



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΗ ΣΧΟΛΗ ΦΛΩΡΙΝΑΣ
ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟ ΤΜΗΜΑ ΔΗΜΟΤΙΚΗΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ

**ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΔΙΔΑΚΤΙΚΗΣ ΜΑΘΗΣΙΑΚΗΣ ΑΚΟΛΟΥΘΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ
ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΤΟΥ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΥ ΤΗΣ ΝΑΝΟΕΠΙΣΤΗΜΗΣ-
ΝΑΝΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ: ΜΙΑ ΜΕΛΕΤΗ
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΣΕ ΜΑΘΗΤΕΣ ΔΗΜΟΤΙΚΟΥ ΣΧΟΛΕΙΟΥ**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΤΗΣ ΣΤΑΥΡΟΥΛΑΣ ΤΑΣΣΟΠΟΥΛΟΥ**

ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΟΚΤΗΣΗ ΤΟΥ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟΥ ΤΙΤΛΟΥ
Στις «Επιστήμες της Αγωγής»

με ειδίκευση «Θετικές Επιστήμες και Νέες Τεχνολογίες»

ΦΛΩΡΙΝΑ
ΜΑΡΤΙΟΣ 2017

Φύλλο Εξέτασης

1. Επόπτης: _____

Βαθμός: _____

Υπογραφή: _____ Ημερομηνία: _____

2. Δεύτερος Βαθμολογητής: _____

Βαθμός: _____

Υπογραφή: _____ Ημερομηνία: _____

3. Τρίτος Βαθμολογητής: _____

Βαθμός: _____

Υπογραφή: _____ Ημερομηνία: _____

Γενικός Βαθμός: - _____

Η συγγραφέας **Τασσοπούλου Σταυρούλα** 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: _____

Στην οικογένειά μου...

Ευχαριστίες

Η εκπόνηση μιας μεταπτυχιακής εργασίας δεν είναι ένα μοναχικό ταξίδι και απαιτεί τη συμβολή πολλών ανθρώπων για να πραγματοποιηθεί.

Καταρχήν, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την επιβλέπουσα καθηγήτρια της παρούσας εργασίας, κ. Άννα Σπύρτου, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια στο Π.Δ.Μ. για την ουσιαστική καθοδήγηση, τη συμπαράσταση και τον προσωπικό χρόνο που διέθεσε σ' όλα τα στάδια της παρούσας έρευνας. Η συμβολή της ήταν καθοριστική για την ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω και τα δύο άλλα μέλη της εξεταστικής επιτροπής, την Επίκουρη Καθηγήτρια Πηνελόπη Παπαδοπούλου και τον Καθηγητή Πέτρο Καριώτογλου, για τις πολύτιμες παρατηρήσεις τους.

Ευχαριστώ επίσης θερμά τους υποψήφιους διδάκτορες Λεωνίδα Μάνου και Γεώργιο Πέικο, για την πολύτιμη συμβολή τους στην ανάλυση των δεδομένων της έρευνας.

Τέλος, δεν θα μπορούσα να μην ευχαριστήσω την οικογένειά μου και τους στενούς μου φίλους για την αμέριστη συμπαράστασή τους και τη δύναμη που μου έδιναν καθημερινά για την ολοκλήρωση του παρόντος έργου.

Περιεχόμενα

Περίληψη	9
Abstract.....	11
1. Βιβλιογραφική Επισκόπηση.....	13
1.1 Νανοτεχνολογία – Νανοεπιστήμη (N-ET).....	13
1.1.1 Η Εισαγωγή του Περιεχομένου της N-ET στην Υποχρεωτική Εκπαίδευση: μια Σύγχρονη Πρόκληση	13
1.1.2 Η Εκπαιδευτική Αξία της Νανοτεχνολογίας και Νανοεπιστήμης (N-ET)	25
1.1.3 Οι Ιδέες των Μαθητών για τη N-ET.....	28
1.1.4 Η Φύση ως Σημείο Εκκίνησης της Εισαγωγής του Περιεχομένου της N-ET στην Υποχρεωτική Εκπαίδευση.....	31
1.2 Μοντέλα – Μοντελοποίηση	34
1.2.1 Διερεύνηση.....	34
1.2.2 Μοντέλα και Μοντελοποίηση	36
1.2.3 Η Διδακτική Αξία των Μοντέλων και της Μοντελοποίησης.....	41
1.2.4 Οι Ιδέες των Μαθητών για τα Μοντέλα και τη Μοντελοποίηση	44
1.3 Διδακτικές Μαθησιακές Ακολουθίες (DMA)	49
2. Μέθοδος.....	52
2.1 Το Πλαίσιο της Έρευνας: η Εφαρμογή της DMA.....	52
2.2 Σκοπός Στόχοι και Ερευνητικά Ερωτήματα	60
2.3 Συμμετέχοντες.....	61
2.4 Μέσα Συλλογής Δεδομένων.....	62
2.4.1 Α΄ Μέρος Ερωτηματολογίου: Περιεχόμενο N-ET.....	63
2.4.2 Β΄ Μέρος Ερωτηματολογίου: Μοντέλα και Μοντελοποίηση.....	65
2.5 Μέθοδος Ανάλυσης Δεδομένων.....	67
2.5.1 Ανάλυση έργων του πριν και του μετά γραπτού ερωτηματολογίου του περιεχομένου της N-ET	69
2.5.2 Ανάλυση έργων του πριν και του μετά γραπτού ερωτηματολογίου για τα Μοντέλα και τη Μοντελοποίηση	81
2.6 Εγκυρότητα και Αξιοπιστία	86
3. Αποτελέσματα	87
3.1 Αποτελέσματα Ερωτηματολογίων για το Περιεχόμενο της N-ET.....	87
3.2 Αποτελέσματα Ερωτηματολογίων για τα Μοντέλα και τη Μοντελοποίηση.....	97
4. Συζήτηση.....	102

4.1	Συζήτηση των Αποτελεσμάτων σχετικά με το Περιεχόμενο της N-ET ..	102
4.1.1	Νοηματοδότηση της N-ET.....	102
4.1.2	Συζήτηση Αποτελεσμάτων σχετικά με τη ΜΙ «Μέγεθος και Κλίμακα»	102
4.1.3	Συζήτηση Αποτελεσμάτων σχετικά με τη ΜΙ «Εργαλεία και Όργανα».....	105
4.1.4	Συζήτηση Αποτελεσμάτων σχετικά με τη ΜΙ «Ιδιότητες Εξαρτώμενες από το μέγεθος».....	106
4.2	Συζήτηση Αποτελεσμάτων σχετικά με τη Φύση και το Ρόλο των Μοντέλων	107
4.3	Οι Περιορισμοί της Έρευνας και Προτάσεις για το Μέλλον.....	108
	Βιβλιογραφία	109
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι.....	118

Περίληψη

Η Νανοεπιστήμη- Νανοτεχνολογία (N-ET) και τα μοντέλα στις Φυσικές Επιστήμες είναι δύο τομείς που έχουν απασχολήσει έντονα την επιστημονική κοινότητα. Η ραγδαία ανάπτυξη της N-ET, σε συνδυασμό με τον κοινωνικό της αντίκτυπο, έχουν εγείρει εκπαιδευτικές ανησυχίες. Μια σύγχρονη, λοιπόν, πρόκληση για την εκπαίδευση αποτελεί η εισαγωγή του περιεχομένου της N-ET σε όλες της βαθμίδες της εκπαίδευσης. Η εισαγωγή αυτή παρουσιάζεται ως κρίσιμη και επιτακτική ανάγκη με βασικά επιχειρήματα την έλλειψη εκπαιδευμένου εργατικού δυναμικού σε θέματα νανοτεχνολογίας και την ανάγκη για μελλοντικά εγγράμματους πολίτες σε ανάλογα θέματα. Στη βιβλιογραφία, η εισαγωγή του περιεχομένου της N-ET προτείνεται να στηριχθεί σε θεμελιώδεις έννοιες του περιεχομένου της, οι οποίες ονομάζονται «Μεγάλες Ιδέες» (MI). Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία πραγματεύεται την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας μιας Διδακτικής Μαθησιακής Ακολουθίας (ΔΜΑ) για το περιεχόμενο της N-ET και των μοντέλων ως προς τα μαθησιακά αποτελέσματα.

Η ΔΜΑ αποτελείται από πέντε ενότητες, διάρκειας δύο διδακτικών ωρών η κάθε μία. Οι MI που διαπραγματεύχθηκαν στις ενότητες αυτές είναι οι εξής: (α) «Μέγεθος και Κλίμακα», (β) «Εργαλεία και Όργανα», (γ) «Ιδιότητες που εξαρτώνται από το μέγεθος» και (δ) «Εφαρμογές της N-ET». Τα μοντέλα και η μοντελοποίηση χρησιμοποιήθηκαν σ' όλα τα διδακτικά δίωρα ως διδακτικά εργαλεία και εργαλεία διερεύνησης, για την ανάπτυξη της εννοιολογικής κατανόησης των μαθητών.

Στόχος της έρευνας είναι η διερεύνηση (α) του βαθμού βελτίωσης των μαθησιακών αποτελεσμάτων όσον αφορά το περιεχόμενο της N-ET (β) του βαθμού βελτίωσης των μαθησιακών αποτελεσμάτων όσον αφορά το ρόλο και τη φύση των μοντέλων και (γ) της διατήρησης της μάθησης στις περιοχές των μοντέλων και του περιεχομένου της N-ET. Το δείγμα είναι 10 μαθητές Έ Δημοτικού και η ΔΜΑ εφαρμόστηκε σε Δημοτικό Σχολείο της ευρύτερης περιοχής της Φλώρινας. Για τη συλλογή των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε ως κύριο ερευνητικό εργαλείο το γραπτό ερωτηματολόγιο.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της έρευνας για το περιεχόμενο της N-ET, παρατηρείται ότι μετά την εφαρμογή της ΔΜΑ και οχτώ μήνες αργότερα, όσον αφορά τη νοηματοδότηση του όρου νανοτεχνολογία, μεγάλο μέρος των μαθητών νοηματοδότησε τη N-ET με τη χρήση όρων νανογραμματισμού. Όσον αφορά τη MI «Μέγεθος και Κλίμακα», μεγάλο μέρος των μαθητών (α) ανέφερε ως μικρότερα αντικείμενα, αντικείμενα που ανήκουν στο νανόκοσμο, (β) ταξινόμησε σωστά αντικείμενα αναφοράς του μακρόκοσμου, μικρόκοσμου και νανόκοσμου με κριτήριο τον κόσμο στον οποίο ανήκουν ή/και το όργανο παρατήρησης, (γ) σειροθέτησε σωστά αντικείμενα των τριών κόσμων με φθίνουσα σειρά μεγέθους και (δ) περιέγραψε σωστά την επίδραση του νανόκοσμου στο μικρόκοσμο και στο μακρόκοσμο, στην περίπτωση του φαινομένου της ίωσης. Όσον αφορά τη MI «Εργαλεία και Όργανα» μεγάλο μέρος των μαθητών (α) ανέφερε το όργανο παρατήρησης του νανόκοσμου για την παρατήρηση του μικρότερου αντικειμένου, και

(β) γνώριζε τα όργανα παρατήρησης και των τριών κόσμων. Όσον αφορά τη ΜΙ «Ιδιότητες που εξαρτώνται από το μέγεθος» μεγάλο μέρος των μαθητών περιέγραψε το φαινόμενο της υδροφοβικότητας σε τεχνητά και φυσικά υπερυδροφοβα νανοϋλικά χρησιμοποιώντας όρους νανογραμματισμού.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της έρευνας για τα μοντέλα και τη μοντελοποίηση, παρατηρείται ότι μετά την εφαρμογή της ΔΜΑ και οχτώ μήνες αργότερα, όσον αφορά τη φύση και το ρόλο των μοντέλων μεγάλο μέρος των μαθητών αναγνώρισε (α) την αναπαραστατική φύση των μοντέλων, (β) τη χρησιμότητα των μοντέλων ως εργαλεία μάθησης ή/και επικοινωνίας και (γ) τη χρησιμότητα των πολλαπλών μοντέλων για το ίδιο φαινόμενο, στην περίπτωση του φαινομένου του λωτού.

Λέξεις Κλειδιά

Νανοεπιστήμη- Νανοτεχνολογία (N-ET), μοντέλα, Διδακτική Μαθησιακή Ακολουθία (ΔΜΑ).

Abstract

Nanoscience-Nanotechnology (N-ST) and scientific models are two areas that are intensely preoccupied the scientific community. The rapid development of N-ST, in combination with its social impact, have evoked educational concerns. A modern challenge for education is the integration of N-ST content across all levels. This is presented as a critical and urgent need due to the shortage of NST-educated workforce and the need for future literate citizens in similar issues. According to literature review, the integration of N-ST content proposed to rely on core concepts of its content, called "Big Ideas" (BI). This research is negotiating to evaluate the effectiveness of the Teaching Learning Sequence (TLS) for the content of N-ST and the models in terms of learning outcomes.

The TLS is composed of five modules, two teaching hours duration each. The BI negotiated in these sections are: (a) "Size and Scale" (b) "Tools and Instrumentation" (c) "Size dependent properties" and (d) "N-ST Applications". The models and the modeling used as teaching tools and as investigating tools for the development of conceptual understanding of students.

The aim of the present study is to investigate (a) the degree of improvement of learning outcomes regarding the N-ST content (b) the degree of improvement of learning outcomes regarding the role and nature of models and (c) the maintenance of learning in both areas of models and content of N-ST. The sample was consisted of 10 5th grade primary students and TLS applied to a primary school in region of Florina. Survey's data was collected through a written questionnaire.

According to the research results about N-ST content, it is observed that after the implementation of TLS and eight months later, a considerable number of students referred to N-ST by using terms of nanoliteracy. Concerning B.I "Size and Scale", a considerable number of students (a) reported as smaller objects, objects belonging to the nanoworld, (b) classified landmark objects that belong to the macroworld, microworld and nanoworld according to the correct world and/or the correct tool of observation, (c) ordered in a correct manner several objects of the three worlds in descending order and (d) described correctly the effect of the nanoworld to the microworld and the macroworld, in case of the viral infection. Concerning B.I "Tools and Instrumentation" a considerable number of students (a) reported the nanoword observation instrument for the observation of the smallest object, and (b) reported the observation instruments of all three worlds. Concerning B.I "Size dependent properties" a considerable number of students described the effect of hydrophobicity on artificial and natural superhydrophobic nanomaterials using terms of nanoliteracy.

According to research results about the models and modeling, it is observed that after the implementation of TLS and eight months later, regarding both the nature and role of models, a considerable number of students (a) recognized the representational nature of models, (b) the utility model as learning and/or communication tools, and (c) the utility of multiple models for the same phenomenon, in the case of the lotus effect.

Keywords: Nanoscience-Nanotechnology (N-ST), models, Teaching Learning Sequence (TLS).

1. Βιβλιογραφική Επισκόπηση

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται το αποτέλεσμα της βιβλιογραφικής επισκόπησης όσον αφορά τους τομείς της νανοεπιστήμης και της νανοτεχνολογίας (NE-T), των μοντέλων, της μοντελοποίησης καθώς και των Διδακτικών Μαθησιακών Ακολουθιών (ΔΜΑ). Πιο συγκεκριμένα, η μελέτη της βιβλιογραφίας έγινε βάσει των παρακάτω στόχων:

- Να αποσαφηνιστούν οι όροι που είναι απαραίτητοι για την κατανόηση των εννοιών που σχετίζονται με τη N-ET και να διερευνηθεί η εκπαιδευτική της αξία.
- Να διερευνηθούν οι απόψεις των μαθητών για τη Νανοεπιστήμη και τη Νανοτεχνολογία.
- Να μελετηθούν η διδακτική αξία των μοντέλων και της μοντελοποίησης στην υποχρεωτική εκπαίδευση.
- Να αποσαφηνιστούν οι όροι που είναι απαραίτητοι για την κατανόηση των εννοιών που σχετίζονται με τα μοντέλα και τη μοντελοποίηση.
- Να διερευνηθούν οι απόψεις των μαθητών για τα μοντέλα και τη μοντελοποίηση.

1.1 Νανοτεχνολογία – Νανοεπιστήμη (N-ET)

1.1.1 Η Εισαγωγή του Περιεχομένου της N-ET στην Υποχρεωτική Εκπαίδευση: μια Σύγχρονη Πρόκληση

Τις τελευταίες δεκαετίες υπάρχει έντονο ερευνητικό ενδιαφέρον που εστιάζει στην εισαγωγή του περιεχομένου της N-ET στην εκπαίδευση, κάτι που απορρέει από την ίδια τη φύση του πεδίου. Σκοπός της παρούσας ενότητας, είναι η κατανόηση του πεδίου της N-ET καθώς και των εννοιών και των ιδιοτήτων που σχετίζονται μ' αυτή ως θεωρητική βάση για την κατανόηση της αξίας της για την εκπαίδευση.

1.1.1.1 Εννοιολογική οριοθέτηση

Η νανοτεχνολογία και η νανοεπιστήμη είναι δύο τομείς που έχουν απασχολήσει τη σύγχρονη επιστημονική βιβλιογραφία και έχουν εισβάλει στην καθημερινή μας ζωή. Αν και δεν μπορούμε να πούμε με σιγουριά το πότε οι άνθρωποι ξεκίνησαν να κατανοούν τα οφέλη των υλικών στη νανοκλίμακα, αυτό που μπορούμε να υποστηρίξουμε είναι ότι η νανοκλίμακα δεν είναι κάτι καινούργιο. Αυτό όμως που μπορεί να θεωρηθεί ως καινούργιο και επαναστατικό, είναι η διερεύνηση και ο σχεδιασμός της (Allhoff, Lin, & Moore, 2010).

Η πρώτη επιστημονική αναφορά στη νανοτεχνολογία, χωρίς όμως τη χρήση του όρου, έγινε τον Δεκέμβριο του 1959 όταν ο φυσικός Richard Feynman, στην ομιλία του με τίτλο “There is plenty of room at the bottom” στο συνέδριο της Αμερικανικής Φυσικής Εταιρίας, αναρωτήθηκε τι θα γινόταν εάν μπορούσαμε να ταξινομήσουμε τα

άτομα ένα προς ένα με τον τρόπο που εμείς θέλουμε, μιλώντας για τη δυνατότητα ελέγχου της ύλης σε πολύ μικρή κλίμακα και υποστηρίζοντας ότι κάτι τέτοιο δεν είναι απίθανο μιας και δεν παραβιάζει τους νόμους της κλασικής φυσικής (Feynman, 1960).

Ο Feynman έκλεισε την ομιλία του με δύο προκλήσεις προσφέροντας \$1000 ως αμοιβή για κάθε μια από αυτές. Η πρώτη ήταν να γραφτούν οι πληροφορίες ενός βιβλίου σε μια επιφάνεια 1/25.000 μικρότερη στη γραμμική κλίμακα, με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορούν να διαβαστούν με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο και η δεύτερη αφορούσε την κατασκευή ενός μικροσκοπικού ηλεκτρικού κινητήρα. Η δεύτερη πρόκληση επιτεύχθηκε σχετικά γρήγορα από έναν τεχνίτη με τη χρήση συμβατικών εργαλείων, σε αντίθεση με την πρώτη που κατάφερε να πραγματοποιηθεί αρκετά χρόνια αργότερα, το 1985, από τον Tom Newman απόφοιτο του Stanford, ο οποίος μείωσε με επιτυχία την πρώτη παράγραφο της «Ιστορίας Δυο Πόλεων» στο 1/25,000. (Allhoff et al., 2010).

Ο όρος νανοτεχνολογία εισήχθη 15 χρόνια αργότερα, από τον Norio Taniguchi, στο διεθνές συνέδριο για τη βιομηχανική παραγωγή International Conference on Precision Engineering (ICPE) στο Τόκιο και ο ορισμός του βρίσκει αντίκρισμα μέχρι τις μέρες μας. Σύμφωνα με τον Taniguchi (1974) (ό.α. στο Rogers, Adams & Pennathur, 2014:2), η «*Νανο-τεχνολογία αποτελείται κυρίως από τη διαδικασία διαχωρισμού, ενοποίησης, και παραμόρφωσης των υλικών από ένα άτομο ή ένα μόριο*».

Εμπνευσμένος από τη διάλεξη του Richard Feynman, το 1987, ο Eric Drexler ανέπτυξε περισσότερο τις βασικές έννοιες της τεχνολογίας αυτής στο βιβλίο του “Engines of Creation – The Coming Era of Nanotechnology”, χρησιμοποιώντας έναν όρο που αργότερα έγινε γνωστός ως «μοριακή νανοτεχνολογία». Πιο συγκεκριμένα, περιγράφει τη νανοτεχνολογία ως μια νέα μορφή τεχνολογίας βασισμένη στους μοριακούς «συναρμολογητές» (assemblers), οι οποίοι είναι ικανοί να τοποθετούν τα άτομα σε οποιαδήποτε λογική διάταξη, επιτρέποντας με τον τρόπο αυτό το σχηματισμό οτιδήποτε επιτρεπτού από τους νόμους της φύσης (Allhoff et al., 2010).

Ουσιαστικά, οι πύλες για το νανόκοσμο άνοιξαν κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1980, όταν οι Ελβετοί φυσικοί Gerd Binnig και Heinrich Rohrer, το 1981 εφήυραν το Μικροσκόπιο Σάρωσης Σήραγγας (STM) στο Εργαστήριο IBM στη Ζυρίχη και τιμήθηκαν γι’ αυτό με βραβείο Νόμπελ το 1986 καθώς και λίγα χρόνια αργότερα όταν ανακαλύφθηκε το μικροσκόπιο ατομικής ισχύος (Atomic Force Microscopy-AFM).

Παρά το γεγονός ότι η νανοεπιστήμη και η νανοτεχνολογία αναπτύσσονται ραγδαία τις τελευταίες δεκαετίες, δεν υπάρχει ακόμη σε διεθνές πλαίσιο ένας ενιαίος και κοινά αποδεκτός ορισμός. Όπως υποστηρίζουν οι Hingant και Albe (2010), οι ορισμοί ποικίλουν ανάλογα με το πλαίσιο και το συγγραφέα.

Παρακάτω παραθέτονται οι ορισμοί που έχουν δοθεί από τις ΗΠΑ, την Ευρωπαϊκή Ένωση και την Ιαπωνία, ως οι κύριες χώρες που επενδύουν στην έρευνα και ανάπτυξη στον τομέα της νανοτεχνολογίας καθώς και ο ορισμός από το Διεθνή

Οργανισμό Πιστοποίησης ISO (Palmberg, Dernis & Miguet, 2009:19). Στην παρούσα εργασία υιοθετείται ο ορισμός της Ευρωπαϊκής Επιτροπής.

ΗΠΑ: National Nanotechnology Initiative (2001)

«Η νανοτεχνολογία είναι η κατανόηση και ο έλεγχος της ύλης σε διαστάσεις περίπου 1 έως 100 νανόμετρα, όπου μοναδικά φαινόμενα επιτρέπουν νέες εφαρμογές. Συμπεριλαμβανομένης της επιστήμης της νανοκλίμακας, της μηχανικής και της τεχνολογίας, η νανοτεχνολογία περιλαμβάνει την απεικόνιση, τη μέτρηση, τη μοντελοποίηση, και το χειρισμό θεμάτων σε αυτό το μήκος κλίμακας».

Ευρωπαϊκή Ένωση: Ευρωπαϊκή Επιτροπή, σύμφωνα με το Royal society and the Royal Academy of Engineering (2004)

Οι νανοεπιστήμες και οι νανοτεχνολογίες αφορούν τη μελέτη φαινομένων και το χειρισμό υλικών σε ατομική, μοριακή και μακρομοριακή κλίμακα, όπου οι ιδιότητες διαφέρουν σημαντικά από αυτές που παρατηρούνται σε μεγάλη κλίμακα (Filipponi & Sutherland, 2013).

Ιαπωνία: Second Science and Technology Basic Plan (2001-2005)

Η νανοτεχνολογία είναι ένα διεπιστημονικό πεδίο που περιλαμβάνει την τεχνολογία της πληροφορικής, την περιβαλλοντική επιστήμη, τη βιολογία, την επιστήμη των υλικών κ.λπ., ελέγχει και χειρίζεται τα άτομα και τα μόρια στην τάξη των νανόμετρων (1/1.000.000.000), επιτρέποντας την ανακάλυψη νέων λειτουργιών και αξιοποιώντας τα μοναδικά χαρακτηριστικά που εμφανίζουν τα υλικά στο μέγεθος νάνο, έτσι ώστε να φέρει την τεχνολογική καινοτομία σε διάφορους τομείς.

ISO TCC 229 (2007)

Η τυποποίηση στον τομέα των νανοτεχνολογιών περιλαμβάνει ένα ή και τα δύο από τα ακόλουθα:

- Την κατανόηση και τον έλεγχο της ύλης και των διαδικασιών σε επίπεδο νανοκλίμακας, τυπικά, αλλά όχι αποκλειστικά, κάτω από 100 νανόμετρα σε μία ή περισσότερες διαστάσεις, όπου ξεκινούν τα φαινόμενα που εξαρτώνται από το μέγεθος επιτρέποντας νέες εφαρμογές.
- Την αξιοποίηση των ιδιοτήτων των υλικών στη νανοκλίμακα που διαφέρουν από τις ιδιότητες των επιμέρους ατόμων, μορίων και χυδίων υλικών, για τη δημιουργία βελτιωμένων υλικών, συσκευών και συστημάτων που εκμεταλλεύονται αυτές τις νέες ιδιότητες.



Σχήμα 1.1: Σημεία σύγκλισης ορισμών για τη νανοτεχνολογία

Αν και οι παραπάνω ορισμοί δεν είναι κατά απόλυτο βαθμό ίδιοι παρουσιάζουν εμφανείς ομοιότητες όσον αναφορά τρεις πτυχές, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.1 (Palmberg et al., 2009).

Αρχικά, και στους τρεις ορισμούς υπάρχει μια συγκεκριμένη κλίμακα μεγέθους, με εύρος περίπου 1-100 nm, όπου εκεί τα υλικά μ' αυτές τις διαστάσεις παρουσιάζουν διαφορετικές ιδιότητες και φαινόμενα απ' ότι στη μακροκλίμακα, κάτι που οφείλεται στην επίδραση των πολύ μικρών διαστάσεών τους.

Μια ακόμα κοινή πτυχή αποτελεί η αναφορά στο σκόπιμο «έλεγχο» ή «χειρισμό» της ύλης με σκοπό την εξάλειψη της «τυχαίας νανοτεχνολογίας». Η νανοεπιστήμη και η νανοτεχνολογία ασχολούνται με νανοϋλικά. Τα νανοϋλικά χωρίζονται σε δύο κατηγορίες (Filipponi et al., 2013):

- «Μη σκόπιμα κατασκευασμένα νανοϋλικά»
Στην κατηγορία αυτή ανήκουν υλικά που δεν έχουν παραχθεί σκόπιμα από ανθρώπινη δραστηριότητα π.χ. νανοσωματίδια που παράγονται κατά την καύση ντίζελ. Επίσης, υλικά ή σωματίδια σε μέγεθος νάνο που ανήκουν στο περιβάλλον όπως πρωτεΐνες, ιοί, νανοσωματίδια που παράγονται κατά τη διάρκεια ηφαιστειακών εκρήξεων κ.λπ.
- «Σκόπιμα κατασκευασμένα νανοϋλικά»
Σ' αυτή την κατηγορία ανήκουν τα υλικά που έχουν κατασκευαστεί σκόπιμα μέσα από μια καθορισμένη διαδικασία..

Η νανοτεχνολογία εξ ορισμού, και αυτό είναι εμφανές σ' όλους τους ορισμούς που δόθηκαν, ασχολείται αποκλειστικά με τα «μη σκόπιμα κατασκευασμένα νανοϋλικά».

Τελευταίο κοινό στοιχείο αποτελεί το γεγονός ότι όλοι οι ορισμοί τονίζουν ότι μέσω της νανοτεχνολογίας εμφανίζονται νέες βιομηχανικές εφαρμογές και τεχνολογικές καινοτομίες, κάτι που έχει οδηγήσει πολλούς να αναφέρονται στη νανοτεχνολογία ως την επόμενη βιομηχανική επανάσταση.

Έχοντας αναφερθεί στους ορισμούς που έχουν δοθεί για τη νανοτεχνολογία και τη νανοεπιστήμη κρίνεται απαραίτητο για την καλύτερη κατανόησή τους, να αποσαφηνιστεί η σημασία του όρου νανοκλίμακα.

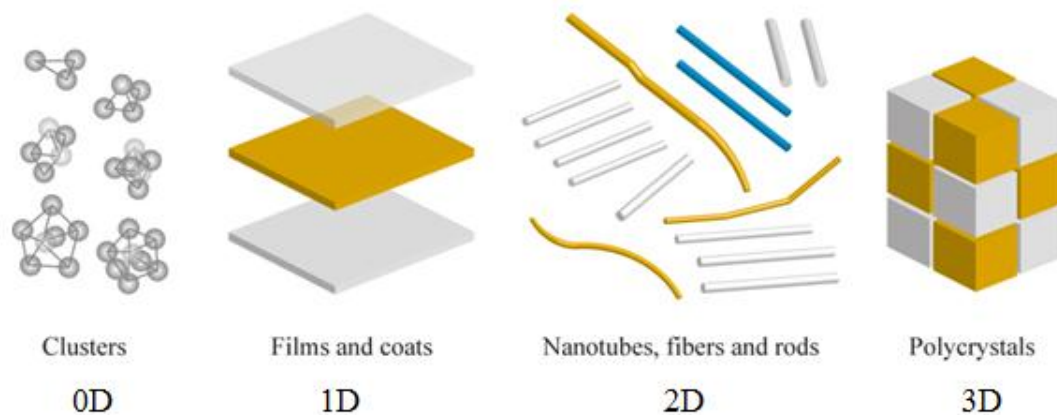
Ένα κοινό χαρακτηριστικό των λέξεων νανοεπιστήμη, νανοτεχνολογία και νανοκλίμακα αποτελεί το πρόθεμα «νάνο», που έχουν και οι τρεις τους ως πρώτο συνθετικό. Το παραπάνω πρόθεμα, προέρχεται από την ελληνική λέξη «νάνος», που σημαίνει πολύ μικρός άντρας και αναφέρεται σε ένα μέγεθος κλίμακας του μετρικού συστήματος. Από την επιστημονική κοινότητα και το Διεθνές Σύστημα Μονάδων, το παραπάνω πρόθεμα χρησιμοποιείται για να υποδηλώσει το ένα δισεκατομμυριοστό μιας συγκεκριμένης μονάδας και πιο συγκεκριμένα για τον τομέα της νανοτεχνολογίας αντιστοιχεί στο μέγεθος του ενός νανόμετρου ($1\text{nm}=10^{-9}\text{m}$). Η παραπάνω ορολογία διευκολύνει τους επιστήμονες να συζητούν για αντικείμενα με πολύ μικρό μέγεθος. Για παράδειγμα, χρησιμοποιώντας ως μονάδα μέτρησης το

μέτρο (m) για την περιγραφή ενός ατόμου υδρογόνου θα λέγαμε ότι το μέγεθός του είναι $2.4 \cdot 10^{-10}$ m ενώ με τη χρήση των νανόμετρων απλά 0.24nm (Allhoff et al., 2010).

Η νανοκλίμακα, λοιπόν, αποτελεί την κλίμακα μεγέθους με την οποία ασχολείται η νανοτεχνολογία και το εύρος της συμβατικά ορίζεται από 1 – 100nm (Filipponi et al., 2013). Είναι γεγονός ότι τα υλικά στη νανοκλίμακα συμπεριφέρονται διαφορετικά από τα αντίστοιχα χυδρήν υλικά. Τα σωματίδια στη νανοκλίμακα εμφανίζουν κβαντική συμπεριφορά που είναι σε σημαντικό βαθμό διαφορετική από τη συμπεριφορά που ορίζεται από τους νόμους της κλασικής φυσικής για τη μακροκλίμακα (Feather & Aznar, 2010). Για παράδειγμα, ο χρυσός στη νανοκλίμακα δεν έχει το συνηθισμένο κίτρινο χρώμα που έχει στη μακροκλίμακα αλλά εμφανίζεται με κόκκινο ή μοβ χρώμα. Ακόμα, η κίνηση των ηλεκτρονίων του σ' αυτό το εύρος περιορίζεται, με αποτέλεσμα τα νανοσωματίδια χρυσού να αντιδρούν διαφορετικά στο φως, γεγονός που βρίσκει πρακτική χρήση στην ιατρική (National Nanotechnology Initiative, n.d.a).

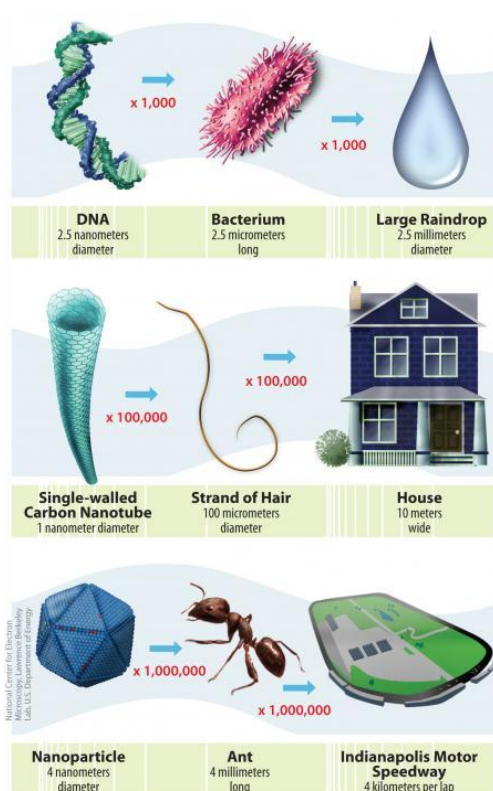
Αν και το κατώτερο όριο εύρους της νανοκλίμακας είναι σταθερό και ορίζεται στο 1nm, το να θέσουμε σ' αυτή ένα ανώτατο όριο εύρους είναι δυσκολότερο. Τυπικά ως ανώτατο όριο θέτουμε τα 100nm, αυτό όμως είναι συμβολικό, με την έννοια ότι πολλά αντικείμενα μεγαλύτερων διαστάσεων συχνά χαρακτηρίζονται ως νανοσωματίδια. Η ταξινόμηση των νανοϋλικών γίνεται συνήθως βάσει των διαστάσεών τους (dimensionality), της μορφολογίας τους (morphology), της σύνθεσής τους (composition), της ομοιομορφίας τους (uniformity) και της συγκέντρωσής τους (agglomeration). Ακολουθώντας την ταξινόμηση με βάση τις διαστάσεις τους, παρουσιάζονται τέσσερις κατηγορίες νανοϋλικών (Kumar & Kumbhat, 2016) (εικόνα1.1):

- 0D νανοϋλικά: με διάμετρο στη νανοκλίμακα, για παράδειγμα σφαίρες και συστάδες (clusters)
- 1D νανοϋλικά: με μία διάσταση στη νανοκλίμακα, όπως για παράδειγμα λεπτές μεμβράνες (films), μέταλλα (plates) και επιστρώσεις επιφανειών (surface coatings).
- 2D νανοϋλικά: με δύο διαστάσεις στη νανοκλίμακα, όπως νανοκύβοι (nanotubes), νανοΐνες (nanofibers), νανοςύρματα (nanowires) και νανοράβδοι (nanorods).
- 3D νανοϋλικά: με τρεις διαστάσεις στη νανοκλίμακα, όπως νανοκρυσταλλίτες (nanocrystallites).



Εικόνα 1.1: Οι κύριοι τύποι νανουλικών με βάση τις διαστάσεις τους¹

Αποδελτιώνοντας τη βιβλιογραφία, υπάρχουν πολλές προσπάθειες που επικεντρώνονται στην κατανόηση του πραγματικού μεγέθους του νανόκοσμου. Για να κατανοήσουμε καλύτερα το ακριβές μέγεθος των νανουλικών, το ότι δηλαδή είναι μεγαλύτερα από ένα άτομο αλλά μικρότερα από τα βακτήρια και τα κύτταρα, πολλοί είναι αυτοί που προτείνουν μια σύγκριση αυτών με αντικείμενα που ανήκουν στο μικρόκοσμο, τα οποία μπορούμε να τα δούμε με το οπτικό μικροσκόπιο, καθώς και στο μακρόκοσμο, τα οποία μπορούμε να τα αντιληφθούμε με γυμνό μάτι. Ένα παράδειγμα μιας τέτοιας προσπάθειας φαίνεται στην εικόνα 1.2.

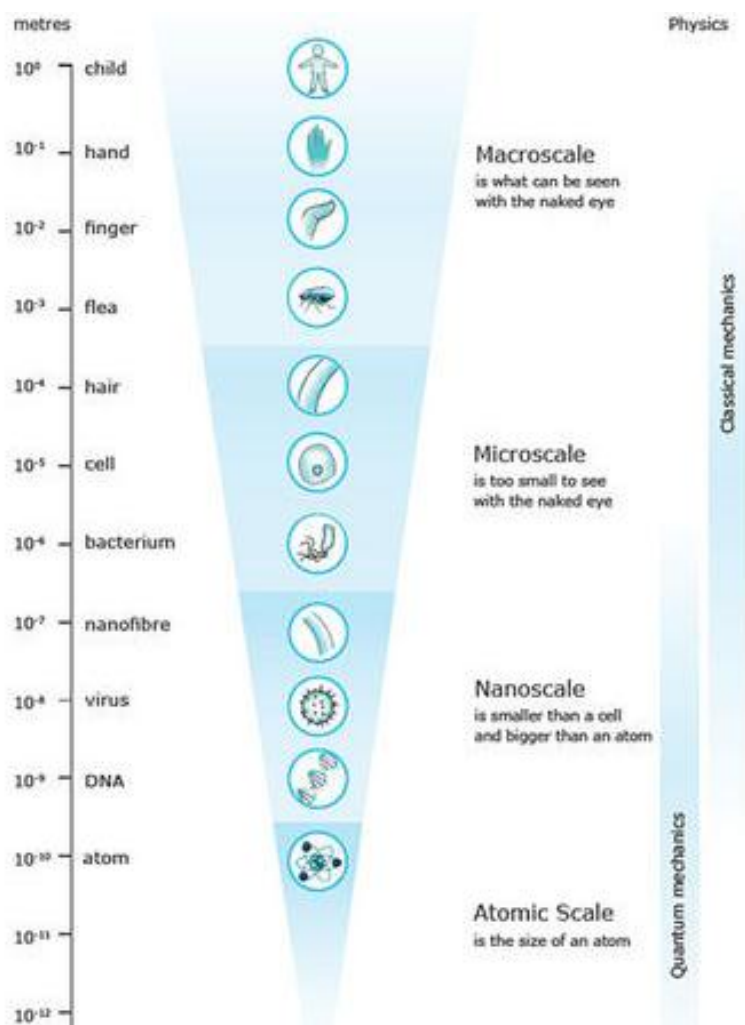


Εικόνα 1.2: Συγκριτικές Διαστάσεις Αντικειμένων: από τη νανοκλίμακα στη μακροκλίμακα²

¹ <http://eng.thesaurus.rusnano.com/wiki/article1371>

² Nano.gov

Σύμφωνα με τους Allhoff et al. (2010), ο καλύτερος τρόπος αναπαράστασης της νανοκλίμακας και κατανόησης του μεγέθους των αντικειμένων που ανήκουν σ' αυτή, είναι η περιγραφή του εύρους των κλιμάκων ξεκινώντας από μεγαλύτερες διαστάσεις και φτάνοντας έως το νανόμετρο, όπως φαίνεται στην εικόνα 1.3.



Εικόνα 1.3: Κλίμακες Μεγέθους³

Ένα ακόμα εγχείρημα είναι αυτό του Nanoscale Informal Science Education Network (NISE Net), υπό την αιγίδα του National Science Foundation, μέσα από το βιβλίο «How Small Is Nano?» που απευθύνεται σε παιδιά, το οποίο προσπαθεί με τη μέθοδο της σμίκρυνσης και ξεκινώντας από το ύψος ενός ανθρώπου και φτάνοντας έως το μέγεθος των ατόμων και μέσω εικόνων, να βοηθήσει τα παιδιά να αντιληφθούν τα είδη των μονάδων που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση πολύ μικρών αντικειμένων και τη σχέση του νανόμετρου με άλλες μονάδες μέτρησης (εικόνα 1.4).

³ <http://sciencelearn.org.nz/Innovation/Innovation-Stories/Revolution-Fibres/Articles/Novel-properties-emerge-at-the-nanoscale>

Strand of Hair



A hair is about 0.1 (one tenth) of a millimeter wide
0.1 millimeter = 100,000 nm (100 thousand nanometers)

Pinky Finger



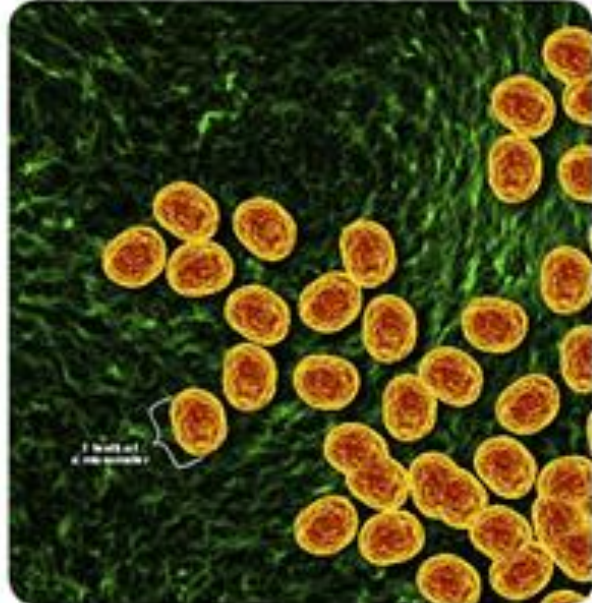
A pinky finger is about 1 centimeter wide
1 centimeter = 10,000,000 nm (10 million nanometers)

Red Blood Cell



A red blood cell is about 10 micrometers wide
10 micrometers = 10,000 nm (10 thousand nanometers)

Virus



A virus is about 0.1 (one tenth) of a micrometer wide
0.1 micrometer = 100 nm (1 hundred nanometers)

Εικόνα 1.4: Από τον μακρόκοσμο στο νανόκοσμο: οπτικοποίηση μεγεθών (McCarthy et al., 2008)

Επιπλέον, χρήσιμο για την κατανόηση του μικρού μεγέθους των νανοϋλικών είναι η χρήση αναλογιών από την καθημερινή μας ζωή. Παραδείγματα τέτοιων αναλογιών αποτελούν τα εξής (Filipponi et al., 2013):

- Μια ανθρώπινη τρίχα έχει διάμετρο περίπου 80.000 nm
- Ένα φύλλο χαρτιού έχει πάχος περίπου 100.000 nm
- Το κεφάλι μιας καρφίτσας έχει διάμετρο περίπου 1.000.000 nm

1.1.1.2 Οι ιδιότητες των υλικών στη νανοκλίμακα

Οι μακροσκοπικές φυσικές και χημικές ιδιότητες των υλικών έχουν καθοριστεί από τη μελέτη ενός σχετικά μεγάλου δείγματος σε ποσότητα, έτσι ώστε να μπορεί να μετρηθεί υπό κανονικές εργαστηριακές συνθήκες. Για παράδειγμα, υποθέτουμε ότι το σημείο βρασμού ενός γραμμομορίου (mol) νερού θα είναι το ίδιο για κάθε ποσότητα νερού. Όμως, αυτό δεν ισχύει σ' όλες τις περιπτώσεις. Πολλά υλικά στη νανοκλίμακα παρουσιάζουν τελείως διαφορετικές φυσικές και χημικές ιδιότητες από ότι τα ίδια θα είχαν στη μακροκλίμακα. Αυτό συμβαίνει διότι η ύλη σ' αυτό το μέγεθος δεν υπακούει στους νόμους της Νευτώνειας Φυσικής αλλά σ' αυτούς της Κβαντικής Φυσικής (Filipponi et al., 2013).

Σύμφωνα με τους Kumar & Kumbhat (2016), ένας ακόμα λόγος εμφάνισης των διαφορετικών ιδιοτήτων της νανοκλίμακας είναι η αύξηση της πυκνότητας των ατόμων στην επιφάνεια των υλικών. Εάν ένα χυδόν υλικό υποδιαιρεθεί έως ότου φτάσει σε διαστάσεις νανοκλίμακας, ο συνολικός του όγκος θα παραμείνει ίδιος όμως η συνολική του επιφάνεια θα αυξηθεί σημαντικά. Ανεξάρτητα λοιπόν από το εάν ένα υλικό ανήκει στη μακροκλίμακα ή στη νανοκλίμακα, η επιφάνεια παίζει πολύ σημαντικό ρόλο για τις φυσικές και τις χημικές του ιδιότητες (Filipponi et al., 2013).

Παρακάτω παρουσιάζονται οι μοναδικές ιδιότητες που εμφανίζουν τα υλικά στη νανοκλίμακα (Filipponi et al., 2013):

- **Ηλεκτρικές Ιδιότητες**

Οι ηλεκτρικές ιδιότητες των υλικών, όπως η ηλεκτρική τους αγωγιμότητα, η ηλεκτρική τους διαπερατότητα, οι ηλεκτρικές δυνάμεις κ.λπ. αλλάζουν καθώς τα υλικά πλησιάζουν τη νανοκλίμακα. Πολλά υλικά στη νανοκλίμακα, παρουσιάζουν αξιοσημείωτες ιδιότητες μεταφοράς ηλεκτρονίων που εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τη νανοκρυσταλλική τους δομή. Δύο από αυτά τα υλικά είναι τα φουλερένια (fullerenes) και οι νανοσωλήνες άνθρακα. Για παράδειγμα, οι νανοσωλήνες άνθρακα μπορεί να είναι αγωγοί ή ημιαγωγοί ανάλογα με τη νανοδομή τους.

- **Οπτικές Ιδιότητες**

Μερικά νανοϋλικά παρουσιάζουν διαφορετικές οπτικές ιδιότητες, όπως το χρώμα και η διαπερατότητα, σε σχέση με τα αντίστοιχα χυδόν υλικά. Η αιτία βρίσκεται στον τρόπο που το φως αλληλεπιδρά με τις νανοδομές τους. Παράδειγμα αποτελούν τα κολλοειδή μεταλλικά νανοσωματίδια, όπως ο χρυσός, ο οποίος σε διαστάσεις νανοκλίμακας είναι κόκκινος όταν το σχήμα του είναι σφαιρικό και μπορεί να είναι μέχρι και άχρωμος εάν αποκτήσει σχήμα δακτυλιδιού.

- **Μαγνητικές Ιδιότητες**

Η μαγνητική συμπεριφορά ενός υλικού εξαρτάται από τη δομή του υλικού και τη θερμοκρασία του. Τα νανοδομημένα μαγνητικά υλικά έχουν σημαντικά βελτιωμένες μαγνητικές ιδιότητες και χρησιμοποιούνται στις σύγχρονες μηχανές αποθήκευσης δεδομένων. Παράδειγμα αποτελούν οι μαγνητικές σκόνες σε διαστάσεις νανοκλίμακας οι οποίες παρουσιάζουν υπερπαραμαγνητικές (superparamagnetic) ιδιότητες.

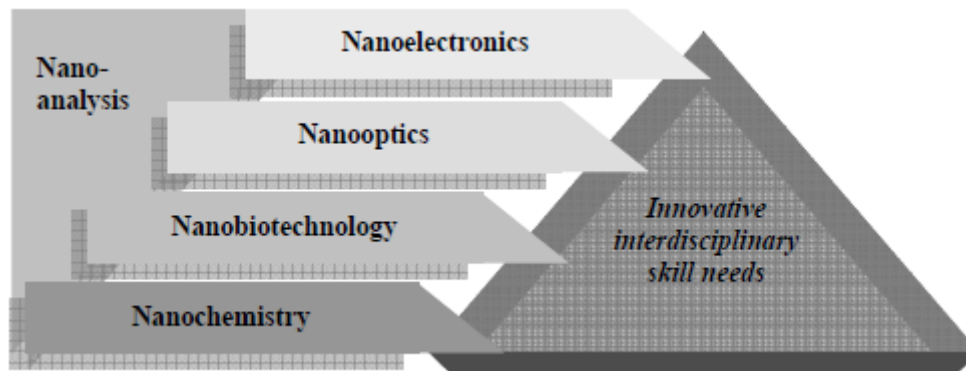
- Μηχανικές Ιδιότητες

Ορισμένα νανοϋλικά έχουν εξαιρετικές εγγενείς μηχανικές ιδιότητες που συνδέονται με τη δομή τους. Παράδειγμα αποτελούν οι νανοσωλίνες άνθρακα όπου είναι 100 φορές ισχυρότεροι από το ατσάλι και ταυτόχρονα έξι φορές ελαφρύτεροι.

1.1.1.3 Τα οφέλη και οι εφαρμογές της νανοτεχνολογίας

Στη σημερινή εποχή ο κόσμος μας εξαρτάται όλο και περισσότερο από την τεχνολογία. Η νανοτεχνολογία αποτελεί ένα καινοτόμο εγγενές διεπιστημονικό πεδίο που βρίσκει εφαρμογή σε μια σειρά επιστημονικών κλάδων όπως αυτών της φυσικής, της χημείας, της βιοχημείας, της βιοτεχνολογίας, της επιστήμη των υλικών, της ιατρικής, της μικροηλεκτρονικής, της επιστήμης των υπολογιστών, των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και της προστασίας του περιβάλλοντος (Donoval, 2007). Αυτό έχει ως επακόλουθο, η ανάπτυξη της νανοτεχνολογίας να επηρεάζει την ανάπτυξη σχεδόν κάθε βιομηχανικού τομέα (Abicht, Freikamp & Schumann, 2006).

Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με τους Abicht et al. (2006), τα πεδία που βρίσκει εφαρμογή η νανοτεχνολογία είναι η νανο-ανάλυση (nano-analysis), η νανοηλεκτρονική, η νανοοπτική, η νανοβιοτεχνολογία και η νανοχημεία (εικόνα 1.5).



Εικόνα 1.5: Πεδία εφαρμογής της νανοτεχνολογίας (Abicht et al., 2006: 18)

Ο όρος νανο-ανάλυση αναφέρεται σε ειδικές τεχνικές για τον προσδιορισμό των ατομικών δομών των υλικών που προσφέρουν χρήσιμες επιστημονικές πληροφορίες στα πεδία της φυσικής, της χημείας, της βιολογίας, της επιστήμης των υλικών και της μηχανικής στη νανοκλίμακα. Η νανοηλεκτρονική αποτελεί έναν κλάδο της νανοτεχνολογίας, ο οποίος δεν είναι ακόμα αυστηρά καθορισμένος. Ασχολείται με ολοκληρωμένα κυκλώματα μεγέθους κάτω των 100nm και υπόσχεται περαιτέρω σμίκρυνση μέσα στην επόμενη δεκαετία. Η νανοοπτική περιλαμβάνει την έρευνα, την ανάπτυξη και την παραγωγή οπτικών στοιχείων, δομών και συστημάτων στη νανοκλίμακα. Η νανοβιοτεχνολογία συνδυάζει τις τεχνολογικές διαδικασίες με τη γνώση των βιοσυστημάτων στη νανοκλίμακα, προσφέροντας δυνατότητες καινοτομίας στη βιομηχανία των τροφίμων, τη γεωργία και την οικολογία. Επίσης, πολλοί επιστημονικοί τομείς, όπως η μοριακή βιολογία και η γενετική, συνδέονται μ’

αυτή. Τέλος, η νανοχημεία ασχολείται με τη δημιουργία και το χειρισμό νανοενεργών χημικών συστημάτων τα οποία λειτουργούν αποκλειστικά στη νανοκλίμακα.

Παρακάτω παρατίθενται τα οφέλη και οι εφαρμογές που έχει επιφέρει η νανοτεχνολογία στη βιομηχανική παραγωγή, στην υγειονομική περίθαλψη, στη διαχείριση του περιβάλλοντος καθώς και στη βιωσιμότητα (National Nanotechnology Initiative, n.d.b).

Βιομηχανική Παραγωγή, Υλικά και Προϊόντα

Η νανοτεχνολογία έχει επιφέρει επανάσταση στον τρόπο κατασκευής των προϊόντων μιας και επιτρέπει την προσαρμογή των βασικών δομών των υλικών στη νανοκλίμακα για την επίτευξη συγκεκριμένων ιδιοτήτων. Μερικά από τα οφέλη που μπορεί να επιφέρει είναι:

- Ελαφρύτερα, ισχυρότερα υλικά που μπορούν να προγραμματιστούν.
- Μείωση του κόστους, όσον αφορά τον κύκλο ζωής τους μέσω των χαμηλότερων ποσοστών αποτυχίας.
- Καινοτόμες συσκευές βασισμένες σε νέες αρχές και αρχιτεκτονικές.

Ήδη ένας μεγάλος αριθμός προϊόντων βασισμένων στη νανοτεχνολογία έχουν εμφανιστεί στην αγορά. Κάποια από αυτά παρουσιάζονται παρακάτω:

- Υφάσματα που τσαλακώνουν λιγότερο, αυτοκαθαριζόμενα και υδροφοβικά.
- Προϊόντα οικιακής χρήσης όπως προϊόντα για την αφαίρεση λεκέδων και λιπιδίων, συστήματα συναγερμού, φίλτρα και συστήματα καθαρισμού του αέρα.
- Δοχεία τροφίμων με νανοσυνθετικά που εξασφαλίζουν ελαχιστοποίηση της διαρροής διοξειδίου του άνθρακα από τα ανθρακούχα αναψυκτικά, μείωση της εισροής οξυγόνου, προστασία από την υγρασία και την ανάπτυξη βακτηρίων καθιστώντας τα τρόφιμα φρέσκα και ασφαλέστερα.
- Γυαλιά, οθόνες, παράθυρα και πολλές ακόμα επιφάνειες που με την προσθήκη λεπτών υμένων σε διαστάσεις νανοκλίμακας έχουν γίνει αυτοκαθαριζόμενες, υδροφοβικές, ανθεκτικές στην υπεριώδη και υπέρυθη ακτινοβολία καθώς και στις γρατζουνιές, αντιθαμπωτικές και ηλεκτρικά αγωγίμες.
- Καλλυντικά προϊόντα όπως αντηλιακά, κρέμες, λοσιόν και σαμπουάν με μεγαλύτερη κάλυψη, απορρόφηση και καθαρισμό, με αντιοξειδωτικές, αντιμικροβιακές ιδιότητες.
- Προϊόντα αυτοκινητοβιομηχανίας με υλικά νανομηχανικής που εξασφαλίζουν υψηλής ισχύος επαναφορτιζόμενες μπαταρίες, θερμοηλεκτρικά υλικά για τον έλεγχο της θερμοκρασίας, υψηλής απόδοσης και χαμηλού κόστους αισθητήρες, πρόσθετα καυσίμων και βελτιωμένους καταλύτες για καθαρότερη εξαγωγή καυσαερίων.
- Ταχύτερα, μικρότερου μεγέθους και μεγαλύτερου αποθηκευτικού χώρου προϊόντα βιομηχανίας ηλεκτρονικών υπολογιστών και ηλεκτρονικών ειδών.

Ιατρική και Υγεία

Ένας ακόμα τομέας που η νανοτεχνολογία υπόσχεται να παρέχει σημαντικά οφέλη στο μέλλον είναι αυτός της ιατρικής. Εάν και βρίσκεται ακόμα σε πρώιμο στάδιο ανάπτυξης, αναμένεται να συνεισφέρει σημαντικά τόσο στη σφαίρα της διάγνωσης όσο και στη σφαίρα της θεραπείας ασθενειών. Κάποια από τα επιτεύγματα της νανοτεχνολογίας στους τομείς αυτούς παρουσιάζονται παρακάτω:

- Κβαντικές τελείες. Είναι ημιαγώγιμοι νανοκρύσταλλοι που χρησιμοποιούνται στη διάγνωση ασθενειών που οφείλονται σε συγκεκριμένα είδη κυτταρικών και βιολογικών δραστηριοτήτων, λόγω της ικανότητάς τους να εκπέμπουν ένα ευρύ φάσμα φωτεινών χρωμάτων όταν φωτίζονται με υπεριώδες φως.
- Πρώιμη διάγνωση αρτηριοσκλήρωσης μέσω μιας τεχνολογία απεικόνισης με σκοπό μέτρηση ενός αντισώματος νανοσωματιδιακής φύσης.
- Ανίχνευση σε πρώιμο στάδιο της νόσου του Alzheimer μέσω νανοσωματιδίων χρυσού.
- Ανίχνευση σπάνιων μοριακών σημάτων που σχετίζονται με κακοήθειες μέσω βιοαισθητήρων σε διαστάσεις νανοκλίμακας.
- Διευκόλυνση θεραπευτικής αγωγής σε καρκινικά κύτταρα μέσω νανοσωματιδίων που χρησιμεύουν ως πλατφόρμα στόχευσή τους, ελαχιστοποιώντας τον κίνδυνο για τα υγιή κύτταρα.

Βιωσιμότητα: Περιβάλλον, Νερό, Ενέργεια

Η νανοτεχνολογία αναμένεται να συνεισφέρει σημαντικά στην περιβαλλοντική και κλιματική προστασία μέσω της εξοικονόμησης πρώτων υλών, ενέργειας και νερού, καθώς και μέσω της μείωσης των αερίων του θερμοκηπίου και των επικίνδυνων αποβλήτων. Παρακάτω παρουσιάζονται κάποια από τα οφέλη της νανοτεχνολογίας στους τομείς αυτούς.

- Μέσω των εφαρμογών της νανοτεχνολογίας εξασφαλίζεται γρήγορη ανίχνευση ακαθαρσιών, φιλτράρισμα και καθαρισμός νερού με χαμηλό κόστος. Μηχανές αφαλάτωσης νερού βασισμένες στη νανοτεχνολογία έχουν σχεδιαστεί για την αφαλάτωση του θαλασσινού νερού χρησιμοποιώντας δέκα φορές λιγότερη ενέργεια σε σχέση με τις σύγχρονες μηχανές αντίστροφης ώσμωσης και τουλάχιστον εκατό φορές από την μέθοδο της απόσταξης (Roco & Bainbridge, 2005).
- Φίλτρα αέρα βασισμένα στη νανοτεχνολογία, με πόρους σε διαστάσεις νανοκλίμακας που επιτρέπουν το φιλτράρισμα πολύ μικρών σωματιδίων. Χρήση στα φίλτρα αυτοκινήτων και στα φίλτρα που υπάρχουν στις καμπίνες των αεροσκαφών.
- Αποδοτικότερα φωτοβολταϊκά συστήματα μέσω της χρήσης αντιανακλαστικών επικαλυμμάτων.
- Βελτίωση της χωρητικότητας και της ασφάλειας των μπαταριών λιθίου.

1.1.2 Η Εκπαιδευτική Αξία της Νανοτεχνολογίας και Νανοεπιστήμης (N-ET)

Για να κατανοήσουμε την εκπαιδευτική αξία της N-ET, κρίθηκε σκόπιμο να εξεταστούν πρώτα οι τεχνολογικοί και επιστημονικοί τομείς που επηρεάζονται από τη N-ET. Όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, η πρόοδος στον τομέα της νανοτεχνολογίας έχει επιφέρει σημαντικά οφέλη και καινοτόμες εφαρμογές σε ποικίλους επιστημονικούς κλάδους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη συνεχή ανάπτυξη προϊόντων νανοτεχνολογίας που κάνουν την εμφάνισή τους στην αγορά, εγείροντας κοινωνικές και επιστημονικές συζητήσεις και ανησυχίες σχετικά με διάφορα ζητήματα (Laherto, 2012). Στη βιβλιογραφία, η εισαγωγή του περιεχομένου της N-ET στην εκπαίδευση παρουσιάζεται ως κρίσιμη και επιτακτική ανάγκη και εντοπίζονται δύο βασικά επιχειρήματα:

- Η έλλειψη εκπαιδευμένου εργατικού δυναμικού σε θέματα νανοτεχνολογίας (Palmberg et al., 2009; Roco & Bainbridge, 2005) και
- Η ανάγκη για μελλοντικά εγγράμματους πολίτες σε θέματα νανοτεχνολογίας (Stevens, Sutherland & Krajcik, 2009; Cheng, Hung & Huang, 2014)

Στη σημερινή εποχή, η οικονομική ευημερία των χωρών εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις αναδυόμενες τεχνολογίες και οι προσφερόμενες θέσεις εργασίας πολύ συχνά απαιτούν γνώσεις και δεξιότητες που σχετίζονται μ' αυτές. Πολλοί είναι οι ερευνητές που υποστηρίζουν ότι τις επόμενες δύο δεκαετίες θα υπάρξει αυξημένη ανάγκη εκπαιδευμένων τεχνικών, επιστημόνων, μηχανικών και επιχειρηματιών στον τομέα της νανοτεχνολογίας. Σύμφωνα με τον Roco (2011), θα χρειαστούν κοντά στα 2 εκατομμύρια εργαζόμενοι με γνώσεις στη N-ET για την κάλυψη σχετικών θέσεων εργασίας. Ανάλογες είναι και οι προβλέψεις του ΟΟΣΑ, ο οποίος παρουσιάζει μια ανισορροπία προσφοράς και ζήτησης στην αγορά εργασίας, προβλέποντας ότι τα επόμενα χρόνια θα υπάρξει έλλειψη εκπαιδευμένου εργατικού δυναμικού στον τομέα της νανοτεχνολογίας (Palmberg et al., 2009).

Όμως, όπως οι περισσότερες αναδυόμενες τεχνολογίες, έτσι και η νανοτεχνολογία, ανάλογα με τον τρόπο και το σκοπό που θα χρησιμοποιηθεί, εκτός από οφέλη μπορεί να φέρει και αντίστοιχους κινδύνους. Το γεγονός αυτό έχει εγείρει συζητήσεις για την εκπαίδευση των πολιτών σε θέματα που ορίζουν το πεδίο της N-ET. Το βασικό επιχείρημα μιας τέτοιας εκπαίδευσης είναι ότι σύντομα όλοι οι πολίτες θα πρέπει να έχουν σε κάποιο βαθμό «νανο-γραμματισμό» προκειμένου να μπορέσουν να συμμετέχουν ενεργά και να πάρουν κρίσιμες αποφάσεις σε μερικά σημαντικά θέματα επιστημονικής και τεχνολογικής βάσης, τα οποία μπορεί να έχουν αντίκτυπο τόσο στην καθημερινή τους ζωή όσο και στην κοινωνία (Laherto, 2010).

Παράλληλα, και ως συνέπεια των παραπάνω, η εκπαίδευση έχει την υποχρέωση να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις των σύγχρονων κοινωνιών, παρέχοντας στους μαθητές πρόσβαση στις κατάλληλες γνώσεις και δεξιότητες. Η αφετηρία της εκπαίδευσης αυτής, θα πρέπει να βρίσκεται στις πρώτες βαθμίδες του εκπαιδευτικού συστήματος έτσι ώστε να τεθούν ισχυρές βάσεις για τη μελλοντική εκπαίδευση στις Φυσικές

Επιστήμες (Schank, Krajcik & Yunker, 2007). Σύμφωνα με τον Laherto (2012), το περιεχόμενο της N-ET θα πρέπει να διδάσκεται ήδη από την υποχρεωτική εκπαίδευση με σκοπό την ευαισθητοποίηση και την αύξηση της συμμετοχής των μαθητών σ' αυτά τα αναδυόμενα πεδία. Ο Roco (2003) δε, αναφέρει ότι μια τέτοιου είδους εκπαίδευση θα πρέπει να εισαχθεί σ' όλα τα επίπεδα, από το νηπιαγωγείο και να συνεχίζεται δια βίου.

Μιας και η πρόοδος της νανοτεχνολογίας πραγματοποιήθηκε με ταχύτατους ρυθμούς, η εκπαίδευση δεν έχει ακόμα προλάβει να προσαρμοστεί τελείως στα νέα δεδομένα. Οι Schank et al. (2007), υποστηρίζουν ότι η N-ET μπορεί να αποτελέσει καθοριστικό παράγοντα για μια μεταρρύθμιση της εκπαίδευσης των ΦΕ. Η εισαγωγή εννοιών σχετικών με το περιεχόμενο της N-ET στα επίσημα Προγράμματα Σπουδών (ΠΣ) θα ωφελήσει τους μαθητές δίνοντάς τους χρήσιμες γνώσεις, με νόημα για τους ίδιους, που θα σχετίζονται με την καθημερινή τους ζωή, καθώς και τα ίδια τα ΠΣ δίνοντάς τους τη διεπιστημονικότητα που τους αρμόζει (Ghattas & Carver, 2012). Σύμφωνα με τους Jones et al. (2013), ο διεπιστημονικός χαρακτήρας της N-ET θα βοηθήσει τους μαθητές και στην ενίσχυση της κατανόησης του τρόπου σύνδεσης επιστημονικών εννοιών στους διάφορους κλάδους των ΦΕ.

Αποδελτιώνοντας τη βιβλιογραφία, εντοπίστηκαν αρκετά εκπαιδευτικά προγράμματα για τη διδασκαλία της N-ET τόσο σε τυπικά όσο και σε άτυπα περιβάλλοντα μάθησης. Πολλά από αυτά προέρχονται από τις ΗΠΑ, όπως το NanoLeap, το Nanoscale Informal Science Education Network (NISE Net), το NanoSense, το NanoTeach, το National Center for the Teaching and Learning in Nanoscale Science and Engineering (NCLT), το National Nanotechnology Infrastructure Network (NNIN), και το Materials Research Science and Engineering Center (MRSEC). Ωστόσο, υπάρχουν ανάλογα προγράμματα και σε παγκόσμιο επίπεδο όπως μεταξύ άλλων το K-12 Nanotechnology Program στην Ταϊβάν, το NANOYOU της Ευρωπαϊκής Επιτροπής και το TechNyou της Αυστραλίας.

Η ενσωμάτωση όμως της N-ET στην τάξη, όπως και κάθε νέου επιστημονικού πεδίου, παρουσιάζει πολλές προκλήσεις και εγείρει πολλά ερωτήματα. Κάποια από αυτά είναι τα εξής:

- Ποιες θεμελιώδεις έννοιες της N-ET είναι σημαντικές και σε ποιες βαθμίδες πρέπει να διδαχθούν;
- Ποιες από αυτές μπορούν και πρέπει να συμπεριληφθούν στα επίσημα ΠΣ;
- Σε ποιο βαθμό θα πρέπει να εισαχθεί η κάθε έννοια;
- Με ποιο τρόπο θα γίνει η σύνδεση των νέων εννοιών στα παραδοσιακά ΠΣ;

Η απάντηση στα παραπάνω ερωτήματα δόθηκε από το Εθνικό Κέντρο Επιστήμης των ΗΠΑ (National Science Foundation), μέσω μιας σειράς σεμιναρίων. Οι θεμελιώδεις έννοιες στις οποίες κατέληξαν και αφορούν τη δευτεροβάθμια εκπαίδευση, χαρακτηρίστηκαν ως «Μεγάλες Ιδέες» και παρουσιάζονται παρακάτω (Stevens et al., 2009):

1. **Μέγεθος και κλίμακα:** Περιλαμβάνει έννοιες σχετικές με το μέγεθος και την κλίμακα. Κατανοώντας της έννοιες αυτές, οι μαθητές αναμένετε να μπορούν να περιγράψουν τα υλικά, να κάνουν συγκρίσεις μεγεθών και να προβλέπουν τη συμπεριφορά τους στις διαφορετικές κλίμακες.
2. **Δομή της ύλης:** Ο τρόπος που τα άτομα συνδέονται μεταξύ τους επηρεάζει τη συμπεριφορά των υλικών (π.χ. διαμάντι, γραφίτης, νανοσωλήνες άνθρακα).
3. **Ιδιότητες που εξαρτώνται από το μέγεθος:** Οι ιδιότητες της ύλης (π.χ. χημικές, φυσικές, ηλεκτρικές) μπορούν να μεταβάλλονται ανάλογα με το μέγεθος και την κλίμακα. Πιο συγκεκριμένα, καθώς το μέγεθος ενός υλικού μικραίνει προσεγγίζοντας τη νανοκλίμακα, εμφανίζονται διαφορετικές ιδιότητες από αυτές που κατέχει το ίδιο το υλικό στη μακροκλίμακα.
4. **Δυνάμεις και αλληλεπιδράσεις:** Όλες οι αλληλεπιδράσεις μπορούν να περιγραφούν από πολλαπλά είδη δυνάμεων αλλά η σχετική ισχύς των δυνάμεων αυτών αλλάζει ανάλογα με την κλίμακα. Η νανοτεχνολογία εκμεταλλεύεται τις μοναδικές ιδιότητες της ύλης στη νανοκλίμακα για να δημιουργήσει δομές με νέες λειτουργίες. Είναι λοιπόν κρίσιμο να κατανοήσουμε τον τρόπο με τον οποίο αυτές οι δομές συνδέονται μεταξύ τους κάτι που συνοδεύεται από μια βαθύτερη κατανόηση των ηλεκτρικών δυνάμεων που κυριαρχούν στις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των ατόμων, των μορίων και των νανοδομών.
5. **Αυτό-οργάνωση (self-assembly):** Κάτω από κατάλληλες συνθήκες τα άτομα και τα μόρια σχηματίζουν οργανωμένες δομές χωρίς κάποια εξωτερική παρέμβαση. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται αυτό-οργάνωση και είναι πολύ σημαντική για τη χειραγώγηση της ύλης στη νανοκλίμακα.
6. **Εργαλεία και Όργανα:** Τα πειραματικά όργανα κατέχουν σημαντική θέση στην εξέλιξη της επιστήμης και της τεχνολογίας. Η ανακάλυψη του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου αποτέλεσε πολύ σημαντικό παράγοντα στην κατανόηση των φαινομένων που λαμβάνουν χώρα σε πολύ μικρές διαστάσεις.
7. **Μοντέλα και προσομοιώσεις:** Το μοντέλο είναι μια απλοποιημένη αναπαράσταση ενός συστήματος ή ενός αντικείμενου. Καθώς στη νανοκλίμακα τα αντικείμενα και τα φαινόμενα είναι εκ φύσεως πολύ μικρά για να τα δούμε με γυμνό μάτι, τα μοντέλα είναι πολύ χρήσιμα για την κατανόηση, την οπτικοποίηση, την πρόβλεψη και την ερμηνεία φαινομένων σχετικά μ' αυτά.
8. **Εφαρμογές της N-ET:** Η N-ET αναμένεται να επηρεάσει την ποιότητα ζωής των ανθρώπων. Όμως, όπως συμβαίνει και με άλλες τεχνολογικές προόδους, τα προϊόντα της νανοτεχνολογίας αναμένεται να επηρεάσουν τη ζωή των ανθρώπων τόσο θετικά όσο και αρνητικά.
9. **Κβαντικά φαινόμενα:** Η ύλη στις πολύ μικρές διαστάσεις συμπεριφέρεται σαν κύμα και σαν σωματίδιο. Στις διαστάσεις νανοκλίμακας, η κυματική φύση της ύλης κυριαρχεί και απαιτείται η κβαντική μηχανική για να εξηγήσει την αλληλεπίδραση μεταξύ των σωματιδίων και της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (π.χ. φως).

Σύμφωνα με τους Stevens et al. (2009), οι Μεγάλες Ιδέες της N-ET που αναφέρθηκαν παραπάνω, αναμένεται να βοηθήσουν από τη μία τους μαθητές στην κατανόηση εννοιών σχετικών με τον τομέα αυτό και στην εξήγηση ενός εύρους φαινομένων κα από την άλλη τους εκπαιδευτικούς παρέχοντάς τους την καθοδήγηση που χρειάζονται. Επιπλέον, οι Μάνου και Σπύρτου (2013) εξετάζοντας τις παραπάνω

Μεγάλες Ιδέες εκτιμούν ότι στην Ελλάδα η εισαγωγή του περιεχομένου της N-ET στην υποχρεωτική εκπαίδευση, όχι μόνο δεν είναι κάτι ουτοπικό, αλλά βρίσκεται και σε συμφωνία με το Νέο Πρόγραμμα Σπουδών (ΝΠΣ) του Δημοτικού Σχολείου στις Φ.Ε. Πιο συγκεκριμένα, μιας και σκοπός δεν είναι η εισαγωγή των Μεγάλων Ιδεών ως ξεχωριστά και ανεξάρτητα διδακτικά αντικείμενα αλλά η ενσωμάτωσή τους στα ήδη υπάρχοντα, οι παραπάνω ερευνητές αναζήτησαν τις ενότητες που μπορούν να βρουν εφαρμογή στο ΝΠΣ των ΦΕ της χώρας μας. Οι Μάνου και Σπύρτου (2013) συσχέτισαν έξι από τις Μεγάλες Ιδέες της N-ET με το ΝΠΣ των ΦΕ της Ε' και ΣΤ' Δημοτικού. Πιο αναλυτικά, στην Ε' Δημοτικού οι Μεγάλες Ιδέες της N-ET που φαίνεται να μπορούν να ενσωματωθούν στις υπάρχουσες ενότητες είναι: «Μέγεθος και Κλίμακα», «Ιδιότητες που εξαρτώνται από το μέγεθος», «Εργαλεία και Όργανα», «Μοντέλα και προσομοιώσεις», «Εφαρμογές της N-ET» και στην ΣΤ' Δημοτικού είναι: «Δυνάμεις και αλληλεπιδράσεις» και «Εφαρμογές της N-ET».

Τέλος, έρευνες σχετικά με τα Αναλυτικά Προγράμματα Σπουδών (ΑΠΣ) των ΦΕ έχουν εντοπίσει ένα χάσμα μεταξύ της διδασκαλίας φαινομένων που σχετίζονται με το μακρόκοσμο και αυτών που σχετίζονται με τον ατομικό κόσμο. Το επίπεδο μάκρο (macro) αναφέρεται σε άμεσα παρατηρήσιμα φαινόμενα, όπως είναι το χρώμα, η ηλεκτρική αγωγιμότητα και η μάζα, και το υπομικροσκοπικό (submicro) σε μοντέλα με δομές στο επίπεδο των μορίων και των ατόμων ή ακόμα και σε αόρατα σωματίδια. Κάποιες φορές είναι δυνατό να κατανοήσουμε και να προβλέψουμε τις ιδιότητες των υλικών συσχετίζοντάς τα με επιστημονικά μοντέλα δομών σε υπομικροσκοπικό επίπεδο. Όμως σε κάποιες περιπτώσεις, όπως και σ' αυτή της νανοτεχνολογίας, αυτό δεν είναι δυνατό (Meijer, 2011).

Όπως χαρακτηριστικά αναφέρει ο Meijer (2011), οι μαθητές παρουσιάζουν δυσκολίες στη γεφύρωση του «τεράστιου νοητικού κενού» που δημιουργείται μεταξύ μακρόκοσμου και ατομικού κόσμου, ένα κενό της τάξης των 10^9 m και πολλές παρανοήσεις τους οφείλονται σ' αυτό. Παρόμοιο κενό μεταξύ μακρόκοσμου, μικρόκοσμου και ατομικού κόσμου εντοπίζεται και στο ΑΠΣ της Ελλάδας για το δημοτικό σχολείο (Πέικος, Μάνου & Σπύρτου, 2015). Ως λύση για τη γεφύρωση του παραπάνω χάσματος προτείνεται η εισαγωγή «μέσο επιπέδων» (Majier, 2011), συμπεριλαμβάνοντας σ' αυτά και το επίπεδο του νανόκοσμου.

1.1.3 Οι Ιδέες των Μαθητών για τη N-ET

Αν και υπάρχει αυξανόμενο ερευνητικό ενδιαφέρον στα θέματα που αφορούν την εισαγωγή της N-ET στην υποχρεωτική εκπαίδευση, ελάχιστες είναι οι έρευνες που εστιάζουν στην πρωτοβάθμια εκπαίδευση. Αναφορικά με τις έρευνες που έχουν διεξαχθεί για την ανάδειξη των ιδεών των μαθητών για έννοιες και φαινόμενα που περιλαμβάνουν Μεγάλες Ιδέες, οι περισσότερες εστιάζουν στη Μεγάλη Ιδέα «Μέγεθος και Κλίμακα» (Bryan, Magana & Sederberg, 2015). Παρακάτω παρουσιάζονται έρευνες που έχουν γίνει τόσο σε διεθνές επίπεδο όσο και σε εθνικό, σε τυπικά και μη τυπικά περιβάλλοντα μάθησης.

Οι Waldron, Spencer και Batt (2006), χρησιμοποίησαν συνεντεύξεις για να διερευνήσουν τις αντιλήψεις ατόμων ηλικίας από 6 έως 74 ετών για τη νανοτεχνολογία καθώς και για τις έννοιες «Μέγεθος και Κλίμακα». Πιο συγκεκριμένα, η συνέντευξη περιλάμβανε ερωτήσεις σχετικές με τη γνώση των ατόμων για όρους όπως «νανοτεχνολογία» και «νάνο», με τις αντιλήψεις τους «για τον κόσμο που είναι πολύ μικρός για να τον δούμε», καθώς και ερωτήσεις για τη διερεύνηση της ικανότητάς τους να ταξινομήσουν αντικείμενα αναφοράς με σειρά μεγέθους, όπως την ταξινόμηση των όρων «χιλιοστόμετρο», «μικρόμετρο», «νανόμετρο» και των λέξεων «μικρόβιο», «μόριο», «άτομο».

Στην έρευνα πήραν μέρος 1500 άτομα, εκ των οποίων το 84% ήταν κάτω από την ηλικία των 14 ετών. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι πάνω από το 60% των ερωτηθέντων δεν είχαν ακούσει ποτέ τη λέξη νάνο ή νανοτεχνολογία, με εξαίρεση τα άτομα ηλικίας 18-24 ετών. Πιο συγκεκριμένα, από την ανάλυση των δεδομένων φάνηκε ότι τα περισσότερα άτομα ηλικίας κάτω των 14 ετών δεν ήταν εξοικειωμένα με τον όρο νανοτεχνολογία ενώ ο όρος «νάνο» τους ήταν πιο οικείος. Ακόμα όμως και τα άτομα που είχαν ακούσει τον όρο νανοτεχνολογία, δεν ήταν σε θέση να τον ορίσουν.

Σχετικά με την ερώτηση «Ποιο είναι το μικρότερο πράγμα που μπορείτε να δείτε;», φάνηκε ότι τα περισσότερα άτομα ηλικίας έως 11 ετών, επέλεξαν έμψυχα αντικείμενα όπως «ένα μυρμήγκι», «ένα έντομο», «έναν ψύλλο», καθώς και άψυχα όπως «έναν κόκκο άμμου», «τη μύτη ενός μολυβιού» και «την τελεία στο γράμμα i». Επιπλέον, από την ανάλυση των απαντήσεων φάνηκε ότι τα παιδιά αυτής της ηλικίας θεωρούσαν ότι κόσμος που βλέπουμε με γυμνό μάτι, δηλαδή ο μακρόκοσμος, είναι ίδιος με το «φανταστικό» κόσμο, μιας και υποστήριζαν ότι το μικρότερο αντικείμενο που μπορούν να δουν είναι ίδιο μ' αυτό που μπορούν να φανταστούν. Τέλος, όσον αφορά την ταξινόμηση, το σύνολο των συμμετεχόντων έδωσε περισσότερες σωστές απαντήσεις στην ταξινόμηση των μονάδων μέτρησης παρά στην αντίστοιχη των λέξεων. Πιο συγκεκριμένα, τα παιδιά ηλικίας έως 11 ετών, δυσκολεύτηκαν και στις δύο ταξινομήσεις και παρά το γεγονός ότι τα παιδιά ηλικίας 11-13 τα πήγαν καλύτερα, μόνο ένα πολύ μικρό ποσοστό κατάφερε να ταξινομήσει σωστά τις λέξεις «μικρόβιο», «μόριο» και «άτομο».

Οι Spencer και Angelotti (2004), διερεύνησαν τις απόψεις 217 μαθητών ηλικίας 5 έως 10 ετών, στο πλαίσιο της έκθεσης «It's a Nano World» για τη νανοτεχνολογία. Για την ανάδειξη των αρχικών αντιλήψεων των μαθητών χρησιμοποιήθηκε ένα βιβλίο ζωγραφικής καθώς και η μέθοδος της συνέντευξης. Πιο συγκεκριμένα, το βιβλίο ζωγραφικής είχε ως βασικό σκοπό την ανάδειξη των ιδεών των μαθητών για το ποιο είναι το μικρότερο αντικείμενο που μπορούν να σκεφτούν και η συνέντευξη τη διερεύνηση της κατανόησης και των παρανοήσεων όσον αφορά τις λέξεις «κύτταρο» και «νάνο». Στη συνέχεια, οι μαθητές αφέθηκαν ελεύθεροι να περιηγηθούν στον εκθεσιακό χώρο και να παίξουν με τα εκθέματα. Αφού τελείωσαν, τους ζητήθηκε να ζωγραφίσουν ξανά το μικρότερο αντικείμενο καθώς και να δώσουν τη σημασία των παραπάνω δύο λέξεων.

Η ανάλυση των αποτελεσμάτων σχετικά με το μικρότερο αντικείμενο έδειξε ότι ενώ αρχικά οι μαθητές ζωγράφισαν αντικείμενα του μακρόκοσμου όπως έναν ψύλλο, μία πασχαλίτσα και σκόνη κιμωλίας, μετά την περιήγησή τους στην έκθεση η πλειοψηφία των μαθητών ζωγράφισαν μικρότερα αντικείμενα από τα αρχικά και μάλιστα τις περισσότερες φορές ήταν αντικείμενα που είχαν συναντήσει στην έκθεση όπως ο ιός, τα αιμοσφαίρια και τα μικρόβια.

Από την ανάλυση των αρχικών συνεντεύξεων φάνηκε ότι μόνο ένα μικρό ποσοστό των μαθητών ανέφερε ότι η λέξη «νάνο» σχετίζεται με κάτι μικρό καθώς παρατηρήθηκε και δυσκολία στο να εξηγήσουν τη λέξη «κύτταρο». Μετά την περιήγηση στην έκθεση, υπήρξε αύξηση των μαθητών που μπορούσαν να εξηγήσουν με απλό λεξιλόγιο τους όρους «νάνο» και «κύτταρο». Παρ' όλα αυτά όμως, εντοπίστηκε δυσκολία στην κατανόηση της διάκρισης αντικειμένων του μικρόκοσμου και του νανόκοσμου, αλλά όπως επισημαίνουν οι συγγραφείς στόχος της εκμάθησης ήταν η παροχή ερεθισμάτων για την κατανόηση βασικών εννοιών και η παροχή ενός πλαισίου για μελλοντική μάθηση.

Οι Castellini, Walejko, Holladay, Theim, Zenner και Crone (2007), διεξήγαν μια έρευνα με στόχο τη διερεύνηση των ιδεών μαθητών όλων των βαθμίδων εκπαίδευσης σε θέματα όπως α) μέγεθος / ποιο είναι το μικρότερο αντικείμενο που μπορούν να σκεφτούν β) μέγεθος και κλίμακα / κατάταξη σχετικών μεγεθών και γ) γνώσεις και στάσεις σχετικά με τη νανοτεχνολογία. Το δείγμα της έρευνα ήταν 495 άτομα.

Αναφορικά με την ερώτηση «Ποιο είναι το μικρότερο αντικείμενο που μπορούν να σκεφτούν», οι απαντήσεις ταξινομήθηκαν σε πέντε κατηγορίες όπως παρουσιάζονται παρακάτω: 1: μικρά ορατά αντικείμενα (έντομα, κόκκος άμμου, σταγόνα βροχής), 2: άτομο 3: μικροσκοπικά αντικείμενα (κύτταρα, βακτήρια, μόρια), 4: υποατομικά σωματίδια (ηλεκτρόνια, πρωτόνια, νετρόνια, κουάρκ) και 5: απαντήσεις που δεν ήταν αντικείμενα αλλά μετρήσεις ή που δεν είχαν νόημα.

Από τα αποτελέσματα φάνηκε ότι οι περισσότεροι μαθητές ηλικίας 7 έως 9 ετών (2nd, 3rd και 4th grade), ανέφεραν ως μικρότερα πράγματα που μπορούν να σκεφτούν τα μυρμήγκια, τα έντομα και τα μικρόβια. Μόνο από την ηλικία των 11 ετών (6th grade), ξεκίνησαν να αναφέρουν στις απαντήσεις τους τα άτομα και τα κύτταρα και από την ηλικία των 13 ετών (8th grade), οι περισσότερες απαντήσεις εμπεριείχαν ως μικρότερο αντικείμενο το άτομο.

Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων σχετικά με την κατάταξη με σειρά μεγέθους των λέξεων κύτταρο, βακτήριο, άτομο, και μόριο νερού, οι μισοί περίπου από τους ερωτηθέντες απάντησαν ότι το άτομο ήταν το μικρότερο στοιχείο της λίστας χωρίς όμως να καταφέρουν να κατατάξουν σωστά τα άλλα στοιχεία. Ωστόσο, φάνηκε να τα πηγαίνουν καλύτερα στην κατάταξη μικρών ορατών αντικειμένων μιας και οι μισοί περίπου από τους ερωτηθέντες κατάφεραν να σειροθετήσουν όλα τα στοιχεία με τη σωστή σειρά μεγέθους.

Τέλος, σχετικά με τις γνώσεις των συμμετεχόντων για τη νανοτεχνολογία, εάν και αρκετοί από τους συμμετέχοντες είχαν ακούσει ξανά αυτή τη λέξη, οι περισσότεροι δεν μπορούσαν να δώσουν έναν ορισμό.

Οι Πέικος, Παπαδοπούλου και Μάνου (2015), διερεύνησαν τις αντιλήψεις 54 μαθητών ηλικίας 10 έως 11 ετών (Ε΄ και ΣΤ΄ τάξη), οι οποίοι δεν είχαν παρακολουθήσει κάποια διδασκαλία για τη νανοτεχνολογία. Για την ανάδειξη των αντιλήψεών τους χρησιμοποιήθηκε ένα γραπτό ερωτηματολόγιο με επτά ερωτήσεις ανοικτού τύπου. Το ερωτηματολόγιο είχε σκοπό την ανάδειξη των ιδεών των μαθητών για θέματα όπως: α) μέγεθος και κλίμακα β) όργανα παρατήρησης και γ) γνώσεις για τον όρο νανοτεχνολογία.

Από την ανάλυση των απαντήσεων για το μέγεθος και το όργανο παρατήρησης φάνηκε ότι οι μαθητές στο σύνολό τους δεν ανέφεραν κανένα αντικείμενο του νανόκοσμου αλλά και όταν αυτό συνέβη υπήρχε η εσφαλμένη αντίληψη ότι το όργανο παρατήρησής του ήταν το οπτικό μικροσκόπιο. Οι περισσότεροι μαθητές θεώρησαν έως μικρότερο αντικείμενο αυτό που μπορούν να το πιάσουν με μια λαβίδα.

Όσον αφορά τις απόψεις των μαθητών για τη νανοτεχνολογία, περίπου οι μισοί μαθητές σύνδεσαν τη νανοτεχνολογία με κάτι μικρό ενώ οι περισσότερες απαντήσεις που δόθηκαν ήταν μερικώς επιστημονικές.

Ανακεφαλαιώνοντας, από την επισκόπηση των προαναφερθέντων ερευνών παρατηρούμε ότι όσον αφορά τη νανοτεχνολογία, οι περισσότεροι μαθητές δεν φάνηκαν να είναι εξοικειωμένοι με τον όρο αλλά ακόμα και αυτοί που είχαν ξανακούσει τη λέξη αδυνατούσαν να την ορίσουν. Επίσης, οι περισσότεροι μαθητές σχετικά με το μικρότερο αντικείμενο που μπορούν να σκεφτούν ανέφεραν αντικείμενα του μακρόκοσμου. Λιγότεροι ήταν οι μαθητές που ανέφεραν αντικείμενα του μικρόκοσμου και ελάχιστοι αυτοί που ανέφεραν ως μικρότερα αντικείμενα αυτά που ανήκουν στη νανοκλίμακα. Τέλος, η πλειοψηφία των μαθητών φάνηκε να αντιμετωπίζει δυσκολίες στην ταξινόμηση αντικειμένων με σειρά μεγέθους, κυρίως μάλιστα όταν τα αντικείμενα αυτά ανήκαν στο μικρόκοσμο ή στο νανόκοσμο.

Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι οι μαθητές του δημοτικού σχολείου έχουν ελάχιστες γνώσεις για τη νανοτεχνολογία καθώς και για φαινόμενα και έννοιες που περιλαμβάνουν τις Μεγάλες Ιδέες και παρόλο που υπάρχει αυξανόμενο ερευνητικό ενδιαφέρον χρειάζεται πρόσθετη και σε βάθος έρευνα, που να εστιάζει στην πρωτοβάθμια εκπαίδευση, ώστε να ξεπεραστούν οι δυσκολίες που προαναφέρθηκαν και να τεθούν τα θεμέλια για μια εκσυγχρονισμένη εκπαίδευση στις Φ.Ε.

1.1.4 Η Φύση ως Σημείο Εκκίνησης της Εισαγωγής του Περιεχομένου της N-ET στην Υποχρεωτική Εκπαίδευση

Ένα από τα χαρακτηριστικά της N-ET είναι το πλήθος των νανοφαινομένων που μπορούμε να δούμε γύρω μας. Αν και πολλοί ερευνητές υποστηρίζουν ότι η

νανοτεχνολογία είναι η τεχνολογία του μέλλοντος, στην πραγματικότητα αποτελεί τη βάση όλων των οικοσυστημάτων και του ορυκτού κόσμου. Υπάρχουν ποικίλοι τρόποι με τους οποίους η φύση διαχειρίζεται τη νανοτεχνολογία καθώς οι νανοδομές που υπάρχουν σ' αυτή είναι σε αφθονία. Αν και όλα τα υλικά μπορούν να περιγραφούν στη νανοκλίμακα υπάρχουν και κάποια, τα φυσικά νανοϋλικά (natural nanomaterials), τα οποία δεν έχουν υποστεί τροποποίηση από τον άνθρωπο και οφείλουν τις αξιοσημείωτες ιδιότητές τους στις εγγενείς τους νανοδομές (Filipponi et al., 2013). Παραδείγματα τέτοιων δομών αποτελούν οι φυσικές δομές όπως το DNA (διάμετρο περίπου 2.5nm), οι ιοί (10-60nm) και τα βακτήρια (30nm -10μm), αλλά και οι ανόργανες ή περιβαλλοντικής προέλευσης δομές όπως οι λεπτοί σχηματισμοί στην άμμο της ερήμου, το νέφος και οι αναθυμιάσεις από ηφαιστειακή δραστηριότητα. Ακόμα, πολλά βιολογικά συστήματα έχουν δημιουργήσει νανοσύνθετες δομές για τη βελτίωση των μηχανικών, οπτικών, μαγνητικών και χημικών τους ιδιοτήτων (Kumar & Kumbhat, 2016).

Τα φυσικά νανοϋλικά προσφέρουν ένα εξαιρετικό σημείο εκκίνησης για την εισαγωγή του περιεχομένου της N-ET στην υποχρεωτική εκπαίδευση. Σύμφωνα με τους Filipponi et al. (2013), ξεκινώντας από ένα αντικείμενο με το οποίο οι μαθητές είναι εξοικειωμένοι, όπως τα φυτά και τα ζώα, η διδασκαλία του περιεχομένου της N-ET θα γίνει αποτελεσματικότερη και πιο ενδιαφέρουσα για τους μαθητές.

Από το πλήθος των νανοφαινομένων που υπάρχουν στη φύση, στη Διδακτική Μαθησιακή Ακολουθία (DMA) που εφαρμόστηκε στην παρούσα εργασία αποφασίσαμε να ασχοληθούμε με το φαινόμενο του λωτού, το οποίο περιγράφεται αναλυτικά στην παρακάτω ενότητα.

1.1.4.2 Το φαινόμενο του λωτού

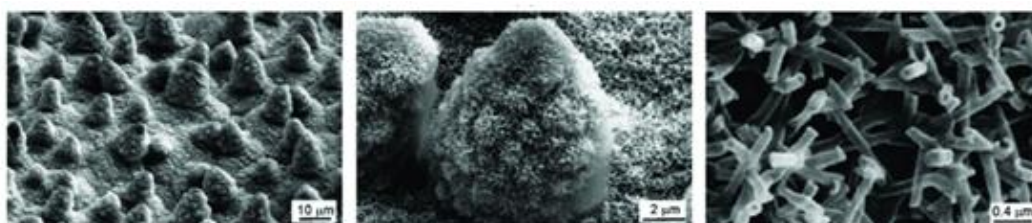
Το φαινόμενο του λωτού αποτελεί ένα από τα πιο χαρακτηριστικά παραδείγματα της νανοεπιστήμης στο βιολογικό κόσμο (Kumar & Kumbhat, 2016).

Ο λωτός είναι ένα φυτό των υδροβιότοπων της Ασίας και έχει την ιδιότητα να διατηρεί τα φύλλα του καθαρά ακόμα και όταν το φυσικό περιβάλλον είναι λασπώδες. Τα φύλλα του λωτού έχουν την ιδιότητα να απωθούν τελείως το νερό επειδή είναι «υπερυδρόφοβα», με αποτέλεσμα οι σταγόνες να κυλούν στην επιφάνεια του φύλλου και να μαζεύουν τις βρωμιές καθιστώντας το «αυτοκαθαριζόμενο» (εικόνα 1.6).



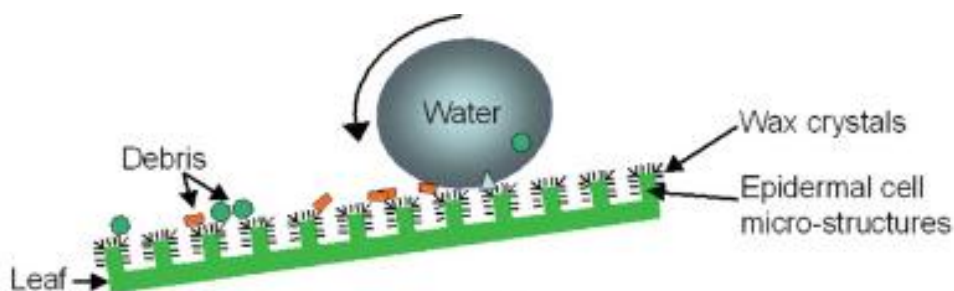
Εικόνα 1.6: Ο λωτός. Οι στρογγυλές σταγόνες νερού δε διαβρέχουν το φύλλο (Kumar & Kumbhat, 2016: 8)

Τα φύλλα του λωτού έχουν ιεραρχικές δομές μικροκλίμακας και νανοκλίμακας (εικόνα 1.7). Πιο συγκεκριμένα, τα επιδερμικά κύτταρα του φύλλου του λωτού σχηματίζουν θηλές (papillae), οι οποίες δρουν ως μικροδομές τραχύτητας (μικροπροεξοχές). Οι θηλές καλύπτονται από ένα πολύ πυκνό στρώμα κρυστάλλων κεριού (wax crystals), οι οποίοι δρουν ως νανοδομές τραχύτητας (νάνοπροεξοχές). Στην εικόνα 1.7, μπορούμε να παρατηρήσουμε το φύλλο του λωτού με διαφορετικούς βαθμούς μεγέθυνσης χρησιμοποιώντας εικόνες SEM. Οι κρύσταλλοι κεριού από μόνοι τους έχουν υδρόφοβες ιδιότητες και σε συνδυασμό με τις μικροδομές και τις νανοδομές τραχύτητας οδηγούν σε μειωμένη επιφάνεια επαφής μεταξύ σταγόνας νερού και επιφάνειας φύλλου. Ο συνδυασμός αυτός οδηγεί σε στατικές γωνίες επαφής που υπερβαίνουν τις 150 μοίρες και δίνουν στο φύλλο του λωτού την ιδιότητα της υπερυδροφοβικότητας (Samaha, Tafreshi, & Gad-el-Hak, 2012).



Εικόνα 1.7: Μικροδομές και νανοδομές του φύλλου του λωτού από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο. (Bhushan, Jung, & Koch, 2009)

Αν η επιφάνεια του φύλλου αποκτήσει μία κλίση, ακόμη και με μια μικρή γωνία, οι σταγόνες του νερού αρχίζουν να γλιστρούν στα φύλλα (εικόνα 1.8), και έτσι συλλέγουν και αφαιρούν τη βρωμιά από την επιφάνεια καθιστώντας την αυτοκαθαριζόμενη (Samaha, Tafreshi & Gad-el-Hak, 2012).



Εικόνα 1.8: Ο μηχανισμός του αυτοκαθαρισμού ⁴

⁴ <https://www.thenakedscientists.com/articles/features/biomimetics-borrowing-biology>

1.2 Μοντέλα – Μοντελοποίηση

Η διδασκαλία των Φ.Ε έχει απασχολήσει έντονα τις τελευταίες δεκαετίες τόσο την χώρα μας όσο και πολλές άλλες χώρες. Το γεγονός αυτό έχει οδηγήσει σε μια γενική τάση για βελτίωση της επιστημονικής εκπαίδευσης και κατ' επέκταση των μαθησιακών αποτελεσμάτων που επιφέρει, με επενδύσεις για την ανάπτυξη καινοτόμων Προγραμμάτων Σπουδών (ΠΣ) καθώς και τη δια βίου εκπαίδευση των εκπαιδευτικών. Κοινός στόχος όλων των προσπαθειών είναι η χρήση των αποτελεσμάτων της επιστημονικής έρευνας για τη βελτίωση της κατανόησης των επιστημονικών εννοιών από τους μαθητές (Minner, Levy, & Century, 2010). Όλο και περισσότερο λοιπόν μέσα από την έρευνα, διαφαίνεται η αξία της διερεύνησης και των επιστημονικών μοντέλων, τόσο για τη διδασκαλία όσο και για τη μάθηση των Φ.Ε. Κρίνεται λοιπόν απαραίτητη η αναφορά στην επιστημονική διερεύνηση ως τη βάση για τη μελέτη των μοντέλων και της μοντελοποίησης.

1.2.1 Διερεύνηση

Σύμφωνα με το National Research Council (1996:23) *«η επιστημονική διερεύνηση αναφέρεται στους διάφορους τρόπους με τους οποίους οι επιστήμονες μελετούν το φυσικό κόσμο και δίνουν ερμηνείες βασισμένες σε στοιχεία που προκύπτουν από την εργασία τους»*. Επίσης, τονίζεται ότι ο όρος διερεύνηση χρησιμοποιείται και για δραστηριότητες των μαθητών μέσω των οποίων αυτοί αναπτύσσουν γνώση και κατανόηση των επιστημονικών εννοιών και κατανόηση του τρόπου με τον οποίο οι επιστήμονες μελετούν το φυσικό κόσμο.

Οι Minner et al. (2010), υποστηρίζουν ότι ο όρος διερεύνηση αναφέρεται σε τρεις κατηγορίες δραστηριοτήτων:

- A. Τι κάνουν οι επιστήμονες (διεξαγωγή ερευνών με τη χρήση επιστημονικών μεθόδων)
- B. Πώς μαθαίνουν οι μαθητές (ενεργή διερεύνηση των μαθητών μέσω της σκέψης και της πράξης σε ένα φαινόμενο ή μια προβληματική κατάσταση, συχνά ανακαλώντας διαδικασίες που έχουν χρησιμοποιηθεί από τους επιστήμονες)
- Γ. Στην παιδαγωγική προσέγγιση των εκπαιδευτικών (σχεδιασμός και χρήση Προγραμμάτων Σπουδών που επιτρέπουν την εκτεταμένη διερεύνηση)

Σύμφωνα με τους Abd-EI-Khalick et al. (2004), υπάρχουν δύο είδη διερεύνησης: η διερεύνηση ως μέσο ή αλλιώς η «διερεύνηση στην επιστήμη» (inquiry in science) και η διερεύνηση ως επιδίωξη ή αλλιώς η «διερεύνηση σχετικά με την επιστήμη» (inquiry about science). Η διερεύνηση ως μέσο αναφέρεται στη διερεύνηση ως μία εκπαιδευτική προσέγγιση που έχει σκοπό την ενίσχυση της κατανόησης των μαθητών όσον αφορά το επιστημονικό περιεχόμενο. Από την άλλη πλευρά, η διερεύνηση ως επιδίωξη αναφέρεται στη διερεύνηση ως εκπαιδευτικό αποτέλεσμα και έχει σκοπό να κάνει τους μαθητές να μάθουν να διερευνούν και να αναπτύξει τη γνώση τους για επιστημονικά θέματα μέσω της ανάπτυξης διερευνητικών δεξιοτήτων, όπως είναι η

δεξιότητα εντοπισμού προβλημάτων, σχεδιασμού και διεξαγωγής ερευνών και οι δεξιότητες διαμόρφωσης και δημιουργίας υποθέσεων και μοντέλων.

Η διερεύνηση στη σχολική τάξη, η οποία συνήθως εμφανίζεται ως μέσο, παρουσιάζει πέντε βασικά χαρακτηριστικά στοιχεία (National Research Council, 2000:25):

1. Οι μαθητές ασχολούνται με επιστημονικά προσανατολισμένες ερωτήσεις.
2. Οι μαθητές δίνουν προτεραιότητα στις ενδείξεις, που τους επιτρέπουν να αναπτύσσουν και να αξιολογούν τις εξηγήσεις που αφορούν επιστημονικά προσανατολισμένες ερωτήσεις.
3. Οι μαθητές διατυπώνουν ερμηνείες βασισμένες στις ενδείξεις για την αντιμετώπιση επιστημονικά προσανατολισμένων ερωτήσεων.
4. Οι μαθητές αξιολογούν τις εξηγήσεις τους υπό το φως των εναλλακτικών εξηγήσεων, ιδιαίτερα εκείνων που αντικατοπτρίζουν την επιστημονική κατανόηση.
5. Οι μαθητές παρουσιάζουν και αιτιολογούν τις εξηγήσεις που δίνουν.

Μια διερευνητική διδακτική προσέγγιση που περιλαμβάνει και τα πέντε παραπάνω βασικά στοιχεία χαρακτηρίζεται ως «πλήρης διερεύνηση» (full inquiry) ενώ εάν κάποιο από τα στοιχεία αυτά απουσιάζει χαρακτηρίζεται ως «μερική διερεύνηση» (partial inquiry).

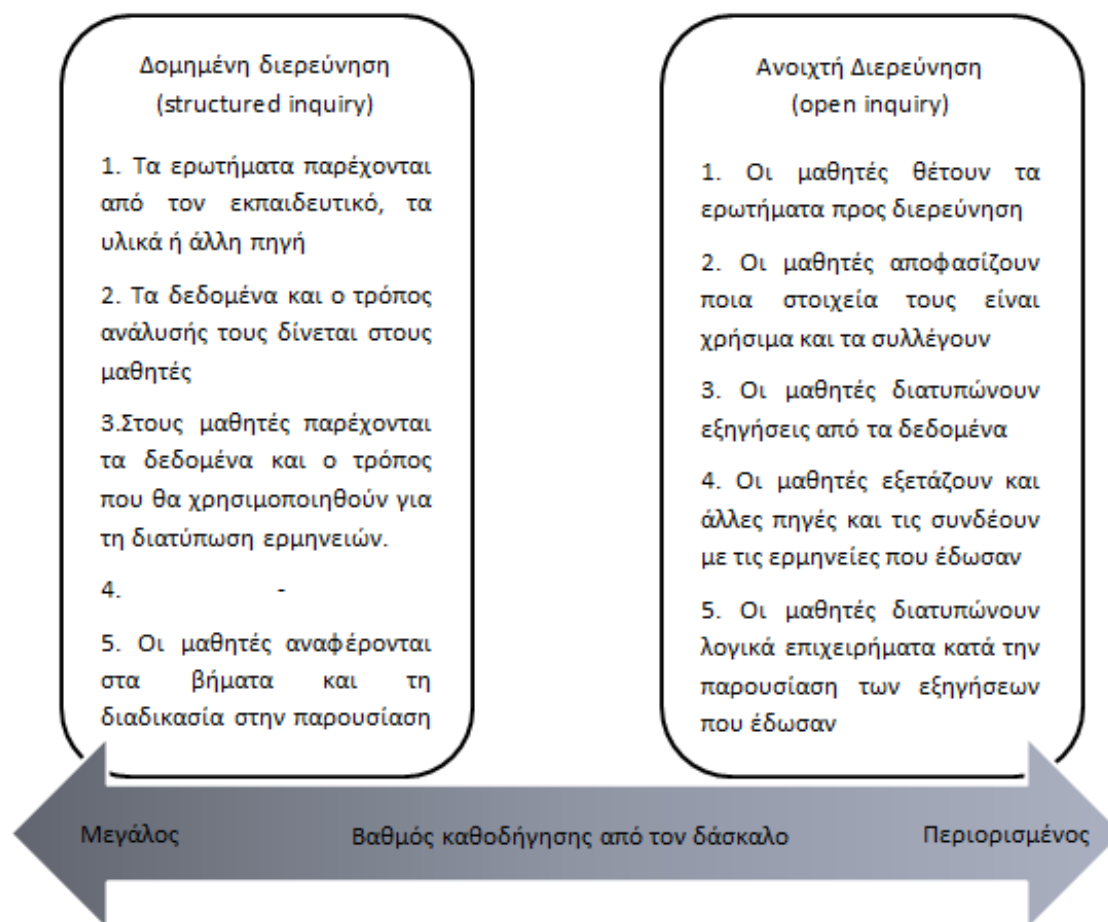
Ακόμα, ανάλογα με το βαθμό αυτονομίας που δίνεται στους μαθητές σε κάθε ένα από τα πέντε βασικά στοιχεία που αναφέρθηκαν παραπάνω, μια διερευνητική διδασκαλία μπορεί να χαρακτηριστεί ως δομημένη (structured inquiry), καθοδηγούμενη (guided inquiry) ή ανοιχτή (open inquiry) (National Research Council, 2000).

Στη δομημένη διερεύνηση, οι μαθητές διερευνούν ένα πρόβλημα το οποίο έχει τεθεί από τον εκπαιδευτικό μέσω ρητών οδηγιών για κάθε στάδιο της έρευνας, οι οποίες τους οδηγούν σε μια προκαθορισμένη έκβαση. Η διαδικασία έρευνας στη δομημένη διερεύνηση είναι γραμμική, ξεκινάει με την αναγνώριση του ερωτήματος μέσω της συλλογής δεδομένων, και καταλήγει με την εξαγωγή, των εκ των προτέρων γνωστών, συμπερασμάτων βάσει των αποδεικτικών στοιχείων. Οι μαθητές αποκτούν μόνο βασικές δεξιότητες διερεύνησης, όπως δεξιότητες παρατήρησης, συλλογής και οργάνωσης δεδομένων, χωρίς να αναπτύσσουν πιο σύνθετες, όπως αυτή της αυτόνομης σκέψης.

Στην καθοδηγούμενη διερεύνηση, οι μαθητές διερευνούν ένα πρόβλημα το οποίο έχει παρουσιαστεί από τον εκπαιδευτικό, συμμετέχοντας όμως ενεργά στη λήψη αποφάσεων επιλέγοντας τις διαδικασίες που θα ακολουθήσουν και μπορεί να καταλήξουν σε απρόβλεπτα συμπεράσματα.

Στην ανοιχτή διερεύνηση, ο εκπαιδευτικός καθορίζει το πλαίσιο της γνώσης, όμως η διαδικασία έρευνας είναι μαθητοκεντρική με τους ίδιους τους μαθητές να σχεδιάζουν την έρευνα αποφασίζοντας το φαινόμενο που θα διερευνήσουν και τις διαδικασίες που θα ακολουθήσουν. Είναι φανερό λοιπόν, ότι σ' αυτό το είδος διερεύνησης οι μαθητές βρίσκονται σε μια συνεχή διαδικασία λήψης αποφάσεων, αναπτύσσοντας έτσι σύνθετες δεξιότητες όπως είναι η κριτική και λογική σκέψη και ο αναστοχασμός.

Στο σχήμα 1.2 παρουσιάζεται το ευρύ φάσμα των διερευνητικών περιβαλλόντων μάθησης (Ζουπίδης, 2012; National Research Council, 2000).



Σχήμα 1.2: Το ευρύ φάσμα των διερευνητικών προσεγγίσεων στη διδασκαλία και μάθηση

Συμπερασματικά, όποιο και αν είναι το είδος της διερεύνησης, η σημασία της έχει αναγνωριστεί τόσο για τη διδασκαλία όσο και για τη μάθηση των φυσικών επιστημών σε τέτοιο βαθμό που η καλή διδασκαλία και μάθηση στις ΦΕ συνδέονται άρρηκτα με τον όρο αυτό (Anderson, 2002).

Παρακάτω εστιάζουμε σε ένα από τα συστατικά στοιχεία της διερεύνησης στις Φ.Ε που είναι τα μοντέλα και η μοντελοποίηση.

1.2.2 Μοντέλα και Μοντελοποίηση

Η λέξη μοντέλο είναι μία λέξη που χρησιμοποιούμε πολύ συχνά στην καθημερινή μας ζωή και επιδέχεται πολλές και διαφορετικές ερμηνείες. Οι πολλαπλές ερμηνείες που δίνονται στα μοντέλα και στη μοντελοποίηση γίνονται εύκολα αντιληπτές από τα αποτελέσματα που θα βρεθούν όταν κάποιος αναζητήσει στο διαδίκτυο τη λέξη “modeling” (μοντελοποίηση), τα οποία φτάνουν τα 306.100.000⁵ (Gilbert & Justi,

⁵ Ιανουάριος 2013

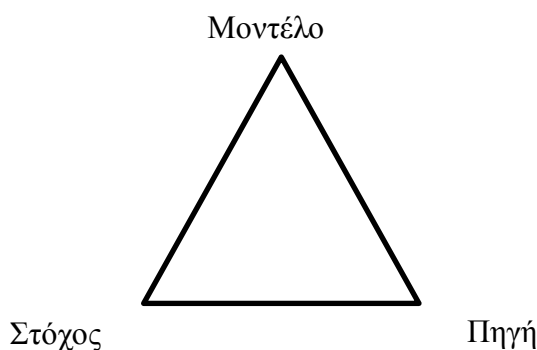
2016). Παρ' όλα αυτά, μια πιο εξειδικευμένη αναζήτηση με τη χρήση του όρου «επιστημονικά μοντέλα», επιφέρει λιγότερα αποτελέσματα.

Στην επιστημονική ορολογία, η λέξη μοντέλο είναι η αναπαράσταση ενός αντικειμένου, ενός φαινομένου, ενός γεγονότος, μιας διαδικασίας, ενός συστήματος, ή μιας ιδέας που αρχικά παράγεται για ένα συγκεκριμένο σκοπό (Gilbert & Boulter, 2012). Η αναπαράσταση αυτή έχει σκοπό να εξηγήσει και να προβλέψει το επιστημονικό φαινόμενο που μελετάται μέσω της απλοποίησής του, εστιάζοντας στα βασικά του χαρακτηριστικά (Schwarz et al., 2009). Παραδείγματα επιστημονικών μοντέλων αποτελούν το μοντέλο ατόμου του Bohr, το σωματιδιακό μοντέλο της ύλης, το μοντέλο του κύκλου του νερού καθώς και το πλανητικό μοντέλο.

Σύμφωνα με τους van der Valk, van Driel & de Vos (2007), τα δύο βασικά χαρακτηριστικά των επιστημονικών μοντέλων που περιγράφουν τη φύση και τη λειτουργία τους είναι τα εξής:

- ✓ Ένα μοντέλο σχετίζεται πάντα με ένα στόχο και δημιουργείται για ένα συγκεκριμένο σκοπό (Gilbert & Boulter, 1993). Αν και ένα μοντέλο είναι πάντα η αναπαράσταση ενός στόχου, ανάλογα με το σκοπό του εκάστοτε μοντέλου, ο τρόπος αναπαράστασής του μπορεί να ποικίλει.
- ✓ Ένα μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως εργαλείο έρευνας για την άντληση πληροφοριών σχετικά με ένα στόχο που είναι δύσκολα μετρήσιμος ή παρατηρήσιμος. Ένα μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να μάθουμε κάποια λιγότερο γνωστά πράγματα σχετικά με το στόχο, συγκρίνοντάς τον με κάτι που ήδη ξέρουμε και μας είναι οικείο. Η πρόβλεψη και η ερμηνεία αποτελούν και τους σκοπούς ενός μοντέλου στην επιστημονική έρευνα.

Σύμφωνα με τους Brodie et al. (1994) (ό.α. στο Coll & Lajium, 2011: 3-4), ο στόχος (target) είναι κάτι που θέλουμε να κατανοήσουμε, η πηγή (source) κάτι που είναι ήδη οικείο σ' εμάς από την καθημερινή μας ζωή και την εμπειρία μας και το μοντέλο μας βοηθάει να «γεφυρώσουμε» το στόχο και την πηγή (σχήμα 1.3).



Σχήμα 1.3: Η σχέση του μοντέλου με την πηγή και το στόχο (Brodie et al., 1994, ό.α. στο Coll & Lajium, 2011: 3-4)

Παρακάτω παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά που πρέπει να πληροί ένα μοντέλο (van der Valk et al., 2007):

- ✓ Ένα μοντέλο θα πρέπει να έχει κάποιες αναλογίες με το στόχο, οι οποίες θα επιτρέπουν στον ερευνητή να αντλήσει κάποιες πληροφορίες από αυτό, να κάνει προβλέψεις ή να αναδιατυπώσει κάποιες υποθέσεις και να φτάσει τελικά στο σκοπό του μοντέλου.
- ✓ Ένα μοντέλο μπορεί να διαφέρει σε ορισμένα σημεία από το στόχο. Ένα μοντέλο ακριβώς ίδιο με το στόχο δεν είναι μοντέλο αλλά πιστό αντίγραφο του υπό μελέτη στόχου. Οι διαφορές που έχει ένα μοντέλο με το στόχο εξαρτώνται κάθε φορά από το σκοπό που θέλει να εκπληρώσει το κάθε μοντέλο και γι' αυτό πολλές φορές, σκόπιμα, ορισμένα στοιχεία του στόχου παραλείπονται, δίνοντας στο μοντέλο μια απλοποιημένη μορφή του στόχου. Ένα μοντέλο είναι ικανό να προσφέρει εναλλακτικούς τρόπους απόκτησης πληροφοριών και διερεύνησης ενός στόχου που είναι δύσκολο να προσεγγιστεί, όπως για παράδειγμα το κέντρο της Γης.

Όσον αφορά την επιλογή και την ανάπτυξη ενός μοντέλου οι van der Valk, van Driel και de Vos (2007), δίνουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

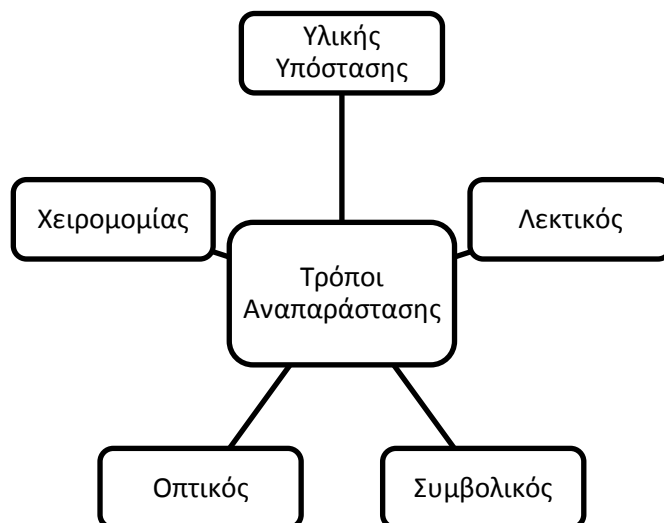
- ✓ Τα μοντέλα είναι ένα «προϊόν συμβιβασμού» καθώς ο κάθε ερευνητής κατά τη διαδικασία κατασκευής ενός μοντέλου βρίσκεται αντιμέτωπος με το δίλλημα της δημιουργίας ενός μοντέλου που θα έχει πολλές ομοιότητες με το στόχο αλλά θα είναι περίπλοκο ή της δημιουργίας ενός πιο απλού μοντέλου που θα είναι ευκολότερο να χρησιμοποιηθεί. Για να παρθεί μια απόφαση, ο ερευνητής θα πρέπει να εξετάσει τη φύση του προβλήματος της έρευνας, τα διαθέσιμα μέσα καθώς επίσης το χρόνο και το χρήμα που έχει στη διάθεσή του αλλά και τις προτιμήσεις του.
- ✓ Ένα μοντέλο δεν αλληλεπιδρά άμεσα με το στόχο που αναπαριστά. Υπό την έννοια αυτή, για να θεωρήσουμε κάτι ως μοντέλο θα πρέπει να υπάρχει ένα στοιχείο δημιουργικότητας που να σχετίζεται με το στόχο. Για παράδειγμα, ενώ μια φωτογραφία μπορεί να μας δίνει πολύτιμα στοιχεία του στόχου δεν μπορεί να θεωρηθεί ως μοντέλο. Καταλαβαίνουμε λοιπόν, ότι ένα μοντέλο εκτός από τα στοιχεία που προέρχονται από τον ίδιο το στόχο θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει και στοιχεία απλούστευσης και ερμηνείας του στόχου.
- ✓ Μπορούν να υπάρχουν πολλά μοντέλα «συναίνεσης» (consensus models) για τον ίδιο στόχο κάτι που απορρέει από το γεγονός ότι ο ερευνητής μπορεί να πάρει τις δικές του αποφάσεις για τη δημιουργία ενός μοντέλου ανάλογα με το σκοπό της έρευνας.
- ✓ Ένα μοντέλο μπορεί να αναθεωρηθεί, μιας και το αρχικό μπορεί να μην περιλαμβάνει καθόλου ή σε ικανοποιητικό βαθμό κάποιες πτυχές του στόχου.

Στη βιβλιογραφία έχουν προταθεί πολλοί τρόποι κατηγοριοποίησης των μοντέλων. Παραδείγματα τέτοιων κατηγοριοποιήσεων αποτελούν η κατηγοριοποίηση των Carpenter και Romberg (2004) που γίνεται βάσει της λειτουργίας των μοντέλων

καθώς και η κατηγοριοποίηση των Boulter και Buckley (2000), οι οποίοι στηρίζονται στον τρόπο αναπαράστασης των μοντέλων για να τα κατηγοριοποιήσουν. Επιπλέον, οι Gilbert, Boulter και Elmer (2000) έχουν προτείνει μια κατηγοριοποίηση βάσει της οντολογικής τους κατάστασης και όπως φαίνεται παρακάτω κατηγοριοποιούν τα μοντέλα σε:

- **Νοητικά (mental)**
Πρόκειται για προσωπικές γνωστικές αναπαραστάσεις που διαμορφώνονται στο μυαλό ενός άτομου είτε όταν το άτομο βρίσκεται μόνο του είτε όταν είναι μέλος μίας ομάδας.
- **Εκφρασμένα (expressed)**
Πρόκειται για νοητικά μοντέλα που τοποθετούνται στη δημόσια σφαίρα από ένα άτομο ή μια ομάδα ατόμων μέσω ενός ή και περισσότερων κωδικών αναπαράστασης. Τα εκφρασμένα μοντέλα, ανάλογα με τον τρόπο αναπαράστασής τους, ταξινομούνται σε υλικής υπόστασης (concrete), λεκτικά (verbal), οπτικά (visual), μαθηματικά (mathematical) και χειρονομίας (gestural).
- **Συναίνεσης (consensus)**
Ένα μοντέλο συναίνεσης δημιουργείται όταν διαφορετικές κοινωνικές ομάδες αποδέχονται την αξία και την ισχύ ενός εκφρασμένου μοντέλου.
- **Επιστημονικά (scientific)**
Το επιστημονικό μοντέλο είναι στην ουσία ένα εκφρασμένο μοντέλο που μέσα από πειραματικό έλεγχο έχει καταφέρει να κερδίσει την αποδοχή της επιστημονικής κοινότητας.
- **Ιστορικά (historical)**
Είναι μοντέλα συναίνεσης που παράγονται σε ειδικά ιστορικά πλαίσια και σήμερα έχουν παραγκωνιστεί.
- **Μοντέλα των αναλυτικών προγραμμάτων (curricular)**
Είναι ιστορικά ή επιστημονικά μοντέλα τα οποία συμπεριλαμβάνονται στα επίσημα αναλυτικά προγράμματα αφού πρώτα έχουν απλοποιηθεί.
- **Διδακτικά (teaching)**
Κατασκευάζονται είτε από το μαθητή είτε από τον εκπαιδευτικό με σκοπό την ευκολότερη κατανόηση των μοντέλων συναίνεσης, των επιστημονικών και των ιστορικών μοντέλων.
- **Υβριδικά (hybrid)**
Σχηματίζονται από τη συγχώνευση χαρακτηριστικών των επιστημονικών και ιστορικών μοντέλων καθώς και των μοντέλων των αναλυτικών προγραμμάτων και χρησιμοποιούνται στα αναλυτικά προγράμματα και τη διδασκαλία.
- **Παιδαγωγικής (pedagogy)**
Είναι μοντέλα που ασχολούνται με τη φύση της επιστήμης, τη φύση της διδασκαλίας και μάθησης των Φ.Ε και χρησιμοποιούνται από τους εκπαιδευτικούς στο σχεδιασμό, στον αναστοχασμό και στις πρακτικές διαχείρισης της σχολικής τάξης.

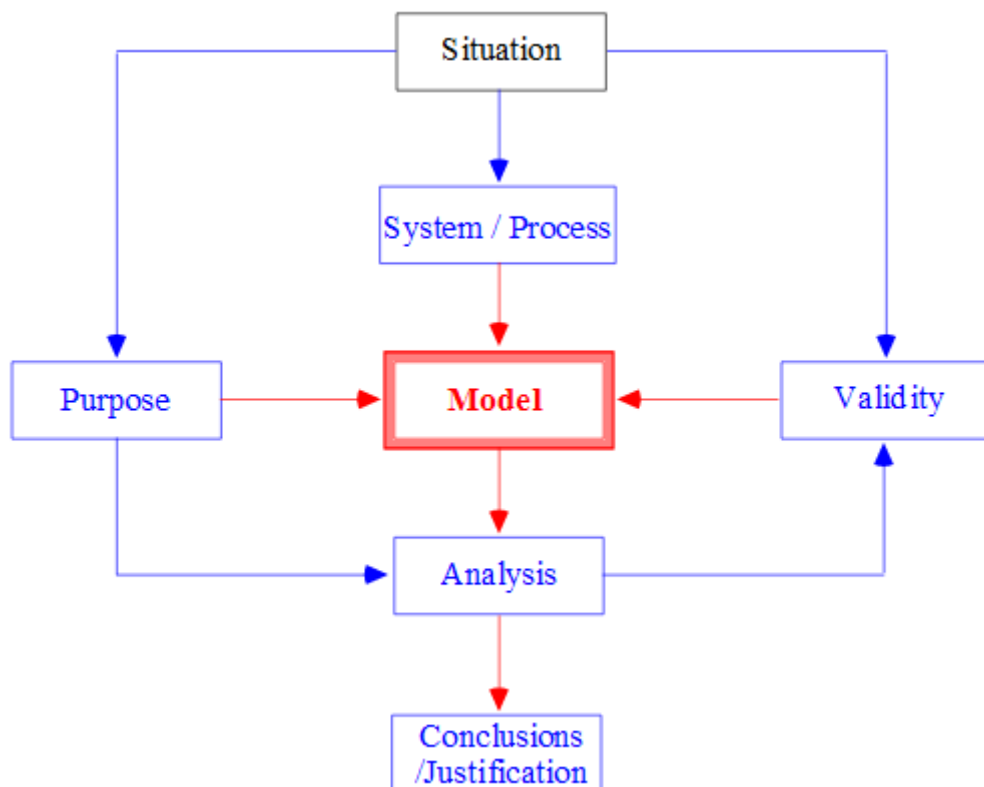
Οποιαδήποτε και αν είναι η οντολογική φύση ενός μοντέλου (εκφρασμένο, επιστημονικό, ιστορικό, αναλυτικών προγραμμάτων ή υβριδικό), μπορεί να πάρει τη μορφή οποιασδήποτε αναπαράστασης. Οι τρόποι αναπαράστασης ενός μοντέλου (Gilbert, 2004) παρουσιάζονται στο σχήμα 1.4.



Σχήμα 1.4: Τρόποι αναπαράστασης ενός μοντέλου

Πιο συγκεκριμένα, τα μοντέλα υλικής υπόστασης (concrete or material) είναι μια τρισδιάστατη αναπαράσταση φτιαγμένη από ανθεκτικά υλικά (π.χ. ένα μεταλλικό μοντέλο ενός πλοίου). Ο λεκτικός (verbal) τρόπος αναπαράστασης, αποτελείται από την περιγραφή των οντοτήτων αλλά και των μεταξύ τους σχέσεων σε μία αναπαράσταση με τη χρήση γραπτού ή προφορικού λόγου (π.χ. μοντέλο των φλεβών και των αρτηριών). Όσον αφορά το συμβολικό τρόπο αναπαράστασης (symbolic), αποτελείται από χημικά σύμβολα και τύπους, χημικές εξισώσεις και μαθηματικές εκφράσεις (π.χ. η μαθηματική έκφραση του Νόμου της Παγκόσμιας Έλξης $F=G\frac{m_1 m_2}{r^2}$). Ο οπτικός (visual) τρόπος αναπαράστασης ενός μοντέλου περιλαμβάνει διαγράμματα, γραφήματα και χάρτες, σε δισδιάστατη μορφή (π.χ. εικονικά μοντέλα από προγράμματα υπολογιστή). Τέλος, στα μοντέλα χειρονομίας (gestural) γίνεται χρήση του σώματος μέσω της κινησιολογίας του (π.χ. η αναπαράσταση της κίνησης των ιόντων κατά τη διάρκεια της ηλεκτρόλυσης με τη βοήθεια της κίνησης των μαθητών σε αντίθετες κατευθύνσεις).

Όσον αφορά τη μοντελοποίηση, σύμφωνα με τον Hestenes (1987), ορίζεται ως μια γνωστική διαδικασία εφαρμογής των αρχών σχεδιασμού μιας θεωρίας για να παραχθεί ένα μοντέλο κάποιου φυσικού αντικειμένου ή διαδικασίας. Στο σχήμα 1.5, παρουσιάζεται μια γενική διαδικασία μοντελοποίησης που μπορεί να εφαρμοστεί στο πλαίσιο μιας θεωρίας για τη δημιουργία και τη χρήση ενός μοντέλου σε συγκεκριμένες καταστάσεις που μπορούν να εμφανιστούν στον πραγματικό κόσμο, στα εργαστηριακά πειράματα και στα προβλήματα που συναντάμε στα βιβλία (Hestenes, 1995).



Σχήμα 1.5: Η διαδικασία της μοντελοποίησης (Hestenes, 1995:13)

Το πρώτο στάδιο της μοντελοποίησης, περιλαμβάνει τον προσδιορισμό και την περιγραφή του κάθε φυσικού συστήματος και του αντίστοιχου φαινομένου σε μια συγκεκριμένη κατάσταση. Στη συνέχεια, προσδιορίζεται ο σκοπός (purpose) της μοντελοποίησης και η εγκυρότητα (validity) των αναμενόμενων αποτελεσμάτων. Έχοντας κάνει τα παραπάνω βήματα, που είναι κρίσιμα για την επιλογή της κατάλληλης θεωρίας πάνω στην οποία θα στηριχθεί το μοντέλο, το επόμενο στάδιο περιλαμβάνει την επιλογή του κατάλληλου μοντέλου και την κατασκευή του. Έπειτα, μέσα από μια διαρκή διαδικασία αναθεώρησης το μοντέλο επεξεργάζεται και αναλύεται. Η εγκυρότητα ενός μοντέλου επιτυγχάνεται μέσω της σύγκρισής του με το σύστημα στην αρχική του κατάσταση. Στο τελικό στάδιο, εξάγονται τα κατάλληλα συμπεράσματα και τα αποτελέσματα αξιολογούνται σε συνάρτηση με τους σκοπούς της μοντελοποίησης. Η εξαγωγή συμπερασμάτων από το μοντέλο απαιτεί ανάλυση της δομής και της συμπεριφοράς του καθώς και εκτιμήσεις εγκυρότητας.

1.2.3 Η Διδακτική Αξία των Μοντέλων και της Μοντελοποίησης

Η εκπαίδευση στις Φ.Ε είναι ένα ζήτημα που απασχολεί πολλές χώρες τις τελευταίες δεκαετίες, μιας και υπάρχει επιτακτική ανάγκη για επιστημονικά εγγράμματους πολίτες, όπως αναφέρθηκε και στο πρώτο κεφάλαιο. Το παραπάνω γεγονός σε συνδυασμό με την απροθυμία των μαθητών να ασχοληθούν με τις Φ.Ε πέραν της υποχρεωτικής εκπαίδευσης και την αντιμετώπιση της επιστήμης ως πολύπλοκης και χωρίς ενδιαφέρον, έχει οξύνει το πρόβλημα. Σύμφωνα με τον Gilbert (2004), αυτά τα

προβλήματα αποδίδονται στη φύση των Προγραμμάτων Σπουδών των Φ.Ε. και αφορούν όλα τα επίπεδα των εκπαιδευτικών συστημάτων.

Η μοντελοποίηση ως στοιχείο της επιστημονικής μεθοδολογίας και τα μοντέλα ως το αποτέλεσμα της μοντελοποίησης είναι δύο σημαντικές πτυχές της επιστημονικής εκπαίδευσης (Gilbert, 2016). Η συμβολή των μοντέλων και των διαδικασιών μοντελοποίησης στον επιστημονικό γραμματισμό έχει ήδη αναγνωριστεί από πολλούς ερευνητές (Louca & Zacharia, 2012) καθώς και από τις σύγχρονες τάσεις των αναλυτικών προγραμμάτων σπουδών των Φ.Ε. πολλών χωρών, κάτι που έχει ως αποτέλεσμα την εισαγωγή των μοντέλων και των διαδικασιών μοντελοποίησης σ' αυτά.

Αποδελτιώνοντας τη βιβλιογραφία, τα μοντέλα και η μοντελοποίηση φαίνεται να συνεισφέρουν σε πολλούς τομείς όσον αφορά τη μάθηση στις Φ.Ε. συμπεριλαμβανομένου του γνωστικού, του μεταγνωστικού, του κοινωνικού και του επιστημολογικού (Louca & Zacharia, 2012).

Όσον αφορά τη γνωστική πτυχή, μια διδασκαλία βασισμένη στα μοντέλα φαίνεται να ενισχύει την εννοιολογική κατανόηση των μαθητών και να τους βοηθάει στην εκμάθηση της επιστήμης. Τα μοντέλα, μέσω της μοντελοποίησης, επιτρέπουν στους μαθητές να οπτικοποιήσουν ένα αντικείμενο, μια ιδέα, μια διαδικασία ή ένα σύστημα, τα οποία είναι πολύπλοκα, αφηρημένα ή συνδυασμός αυτών, απλοποιώντας τα και κάνοντάς τα πιο κατανοητά (Gilbert & Boulter, 1998). Σύμφωνα με τη Vosniadou (2010), τα μοντέλα είναι χρήσιμα εργαλεία για την κατανόηση σύνθετων, μη αναμενόμενων εννοιών των φυσικών επιστημών. Επίσης, σύμφωνα με τους Barab, Hay, Barnett και Keating (2000), η μοντελοποίηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ένα αποτελεσματικό εργαλείο για την ενίσχυση της εννοιολογικής κατανόησης των μαθητών. Όπως γίνεται κατανοητό από τα παραπάνω, τα μοντέλα και η μοντελοποίηση είναι καθοριστικής σημασίας εργαλεία για την ανάπτυξη της εννοιολογικής κατανόησης της Ν-ΕΤ, μιας και τα φαινόμενα που περιλαμβάνει είναι αφηρημένα και δεν μπορούν εύκολα να οπτικοποιηθούν εξαιτίας του πολύ μικρού τους μεγέθους.

Ένα ακόμα πλεονέκτημα των μοντέλων και της μοντελοποίησης είναι το γεγονός ότι μέσω της διαδικασίας που ακολουθείται κατά τη μοντελοποίηση δίνεται η δυνατότητα στους μαθητές να σχεδιάσουν αυτόνομα και αμερόληπτα τις δικές τους αναπαραστάσεις φαινομένων. Όπως επισημαίνει ο Penner (2000), ένας από τους κύριους στόχους των εκπαιδευτικών Φ.Ε. θα πρέπει να είναι να βοηθήσουν τους μαθητές τους να μετακινηθούν από τις διαισθητικές τους έννοιες για το φυσικό κόσμο στη συστηματικότητα που χαρακτηρίζει την επιστημονική πρακτική. Κεντρικής σημασίας για να επιτευχθεί κάτι τέτοιο είναι η μοντελοποίηση, μιας και βοηθάει τους μαθητές να βελτιώσουν την κατανόηση του φυσικού κόσμου μέσα από το σχεδιασμό των δικών τους αντιπροσωπευτικών μοντέλων.

Σημαντική είναι και η συνεισφορά της μοντελοποίησης στην ανάπτυξη και στην εφαρμογή ποικίλων επιστημονικών πρακτικών και γνωστικών δεξιοτήτων που είναι κεντρικής σημασίας για την επιστήμη, όπως ο προσδιορισμός ερωτήσεων, η

δημιουργία εξηγήσεων και η αιτιολόγηση (Zhang, Liu & Krajcik, 2006). Οι Stratford, Krajcik και Soloway (1998) σε έρευνα που διεξήγαν σε μαθητές 14 ετών (9th grade) εντόπισαν τέσσερις διαφορετικούς τύπους δεξιοτήτων που λαμβάνουν χώρα κατά τη μοντελοποίηση: δεξιότητες ανάλυσης, σχεσιακής λογικής, σύνθεσης και δοκιμής/εντοπισμού σφαλμάτων. Η ανάπτυξη δεξιοτήτων μοντελοποίησης παρέχει την ευκαιρία στους μαθητές να βγάλουν νόημα από τις δικές τους εμπειρίες για το φυσικό κόσμο καθώς και να αξιολογήσουν τις πληροφορίες που παρέχονται από τους άλλους (Papaevripidou, Constantinou & Zacharia, 2007).

Η μεταγνωστική συνεισφορά των μοντέλων και της μοντελοποίησης είναι μια πτυχή που δεν έχει μελετηθεί επαρκώς. Παρ' όλα αυτά, οι White και Frederiksen (1998) υποστηρίζουν ότι η μάθηση που είναι βασισμένη στα μοντέλα μπορεί να ενισχύσει τις μεταγνωστικές δεξιότητες των μαθητών και ιδιαίτερα τις δεξιότητες παρακολούθησης και συλλογισμού, καθώς δίνει στους μαθητές τη δυνατότητα να εκφράσουν και να εξωτερικεύσουν τις σκέψεις τους και να αναστοχαστούν πάνω σ' αυτές. Επίσης, οι Schwarz et al. (2009), διερεύνησαν τη μεταγνώση των μαθητών για μοντέλα μη ορατών με γυμνό μάτι φαινομένων και υποστήριξαν ότι οι μαθητές μετά την παρέμβαση κατάφεραν να κατασκευάζουν μοντέλα που δεν έχουν πολλά κοινά χαρακτηριστικά με το φαινόμενο το οποίο αναπαριστούσαν και να αναγνωρίζουν τις σχέσεις των συστατικών στοιχείων των μοντέλων μέσα από μια ερμηνευτική σκοπιά.

Η κοινωνική πτυχή αναφέρεται στις συλλογιστικές δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα στην τάξη και στην αλληλεπίδραση των μελών της, καθώς επίσης και στα χαρακτηριστικά του λόγου που χρησιμοποιείται και τι ρόλο παίζει στη διαδικασία μοντελοποίησης (Louca & Zacharia, 2012). Η μοντελοποίηση σε ένα συνεργατικό περιβάλλον μάθησης καθώς και η επικοινωνία μέσα στην τάξη οδηγεί τους μαθητές να εκφράσουν τις ιδέες τους και να τις διαπραγματευτούν, γεγονός που διευκολύνει τη διανομή γνώσεων μεταξύ των μαθητών κάτι που αποτελεί και μια βασική πτυχή της μοντελοποίησης (Sins, 2006). Ακόμα, το παραπάνω γεγονός, βοηθάει τους μαθητές να βελτιώσουν σημαντικά τον επιστημονικό τους λόγο, ιδίως όταν καλούνται να υπερασπιστούν την εγκυρότητα των μοντέλων τους (White & Frederiksen, 1990).

Τέλος, η επιστημολογική πτυχή αναφέρεται στην επιστημολογική θέση των μαθητών και στην επίγνωσή τους κατά τη διαδικασία ανάπτυξης των μοντέλων, στην ικανότητά τους να χρησιμοποιούν πειραματικά στοιχεία για να υποστηρίξουν ή να απορρίψουν ένα μοντέλο ή μια θεωρία σχετικά με ένα φυσικό σύστημα, καθώς και στην κατανόηση από πλευράς τους, της σχέσης μεταξύ ενός επιστημονικού μοντέλου και της «πραγματικότητας» (Louca & Zacharia, 2012).

Σύμφωνα με τους Schwarz και White (2005), η επιστημολογική γνώση στην οποία αναφέρονται με τον όρο “meta-modeling knowledge”, περιλαμβάνει τέσσερις πτυχές: α) τη φύση των μοντέλων, β) τη φύση ή διαδικασία της μοντελοποίησης, γ) την αξιολόγηση των μοντέλων και δ) το σκοπό ή τη χρησιμότητά τους. Εμπλέκοντας τους μαθητές σε μια αυθεντική μάθηση βασισμένη στα μοντέλα προωθείται μια βαθύτερη κατανόηση των μοντέλων και του τρόπου με τον οποίο χρησιμοποιούνται στην επιστήμη (Gobert & Pallant, 2004). Τέλος, οι Linn και Muilenberg (1996)

υποστηρίζουν ότι η εμπλοκή των μαθητών σε ένα Πρόγραμμα Σπουδών που λαμβάνει υπόψη τις προηγούμενες γνώσεις τους και είναι σχεδιασμένο για την ανάπτυξη της επιστημονικής διερεύνησης και της επιστημολογικής ανάπτυξης, μπορεί να συμβάλει μακροπρόθεσμα στον επιστημονικό γραμματισμό.

Συμπερασματικά, η συμβολή των μοντέλων και της μοντελοποίησης στη διδασκαλία και τη μάθηση διαφαίνεται σ' όλες τις παραπάνω πτυχές. Η κατανόηση της χρήσης των μοντέλων, του λόγου που χρησιμοποιούνται καθώς και των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων που έχουν, οδηγεί στην κατανόηση του τρόπου με τον οποίο λειτουργεί η επιστήμη και της δυναμικής φύσης της γνώσης που παράγεται από αυτήν (Abd-El-Khalick et al., 2004). Ένα Πρόγραμμα Σπουδών βασισμένο στα μοντέλα θα μπορέσει να κάνει την επιστημονική εκπαίδευση περισσότερο αυθεντική και κοινωνικά αποδεκτή, παρέχοντας ικανοποιητικές εξηγήσεις για τα φυσικά φαινόμενα και αντανακλώντας το στοιχείο της δημιουργικότητας, το στοιχείο δηλαδή που έχει κάνει την επιστήμη ένα από τα σημαντικότερα πολιτιστικά επιτεύγματα της ανθρωπότητας (Gilbert, 2004). Από τα παραπάνω, διαφαίνεται ότι τα μοντέλα σε συνδυασμό με το περιεχόμενο της N-ET μπορούν να συμβάλουν στον εκσυγχρονισμό των ΠΣ των Φ.Ε.

1.2.4 Οι Ιδέες των Μαθητών για τα Μοντέλα και τη Μοντελοποίηση

Παρακάτω παρουσιάζονται οι ιδέες των μαθητών για τα μοντέλα και τη μοντελοποίηση εστιάζοντας κυρίως στη φύση των μοντέλων, στο ρόλο τους και στην οικοδόμησή τους.

Οι Grosslight, Unger, Jay και Smith (1991) διερεύνησαν τις αντιλήψεις δύο ομάδων μαθητών σχετικά με τα μοντέλα και τη χρησιμότητά τους στην επιστήμη. Πιο συγκεκριμένα, στην έρευνα συμμετείχαν 33 μαθητές ηλικίας 13-14 ετών (7th grade) και 22 μαθητές ηλικίας 17-18 ετών (11th grade). Πραγματοποιήθηκαν τρεις αναλύσεις προκειμένου: α) να παρουσιαστούν οι αυθόρμητες απαντήσεις των μαθητών για τα μοντέλα, β) να εξεταστούν τα κριτήρια που χρησιμοποιούν οι μαθητές για να χαρακτηρίσουν ένα αντικείμενο ως μοντέλο και η συνέπειά τους, και τέλος, γ) να περιγραφεί ο τρόπος με τον οποίο διαφορετικά επίπεδα κατανόησης σχετικά με τα μοντέλα αντανακλούν διαφορετικές επιστημολογικές απόψεις.

Με τη χρήση συνεντεύξεων τέσσερις εμπειρογνώμονες διερεύνησαν τις αρχικές απόψεις των μαθητών και βάσει αυτών προέκυψαν τρία σχήματα κωδικοποίησης των δεδομένων και αποφασίστηκε η διαδικασία βαθμολόγησης. Οι απαντήσεις των μαθητών κωδικοποιήθηκαν ως εξής: 1) «Είδη μοντέλων» συμπεριλήφθηκαν οι απαντήσεις των μαθητών σε ερωτήσεις όπως: «Τι σας έρχεται στο μυαλό όταν ακούτε τη λέξη “μοντέλο”», «Υπάρχουν διαφορετικά είδη μοντέλων;», «Πώς θα περιγράφατε τι είναι ένα μοντέλο σε κάποιον που δεν ήξερε;», 2) «Σκοπός των μοντέλων» συμπεριλήφθηκαν οι απαντήσεις των μαθητών σε ερωτήσεις όπως: «Ποιος είναι ο σκοπός των μοντέλων», «Τι μπορούμε να κάνουμε με ένα μοντέλο», «Πώς μπορούμε να το χρησιμοποιήσουμε στην επιστήμη», 3) «Σχεδιασμός και Δημιουργία μοντέλων»

συνοψίζονται οι απαντήσεις των μαθητών στις εξής ερωτήσεις: «Όταν φτιάχνουμε ένα μοντέλο τι θα πρέπει να έχουμε στο μυαλό μας;», «Πόσο πρέπει να μοιάζει το μοντέλο με το αντικείμενο που αναπαριστά;», «Πώς ξέρουμε τι είναι σημαντικό;», 4) «Η αλλαγή ενός μοντέλου» συνοψίζονται οι απαντήσεις των μαθητών στην ερώτηση: «Μπορεί ένας επιστήμονας να αλλάξει ένα μοντέλο;», και τέλος 5) «Πολλαπλότητα των μοντέλων» συμπεριλαμβάνει τις απαντήσεις των μαθητών στην ερώτηση: «Μπορεί ένας επιστήμονας να έχει διαφορετικά μοντέλα για το ίδιο πράγμα;».

Από την ανάλυση των δεδομένων όσον αφορά τα «είδη των μοντέλων» παρατηρήθηκε ότι η πλειοψηφία των μαθητών και των δύο ομάδων αναφέρονταν σε πραγματικά αντικείμενα (π.χ. ακριβές αντίγραφο αεροπλάνου) ως μοντέλα αντικειμένων (π.χ. ενός αεροπλάνου). Πολύ σπάνια ήταν η αναφορά των μαθητών στα μοντέλα ως αναπαραστάσεις ιδεών ή ως αφηρημένες οντότητες (π.χ. μαθηματικά μοντέλα). Επίσης, όπως φάνηκε από την ανάλυση, οι μαθητές θεωρούσαν ότι τα αντικείμενα που μοντελοποιούνται είχαν έναν πολύ συγκεκριμένο χαρακτήρα. Σε καμία ηλικιακή ομάδα οι μαθητές δεν αναφέρονταν συχνά στο ρόλο του ατόμου που μοντελοποιεί.

Σχετικά με τη διάσταση «Σκοπός των μοντέλων», οι απαντήσεις κάλυψαν ένα ευρύ φάσμα σκοπών, με πάνω από τους μισούς μαθητές και των δύο ομάδων να απαντούν ότι ο σκοπός των μοντέλων είναι να μας δείχνουν πως μοιάζει εξωτερικά ένα αντικείμενο. Επιπλέον, κάποιοι μαθητές της πρώτης ηλικιακής ομάδας (7th grade), υποστήριξαν ότι ο σκοπός των μοντέλων είναι να μας δώσουν ένα παράδειγμα για το τι είναι ένα αντικείμενο ή το τι κάνει, και ότι τα μοντέλα προορίζονται για να τα βλέπουμε ή να παίζουμε μ' αυτά. Η μεγαλύτερη ηλικιακή ομάδα (11th grade), ανέφερε ότι ο σκοπός των μοντέλων είναι να βοηθούν στην κατανόηση, στη διδασκαλία, καθώς και στην οπτικοποίηση, κάνοντας τα αντικείμενα πιο κατανοητά και προσβάσιμα. Για την επίτευξη των παραπάνω, αναφέρθηκε ότι τα μοντέλα πρέπει να τονίζουν, να απλοποιούν ή να παραλείπουν κάποιες πληροφορίες, αλλάζοντας το μέγεθος ή/και την προοπτική του αντικειμένου που αναπαριστούν.

Οι μαθητές και των δύο ηλικιακών ομάδων θεώρησαν ότι κατά το «Σχεδιασμό και Δημιουργία μοντέλων», πρέπει να κάνουν ένα μοντέλο όσο το δυνατόν πιο κοντά σε μέγεθος, σχήμα και αναλογία με το «πραγματικό αντικείμενο». Όμως, αρκετοί μαθητές της μεγαλύτερης ηλικιακής ομάδας (11th grade), ανέφεραν ότι ένα μοντέλο θα πρέπει να είναι κατανοητό για τους ίδιους ή/και τους άλλους, έχοντας γνώση για κάποια γενικά κριτήρια της μοντελοποίησης, όπως είναι η εγκυρότητα και η απλότητα.

Σχετικά με τη διάσταση «η αλλαγή ενός μοντέλου», η πλειοψηφία των μαθητών συμφώνησαν ότι οι επιστήμονες μπορούν να αλλάξουν ένα μοντέλο υπό ορισμένες συνθήκες. Οι μαθητές της μικρότερης ηλικιακής ομάδας (7th grade), δεν έδωσαν σαφείς απαντήσεις, υποστηρίζοντας ότι ένα μοντέλο μπορεί να αλλάξει εάν «δεν είναι σωστό» ή εάν κάτι είναι «λάθος». Οι μαθητές της μεγαλύτερης ηλικιακής ομάδας (11th grade), έδωσαν σαφέστερες απαντήσεις υποστηρίζοντας ότι ένα μοντέλο μπορεί

να αλλάξει υπό το φως νέων πληροφοριών που μπορεί να έχουν βρεθεί μέσα από την έρευνα, τον πειραματισμό ή την ανακάλυψη.

Τέλος, όσον αφορά την «Πολλαπλότητα των μοντέλων», η πλειοψηφία και των δύο ηλικιακών ομάδων υποστήριξαν ότι οι επιστήμονες μπορούν να έχουν διαφορετικές οπτικές για το ίδιο αντικείμενο, εννοώντας όμως τις περισσότερες φορές ως διαφορετική οπτική, μια οπτική από διαφορετική γωνία.

Οι μαθητές βαθμολογήθηκαν βάσει του επιπέδου της κατανόησής τους για τα μοντέλα από τα αρχικά πρωτόκολλα συνέντευξης. Εντοπίστηκαν τρία διαφορετικά επίπεδα κατανόησης των μοντέλων και των διαδικασιών μοντελοποίησης, κάτι που δείχνει διαφορετικές επιστημολογικές απόψεις όσον αφορά αυτά.

Στο πρώτο επίπεδο κατανόησης, οι μαθητές θεωρούσαν τα μοντέλα ως παιχνίδια ή αντίγραφα αντικειμένων της πραγματικότητας και τη χρησιμότητά τους να απορρέει από το γεγονός αυτό. Στο δεύτερο επίπεδο, οι μαθητές θεωρούσαν ότι πίσω από την κατασκευή του μοντέλου υπάρχει ένας συγκεκριμένος σκοπός που οι δημιουργοί του το λαμβάνουν υπόψη. Παρ' όλα αυτά, συνέχιζαν να εστιάζουν στο μοντέλο ως αντικείμενο και όχι στην ιδέα που αναπαριστά. Στο τρίτο επίπεδο κατανόησης, ανήκαν απόψεις που συμβάδιζαν με τα παρακάτω: α) ένα μοντέλο οικοδομείται για να αναπτύξει ή να αξιολογήσει ιδέες, β) το άτομο που μοντελοποιεί αναλαμβάνει ενεργό ρόλο έχοντας στο μυαλό του το σκοπό του μοντέλου που κατασκευάζει και γ) η χρήση και ο έλεγχος των μοντέλων μπορεί να αναπτύσσουν νέες ιδέες.

Η μικρότερη ηλικιακή ομάδα έφτασε έως το πρώτο επίπεδο κατανόησης, θεωρώντας τα μοντέλα ως απλά αντίγραφα της πραγματικότητας και αναφέροντας ότι ο σκοπός τους είναι η όσο το δυνατόν πιο πιστή αντιγραφή του αντικειμένου που αναπαριστάται, ενώ η μεγαλύτερη ηλικιακή ομάδα έφτασε έως το δεύτερο επίπεδο κατανόησης, όμως συνέχισε να πιστεύει ότι τα μοντέλα είναι αποκλειστικά αναπαραστάσεις αντικειμένων του πραγματικού κόσμου και όχι ιδεών.

Οι Treagust, Chittleborough και Mamiala (2002) ανέπτυξαν ένα ερωτηματολόγιο τύπου Likert για να μελετήσουν τις απόψεις 228 μαθητών ηλικίας 13-15 ετών για το ρόλο και το σκοπό των επιστημονικών μοντέλων. Οι μαθητές κλήθηκαν να απαντήσουν σ' αυτό, επιλέγοντας μία απάντηση από το διαφωνώ έντονα έως το συμφωνώ απόλυτα, χωρίς να έχουν παρακολουθήσει καμία διδασκαλία σχετική με τα μοντέλα.

Από την ανάλυση των δεδομένων προέκυψαν πέντε θέματα σχετικά με την κατανόηση των επιστημονικών μοντέλων από τους μαθητές: α) τα επιστημονικά μοντέλα ως πολλαπλές αναπαραστάσεις, β) τα μοντέλα ως ακριβή αντίγραφα της πραγματικότητας, γ) τα μοντέλα ως επεξηγηματικά εργαλεία, δ) η χρήση των επιστημονικών μοντέλων και ε) η μεταβαλλόμενη φύση των επιστημονικών μοντέλων.

Όσον αφορά τα «επιστημονικά μοντέλα ως πολλαπλές αναπαραστάσεις» οι μαθητές φάνηκε να κατανοούν ότι τα μοντέλα μπορούν να προσφέρουν μια ποικιλία προοπτικών και εμφανίσεων, με την πλειοψηφία των μαθητών να συμφωνούν ότι η

χρήση πολλαπλών αναπαραστάσεων είναι χρήσιμη για να δείξει διαφορετικές όψεις και προοπτικές ενός αντικειμένου.

Περίπου οι μισοί από τους ερωτηθέντες φάνηκε να πιστεύουν ότι ένα μοντέλο είναι ακριβές αντίγραφο της πραγματικότητας, καταδεικνύοντας ότι ένα μεγάλο ποσοστό των μαθητών έχουν μια αφελή αντίληψη όσον αφορά τη φύση ενός μοντέλου.

Τα αποτελέσματα σχετικά με το ρόλο ενός μοντέλου, που εξάγονται από τα θέματα «τα μοντέλα ως επεξηγηματικά εργαλεία» και «η χρήση των επιστημονικών μοντέλων», δείχνουν ότι οι περισσότεροι μαθητές ήταν ικανοί να αναγνωρίσουν την αξία της οπτικής αναπαράστασης που παρέχουν τα επιστημονικά μοντέλα. Περίπου οι μισοί μαθητές φάνηκε να κατανοούν την αξία των μοντέλων για την κατασκευή προβλέψεων και τη διατύπωση θεωριών, ενώ οι υπόλοιποι μισοί είτε δεν ήταν σίγουροι είτε διαφωνούσαν με την παραπάνω άποψη καταδεικνύοντας αδυναμία στην κατανόηση του ρόλου των επιστημονικών μοντέλων στη διατύπωση θεωριών και επιστημονικών ιδεών.

Τέλος, όσον αφορά τη «μεταβαλλόμενη φύση των επιστημονικών μοντέλων», η πλειοψηφία των μαθητών θεώρησε ότι ένα μοντέλο μπορεί να αλλάξει υπό το πρίσμα νέων πληροφοριών και θεωριών.

Οι Lee, Chang και Wu (2015), εξέτασαν τις επιπτώσεις που μπορεί να έχει ο τρόπος αναπαράστασης ενός μοντέλου και το εκπαιδευτικό επίπεδο των μαθητών στις απόψεις τους σχετικά με τα μοντέλα και τη μοντελοποίηση. Για το λόγο αυτό, δημιουργήθηκαν ερωτηματολόγια σε ηλεκτρονική μορφή σχετικά με τη φύση των μοντέλων και της μοντελοποίησης και το σκοπό τους. Στην έρευνα συμμετείχαν 102 μαθητές 13 ετών (8th grade) και 87 μαθητές 16 ετών (11th grade). Όπως και στις προηγούμενες έρευνες, κανένας από τους μαθητές δεν είχε παρακολουθήσει κάποια διδασκαλία σχετικά με τα μοντέλα και τη μοντελοποίηση.

Για τη διερεύνηση των απόψεων των μαθητών σχετικά με τη «φύση των μοντέλων», οι μαθητές κλήθηκαν να χαρακτηρίσουν δώδεκα αντικείμενα ως μοντέλα ή μη. Όσον αφορά τη «φύση της μοντελοποίησης», οι ερωτήσεις που συμπεριλήφθηκαν στο ερωτηματολόγιο καλούσαν τους μαθητές να απαντήσουν σχετικά με τις πληροφορίες που θα έπρεπε κάποιος να συμπεριλάβει κατά την κατασκευή ενός μοντέλου. Οι επιλογές που είχαν οι μαθητές ήταν οι εξής: α) να συμπεριλάβουν όσο το δυνατόν περισσότερες πληροφορίες, β) να συμπεριλάβουν μόνο τα βασικά μέρη και γ) να βασιστούν στους επιστημονικούς σκοπούς της μοντελοποίησης. Τέλος, η πτυχή «σκοπός των μοντέλων» περιλάμβανε ερωτήσεις σχετικά με τη χρησιμότητα των μοντέλων για την έρευνα, τη χρησιμότητα των μοντέλων για τη μάθηση και τη χρησιμότητα των πολλαπλών τρόπων αναπαράστασης.

Η ανάλυση των δεδομένων για τη διάσταση «φύση των μοντέλων», έδειξε μια γενική τάση των μαθητών και των δύο ηλικιακών ομάδων (8th grade και 11th grade) να χαρακτηρίζουν ως μοντέλα αντικείμενα που αναπαριστώνται δυναμικά ή με τρεις διαστάσεις. Διαφορές εντοπίστηκαν στις εξηγήσεις που έδωσαν οι μαθητές για το πότε ένα αντικείμενο μπορεί να χαρακτηριστεί ως μοντέλο. Οι μικρότεροι μαθητές

(8th grade), ανέφεραν ως σημαντικότερους λόγους το σκοπό (π.χ. να μπορεί να εξηγήσει φαινόμενα), τη γνωστική του προοπτική (π.χ. να είναι απλό και εύκολο να κατανοηθεί) και το «στόχο» που μοντελοποιείται (π.χ. να περιγράφει αφαιρετικές έννοιες, επιστημονικά φαινόμενα). Από την άλλη πλευρά, οι μεγαλύτεροι μαθητές (11th grade) εστίασαν μόνο σε δύο πτυχές των αντικειμένων που αναπαριστώνται: το σκοπό (π.χ. να περιγράφει με συγκεκριμένο τρόπο μια αφηρημένη έννοια) και τα χαρακτηριστικά της αναπαράστασης (π.χ. τρεις διαστάσεις).

Σχετικά με τη διάσταση «φύση της μοντελοποίησης», οι ερευνητές εστίασαν στην ποσότητα των πληροφοριών που θα πρέπει να συμπεριληφθούν σ' ένα μοντέλο. Από την ανάλυση προκύπτει ότι οι απόψεις των μαθητών δε φάνηκε να επηρεάζονται από τα χαρακτηριστικά της αναπαράστασης. Επίσης, οι μαθητές και των δύο ηλικιακών ομάδων δεν κατάφεραν να φτάσουν σε υψηλό επίπεδο κατανόησης όσον αφορά τη φύση της μοντελοποίησης. Αυτό οι ερευνητές το απέδωσαν στην αδυναμία των μαθητών να κατανοήσουν τις αποφάσεις σχετικά με την προσθήκη ή/και την αφαίρεση στοιχείων κατά τη διάρκεια της μοντελοποίησης, εξαιτίας της έλλειψης εμπειρίας τους. Η αιτιολόγηση των απαντήσεων, τόσο των μαθητών που απάντησαν ότι οι πληροφορίες που πρέπει να συμπεριληφθούν σε ένα μοντέλο θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν περισσότερες όσο και αυτών που θεώρησαν ότι πρέπει να συμπεριληφθούν μόνο τα βασικά μέρη, αφορούσαν τη γνωστική προοπτική (π.χ. με βοήθουν να καταλάβω καλύτερα) ή την ίδια την αναπαράσταση (π.χ. παρουσιάζεται καλύτερα).

Σχετικά με τη διάσταση «σκοπός του μοντέλου», η ανάλυση των δεδομένων έδειξε μια γενική τάση των μαθητών και των δύο ηλικιακών ομάδων να προτιμούν τρισδιάστατα και δυναμικά μοντέλα έναντι των δισδιάστατων και στατικών. Όσον αφορά τη χρησιμότητα ενός μοντέλου για την έρευνα, συχνά οι μαθητές έδιναν εξηγήσεις που αντικατόπτριζαν τις προσωπικές τους αντιλήψεις και δεν αναφέρονταν στη χρησιμότητα για την ίδια την έρευνα (εξέταση ιδεών ή πρόβλεψη αποτελεσμάτων).

Ο Πέικος (2016), μελέτησε την εξέλιξη της επιστημολογικής γνώσης 22 μαθητών ΣΤ' Δημοτικού για τη φύση και το ρόλο των μοντέλων καθώς και το βαθμό που η επιστημολογική γνώση για τα μοντέλα μπορεί να συμβάλει στην κατανόηση του περιεχομένου της N-ET. Οι μαθητές κλήθηκαν να συμπληρώσουν γραπτά ένα ερωτηματολόγιο πριν και μετά την παρέμβαση.

Από την ανάλυση των απαντήσεων, φαίνεται ότι τα αποτελέσματα ήταν ιδιαίτερα θετικά τόσο για τη φύση όσο και για το ρόλο των μοντέλων, μιας και η πλειοψηφία των μαθητών μετά την παρέμβαση αναγνώρισαν την αναπαραστατική τους φύση και την χρησιμότητά τους ως εργαλεία μάθησης ή/και επικοινωνίας καθώς και την χρησιμότητα των πολλαπλών μοντέλων.

Τέλος, ιδιαίτερα σημαντικό ήταν το εύρημα 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.

1.3 Διδακτικές Μαθησιακές Ακολουθίες (ΔΜΑ)

Οι Διδακτικές Μαθησιακές Ακολουθίες, αναπτύχθηκαν στις αρχές της δεκαετίας του '80 ως συνέχεια των εμπειρικών μελετών για τις αντιλήψεις των μαθητών σχετικά με διάφορα επιστημονικά φαινόμενα καθώς και της επικράτησης του εποικοδομητισμού στη διδασκαλία των ΦΕ (Psillos & Kariotoglou, 2016).

Σύμφωνα με τους Kariotoglou, Psillos και Tselfes (2003), οι ΔΜΑ είναι αναλυτικά προγράμματα μεσαίας κλίμακας, με διάρκεια συνήθως μερικών εβδομάδων και αποτελούν προϊόν αναπτυξιακής έρευνας (Lijnse, 1995). Ο όρος αυτός εισήχθη πρόσφατα σε διεθνή συμπόσια για να υποδηλώσει τη στενή σχέση της προτεινόμενης διδασκαλίας και της επιθυμητής μάθησης ως χαρακτηριστικό των ΔΜΑ (Méhaut & Psillos, 2000; Psillos & Méhaut 2001). Πιο συγκεκριμένα, μια ΔΜΑ έχει διττό χαρακτήρα. Είναι ταυτόχρονα μια ερευνητική παρέμβαση αλλά και ένα προϊόν και περιλαμβάνει οργανωμένες δραστηριότητες διδασκαλίας και μάθησης, προσαρμοσμένες στο επίπεδο των μαθητών και σε μια θεματική ενότητα (Méhaut & Psillos, 2004).

Οι παράγοντες που εμπλέκονται στο σχεδιασμό μιας ΔΜΑ είναι μεταξύ άλλων οι εξής: η φύση και η εξέλιξη της επιστημονικής γνώσης, οι έρευνες για τις αντιλήψεις και το συλλογισμό των μαθητών, οι επιστημολογικές παραδοχές, οι υφιστάμενοι πόροι, οι σύγχρονες παιδαγωγικές θεωρίες και τα εκπαιδευτικά πλαίσια (Kariotoglou, Psillos & Tselfes, 2003). Τα θεωρητικά πλαίσια που έχουν προταθεί για το σχεδιασμό και την ανάπτυξη μιας ΔΜΣ είναι:

α) το μοντέλο της Αναπτυξιακής Έρευνας (Developmental Research) (Lijnse, 1995; Lijnse & Klaasen, 2004). Μέσα από το μοντέλο αυτό, ο Lijnse προτείνει ένα πλαίσιο για την ανάπτυξη διδακτικών δομών (didactical structures) μέσω των οποίων θα δοθεί μεγαλύτερη έμφαση στο επιστημονικό περιεχόμενο και στον τρόπο με τον οποίο διδάσκεται. Οι διδακτικές δομές είναι εμπειρικά οργανωμένες και περιλαμβάνουν ένα λεπτομερές σενάριο διαδοχικών βημάτων. Το σενάριο αυτό περιγράφει και αιτιολογεί εκ των προτέρων το σχεδιασμό των διδακτικών-μαθησιακών δραστηριοτήτων και διατυπώνει τα αναμενόμενα αποτελέσματα από τη διαδικασία. Μέσω των διδακτικών δομών, δίνεται η δυνατότητα στο μαθητή να επιλέξει ελεύθερα τις ιδέες που επιθυμεί να διδαχτεί και για το λόγο αυτό δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στα κίνητρα και στη μεταγνωστική διάσταση της μάθησης (Ζουπίδης, 2012; Psillos & Kariotoglou, 2016).

β) το μοντέλο της Εκπαιδευτικής Επανοικοδόμησης (Educational Reconstruction) (Duit, 2007; Kattmann et al., 1996). Το μοντέλο αυτό αποτελείται από τρεις συνιστώσες που συνδέονται στενά μεταξύ τους:

- i. την ανάλυση της δομής του περιεχομένου
- ii. τις εμπειρικές έρευνες σχετικά με τις αρχικές ιδέες των μαθητών και την εξέλιξή τους, τις διαδικασίες διδασκαλίας και μάθησης και τις ιδέες των εκπαιδευτικών
- iii. την αξιολόγηση της διδασκαλίας.

Η αποσαφήνιση της δομής του περιεχομένου θεωρείται ως βασικό ζήτημα για την ανάπτυξη της διδασκαλίας στο συγκεκριμένο περιεχόμενο. Το μοντέλο της

Εκπαιδευτικής Επανοικοδόμησης δίνει έμφαση στο μαθητή, στον εκπαιδευτικό αλλά και στην αλληλεπίδραση που υπάρχει μεταξύ αυτών (Ζουπίδης, 2012; Psillos & Kariotoglou, 2016).

γ) το μοντέλο του Διδακτικού Ρόμβου (Didactical Rhobus) (Méheut & Psillos, 2004). Το μοντέλο αυτό δίνει έμφαση σε δύο διαστάσεις κατά τη δόμηση μιας ΔΜΑ, την «παιδαγωγική» και την «επιστημολογική». Η πρώτη περιλαμβάνει τη σχέση μεταξύ μαθητή και εκπαιδευτικού ενώ η δεύτερη τη σχέση μεταξύ επιστημονικής γνώσης και υλικού κόσμου.

δ) το μοντέλο Κόσμος – Ιδέες– Τεκμήρια (Cosmos – Ideas – Evidence) (Psillos, Tselfes & Kariotoglou, 2004). Το μοντέλο αυτό είναι ένα μοντέλο επιστημολογικής μοντελοποίησης των διδακτικών –μαθησιακών δραστηριοτήτων, με δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί τόσο στο σχεδιασμό νέων διδακτικών δραστηριοτήτων στο πλαίσιο μιας ΔΜΑ όσο και στην ανάδειξη χαρακτηριστικών που επηρεάζουν την ανάπτυξη μιας ΔΜΑ (Ζουπίδης, 2012; Psillos, Tselfes & Kariotoglou, 2004)

ε) το μοντέλο της βασισμένης στο Σχεδιασμό Έρευνας (Design-based Research) (Brown, 1992; Tiberghien et al., 2009). Το μοντέλο αυτό δίνει έμφαση στα εξής χαρακτηριστικά: 1) Να υπάρχει πλοκή των κεντρικών στόχων για σχεδιασμό μαθησιακών περιβαλλόντων με τους στόχους για ανάπτυξη θεωριών για τη μάθηση, 2) η ανάπτυξη των ΔΜΑ και η σχετική έρευνα οφείλει να πραγματοποιείται μέσα από συνεχείς κύκλους σχεδιασμού, εφαρμογής, αξιολόγησης και επανασχεδιασμού, 3) η έρευνα σχετικά με το σχεδιασμό μαθησιακών περιβαλλόντων οφείλει να οδηγήσει σε κοινόχρηστες (sharable) θεωρίες, οι οποίες θα δίνουν τη δυνατότητα της επικοινωνίας των αποτελεσμάτων της, μεταξύ αυτών που εμπλέκονται στην πράξη και στο σχεδιασμό των ΔΜΑ, 4) στη σχετική έρευνα θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη το πως λειτουργούν οι συγκεκριμένοι σχεδιασμοί των ΔΜΣ σε πραγματικές συνθήκες (authentic settings), 5) για την επίτευξη των παραπάνω χρειάζεται να αναπτυχθούν μέθοδοι, μέσα από τις οποίες θα είναι δυνατή η καταγραφή και η σύνδεση των διαδικασιών της διδακτικής-μαθησιακής πράξης με αποτελέσματα που θα είναι ενδιαφέροντα και χρήσιμα για την εκπαιδευτική κοινότητα (Ζουπίδης, 2012:75).

Τέλος, όσον αφορά την αξιολόγηση των ΔΜΑ, όταν αυτή χρησιμοποιηθεί ως διδακτικό ή/και ερευνητικό εργαλείο, εντοπίζονται δύο μεθοδολογικές προσεγγίσεις (Méheut & Psillos, 2004):

α) η σύγκριση της αρχικής γνωστικής κατάστασης των μαθητών με την τελική γνωστική κατάσταση μέσω ερωτηματολογίων. Η μεθοδολογία αυτή στοχεύει να αποδείξει την αποτελεσματικότητα της ΔΜΑ σε σχέση με συγκεκριμένους μαθησιακούς στόχους. Η αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας μιας τέτοιας προσέγγισης μπορεί να προκύψει από τη σύγκριση των αρχικών και τελικών ερωτηματολογίων (εσωτερική αξιολόγηση) ή τη σύγκριση των απαντήσεων των μαθητών που παρακολούθησαν τη ΔΜΑ με μαθητές του ίδιου επιπέδου, οι οποίοι δεν έχουν παρακολουθήσει τη ΔΜΑ (εξωτερική αξιολόγηση). Η εσωτερική αξιολόγηση επιτρέπει να εξετασθεί η αποτελεσματικότητα της ΔΜΑ σε σχέση με τους διδακτικούς στόχους που τέθηκαν ενώ η εξωτερική αξιολόγηση εγκυροποιεί ότι για

τους ίδιους διδακτικούς στόχους, η συγκεκριμένη ακολουθία είναι αποτελεσματικότερη από άλλες διδακτικές προσεγγίσεις (Méheut & Psillos, 2004).

β) η ανάδειξη των γνωστικών μονοπατιών που ακολούθησαν οι μαθητές καθ' όλη τη διάρκεια της ΔΜΑ. Η μεθοδολογία αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη συζήτηση της αποτελεσματικότητας μιας συγκεκριμένης μαθησιακής κατάστασης, στον έλεγχο υποθέσεων κατά το σχεδιασμό μαθησιακών καταστάσεων και στην αξιολόγηση των καταστάσεων αυτών (Méheut & Psillos, 2004).

2. Μέθοδος

2.1 Το Πλαίσιο της Έρευνας: η Εφαρμογή της ΔΜΑ

Η ΔΜΑ αναπτύχθηκε και υλοποιήθηκε στο πλαίσιο του Προγράμματος Δια Βίου Εκπαίδευσης με τίτλο «Εκπαιδευτικές Καινοτομίες στις Φυσικές Επιστήμες, το Περιβάλλον και την Τεχνολογία» του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας, κατά το ακαδημαϊκό έτος 2015-2016, από μια ομάδα εκπαιδευτικών που συμμετείχαν στο πρόγραμμα σε συνεργασία με την ερευνητική ομάδα της Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών.

Πιο συγκεκριμένα, η ΔΜΑ αφορά το περιεχόμενο της Νανοεπιστήμης–Νανοτεχνολογίας (N-ET) και των μοντέλων και αποτελείται από πέντε ενότητες, διάρκειας δύο διδακτικών ωρών η κάθε μία. Παρακάτω παρουσιάζεται αναλυτικά το περιεχόμενο της κάθε ενότητας.

Η 1^η ενότητα αφορά το «Μακρόκοσμο» και οι διδακτικοί της στόχοι είναι οι εξής: 1) να αναδειχθούν οι ιδέες των μαθητών για το τι είναι «κόσμος» και ποια αντικείμενα ανήκουν σ' αυτόν, 2) να αναγνωρίζουν οι μαθητές τα αντικείμενα που ανήκουν στο μακρόκοσμο με βάση το όργανο παρατήρησής τους (γυμνό μάτι), 3) να εξοικειωθούν οι μαθητές με την αναπαράσταση αντικειμένων και 4) να εξοικειωθούν οι μαθητές με την παρουσίαση αφισών.

Η 1^η ενότητα ξεκινά με μια ιδεοθύελλα (brainstorming) για τη λέξη «κόσμος». Η εκπαιδευτικός θέτει ερωτήματα στους μαθητές όπως «Τι σας έρχεται στο νου όταν ακούτε τη λέξη κόσμος;», «Από ποια αντικείμενα αποτελείται ο κόσμος;» και οι μαθητές απαντούν ατομικά. Οι ιδέες τους καταγράφονται στο διαδραστικό πίνακα από την εκπαιδευτικό.

Στη συνέχεια, η εκπαιδευτικός καλεί τους μαθητές να δουλέψουν ομαδικά και να μεταβούν στην αυλή του σχολείου για να συλλέξουν τρία αντικείμενα διαφορετικού μεγέθους, ένα μεγάλο, ένα μεσαίο και ένα μικρό και να τα αναπαραστήσουν κατασκευάζοντας μια αφίσα. Μετά την ολοκλήρωση των αφισών, η κάθε ομάδα τις παρουσιάζει και η εκπαιδευτικός μέσα από ερωτήματα καθοδηγεί τους μαθητές προσπαθώντας ταυτόχρονα να κατανοήσει τις τυχόν παρανοήσεις τους για τον όρο αναπαράσταση.

Τέλος, εισάγεται από την εκπαιδευτικό ο όρος «μακρόκοσμος» και το όργανο παρατήρησής του. Οι μαθητές καλούνται να επιλέξουν από τις αρχικές λέξεις που έχουν καταγραφεί στον πίνακα ποιες ανήκουν στο μακρόκοσμο και τις καταγράφουν σ' ένα χαρτόνι σε ειδική στήλη κολλώντας και το όργανο παρατήρησης, που στην περίπτωση του μακρόκοσμου είναι το μάτι. Το χαρτόνι αναρτάται στον τοίχο της τάξης.

Η 2^η ενότητα αφορά τα μοντέλα και οι στόχοι που τέθηκαν από την εκπαιδευτικό είναι οι εξής: 1) να αναδειχθούν οι ιδέες των μαθητών για τα μοντέλα, 2) να κατανοήσουν οι μαθητές τη φύση και το ρόλο των μοντέλων, και πιο συγκεκριμένα

να κατανοήσουν α) ότι μοντέλο είναι μια αναπαράσταση ενός αντικειμένου με συγκεκριμένο σκοπό, β) ότι το μοντέλο δεν είναι πιστό αντίγραφο του αντικειμένου που αναπαριστάται και γ) το βοηθητικό ρόλο του υπομνήματος και τέλος, 3) να εξοικειωθούν οι μαθητές με τη μοντελοποίηση αντικειμένων.

Αρχικά, πραγματοποιείται μια συζήτηση στην ολομέλεια της τάξης για το νόημα που αποδίδουν οι μαθητές στη λέξη «μοντέλο». Η λέξη καταγράφεται στον πίνακα όπως και οι απαντήσεις που δίνουν οι μαθητές. Η εκπαιδευτικός βάσει των απαντήσεων προσπαθεί μέσω ερωτημάτων όπως: «Τα ρούχα που φοράνε τα μοντέλα ποιος τα έχει δημιουργήσει;» να κατευθύνει τα παιδιά στις λέξεις «σχεδιαστής» και «σχέδιο». Στη συνέχεια, οι μαθητές καλούνται να συνδέσουν τη λέξη μοντέλο με τη λέξη σχέδιο και καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι στις επιστήμες «μοντέλο» είναι ένα σχέδιο ή μια αναπαράσταση ενός αντικειμένου ή φαινομένου.

Στη συνέχεια, μέσα από τις αφίσες που είχαν δημιουργήσει στην 1^η ενότητα, οι μαθητές αναστοχάζονται και προσπαθούν να βρουν και άλλα χαρακτηριστικά ενός μοντέλου. Πιο συγκεκριμένα, συμπληρώνουν με τη βοήθεια της εκπαιδευτικού ότι ένα μοντέλο δεν πρέπει να είναι πιστό αντίγραφο του στόχου που αναπαριστά, δεν πρέπει να γίνεται χρήση του πραγματικού αντικειμένου και έχει ένα σκοπό/στόχο.

Αφού έχει ολοκληρωθεί η παραπάνω συζήτηση, η εκπαιδευτικός παρουσιάζει στους μαθητές ένα πραγματικό μπουκέτο λουλουδιών και διάφορες κατασκευές, όπως μια κατασκευή ενός μπουκέτου που περιέχει και ένα πραγματικό λουλούδι, ένα μοντέλο μπουκέτου λουλουδιών και δύο μοντέλα πίτσας το ένα με υπόμνημα και το άλλο χωρίς υπόμνημα. Οι μαθητές καλούνται να αναφέρουν ποιες από τις παραπάνω κατασκευές είναι μοντέλα αιτιολογώντας τις απαντήσεις τους. Μετά από συζήτηση στην ολομέλεια συμπληρώνεται στα χαρακτηριστικά ενός μοντέλου η χρησιμότητα του υπομνήματος.

Στο τέλος της 2^{ης} ενότητας, οι μαθητές σε ομάδες καλούνται να μοντελοποιήσουν ένα φαγητό το οποίο επιλέγεται μετά από κλήρωση. Οι μαθητές έχουν τη δυνατότητα να επιλέξουν τα υλικά που θα χρειαστούν για τη μοντελοποίηση των φαγητών (χαρτόνια, μαρκαδόροι, ξυλομπογιές, συρματάκια πίτσας, χρώμα, χαρτί γκοφρέ, κορδέλες, κόλλες, φελιζόλ, καραμέλες κλπ).

Μετά την ολοκλήρωση της μοντελοποίησης, η κάθε ομάδα παρουσιάζει στην ολομέλεια της τάξης το μοντέλο που έχει κατασκευάσει και ακολουθεί συζήτηση σχετικά με το εάν οι αναπαραστάσεις που έχουν δημιουργήσει είναι μοντέλα και για ποιο λόγο, ποια χαρακτηριστικά έχουν επιλέξει να αναπαραστήσουν και κατά πόσο τα μοντέλα επιτελούν το σκοπό για τον οποίο δημιουργήθηκαν.

Η **3^η ενότητα** αφορά το μικρόκοσμο και οι διδακτικοί στόχοι είναι οι εξής: 1) να εξοικειωθούν οι μαθητές με τη λειτουργία του οπτικού μικροσκοπίου 2) να ταξινομήσουν αντικείμενα στο μικρόκοσμο με βάση το όργανο παρατήρησης (οπτικό μικροσκόπιο), και 3) να διακρίνουν το μικρόκοσμο από το μακρόκοσμο.

Στην 3^η ενότητα, η εκπαιδευτικός προσπαθεί να προβληματίσει τους μαθητές με την ερώτηση «Πιστεύετε ότι υπάρχουν πράγματα που δεν μπορούμε να τα δούμε με

γυμνό μάτι;» και οι απαντήσεις των μαθητών καταγράφονται στον πίνακα. Στη συνέχεια, διαβάζει ένα ποίημα για το μικρόκοσμο και διεξάγεται συζήτηση σχετικά με τις καινούργιες έννοιες που υπάρχουν σ' αυτό (μικρόκοσμος, μικροσκόπιο).

Έπειτα, παρουσιάζεται απόσπασμα από το βίντεο «Do You Know What Nano Means?»⁶, το οποίο έχει υποτιτλιστεί στα ελληνικά, όπου οι μαθητές μπορούν να δουν πως μεταφερόμαστε από το μακρόκοσμο στο μικρόκοσμο και διεξάγεται συζήτηση σχετικά με τον τρόπο που βλέπουμε τα αντικείμενα σ' αυτούς τους δύο κόσμους. Αφού έχει αναφερθεί ότι το μικρόκοσμο τον παρατηρούμε με το οπτικό μικροσκόπιο, η εκπαιδευτικός μοιράζει σε κάθε ομάδα αντικειμενοφόρες πλάκες και παρατηρούν στο οπτικό μικροσκόπιο στόματα φύλλων, κύτταρα κρεμμυδιού καθώς και λευκά και ερυθρά αιμοσφαίρια (Εικόνα 2.1).



Εικόνα 2.1: Οι μαθητές παρατηρούν με το μικροσκόπιο

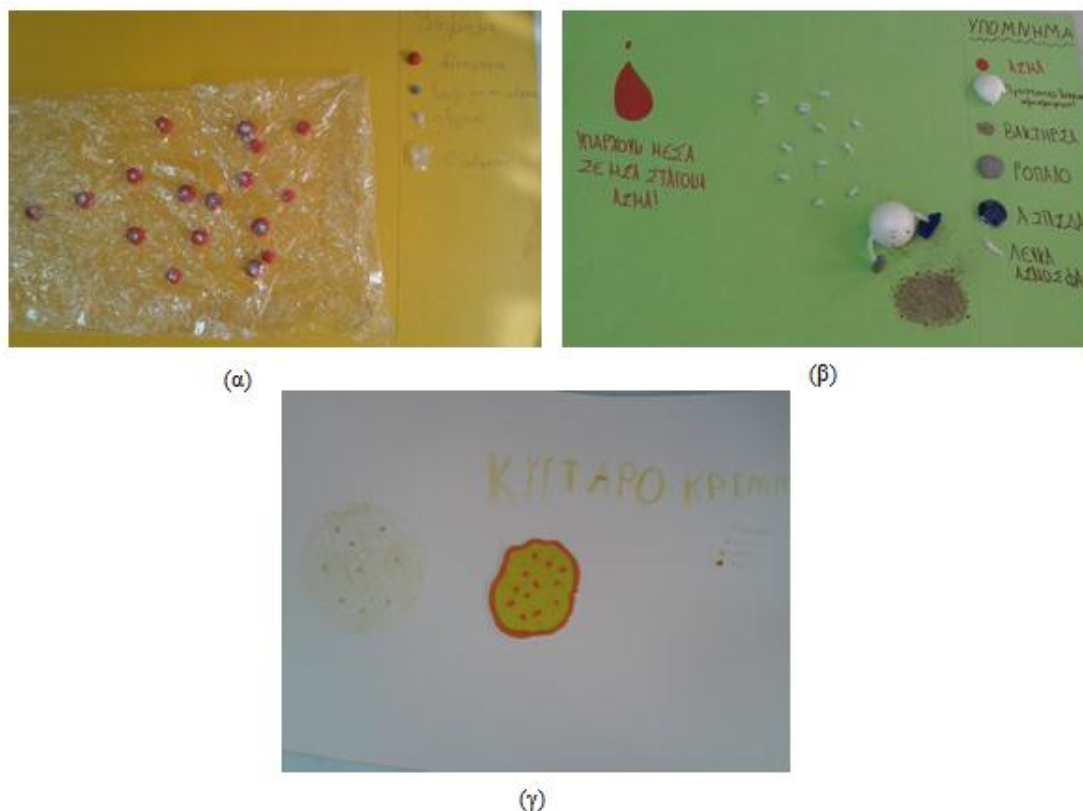
Στη συνέχεια, σε κάθε ομάδα μαθητών παρέχεται ένα laptop και ένα φύλλο εργασίας (Εικόνα 2.2). Η κάθε ομάδα μελετά και ένα διαφορετικό θέμα/αντικείμενο του μικρόκοσμου (λευκά αιμοσφαίρια, ερυθρά αιμοσφαίρια και κύτταρο κρεμμυδιού). Τα φύλλα εργασίας που τους δόθηκαν αποτελούνται από τρεις δραστηριότητες.



Εικόνα 2.2: Παρατήρηση βίντεο φύλλου εργασίας για τα κύτταρα

⁶ <https://www.youtube.com/watch?v=3FLKDQUJL8w>

Η πρώτη αφορά την περιγραφή του αντικειμένου που τους έχει ανατεθεί και του ρόλου του. Η ομάδα που ασχολείται με το κύτταρο, καλείται να παρακολουθήσει ένα βίντεο⁷ (υποτιτλισμένο στα ελληνικά) και οι υπόλοιπες δύο απαντούν στην ερώτηση αυτή διαβάζοντας ένα κόμικ και παρατηρώντας ένα σκίτσο σχετικό με το θέμα που μελετούν. Η δεύτερη δραστηριότητα αφορά την παρατήρηση, μέσω μικροσκοπίου, των αντικειμένων που μελετούν και η τρίτη τη μοντελοποίηση του αντικειμένου βάσει συγκεκριμένων οδηγιών. Στη συνέχεια, οι ομάδες παρουσιάζουν τα μοντέλα τους, τα οποία φαίνονται στην εικόνα 2.3, στην ολομέλεια της τάξης.



Εικόνα 2.3: (α) Μοντέλο ερυθρών αιμοσφαιρίων, (β) Μοντέλο λευκών αιμοσφαιρίων, (γ) Μοντέλο κυττάρου κρεμμυδιού

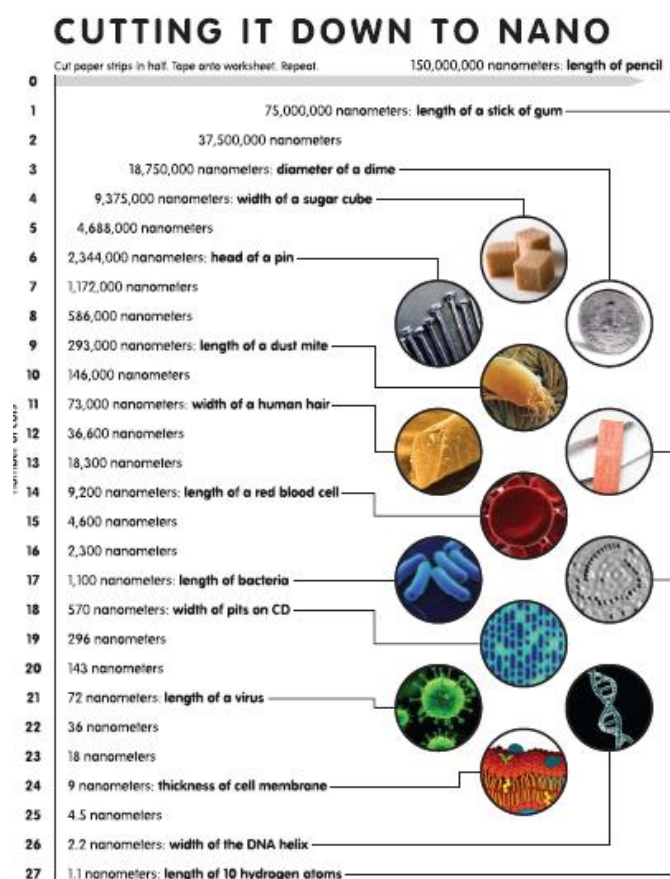
Τέλος, αφού έχει γίνει η παρουσίαση των μοντέλων του μικρόκοσμου, οι μαθητές καλούνται να επιλέξουν ποιες από τις λέξεις που είχαν αναφέρει στην αρχή της 3^{ης} ενότητας ανήκουν στον κόσμο αυτό και στη συνέχεια να τις καταγράψουν στο αντίστοιχο τμήμα του χαρτονιού δίπλα στο μακρόκοσμο κολλώντας και το σωστό όργανο παρατήρησης, που στην περίπτωση του μικρόκοσμου είναι το οπτικό μικροσκόπιο.

Η 4^η ενότητα αφορά το νανόκοσμο και οι διδακτικοί στόχοι που τέθηκαν είναι οι εξής: 1) οι μαθητές να ταξινομήσουν τα αντικείμενα στο νανόκοσμο με βάση το όργανο παρατήρησης (ηλεκτρονικό μικροσκόπιο), 2) οι μαθητές να κατανοήσουν τα μεγέθη του νανόκοσμου και 3) οι μαθητές να κατανοήσουν την αλληλεπίδραση των τριών κόσμων και πιο συγκεκριμένα τον τρόπο με τον οποίο ο νανόκοσμος επηρεάζει το μικρόκοσμο και το μακρόκοσμο.

⁷ <https://www.youtube.com/watch?v=zTa4j6eRV0s>

Η ενότητα αυτή, ξεκινά με έναν παραλληλισμό του νανόκοσμου με τη λέξη «νάνος» και με μια συζήτηση για το ποια αντικείμενα ανήκουν σ' αυτόν τον κόσμο. Στη συνέχεια, οι μαθητές παρακολουθούν το βίντεο «Do You Know What Nano Means?»⁸, το περιγράφουν και συζητούν πάνω σ' αυτό. Μετά την ολοκλήρωση της συζήτησης, παρουσιάζεται στους μαθητές μια φωτογραφία με το όργανο παρατήρησης του νανόκοσμου, δηλαδή το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο, και τα μέρη απ' τα οποία αποτελείται.

Στη συνέχεια για να αντιληφθούν το πραγματικό μέγεθος των αντικειμένων του νανόκοσμου, οι μαθητές καλούνται να κόψουν μια λωρίδα χαρτιού 15cm κάθετα προς το μήκος όσες περισσότερες φορές μπορούν και στη συνέχεια βάσει μιας αφίσας (εικόνα 2.4) σχολιάζουν πόσες ακόμα φορές θα έπρεπε να κόψουν τη λωρίδα για να φτάσουν στο μέγεθος νάνο.



Εικόνα 2.4: Κόβοντας μια λωρίδα χαρτιού μέχρι το νάνο⁹

Έπειτα, οι μαθητές παρακολουθούν το βίντεο «How a Virus Works - Great Animation»¹⁰, το οποίο έχει υποτιτλιστεί στα ελληνικά, και εκτυλίσσεται μια συζήτηση για τον τρόπο με τον οποίο ο νανόκοσμος επηρεάζει το μικρόκοσμο και το μακρόκοσμο.

⁸ <https://www.youtube.com/watch?v=3FLKDQUJL8w>

⁹ http://www.nisenet.org/sites/default/files/catalog/uploads/2008/05/1657/cuttingitdown_scaleladder_may10.pdf

¹⁰ <https://www.youtube.com/watch?v=cE0qdqoBFa8>

Τέλος, οι μαθητές σε ομάδες καλούνται να μοντελοποιήσουν το φαινόμενο της ίωσης και να παρουσιάσουν τα μοντέλα τους στην ολομέλεια της τάξης, συζητώντας για τη φύση και το ρόλο τους.

Μετά το πέρας της παρουσίασης των μοντέλων, οι μαθητές επιστρέφουν στο αρχικό χαρτόνι των τριών κόσμων και διαχωρίζουν τις λέξεις που αφορούν το νανόκοσμο, τις καταγράφουν σε ειδική στήλη και κολλάνε το όργανο παρατήρησής του.

Η 5^η ενότητα αφορά επίσης το νανόκοσμο και οι διδακτικοί της στόχοι είναι οι εξής: 1) οι μαθητές να κατανοήσουν τον τρόπο που επηρεάζει η νανοτεχνολογία την καθημερινή μας ζωή και τις εφαρμογές της και 2) οι μαθητές να κατανοήσουν το φαινόμενο του λωτού.

Η 5^η ενότητα ξεκινά με την παρακολούθηση του βίντεο «What is Nanotechnology This Video Will Blow Your Mind»¹¹, στο οποίο έχουν προστεθεί ελληνικοί υπότιτλοι και εξελίσσεται μια συζήτηση για τη διαφορετική συμπεριφορά των υγρών πάνω στα διάφορα υδρόφοβα και υδρόφιλα υλικά.

Μετά την ολοκλήρωση της συζήτησης, η εκπαιδευτικός δίνει στις ομάδες επιφάνειες ξύλου που οι μισές έχουν ψεκαστεί με νανοσπρέι (υδρόφοβες), φλούδες από φιστίκια και πιπέτες. Οι μαθητές καλούνται να ρίξουν σταγόνες νερού πάνω στις επιφάνειες (υδρόφοβες και υδρόφιλες) και να παρατηρήσουν τη συμπεριφορά της σταγόνας (εικόνα 2.5). Στη συνέχεια, ρίχνουν τις φλούδες από τα φιστίκια στις δύο πλευρές του ξύλου και κρατώντας το με κλίση ρίχνουν και πάλι σταγόνες νερού και παρατηρούν σε ποια πλευρά η σταγόνα μένει στρογγυλή και μαζεύει τις φλούδες καθαρίζοντας το ξύλο και σε ποια απλά απλώνεται.



Εικόνα 2.5: Παρατήρηση συμπεριφοράς σταγόνας στην υδρόφοβη και υδρόφιλη πλευρά του ξύλου.

Στη συνέχεια, η εκπαιδευτικός μοιράζει σε κάθε ομάδα ένα φύλλο εργασίας που αφορά το φαινόμενο του λωτού. Οι μαθητές καλούνται να παρατηρήσουν και να καταγράψουν ποιες διαφορές βλέπουν στο σχήμα της σταγόνας των δύο φύλλων της εικόνας 2.6 και στη συνέχεια ανακοινώνουν τις παρατηρήσεις τους. Έπειτα,

¹¹ <https://www.youtube.com/watch?v=bVoJCa8XLQE>

προβάλλεται το βίντεο «Demonstration of the Lotus Effect»¹², όπου φαίνεται η συμπεριφορά του νερού και του μελιού πάνω στο φύλλο του λωτού. Οι μαθητές περιγράφουν τι παρατήρησαν στο βίντεο και αν υπάρχει κάποια σχέση του βίντεο με τις εικόνες των φύλλων.



Εικόνα 2.6: Εικόνα από το φύλλο εργασίας. Αριστερά υδρόφοβο φύλλο, δεξιά υδρόφιλο φύλλο

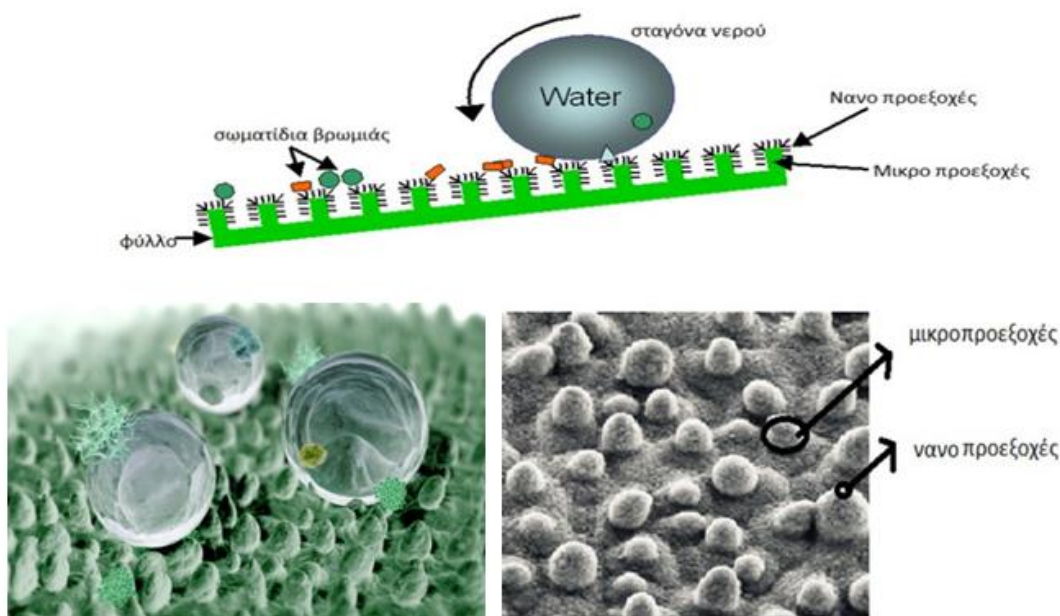
Έπειτα, σε κάθε ομάδα δίνονται φύλλα λάχανου, μαρουλιού, κουνουπιδιού και πυράκανθου (εικόνα 2.7) και οι μαθητές καλούνται να τα ταξινομήσουν βάσει της συμπεριφοράς της σταγόνας στο κάθε ένα. Τα αποτελέσματα καταγράφονται στην αντίστοιχη δραστηριότητα του φύλλου εργασίας και στον πίνακα.



Εικόνα 2.7: Οι μαθητές διερευνούν τη συμπεριφορά της σταγόνας στα φύλλα

¹² <https://www.youtube.com/watch?v=LJtQ6dvcbOg>

Στη συνέχεια, μέσω του βίντεο «Lotus Effect»¹³, που δείχνει πως κυλάει η σταγόνα πάνω στο φύλλο του λωτού και τα χαρακτηριστικά αυτού, οι μαθητές προσπαθούν να περιγράψουν το φαινόμενο του λωτού με βοηθητικές ερωτήσεις όπως «Τι έχει το φύλλο του λωτού στην επιφάνεια;», «Τι κάνει η σταγόνα με τα σωματίδια βρωμιάς». Για την ερμηνεία του φαινομένου, δίνεται σε κάθε μαθητή ένα φυλλάδιο με διαφορετικές εικόνες για το φαινόμενο του λωτού, κάποιες από αυτές φαίνονται στην εικόνα 2.8.



Εικόνα 2.8: Εικόνες από το φυλλάδιο για το φαινόμενο του λωτού.

Αφού έχει δοθεί η ερμηνεία για το φαινόμενο του λωτού εστιάζοντας στη δομή του φύλλου (μικροπροεξοχές και νανοπροεξοχές) και στη λειτουργία αυτοκαθαρισμού εξαιτίας του σφαιρικού σχήματος της σταγόνας, οι μαθητές καλούνται σε ομάδες να μοντελοποιήσουν το φαινόμενο του λωτού.

Μετά την ολοκλήρωση των μοντέλων, οι ομάδες τα παρουσιάζουν στην ολομέλεια της τάξης και διεξάγεται συζήτηση. Η συζήτηση εστιάζεται στα χαρακτηριστικά του φαινομένου που διαλέγουν οι μαθητές να αναπαραστήσουν και ποια δεν κατάφεραν να αναπαραστήσουν.

Τέλος, οι μαθητές επιστρέφουν και πάλι στο αρχικό χαρτόνι των τριών κόσμων και συμπληρώνουν τις λέξεις μικροπροεξοχές και νανοπροεξοχές στον κόσμο που ανήκουν (μικρόκοσμος και νανόκοσμος αντίστοιχα).

¹³ <https://www.youtube.com/watch?v=M9wKko4ur7A>

2.2 Σκοπός Στόχοι και Ερευνητικά Ερωτήματα

Όπως έχει ήδη φανεί και από την επισκόπηση της βιβλιογραφίας υπάρχει αυξανόμενο ερευνητικό ενδιαφέρον τόσο σε θέματα που αφορούν το περιεχόμενο της N-ET όσο και σε θέματα που αφορούν τα μοντέλα και τις διαδικασίες μοντελοποίησης. Η αξία των δύο αυτών περιοχών αναγνωρίζεται τόσο για τη διδασκαλία όσο και για τη μάθηση στις Φ.Ε, οδηγώντας σε προσπάθειες εισαγωγής του περιεχομένου της N-ET στην υποχρεωτική εκπαίδευση αλλά και των μοντέλων και των διαδικασιών μοντελοποίησης ως μέρος των αναλυτικών προγραμμάτων. Ο μικρός αριθμός ερευνητικών εργασιών που διερευνούν τις αντιλήψεις των μαθητών δημοτικού για τις παραπάνω περιοχές μάθησης σε συνδυασμό με την επιτακτική ανάγκη για εκσυγχρονισμό του περιεχομένου των Φ.Ε. μας οδήγησε στην επιλογή του παρόντος θέματος.

Υπό το πρίσμα των παραπάνω, σκοπός της παρούσας έρευνας είναι η αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας της ΔΜΑ για το περιεχόμενο της N-ET και των μοντέλων ως προς τα μαθησιακά αποτελέσματα (Méheut & Psillos, 2004). Ακολουθώντας τη διαδικασία της λειτουργικοποίησης (Cohen, Manion & Morrison, 2008) μετατρέψαμε τον παραπάνω γενικό σκοπό στους εξής επιμέρους στόχους:

1^{ος} Στόχος: Η διερεύνηση του βαθμού βελτίωσης των μαθησιακών αποτελεσμάτων όσον αφορά το περιεχόμενο της N-ET.

2^{ος} Στόχος: Η διερεύνηση του βαθμού βελτίωσης των μαθησιακών αποτελεσμάτων όσον αφορά τη φύση και το ρόλο των μοντέλων.

3^{ος} Στόχος: Η διερεύνηση του βαθμού διατήρησης της μάθησης στις περιοχές του περιεχομένου της N-ET και των μοντέλων.

Κινούμενοι από το γενικό στο ειδικό και από το αφηρημένο στο συγκεκριμένο και θέλοντας να διατυπώσουμε συμπαγή ερωτήματα που θα μπορούν να διερευνηθούν με σαφείς όρους (Cohen et al., 2008), μετατρέψαμε τους παραπάνω στόχους σε ερευνητικά ερωτήματα και τα ερευνητικά ερωτήματα σε επιμέρους υποερωτήματα, όπως παρουσιάζονται παρακάτω:

1^{ος} Στόχος:

EE1. Πώς εξελίσσεται η νοηματοδότηση του όρου νανοτεχνολογία από τους μαθητές;

EE2. Πώς εξελίσσονται οι απόψεις των μαθητών για έννοιες της ΜΙ «Μέγεθος και Κλίμακα»; Για την απάντηση του ερωτήματος αυτού τέθηκαν τα εξής υποερωτήματα:

EE2a. Πώς εξελίσσονται οι ιδέες των μαθητών για το μικρότερο αντικείμενο που υπάρχει;

EE2b. Πώς εξελίσσεται η ικανότητα των μαθητών να ταξινομούν αντικείμενα διαφορετικών μεγεθών;

EE2c. Πώς εξελίσσεται η ικανότητα των μαθητών να σειροθετούν αντικείμενα διαφορετικών μεγεθών;

EE2d. Σε ποιο βαθμό οι μαθητές είναι ικανοί να περιγράφουν την επίδραση του νανόκοσμου στο μικρόκοσμο και στο μακρόκοσμο μετά την εφαρμογή της ΔΜΑ;

EE3. Πώς εξελίσσονται οι απόψεις των μαθητών για έννοιες της ΜΙ «Εργαλεία και Όργανα»; Για την απάντηση του ερωτήματος αυτού τέθηκαν τα εξής υποερωτήματα:

EE3a. Πώς εξελίσσεται η γνώση των μαθητών για το όργανο παρατήρησης του μικρότερου αντικειμένου;

EE3b. 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 περιγράφουν «φαινόμενα που εξαρτώνται από το μέγεθος»; Για την απάντηση του ερωτήματος αυτού τέθηκαν το εξής υποερώτημα:

EE4a. Πώς εξελίσσεται η περιγραφή του φαινομένου της υδροφοβικότητας φυσικών υπερυδρόφοβων νανοϋλικών;

EE4b. Πώς εξελίσσεται η περιγραφή του φαινομένου της υδροφοβικότητας τεχνητών υπερυδρόφοβων νανοϋλικών;

2^{ος} Στόχος:

EE5. Πώς εξελίσσεται η γνώση των μαθητών για τη φύση των μοντέλων;

EE6. Πώς εξελίσσεται η γνώση των μαθητών για το ρόλο των μοντέλων;

2.3 Συμμετέχοντες

Η ΔΜΑ αποτελείται από πέντε δίωρα τα οποία εφαρμόστηκαν σε Δημοτικό Σχολείο της ευρύτερης περιοχής της Φλώρινας. Η εφαρμογή τους έγινε τους μήνες Φεβρουάριο και Μάρτιο του έτους 2016 και την παρακολούθησαν 10 μαθητές της Ε' τάξης, 5 αγόρια και 5 κορίτσια, ηλικίας 10-11 ετών. Η εφαρμογή της ΔΜΑ έγινε κατά τη διάρκεια του κανονικού σχολικού ωραρίου από τη δασκάλα της τάξης, η οποία ήταν έμπειρη στη διδασκαλία των ΦΕ και επιμορφωμένη στα θέματα Ν-ΕΤ και μοντέλων από την ερευνητική ομάδα του επιμορφωτικού προγράμματος. Η δασκάλα συνεργάστηκε με συναδέλφους που συμμετείχαν στο πρόγραμμα αλλά και με την ερευνητική ομάδα για την ανάπτυξη της ΔΜΑ.

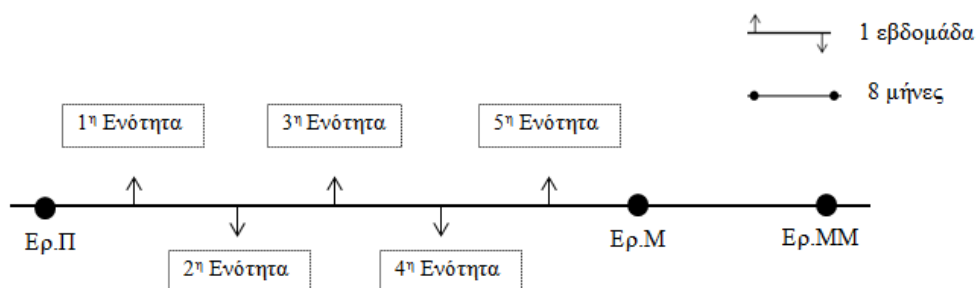
Πίνακας 2.1: Στοιχεία Εφαρμογής της ΔΜΑ

Στοιχεία Εφαρμογής της ΔΜΑ

- Δημοτικό Σχολείο Κοινότητας περιοχής Φλώρινας
- Ε' Δημοτικού
- 10 μαθητές – 5 αγόρια και 5 κορίτσια
- Πέντε δίωρα
- Εφαρμογή από τη δασκάλα της τάξης

2.4 Μέσα Συλλογής Δεδομένων

Στην ενότητα αυτή, γίνεται περιγραφή του κύριου ερευνητικού εργαλείου που χρησιμοποιήθηκε για την καταγραφή των απόψεων των μαθητών σε δύο περιοχές μάθησης, αυτή του περιεχομένου της Ν-ΕΤ και αυτή των μοντέλων. Το βασικό εργαλείο που χρησιμοποιήθηκε για τη συλλογή των δεδομένων είναι το ερωτηματολόγιο, το οποίο συμπλήρωσαν γραπτώς οι μαθητές πριν, μετά και οχτώ μήνες μετά την εφαρμογή της ΔΜΑ. Σημειώνεται ότι η ερευνήτρια παρακολούθησε και τις πέντε διδακτικές ενότητες.



Σχήμα 2.1: Η διαδικασία συλλογής των δεδομένων

Στο σχήμα 2.1, παρουσιάζεται το χρονοδιάγραμμα της συλλογής των δεδομένων. Όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε, μια εβδομάδα πριν την εφαρμογή της ΔΜΑ οι μαθητές συμπλήρωσαν γραπτά το ερωτηματολόγιο Ερ.Π (Ερωτηματολόγιο Πριν την Εφαρμογή). Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε η εφαρμογή της ΔΜΑ, η οποία αποτελείται από πέντε διδακτικές ενότητες, και μια εβδομάδα μετά την ολοκλήρωσή της, οι μαθητές συμπλήρωσαν γραπτά και το ερωτηματολόγιο Ερ.Μ (Ερωτηματολόγιο Μετά την Εφαρμογή). Οχτώ μήνες μετά την εφαρμογή, οι μαθητές συμπλήρωσαν και πάλι γραπτά το Ερ.ΜΜ (Ερωτηματολόγιο Μετά Μετά) το οποίο ήταν ίδιο με το Ερ.Μ.

Το ερωτηματολόγιο που δόθηκε αποτελείται από δύο μέρη (Παράρτημα Ι). Το Α' μέρος αφορά το περιεχόμενο της Ν-ΕΤ και το Β' μέρος τα μοντέλα και τη μοντελοποίηση. Στις παρακάτω ενότητες περιγράφονται αναλυτικά τα δύο μέρη του ερωτηματολογίου.

2.4.1 Α' Μέρος Ερωτηματολογίου: Περιεχόμενο N-ET

Το ερωτηματολόγιο αρχικής μέτρησης (Ερ.Π) αποτελείται από οχτώ έργα (ΠΕ1-ΠΕ8) ενώ το ερωτηματολόγιο που δόθηκε μετά την εφαρμογή (Ερ.Μ) καθώς και αυτό που δόθηκε οχτώ μήνες αργότερα (Ερ.ΜΜ) αποτελείται από εννέα έργα (ΠΕ1-ΠΕ9) (βλ.Παράρτημα Ι). Τα έργα/ερωτήσεις που χρησιμοποιήθηκαν είναι ανοιχτού τύπου με σκοπό «την αποτύπωση της αυθεντικότητας, του πλούτου και του βάθους της απάντησης» (Cohen, et al., 2008:431).

Στον πίνακα 2.2, παρουσιάζονται τα έργα του γραπτού ερωτηματολογίου όσον αφορά το περιεχόμενο της N-ET και ο στόχος που πρέπει να επιτελέσουν. Στη συνέχεια ακολουθεί σύντομη περιγραφή του κάθε έργου.

Πίνακας 2.2: Α' μέρος ερωτηματολογίου: Αξιολόγηση της εξέλιξης των ιδεών των μαθητών για το περιεχόμενο της N-ET.

Θεματικές του περιεχομένου της N-ET		Στόχος	Έργα
Α. Νοηματοδότηση N-ET		Καταγραφή των αντιλήψεων των μαθητών για τον όρο «νανοτεχνολογία»	ΠΕ1
		Καταγραφή των ιδεών των μαθητών για το μικρότερο αντικείμενο που υπάρχει	ΠΕ2
		Καταγραφή της ικανότητας ταξινόμησης διαφόρων αντικειμένων με κριτήριο τον κόσμο ή/και το όργανο παρατήρησης	ΠΕ4
Β. ΜΙ «Μέγεθος και Κλίμακα»		Καταγραφή της ικανότητας σειροθέτησης αντικειμένων διαφορετικών μεγεθών	ΠΕ6
		Καταγραφή της ικανότητας περιγραφής του φαινομένου της ίωσης μέσω του τρόπου αλληλεπίδρασης των τριών κόσμων (μακρόκοσμος, μικρόκοσμος, νανόκοσμος)	ΠΕ9*
Γ. ΜΙ «Εργαλεία και Όργανα»		Καταγραφή των οργάνων παρατήρησης αντικειμένων διαφορετικού μεγέθους	ΠΕ3, ΠΕ5
Δ. ΜΙ «Ιδιότητες εξαρτώμενες από το μέγεθος»	«Εφαρμογές της N-ET»	Καταγραφή απόψεων των μαθητών για το φαινόμενο της υδροφοβικότητας σε τεχνητά υπερυδρόφοβα νανοϋλικά.	ΠΕ7
	«Μέγεθος και Κλίμακα»	Καταγραφή των απόψεων των μαθητών για την ιδιότητα της υδροφοβικότητας σε φυσικά υπερυδρόφοβα νανοϋλικά	ΠΕ8

ΠΕ= Περιεχόμενο N-ET, Έργο (αριθμός έργου)

*Το έργο υπάρχει μόνο στο ερωτηματολόγιο που δόθηκαν μετά την εφαρμογή και οχτώ μήνες αργότερα.

Όπως φαίνεται στον πίνακα 2.2, η ΔΜΑ περιλαμβάνει τη νοηματοδότηση και τέσσερις ΜΙ της Ν-ΕΤ. Κάθε έργο του γραπτού ερωτηματολογίου αξιολογεί τη γνωστική κατάσταση των μαθητών σχετικά μ' αυτές τις ΜΙ και για το λόγο αυτό έχουν ταξινομηθεί σε ομάδες.

Πιο συγκεκριμένα, η πρώτη (Α) ομάδα έργων αφορά τη νοηματοδότηση της Ν-ΕΤ. Με το ΠΕ1 επιδιώκουμε να συλλέξουμε πληροφορίες για τον τρόπο που οι μαθητές νοηματοδοτούν τη Ν-ΕΤ πριν, μετά και οχτώ μήνες μετά την εφαρμογή. Επιπρόσθετα, μας ενδιαφέρει να διερευνήσουμε πιθανές εναλλακτικές ιδέες των μαθητών για τον όρο νανοτεχνολογία.

Η δεύτερη (Β) ομάδα έργων αφορά τη ΜΙ «Μέγεθος και Κλίμακα» και περιλαμβάνει τα έργα ΠΕ2, ΠΕ4, ΠΕ6 και ΠΕ9. Με το ΠΕ2 επιδιώκουμε να συλλέξουμε πληροφορίες για τις αντιλήψεις των μαθητών σχετικά με το μικρότερο αντικείμενο και πιο συγκεκριμένα να ανιχνεύσουμε κατά πόσο οι μαθητές γνωρίζουν αντικείμενα που ανήκουν στη μικροκλίμακα και στη νανοκλίμακα. Το ΠΕ4, αφορά την αξιολόγηση της ικανότητας των μαθητών να ταξινομήσουν αντικείμενα βάσει του κόσμου στον οποίο ανήκουν ή/και του οργάνου παρατήρησής τους. Το έργο ΠΕ6 αφορά την αξιολόγηση της ικανότητας των μαθητών να σειροθετούν αντικείμενα που ανήκουν στη μακροκλίμακα, στη μικροκλίμακα και στη νανοκλίμακα. Τέλος, με το ΠΕ9 επιδιώκουμε να συλλέξουμε πληροφορίες σχετικά με την ικανότητα των μαθητών να περιγράφουν την επίδραση του νανόκοσμου στο μικρόκοσμο και στο μακρόκοσμο μέσω ενός φαινομένου της Ν-ΕΤ.

Η τρίτη (Γ) ομάδα έργων αφορά τη ΜΙ «Εργαλεία και Όργανα» και περιλαμβάνει τα έργα ΠΕ3 και ΠΕ5. Με το ΠΕ3 επιδιώκουμε να συλλέξουμε πληροφορίες για το κατά πόσο οι μαθητές είναι ικανοί να καταγράψουν το σωστό όργανο παρατήρησης του αντικειμένου που έχουν αναφέρει στο έργο ΠΕ2. Το ΠΕ5 αφορά την αξιολόγηση της γνώσης των μαθητών για τα όργανα παρατήρησης του μακρόκοσμου, του μικρόκοσμου και του νανόκοσμου.

Η τέταρτη (Δ) ομάδα έργων αφορά τη ΜΙ «Ιδιότητες εξαρτώμενες από το μέγεθος» καθώς και τις εμπλεκόμενες ΜΙ «Εφαρμογές της Ν-ΕΤ» και «Μέγεθος και Κλίμακα». Με το ΠΕ7 επιδιώκουμε να συλλέξουμε πληροφορίες σχετικά με την ικανότητα των μαθητών να περιγράφουν το φαινόμενο της υδροφοβικότητας σε τεχνητά υπερυδροφόβα νανοϋλικά, όπως είναι ένα φύλλο χαρτιού ψεκασμένο με νανοσπρί, κάνοντας αναφορά στις νανοδομές που δημιουργεί το νανοσπρί. Με το ΠΕ8 επιδιώκουμε να ανιχνεύσουμε την ικανότητα των μαθητών να περιγράφουν το φαινόμενο της υδροφοβικότητας για ένα φυσικό υπερυδροφόβο νανοϋλικό, το λάχανο, κάνοντας αναφορά στις νανοδομές της επιφάνειάς του

Παρακάτω, στον πίνακα 2.3 παρουσιάζονται οι έρευνες στις οποίες βασίστηκε η δημιουργία των παραπάνω έργων.

Πίνακας 2.3: Οι έρευνες στις οποίες βασίστηκε ο σχεδιασμός του κάθε έργου

Έργο	Βασίστηκε στον/στους	Τροποποιήθηκε
ΠΕ1,ΠΕ2,ΠΕ3, ΠΕ5,ΠΕ8,ΠΕ9	Πέικος, 2016	ΟΧΙ
ΠΕ4, ΠΕ6	Πέικος, 2016	ΝΑΙ
ΠΕ7	Ερευνητική ομάδα	-

2.4.2 Β' Μέρος Ερωτηματολογίου: Μοντέλα και Μοντελοποίηση

Το ερωτηματολόγιο αρχικής μέτρησης (Ερ.Π) αποτελείται από δύο έργα (ΜΕ1-ΜΕ2) ενώ το ερωτηματολόγιο που δόθηκε μετά την εφαρμογή (Ερ.Μ) καθώς και αυτό που δόθηκε οχτώ μήνες αργότερα (Ερ.ΜΜ) αποτελείται από τέσσερα έργα (ΜΕ1-ΜΕ4) (βλ.Παράρτημα Ι). Τα έργα/ερωτήσεις που χρησιμοποιήθηκαν είναι ανοιχτού τύπου με σκοπό «την αποτύπωση της αυθεντικότητας, του πλούτου και του βάθους της απάντησης» (Cohen et al., 2008:431).

Στον πίνακα 2.4 παρουσιάζονται τα έργα του γραπτού ερωτηματολογίου που χρησιμοποιήθηκαν για να διερευνηθούν οι απόψεις των μαθητών για τα μοντέλα και τη μοντελοποίηση στις Φ.Ε. καθώς και ο σκοπός τους. Στη συνέχεια, ακολουθεί σύντομη περιγραφή του κάθε έργου.

Πίνακας 2.4: Β' μέρος ερωτηματολογίου: αξιολόγηση εξέλιξης των ιδεών των μαθητών για τα μοντέλα

Σκοπός	Στόχος	Έργα
Α. Διερεύνηση απόψεων για τη φύση των μοντέλων	Καταγραφή των ιδεών των μαθητών για τον όρο «μοντέλο»	ΜΕ1
	Καταγραφή των ιδεών των μαθητών για την ονομασία του μοντέλου ενός ματιού	ΜΕ2β
	Καταγραφή των ιδεών των μαθητών τη χρησιμότητα του μοντέλου ενός ματιού.	ΜΕ2α
Β. Διερεύνηση απόψεων για το ρόλο των μοντέλων	Καταγραφή των ιδεών των μαθητών για τη χρησιμότητα του μοντέλου του φαινομένου του λωτού.	ΜΕ3*
	Καταγραφή απόψεων των μαθητών σχετικά με τη χρησιμότητα πολλαπλών μοντέλων για το φαινόμενο του λωτού.	ΜΕ4*

ΜΕ= Μοντέλα- Μοντελοποίηση, Έργο (αριθμός έργου)

* Το έργο υπάρχει μόνο στα ερωτηματολόγια που δόθηκαν μετά την εφαρμογή και οχτώ μήνες αργότερα.

Όπως φαίνεται στον πίνακα 2.4, η ΔΜΑ περιλαμβάνει τη φύση και το ρόλο των μοντέλων. Κάθε έργο του γραπτού ερωτηματολογίου αξιολογεί τη γνωστική κατάσταση των μαθητών σχετικά μ' αυτά και για το λόγο αυτό έχουν ταξινομηθεί σε ομάδες.

Πιο συγκεκριμένα, η πρώτη (Α) ομάδα έργων έχει σκοπό τη διερεύνηση των απόψεων των μαθητών σχετικά με τη φύση των μοντέλων. Με το έργο ME1 επιδιώκουμε να συλλέξουμε πληροφορίες για τον τρόπο που οι μαθητές αντιλαμβάνονται τη λέξη μοντέλο πριν, μετά και οχτώ μήνες μετά την εφαρμογή. Με το έργο ME2β επιδιώκουμε να συλλέξουμε πληροφορίες για τον τρόπο που οι μαθητές ονομάζουν ένα μοντέλο.

Η δεύτερη (Β) ομάδα έργων έχει σκοπό τη διερεύνηση των απόψεων των μαθητών σχετικά με το ρόλο και τη χρησιμότητα των μοντέλων και περιλαμβάνει τα έργα ME2α, ME3 και ME4. Με το έργο ME2α επιδιώκουμε να συλλέξουμε πληροφορίες για τις αντιλήψεις των μαθητών σχετικά με τον τρόπο που αντιλαμβάνονται τη χρησιμότητα μια κατασκευής και πιο συγκεκριμένα τη χρησιμότητα του μοντέλου ενός ματιού. Το ME3 αφορά την αξιολόγηση της γνώσης των μαθητών για την χρησιμότητα ενός μοντέλου που προέρχεται από την περιοχή μάθησης του περιεχομένου της N-ET. Τέλος, το ME4 αφορά την αξιολόγηση της γνώσης των μαθητών σχετικά με τη χρησιμότητα πολλαπλών μοντέλων για το ίδιο φαινόμενο. Όπως και στο προηγούμενο έργο γίνεται χρήση μοντέλου που προέρχεται από την περιοχή μάθησης του περιεχομένου της N-ET.

Παρακάτω, στον πίνακα 2.5, παρουσιάζονται οι έρευνες στις οποίες βασίστηκε η δημιουργία των παραπάνω έργων.

Πίνακας 2.5: Οι έρευνες στις οποίες βασίστηκε ο σχεδιασμός του κάθε έργου

Έργο	Βασίστηκε στον	Τροποποιήθηκε
ME1,ME2	Ζουπίδης, 2012	OXI
ME3,ME4	Πέικος, 2016	OXI

2.5 Μέθοδος Ανάλυσης Δεδομένων

Έπειτα από την ολοκλήρωση της συλλογής των δεδομένων σε μια ποιοτική έρευνα το επόμενο βήμα είναι η ανάλυσή τους. Κατά την ανάλυση των ποιοτικών δεδομένων της παρούσας έρευνας το κρισιμότερο στάδιο ήταν ο έλεγχος και η απόδοση νοήματος στα δεδομένα καθώς και η ερμηνεία τους για την απάντηση των ερευνητικών ερωτημάτων (Huberman & Miles, 1994). Η απόδοση νοήματος στα ποιοτικά δεδομένα έγινε μέσω της ανάλυσης περιεχομένου του κειμένου που προέκυψε από τη μεταγραφή των απαντήσεων των ερωτηματολογίων.

Η ποιοτική ανάλυση δεδομένων είναι μια τεχνική που επιτρέπει στον ερευνητή να κατανοήσει την κοινωνική πραγματικότητα με υποκειμενικό αλλά ταυτόχρονα επιστημονικό τρόπο (Zhang & Wildemuth, 2016). Παρακάτω παρουσιάζονται κάποιοι ορισμοί που έχουν δοθεί για την ανάλυση περιεχομένου και την ορίζουν ως:

«Μια μέθοδο έρευνας για την υποκειμενική ερμηνεία του περιεχομένου των δεδομένων κειμένου μέσω της συστηματικής διαδικασίας ταξινόμησης και εντοπισμού παρόμοιων θεμάτων ή μοτίβων λόγου» (Hsieh & Shannon, 2005: 1278)

«Μια προσέγγιση της εμπειρικής, μεθοδολογικής ελεγχόμενης ανάλυσης κειμένων μέσα από τα επικοινωνιακά τους συμφραζόμενα, ακολουθώντας αναλυτικούς κανόνες και βήματα, χωρίς απόλυτη ποσοτικοποίηση » (Mayring, 2000: 2), και

«Κάθε ποιοτική μείωση των δεδομένων και προσπάθεια απόδοσης νοήματος σ' αυτά που αντλεί δύναμη από ποιοτικά υλικά και οι προσπάθειες για τον εντοπισμό κεντρικών εννοιών και συγκλίσεων» (Patton, 2002: 453).

Η ανάλυση των απαντήσεων από τα έργα των γραπτών ερωτηματολογίων στοχεύουν στην ανάδειξη των ιδεών των μαθητών στις δύο περιοχές μάθησης της παρούσας έρευνας, του περιεχομένου της N-ET και των μοντέλων. Για την ομαδοποίηση των απαντήσεων λάβαμε υπόψη μας την επιθυμητή γνώση στην οποία στόχευε η ΔΜΑ (Ζουπίδης, 2012) καθώς και τις κατηγορίες που εντοπίστηκαν στη σχετική βιβλιογραφία.

Η ανάλυση των δεδομένων για την ταξινόμηση των απαντήσεων σε κατηγορίες περιλαμβάνει τα παρακάτω στάδια (Elo & Kyngäs, 2008):

Φάση Προανάλυσης

1^ο Στάδιο: Μεταγραφή απαντήσεων

Στο πρώτο στάδιο της ανάλυσης, τα δεδομένα από τα γραπτά ερωτηματολόγια μεταγράφηκαν σε φύλλα excel. Δημιουργήθηκε ξεχωριστό φύλλο για τη μεταγραφή των απαντήσεων των μαθητών από τα ερωτηματολόγια αρχικής μέτρησης, τα ερωτηματολόγια που δόθηκαν μετά την εφαρμογή της ΔΜΑ καθώς και γι' αυτά που δόθηκαν οχτώ μήνες αργότερα.

2^ο Στάδιο: Εξοικείωση με τα δεδομένα

Το επόμενο βήμα στη διαδικασία ανάλυσης, είναι η εξοικείωση με το ερευνητικό υλικό. Σκοπός αυτού του σταδίου είναι ο ερευνητής να βγάλει νόημα από τα

δεδομένα και όπως χαρακτηριστικά αναφέρουν οι Morse και Field (1995) να κατανοήσει «τι συμβαίνει» με τα δεδομένα (“what is going on”), μιας και καμία ιδέα δεν μπορεί να αναδυθεί εάν ο ερευνητής δεν εξοικειωθεί μ’ αυτά. Για τους παραπάνω λόγους, στην παρούσα μελέτη ακολουθήσαμε μια επαναληπτική διαδικασία ανάγνωσης των απαντήσεων των μαθητών σε κάθε έργο.

Φάση Ανάλυσης

3^ο Στάδιο: Κωδικοποίηση

Κωδικοποίηση είναι η «απόδοση μιας ταμπέλας ή η ένταξη ενός δεδομένου σε μια κατηγορία, η οποία είτε έχει αποφασιστεί εκ των προτέρων, είτε έχει οριστεί εκ των υστέρων σε σχέση με αυτά που προέκυψαν μετά τη συλλογή των δεδομένων» (Cohen, et al., 2008:477).

Σ’ αυτό το στάδιο, κατατάξαμε τις απαντήσεις των μαθητών στις κατηγορίες που βρέθηκαν στη βιβλιογραφία ακολουθώντας την παραγωγική μέθοδο (deductive). Πιο συγκεκριμένα, δημιουργήσαμε έναν αρχικό κατάλογο κατηγοριών κωδικοποίησης από τις κατηγορίες που εντοπίστηκαν στη βιβλιογραφία. Στη συνέχεια, ελέγξαμε όλα τα δεδομένα και τα κατατάξαμε στις προκαθορισμένες κατηγορίες. Για την ένταξη μιας απάντησης σε μία κατηγορία, τη συγκρίναμε με όλες τις απαντήσεις που είχαμε εντάξει στην κατηγορία αυτή.

Στη συνέχεια, ασχοληθήκαμε με τις ερωτήσεις που δεν βρέθηκαν στη βιβλιογραφία κατηγορίες που να ανταποκρίνονται σ’ αυτές, ακολουθώντας την επαγωγική μέθοδο (inductive). Πιο συγκεκριμένα, ακολουθήθηκε ανοιχτή κωδικοποίηση (open coding) για τη σύνδεση τμημάτων του υλικού με συγκεκριμένες ιδέες και έννοιες που έχουν ερμηνευτικό ή θεωρητικό χαρακτήρα (Ιωσηφίδης, 2008). Στη συνέχεια, οι κατηγορίες και οι κωδικοί που προέκυψαν κατά τη διαδικασία της ανοιχτής κωδικοποίησης ομαδοποιήθηκαν σε νέες κατηγορίες/επίπεδα κατανόησης. Στο σημείο αυτό, τονίζουμε ότι οι κατηγορίες δεν προέκυψαν απλά από τη σύμπτυξη παρατηρήσεων που ήταν παρόμοιες ή συναφείς, αλλά προέκυψαν με τη μέθοδο της συνεχούς σύγκρισης (Strauss & Corbin, 1994). Τέλος, όπου αυτό ήταν αναγκαίο, ακολούθησε η ιεράρχηση των νέων κατηγοριών σε σχέση με αυτές που προϋπήρχαν από τη βιβλιογραφία.

Για να γίνει κατανοητή η παραπάνω διαδικασία θα περιγράψουμε πώς ομαδοποιήθηκαν οι απαντήσεις των μαθητών στο έργο ΠΕ9 (Σχήμα 2.2).

Φάση Προετοιμασίας

Μεταγραφή Απαντήσεων

Ο νανόκοσμος= **ιός**, Ο μακρόκοσμος= **η μαθήτρια**, Ο μικρόκοσμος = **τα κύτταρα**

Φάση Ανάλυσης

Ανοιχτή Κωδικοποίηση

Ο νανόκοσμος= **ιός**, Ο μακρόκοσμος= **η μαθήτρια**, Ο μικρόκοσμος = **τα κύτταρα**



ΜΙ Μέγεθος



Δημιουργία νέων κατηγοριών / Ιεράρχηση κατηγοριών σε σχέση με αυτές που προϋπήρχαν / Κατάταξη στα επίπεδα κατανόησης

«Επιστημονική Άποψη» → Αναγνώριση αντικειμένων που σχετίζονται με την ίωση και για τους τρεις κόσμους.

Σχήμα 2.2: Τα στάδια της ανάλυσης των δεδομένων του έργου ΠΕ9

2.5.1 Ανάλυση έργων του πριν και του μετά γραπτού ερωτηματολόγιου του περιεχομένου της N-ET

Τα έργα που χρησιμοποιήθηκαν για την αξιολόγηση του περιεχομένου της N-ET είναι τα ΠΕ1 – ΠΕ9. Οι απαντήσεις των παραπάνω έργων ομαδοποιήθηκαν σύμφωνα με μια 4βαθμη ιεραρχική κλίμακα μέτρησης που περιλάμβανε τα εξής επίπεδα κατανόησης (EK)/ κατηγορίες (K):

E3= «Επιστημονική Άποψη»

E2= «Μερικώς Επιστημονική Άποψη»

E1= «Μακριά από την Επιστημονική Άποψη» - «Εναλλακτικές Ιδέες»

E0= «Καμία απάντηση/ Ασαφείς Απαντήσεις»

Παρακάτω παρουσιάζεται αναλυτικά η ανάλυση των έργων αυτών.

Περιγραφή έργου ΠΕ1

Με το έργο ΠΕ1 μελετήσαμε τον τρόπο με τον οποίο οι μαθητές νοηματοδοτούν τον όρο νανοτεχνολογία. Στο έργο αυτό οι μαθητές έπρεπε να εξηγήσουν τι σημαίνει για τους ίδιους ο όρος νανοτεχνολογία (βλ. Εικόνα 2.9). Παρόμοια ερώτηση έχει τεθεί και σε άλλες έρευνες που έχουν σκοπό να διερευνήσουν τις απόψεις των μαθητών για τη νανοτεχνολογία (Waldron et al., 2006; Πέικος, Μάνου & Σπύρτου, 2015; Πέικος, 2016).

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.



Εικόνα 2.9: Έργο ΠΕ1. Νοηματοδότηση νανοτεχνολογίας

Οι απαντήσεις των μαθητών στο έργο αυτό ομαδοποιήθηκαν ως εξής:

Η επιθυμητή γνώση που αναμένετε να ανιχνευτεί μετά την εφαρμογή της ΔΜΑ είναι οι απαντήσεις των μαθητών να περιλαμβάνουν όρους νανογραμματισμού για τουλάχιστον μία από τις ΜΙ. Οι απαντήσεις των μαθητών ομαδοποιήθηκαν ως εξής (Πέικος, 2016):

Στην κατηγορία Ε3, εντάσσονται οι απαντήσεις των μαθητών που περιλαμβάνουν όρους νανογραμματισμού. Στον πίνακα 2.6, φαίνονται οι μονάδες ανάλυσης που αναζητήθηκαν για να συμπεριληφθεί μια απάντηση στην κατηγορία Ε3. Στην κατηγορία Ε2, εντάσσονται απαντήσεις που δεν έχουν ξεκάθαρες αναφορές στις ΜΙ, παρόλα αυτά οι ερευνητές μπόρεσαν να εντοπίσουν έμμεση σύνδεση μ' αυτές. Όσον αφορά την κατηγορία Ε1, εντάσσονται οι απαντήσεις στις οποίες δεν εντοπίζονται όροι νανογραμματισμού για καμία από τις ΜΙ και επιπλέον οι απαντήσεις που προσεγγίζουν τη νανοτεχνολογία από μια ανθρωποκεντρική σκοπιά. Τέλος, στην κατηγορία Ε0, ομαδοποιούνται οι απαντήσεις που περιλαμβάνουν ταυτολογίες, οι ασαφείς και οι κενές απαντήσεις.

Πίνακας 2.6: Μονάδες ανάλυσης κατηγορίας Ε3

Μεγάλη Ιδέα	Μονάδες Ανάλυσης
<ul style="list-style-type: none">• Μέγεθος	«νανόκοσμος», «ιός», «DNA»
<ul style="list-style-type: none">• Όργανα Παρατήρησης	«ηλεκτρονικό μικροσκόπιο»
<ul style="list-style-type: none">• Εφαρμογές N-ET	«υδροφοβικά υλικά»
<ul style="list-style-type: none">• Ιδιότητες που εξαρτώνται από το μέγεθος	«νανοπροεξοχές», «νανοεξογκώματα»

Πίνακας 2.7: Κατηγορίες Νοηματοδότησης N-ET

K	Κριτήριο	Παραδείγματα απαντήσεων
E3	Σύνδεση νανοτεχνολογίας με MI του περιεχομένου της N-ET	«Εγώ νομίζω ότι η νανοτεχνολογία είναι η τεχνολογία που ασχολείται με πάρα πολύ μικρά αντικείμενα που μπορούμε να τα δούμε μόνο με το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο» «Νανοτεχνολογία είναι η τεχνολογία που δεν μπορούμε να δούμε τίποτα με γυμνό μάτι ούτε καν με μικροσκόπιο αλλά υπάρχει το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο που μπορούμε να δούμε τον ιό, το DNA και τις νανοπροεξοχές.»
E2	Έμμεση σύνδεση νανοτεχνολογίας με MI	«Νομίζω ότι είναι η τεχνολογία με μικρά πράγματα»
E1	Καμία σύνδεση νανοτεχνολογίας με MI – Ανθρωποκεντρική προσέγγιση	«Είναι μια τεχνολογία που ασχολείται με πολύ μικρά πράγματα όπως είναι οι νάνοι»
E0	Ασαφείς απαντήσεις/ Ταυτολογίες	«είναι κάποιο πράγμα που έχει σχέση με την τεχνολογία» «Θα του εξηγήσω ότι η λέξη το λέει χώρισε την και θα το βρεις. Νανο- τεχνολογία»

Περιγραφή των έργων ΠΕ2, ΠΕ4, ΠΕ6 και ΠΕ9

Με τα παραπάνω έργα διερευνήθηκαν οι απόψεις των μαθητών για τη MI «Μέγεθος και Κλίμακα». Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά δίνοντας έμφαση στον τρόπο ομαδοποίησης των απαντήσεων.

Έργο ΠΕ2

Στο έργο ΠΕ2, μελετήθηκαν οι αντιλήψεις των μαθητών σχετικά με το ποιο είναι το μικρότερο αντικείμενο που πιστεύουν ότι υπάρχει. Το έργο που τους δόθηκε φαίνεται στην εικόνα 2.10.

2. Ποιο νομίζεις ότι είναι το μικρότερο αντικείμενο που υπάρχει;	
---	--

Εικόνα 2.10: Έργο ΠΕ2. Μικρότερο αντικείμενο.

Η επιθυμητή γνώση που αναμένεται να ανιχνευθεί μετά την εφαρμογή περιλαμβάνει στις απαντήσεις των μαθητών αντικείμενα του νανόκοσμου. Οι απαντήσεις των μαθητών ομαδοποιήθηκαν ως εξής (Πέικος, 2016):

Στην κατηγορία E3, εντάσσονται οι απαντήσεις που περιέχουν αντικείμενα του νανόκοσμου. Η κατηγορία E2, περιλαμβάνει απαντήσεις που περιέχουν αντικείμενα του μικρόκοσμου. Στην κατηγορία E1, περιλαμβάνονται οι απαντήσεις που περιέχουν αντικείμενα του μακρόκοσμου και στην κατηγορία E0 οι ασαφείς ή κενές απαντήσεις. Ακόμα, στην κατηγορία E0, περιλαμβάνονται απαντήσεις όπου οι μαθητές

αναφέρουν δύο ή περισσότερα αντικείμενα διαφορετικών κόσμων. Στον πίνακα 2.8, καταγράφονται συγκεντρωτικά οι κατηγορίες αλλά και χαρακτηριστικά παραδείγματα για την κάθε μία.

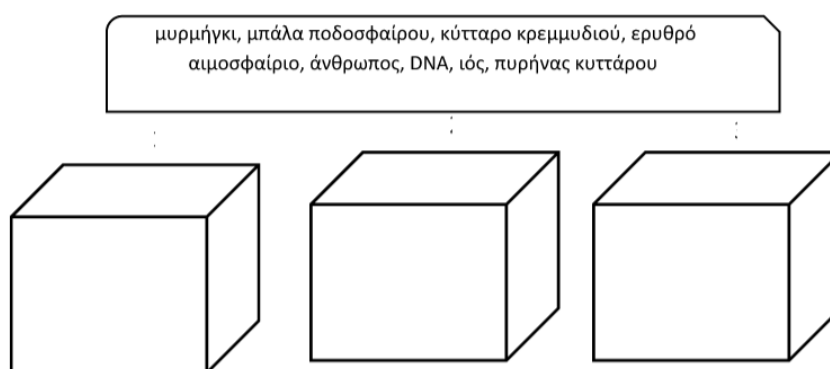
Πίνακας 2.8: Κατηγορίες για το μικρότερο αντικείμενο

Κ	Κριτήριο	Παραδείγματα απαντήσεων
E3	Μικρότερο Αντικείμενο: Αντικείμενο του νανόκοσμου	«ιός», «DNA», «νανοπροεξοχές»
E2	Μικρότερο Αντικείμενο: Αντικείμενο του μικρόκοσμου	«πυρήνας κυττάρου», «κύτταρο κρεμμυδιού»
E1	Μικρότερο Αντικείμενο: Αντικείμενο του μακρόκοσμου	«άμμος», «μυρμήγκι», «κρεμμύδι»
E0	Ασαφείς – Κενές Απαντήσεις – Αντικείμενα διαφορετικών κόσμων	το κύτταρο και το μυρμήγκι που τώρα γεννήθηκε

Έργο ΠΕ4

Στο έργο ΠΕ4 διερευνήθηκε η ικανότητα των μαθητών να ταξινομήσουν αντικείμενα διαφορετικού μεγέθους. Πιο συγκεκριμένα, οι μαθητές κλήθηκαν να ταξινομήσουν διάφορα αντικείμενα σε κουτιά, με κριτήριο τον κόσμο στον οποίο ανήκουν ή/και το όργανο παρατήρησής τους, και να αιτιολογήσουν την απάντησή τους (βλ. Εικόνα 2.11).

4. Ταξινόμησε τα παρακάτω αντικείμενα στα κουτιά με βάση το μέγεθός τους.



Εικόνα 2.11: Έργο ΠΕ4. Ταξινόμηση αντικειμένων.

Μετά την εφαρμογή οι μαθητές αναμένεται να ταξινομήσουν τα αντικείμενα σε κουτιά τοποθετώντας στο κουτί 1 τα αντικείμενα του μακρόκοσμου, στο κουτί 2 τα αντικείμενα που ανήκουν στο μικρόκοσμο και στο κουτί 3 αυτά που ανήκουν στο νανόκοσμο, αιτιολογώντας σωστά τις απαντήσεις τους. Οι απαντήσεις των μαθητών ομαδοποιήθηκαν ως εξής:

Στην κατηγορία E3, εντάσσονται οι απαντήσεις στις οποίες οι μαθητές έχουν δώσει σωστή αιτιολόγηση όσον αφορά την ταξινόμηση των αντικειμένων και έχουν ταξινομήσει όλα τα αντικείμενα σωστά. Στην κατηγορία E2, εντάσσονται οι απαντήσεις των μαθητών στις οποίες η αιτιολόγηση όσον αφορά την ταξινόμηση των αντικειμένων είναι σωστή και εντοπίζεται λάθος στην ταξινόμηση ενός μόνο αντικειμένου στα κουτιά ή κάποιο αντικείμενο που δεν έχει μπει σε κανένα κουτί. Στην κατηγορία E1, εντάσσονται οι απαντήσεις που έχουν σωστή αιτιολόγηση όσον αφορά την ταξινόμηση των αντικειμένων και υπάρχει λάθος ταξινόμηση δύο αντικειμένων στα κουτιά ή δύο αντικείμενα που δεν έχουν ταξινομηθεί. Τέλος, στην κατηγορία E0, εντάσσονται οι απαντήσεις στις οποίες οι μαθητές δεν έχουν αιτιολογήσει σωστά την ταξινόμηση των αντικειμένων στα κουτιά ή έχουν κάνει λάθος ταξινόμηση τριών ή και παραπάνω αντικειμένων.

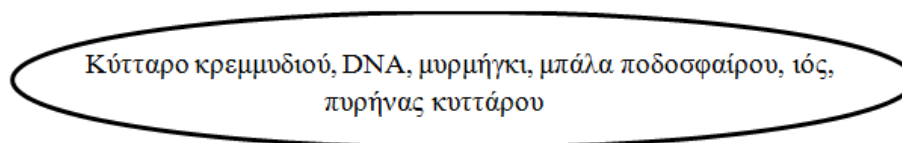
Πίνακας 2.9: Κατηγορίες ταξινόμησης αντικειμένων

K	Κριτήριο
E3	<p>Σωστή αιτιολόγηση 1: Μακρόκοσμος ή/και Μάτι 2: Μικρόκοσμος ή/και Οπτικό Μικροσκόπιο 3: Νανόκοσμος ή/και Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο και σωστή ταξινόμηση 1: άνθρωπος, μπάλα ποδοσφαίρου, μυρμήγκι 2: ερυθρό αιμοσφαίριο, κύτταρο κρεμμυδιού, πυρήνας κυττάρου 3: ιός, DNA</p>
E2	<p>Σωστή αιτιολόγηση 1: Μακρόκοσμος ή/και Μάτι 2: Μικρόκοσμος ή/και Οπτικό Μικροσκόπιο 3: Νανόκοσμος ή/και Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο και λάθος στην ταξινόμηση για ένα αντικείμενο</p>
E1	<p>Σωστή αιτιολόγηση 1: Μακρόκοσμος ή/και Μάτι 2: Μικρόκοσμος ή/και Οπτικό Μικροσκόπιο 3: Νανόκοσμος ή/και Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο και λάθος στην ταξινόμηση για δύο αντικείμενα</p>
E0	<p>Λάθος αιτιολόγηση ή/και λάθος στην ταξινόμηση για τρία ή περισσότερα αντικείμενα</p>

Έργο ΠΕ6

Το έργο αυτό ελέγχει την ικανότητα των μαθητών να σειροθετούν αντικείμενα με σειρά μεγέθους. Πιο συγκεκριμένα, ζητήθηκε από τους μαθητές να σειροθετήσουν αντικείμενα του μακρόκοσμου, του μικρόκοσμου και του νανόκοσμου από το μεγαλύτερο στο μικρότερο (βλ. Εικόνα 2.12).

6. Τοποθέτησε τα παρακάτω αντικείμενα από το **μεγαλύτερο προς το μικρότερο**.



Εικόνα 2.12: Έργο ΠΕ6. Σειροθέτηση αντικειμένων

Μετά την εφαρμογή, οι μαθητές αναμένεται να σειροθετούν σωστά τα αντικείμενα από το μεγαλύτερο στο μικρότερο. Οι απαντήσεις των μαθητών ομαδοποιήθηκαν ως εξής (Πέικος, 2016):

Στην κατηγορία E3, εντάσσονται οι απαντήσεις των μαθητών που έχουν σωστή σειροθέτηση όλων των αντικειμένων του μακρόκοσμου, του μικρόκοσμου και του νανόκοσμου. Στην κατηγορία E2, εντάσσονται οι απαντήσεις που έχουν σωστή σειροθέτηση των αντικειμένων του μακρόκοσμου και του μικρόκοσμου. Στην κατηγορία E1, εντάσσονται οι απαντήσεις που έχουν σωστή σειροθέτηση του μακρόκοσμου και ένα τουλάχιστον λάθος στο μικρόκοσμο ή στο νανόκοσμο. Τέλος, στην κατηγορία E0, εντάσσονται οι απαντήσεις που έχουν λάθος στη σειροθέτηση αντικειμένων του μακρόκοσμου.

Πίνακας 2.10: Κατηγορίες για τη σειροθέτηση αντικειμένων

K	Κριτήριο	Παραδείγματα απαντήσεων
E3	Σωστή σειροθέτηση όλων των αντικειμένων μακρόκοσμου, μικρόκοσμου και νανόκοσμου.	<i>μπάλα ποδοσφαίρου > μυρμήγκι > κύτταρο κρεμμυδιού > πυρήνας κυττάρου > ιός > DNA</i>
E2	Σωστή σειροθέτηση αντικειμένων μακρόκοσμου και μικρόκοσμου	<i>μπάλα ποδοσφαίρου > μυρμήγκι > κύτταρο κρεμμυδιού > πυρήνας κυττάρου > DNA > ιός</i>
E1	Σωστή σειροθέτηση αντικειμένων του μακρόκοσμου	<i>μπάλα ποδοσφαίρου > μυρμήγκι > ιός > κύτταρο κρεμμυδιού > DNA > πυρήνας κυττάρου</i>
E0	Λάθος σειροθέτηση αντικειμένων του μακρόκοσμου	<i>μπάλα ποδοσφαίρου > DNA > πυρήνα κυττάρου > ιός > κύτταρο κρεμμυδιού > μυρμήγκι</i>

Έργο ΠΕ9

Το έργο ΠΕ9 αξιολογεί την ικανότητα των μαθητών να περιγράφουν το φαινόμενο της ίωσης αναφέροντας τα αντικείμενα που σχετίζονται μ' αυτή και για τους τρεις κόσμους. Πιο συγκεκριμένα, οι μαθητές κλήθηκαν μέσα από το έργο ΠΕ9 να περιγράψουν τον τρόπο με τον οποίο ο νανόκοσμος επηρεάζει το μικρόκοσμο και το μακρόκοσμο στην περίπτωση της ίωσης (Εικόνα 2.13).

9. Μια μαθήτρια αρρώστησε από ίωση.



Περιγράψε πώς ο νανόκοσμος επηρεάζει τον μικρόκοσμο και τον μακρόκοσμο στην περίπτωση της ίωσης.

Εικόνα 2.13: Έργο ΠΕ9. Περιγραφή φαινομένου της ίωσης

Μετά την εφαρμογή οι μαθητές αναμένεται να αναφέρουν τουλάχιστον ένα αντικείμενο και για τους τρεις κόσμους. Οι απαντήσεις των μαθητών ομαδοποιήθηκαν ως εξής:

Στην κατηγορία E3, εντάσσονται οι απαντήσεις των μαθητών στις οποίες αναφέρεται τουλάχιστον ένα αντικείμενο και από τους τρεις κόσμους (μακρόκοσμος, μικρόκοσμος, νανόκοσμος). Στην κατηγορία E2, εντάσσονται οι απαντήσεις των μαθητών στις οποίες αναφέρεται τουλάχιστον ένα αντικείμενα για κάθε ένα από τους δύο κόσμους. Στην κατηγορία E1, οι απαντήσεις που αναφέρουν αντικείμενα ενός μόνο κόσμου. Τέλος, στην κατηγορία E0 εντάσσονται οι απαντήσεις που δεν κάνουν αναφορά σε κανένα αντικείμενο των τριών κόσμων καθώς επίσης οι ταυτολογίες, οι ασαφείς και κενές απαντήσεις.

Πίνακας 2.11: Κατηγορίες για την περιγραφή του φαινομένου της ίωσης

K	Κριτήριο	Παραδείγματα απαντήσεων
E3	Αναφορά σε αντικείμενα και των τριών κόσμων	« <i>Μακρόκοσμος->Μικρόκοσμος-> Νανόκοσμος άνθρωπος-> κύτταρο-> ιός</i> »
E2	Αναφορά σε αντικείμενα και των δύο κόσμων	« <i>Ο νανόκοσμος επηρεάζει τον μικρόκοσμο με τον ιό που πηγαίνει στα κύτταρά μας. Ο μικρόκοσμος επηρεάζει το μακρόκοσμο από το κύτταρο που ο ιός πηγαίνει στο κύτταρο και έτσι γίνεται η ίωση</i> »
E1	Αναφορά σε αντικείμενα ενός μόνο κόσμου	« <i>Ο ιός επηρεάζει το μικρόκοσμο και το μακρόκοσμο</i> »
E0	Καμία αναφορά σε αντικείμενα κανενός κόσμου. Ασαφείς απαντήσεις	« <i>Ο νανόκοσμος επηρεάζει το μικρόκοσμο και το μακρόκοσμο γιατί είναι το μικρότερο</i> »

Περιγραφή των έργων ΠΕ3 και ΠΕ5

Με τα παραπάνω έργα διερευνήθηκαν οι απόψεις των μαθητών για τη ΜΙ «Εργαλεία και Όργανα». Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά δίνοντας έμφαση στον τρόπο ομαδοποίησης των απαντήσεων.

Έργο ΠΕ3

Το έργο ΠΕ3 εξετάζει κατά πόσο οι μαθητές αναφέρουν σωστό όργανο παρατήρησης για το μακροσκοπικό, μικροσκοπικό ή νανοσκοπικό αντικείμενο που έχουν αναφέρει. Πιο συγκεκριμένα, οι μαθητές καλούνται να καταγράψουν με ποιο όργανο μπορούν να παρατηρήσουν το αντικείμενο που έδωσαν ως απάντηση στο έργο ΠΕ2 (βλ. Εικόνα 2.14). Για το λόγο αυτό, το έργο ΠΕ3 εξετάστηκε συνδυαστικά με το έργο ΠΕ2.

3. Πώς μπορείς να δεις το αντικείμενο που έγραψες;	
---	--

Εικόνα 2.14: Έργο ΠΕ3. Όργανο παρατήρησης μικρότερου αντικειμένου

Μετά την εφαρμογή αναμένεται οι μαθητές να αναφέρουν το σωστό όργανο παρατήρησης του αντικειμένου που έχουν καταγράψει στο έργο ΠΕ2, και πιο συγκεκριμένα αναμένεται να καταγράψουν αντικείμενα του νανόκοσμου και το σωστό όργανο παρατήρησής τους. Η ομαδοποίηση των απαντήσεων έγινε ως εξής (Πέικος, 2016):

Στην κατηγορία E3, εντάσσονται οι απαντήσεις των μαθητών που αναφέρουν σωστό όργανο παρατήρησης για αντικείμενα του νανόκοσμου. Στην κατηγορία E2, εντάσσονται οι απαντήσεις που αναφέρουν σωστό όργανο παρατήρησης για αντικείμενα του μικρόκοσμου και αντίστοιχα στην κατηγορία E1 για αντικείμενα του μακρόκοσμου. Τέλος, στην κατηγορία E0, εντάσσονται οι απαντήσεις που αναφέρουν λάθος όργανο παρατήρησης για το αντικείμενο που έχει καταγραφεί στο έργο ΠΕ2, οι απαντήσεις που εμπεριέχουν αμφιβολία και οι απαντήσεις που περιλαμβάνουν ένα όργανο παρατήρησης για δύο αντικείμενα διαφορετικών κόσμων.

Πίνακας 2.12: Κατηγορίες οργάνου παρατήρησης μικρότερου αντικειμένου.

Κ	Κριτήριο	Παραδείγματα απαντήσεων
E3	Σωστό όργανο παρατήρησης για αντικείμενα του νανόκοσμου	<i>Ιός → ηλεκτρονικό μικροσκόπιο</i>
E2	Σωστό όργανο παρατήρησης για αντικείμενα του μικρόκοσμου	<i>Κύτταρα → οπτικό μικροσκόπιο / μικροσκόπιο</i>
E1	Σωστό όργανο παρατήρησης για αντικείμενα του μακρόκοσμου	<i>Μυρμήγκι → με το μάτι</i>
E0	Λάθος όργανο- Αμφιβολία – Ίδιο όργανο παρατήρησης για αντικείμενα διαφορετικών κόσμων	<i>Άμμος → τηλεσκόπιο Κύτταρα κρεμμυδιού → μικροσκόπιο και μπορεί ούτε μ' αυτό Το κύτταρο και το μυρμήγκι που μόλις γεννήθηκε → μικροσκόπιο</i>

Έργο ΠΕ5

Το έργο ΠΕ5, εξετάζει τις γνώσεις των μαθητών σχετικά με τα όργανα παρατήρησης των μακροσκοπικών, μικροσκοπικών και νανοσκοπικών αντικειμένων. Πιο συγκεκριμένα, οι μαθητές κλήθηκαν να καταγράψουν τα όργανα παρατήρησης για τα αντικείμενα που είχαν ταξινομήσει στα κουτιά του έργου ΠΕ4 (βλ. εικόνα 2.15).

5. Με ποιο όργανο νομίζεις ότι μπορείς να δεις τα αντικείμενα του:

κουτιού 1	
κουτιού 2	
κουτιού 3	

Εικόνα 2.15: Έργο ΠΕ5. Όργανα παρατήρησης που γνωρίζουν οι μαθητές

Μετά την εφαρμογή οι μαθητές αναμένετε να αναφέρουν τα όργανα παρατήρησης και των τριών κόσμων. Η ομαδοποίηση των απαντήσεων ως εξής:

Στην κατηγορία E3, εντάσσονται οι απαντήσεις των μαθητών που αναφέρουν τουλάχιστον ένα όργανο παρατήρησης για κάθε έναν από τους τρεις κόσμους (μακρόκοσμος, μικρόκοσμος, νανόκοσμος). Στην κατηγορία E2, εντάσσονται οι απαντήσεις που αναφέρουν τουλάχιστον ένα όργανο παρατήρησης για τους δύο από τους τρεις κόσμους (μακρόκοσμος και μικρόκοσμος). Στην κατηγορία E1, εντάσσονται οι απαντήσεις των μαθητών που αναφέρουν μόνο όργανα παρατήρησης του μακρόκοσμου. Τέλος, στην κατηγορία E0, εντάσσονται οι απαντήσεις των μαθητών που δεν κάνουν αναφορά σε κανένα όργανο παρατήρησης.

Πίνακας 2.13: Κατηγορίες για τα όργανα παρατήρησης που γνωρίζουν οι μαθητές

K	Κριτήριο	Παραδείγματα απαντήσεων
E3	Αναφορά σε όργανα παρατήρησης όλων των κόσμων	Κουτί 1: «μάτι» Κουτί 2: «οπτικό μικροσκόπιο» Κουτί 3: «ηλεκτρονικό μικροσκόπιο»
E2	Αναφορά σε όργανα παρατήρησης του μακρόκοσμου και του μικρόκοσμου	Κουτί 1: «μάτι» Κουτί 2: «μικροσκόπιο» Κουτί 3: «μικροσκόπιο»
E1	Αναφορά σε όργανα παρατήρησης του μακρόκοσμου	Κουτί 1: «με το μάτι» Κουτί 2: - Κουτί 3: «με το μάτι και με το τηλεσκόπιο»
E0	Καμία αναφορά σε όργανα παρατήρησης	-

Περιγραφή των έργων ΠΕ7 και ΠΕ8

Με τα παραπάνω έργα διερευνήθηκαν οι απόψεις των μαθητών για τη ΜΙ «Ιδιότητες που εξαρτώνται από το μέγεθος» και έμμεσα για τις εμπλεκόμενες ΜΙ «Εφαρμογές της Ν-ΕΤ» και «Μέγεθος και Κλίμακα». Πιο συγκεκριμένα, μέσω των παραπάνω έργων διερευνήθηκαν οι ιδέες των μαθητών για την ιδιότητα της υδροφοβικότητας σε τεχνητά υπερυδρόφοβα νανοϋλικά (ΠΕ7) και σε φυσικά υπερυδρόφοβα νανοϋλικά (ΠΕ8). Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά, δίνοντας έμφαση στον τρόπο ομαδοποίησης των απαντήσεων.

Έργο ΠΕ7

Στο έργο ΠΕ7 αξιολογούνται οι ιδέες των μαθητών για το φαινόμενο της υδροφοβικότητας ενός χαρτιού, που είναι ψεκασμένο με νανοσπρέι. Τα παιδιά αφού παρακολούθησαν ένα βίντεο που έδειχνε ένα χαρτί που δεν απορροφάει το μελάνι κλήθηκαν να ερμηνεύσουν το φαινόμενο αυτό (βλ. εικόνα 2.16).

7. Παρακολούθησε το βίντεο «Μελάνι πάνω σε χαρτί».

Γιατί νομίζεις ότι το χαρτί δεν απορροφάει το μελάνι; Εξήγησέ το με σχέδιο και με λόγια.



Εικόνα 2.16: Έργο ΠΕ7. Η λειτουργία του νανοσπρέι

Μετά την εφαρμογή, οι μαθητές αναμένεται να περιγράψουν τη λειτουργία του νανοσπρέι στις επιφάνειες με την χρήση όρων νανογραμματισμού. Η ομαδοποίηση των απαντήσεων των μαθητών οδήγησε στις εξής κατηγορίες:

Στην κατηγορία E3, εντάσσονται οι απαντήσεις που περιγράφουν το φαινόμενο χρησιμοποιώντας όρους νανογραμματισμού για τη νανοδομή που δημιουργείται στο χαρτί από το νανοσπρέι. Στην κατηγορία E2, εντάσσονται οι απαντήσεις των μαθητών που περιγράφουν το φαινόμενο χωρίς να κάνουν αναφορά στις νανοδομές της επιφάνειας του χαρτιού. Στην κατηγορία E1, εντάσσονται οι απαντήσεις που είναι «μακριά από την επιστημονική άποψη / εναλλακτικές ιδέες» και εστιάζουν στα χαρακτηριστικά του χαρτιού ή του μελανιού. Στην κατηγορία E0, εντάσσονται οι απαντήσεις που περιέχουν ταυτολογίες καθώς και οι απαντήσεις που είναι ασαφείς και χωρίς νόημα για το συγκεκριμένο έργο.

Πίνακας 2.14: Κατηγορίες για τη λειτουργία του νανοσπρέι

Κ	Κριτήριο	Παραδείγματα απαντήσεων
E3	Όροι νανογραμματισμού για τη λειτουργία του νανοσπρέι στις επιφάνειες, αναφορά στις νανοδομές.	«Γιατί το χαρτί είναι ψεκασμένο με νανοσπρέι και το νανοσπρέι δημιουργεί νανοπροεξοχές και οι νανοπροεξοχές εμποδίζουν το μελάνι να απορροφηθεί»
E2	Περιγραφή φαινομένου με απουσία αναφοράς στις νανοδομές που δημιουργούνται.	«Γιατί το έχουν ψεκάσει με νανοσπρέι»
E1	Αναφορά στα χαρακτηριστικά του χαρτιού ή του μελανιού.	«Γιατί είναι πιο πηχτό το μελάνι» «Γιατί το χαρτί δεν έχει το κατάλληλο υλικό»
E0	Ταυτολογίες – Ασαφείς και χωρίς νόημα απαντήσεις	«Γιατί το μελάνι όταν πέφτει στο χαρτί, το χαρτί δεν το απορροφά και γι' αυτό φεύγει»

Έργο ΠΕ8

Το έργο ΠΕ8 αξιολογεί τις ιδέες των μαθητών για το φαινόμενο της υδροφοβικότητας στο λάχανο. Πιο συγκεκριμένα, οι μαθητές κλήθηκαν να ερμηνεύσουν και να αιτιολογήσουν για ποιο λόγο οι σταγόνες που πέφτουν πάνω στο λάχανο γίνονται στρογγυλές σαν μπίλιες. Στο έργο αυτό δίνεται και εικόνα στους μαθητές (βλ. εικόνα 2.17).

8. Δυο αδέρφια, αφού έπλυναν ένα κομμάτι λάχανο παρατήρησαν το εξής: «**οι σταγόνες μόλις έπεφταν πάνω στο λάχανο γίνονταν στρογγυλές σαν μπίλιες**»



Εικόνα 2.17: Έργο ΠΕ8. Το φαινόμενο της υδροφοβικότητας

Μετά την εφαρμογή οι μαθητές αναμένεται να περιγράψουν το φαινόμενο της υδροφοβικότητας του λάχανου με τη χρήση όρων νανογραμματισμού. Η ομαδοποίηση των απαντήσεων των μαθητών οδήγησε στις εξής κατηγορίες (Πέικος, 2016):

Στην κατηγορία E3, εντάσσονται οι απαντήσεις των μαθητών που περιέχουν όρους νανογραμματισμού για το φαινόμενο της υδροφοβικότητας. Στην κατηγορία E2, εντάσσονται οι απαντήσεις όπου γίνεται απλή περιγραφή του φαινομένου χωρίς όμως τη χρήση όρων νανογραμματισμού. Επίσης, στην κατηγορία E2 εντάσσονται οι απαντήσεις των μαθητών που περιέχουν έμμεση αναφορά στην υδρόφοβη επιφάνεια του λάχανου. Στην κατηγορία E1, εντάσσονται οι απαντήσεις που η περιγραφή του φαινομένου εστιάζει στα φυσικά χαρακτηριστικά του λάχανου ή της σταγόνας. Τέλος, στην κατηγορία E0 εντάσσονται οι απαντήσεις των μαθητών που περιέχουν ταυτολογίες, οι ασαφείς και χωρίς νόημα απαντήσεις.

Πίνακας 2.15: Κατηγορίες για το φαινόμενο της υδροφοβικότητας - λάχανο

Κ	Κριτήριο	Παραδείγματα απαντήσεων
E3	Όροι νανογραμματισμού για τις νανοδομές ή/και την λειτουργία της επιφάνειας του λάχανου	<i>«γιατί το λάχανο έχει νανοπροεξοχές όπως το λωτό» «εγώ νομίζω ότι υπάρχουν νανοπροεξοχές που εμποδίζουν τις σταγόνες να μπουν μέσα στο φυτό»</i>
E2	Απλή περιγραφή - Απουσία όρων νανογραμματισμού για τις νανοδομές ή/και την λειτουργία της επιφάνειας του λάχανου	<i>«Γιατί το φύλλο του λάχανου είναι αδιάβροχο»</i>
E1	Αναφορά στα χαρακτηριστικά του λάχανου ή στα χαρακτηριστικά της σταγόνας	<i>«γιατί το φύλλο του λάχανου έτσι όπως είναι φτιαγμένο δεν αφήνει το νερό να μπει μέσα του και έτσι οι σταγόνες μένουν έτσι» «εγώ νομίζω ότι έχουνε μείνει μπίλιες γιατί δεν έχει στεγνώσει το νερό»</i>
E0	Ταυτολογίες – Ασαφείς και χωρίς νόημα απαντήσεις	<i>«γιατί το νερό πέφτει με δύναμη και είναι σαν να σπάει»</i>

2.5.2 Ανάλυση έργων του πριν και του μετά γραπτού ερωτηματολογίου για τα Μοντέλα και τη Μοντελοποίηση

Τα έργα που χρησιμοποιήθηκαν για την αξιολόγηση της φύσης και του ρόλου των μοντέλων και της μοντελοποίησης είναι τα ME1 – ME4. Οι απαντήσεις των παραπάνω έργων ομαδοποιήθηκαν σύμφωνα με μια 2βαθμη ιεραρχική κλίμακα μέτρησης που περιλάμβανε τα εξής επίπεδα κατανόησης (EK)/ κατηγορίες (K):

E1= «Επιστημονική Άποψη»

E0= « Μακριά από την επιστημονική άποψη»

Παρακάτω παρουσιάζεται αναλυτικά η ανάλυση των έργων αυτών.

Περιγραφή έργου ME1

Το έργο ME1 εξετάζει τις ιδέες των μαθητών για τη φύση των μοντέλων. Πιο συγκεκριμένα, ζητήθηκε από τους μαθητές να γράψουν μια πρόταση που θα περιέχει τη λέξη μοντέλο και θα είναι η αντιπροσωπευτικότερη για τους ίδιους (βλ. εικόνα 2.18).

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



Εικόνα 2.18: Έργο ME1. Η φύση του μοντέλου

Μετά την εφαρμογή οι μαθητές αναμένεται να δώσουν απαντήσεις από τις οποίες να αναγνωρίζεται η αναπαραστατική ιδιότητα των μοντέλων και η διαφοροποίησή τους από το στόχο που αναπαριστούν. Το παραπάνω έργο έχει χρησιμοποιηθεί στην έρευνα του Ζουπίδη (2012) και η ομαδοποίηση των απαντήσεων έγινε ως εξής (Ζουπίδης, 2012:132):

Στην κατηγορία E1 εντάσσονται οι απαντήσεις στις οποίες «ο μαθητής αναγνωρίζει το μοντέλο ως αναπαράσταση» και στην κατηγορία E0 οι απαντήσεις στις οποίες «ο μαθητής δεν μπορεί να αναγνωρίσει το μοντέλο ως μια αναπαράσταση και δεν μπορεί να διακρίνει το μοντέλο από την πραγματικότητα». Στην κατηγορία E0 εντάσσονται επίσης οι απαντήσεις που συνδέουν το μοντέλο με τη ψυχαγωγία ή την αισθητική (Πέικος, 2016).

Πίνακας 2.16: Κατηγορίες για τη φύση των μοντέλων.

Κ	Κριτήριο	Παραδείγματα απαντήσεων
E1	Μοντέλο ως αναπαράσταση ενός στόχου	<i>«Μοντέλο είναι η αναπαράσταση ενός αντικειμένου» «1) Είναι αναπαράσταση ενός αντικειμένου 2) Δε χρησιμοποιούμε το πραγματικό αντικείμενο 3) Δεν είναι πιστό αντίγραφο 4) Έχει συγκεκριμένο στόχο-σκοπό 5) Δε βάζουμε περιττά πράγματα 6) Χρειάζεται υπόμνημα» «Μοντέλο είναι κάτι που δεν είναι πραγματικό και είναι αναπαράσταση»</i>
E0	Μοντέλο ως πιστό αντίγραφο της πραγματικότητας. Σύνδεση με ψυχαγωγία ή αισθητική	<i>«Το μοντέλο είναι ένα ωραίο πράγμα, ένα καινούργιο ρούχο, ένα παντελόνι κ.α.» «Τα μοντέλα πρέπει να μην παχαίνουν πολύ γιατί μπορεί να σκιστεί κανένα ρούχο μπροστά στους ανθρώπους»</i>

Περιγραφή έργου ME2

Το έργο ME2 περιλαμβάνει δύο υποερωτήματα. Με το πρώτο υποερώτημα εξετάζουμε τις απόψεις των μαθητών σχετικά με τη χρησιμότητα ενός μοντέλου και με το δεύτερο τις απόψεις τους για την ονομασία του. Πιο συγκεκριμένα, δίνεται στους μαθητές το μοντέλο ενός ματιού και καλούνται α) να καταγράψουν σε τι νομίζουν ότι χρησιμεύει και β) να το ονομάσουν (βλ. Εικόνα 2.19).

2. Παρακάτω βλέπεις μια κατασκευή που παριστάνει ένα **μάτι**.



Εικόνα 2.19: Έργο ME2. Ονομασία και χρησιμότητα μοντέλου

Μετά την εφαρμογή, οι μαθητές αναμένεται να αναγνωρίζουν τη χρησιμότητα του μοντέλου ως μέσο μεταφοράς πληροφοριών ή/και ως εργαλείο διδασκαλίας και μάθησης, καθώς και να δίνουν ονομασίες που δηλώνουν αναπαράσταση. Η ομαδοποίηση των απαντήσεων έγινε σύμφωνα με τον Ζουπίδη (2012: 141) ως εξής:

Όσον αφορά το πρώτο υποερώτημα, στην κατηγορία E1, εντάσσονται οι απαντήσεις των μαθητών στις οποίες το μοντέλο αναγνωρίζεται ως «μέσο μεταφοράς πληροφοριών για την κατανόηση της μορφολογίας ενός αντικειμένου που δεν είναι αλλιώς προσιτό» και ως «εργαλείο για τη διδασκαλία και τη μάθηση». Στην κατηγορία E0, εντάσσονται οι απαντήσεις που δεν αναγνωρίζουν τη χρήση του μοντέλου «ως μέσο μεταφοράς πληροφοριών αλλά για την παρουσίαση ενός αντικειμένου όπως είναι στην πραγματικότητα». Επίσης, στην κατηγορία E0 εντάσσονται οι ασαφείς και χωρίς νόημα για το συγκεκριμένο έργο απαντήσεις.

Πίνακας 2.17: Κατηγορίες χρησιμότητας μοντέλου ματιού

K	Κριτήριο	Παραδείγματα απαντήσεων
E1	Μοντέλο ως μέσο μεταφοράς πληροφοριών και ως εργαλείο διδασκαλίας και μάθησης.	<p>«Στο να καταλάβεις πώς είναι το μάτι»</p> <p>«Αυτή η κατασκευή είναι αναπαράσταση του ματιού για να δούμε τι έχει μέσα το μάτι»</p> <p>«Σε βοηθάει να δεις πως είναι το μάτι από μέσα»</p>
E0	Σύνδεση μοντέλου με το πραγματικό αντικείμενα. Ασαφείς και χωρίς νόημα απαντήσεις.	<p>«Μας χρησιμεύει να βλέπουμε και να έχουμε όραση»</p> <p>«Εμένα μου μοιάζει σαν σβούρα αλλά μπορεί να είναι και διακοσμητικό»</p> <p>«Εγώ νομίζω ότι αυτή η κατασκευή χρησιμεύει για να φτιάζουμε ψεύτικα μάτια»</p>

Όσον αφορά το δεύτερο υποερώτημα, στην κατηγορία E1 εντάσσονται οι απαντήσεις στις οποίες γίνεται «χρήση της λέξης μοντέλο ή αναπαράσταση ή κάποιας περιγραφής που υποδηλώνει αναπαράσταση». Στην κατηγορία E0, εντάσσονται οι απαντήσεις στις οποίες χρησιμοποιείται μια ονομασία που «δε δηλώνει αναπαράσταση αλλά αναφέρεται στην πραγματικότητα».

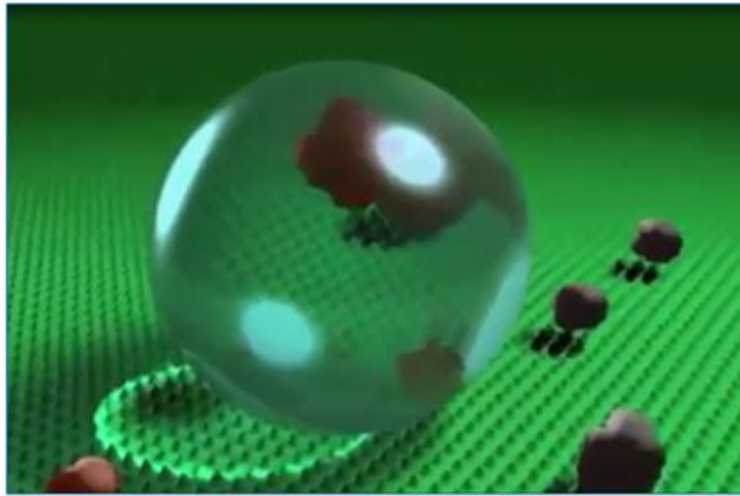
Πίνακας 2.18: Κατηγορίες ονομασίας μοντέλου ματιού

K	Κριτήριο	Παραδείγματα απαντήσεων
E1	Χρήση όρων μοντέλο ή αναπαράσταση ή έμμεση αναφορά σ' αυτούς.	«Μοντέλο ματιού»
E0	Χρήση όρων που δεν δηλώνουν αναπαράσταση – Σύνδεση μοντέλου με την πραγματικότητα.	<p>«Ματοκατασκευή»</p> <p>«Σπασμένο μάτι»</p> <p>«Θα την ονόμαζα το ψεύτικο μάτι»</p> <p>«Τα κύτταρα των ματιών»</p>

Περιγραφή έργου ME3

Το έργο ME3 δόθηκε μόνο στο ερωτηματολόγιο τελικής μέτρησης και εξετάζει τις ιδέες των μαθητών για τη χρησιμότητα ενός μοντέλου για το φαινόμενο του λωτού. Πιο συγκεκριμένα, ζητήθηκε από τους μαθητές αφού παρατηρήσουν ένα μοντέλο που αναπαριστά το φαινόμενο του λωτού (βλ. Εικόνα 2.20) να απαντήσουν σε τι μας βοηθάει το συγκεκριμένο μοντέλο. Η ομαδοποίηση των απαντήσεων έγινε σύμφωνα με το α) υποερώτημα του έργου ME2, μιας και τα δύο αφορούν τη χρησιμότητα των μοντέλων.

3. Παρακάτω βλέπεις ένα μοντέλο το οποίο αναπαριστά το φαινόμενο του λωτού.



Σε τι μας βοηθάει αυτό το μοντέλο;

Εικόνα 2.20: Χρησιμότητα μοντέλου λωτού

Πίνακας 2.19: Κατηγορίες χρησιμότητας μοντέλου λωτού

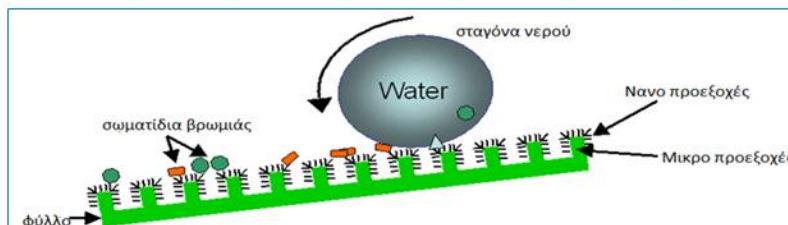
Κ	Κριτήριο	Παραδείγματα απαντήσεων
E1	Μοντέλο ως μέσο μεταφοράς πληροφοριών και ως εργαλείο διδασκαλίας και μάθησης.	«Στο να δούμε ότι υπάρχουν ναυπροεξοχές και το νερό παίρνει τα σωματίδια βρωμιάς και δεν βρέχεται το φύλλο» «Στο να καταλάβουμε πως λειτουργεί το φαινόμενο του λωτού»
E0	Σύνδεση μοντέλου με το πραγματικό αντικείμενο. Ασαφείς και χωρίς νόημα απαντήσεις.	«(μας βοηθάει) Στο οι σταγόνες να μαζεύουν τα μικρόβια από το συγκεκριμένο φύλλο» «Μας βοηθάει διότι η σταγόνα μαζεύει τα μικρόβια από το φαινόμενο του λωτού»

Περιγραφή έργου ME4

Το έργο ME4 δόθηκε μόνο στο ερωτηματολόγιο τελικής μέτρησης και εξετάζει τις ιδέες των μαθητών για τη χρησιμότητα των πολλαπλών μοντέλων για το φαινόμενο του λωτού. Πιο συγκεκριμένα, ζητήθηκε από τους μαθητές αφού παρατηρήσουν δύο

επιπλέον μοντέλα για το φαινόμενο του λωτού (βλ. εικόνα 2.21) να εκφράσουν τις απόψεις τους σχετικά με το εάν τα διαφορετικά μοντέλα για το ίδιο φαινόμενο είναι χρήσιμα και να αιτιολογήσουν την απάντησή τους.

4. Παρακάτω φαίνονται και άλλα μοντέλα για το φαινόμενο του λωτού.



Εικόνα 2.21: Χρησιμότητα πολλαπλών μοντέλων

Η επιθυμητή γνώση που αναμένεται να ανιχνευθεί μετά την εφαρμογή περιλαμβάνει στις απαντήσεις των μαθητών την αναγνώριση της χρησιμότητας των πολλαπλών. Η ομαδοποίηση των απαντήσεων έγινε ως εξής (Πείκος, 2016):

Στην κατηγορία E1, εντάσσονται οι απαντήσεις των μαθητών που αναγνωρίζουν τη χρησιμότητα των πολλαπλών μοντέλων για την άντληση διαφορετικών πληροφοριών και τα πλεονεκτήματα που μας προσφέρουν. Στην κατηγορία E0, εντάσσονται οι απαντήσεις των μαθητών που δεν αναγνωρίζουν τη χρησιμότητα των πολλαπλών μοντέλων για το ίδιο φαινόμενο, οι ασαφείς και χωρίς νόημα απαντήσεις και οι ταυτολογίες.

Πίνακας 2.20: Κατηγορίες χρησιμότητας πολλαπλών μοντέλων για το φαινόμενο του λωτού

K	Κριτήριο	Παραδείγματα απαντήσεων
E1	Αναγνώριση χρησιμότητας πολλαπλών μοντέλων για το ίδιο φαινόμενο.	«Ναι χρειάζονται γιατί με αυτά τα τρία μοντέλα θα καταλάβεις ακόμα καλύτερα πως είναι ο λωτός» «Χρειάζεται να έχουμε περισσότερες πληροφορίες και μας δείχνει καλύτερα τη λειτουργία του λωτού με λεπτομέρειες»
E0	Αδυναμία αναγνώρισης της χρησιμότητας πολλαπλών μοντέλων για το ίδιο φαινόμενο. Ασαφείς απαντήσεις. Ταυτολογίες	«Ναι γιατί δεν μας φτάνει μόνο ένα μοντέλο» «όχι χρειάζεται μόνο ένα γιατί καταλαβαίνουμε»

2.6 Εγκυρότητα και Αξιοπιστία

Η εγκυρότητα (validity) και η αξιοπιστία (reliability) είναι δύο ζητήματα που απασχολούν τους ερευνητές τόσο του ποσοτικού όσο και του ποιοτικού «παραδείγματος».

Η έννοια της εγκυρότητας στην ποιοτική έρευνα αναφέρεται «στο βαθμό αντιστοίχισης των ερευνητικών σκοπών, υποθέσεων και ερωτημάτων με τα αποτελέσματα της ερευνητικής διαδικασίας» (Ιωσηφίδης, 2008:269).

Η βασική στρατηγική που εφαρμόστηκε στην παρούσα έρευνα για την εξασφάλιση της εγκυρότητας των δεδομένων είναι ο «έλεγχος από άλλους ερευνητές» (peer examination) (Ιωσηφίδης, 2008:272), ο οποίος εφαρμόστηκε στο στάδιο της ανάλυσης των δεδομένων από δύο ανεξάρτητους ερευνητές με εμπειρία σε θέματα Διδακτικής Φ.Ε.. Πιο συγκεκριμένα, οι ανεξάρτητοι ερευνητές κλήθηκαν να ταξινομήσουν τις απαντήσεις των μαθητών στις κατηγορίες που τους δόθηκαν (2.5.1 και 2.5.2). Η αρχική συμφωνία στην ανάλυση των δεδομένων κυμάνθηκε μεταξύ 80 και 90%, η οποία μετά από συζήτηση έφτασε το 100%.

Επίσης, για την εξασφάλιση της εγκυρότητας των δεδομένων της παρούσας έρευνας επιλέξαμε την «περιεκτική επεξεργασία τους» (comprehensive data treatment) (Ιωσηφίδης, 2008: 271), αναλύοντας το σύνολο των ερωτηματολογίων που δόθηκαν, χωρίς να απορριφθούν αυτά που μπορεί να μη μας έδιναν το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Μια τρίτη στρατηγική που υιοθετήθηκε για την ενίσχυση της εγκυρότητας της έρευνας είναι η μακρά παραμονή στο πεδίο (prolonged engagement) (Creswell & Miller, 2000). Μέσω των επαναλαμβανόμενων παρατηρήσεων, η ερευνήτρια απέκτησε μια σχέση εμπιστοσύνης με τους συμμετέχοντες έτσι ώστε αυτοί να αισθάνονται άνετα με την παρουσία της στο χώρο και να δρουν αυθόρμητα.

Η έννοια της αξιοπιστίας στην ποιοτική έρευνα αναφέρεται «στο βαθμό συνέπειας της ερευνητικής διαδικασίας καθώς και στο βαθμό κατά τον οποίο τα αποτελέσματα της έρευνας έχουν ευρύτερη αξία και σημασία» (Perakyla, 1997 ό.α. στο Ιωσηφίδης, 2008: 312).

Για την επίτευξη της αξιοπιστίας βασιστήκαμε στα κριτήρια της βασιμότητας (dependability) και της επιβεβαιωσιμότητας (confirmability). Σύμφωνα με τους Mulholland και Wallace (2003), για να επιτευχθούν τα παραπάνω κριτήρια ο ερευνητής θα πρέπει στην παρουσίαση της έρευνας να παρέχει στους αναγνώστες εμπειρίες από αντιπροσωπευτικά γεγονότα. Για το λόγο αυτό, στην παρούσα έρευνα, τόσο στην ενότητα ανάλυσης των έργων όσο και σ' αυτή της παρουσίασης των αποτελεσμάτων, συμπεριλήφθηκαν οι απαντήσεις των συμμετεχόντων με τέτοιο τρόπο ώστε ο ρόλος τους να τεκμηριώνεται.

3. Αποτελέσματα

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την ανάλυση των απαντήσεων των μαθητών στα πριν, μετά και οχτώ μήνες μετά γραπτά ερωτηματολόγια. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται ανά περιοχή μάθησης και ανά έργο. Η ανάγνωση των γραφημάτων γίνεται με τρόπο ώστε να δίνεται έμφαση στην εξέλιξη των απόψεων των μαθητών και σε πολλές περιπτώσεις δίνονται χαρακτηριστικά παραδείγματα. Τέλος, για να διαπιστωθεί εάν υπάρχει διαφοροποίηση στην αρχική γνωστική κατάσταση των μαθητών και τη γνωστική κατάσταση μετά την εφαρμογή της ΔΜΑ εφαρμόστηκε μη παραμετρικός έλεγχος προσημασμένων τάξεων μεγέθους Wilcoxon (Wilcoxon signed-rank test). Ο παραπάνω στατιστικός έλεγχος εφαρμόζεται όταν οι μετρήσεις είναι κατά ζεύγη, όπως οι επαναληπτικές μετρήσεις για την εξέταση κάποιου παράγοντα στο ίδιο δείγμα. Επίσης, σύμφωνα με τους Siegel και Castellan (1988), οι μη παραμετρικοί στατιστικοί έλεγχοι ενδείκνυνται όταν το δείγμα είναι πολύ μικρό, όπως στην παρούσα έρευνα.

3.1 Αποτελέσματα Ερωτηματολογίων για το Περιεχόμενο της N-ET

EE1: Πώς εξελίσσεται η νοηματοδότηση του όρου νανοτεχνολογία από τους μαθητές;

Στο ΠΕ1 ζητήθηκε από τους μαθητές να εξηγήσουν τι σημαίνει ο όρος νανοτεχνολογία. Όπως φαίνεται και στο γράφημα 3.1, στην κατηγορία «Επιστημονική Άποψη» (E3) κατατάχθηκαν μηδέν μαθητές πριν την εφαρμογή της ΔΜΑ, πέντε μετά την εφαρμογή και οχτώ μαθητές οχτώ μήνες αργότερα. Παρατηρούμε δηλαδή, ότι οι μισοί μαθητές μετά την εφαρμογή σύνδεσαν τη νανοτεχνολογία με τις ΜΙ «Μέγεθος και Κλίμακα» ή/και «Εργαλεία και Όργανα», κάνοντας συχνά άμεση αναφορά στο νανόκοσμο, και ο αριθμός τους αυξήθηκε οχτώ μήνες μετά. Χαρακτηριστική απάντηση στην κατηγορία αυτή είναι: «*Νανοτεχνολογία είναι η τεχνολογία που δεν μπορούμε να δούμε τίποτα με γυμνό μάτι, ούτε καν με μικροσκόπιο αλλά υπάρχει το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο που μπορούμε να δούμε τον ιό, το DNA και τις νανοπροεξοχές*».

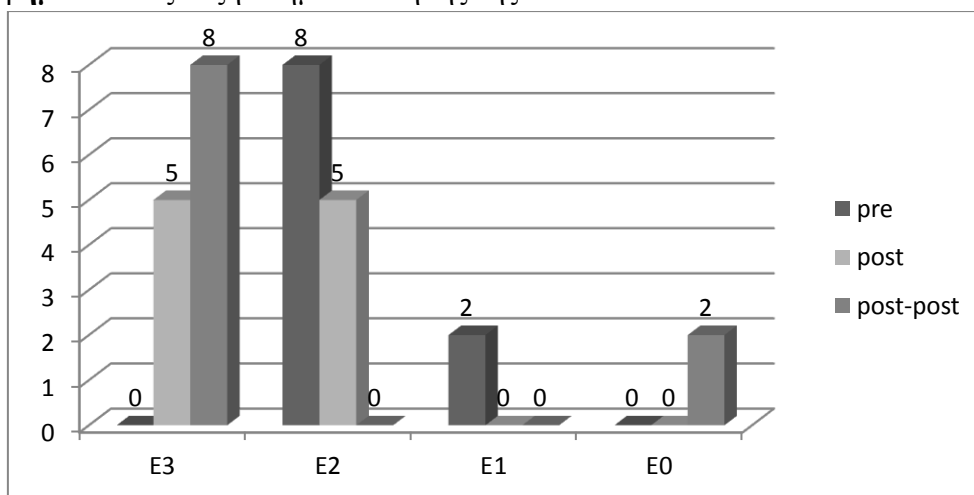
Στην κατηγορία «Μερικώς επιστημονική άποψη» (E2), κατατάχθηκαν οχτώ μαθητές πριν την εφαρμογή, πέντε μαθητές μετά την εφαρμογή και κανένας μαθητής οχτώ μήνες μετά αργότερα. Στην κατηγορία E2, εντάχθηκαν οι απαντήσεις που έκαναν έμμεση αναφορά σε μία από τις ΜΙ όπως η παρακάτω απάντηση: «*Νανοτεχνολογία σημαίνει η τεχνολογία που ασχολείται με τα πολύ μικρά πράγματα*».

Στην κατηγορία «Μακριά από την επιστημονική άποψη» (E1), κατατάχθηκαν μόνο δύο μαθητές πριν και κανένας μαθητής μετά και οχτώ μήνες μετά την εφαρμογή. Χαρακτηριστική απάντηση στην κατηγορία αυτή είναι: «*(η νανοτεχνολογία) είναι μια τεχνολογία που ασχολείται με πολύ μικρά πράγματα όπως είναι οι νάνοι*», καθώς προσεγγίζει τη νανοτεχνολογία από μια ανθρωποκεντρική σκοπιά.

Τέλος, στην κατηγορία E0 δεν κατατάχθηκε κανένας μαθητής τόσο πριν όσο και μετά την εφαρμογή, σε αντίθεση με οχτώ μήνες μετά όπου υπήρξαν δύο μαθητές που έδωσαν ασαφείς απαντήσεις και κατατάχθηκαν σ' αυτήν την κατηγορία.

Τέλος, η διαφορά μεταξύ της αρχικής γνωστικής κατάστασης των μαθητών και της γνωστικής τους κατάστασης μετά την εφαρμογή είναι στατιστικά σημαντική ($z=2.333$, $p=.020$) και η μάθηση διατηρείται οχτώ μήνες μετά την εφαρμογή ($z=.176$, $p=.860$).

Γράφημα 3.1: Εξέλιξη νοηματοδότησης της N-ET.



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

EE2. Πώς εξελίσσονται οι απόψεις των μαθητών για έννοιες της ΜΙ «Μέγεθος και Κλίμακα»;

EE2a. Πώς εξελίσσονται οι ιδέες των μαθητών για το μικρότερο αντικείμενο που υπάρχει;

Στο έργο ΠΕ2, ζητήθηκε από τους μαθητές να αναφέρουν το μικρότερο αντικείμενο που πιστεύουν ότι υπάρχει. Στο γράφημα 3.2, παρατηρούμε ότι πριν την εφαρμογή κανένας μαθητής δεν κατέγραψε ως μικρότερο αντικείμενο, ένα αντικείμενο του νανόκοσμου (E3), ενώ αυτό άλλαξε ριζικά μετά την εφαρμογή με όλους τους μαθητές να αναφέρουν αντικείμενα του νανόκοσμου ως μικρότερα αντικείμενα που μπορούν να σκεφτούν και εννέα από αυτούς συνέχισαν να αναφέρουν αντικείμενα αυτού του κόσμου και οχτώ μήνες μετά. Χαρακτηριστικά παραδείγματα σ' αυτό το επίπεδο είναι οι «νανοπροεξοχές» και το «DNA».

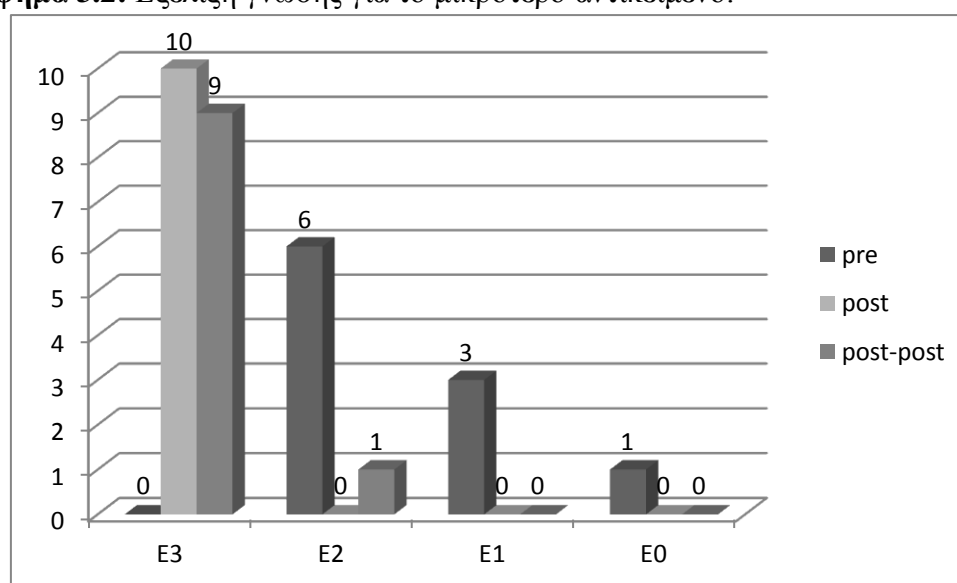
Στην κατηγορία E2, η οποία περιλαμβάνει αναφορές σε αντικείμενα του μικρόκοσμου, με χαρακτηριστική απάντηση «τα κύτταρα», κατατάχθηκαν έξι μαθητές πριν, κανένας μαθητής μετά και μόνο ένας μαθητής οχτώ μήνες μετά την εφαρμογή.

Στην κατηγορία E1, που περιλαμβάνει αναφορές σε αντικείμενα του μακρόκοσμου, κατατάχθηκαν τρεις μαθητές πριν την εφαρμογή και κανένας μαθητής μετά και οχτώ μήνες μετά την εφαρμογή.

Τέλος, στην κατηγορία E0 κατατάχθηκε ένας μαθητής πριν την εφαρμογή, όπου απάντησε «το κύτταρο και το μυρμήγκι που τώρα γεννήθηκε», αναφέροντας αντικείμενα που ανήκουν σε δύο διαφορετικούς κόσμους. Δεν εντοπίστηκαν απαντήσεις στην κατηγορία E0 μετά την εφαρμογή και οχτώ μήνες αργότερα.

Από τη στατιστική ανάλυση φαίνεται ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ της αρχικής γνωστικής κατάστασης των μαθητών και της γνωστικής τους κατάστασης μετά την εφαρμογή ($z = 2.877, p = .004$) και η μάθηση διατηρήθηκε οχτώ μήνες αργότερα ($z = 1.000, p = .317$).

Γράφημα 3.2: Εξέλιξη γνώσης για το μικρότερο αντικείμενο.



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

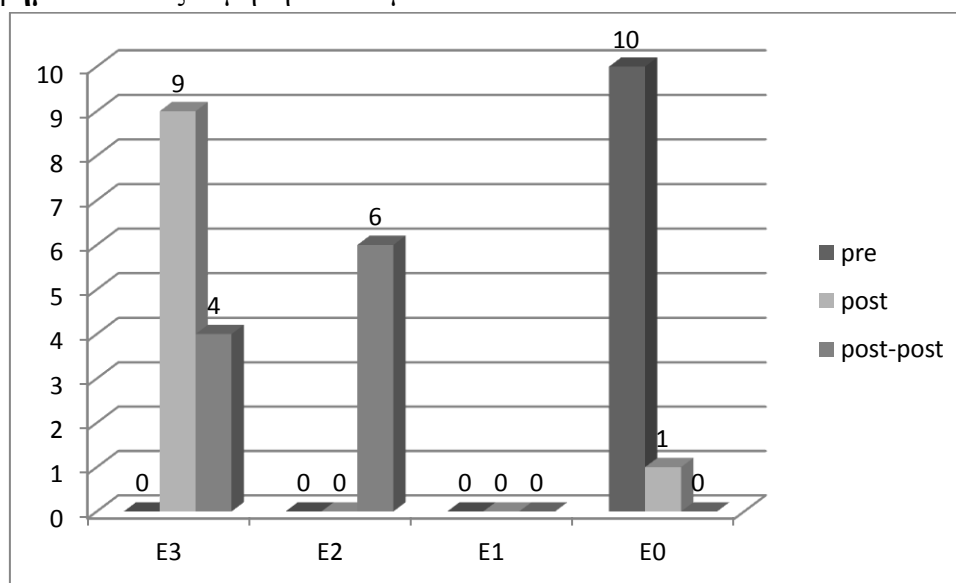
EE2b. Πώς εξελίσσεται η ικανότητα των μαθητών να ταξινομούν αντικείμενα διαφορετικών μεγεθών;

Στο έργο ΠΕ4, οι μαθητές κλήθηκαν να ταξινομήσουν αντικείμενα βάσει μεγέθους με κριτήριο τον κόσμο στον οποίο ανήκουν ή/και το όργανο παρατήρησής τους. Όπως παρατηρούμε στο γράφημα 3.3, κανένας μαθητής δεν ήταν ικανός πριν την εφαρμογή να ταξινομήσει τα δοθέντα αντικείμενα βάσει των παραπάνω κριτηρίων και για το λόγο αυτό δεν κατατάχθηκε κανένας στις κατηγορίες E3, E2 και E1. Αντίθετα, μετά την εφαρμογή, η συντριπτική πλειοψηφία των μαθητών, εννέα στους δέκα, ταξινόμησαν όλα τα δοθέντα αντικείμενα σωστά με βάση το κριτήριο όργανο ή/και κόσμος και μόνο ένας μαθητής, αν και ανέφερε σωστά τους τρεις κόσμους, έκανε λάθος στην ταξινόμηση τριών αντικειμένων αναφοράς (E0). Τέλος, οχτώ μήνες μετά την εφαρμογή τέσσερις μαθητές ταξινόμησαν όλα τα αντικείμενα σωστά βάσει των

κριτηρίων και έξι μαθητές κατέγραψαν τα σωστά όργανα/κόσμους κάνοντας ένα μόνο λάθος στην ταξινόμηση των οχτώ αντικειμένων (E2).

Από τη στατιστική ανάλυση προκύπτει ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική βελτίωση ($z= 3,000$, $p= .003$) στη γνωστική κατάσταση των μαθητών μετά την εφαρμογή και διατηρείται οχτώ μήνες μετά αργότερα ($z= 1.000$, $p= .317$).

Γράφημα 3.3: Ταξινόμηση αντικειμένων



E3: σωστό όργανο- σωστή ταξινόμηση. όλων, E2: σωστό όργανο- λάθος ταξινόμηση σε 1 αντικείμενο, E1: σωστό όργανο- λάθος ταξινόμηση σε 2 αντικείμενα, E0: λάθος όργανο – λάθος ταξινόμηση σε 3 ή παραπάνω αντικείμενα

EE2c. Πώς εξελίσσεται η ικανότητα των μαθητών να σειροθετούν αντικείμενα διαφορετικών μεγεθών;

Στο έργο ΠΕ6, οι μαθητές κλήθηκαν να σειροθετήσουν αντικείμενα με φθίνουσα σειρά μεγέθους. Όπως παρατηρούμε στο γράφημα 3.4, στην κατηγορία E3, η οποία περιλαμβάνει σωστή σειροθέτηση όλων των αντικειμένων αναφοράς, κατατάχθηκαν μηδέν μαθητές πριν, πέντε μαθητές μετά και έξι μαθητές οχτώ μήνες μετά την εφαρμογή.

Στην κατηγορία E2, που περιλαμβάνει σωστή σειροθέτηση όλων των αντικειμένων αναφοράς του μακρόκοσμου και του μικρόκοσμου και λάθος στη σειροθέτηση αντικειμένων του νανόκοσμου, κατατάχθηκαν ένας μαθητής πριν, τέσσερις μαθητές μετά και δύο μαθητές οχτώ μήνες μετά την εφαρμογή.

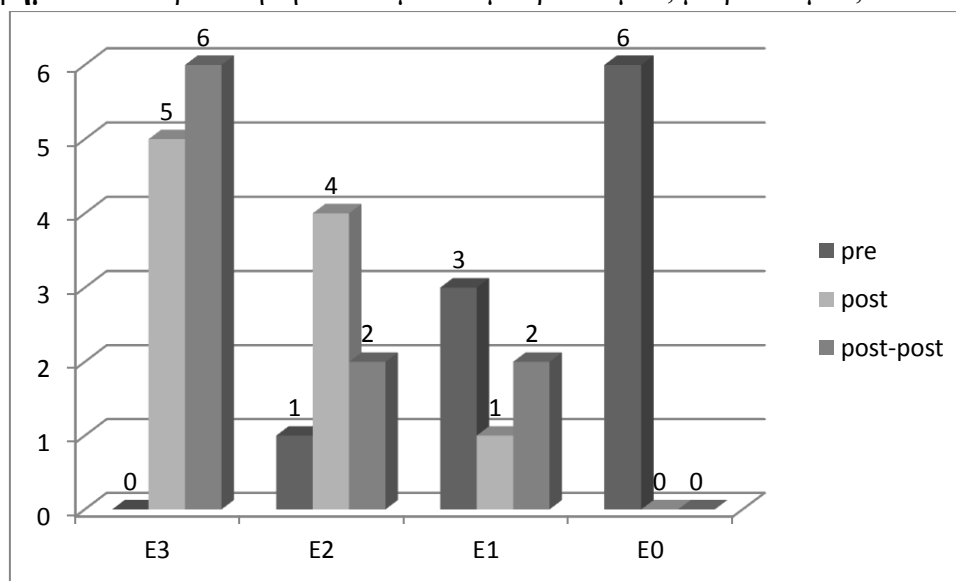
Στην κατηγορία E1, η οποία περιλαμβάνει σωστή σειροθέτηση μόνο των αντικειμένων του μακρόκοσμου, κατατάχθηκαν τρεις μαθητές πριν, ένας μαθητής μετά και δύο μαθητές οχτώ μήνες μετά την εφαρμογή.

Τέλος, στην κατηγορία E0, η οποία περιλαμβάνει λάθος στη σειροθέτηση των αντικειμένων αναφοράς του μακρόκοσμου, κατατάχθηκαν έξι μαθητές πριν την

εφαρμογή, ενώ μηδέν μαθητές τόσο μετά την εφαρμογή όσο και οχτώ μήνες αργότερα.

Από τη στατιστική ανάλυση προκύπτει ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά ($z= 2.701, p= .007$) μεταξύ της αρχικής γνωστικής κατάστασης των μαθητών και της γνωστικής τους κατάστασης μετά την εφαρμογή και η οποία διατηρείται και οχτώ μήνες μετά την εφαρμογή ($z=.000, p=1.000$).

Γράφημα 3.4: Σειροθέτηση αντικειμένων μακρόκοσμου, μικρόκοσμου, νανόκοσμου



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.

EE2d. Σε ποιο βαθμό είναι ικανοί οι μαθητές να περιγράψουν την επίδραση του νανόκοσμου στο μικρόκοσμο και στο μακρόκοσμο μετά την εφαρμογή της ΔΜΑ;

Στο έργο ΠΕ9, οι μαθητές κλήθηκαν να περιγράψουν τον τρόπο επίδρασης του νανόκοσμου, στο μικρόκοσμο και στο μακρόκοσμο. Τα αποτελέσματα του έργου αυτού αφορούν τη μέτρηση μετά την εφαρμογή και αυτή που έγινε οχτώ μήνες μετά. Από το γράφημα 3.5 παρατηρούμε ότι μετά την εφαρμογή οι μαθητές που περιέγραψαν το φαινόμενο της ίωσης κάνοντας αναφορά σε αντικείμενα και από τους τρεις κόσμους (E3) είναι οχτώ, ενώ μεγάλη μείωση παρατηρείται οχτώ μήνες αργότερα με έναν μόνο μαθητή να κάνει αναφορά σε αντικείμενα και των τριών κόσμων. Χαρακτηριστική απάντηση της κατηγορίας E3 είναι η εξής: «Ο Μακρόκοσμος είναι ο άνθρωπος. Ο Μικρόκοσμος είναι το κύτταρο. Ο Νανόκοσμος είναι ο ιός».

Επίσης, μετά την εφαρμογή οι μαθητές που περιέγραψαν την ίωση αναφέροντας από ένα αντικείμενο και για τους δύο κόσμους από τους τρεις κόσμους (E2) είναι δύο και

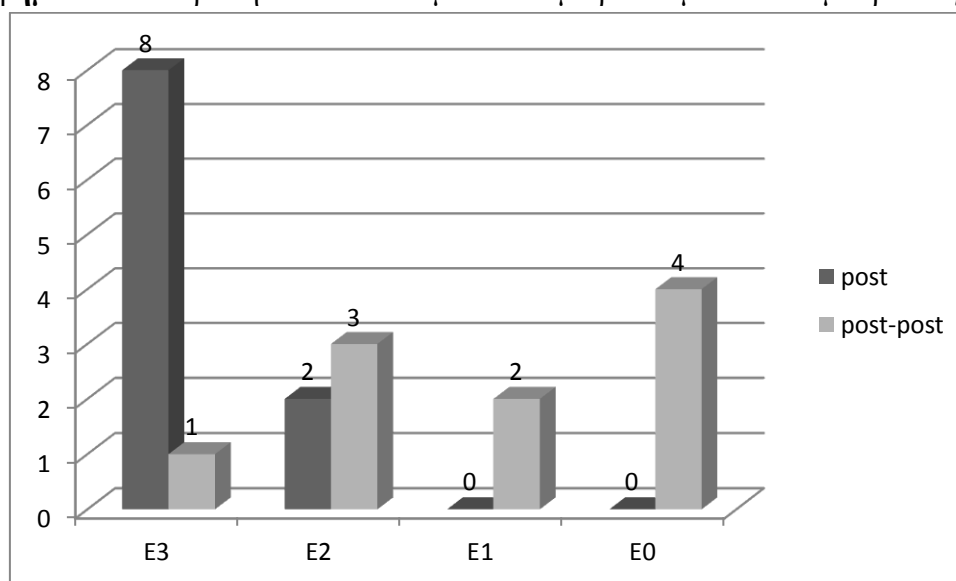
οχτώ μήνες μετά την εφαρμογή τρεις. Χαρακτηριστική απάντηση της κατηγορίας E2 είναι η εξής: «Ο νανόκοσμος επηρεάζει τον μικρόκοσμο με τον ιό που πηγαίνει στα κύτταρά μας. Ο μικρόκοσμος επηρεάζει το μακρόκοσμο από το κύτταρο που ο ιός πηγαίνει στο κύτταρο και έτσι γίνεται η ίωση».

Ακόμα, κανένας μαθητής μετά την εφαρμογή δεν περιέγραψε το φαινόμενο της ίωσης αναφέροντας αντικείμενα ενός μόνο κόσμου (E1), ενώ οχτώ μήνες αργότερα εντοπίστηκαν δύο μαθητές στην κατηγορία αυτή. Χαρακτηριστική απάντηση της κατηγορίας E1 είναι η εξής: «Όταν φτερνιζόμαστε στο μακρόκοσμο αρρωσταίνουμε στο μικρόκοσμο τα κύτταρα αρχίζουν να καταστρέφονται».

Τέλος, η περιγραφή του φαινομένου της ίωσης χωρίς αναφορά σε κανένα αντικείμενο αναφοράς του μακρόκοσμου, του μικρόκοσμου ή του νανόκοσμου (E0) δεν έγινε από κανέναν μαθητή μετά την εφαρμογή ενώ οχτώ μήνες αργότερα εντοπίστηκαν τέσσερις μαθητές που κατατάχθηκαν σ' αυτήν την κατηγορία. Χαρακτηριστική απάντηση της κατηγορίας E0 είναι η εξής: «Ο νανόκοσμος επηρεάζει το μικρόκοσμο και το μακρόκοσμο γιατί είναι το μικρότερο».

Από τη στατιστική ανάλυση προκύπτει στατιστικά σημαντική διαφορά ($z= 2.701$, $p=.007$) μεταξύ της γνωστικής κατάστασης των μαθητών μετά την εφαρμογή και της γνωστικής τους κατάστασης οχτώ μήνες αργότερα γεγονός που υποδηλώνει ότι η μάθηση δε διατηρήθηκε.

Γράφημα 3.5: Επίδραση του νανόκοσμου στον μικρόκοσμο και τον μακρόκοσμο



E3: αναφορά σε αντ. τριών κόσμων, E2: αναφορά σε αντ. δύο κόσμων, E1: αναφορά σε αντ. ενός κόσμου, E0: καμία αναφορά σε αντ. των κόσμων - ταυτολογίες.

EE3. Πώς εξελίσσονται οι απόψεις των μαθητών για έννοιες της ΜΙ «Εργαλεία και όργανα»;

EE3a. Πώς εξελίσσεται η γνώση των μαθητών για το όργανο παρατήρησης του μικρότερου αντικειμένου;

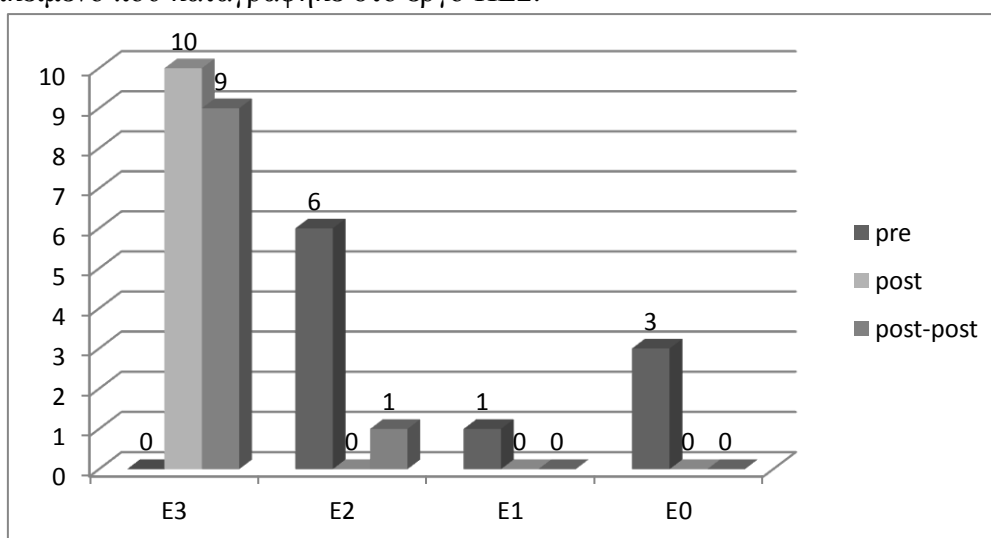
Στο έργο ΠΕ3, οι μαθητές κλήθηκαν να καταγράψουν το όργανο παρατήρησης με το οποίο μπορούν να δουν το αντικείμενο που κατέγραψαν στο έργο ΠΕ2. Όπως φαίνεται στο γράφημα 3.6, πριν την εφαρμογή κανένας μαθητής δεν ανέφερε σωστό όργανο παρατήρησης για αντικείμενα του νανόκοσμου μιας και δεν καταγράφηκαν αντικείμενα του εν λόγω κόσμου. Αντίθετα, όλοι οι μαθητές ανέφεραν σωστό όργανο παρατήρησης για ένα αντικείμενο του νανόκοσμου (E3) μετά την εφαρμογή και εννέα μαθητές συνέχισαν και οχτώ μήνες αργότερα.

Στην κατηγορία E2, η οποία περιλαμβάνει απαντήσεις που κάνουν αναφορά του σωστού οργάνου παρατήρησης για αντικείμενα του μικρόκοσμου, κατατάχθηκαν έξι μαθητές πριν την εφαρμογή, κανένας μαθητής μετά την εφαρμογή και ένας μόνο μαθητής οχτώ μήνες μετά.

Στην κατηγορία E1, που περιλαμβάνει αναφορά σωστού οργάνου παρατήρησης για αντικείμενα του μακρόκοσμου, κατατάχθηκε ένας μαθητής πριν την εφαρμογή και κανένας μαθητής τόσο μετά όσο και οχτώ μήνες μετά την εφαρμογή. Τέλος, στην κατηγορία E0, η οποία περιλαμβάνει είτε ασαφείς/κενές απαντήσεις είτε λάθος όργανο παρατήρησης, κατατάχθηκαν τρεις μαθητές πριν την εφαρμογή της ΔΜΑ και κανένας μαθητής τόσο μετά την εφαρμογή όσο και οχτώ μήνες αργότερα.

Η διαφορά μεταξύ της αρχικής και της τελικής γνωστικής κατάστασης των μαθητών θεωρείται στατιστικά σημαντική ($z= 2.877, p= .004$) και η μάθηση διατηρείται οχτώ μήνες μετά την εφαρμογή ($z= 1.000, p= .317$).

Γράφημα 3.6: Κατά πόσο είναι σωστό το όργανο παρατήρησης για το μικρότερο αντικείμενο που καταγράφηκε στο έργο ΠΕ2.



E3: σωστό όργανο για αντ. νανόκοσμου, E2: σωστό όργανο για αντ. μικρόκοσμου, E1: σωστό όργανο για μακρόκοσμου, E0: λάθος όργανο/ ασαφής-κενή απάντηση.

ΕΕ3b. Πώς εξελίσσεται η γνώση των μαθητών για τα όργανα παρατήρησης του μακρόκοσμου, του μικρόκοσμου και του νανόκοσμου;

Στο έργο ΠΕ5, οι μαθητές κλήθηκαν να αναφέρουν με ποιο όργανο παρατήρησης μπορούν να παρατηρήσουν τα μακροσκοπικά, μικροσκοπικά και νανοσκοπικά αντικείμενα που ταξινομήσαν στο έργο ΠΕ4. Όπως φαίνεται στο γράφημα 3.7, στην κατηγορία E3, η οποία περιλαμβάνει απαντήσεις με αναφορά στα όργανα παρατήρησης και των τριών κόσμων (γυμνό μάτι, οπτικό μικροσκόπιο και ηλεκτρονικό μικροσκόπιο), κατατάχθηκαν μηδέν μαθητές πριν την εφαρμογή και όλοι οι μαθητές τόσο μετά την εφαρμογή όσο και οχτώ μήνες αργότερα.

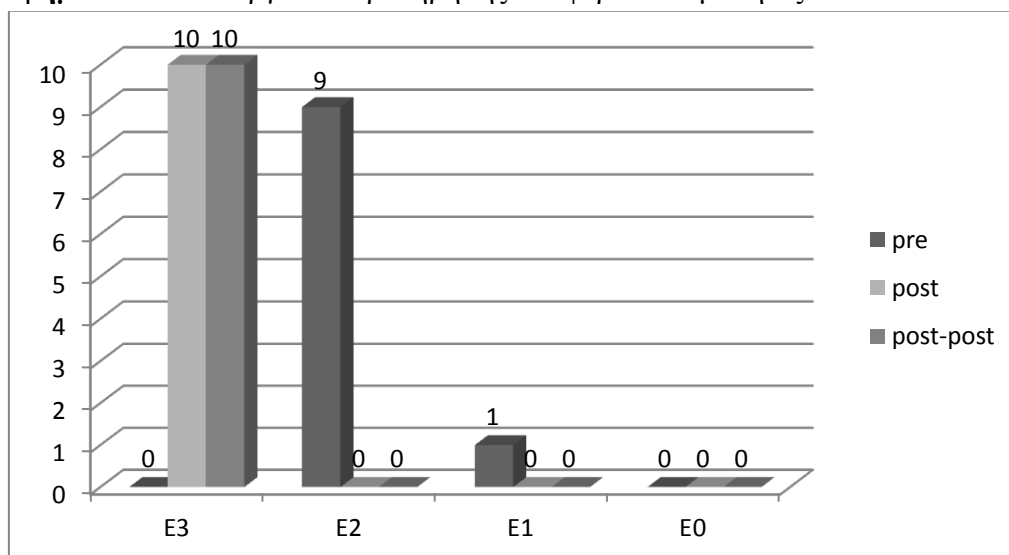
Στην κατηγορία E2, η οποία περιλαμβάνει απαντήσεις με αναφορά στα όργανα παρατήρησης του μακρόκοσμου και του μικρόκοσμου, κατατάχθηκαν εννέα μαθητές πριν την εφαρμογή και κανένας μαθητής μετά και οχτώ μήνες μετά την εφαρμογή.

Στην κατηγορία E1, όπου περιλαμβάνονται οι απαντήσεις των μαθητών που κάνουν αναφορά μόνο στο όργανο παρατήρησης του μακρόκοσμου, κατατάχθηκε μόνο ένας μαθητής πριν την εφαρμογή και κανένας μετά την εφαρμογή και οχτώ μήνες αργότερα.

Τέλος, στην κατηγορία E0, η οποία περιλαμβάνει απαντήσεις που δεν κάνουν αναφορά σε κανένα από τα όργανα παρατήρησης του μακρόκοσμου, του μικρόκοσμου και του νανόκοσμου, δεν κατατάχθηκε κανένας μαθητής σε καμία μέτρηση.

Από τη στατιστική ανάλυση παρατηρείται στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ της αρχικής και της τελικής γνωστικής κατάστασης των μαθητών ($z= 3.051$, $p= .002$), η οποία διατηρείται οχτώ μήνες μετά την εφαρμογή ($z= .000$, $p= 1.000$).

Γράφημα 3.7: Ποια όργανα παρατήρησης αναφέρουν οι μαθητές.



E3: αναφορά σε όργ. παρατήρησης μακρόκοσμου, μικρόκοσμου και νανόκοσμου, E2: αναφορά σε όργ. παρατήρησης του μακρόκοσμου και μικρόκοσμου, E1: αναφορά αποκλειστικά σε όργ. παρατήρησης του μακρόκοσμου E0: καμία αναφορά σε όργανα παρατήρησης.

EE4. Πώς εξελίσσεται η ικανότητα των μαθητών να περιγράφουν «φαινόμενα που εξαρτώνται από το μέγεθος»;

EE4a. Πώς εξελίσσεται η περιγραφή του φαινομένου της υδροφοβικότητας τεχνητών υπερυδροφобων νανοϋλικών;

Στο έργο ΠΕ7, οι μαθητές κλήθηκαν να εξηγήσουν το φαινόμενο της υδροφοβικότητας τεχνητών υδρόφοβων νανοϋλικών. Πιο συγκεκριμένα, ρωτήθηκαν γιατί ένα χαρτί, το οποίο είχε ψεκαστεί με νανοσπρέι, δεν απορροφάει το μελάνι. Σύμφωνα με το γράφημα 3.8, πριν την εφαρμογή κανένας μαθητής δεν ανέφερε όρους νανογραμματισμού για τη λειτουργία του νανοσπρέι στις επιφάνειες (νανοπροεξοχές, υδροφοβικότητα) (E3). Αντίθετα, μετά την εφαρμογή οι μισοί μαθητές στις απαντήσεις τους ανέφεραν όρους νανογραμματισμού και οχτώ μήνες μετά την εφαρμογή της ΔΜΑ τέσσερις μαθητές συνέχισαν να αναφέρουν σχετικούς όρους. Χαρακτηριστική απάντηση στην κατηγορία E3 είναι η εξής: *«Γιατί το χαρτί είναι ψεκασμένο με νανοσπρέι και το νανοσπρέι δημιουργεί νανοπροεξοχές και οι νανοπροεξοχές εμποδίζουν το μελάνι να απορροφηθεί».*

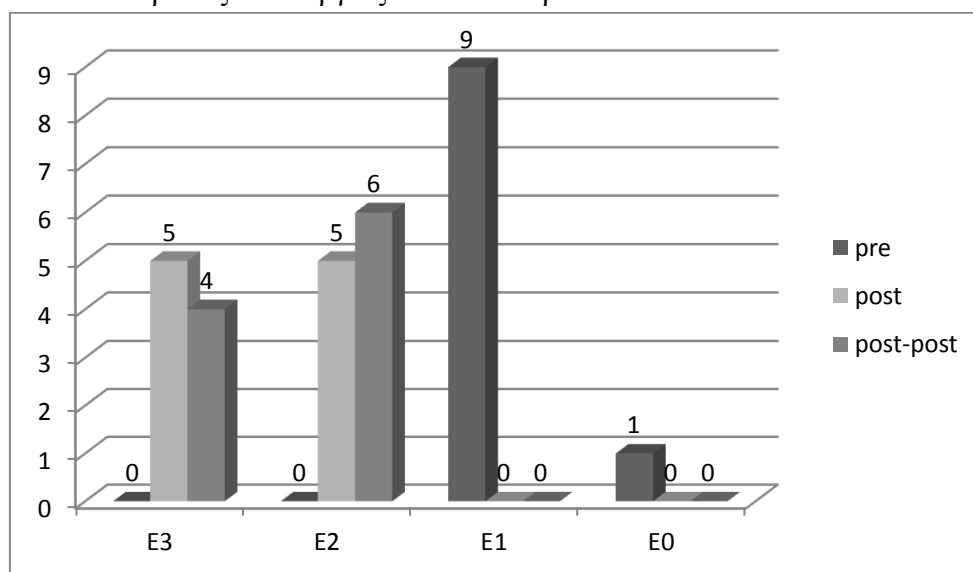
Επίσης, στην αρχική μέτρηση, κανένας μαθητής δεν περιέγραψε τη λειτουργία του νανοσπρέι με απουσία όρων νανογραμματισμού για τις νανοδομές (E2). Αντίθετα, μετά την εφαρμογή οι μισοί μαθητές περιέγραψαν σωστά το φαινόμενο χωρίς να χρησιμοποιούν όρους νανογραμματισμού, π.χ. *«Γιατί έχουν ψεκάσει το χαρτί με nanopray»*, και οχτώ μήνες την εφαρμογή, οι μαθητές που κατατάχθηκαν σ' αυτήν την κατηγορία είναι έξι.

Μεγάλη μείωση παρατηρείται στην κατηγορία E1, στην οποία κατατάχθηκαν οι απαντήσεις που είναι *«μακριά από την επιστημονική/ εναλλακτικές ιδέες»*, όπου πριν την εφαρμογή ήταν εννέα, ενώ μετά την εφαρμογή της ΔΜΑ όσο και οχτώ μήνες αργότερα δεν κατατάχθηκε καμία απάντηση. Παραδείγματα απαντήσεων της κατηγορίας E1 είναι τα εξής: *«Γιατί το μελάνι είναι πιο πηχτό»*, *«Γιατί το χαρτί είναι σκληρό και δεν απορροφάει το μελάνι»*, *«Γιατί το μελάνι είναι παγωμένο και αντί να λερωθεί κύλησε προς τα πέρα».*

Τέλος, στην κατηγορία E0, όπου περιλαμβάνονται ασαφείς απαντήσεις ή ταυτολογίες, κατατάχθηκε μόνο ένας μαθητής πριν την εφαρμογή της ΔΜΑ και κανένας μαθητής τόσο μετά την εφαρμογή όσο και οχτώ μήνες μετά. Η απάντηση που δόθηκε στην κατηγορία αυτή είναι η εξής *«Γιατί το μελάνι όταν πέφτει στο χαρτί, το χαρτί δεν το απορροφά και γι' αυτό φεύγει».*

Από τη στατιστική ανάλυση προκύπτει ότι υπάρχει σημαντική στατιστική διαφορά ($z= 2.859$, $p= .004$) μεταξύ της αρχικής γνωστικής κατάστασης των μαθητών και της γνωστικής τους κατάστασης μετά την εφαρμογή και η οποία διατηρείται οχτώ μήνες μετά την εφαρμογή ($z= 4.447$, $p= .655$).

Γράφημα 3.8: Περιγραφή του φαινομένου της υδροφοβικότητας τεχνητών νανοϋλικών - Τρόπος λειτουργίας του νανοσπρέι



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

EE4b. Πώς εξελίσσεται η περιγραφή του φαινομένου της υδροφοβικότητας φυσικών υπερυδροφόβων νανοϋλικών;

Στο έργο ΠΕ8, οι μαθητές κλήθηκαν να εξηγήσουν το φαινόμενο της υδροφοβικότητας φυσικών υπερυδροφόβων υλικών. Πιο συγκεκριμένα, ρωτήθηκαν γιατί οι σταγόνες γίνονται στρογγυλές όταν πέφτουν στο λάχανο. Σύμφωνα με το γράφημα 3.9, πριν την εφαρμογή κανένας μαθητής δεν περιέγραψε το φαινόμενο του λάχανου κάνοντας χρήση όρων νανογραμματισμού (νανοπροεξοχές, υδροφοβικότητα) (E3), ενώ τόσο μετά την εφαρμογή όσο και οχτώ μήνες αργότερα έξι μαθητές ανέφεραν στις απαντήσεις τους τους όρους νανογραμματισμού. Χαρακτηριστικές απαντήσεις της κατηγορίας E3 είναι οι εξής: «Γιατί το λάχανο έχει νανοπροεξοχές όπως το λωτό», «γιατί το λάχανο έχει μικροπροεξοχές και νανοπροεξοχές».

Επίσης, πριν την εφαρμογή μόνο ένας μαθητής περιέγραψε σωστά το φαινόμενο με απουσία σχετικών όρων νανογραμματισμού (E2), ενώ μετά την εφαρμογή και οχτώ μήνες αργότερα δεν εντοπίστηκαν απαντήσεις αυτής της κατηγορίας. Χαρακτηριστική απάντηση της κατηγορίας E2 είναι η εξής: «Γιατί το φύλλο του λάχανου είναι αδιάβροχο».

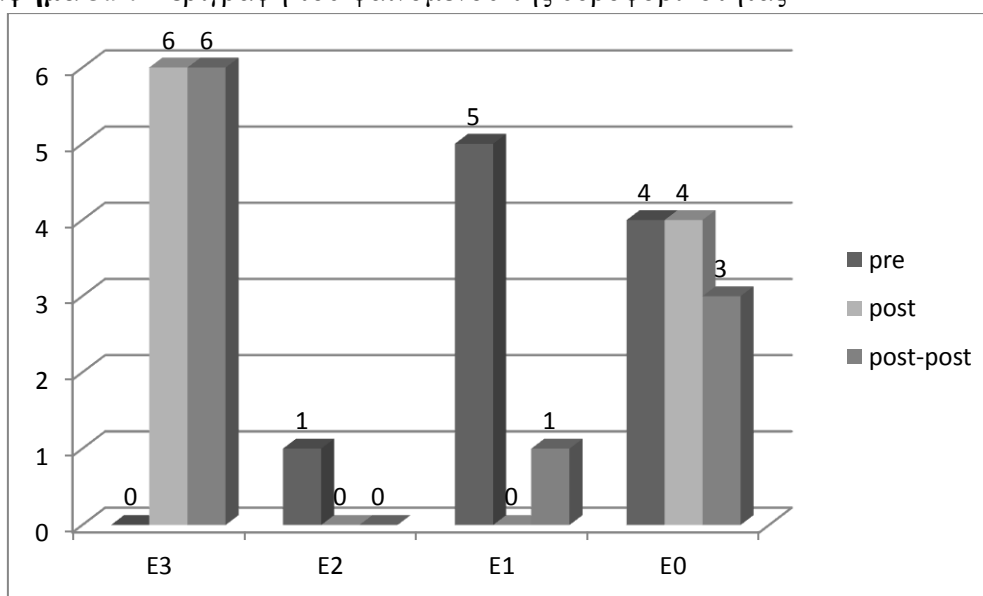
Στην κατηγορία E1, στην οποία κατατάχθηκαν οι απαντήσεις που είναι «μακριά από την επιστημονική/ εναλλακτικές ιδέες», πριν την εφαρμογή κατατάχθηκαν πέντε μαθητές, κανένας μαθητής μετά την εφαρμογή και μόνο ένας μαθητής οχτώ μήνες μετά την εφαρμογή. Παραδείγματα απαντήσεων αυτής της κατηγορίας είναι τα εξής: «Εγώ νομίζω ότι έχουν μείνει μικρές μπίλιες γιατί δεν έχει στεγνώσει το νερό», «Γιατί

το λάχανο είναι πιο ελαφρύ από το νερό και το νερό μπορεί να γλιστράει πιο εύκολα και γιατί το λάχανο έχει πάρει κατηφορική στάση».

Τέλος, ασαφείς ή χωρίς νόημα απαντήσεις (E0), δόθηκαν από τέσσερις μαθητές πριν την εφαρμογή, τέσσερις μετά την εφαρμογή και τρεις οχτώ μήνες αργότερα. Χαρακτηριστική απάντηση της κατηγορίας E0 είναι η εξής: «γιατί το νερό πέφτει με δύναμη και είναι σαν να σπάει».

Από τη στατιστική ανάλυση προκύπτει ότι η παρατηρούμενη βελτίωση της γνωστικής κατάστασης μετά την εφαρμογή δεν είναι στατιστική διαφορά ($z = -1.801$, $p = .072$).

Γράφημα 3.9: Περιγραφή του φαινομένου της υδροφοβικότητας



E3: επιστημονική άποψη, E2: μερικώς επιστημονική άποψη, E1: μακριά από την επιστημονική άποψη, E0: ασαφής/ καμία απάντηση

3.2 Αποτελέσματα Ερωτηματολογίων για τα Μοντέλα και τη Μοντελοποίηση

EE5. Πώς εξελίσσεται η γνώση των μαθητών για τη φύση των μοντέλων;

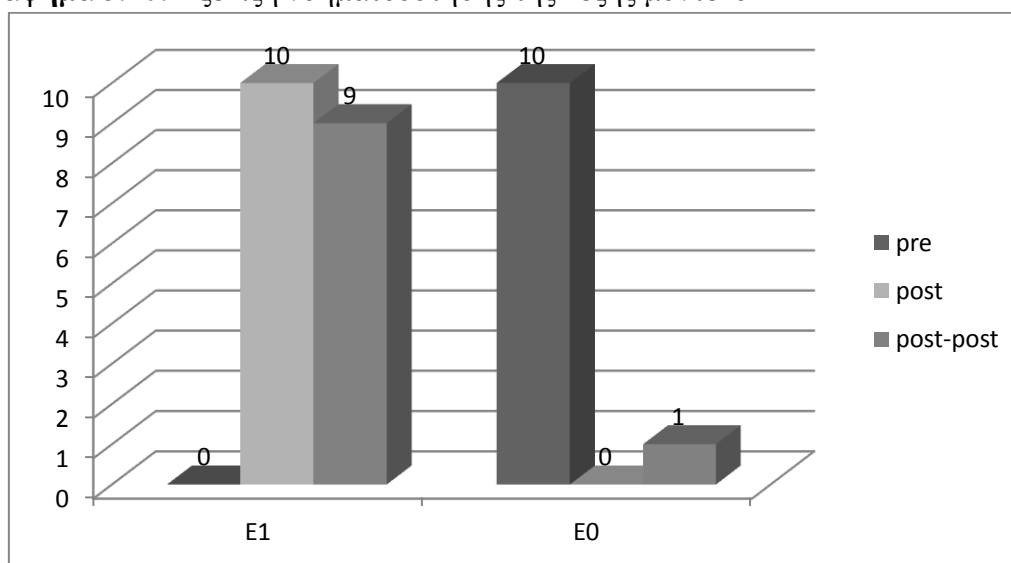
Νοηματοδότηση της λέξης μοντέλο

Στο έργο ME1, ζητήθηκε από τους μαθητές να γράψουν μια πρόταση με τη λέξη μοντέλο. Όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα (γράφημα 3.10), στην αρχική μέτρηση κανένας μαθητής δεν αναγνώρισε το μοντέλο ως αναπαράσταση (E1) ενώ μετά την εφαρμογή αναγνώρισαν το μοντέλο ως αναπαράσταση όλοι οι μαθητές και οχτώ μήνες μετά την εφαρμογή εννέα από τους δέκα μαθητές. Χαρακτηριστική απάντηση για την E1 είναι η εξής: «Μοντέλο είναι αναπαράσταση ενός αντικειμένου, χρησιμοποιούμε διαφορετικά αντικείμενα για να το φτιάξουμε, χρειάζεται υπόμνημα και δεν είναι πιστό αντίγραφο».

Επίσης παρατηρούμε ότι πριν την εφαρμογή, όλοι οι μαθητές παρουσίασαν το μοντέλο ως πιστό αντίγραφο της πραγματικότητας και πολλοί το συνέδεσαν με την ψυχαγωγία και την αισθητική (E0), μετά την εφαρμογή κανένας και οχτώ μήνες αργότερα μόνο ένας μαθητής. Χαρακτηριστική απάντηση για την E0 είναι η εξής: «*Η λέξη μοντέλο μου θυμίζει τα μοντέλα από κινητά, υπολογιστές και τηλεοράσεις*».

Από τη στατιστική ανάλυση προκύπτει ότι η βελτίωση της γνωστική κατάσταση των μαθητών μετά την εφαρμογή της ΔΜΑ είναι στατιστικά σημαντική ($z= 3,162$, $p=.002$) και διατηρείται οχτώ μήνες μετά ($z= 1,000$, $p=.317$).

Γράφημα 3.10: Εξέλιξη νοηματοδότησης της λέξης μοντέλο



E1: αναπαράσταση, E0: όχι αναπαράσταση/ασαφείς

Ονομασία του μοντέλου ενός ματιού

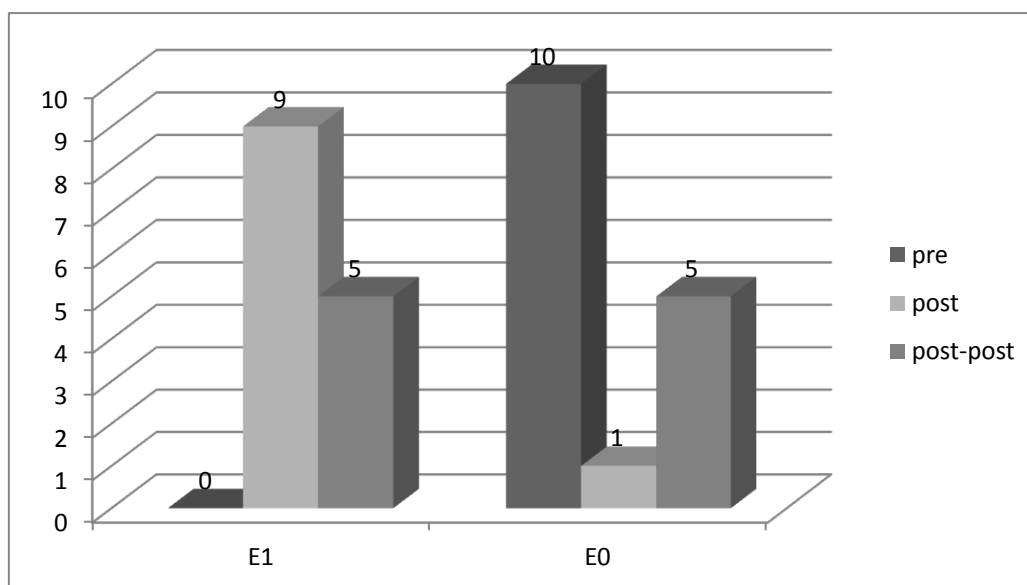
Στο ME2β, ζητήθηκε από τους μαθητές να δώσουν μια ονομασία στο μοντέλο ενός ματιού. Στο γράφημα 3.11, μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι πριν την εφαρμογή, κανένας μαθητής δεν απέδωσε στο μοντέλο του ματιού ονομασία που να δηλώνει αναπαράσταση (E1). Αντίθετα μετά την εφαρμογή της ΔΜΑ, εννέα μαθητές έδωσαν ονομασίες που δηλώνουν αναπαράσταση και οχτώ μήνες μετά ο αριθμός τους μειώθηκε, με τους μισούς να ονομάζουν την κατασκευή ως μοντέλο ή αναπαράσταση. Ενδεικτική απάντηση σ' αυτό το έργο είναι η εξής: «*Το μοντέλο του ματιού*».

Στην κατηγορία E0, κατατάχθηκαν οι μαθητές που στις απαντήσεις τους δεν έκαναν χρήση του όρου αναπαράσταση ή μοντέλο, και είναι όλοι οι μαθητές πριν την εφαρμογή, ένας μετά και οι μισοί μαθητές οχτώ μήνες αργότερα. Χαρακτηριστική απάντηση για την E0 είναι η εξής: «*τα μάτια*».

Από τη στατιστική ανάλυση προκύπτει ότι η βελτίωση της γνωστικής κατάστασης των μαθητών μετά την εφαρμογή είναι στατιστικά σημαντική ($z= 3,000$, $p=.003$). Η μείωση στην κατηγορία E1 από τους εννέα στους πέντε μαθητές είναι οριακά

στατιστικά σημαντική ($z= 2,000$, $p= .046$) γεγονός που μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η μάθηση δε διατηρείται οχτώ μήνες μετά την εφαρμογή.

Γράφημα 3.11: Ονομασία του μοντέλου ενός ματιού



E1: αναπαράσταση, E0: όχι αναπαράσταση/ ασαφείς απαντήσεις

EE6. Πώς εξελίσσεται η γνώση των μαθητών για το ρόλο των μοντέλων;

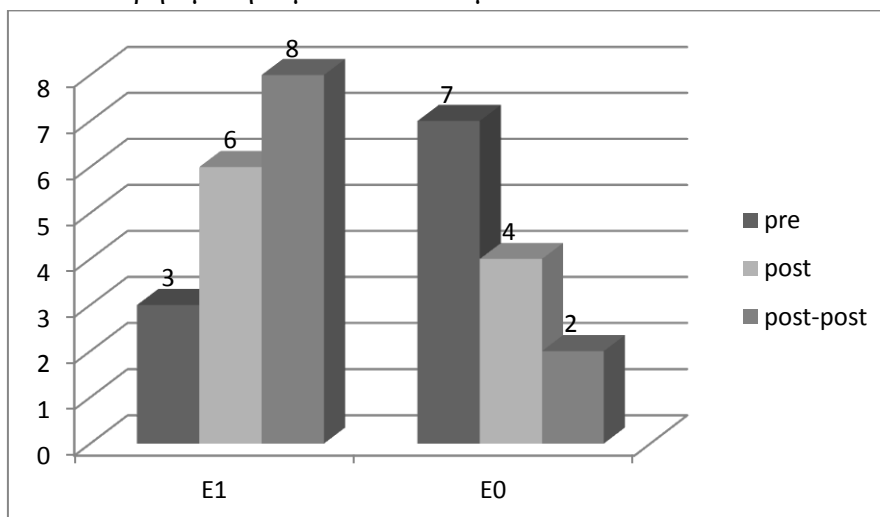
Χρησιμότητα του μοντέλου ενός ματιού

Το έργο ME2α, αφορά τη χρησιμότητα του μοντέλου ενός ματιού. Πριν την εφαρμογή της ΔΜΑ, όπως φαίνεται στο γράφημα 3.12, μόνο τρεις μαθητές θεώρησαν το μοντέλο ως εργαλείο μάθησης ή/και μέσο μεταφοράς πληροφοριών (E1) ενώ μετά την εφαρμογή ο αριθμός τους αυξήθηκε στους έξι και οχτώ μήνες μετά στους οχτώ μαθητές. Χαρακτηριστική απάντηση για την E1 είναι η εξής: «*Είναι ένα μοντέλο που μας δείχνει πως είναι το μάτι*».

Αντίθετα, πριν την εφαρμογή της ΔΜΑ οι περισσότεροι μαθητές, επτά στους δέκα, συνέδεσαν το μοντέλο με την πραγματικότητα και δεν αναγνώρισαν τη χρήση του ως εργαλείο μάθησης και μεταφοράς πληροφοριών (E0). Μετά την εφαρμογή, στην κατηγορία E0, εντάχθηκαν τέσσερις μαθητές ενώ οχτώ μήνες αργότερα μόνο δύο. Χαρακτηριστική απάντηση για την E0 είναι η εξής: «*(η κατασκευή) μας χρησιμεύει να βλέπουμε και να έχουμε όραση*».

Η βελτίωση της γνωστικής κατάστασης των μαθητών μετά την εφαρμογή δεν είναι στατιστικά σημαντική ($z= 1,342$, $p= .180$).

Γράφημα 3.12: Χρησιμότητα μοντέλου του ματιού



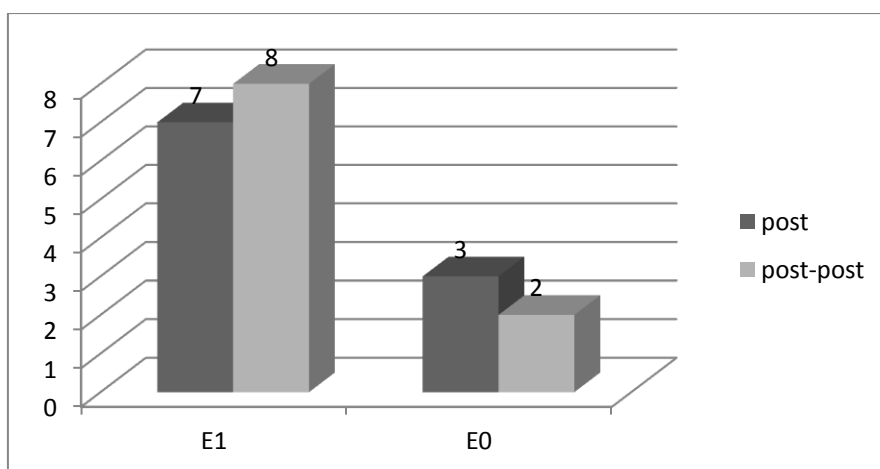
E1: εργαλείο μάθησης/μέσο μεταφοράς πληροφοριών, E0: σύνδεση με πραγματικότητα/όχι εργαλείο

Χρησιμότητα μοντέλου του φαινομένου του λωτού

Τα αποτελέσματα του έργου ΜΕ3 αφορούν μόνο τη μέτρηση μετά την εφαρμογή της ΔΜΑ και αυτή που έγινε οχτώ μήνες μετά. Στο έργο ΜΕ3 ζητήθηκε από τους μαθητές να εξηγήσουν ποια είναι η χρησιμότητα ενός μοντέλου του φαινομένου του λωτού. Όπως φαίνεται στο γράφημα 3.13, οι επτά από τους δέκα μαθητές μετά την εφαρμογή αναγνώρισαν τη χρησιμότητα του μοντέλου ως εργαλείο μάθησης ή/και ως μέσο μεταφοράς πληροφοριών (E1) καθώς και οχτώ μήνες μετά την εφαρμογή οχτώ μαθητές έδωσαν ανάλογες απαντήσεις. Ένα παράδειγμα απάντησης σ' αυτό το επίπεδο είναι το εξής: «Στο να καταλάβεις πως λειτουργεί το φαινόμενο του λωτού». Επίσης, μόνο τρεις μαθητές μετά την εφαρμογή δεν αναγνώρισαν τη χρησιμότητα του μοντέλου ως εργαλείου μάθησης ή/και ως μέσου μεταφοράς πληροφοριών (E0).

Από τη στατιστική ανάλυση προκύπτει ότι η μάθηση διατηρείται οχτώ μήνες μετά την παρέμβαση ($z = .577, p = .564$).

Γράφημα 3.13: Χρησιμότητα του μοντέλου του φαινομένου του λωτού



E1: εργαλείο μάθησης/μέσο μεταφοράς πληροφοριών, E0: σύνδεση με πραγματικότητα/όχι εργαλείο

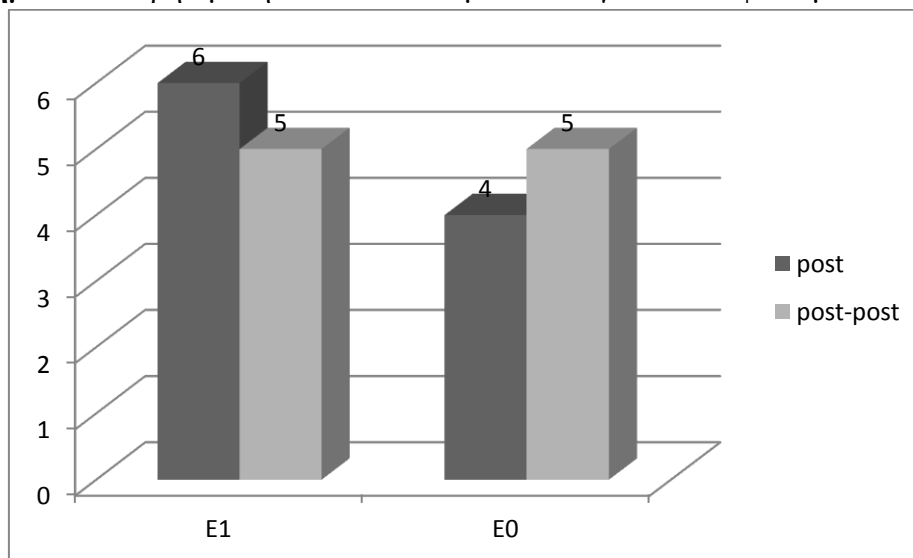
Χρησιμότητα ύπαρξης πολλαπλών μοντέλων για το ίδιο φαινόμενο

Τα αποτελέσματα του έργου ME4 αφορούν μόνο τη μέτρηση μετά την εφαρμογή και αυτή που έγινε οχτώ μήνες μετά. Στο έργο ME4 ζητήθηκε από τους μαθητές να αξιολογήσουν τη χρησιμότητα ύπαρξης διαφορετικών μοντέλων για το φαινόμενο του λωτού. Όπως φαίνεται στα αποτελέσματα (γράφημα 3.14), οι μαθητές που αναγνώρισαν ότι τα πολλαπλά μοντέλα για το φαινόμενο προσφέρουν διαφορετικές πληροφορίες ή/και πλεονεκτήματα (E1) μετά την εφαρμογή της ΔΜΑ ήταν έξι και οχτώ μήνες μετά την εφαρμογή ο αριθμός τους μειώθηκε κατά ένα. Χαρακτηριστική απάντηση της κατηγορίας E1 είναι η εξής: «*χρειάζεται γιατί έχουμε περισσότερες πληροφορίες και μας δείχνει καλύτερα τη λειτουργία του λωτού με λεπτομέρειες*».

Στην κατηγορία E0, όπου εντάχθηκαν οι απαντήσεις των μαθητών που δεν αναγνώρισαν την χρησιμότητα ύπαρξης διαφορετικών μοντέλων για το φαινόμενο του λωτού, εντάχθηκαν τέσσερις μαθητές μετά την εφαρμογή και πέντε οχτώ μήνες αργότερα. Χαρακτηριστική απάντηση της κατηγορίας E1 είναι η εξής: «*όχι χρειάζεται μόνο ένα γιατί καταλαβαίνουμε*».

Η μείωση που παρατηρείται στην κατηγορία E1 δεν είναι στατιστικά σημαντική ($z = .447, p = .655$). Αυτό σημαίνει ότι οι μαθητές συνεχίζουν, οχτώ μήνες μετά την εφαρμογή, να αναγνωρίζουν ότι τα διαφορετικά μοντέλα για το ίδιο φαινόμενο προσφέρουν διαφορετικές πληροφορίες ή/και πλεονεκτήματα.

Γράφημα 3.14: Χρησιμότητα πολλαπλών μοντέλων για το ίδιο φαινόμενο



E1: διαφορετικές πληροφορίες ή/και πλεονεκτήματα, E0:όχι διαφορετικές πληροφορίες, πλεονεκτήματα/ ασαφείς

4. Συζήτηση

Το παρόν κεφάλαιο, έχει στόχο την ερμηνεία και τη συζήτηση των αποτελεσμάτων της έρευνας καθώς και τη σύνδεσή τους με τη βιβλιογραφία. Η συζήτηση θα πραγματοποιηθεί σε δύο ενότητες και βάσει των ερευνητικών ερωτημάτων που τέθηκαν. Πιο συγκεκριμένα, η πρώτη ενότητα αφορά το περιεχόμενο της N-ET και η δεύτερη τα μοντέλα και τη μοντελοποίηση.

4.1 Συζήτηση των Αποτελεσμάτων σχετικά με το Περιεχόμενο της N-ET

4.1.1 Νοηματοδότηση της N-ET

Από την ανάλυση των δεδομένων σχετικά με τον τρόπο που οι μαθητές νοηματοδοτούν τη νανοτεχνολογία, προκύπτει ότι η συντριπτική πλειοψηφία των μαθητών πριν την εφαρμογή συνδέει τη νανοτεχνολογία με κάτι μικρό. Το αποτέλεσμα αυτό κινείται στο ίδιο πλαίσιο με αντίστοιχα αποτελέσματα πρόσφατης έρευνας που έχει διεξαχθεί σε ελληνικό σχολείο (Πέικος, 2016). Ωστόσο, σε διεθνές επίπεδο τα ευρήματα διαφοροποιούνται, με ελάχιστους μαθητές να συνδέουν τη νανοτεχνολογία με κάτι μικρό (Spencer & Angelotti, 2004; Waldron, Spencer, & Batt, 2006). Μια πιθανή ερμηνεία θα μπορούσε να αποτελεί το γεγονός ότι το πρόθεμα «νάνο» προέρχεται από την ελληνική λέξη νάνος που σημαίνει μικρός άνθρωπος. Η παραπάνω ερμηνεία ενισχύεται, καθώς εντοπίζονται στη βιβλιογραφία και άλλες προσπάθειες προσέγγισης του όρου νανοτεχνολογία ετυμολογικά από μαθητές (Waldron et al., 2006).

Επίσης, η νοηματοδότηση της νανοτεχνολογίας γίνεται κυρίως μέσα από τις μεγάλες ιδέες «Μέγεθος- Κλίμακα» ή/και «Όργανα παρατήρησης». Το αποτέλεσμα αυτό ίσως οφείλεται στο περιεχόμενο της ΔΜΑ, το οποίο έδινε βαρύτητα σ' αυτές τις ΜΙ του περιεχομένου της N-ET.

Τέλος, αναφοράς χρήζει η αύξηση του αριθμού των μαθητών που απάντησαν σύμφωνα με την «Επιστημονική άποψη» οχτώ μήνες μετά την εφαρμογή. Αυτό πιθανόν να οφείλεται στο γεγονός ότι οι μαθητές, λίγους μήνες πριν τη συμπλήρωση του τελικού ερωτηματολογίου, είχαν συμμετάσχει σε Φεστιβάλ Φυσικών Επιστημών και Τεχνολογίας με ένα μοντέλο σχετικό με το περιεχόμενο της N-ET.

4.1.2 Συζήτηση Αποτελεσμάτων σχετικά με τη ΜΙ «Μέγεθος και Κλίμακα»

Μικρότερο Αντικείμενο

Από την ανάλυση των απαντήσεων των μαθητών σχετικά με το μικρότερο αντικείμενο που πιστεύουν ότι υπάρχει παρατηρούμε σημαντική βελτίωση στη γνωστική τους κατάσταση, η οποία διατηρείται και οχτώ μήνες αργότερα. Ειδικότερα, παρατηρήθηκε μια μετατόπιση των απόψεων των μαθητών σχετικά με το μικρότερο αντικείμενο, από αντικείμενα αναφοράς (landmark objects) του μικρόκοσμου σε αντικείμενα αναφοράς του νανόκοσμου, με πολλούς μαθητές να αναφέρουν στις

απαντήσεις τους αντικείμενα με τα οποία είχαν ασχοληθεί κατά την εφαρμογή της ΔΜΑ, όπως οι «νανοπροεξοχές». Η μετατόπιση αυτή βρίσκεται σε συμφωνία με την υπάρχουσα βιβλιογραφία (Πέικος, 2016; Spencer & Angelotti, 2004).

Ωστόσο, παρατηρούμε ότι ελάχιστοι μαθητές πριν την εφαρμογή της ΔΜΑ αναφέρουν στις απαντήσεις τους αντικείμενα που ανήκουν στο μακρόκοσμο. Αντί αυτού, οι περισσότεροι αναφέρουν αντικείμενα του μικρόκοσμου και κυρίως βιολογικές οντότητες, όπως το κύτταρο. Το παραπάνω εύρημα διαφοροποιείται από τα ευρήματα παρόμοιων ερευνών, όπως αυτά των Spencer και Angelotti (2004), σύμφωνα με τους οποίους οι μαθητές του δημοτικού σχολείου αναφέρουν ως το μικρότερο αντικείμενο, άψυχα ή έψυχα αντικείμενα του μακρόκοσμου, όπως ο κόκκος σκόνης και το μυρμήγκι, αντίστοιχα. Η παραπάνω διαφοροποίηση πιθανόν να οφείλεται στο ΑΠΣ της φυσικής της Ε΄ Δημοτικού¹⁴, που θέτει στόχους που αφορούν το μικρόκοσμο όπως οι μαθητές «να αναγνωρίζουν ότι όλοι οι οργανισμοί αποτελούνται από κύτταρα» και «να διακρίνουν τα βασικά μέρη ενός κυττάρου».

Ταξινόμηση Αντικειμένων

Από την ανάλυση των απαντήσεων που αφορούν την ταξινόμηση αντικειμένων του μακρόκοσμου, του μικρόκοσμου και του νανόκοσμου βάσει του κόσμου στον οποίο ανήκουν ή/και του οργάνου παρατήρησής τους, παρατηρήσαμε τα εξής:

Πρώτον, κανένας μαθητής πριν την εφαρμογή της ΔΜΑ δεν ήταν σε θέση να ταξινομήσει σωστά τα αντικείμενα βάσει των παραπάνω κριτηρίων. Αυτό δικαιολογείται από το γεγονός ότι η συντριπτική πλειοψηφία των μαθητών πριν την εφαρμογή δεν γνώριζε αντικείμενα αναφοράς του νανόκοσμου καθώς και τη διάκριση των τριών κόσμων (μακρόκοσμος, μικρόκοσμος, νανόκοσμος). Επίσης, αξίζει να αναφερθεί ότι κανένας μαθητής πριν την εφαρμογή δεν αναφέρθηκε στο όργανο παρατήρησης του νανόκοσμου.

Δεύτερον, μετά την εφαρμογή της ΔΜΑ, παρατηρήθηκε σημαντική βελτίωση της ικανότητας ταξινόμησης των αντικειμένων αναφοράς του μακρόκοσμου, του μικρόκοσμου και του νανόκοσμου, η οποία διατηρήθηκε και οχτώ μήνες αργότερα. Πιο συγκεκριμένα, οι περισσότεροι μαθητές κατάφεραν να ταξινομήσουν σωστά τουλάχιστον τα επτά από τα οχτώ αντικείμενα αναφοράς με κριτήριο τον κόσμο στον οποίο ανήκουν ή/και το όργανο παρατήρησης. Το εύρημα αυτό βρίσκεται σε συμφωνία με πρόσφατη έρευνα (Πέικος, 2006). Η βελτίωση αυτή πιθανόν να οφείλεται στη βελτίωση της γνωστικής τους κατάστασης σχετικά με τα όργανα παρατήρησης, στη ρητή διδασκαλία των τριών κόσμων καθώς και στην ταξινόμηση αντικειμένων σ' αυτούς κατά τα διάρκεια της ΔΜΑ. Επίσης, αποτελεί ένδειξη ότι οι μαθητές κατάφεραν να κάνουν ρητή σύνδεση του εργαλείου παρατήρησης ενός φαινομένου/αντικειμένου με την κλίμακα στην οποία ανήκει (μακροκλίμακα/μακρόκοσμος, μικροκλίμακα/μικρόκοσμος και νανοκλίμακα/νανόκοσμος) (Stevens et al., 2009).

¹⁴ http://www.pi-schools.gr/download/programs/depps/24aps_erebno_to_fisiko_kosmo.pdf

Σειροθέτηση Αντικειμένων

Όσον αφορά τη σειροθέτηση αντικειμένων του μακρόκοσμου, του μικρόκοσμου και του νανόκοσμου με βάση φθίνουσα σειρά μεγέθους, από την ανάλυση των απαντήσεων παρατηρήσαμε τα εξής:

Στην αρχική μέτρηση, η πλειοψηφία των μαθητών δεν κατάφερε να σειροθετήσει σωστά τα αντικείμενα αναφοράς του μακρόκοσμου, με τις απαντήσεις τους να φανερώνουν ότι θεωρούν το μυρμήγκι μικρότερο από το κύτταρο. Το παραπάνω εύρημα δείχνει το μέγεθος της δυσκολίας που αντιμετωπίζουν οι μαθητές να κατανοήσουν ότι τα μικρά μακροσκοπικά αντικείμενα, όπως το μυρμήγκι, είναι μεγαλύτερα από το κύτταρο ή το άτομο (Castellini et al. 2007).

Ωστόσο, αρκετοί είναι και οι μαθητές που κατάφεραν να σειροθετήσουν σωστά είτε αντικείμενα του μακρόκοσμου, είτε αντικείμενα του μακρόκοσμου και του μικρόκοσμου. Παρατηρούμε λοιπόν ότι οι μαθητές συναντούν μικρότερη δυσκολία στη σειροθέτηση αντικειμένων απ' ό,τι στην ταξινόμηση ενισχύοντας την άποψη των Delgado et al. (2007), οι οποίοι υποστηρίζουν ότι οι μαθητές σημειώνουν καλύτερες επιδόσεις σε δραστηριότητες σειροθέτησης παρά σε δραστηριότητες ταξινόμησης αντικειμένων.

Στη μέτρηση που διεξήχθη μετά την εφαρμογή καθώς και οχτώ μήνες αργότερα, οι περισσότεροι μαθητές σειροθέτησαν σωστά όλα τα αντικείμενα. Αποδίδουμε τη βελτίωση της ικανότητας σειροθέτησης των μαθητών στην ίδια τη ΔΜΑ και στο γεγονός της οικοδόμησης του ποιοτικού κριτηρίου «ποιο αντικείμενο χωράει μέσα σε ποιο» (Πέικος, 2016) για τη σειροθέτηση αντικειμένων, μέσα από την ενεργό συμμετοχή τους σε κατάλληλες δραστηριότητες.

Περιγραφή του φαινομένου της ίωσης

Από την ανάλυση των απαντήσεων που αφορούν την επίδραση του νανόκοσμου στο μικρόκοσμο και στο μακρόκοσμο, μέσα από την αναφορά αντικειμένων που σχετίζονται με την ίωση, παρατηρήσαμε τα εξής:

Πρώτον, οι περισσότεροι μαθητές κατάφεραν μετά την εφαρμογή της ΔΜΑ, να περιγράψουν το φαινόμενο της ίωσης αναφέροντας αντικείμενα αναφοράς και για τους τρεις κόσμους. Αυτό ίσως να αποτελεί ένδειξη ανάπτυξης μιας ποιοτικής κατηγοριοποιητικής αντίληψης του μεγέθους και της κλίμακας (Magana et al., 2012). Ανάλογα ήταν και τα ευρήματα του Πέικου (2016), σύμφωνα με τον οποίο πάνω από τους μισούς μαθητές μετά την παρέμβαση κατάφεραν να περιγράψουν την επίδραση του νανόκοσμου, στο μικρόκοσμο και στο μακρόκοσμο ταξινομώντας τα σχετικά αντικείμενα στους τρεις κόσμους.

Δεύτερον, αν και οι μαθητές παρουσίασαν καλές επιδόσεις μετά την εφαρμογή, υπήρξε σημαντική μείωση οχτώ μήνες αργότερα, με ελάχιστους μαθητές να περιγράφουν το φαινόμενο της ίωσης αναφέροντας είτε αντικείμενα και των τριών κόσμων είτε αντικείμενα δύο κόσμων. Το παραπάνω αποτέλεσμα καταδεικνύει την δυσκολία των μαθητών να διατηρήσουν τις δεξιότητες ταξινόμησης σε διαφορετικά

πλαίσια μετά το πέρας οχτώ μηνών (Spyrtou, Hatzikraniotis & Kariotoglou, 2009), και χρήζει περαιτέρω διερεύνησης.

4.1.3 Συζήτηση Αποτελεσμάτων σχετικά με τη ΜΙ «Εργαλεία και Όργανα»

Όργανο παρατήρησης του μικρότερου αντικειμένου

Από την ανάλυση των απαντήσεων των μαθητών σχετικά με το όργανο παρατήρησης του μικρότερου αντικειμένου που κατέγραψαν, παρατηρήσαμε ότι οι περισσότεροι μαθητές πριν την εφαρμογή της ΔΜΑ, ανέφεραν σωστό όργανο παρατήρησης για αντικείμενα του μικρόκοσμου, κάτι που καταδεικνύει ότι οι περισσότεροι μαθητές αυτής της ηλικίας γνωρίζουν το οπτικό μικροσκόπιο. Ωστόσο, δεν εντοπίστηκε καμία απάντηση που να αναφέρει ως όργανο παρατήρησης το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο.

Μετά την εφαρμογή καθώς και οχτώ μήνες αργότερα, η πλειοψηφία των μαθητών κατέγραψε ως όργανο παρατήρησης του νανόκοσμου το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο, διαχωρίζοντας σε ορισμένες περιπτώσεις το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο απ' το οπτικό με τον όρο «νανομικροσκόπιο». Το εύρημα αυτό βρίσκεται σε συμφωνία με τα αποτελέσματα της επισκόπησης της βιβλιογραφίας (Πέικος, 2016) και είναι σημαντικό μιας και σύμφωνα με τους Stevens et al. (2009) τα όργανα παρατήρησης μπορούν να βοηθήσουν τους μαθητές στο διαχωρισμό του τεράστιου εύρους των μεγεθών των υπό μελέτη αντικειμένων, σε διαφορετικές κλίμακες ή κόσμους (μακρόκοσμος, μικρόκοσμος, νανόκοσμος).

Όργανα παρατήρησης μακροσκοπικών, μικροσκοπικών και νανοσκοπικών αντικειμένων.

Από την ανάλυση των απαντήσεων των μαθητών σχετικά με τη γνώση τους για τα όργανα παρατήρησης των μακροσκοπικών, μικροσκοπικών και νανοσκοπικών αντικειμένων παρατηρήσαμε τα παρακάτω:

Πρώτον, πριν την εφαρμογή της ΔΜΑ οι περισσότεροι μαθητές έκαναν αναφορά στα όργανα παρατήρησης του μακρόκοσμου και του μικρόκοσμου ενώ μετά την εφαρμογή και οχτώ μήνες αργότερα όλοι οι μαθητές κάνουν αναφορά στα όργανα παρατήρησης και των τριών κόσμων.

Θεωρούμε ότι η βελτίωση της γνώσης των μαθητών σχετικά με τα όργανα παρατήρησης, είναι αποτέλεσμα της ξεχωριστής προσέγγισης των τριών κόσμων στηριζόμενοι στα όργανα παρατήρησης, ξεκινώντας από τον πιο οικείο προς τους μαθητές κόσμο, το μακρόκοσμο.

4.1.4 Συζήτηση Αποτελεσμάτων σχετικά με τη ΜΙ «Ιδιότητες Εξαρτώμενες από το μέγεθος»

Το φαινόμενο της υδροφοβικότητας τεχνητών υπερυδροφобων υλικών - Η λειτουργία του νανοσπρί στο χαρτί

Όσον αφορά τις απαντήσεις των μαθητών σχετικά με τη λειτουργία του νανοσπρί στις επιφάνειες, παρατηρήσαμε ότι αρχικά η πλειοψηφία των μαθητών δήλωσαν άγνοια ή έδωσαν ασαφείς απαντήσεις. Επίσης, οι απαντήσεις των μαθητών, όπως και στην περίπτωση του φαινομένου της υδροφοβικότητας του λάχανου, επικεντρώθηκαν στα χαρακτηριστικά του χαρτιού ή της σταγόνας μελανιού. Πιο συγκεκριμένα, οι εναλλακτικές ιδέες που εντοπίστηκαν είναι οι εξής: α) το μελάνι έχει ζεσταθεί / το μελάνι είναι παγωμένο, β) το μελάνι είναι πηχτό, γ) αναφορά στην κλίση του χαρτιού, δ) το χαρτί έχει γλιστράει / το χαρτί έχει ζελατίνη και ε) το χαρτί είναι σκληρό.

Η ΔΜΑ φαίνεται να βοήθησε τους μαθητές να αναπτύξουν το νανογραμματισμό τους, κάνοντας χρήση όρων νανογραμματισμού, όπως νανοπροεξοχές και νανοσπρί, καθώς και να εγκαταλείψουν τις εναλλακτικές τους ιδέες.

Το φαινόμενο της υδροφοβικότητας φυσικών υπερυδροφобικών υλικών – Το φαινόμενο του λάχανου.

Από την ανάλυση των απαντήσεων των μαθητών σχετικά με το φαινόμενο της υδροφοβικότητας στο λάχανο, παρατηρήσαμε ότι στην αρχική μέτρηση οι απαντήσεις των μαθητών επικεντρώθηκαν είτε στα χαρακτηριστικά του φύλλου είτε στα χαρακτηριστικά της σταγόνας. Πιο συγκεκριμένα, οι εναλλακτικές ιδέες που εντοπίστηκαν είναι οι εξής: α) η επιφάνεια του λάχανου γλιστράει, β) το λάχανο είναι στερεό, γ) αναφορά στην κλίση του φύλλου, δ) η σταγόνα δεν έχει στεγνώσει και ε) η σταγόνα κολλάει στο φύλλο.

Μετά την εφαρμογή καθώς και οχτώ μήνες αργότερα η πλειοψηφία των μαθητών περιγράφουν το φαινόμενο της υδροφοβικότητας με τη χρήση όρων νανογραμματισμού, όπως είναι οι νανοπροεξοχές. Παρόμοια, ήταν και τα αποτελέσματα πρόσφατης έρευνας που έχει διεξαχθεί σε ελληνικό σχολείο (Πέικος, 2016).

Παρ' όλα αυτά υπήρχαν και μαθητές οι οποίοι απέδωσαν την υδροφοβικότητα του λάχανου στη χρήση νανοσπρί. Θεωρούμε ότι αυτό οφείλεται στην ενασχόληση των μαθητών με τεχνητά υπερυδροφобα υλικά στην 5^η διδακτική ενότητα και χρήζει περαιτέρω διερεύνησης.

4.2 Συζήτηση Αποτελεσμάτων σχετικά με τη Φύση και το Ρόλο των Μοντέλων

Η φύση των μοντέλων

Από την ανάλυση των απαντήσεων των μαθητών σχετικά με τη φύση των μοντέλων προκύπτει ότι υπήρξε σημαντική βελτίωση στις απαντήσεις τους μετά την εφαρμογή. Πιο συγκεκριμένα, όσον αφορά το νόημα που δίνουν οι μαθητές στη λέξη μοντέλο, τόσο μετά την εφαρμογή της ΔΜΑ όσο και οχτώ μήνες αργότερα, φαίνεται ότι κατάφεραν να αναγνωρίσουν την αναπαραστατική φύση των μοντέλων, ξεπερνώντας τις βασικές εναλλακτικές τους ιδέες, δηλαδή την ταύτιση του μοντέλου με την πραγματικότητα ή τα καλλιστεία. Τα ευρήματα αυτά βρίσκονται σε συμφωνία με την επισκόπηση της βιβλιογραφίας (Πέικος, 2016; Ζουπίδης, 2012; Treagust et al., 2002).

Η βελτίωση της γνωστικής κατάστασης όσον αφορά τη φύση των μοντέλων μπορεί να αποδοθεί στη ρητή διδασκαλία στοιχείων της φύσης των μοντέλων, όπως έχει προταθεί από τους Schwarz και White (2005), καθώς και στην εκτεταμένη ενασχόληση των μαθητών με τα μοντέλα και την εμπλοκή τους σε διαδικασίες μοντελοποίησης σε όλες τις διδακτικές ενότητες της ΔΜΑ.

Αξίζει ωστόσο να σημειωθεί ότι οι μαθητές παρουσίασαν δυσκολία στην ονομασία του μοντέλου ενός ματιού, και ενώ παρατηρούμε σημαντική βελτίωση μετά την εφαρμογή, με τους μαθητές να δίνουν απαντήσεις τονίζοντας την αναπαραστατική φύση των μοντέλων, η μάθηση δε διατηρήθηκε οχτώ μήνες αργότερα. Θεωρούμε ότι η ύπαρξη συνέντευξης θα είχε βοηθήσει στην αποσαφήνιση των αιτιών της δυσκολίας αυτής και ως εκ τούτου το εύρημα αυτό χρήζει περαιτέρω διερεύνησης.

Ο ρόλος των μοντέλων

Από την ανάλυση των απαντήσεων σχετικά με τη χρησιμότητα του μοντέλου ενός ματιού παρατηρούμε ότι πριν την εφαρμογή, υπήρχαν κάποιοι μαθητές που αναγνώρισαν την περιγραφική φύση του μοντέλου. Το εύρημα αυτό βρίσκεται σε συμφωνία με αντίστοιχες έρευνες (Ζουπίδης, 2012· Treagust et al., 2002), που υποστηρίζουν ότι οι μαθητές έχουν προϋπάρχουσες ιδέες σχετικά με το ρόλο των μοντέλων, ιδίως όταν αυτά παρουσιάζουν μεγαλύτερη ομοιότητα με το στόχο που αναπαριστούν (Ζουπίδης, 2012).

Ιδιαίτερα θετικά είναι και τα αποτελέσματα για τη χρησιμότητα μοντέλων του νανόκοσμου (μοντέλο λωτού) μιας και οι περισσότεροι μαθητές αναγνώρισαν τόσο την αξία τους ως εργαλεία μεταφοράς πληροφοριών όσο και ως εργαλεία διδασκαλίας και μάθησης. Επίσης, ένας μεγάλος αριθμός μαθητών αναγνώρισε την αξία των πολλαπλών μοντέλων για το φαινόμενο του νανόκοσμου που μελετήθηκε (φαινόμενο του λωτού), κατανοώντας ότι διαφορετικά μοντέλα προσφέρουν διαφορετικές πληροφορίες για το ίδιο φαινόμενο. Παρόμοια είναι και τα ευρήματα πρόσφατης έρευνας στον τομέα της νανοτεχνολογίας (Πέικος, 2016).

Συμπερασματικά, θα υποστηρίξαμε ότι η ΔΜΑ φαίνεται να βοήθησε τους μαθητές να βελτιώσουν τις απόψεις τους σχετικά με το ρόλο των μοντέλων, καθώς παρατηρήθηκε ότι τόσο μετά την εφαρμογή όσο και οχτώ μήνες αργότερα, οι μαθητές

αναγνώρισαν την περιγραφική και πολλές φορές και την ερμηνευτική φύση των μοντέλων.

4.3 Οι Περιορισμοί της Έρευνας και Προτάσεις για το Μέλλον

Η παρούσα έρευνα επικεντρώνεται στη μελέτη και στην αξιολόγηση μιας Διδακτικής Μαθησιακής Ακολουθίας (DMA) καινοτομικού περιεχομένου. Αν και τα αποτελέσματα είναι ενθαρρυντικά για τη μάθηση τόσο του περιεχομένου της N-ET όσο και των μοντέλων, στηρίζονται σε ένα αρκετά μικρό δείγμα μαθητών. Το γεγονός αυτό δεν μας επιτρέπει να γενικεύσουμε τα αποτελέσματά μας εξάγοντας συμπεράσματα για το γενικότερο πληθυσμό των μαθητών. Ωστόσο, αν και όπως αναφέρθηκε το περιεχόμενο της DMA είναι καινοτομικό και σύγχρονο, σε αρκετές περιπτώσεις τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας συνάδουν με τα αποτελέσματα ανάλογων ερευνών και θα μπορούσαν να αποτελέσουν ένα έναυσμα για περαιτέρω διερεύνηση του θέματος.

Επιπλέον, το ερευνητικό εργαλείο που επιλέχθηκε για την αξιολόγηση της μάθησης ήταν το ερωτηματολόγιο. Δεδομένου ότι η έρευνά μας μελετά πέρα από τις γνώσεις, τις ιδέες και τις αντιλήψεις των μαθητών σχετικά με ένα σύγχρονο αντικείμενο, ενδεχομένως να ήταν αποδοτικότερη η συνδυαστική χρήση συνεντεύξεων. Η άμεση επαφή με τους μαθητές θα μας έδινε τη δυνατότητα λήψης διευκρινήσεων σε σημεία που το θεωρούσαμε απαραίτητο.

Σε μια μελλοντική έρευνα, θα ήταν σημαντικό να αυξηθεί ο αριθμός των συμμετεχόντων καθώς και η συμμετοχή σχολείων διαφορετικών περιοχών. Επίσης, ενδιαφέρον θα παρουσίαζε η ανάλυση της μάθησης που πραγματοποιείται, μέσα από ποικίλες πηγές δεδομένων. Προτείνουμε, εκτός από τη χρήση του γραπτού ερωτηματολογίου, τη χρήση συνέντευξης ως ερευνητικό εργαλείο καθώς και τη βιντεοσκόπηση για περισσότερα ποιοτικά δεδομένα.

Βιβλιογραφία

- Abd-El-Khalick, F., BouJaoude, S., Duschl, R. A., Hofstein, A., Lederman, N. G., Mamlok, R., Niaz, M., Treagust, D., & Tuan, H. (2004). Inquiry in science education: international perspectives. *Science Education*, 88(3), 397–419.
- Abicht, L., Freikamp, H. and Schumann, U. (2006). Identification of skill needs in nanotechnology. *Cedefop Panorama series 120*. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.
- Allhoff, F., Lin, P., & Moore, D. (2010). What is nanotechnology and why does it matter? From science to ethics. Hoboken, NJ: Wiley-Blackwell Publishing.
- Anderson, R. D. (2002). Reforming science teaching: What research says about inquiry. *Journal of science teacher education*, 13(1), 1-12.
- Barab, S. A., Hay, K. E., Barnett, M., & Keating, T. (2000). Virtual solar system project: Building understanding through model building. *Journal of research in science teaching*, 37(7), 719-756.
- Bhushan, B., Jung, Y. C., & Koch, K. (2009). Micro-, nano- and hierarchical structures for superhydrophobicity, self-cleaning and low adhesion. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 367(1894), 1631-1672.
- Boulter, C. J., & Buckley, B. C. (2000). Constructing a typology of models for science education. In J.K. Gilbert, & C.J. Boulter (Eds.), *Developing Models in Science Education* (pp. 41-57). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- 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.
- Buckley, B. C., & Boulter, C. J. (2000). Investigating the role of representations and expressed models in building mental models. In J.K. Gilbert, & C.J. Boulter (Eds.), *Developing Models in Science Education* (pp. 119–135). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Castellini, O. M., Walejko, G. K., Holladay, C. E., Theim, T. J., Zenner, G. M., & Crone, W. C. (2007). Nanotechnology and the public: Effectively communicating nanoscale science and engineering concepts. *Journal of Nanoparticle Research*, 9(2), 183-189.

- Carpenter, T. P., & Romberg, T. A. (2004). *Powerful practices in mathematics and science: Research-based practices for teaching and learning*. Madison: University of Wisconsin.
- 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*, 48.
- Cohen, L., Manion, L. & Morrison, K. (2008). *Μεθοδολογία Εκπαιδευτικής Έρευνας*. Αθήνα: Μεταίχμιο
- Coll, R. K., & Lajium, D. (2011). Modeling and the Future of Science Learning. In M. S. Khine & I. M. Saleh (Eds.), *Models and Modeling in Science Education: Cognitive Tools for Scientific Enquiry* (pp. 3–21). Dordrecht, The Netherlands: Springer.
- Creswell, J. W., & Miller, D. L. (2000). Determining validity in qualitative inquiry. *Theory into practice*, 39(3), 124-130.
- 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.
- Donoval, D. (2007). Trends and applications in nanotechnology and their impact on future skill needs. In A. Zunkersteinova (Eds.), *Skill needs in emerging technologies: Nanotechnology* (pp.4-5). Cedefop, Thessaloniki, GR, 65.
- Duit, R. (2007). Science education research internationally: Conceptions, research methods, domains of research. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 3(1), 3-15.
- Elo, S., & Kyngäs, H. (2008). The qualitative content analysis process. *Journal of advanced nursing*, 62(1), 107-115.
- Feather, J. L., & Aznar, M. F. (2010). *Nanoscience education, workforce training, and K-12 resources*. New York: CRC Press.
- Feynman, R. P. (1960). There's plenty of room at the bottom. *Engineering and science*, 23(5), 22-36.
- Filipponi, L., & Sutherland, D. (2013). *Nanotechnologies: Principles, Applications, Implications and Hands-on Activities*. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- Ghatts, N. I., & Carver, J. S. (2012). Integrating nanotechnology into school education: a review of the literature. *Research in Science & Technological Education*, 30(3), 271-284.

- Gilbert, J. K. (2004). Models and modelling: Routes to more authentic science education. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 2(2), 115-130.
- Gilbert, J. K., & Boulter, C. (1993). Models and modeling in science education. *Association of Science Education*. Hatfield, UK.
- Gilbert, J. K., & Boulter, C. J. (1998). Learning Science Through Models and Modelling. In: B. J. Fraser & K. G. Tobin (Eds.), *International Handbook of Science Education* (pp.53-66). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer.
- Gilbert, J. K., & Boulter, C. (Eds.). (2012). *Developing models in science education*. New York: Springer Science & Business Media.
- Gilbert, J.K., Boulter, C.J., & Elmer, R. (2000). Positioning models in science education and in design and technology education. In J.K. Gilbert and C.J. Boulter (Eds.), *Developing models in science education* (pp. 3–18). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer.
- Gilbert, J., & Justi, R. (2016). *Modelling-based Teaching in Science Education* (Vol. 9). Springer.
- Gobert, J. D., & Pallant, A. (2004). Fostering students' epistemologies of models via authentic model-based tasks. *Journal of Science education and Technology*, 13(1), 7-22.
- Grosslight, L., Unger, C., Jay, E., & Smith, C. L. (1991). Understanding models and their use in science: Conceptions of middle and high school students and experts. *Journal of Research in Science teaching*, 28(9), 799-822.
- Hestenes, D. (1987). Toward a modeling theory of physics instruction. *American journal of physics*, 55(5), 440-454.
- Hestenes, D. (1995). Modeling software for learning and doing physics. In C. Bernardini, C. Tarsitani & M. Vincentini (Eds.). *Thinking physics for teaching* (pp.25-66). New York: Plenum.
- 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.
- Hsieh, H. F., & Shannon, S. E. (2005). Three approaches to qualitative content analysis. *Qualitative health research*, 15(9), 1277-1288.
- Huberman, A. M., & Miles, M. B. (1994). Data management and analysis methods. In N. K. Denzin, & Y. S. Lincoln (Eds.), *Handbook of qualitative research* (pp.428-435). Thousand Oaks, CA: Sage Publications.

- Jones, M. G., Blonder, R., Gardner, G. E., Albe, V., Falvo, M., & Chevrier, J. (2013). Nanotechnology and nanoscale science: Educational challenges. *International Journal of Science Education*, 35(9), 1490-1512.
- Ιωσηφίδης, Θ. (2008). *Ποιοτικές μέθοδοι έρευνας στις κοινωνικές επιστήμες*. Αθήνα: Κριτική.
- Kariotoglou, P., Psillos, D., & Tselfes, V. (2003). Modelling the Evolution of Teaching—Learning Sequences: from Discovery to Constructivism. In *Science education research in the knowledge-based society* (pp. 259-268). Netherlands: Springer
- 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.
- Kumar, N., & Kumbhat, S. (2016). *Essentials in Nanoscience and Nanotechnology*. New York: 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.
- Laherto, A. (2012). *Nanoscience education for scientific literacy: Opportunities and challenges in secondary school and in out-of-school settings*. A PhD thesis. Department of Physics Faculty of Science University of Helsinki, Helsinki.
- Lee, S. W. Y., Chang, H. Y., & Wu, H. K. (2015). Students’ Views of Scientific Models and Modeling: Do Representational Characteristics of Models and Students’ Educational Levels Matter?. *Research in Science Education*, 1-24.
- Lijnse, P. L. (1995). “Developmental research” as a way to an empirically based “didactical structure” of science. *Science education*, 79(2), 189-199.
- Lijnse, P., & Klaassen, K. (2004). Didactical structures as an outcome of research on teaching-learning sequences?. *International Journal of Science Education*, 26(5), 537-554.
- Linn, M. C., & Muilenburg, L. (1996). Creating lifelong science learners: What models form a firm foundation?. *Educational Researcher*, 25(5), 18-24.
- 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.
- 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 δου*

Πανελληνίου Συνεδρίου της Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση (σσ. 658-665). Βόλος: Παιδαγωγικό Τμήμα Ειδικής Αγωγής.

- 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.
- Mayring, P. (2000). Qualitative content analysis. *Forum Qualitative Social Research/Forum Qualitative Sozialforschung*, 1(2). <http://www.qualitative-research.net/index.php/fqs/article/viewArticle/1089/2385> (Προσπελάστηκε 05/01/2017)
- McCarthy, C., Ostman, R., Maletz, E., & Hale, S. (2008). *How Small Is Nano? Measuring Different Things*. Sciencenter, Ithaca, NY. http://www.nisenet.org/sites/default/files/HowSmallIsNano_Text_May10.pdf (Προσπελάστηκε 10/10/2016)
- Méheut, M., & Psillos, D. (2000). Designing and validating teaching-learning sequences in a research perspective. In *An international symposium, Paris*.
- 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. R. (2011). *Macro-meso-micro thinking with structure-property relations for chemistry education*. Doctoral thesis, Faculty of Science, Utrecht, The Netherlands. <https://dspace.library.uu.nl/handle/1874/205840> (Προσπελάστηκε 17/11/2016)
- Minner, D. D., Levy, A. J., & Century, J. (2010). Inquiry-based science instruction-what is it and does it matter? Results from a research synthesis years 1984 to 2002. *Journal of research in science teaching*, 47(4), 474-496.
- Morse, J. M., & Field, P. A. (1995). *Nursing research: The application of qualitative approaches*. United Kingdom: Nelson Thornes.
- Mulholland, J., & Wallace, J. (2003). Strength, sharing and service: Restorying and the legitimation of research texts. *British Educational Research Journal*, 29(1), 5-23.
- National Research Council (NRC). (1996). *National science education standards*. Washington, DC: National Academy Press.
- National Research Council (NRC). (2000). *Inquiry and the national science education standards: A guide for teaching and learning*. Washington, DC: National Academy Press.

- National Nanotechnology Initiative (NNI). (n.d a). *Nanotechnology 101: What's so special about the Nanoscale?* <http://www.nano.gov/nanotech-101/special> (Προσπελάστηκε 02/09/2016).
- National Nanotechnology Initiative (NNI). (n.d b). *Nanotechnology and You: Benefits and Application?* <http://www.nano.gov/you/nanotechnology-benefits> (Προσπελάστηκε 02/09/2016).
- Palmberg, C., Dernis, H., & Miguet, C. (2009). *Nanotechnology: an overview based on indicators and statistics*. STI Working Paper 2009/7, Paris: OECD.
- Papaevripidou, M., Constantinou, C. P., & Zacharia, Z. C. (2007). The Development of Elementary Students' Understanding of Complex Ecosystems Through a Model-Based Approach. In R. Pintó and D. Couso (Eds.), *Contributions from Science Education Research* (pp. 333-345). Netherlands: Springer.
- Patton, M. Q. (2002). Qualitative analysis and interpretation. *Qualitative research and evaluation methods*, 3, 431-539.
- Πέικος, Γ. (2016). *Σχεδιασμός, Ανάπτυξη και Αξιολόγηση Διδακτικής Μαθησιακής Ακολουθίας για τη Διδασκαλία του Περιεχομένου της Νανοεπιστήμης – Νανοτεχνολογία στο Δημοτικό Σχολείο*. Μεταπτυχιακή εργασία. Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας, Φλώρινα.
- 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 (Επμ.), *Διδασκαλία και Μάθηση στις Φυσικές Επιστήμες και την Τεχνολογία: Έρευνες, Καινοτομίες και Πρακτικές, Πρακτικά του 9ου Πανελληνίου συνεδρίου των Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση* (σσ. 1047-1052). Θεσσαλονίκη: Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο.
- Πέικος, Γ., Μάνου, Λ. & Σπύρτου, Α. (2015). Ανάπτυξη και αξιολόγηση Διδακτικής Μαθησιακής Σειράς για την διδασκαλία της Νανοεπιστήμης - Νανοτεχνολογίας στο δημοτικό σχολείο. Στο Δ. Ψύλλος, Α. Μολοχίδης & Μ. Καλλέρη (Επμ.), *Διδασκαλία και Μάθηση στις Φυσικές Επιστήμες και την Τεχνολογία: Έρευνες, Καινοτομίες και Πρακτικές, Πρακτικά του 9ου Πανελληνίου συνεδρίου των Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση* (σσ. 279-286). Θεσσαλονίκη: Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο.
- Penner, D. E. (2000). Cognition, computers, and synthetic science: Building knowledge and meaning through modeling. *Review of research in education*, 25, 1-35.
- 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: Introducing the science of materials in European schools*, (pp. 11–34). Dordrecht: Springer.

- Psillos, D., & Méheut, M. (2001). Teaching-learning sequences as a means for linking research to development. In D. Psillos, P. Kariotoglou, V. Tselfes, G. Bisdikian, G. Fassouloupoulos, E. Hatzikraniotis and M. Kallery (Eds.) *Proceedings of the Third International Conference on Science Education Research in the Knowledge Based Society* (pp. 226–241). Thessaloniki: Art of Text Publications.
- 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.
- 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. (2005). Societal implications of nanoscience and nanotechnology: Maximizing human benefit. *Journal of Nanoparticle Research*, 7(1), 1-13.
- Rogers, B., Adams, J., & Pennathur, S. (2014). *Nanotechnology: understanding small systems*. New York: CRC Press.
- Samaha, M. A., Tafreshi, H. V., & Gad-el-Hak, M. (2012). Superhydrophobic surfaces: From the lotus leaf to the submarine. *Comptes Rendus Mecanique*, 340(1), 18-34.
- Schank, P., Krajcik, J., & Yunker, M. (2007). Can nanoscience be a catalyst for educational reform. *Nanoethics—the ethical and social implications of nanotechnology*. New Jersey: John Wiley & Sons, 277-290.
- Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., Achér, A., Fortus, D., ... & Krajcik, J. (2009). Developing a learning progression for scientific modeling: Making scientific modeling accessible and meaningful for learners. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 632-654.
- Schwarz, C. V., & White, B. Y. (2005). Metamodeling knowledge: Developing students' understanding of scientific modeling. *Cognition and instruction*, 23(2), 165-205.
- Siegel, S., & Castellan, N. J. (1988). *Nonparametric systems for the behavioural sciences*. New York: McGraw- Hill Book Company.
- Sins, P.H.M. (2006). *Students' reasoning during computer-based scientific modeling*. A PhD thesis. University of Amsterdam. Amsterdam.

- Spencer, D., & Angelotti, V. (2004). It's a NanoWorld—a summative study. *A report to the National Science Foundation*. Arlington, VA.
- 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.
- Stevens, S. Y., Sutherland, L. M., & Krajcik, J. S. (2009). *The big ideas of nanoscale science and engineering*. NSTA press.
- Stratford, S. J., Krajcik, J., & Soloway, E. (1998). Secondary students' dynamic modeling processes: Analyzing, reasoning about, synthesizing, and testing models of stream ecosystems. *Journal of Science Education and Technology, 7*(3), 215-234.
- 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.
- Taniguchi, N. (1974). On the basic concept of 'nano-technology'. *Proceedings of the International Conference of Production Engineering*. Tokyo: Japan Society of Precision Engineering.
- 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, T. L. (2002). Students' understanding of the role of scientific models in learning science. *International Journal of Science Education, 24*(4), 357-368.
- 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.
- White, B. Y., & Frederiksen, J. R. (1990). Causal model progressions as a foundation for intelligent learning environments. *Artificial intelligence, 42*(1), 99-157.
- Zhang, B., Liu, X., & Krajcik, J. S. (2006). Expert models and modeling processes associated with a computer-modeling tool. *Science Education, 90*(4), 579-604.

Zhang, Y., & Wildemuth, B. M. (2016). Qualitative Analysis of Content. *Applications of Social Research Methods to Questions in Information and Library Science*, 318.

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. Φλώρινα.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

Ερωτηματολόγιο αρχικής μέτρησης Α' Μέρος



Ερωτηματολόγιο

Όνοματεπώνυμο: _____

Ημερομηνία: _____

Σχολείο: _____



Απάντησε στις παρακάτω ερωτήσεις:

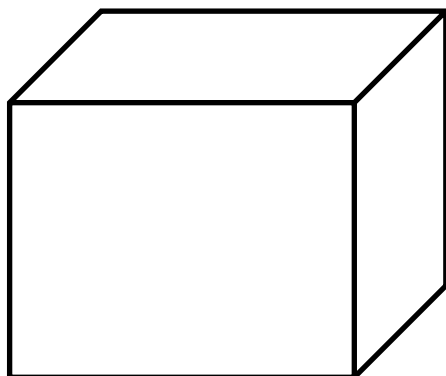
1. Ένας μαθητής διάβασε στο διαδίκτυο την λέξη **νανοτεχνολογία** και αναρωτήθηκε τι άραγε να σημαίνει. Προσπάθησε να του εξηγήσεις τι νομίζεις εσύ ότι είναι η νανοτεχνολογία.

2. Ποιο νομίζεις ότι είναι το μικρότερο αντικείμενο που υπάρχει;	
3. Πώς μπορείς να δεις το αντικείμενο που έγραψες;	

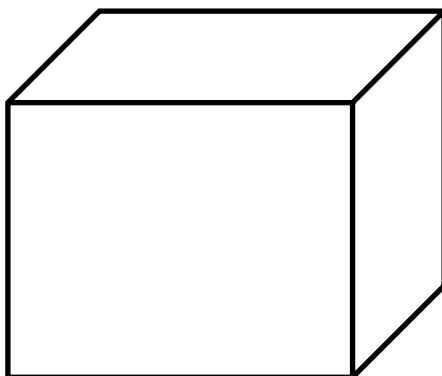
4. Ταξινόμησε τα παρακάτω αντικείμενα στα κουτιά με βάση το μέγεθός τους.

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

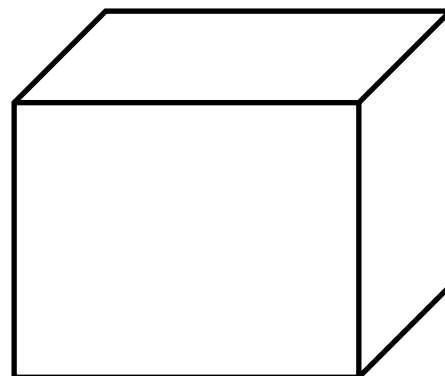
1



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:

5. Με ποιο όργανο νομίζεις ότι μπορείς να δεις τα αντικείμενα του:

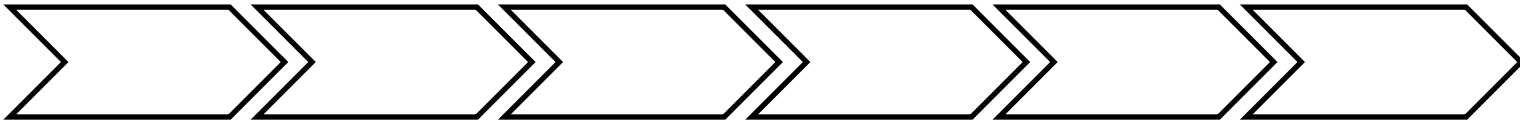
κουτιού 1	
κουτιού 2	
κουτιού 3	

6. Τοποθέτησε τα παρακάτω αντικείμενα από το **μεγαλύτερο προς το μικρότερο**.

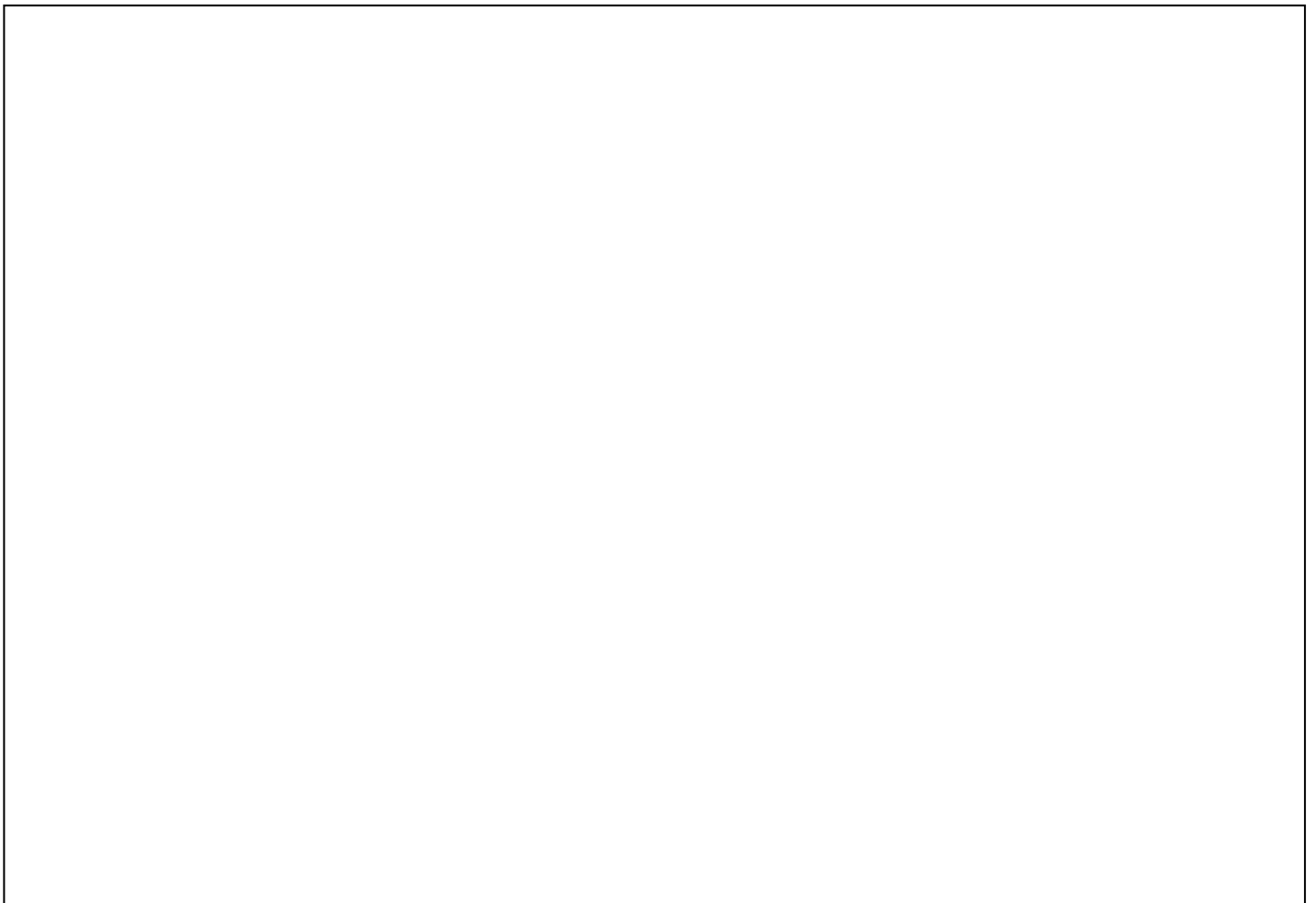
Κύτταρο κρεμμυδιού, DNA, μυρμήγκι, μπάλα ποδοσφαίρου, ιός, πυρήνας κυττάρου

Το μεγαλύτερο

Το μικρότερο



7. Παρακολούθησε το βίντεο «Μελάνι πάνω σε χαρτί».
Γιατί νομίζεις ότι **το χαρτί δεν απορροφάει το μελάνι**; Εξήγησέ το με σχέδιο και με λόγια.



8. 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; Εξήγησέ το και με σχέδιο και με λόγια.



Ερωτηματολόγιο

Όνοματεπώνυμο: _____

Ημερομηνία: _____

Σχολείο: _____



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

2. Παρακάτω βλέπεις μια κατασκευή που παριστάνει ένα **μάτι**.



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

Πώς θα **ονόμαζες** την παραπάνω κατασκευή;

Ερωτηματολόγιο



Όνοματεπώνυμο: _____

Ημερομηνία: _____

Σχολείο: _____



Απάντησε στις παρακάτω ερωτήσεις:

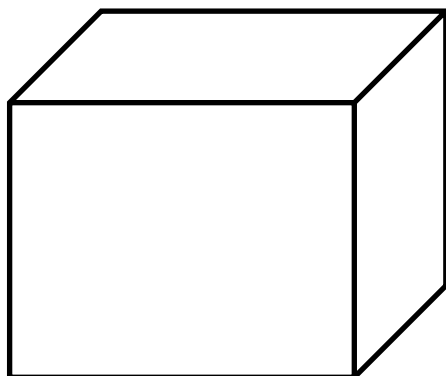
1. Ένας μαθητής διάβασε στο διαδίκτυο την λέξη **νανοτεχνολογία** και αναρωτήθηκε τι άραγε να σημαίνει. Προσπάθησε να του εξηγήσεις τι νομίζεις εσύ ότι είναι η νανοτεχνολογία.

2. Ποιο νομίζεις ότι είναι το μικρότερο αντικείμενο που υπάρχει;	
3. Πώς μπορείς να δεις το αντικείμενο που έγραψες;	

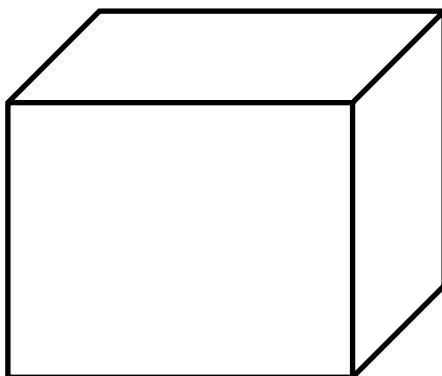
4. Ταξιλόγησε τα παρακάτω αντικείμενα στα κουτιά με βάση το μέγεθός τους.

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

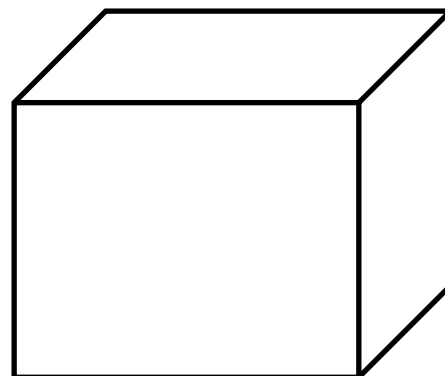
1



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:

5. Με ποιο όργανο νομίζεις ότι μπορείς να δεις τα αντικείμενα του:

κουτιού 1	
κουτιού 2	
κουτιού 3	

6. Τοποθέτησε τα παρακάτω αντικείμενα από το **μεγαλύτερο προς το μικρότερο**.

Κύτταρο κρεμμυδιού, DNA, μυρμήγκι, μπάλα ποδοσφαίρου, ιός, πυρήνας κυττάρου

Το μεγαλύτερο

Το μικρότερο



7. Παρακολούθησε το βίντεο «Μελάνι πάνω σε χαρτί».
Γιατί νομίζεις ότι **το χαρτί δεν απορροφάει το μελάνι**; Εξήγησέ το με σχέδιο και με λόγια.

A large empty rectangular box for drawing and writing an explanation.

8. 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; Εξήγησέ το και με σχέδιο και με λόγια.

A large empty rectangular box provided for the student to draw a diagram and write an explanation.

9. Μια μαθήτρια αρρώστησε από ίωση.



Περίγραψε πώς ο νανόκοσμος επηρεάζει τον μικρόκοσμο και τον μακρόκοσμο στην περίπτωση της ίωσης.



Ερωτηματολόγιο

Όνοματεπώνυμο: _____

Ημερομηνία: _____

Σχολείο: _____



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

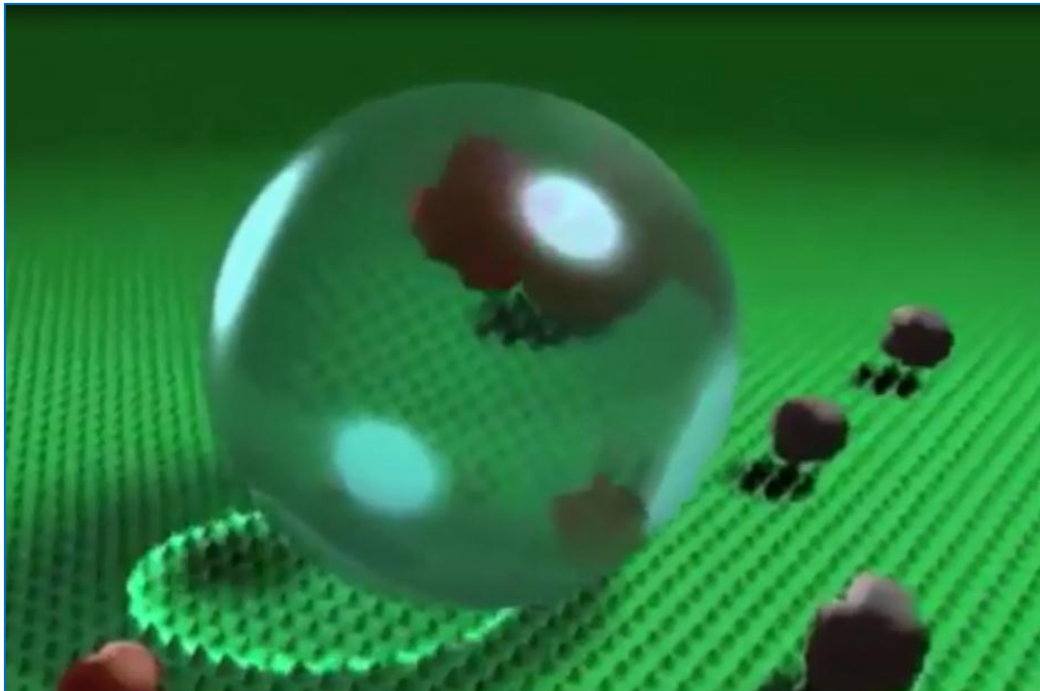
2. Παρακάτω βλέπεις μια κατασκευή που παριστάνει ένα **μάτι**.



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

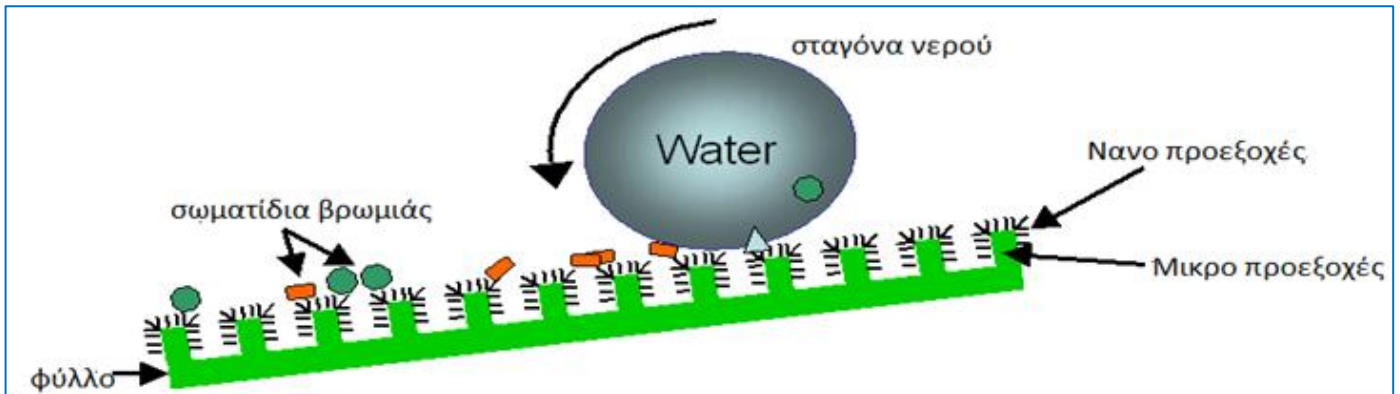
Πώς θα **ονόμαζες** την παραπάνω κατασκευή;

3. Παρακάτω βλέπεις ένα μοντέλο το οποίο αναπαριστά το φαινόμενο του λωτού.



Σε τι μας βοηθάει αυτό το μοντέλο;

4. Παρακάτω φαίνονται και άλλα μοντέλα για το φαινόμενο του λωτού.



Χρειάζεται να υπάρχουν διαφορετικά μοντέλα για το ίδιο φαινόμενο;
Αιτιολόγησε την απάντησή σου.

Blank area for the student's answer.