο

Συζητήστε και έπειτα σημειώστε **τι είναι αυτό που αλλάζει στο κάθε φίλτρο** έτσι ώστε το νερό να είναι **πιο καθαρό** κάθε φορά.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ

Ερωτηματολόγιο αρχικής μέτρησης



Ερωτηματολόγιο

Όνοματεπώνυμο: _____

Ημερομηνία: _____

Σχολείο: _____



Απάντησε στις παρακάτω ερωτήσεις:

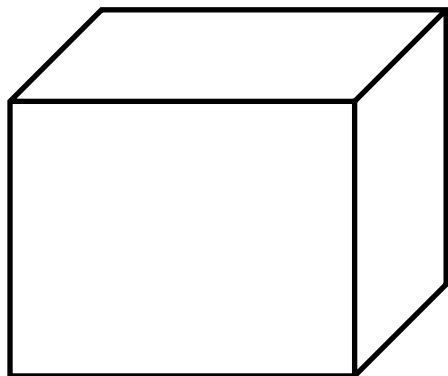
- E1. Ένας μαθητής διάβασε στο διαδίκτυο την λέξη **νανοτεχνολογία** και αναρωτήθηκε τι άραγε να σημαίνει. Προσπάθησε να του εξηγήσεις τι νομίζεις εσύ ότι είναι η νανοτεχνολογία.

E2. Ποιο νομίζεις ότι είναι το μικρότερο αντικείμενο που υπάρχει;	
E3. Πώς μπορείς να δεις το αντικείμενο που έγραψες;	

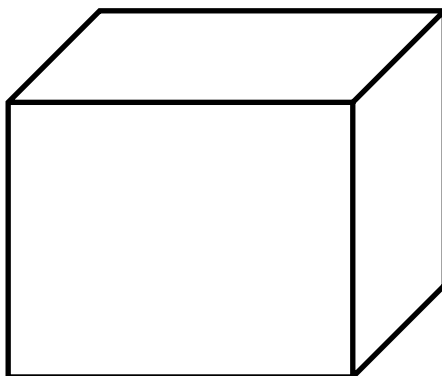
Ε4. Ταξινόμησε τα παρακάτω αντικείμενα στα κουτιά με βάση το μέγεθός τους.

Κόκκος αλατιού, μπάλα ποδοσφαίρου, κύτταρο κρεμμυδιού, ερυθρό αιμοσφαίριο, άνθρωπος, DNA, ιός, πυρήνας κυττάρου

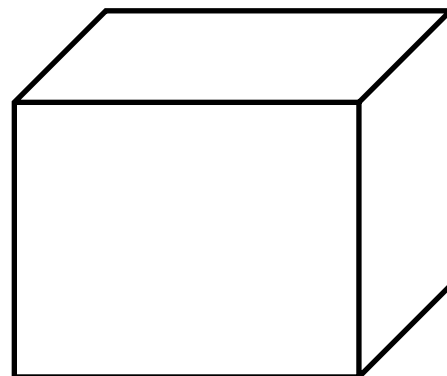
1



2



3



Γιατί έβαλες αυτά τα αντικείμενα στο 1^ο κουτί;
Απάντηση:

Γιατί έβαλες αυτά τα αντικείμενα στο 2^ο κουτί;
Απάντηση:

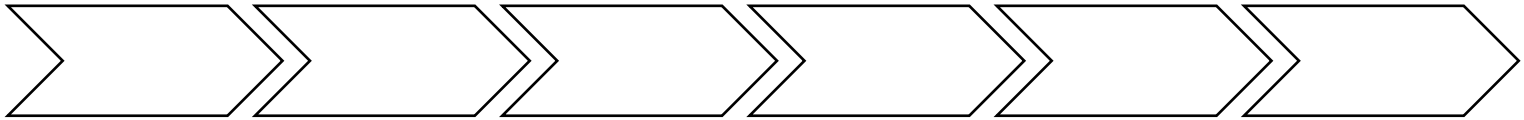
Γιατί έβαλες αυτά τα αντικείμενα στο 3^ο κουτί;
Απάντηση:

Ε5. Με ποιο όργανο νομίζεις ότι μπορείς να δεις τα αντικείμενα του:

κουτιού 1	
κουτιού 2	
κουτιού 3	

Ε6. Τοποθέτησε τα παρακάτω αντικείμενα από το **μεγαλύτερο** προς το **μικρότερο**.

Κύτταρο κρεμμυδιού, DNA, κόκκος αλατιού, μπάλα ποδοσφαίρου, ιός, πυρήνας κυττάρου



Ε7. Δυο αδέρφια, αφού έπλυναν ένα κομμάτι παρατήρησαν το εξής: «**οι σταγόνες μόλις έπεφταν πάνω στο λάχανο γίνονταν στρόγγυλες σαν μπίλιες**»



Για ποιο λόγο νομίζεις ότι μπορεί να συμβαίνει αυτό;



Ε8. Φαντάσου ότι είσαι για ψάρεμα σε μια λίμνη με έναν φίλο σου. Έχεις ξεχάσει να πάρεις μαζί σου νερό και δεν υπάρχει κοντά κάποια βρύση με πόσιμο νερό. Μαζί σου όμως έχεις ένα **μπουκάλι με νανόφιλτρο**. Θα έπινες νερό από την λίμνη χρησιμοποιώντας το νανόφιλτρο;

Αν έπινες, τι θα έλεγες στον φίλο σου για να του εξηγήσεις πως λειτουργεί το νανόφιλτρο;

Ε9. Γράψε μία πρόταση, την πιο αντιπροσωπευτική για σένα, που να περιέχει τη λέξη **μοντέλο**.

Ε10. Παρακάτω βλέπεις μια κατασκευή που παριστάνει ένα μάτι.



Σε τι νομίζεις ότι μας χρησιμεύει αυτή η κατασκευή;



Ερωτηματολόγιο

Όνοματεπώνυμο: _____

Ημερομηνία: _____

Σχολείο: _____



Απάντησε στις παρακάτω ερωτήσεις:

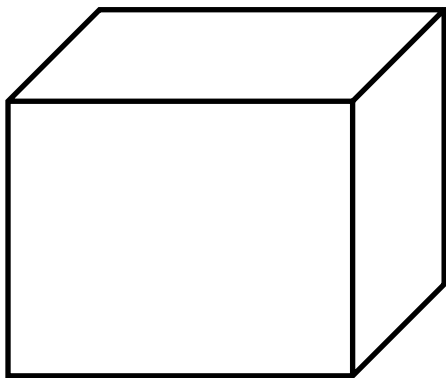
Ε1. Ένας μαθητής διάβασε στο διαδίκτυο την λέξη **νανοτεχνολογία** και αναρωτήθηκε τι άραγε να σημαίνει. Προσπάθησε να του εξηγήσεις τι νομίζεις εσύ ότι είναι η **νανοτεχνολογία**.

Ε2. Ποιο νομίζεις ότι είναι το μικρότερο αντικείμενο που υπάρχει;	
Ε3. Πώς μπορείς να δεις το αντικείμενο που έγραψες;	

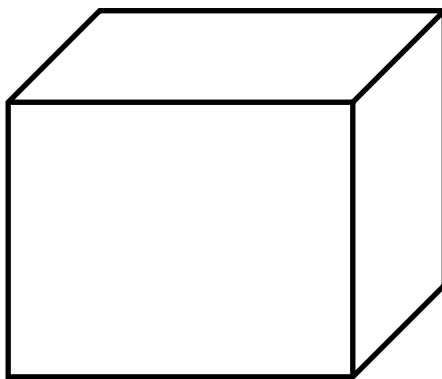
Ε4. Ταξιλόγησε τα παρακάτω αντικείμενα στα κουτιά με **βάση το μέγεθός τους**.

Κόκκος αλατιού, μπάλα ποδοσφαίρου, κύτταρο κρεμμυδιού, ερυθρό αιμοσφαίριο, άνθρωπος, DNA, ιός, πυρήνας κυττάρου

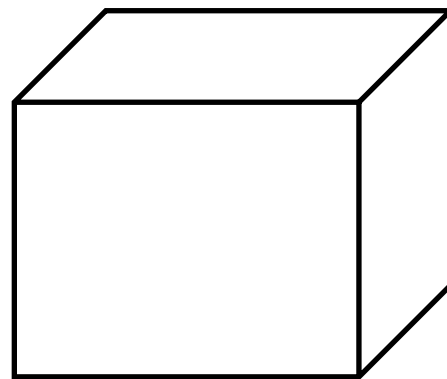
1



2



3



Γιατί έβαλες αυτά τα αντικείμενα στο 1^ο κουτί;

Απάντηση:

Γιατί έβαλες αυτά τα αντικείμενα στο 2^ο κουτί;

Απάντηση:

Γιατί έβαλες αυτά τα αντικείμενα στο 3^ο κουτί;

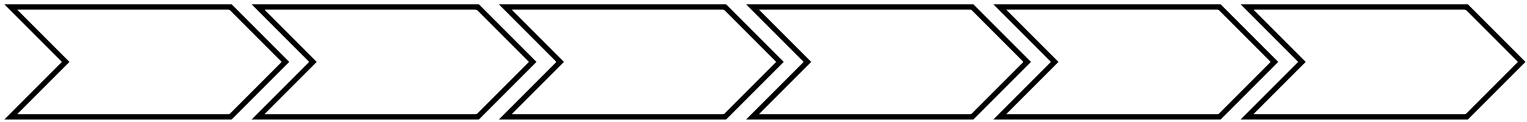
Απάντηση:

Ε5. Με ποιο **όργανο** νομίζεις ότι μπορείς να δεις τα αντικείμενα του:

κουτιού 1	
κουτιού 2	
κουτιού 3	

Ε6. Τοποθέτησε τα παρακάτω αντικείμενα από το **μεγαλύτερο προς το μικρότερο**.

Κύτταρο κρεμμυδιού, DNA, κόκκος αλατιού,
μπάλα ποδοσφαίρου, ιός, πυρήνας κυττάρου



Ε7. Δυο αδέρφια, αφού έπλυναν ένα κομμάτι λάχανο παρατήρησαν το εξής: «**οι σταγόνες μόλις έπεφταν πάνω στο λάχανο γίνονταν στρογγυλες σαν μπίλιες**»



Για ποιο λόγο νομίζεις ότι μπορεί να συμβαίνει αυτό;



Ε8. Φαντάσου ότι είσαι για ψάρεμα σε μια λίμνη με έναν φίλο σου. Έχεις ξεχάσει να πάρεις μαζί σου νερό και δεν υπάρχει κοντά κάποια βρύση με πόσιμο νερό. Μαζί σου όμως έχεις ένα **μπουκάλι με νανόφιλτρο**. Θα έπινες νερό από την λίμνη χρησιμοποιώντας το νανόφιλτρο;

Τι θα έλεγες στον φίλο σου για να του εξηγήσεις **πως λειτουργεί το νανόφιλτρο**;

Ε9. Μια μαθήτρια αρρώστησε από **ίωση**.



Περίγραψε πώς ο **νανόκοσμος** επηρεάζει τον **μικρόκοσμο** και τον **μακρόκοσμο** στην περίπτωση της **ίωσης**.

Ε10. Γράψε μία πρόταση, την πιο αντιπροσωπευτική για σένα, που να περιέχει τη λέξη **μοντέλο**.

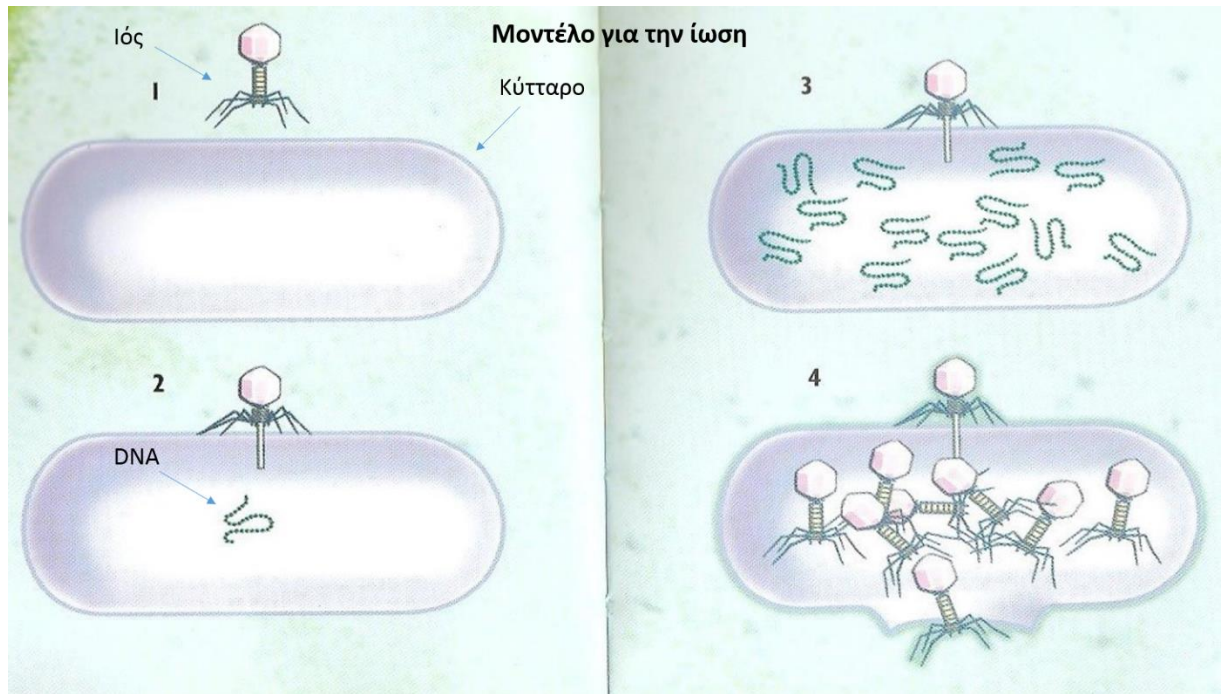
Ε11. Παρακάτω βλέπεις μια κατασκευή που παριστάνει ένα **μάτι**.



Σε τι νομίζεις ότι μας **χρησιμεύει** αυτή η κατασκευή;

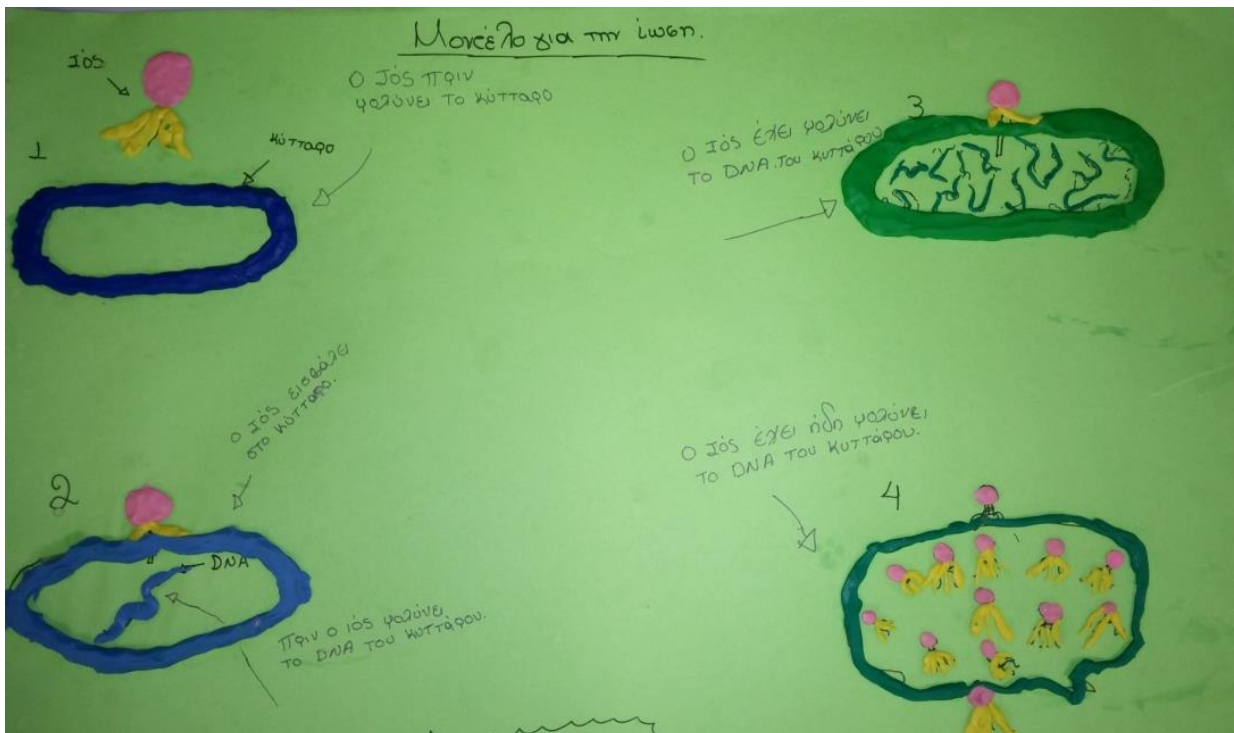
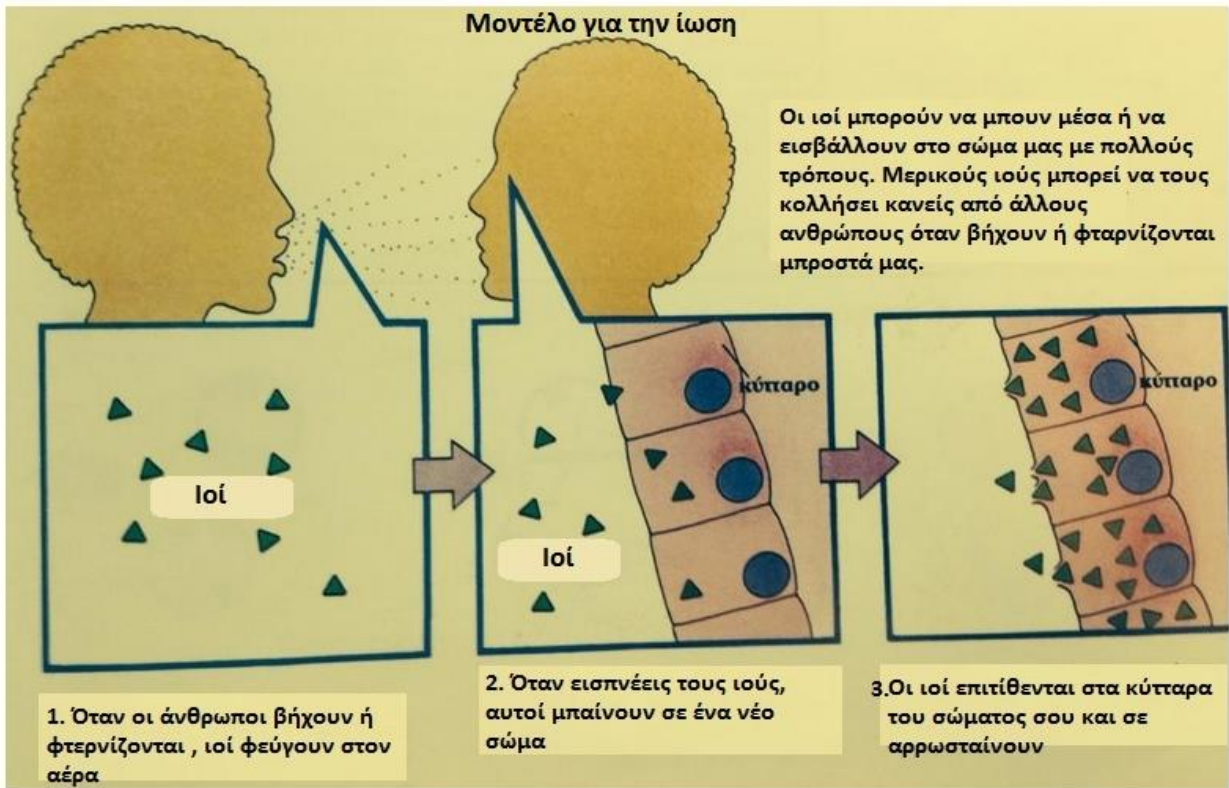
Πώς θα **ονόμαζες** την παραπάνω κατασκευή;

Ε12. Παρακάτω βλέπεις ένα **μοντέλο** που χρησιμοποιήσαμε για να αναπαραστήσουμε το **φαινόμενο της ίωσης**.



Σε τι μας **βοήθησε** αυτό το μοντέλο;

E13. Παρακάτω φαίνονται και άλλα μοντέλα για το φαινόμενο της ίωσης.



Χρειάζεται να υπάρχουν διαφορετικά **μοντέλα για το ίδιο φαινόμενο**;
Αιτιολόγησε την απάντησή σου.

