



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΗ ΣΧΟΛΗ ΦΛΩΡΙΝΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΔΗΜΟΤΙΚΗΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ

Το Φαινόμενο του Λωτού στο Δημοτικό Σχολείο:
Σχεδιασμός, Ανάπτυξη και Αξιολόγηση Εκπαιδευτικού
Υλικού σε Περιβάλλον Μη-Τυπικής Εκπαίδευσης



ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΤΟΥ ΣΤΕΡΓΙΟΥ ΓΚΙΤΣΑ

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

Φλώρινα, Ιούνιος 2017

Περίληψη

Η ταχεία ανάπτυξη της Νανοεπιστήμης-Νανοτεχνολογίας (N-ET) και τα ζητήματα που προκύπτουν από αυτήν έχουν ως αποτέλεσμα την αυξανόμενη ανάγκη για εκπαιδευτική έρευνα στο πεδίο αυτό, με στόχο την δημιουργία επιστημονικά εγγράμματων πολιτών, που θα μπορούν να συμμετέχουν ενεργά σε ηθικά, κοινωνικοπολιτικά και περιβαλλοντικά ζητήματα, που αφορούν τη N-ET.

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται ο σχεδιασμός, η ανάπτυξη και η αξιολόγηση εκπαιδευτικού υλικού για το περιεχόμενο της N-ET και πιο συγκεκριμένα το φαινόμενο του λωτού. Το εκπαιδευτικό υλικό ενσωματώνει απτικές διεπαφές και περιλαμβάνει απτές και ενσώματες μεταφορές. Η δραστηριότητα, με την οποία πλαισιώθηκε το εκπαιδευτικό υλικό, διέπεται από τις αρχές της μάθησης μέσω μικρών ερευνών, δίνοντας έμφαση στην αιτιολόγηση και την γνωστοποίηση των επιστημονικών συμπερασμάτων και σχεδιάστηκε για περιβάλλον μη-τυπικής εκπαίδευσης.

Στα πλαίσια της αξιολόγησης του εκπαιδευτικού υλικού πραγματοποιήθηκαν δύο έρευνες, η πιλοτική και η τελική. Στόχος της πιλοτικής έρευνας ήταν η αποτίμηση των μαθησιακών αποτελεσμάτων της πιλοτικής εφαρμογής για την πραγματοποίηση βελτιωτικών αλλαγών. Στην πιλοτική εφαρμογή συμμετείχαν 15 μαθητές της ΣΤ΄ τάξης Δημοτικού σχολείου της περιοχής της Έδεσσας και το ερευνητικό εργαλείο που χρησιμοποιήθηκε ήταν το γραπτό ερωτηματολόγιο τελικής μέτρησης για τις αντιλήψεις των μαθητών σχετικά με το φαινόμενο του λωτού και την N-ET γενικότερα.

Στόχος της τελικής έρευνας ήταν η διερεύνηση: (i) της μεταβολής των αντιλήψεων των μαθητών σχετικά με τη N-ET μετά την αλληλεπίδρασή τους με το εκπαιδευτικό υλικό και (ii) των απόψεών που αποκόμισαν για το εκπαιδευτικό υλικό. Στην τελική εφαρμογή συμμετείχαν 26 μαθητές της ΣΤ΄ τάξης Δημοτικού σχολείων της περιοχής της Φλώρινας και το ερευνητικό εργαλείο που χρησιμοποιήθηκε ήταν το γραπτό ερωτηματολόγιο αρχικής και τελικής μέτρησης για τις αντιλήψεις των μαθητών σχετικά με τη N-ET, για την δεξιότητα αιτιολόγησής τους και για τις απόψεις τους για το εκπαιδευτικό υλικό.

Μετά την πιλοτική εφαρμογή, διαπιστώθηκε ότι τα μαθησιακά αποτελέσματα του εκπαιδευτικού υλικού υστερούσαν σε σχέση με συναφείς διδακτικές προσπάθειες και εντοπίστηκαν στοιχεία που ίσως ευθύνονταν για αυτό: (α) η διαίρεση της κλίμακας σε υποκλίμακες (μάκρο, μικρο, νάνο) δεν τονιζόταν επαρκώς, (β) η σύνδεση της κάθε υποκλίμακας με το αντίστοιχο όργανο παρατήρησης δεν ήταν εμφανής, (γ) η διάκριση μεταξύ των φυσικών φαινομένων και των σχετικών τεχνητών προϊόντων δεν γινόταν ρητά.

Τα αποτελέσματα της τελικής εφαρμογής υπέδειξαν ότι οι βελτιωτικές αλλαγές που πραγματοποιήθηκαν με βάση τους παραπάνω άξονες είχαν θετικό αντίκτυπο, καθώς οι περισσότεροι μαθητές χρησιμοποίησαν επιστημονικό λεξιλόγιο σχετικά με τις υποκλίμακες και τα αντίστοιχα όργανα παρατήρησης και ξεχώρισαν τα φυσικά φαινόμενα από τα σχετικά τεχνητά προϊόντα. Διαπιστώθηκε επίσης ότι: (i) οι αντιλήψεις των μαθητών σχετικά με την N-ET βελτιώθηκαν σημαντικά και ήταν ανάλογες με τις προαναφερθείσες έρευνες και (ii) οι απόψεις που αποκόμισαν για το εκπαιδευτικό υλικό μετά την εφαρμογή ήταν θετικές.

Λέξεις κλειδιά: N-ET, Φαινόμενο του Λωτού, Απτικές Διεπαφές, Ενσώματη Μάθηση

Abstract

The rapid development of Nanoscience-Nanotechnology (N-ST) and the issues arising from it have the effect of increasing the need for educational research in this field, with the aim of creating scientifically literate citizens, who are going to be able to participate actively in ethical, socio-political and environmental issues relating to N-ST.

This paper presents the design, development and evaluation of the educational material about the content of N-ST, and in particular, the lotus effect. The educational material embodies tangible interfaces and includes tangible and embodied metaphors. The activity that encompassed the educational material, was based on the principles of inquiry, emphasizing the justification and communication of scientific conclusions and was designed to be implemented in a non-formal educational environment.

As part of the evaluation of the educational material, two surveys were carried out, the pilot one and the final one. The aim of the pilot study was to assess the learning outcomes of the pilot implementation, in order to improve the existing material. The pilot implementation was attended by 15 students, who were enrolled in the 6th grade of an elementary school located in the area of Edessa, in Greece. The research tool was a post-questionnaire regarding students' perceptions about the lotus effect and N-ST in general.

The aim of the final research was to investigate: (i) the evolution of pupils' perceptions about N-ST after their interaction with the educational material, and (ii) their views on the educational material. The final implementation was attended by 26 students, who were enrolled in the 6th grade of elementary schools located in the region of Florina, in Greece. The research tool was a pre-post questionnaire regarding pupils' perceptions about N-ST, their ability to justify them and their views about the educational material.

After the pilot implementation, it was found that the learning outcomes of the educational material lagged behind related teaching efforts. Some elements, that might be responsible for this fact, were identified: (a) the division of the scale into sub-scales (macro, micro, nano) was not highlighted adequately, (b) the connection between each subscale and its' corresponding instrument was not evident, (c) the distinction between natural phenomena and their respective artificial products was not sufficiently stressed.

The results of the final study indicated that the improvements that were made in accordance with the above conclusions had positive effects, as most of the students used scientific vocabulary regarding the sub-scales and their corresponding instruments and did not confuse the physical phenomena with their respective artificial products. It was also found that: (i) pupils' perceptions regarding N-ST improved significantly and were analogous to those of the above-mentioned studies and (ii) their views regarding the educational material after the implementation were positive.

Keywords: N-ST, Lotus Effect, Tangible Interfaces, Embodied Learning

“Where the telescope ends, the microscope begins. Which of the two has the grander view?”

(Hugo, 1862, σελ. 41)

Ευχαριστίες

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα της παρούσας εργασίας, την Αναπληρώτρια Καθηγήτρια του Π.Δ.Μ. κ. Άννα Σπύρτου, καθώς, χάρη στην καθοδήγησή της, μπορώ πλέον να απολαμβάνω τη μοναδική «θέα», που προσφέρουν τα τηλεσκόπια αλλά και τα μικροσκόπια, μέσα από το πρίσμα της επιστήμης της φυσικής. Η καθοδήγησή της δεν περιορίστηκε στην επιλογή του αντικειμένου μελέτης, αλλά επεκτάθηκε στην εφαρμογή της έρευνας και την συγγραφή της, στις οποίες συνέβαλε με την πλούσια εμπειρία της και τις στοχευμένες συμβουλές της.

Ευχαριστώ και τα άλλα δύο μέλη της εξεταστικής επιτροπής, τον Λέκτορα του Π.Δ.Μ. κ. Γεώργιο Παλαιγεωργίου για την πολυδιάστατη συμμετοχή του στον σχεδιασμό και την αξιολόγηση του παρόντος εκπαιδευτικού υλικού και τον Καθηγητή του Π.Δ.Μ. Δημήτριο Πνευματικό για τις καίριες συμβουλές του, οι οποίες συνέβαλαν στην αποπεράτωση της εργασίας.

Επιπλέον, είμαι ευγνώμων για την υποστήριξη που μου προσέφερε ο υποψήφιος Διδάκτορας του Π.Δ.Μ. Λεωνίδας Μάνου, ο οποίος ήταν δίπλα μου, όποτε χρειαζόμουν τις συμβουλές του και τις γνώσεις του για την N-ET, αλλά και την έρευνα στο πεδίο των Φυσικών Επιστημών γενικότερα. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τη μεταπτυχιακή φοιτήτρια του Π.Δ.Μ. Ευαγγελία – Ζωή Μπαρά για την βοήθειά της στον αρχικό σχεδιασμό του εκπαιδευτικού υλικού, ο οποίος πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του μαθήματος: «Αρχές Διαμόρφωσης και Αξιολόγησης Εκπαιδευτικού Λογισμικού» του Μ.Π.Σ. του Π.Τ.Δ.Ε.

Ευχαριστώ όλα τα μέλη της ομάδας της Εκπαίδευσης των Φυσικών Επιστημών του Π.Τ.Δ.Ε. Φλώρινας για την βοήθειά τους στην εφαρμογή, τόσο της πιλοτικής όσο και της τελικής έρευνας, και για τις συζητήσεις μαζί τους, οι οποίες ήταν καθοριστικές στην ανάπτυξη του παρόντος εκπαιδευτικού υλικού.

Τέλος, ευχαριστώ την οικογένειά μου για την αμέριστη ψυχολογική και οικονομική υποστήριξη, που μου έχουν προσφέρει καθ' όλη τη διάρκεια της ακαδημαϊκής μου πορείας.

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	iii
Abstract.....	v
Ευχαριστίες.....	ix
Περιεχόμενα	x
Λίστα Πινάκων	xii
Λίστα Γραφημάτων	xii
Λίστα Σχημάτων.....	xiii
Λίστα Εικόνων	xiii
1. Εισαγωγή.....	1
1.1. Νανοεπιστήμη – Νανοτεχνολογία	2
1.1.1. Ιδιότητες.....	4
1.1.2. Εφαρμογές.....	7
1.1.3. Μεγάλες Ιδέες	8
1.1.4. Εκπαιδευτικές προσεγγίσεις.....	12
1.1.5. Ιδέες μαθητών	15
1.2. Απτικές Διεπαφές.....	17
1.2.1. Ταξινομίες.....	17
1.2.2. Εκπαιδευτικές προσεγγίσεις.....	20
1.2.3. Εκπαιδευτική αξία.....	21
1.3. Ενσώματη Μάθηση.....	22
1.4. Μάθηση μέσω Μικρών Ερευνών.....	23
1.5. Μη-Τυπική Εκπαίδευση	25
2. Σχεδιασμός και Ανάπτυξη Εκπαιδευτικού Υλικού.....	27
2.1. Πιλοτική Εφαρμογή	29
2.1.1. Εκπαιδευτικό υλικό.....	29
2.1.2. Αλληλεπίδραση μαθητών με το εκπαιδευτικό υλικό	33
2.1.3. Σχεδιασμός διδακτικής παρέμβασης.....	36
2.1.4. Υλοποίηση διδακτικής παρέμβασης	38
2.1.5. Ερευνητικά ερωτήματα	40
2.2. Τελική Εφαρμογή	41
2.2.1. Εκπαιδευτικό υλικό.....	41
2.2.2. Αλληλεπίδραση μαθητών με το εκπαιδευτικό υλικό	45
2.2.3. Σχεδιασμός διδακτικής παρέμβασης.....	46
2.2.4. Υλοποίηση διδακτικής παρέμβασης	47
2.2.5. Διαφορές σε σχέση με την πιλοτική εφαρμογή.....	49
2.2.6. Ερευνητικά ερωτήματα	52

3. Μέθοδος.....	53
3.1. Πιλοτική Εφαρμογή.....	53
3.1.1. Συμμετέχοντες.....	53
3.1.2. Μέσα συλλογής δεδομένων.....	53
3.1.3. Διαδικασία συλλογής δεδομένων.....	54
3.1.4. Διαδικασία ανάλυσης δεδομένων.....	55
3.1.5. Εγκυρότητα και αξιοπιστία.....	62
3.2. Τελική Εφαρμογή.....	64
3.2.1. Συμμετέχοντες.....	64
3.2.2. Μέσα συλλογής δεδομένων.....	65
3.2.3. Διαδικασία συλλογής δεδομένων.....	65
3.2.4. Διαδικασία ανάλυσης δεδομένων.....	65
3.2.5. Εγκυρότητα και αξιοπιστία.....	68
4. Αποτελέσματα.....	69
4.1. Πιλοτική Εφαρμογή.....	69
4.1.1. Ε.Ε.Π.1.....	69
4.2. Τελική Εφαρμογή.....	74
4.2.1. Ε.Ε.Τ.1.....	74
4.2.2. Ε.Ε.Τ.2.....	82
5. Συζήτηση.....	87
5.1. Πιλοτική Εφαρμογή.....	87
5.1.1. Αποτίμηση μαθησιακών αποτελεσμάτων (Ε.Ε.Π.1).....	87
5.2. Τελική Εφαρμογή.....	91
5.2.1. Μεταβολή των αντιλήψεων των μαθητών (Ε.Ε.Τ.1).....	91
5.2.2. Αποτίμηση των απόψεων των μαθητών (Ε.Ε.Τ.2).....	95
5.2.3. Διάφορες παρατηρήσεις – Προτάσεις για βελτίωση.....	96
5.3. Περιορισμοί της έρευνας.....	96
5.4. Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.....	96
Βιβλιογραφία.....	97
Παράρτημα.....	110
Ερωτηματολόγιο.....	110
Εκπαιδευτικό Υλικό Τελικής Εφαρμογής.....	114

Λίστα Πινάκων

Πίνακας 1: Φάσεις δραστηριότητας	36
Πίνακας 2: Χρονική διάρκεια της κάθε φάσης της παρέμβασης ανά ομάδα	38
Πίνακας 3: Αριθμός μαθητών που συμμετείχαν ανά φάση	39
Πίνακας 4: Σύγκριση φάσεων πιλοτικής – τελικής	46
Πίνακας 5: Χρονική διάρκεια της κάθε φάσης της παρέμβασης ανά ομάδα	47
Πίνακας 6: Αριθμός μαθητών που συμμετείχαν ανά φάση	48
Πίνακας 7: Σύγκριση του εκπαιδευτικού υλικού της πιλοτικής και της τελικής εφαρμογής.	49
Πίνακας 8: Περιεχόμενο και σκοπός των έργων του ερωτηματολογίου της N-ET	54
Πίνακας 9: Αντιστοίχιση των έργων του ερωτηματολογίου της N-ET με τις κατευθύνσεις ανάλυσης.....	55
Πίνακας 10: Διασταύρωση της ταξινόμησης των απαντήσεων της πιλοτικής εφαρμογής μεταξύ των δύο ερευνητών	63
Πίνακας 11: Αντιστοίχιση των έργων του ερωτηματολογίου απόψεων με τις κατευθύνσεις ανάλυσης.....	66
Πίνακας 12: Διασταύρωση της ταξινόμησης των απαντήσεων της τελικής εφαρμογής μεταξύ των δύο ερευνητών	68

Λίστα Γραφημάτων

Γράφημα 1: Το φύλλο των συμμετεχόντων της πιλοτικής εφαρμογής	53
Γράφημα 2: Το φύλλο των συμμετεχόντων της τελικής εφαρμογής	64
Γράφημα 3: Νοηματοδότηση του όρου «Νανοτεχνολογία»	69
Γράφημα 4: Ιδέες των μαθητών για το μικρότερο αντικείμενο που γνώριζαν.....	70
Γράφημα 5: Όργανα παρατήρησης.....	70
Γράφημα 6: Συνέπεια μεταξύ οργάνου παρατήρησης και μικρότερου αντικειμένου.....	71
Γράφημα 7: Δεξιότητα ταξινόμησης αντικειμένων διαφορετικών μεγεθών.....	72
Γράφημα 8: Δεξιότητα σειροθέτησης αντικειμένων διαφορετικών μεγεθών	72
Γράφημα 9: Δεξιότητα περιγραφής του φαινομένου του λωτού.....	73
Γράφημα 10: Μεταβολή της νοηματοδότησης της N-ET	74
Γράφημα 11: Μεταβολή των ιδεών των μαθητών για το μικρότερο αντικείμενο	75
Γράφημα 12: Μεταβολή των γνώσεων των μαθητών σχετικά με τα όργανα παρατήρησης..	76
Γράφημα 13: Μεταβολή της συνέπειας των μαθητών μεταξύ οργάνου παρατήρησης και μικρότερου αντικειμένου που γνώριζαν	77
Γράφημα 14: Μεταβολή δεξιότητας ταξινόμησης αντικειμένων διαφορετικών μεγεθών.....	78
Γράφημα 15: Μεταβολή δεξιότητας σειροθέτησης αντικειμένων διαφορετικών μεγεθών ...	79
Γράφημα 16: Μεταβολή της δεξιότητας περιγραφής του φαινομένου του λωτού	80

Γράφημα 17: Δεξιότητα αιτιολόγησης	81
Γράφημα 18: Απόψεις των μαθητών για την παρέμβαση	82
Γράφημα 19: Απόψεις των μαθητών για το περιεχόμενο της δραστηριότητας	82
Γράφημα 20: Απόψεις των μαθητών για το πλαίσιο της δραστηριότητας.....	83
Γράφημα 21: Απόψεις των μαθητών για τα πειράματα που πραγματοποίησαν	83
Γράφημα 22: Απόψεις των μαθητών για την αλληλεπίδρασή τους με τις απτικές διεπαφές.	84
Γράφημα 23: Απόψεις των μαθητών για την ευκολία εκμάθησης μέσω της παρέμβασης σε σχέση με την παραδοσιακή διδασκαλία	84
Γράφημα 24: Απόψεις των μαθητών για την ταχύτητα εκμάθησης μέσω της παρέμβασης σε σχέση με την παραδοσιακή διδασκαλία	85
Γράφημα 25: Απόψεις των μαθητών για την μάθηση μέσω της παρέμβασης σε σχέση με την παραδοσιακή διδασκαλία.....	85
Γράφημα 26: Απόψεις των μαθητών για το ενδεχόμενο ανάλογων παρεμβάσεων στα πλαίσια της τυπικής τους εκπαίδευσης	86
Γράφημα 27: Απόψεις των μαθητών για βελτιωτικές αλλαγές στην παρούσα παρέμβαση...86	

Λίστα Σχημάτων

Σχήμα 1: Η διαίρεση της κλίμακας σε κόσμους και η αντιστοίχισή τους με αντικείμενα αναφοράς και όργανα παρατήρησης.....	8
Σχήμα 2: Παρατηρούμενο χάσμα στην διδασκαλία αντικειμένων διαφορετικών μεγεθών ...	16
Σχήμα 3: Φάσμα των απτικών διεπαφών με κριτήριο τη χρήση μεταφορών.....	18
Σχήμα 4: Βαθμός ενσωμάτωσης	19
Σχήμα 5: Σχέση μεταξύ των σωματικών εμπειριών, των ενσώματων σχημάτων και των ενσώματων μεταφορών.....	23
Σχήμα 6: Το συνεχές των τύπων εκπαίδευσης... ..	25
Σχήμα 7: Η ενσώματη μεταφορά του παρόντος εκπαιδευτικού υλικού	28
Σχήμα 8: Το θεωρητικό πλαίσιο του παρόντος εκπαιδευτικού υλικού	28
Σχήμα 9: Λειτουργία των «μικροσκοπίων».....	32

Λίστα Εικόνων

Εικόνα 1: Μεγέθη αντικειμένων της νανοκλίμακας σε σύγκριση με γνωστά αντικείμενα.....	2
Εικόνα 2: (a) ανθισμένο φυτό λωτού, (b) φύλλο λωτού λερωμένο με λάσπη, (c) αυτοκαθαρισμός του ίδιου φύλλου του λωτού, (d) εξογκώματα [papillae] της επιφάνειας του φύλλου του λωτού, (e) λεπτομέρειες των εξογκωμάτων, (f) κηροειδείς σωλήνες [wax tubules] της επιφάνειας των εξογκωμάτων.....	5
Εικόνα 3: (a) γωνία επαφής – θ , (b) γωνία κύλισης – α	6
Εικόνα 4: Το φαινόμενο του αυτοκαθαρισμού	6

Εικόνα 5: Τζάμια που κατασκευάστηκαν με την τεχνολογία βιτρό	10
Εικόνα 6: Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο [αριστερά] Λειτουργικά στοιχεία [δεξιά].....	11
Εικόνα 7: Αντικείμενα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως αντικείμενα αναφοράς.....	12
Εικόνα 8: Έξυπνοι Κύβοι.....	20
Εικόνα 9: Διαδραστικός Εκπαιδευτικός Πάγκος Εργασίας.....	20
Εικόνα 10: Εργαλείο Απτικής Διαδραστικής Μικροβιολογίας	20
Εικόνα 11: Χαρακτηριστική εφαρμογή των Δυναμικών Κύβων: «Ενεργό Ηφαίστειο» πάνω σε διαδραστικό βιβλίο	20
Εικόνα 12: Πύργος διερεύνησης.....	29
Εικόνα 13: Φορητός υπολογιστής (Α), ηχεία (Β), δείγματα (Γ), διαδραστικό σημειωματάριο (Δ) και χειροπέδες (Ε).....	30
Εικόνα 14: Η φωτογραφία της επιφάνειας του φύλλου λωτού.....	31
Εικόνα 15: Δείγμα υφάσματος.....	31
Εικόνα 16: Διαδραστικό σημειωματάριο.....	32
Εικόνα 17: Φωτογραφία οπτικού μικροσκοπίου της επιφάνειας φύλλου μαρουλιού	33
Εικόνα 18: Φωτογραφία ηλεκτρονικού μικροσκοπίου της επιφάνειας φύλλου λάχανου	34
Εικόνα 19: Διαφάνεια της παρουσιάσης στην οποία ο διευθυντής δίνει πληροφορίες για την εταιρία του	35
Εικόνα 20: Διαφάνεια της παρουσιάσης στην οποία ο ντετέκτιβ ζητά την γνώμη των μαθητών για την γραμματέα	35
Εικόνα 21: Φωτογραφία του τόπου εγκλήματος	37
Εικόνα 22: Πύργος διερεύνησης (Α), Δεύτερος ΗΥ (Β), Δείγματα (Γ), Διαδραστικό σημειωματάριο (Δ) & χειροπέδες (Ε).....	41
Εικόνα 23: Οι δύο φωτογραφίες που περιλαμβάνονταν στο γράμμα.....	42
Εικόνα 24: Δείγμα υφάσματος.....	42
Εικόνα 25: Φωτογραφία υφάσματος, που λήφθηκε από οπτικό μικροσκόπιο	43
Εικόνα 26: Οι τέσσερις πρώτες σελίδες του διαδραστικού σημειωματρίου.....	43
Εικόνα 27: Μέρη του σημειωματρίου του ερευνητή και της ερευνητικής αναφοράς.....	44
Εικόνα 28: Πινακίδα της πόρτας της αίθουσας	45
Εικόνα 29: Κάρτες ερευνητών	45
Εικόνα 30: Πύργος διερεύνησης.....	50
Εικόνα 31: Δείγματα	50
Εικόνα 32: Διαδραστικό σημειωματάριο.....	50
Εικόνα 33: Περιεχόμενο διαδραστικού σημειωματρίου.....	51

1. Εισαγωγή

Στις αρχές του 21^{ου} αιώνα αναμενόταν ότι η νανοεπιστήμη-νανοτεχνολογία [N-ET] θα είναι καθοριστική, έχοντας την δυναμική να οδηγήσει στην επόμενη βιομηχανική επανάσταση (National Science Technology Council, 2000), και ότι το ανθρώπινο δυναμικό που θα εργαστεί σε αυτόν τον τομέα θα αυξηθεί ραγδαία μέσα στα επόμενα χρόνια (Roco, 2003· Palmberg, Dernis, & Miguet, 2009). Ήδη, η χρηματοδότηση και ο αριθμός των ερευνητών και των εργατών που ασχολούνται με την N-ET έχει αυξηθεί σημαντικά (Jones, Gardner, Falvo, & Taylor, 2015· Roco, 2011) και προβλέπεται ότι αυτή η ανοδική τάση θα συνεχιστεί απρόσκοπτα (Gatchair, 2010· Roco, 2011).

Οι εξελίξεις στο πεδίο της N-ET συνοδεύονται από φόβους για τα προβλήματα που μπορεί να προκαλέσει στην υγεία και το περιβάλλον (Ho, Scheufele, & Corley, 2010) και από σύνθετα ερωτήματα σχετικά με τις ηθικές και κοινωνικές συνέπειες αυτής της δραματικά διαφορετικής τεχνολογίας (Bainbridge, 2003· Sweeney, 2006· Jones et al., 2015). Για παράδειγμα, οι επιστήμονες και οι μηχανικοί μπορούν να κατασκευάσουν νέα υλικά χρησιμοποιώντας μια προσέγγιση από τη βάση προς την κορυφή [bottom-up] ξεκινώντας από το άτομο, με αποτέλεσμα να τίθενται ερωτήματα σχετικά με την χειραγώγηση της φύσης της ίδιας της ύλης και της ανάληψης του "ρόλου του Θεού" (Bensaude-Vincent, 2010).

Η ταχεία ανάπτυξη της N-ET και τα ζητήματα που προκύπτουν έχουν ως αποτέλεσμα την αυξανόμενη ανάγκη για εκπαιδευτική έρευνα σε πολλαπλά επίπεδα στο πεδίο αυτό, με στόχο την προετοιμασία του εργατικού δυναμικού αλλά και την δημιουργία επιστημονικά εγγράμματων πολιτών, που θα μπορούν να συμμετέχουν ενεργά σε ηθικά, κοινωνικοπολιτικά και περιβαλλοντικά ζητήματα που αφορούν την νανοτεχνολογία (Bryan, Sederberg, Daly, Sears, & Giordano, 2012· Cheng, Hung, & Huang, 2014· Delgado, 2009· Ghattas & Carver, 2012· Jones et al., 2013· Jones et al., 2015· Laherto, 2012· Macoubrie, 2004· Πέικος, Μάνου, & Σπύρτου, 2015· Stevens, Sutherland, Schank, & Krajcik, 2007· Wells, 2013).

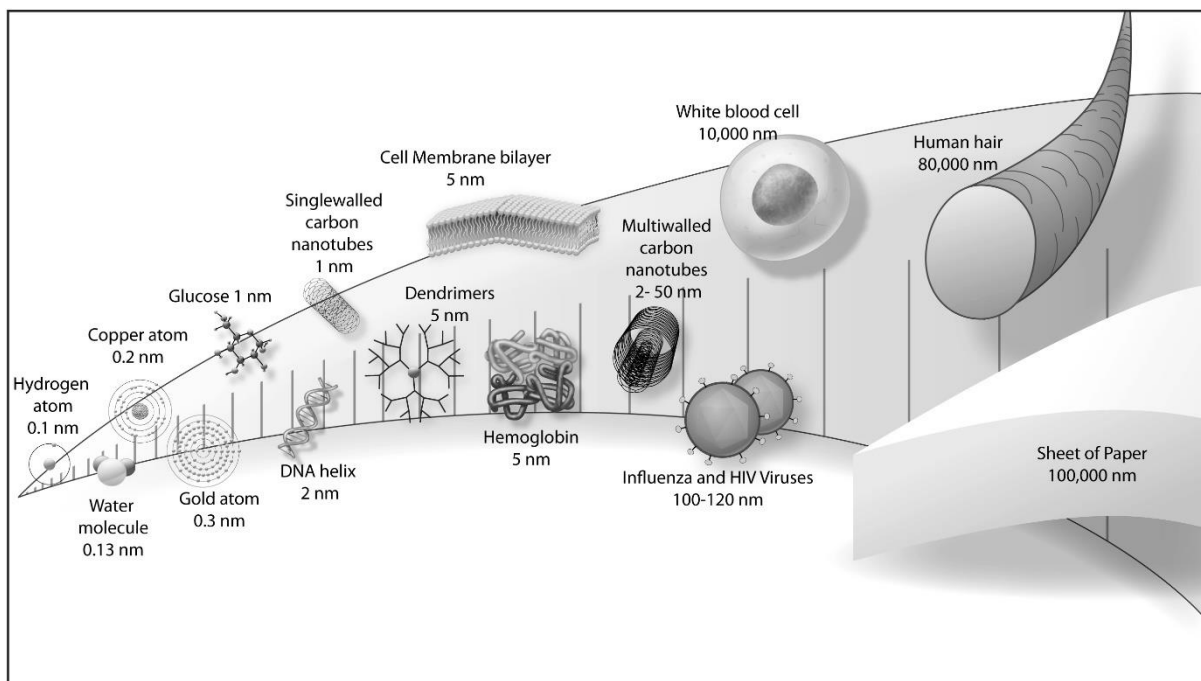
Οι μαθητές σε όλο τον κόσμο ήδη από την πρωτοβάθμια, έχουν διδαχθεί για αντικείμενα που δεν μπορούν να δουν με το μάτι [άτομα, μόρια, DNA, ιούς, κύτταρα, κλπ] και έχουν έρθει σε επαφή σε μεγαλύτερο ή μικρότερο βαθμό με προϊόντα νανοτεχνολογίας (Jones et al., 2015). Όμως, τα περισσότερα προγράμματα σπουδών αποτυγχάνουν να βοηθήσουν τους μαθητές να αναπτύξουν μοντέλα για να ερμηνεύουν φαινόμενα σε διαφορετικές κλίμακες (Schank, Krajcik, & Yunker, 2007· Jones et al., 2015).

Στην παρούσα εργασία υιοθετήθηκε αυτός ο στόχος, δηλαδή να καταστούν οι μαθητές ικανοί να περιγράψουν ένα φαινόμενο που παρατηρείται στον μακρόκοσμο χρησιμοποιώντας ιδιότητες του μικρόκοσμου και του νανόκοσμου. Για την επίτευξη αυτού του σκοπού σχεδιάστηκε, κατασκευάστηκε και αξιολογήθηκε εκπαιδευτικό υλικό, το οποίο διαπραγματεύονταν φαινόμενα υπερυδροφοβικότητας και πιο συγκεκριμένα το φαινόμενο του λωτού, από το οποίο έχουν εμπνευστεί πολύ διαδεδομένες εφαρμογές της N-ET. Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό ενσωματώνει απτικές διεπαφές και περιλαμβάνει απτές και ενσώματες μεταφορές. Επιπλέον, πλαισιώθηκε από μια παιγνιώδη δραστηριότητα, η οποία ακολουθούσε τις αρχές της μάθησης μέσω μικρών ερευνών και σχεδιάστηκε για περιβάλλον μη-τυπικής εκπαίδευσης.

1.1.Νανοεπιστήμη – Νανοτεχνολογία

Το πρώτο συνθετικό των λέξεων νανοεπιστήμη και νανοτεχνολογία [νάνο] παραπέμπει στο μικρό μέγεθος. Στην επιστήμη το πρόθεμα αυτό, όταν τοποθετηθεί μπροστά από μονάδες μέτρησης, σημαίνει ένα δισεκατομμυριοστό [$1/1.000.000$ ή 10^{-9}] (Ratner & Ratner, 2003). Για παράδειγμα, ένα νανόμετρο ισούται με ένα δισεκατομμυριοστό του μέτρου [$1\text{nm}=10^{-9}\text{m}$].

Ως νανοκλίμακα ορίζεται η περιοχή μεταξύ του ενός και των 100 νανομέτρων [$1-100\text{nm}$] (Ghettas & Carver, 2012· Stevens, Sutherland, & Krajcik, 2009). Για την καλύτερη κατανόηση του μεγέθους και την οριοθέτηση αυτής της περιοχής πρέπει να αναφερθεί ότι μια ανθρώπινη τρίχα έχει διάμετρο περίπου 80.000nm , ένα λευκό αιμοσφαίριο περίπου 10.000nm , το DNA, το οποίο ανήκει στην νανοκλίμακα, έχει διάμετρο περίπου 2nm , ενώ τα άτομα έχουν μικρότερο μέγεθος από 1nm (Dowling et al., 2004· Yokel & MacPhail, 2011).



Εικόνα 1: Μεγέθη αντικείμενων της νανοκλίμακας σε σύγκριση με πιο γνωστά αντικείμενα (Yokel & MacPhail, 2011)

Η N-ET αποτελεί ένα διεπιστημονικό πεδίο [interdisciplinary field], στα πλαίσια του οποίου η φυσική, η χημεία, η βιολογία, η επιστήμη των υλικών και η μηχανική [engineering] συναντιούνται για την μελέτη και την εκμετάλλευση των νέων ιδιοτήτων που αποκτούν τα υλικά, όταν το μέγεθός τους γίνει τέτοιο που να ανήκει στις διαστάσεις της νανοκλίμακας (Gardner & Jones, 2009· Gardner, Jones, & Falvo, 2009· Ghettas & Carver, 2012· Jones et al., 2013).

Σύμφωνα, με τους Ratner & Ratner (2003), η νανοεπιστήμη και η νανοτεχνολογία είναι δύο συγγενικά πεδία, τα οποία έχουν όμως διακριτά σύνορα. Πιο συγκεκριμένα, η «νανοεπιστήμη» είναι η μελέτη των θεμελιωδών ιδιοτήτων των μορίων και των δομών, που έχουν τουλάχιστον μια τους διάσταση στην περιοχή της νανοκλίμακας [$1-100\text{nm}$]. Οι δομές αυτές είναι γνωστές ως νανοδομές. Ενώ, με τον όρο «νανοτεχνολογία» αναφέρεται η χειραγώγηση αυτών των δομών σε χρήσιμες κατασκευές της νανοκλίμακας.

Οι Hingant & Albe (2010), στην βιβλιογραφική τους επισκόπηση αναφέρουν ότι τα σύνορα των πεδίων της νανοεπιστήμης και της νανοτεχνολογίας είναι θολά και οι ορισμοί, που τους έχουν κατά καιρούς δοθεί, ποικίλουν ανάλογα με το πλαίσιο και τον συγγραφέα. Καθώς, πολλοί και διαφορετικοί ορισμοί της N-ET έχουν συζητηθεί ευρέως στη βιβλιογραφία (Grieneisen & Zhang, 2011· Palmberg, Dernis, & Miguet, 2009), κρίθηκε αναγκαίο να παρουσιαστούν κάποιοι από αυτούς αυτολεξεί.

Νανοεπιστήμη:

«Η νανοεπιστήμη είναι ένα νέο επιστημονικό πεδίο που ασχολείται με τις μοναδικές ιδιότητες των νανοϋλικών, τα οποία είναι οργανώσεις ατόμων ή μορίων στην νανοκλίμακα. Η νανοεπιστήμη είναι στην πραγματικότητα η μελέτη των αντικειμένων/σωματιδίων και των φαινομένων τους που λαμβάνουν χώρα σε πολύ μικρή κλίμακα, που κυμαίνεται κατά προσέγγιση από 1 έως 100 nm. Το "νανο" αναφέρεται σε μια κλίμακα μεγέθους του μετρικού συστήματος. Χρησιμοποιείται στις επιστημονικές μονάδες μέτρησης για να υποδηλώσει το ένα δισεκατομμυριοστό της βασικής μονάδας, είναι δηλαδή περίπου 100.000 φορές μικρότερο από τη διάμετρο μιας ανθρώπινης τρίχας. Ένα νανόμετρο είναι 10^{-9} m [$1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$], μια διάσταση στον κόσμο των ατόμων και των μορίων (το μέγεθος του ατόμου του υδρογόνου είναι 0,24 nm και, για παράδειγμα, 10 άτομα υδρογόνου το ένα δίπλα στο άλλο έχουν μήκος 1 nm). Τα νανოსωματίδια είναι εκείνα τα σωματίδια που περιέχουν από 100 έως 10.000 άτομα. Έτσι, τα σωματίδια μεγέθους από 1 έως 100 nm αποτελούν το δομικό στοιχείο των νανοϋλικών.» (Kumar & Kumbhat, 2016, σελ. 1)

«Κατασκευή νέων γνώσεων σχετικά με φαινόμενα που εξαρτώνται από τη διεπαφή και το μέγεθος» (EU: 7th Framework Programme, 2007-2013)

Νανοτεχνολογία:

«η αναδυόμενη δυνατότητα των ανθρώπων να παρατηρούν και να οργανώνουν την ύλη στο ατομικό επίπεδο» (Sweeney, 2006, σελ. 437)

«η νανοτεχνολογία εμπεριέχει την παραγωγή και την εφαρμογή φυσικών, χημικών και βιολογικών συστημάτων σε κλίμακες, που κυμαίνονται από τα ανεξάρτητα άτομα και μόρια μέχρι τις διαστάσεις κάτω του ενός μικρόμετρου, όπως και την ενσωμάτωση των προκύπτοντων νανοδομών σε μεγαλύτερα συστήματα» (Bhushan, 2010, σελ. 1)

«Η νανοτεχνολογία είναι η δυνατότητα ελέγχου και ανοικοδόμησης της ύλης στο ατομικό και το μοριακό επίπεδο, σε προσεγγιστικό εύρος από 1-100 nm, και εκμετάλλευσης των διακριτών ιδιοτήτων και φαινομένων που συμβαίνουν σε αυτή τη κλίμακα, σε σύγκριση με τη συμπεριφορά των μεμονωμένων ατόμων ή μορίων ή υλικών της μακροκλίμακας. Στόχος είναι η δημιουργία υλικών, συσκευών και συστημάτων με θεμελιακά νέες ιδιότητες και λειτουργίες, που προκύπτουν από την χειραγώγηση των μικρών δομών τους. ... Η μετάβαση από την συμπεριφορά των μεμονωμένων ατόμων ή μορίων στη συλλογική συμπεριφορά ατομικών και μοριακών δομών συναντάται στη φύση και η νανοτεχνολογία εκμεταλλεύεται αυτό το φυσικό όριο» (Roco, Williams, & Alivisatos, 1999, σελ. vii)

«Η νανοτεχνολογία είναι η κατασκευή και χρήση λειτουργικών δομών σχεδιασμένων με βάση την ατομική ή την μοριακή κλίμακα με τουλάχιστον μία διάστασή τους στην κλίμακα των νανομέτρων. Το μέγεθός τους τους επιτρέπει να παρουσιάζουν νέες και σημαντικά βελτιωμένες φυσικές, χημικές και βιολογικές ιδιότητες, φαινόμενα και διαδικασίες λόγω του μεγέθους τους. Έτσι, η νανοτεχνολογία μπορεί να οριστεί ως η έρευνα και η ανάπτυξη που περιλαμβάνει τη μέτρηση και τον χειρισμό της ύλης στα ατομικά, μοριακά και υπερμοριακά επίπεδα σε κλίμακες που μετριούνται σε περίπου 1-100 nm σε τουλάχιστον μία διάστασή τους» (Kumar & Kumbhat, 2016, σελ. 2)

Σύμφωνα με την επισκόπηση του Palmberg και των συνεργατών του (2009), οι ορισμοί της N-ET, παρά τις διαφορές τους, εμφανίζουν τρία κοινά στοιχεία:

- i. την **χειραγώγηση** της ύλης, δηλαδή ο σκόπιμος έλεγχος ή χειρισμός της ύλης σε πολύ μικρή κλίμακα με σκοπό την εξαίρεση από τον ορισμό κάθε υλικού ή διαδικασίας, που έχει προκύψει μέσω της «τυχαίας» νανοτεχνολογίας
- ii. την **κλίμακα**, δηλαδή μια συγκεκριμένη περιοχή μεγεθών, όπου εμφανίζονται φαινόμενα που εξαρτώνται από το μέγεθος. Συνήθως προτείνεται το όριο των 100nm για την εμφάνιση τέτοιων φαινομένων αλλά στην πράξη αυτό το όριο δεν είναι τόσο απόλυτο και μπορεί να εκτείνεται και πάνω από τα 100nm
- iii. την **καινοτομία**, δηλαδή ότι η νανοτεχνολογία επιτρέπει «νέες» βιομηχανικές εφαρμογές ή «τεχνολογικές καινοτομίες», το οποίο έχει οδηγήσει κάποιους αναλυτές να την αποκαλέσουν την επόμενη τεχνολογία γενικής χρήσης

1.1.1. Ιδιότητες

Η νανοκλίμακα παρουσιάζει τρεις χαρακτηριστικές ιδιότητες (Jones et al., 2013· Taylor, Jones, & Pearl, 2008). Πιο συγκεκριμένα, η νανοκλίμακα είναι:

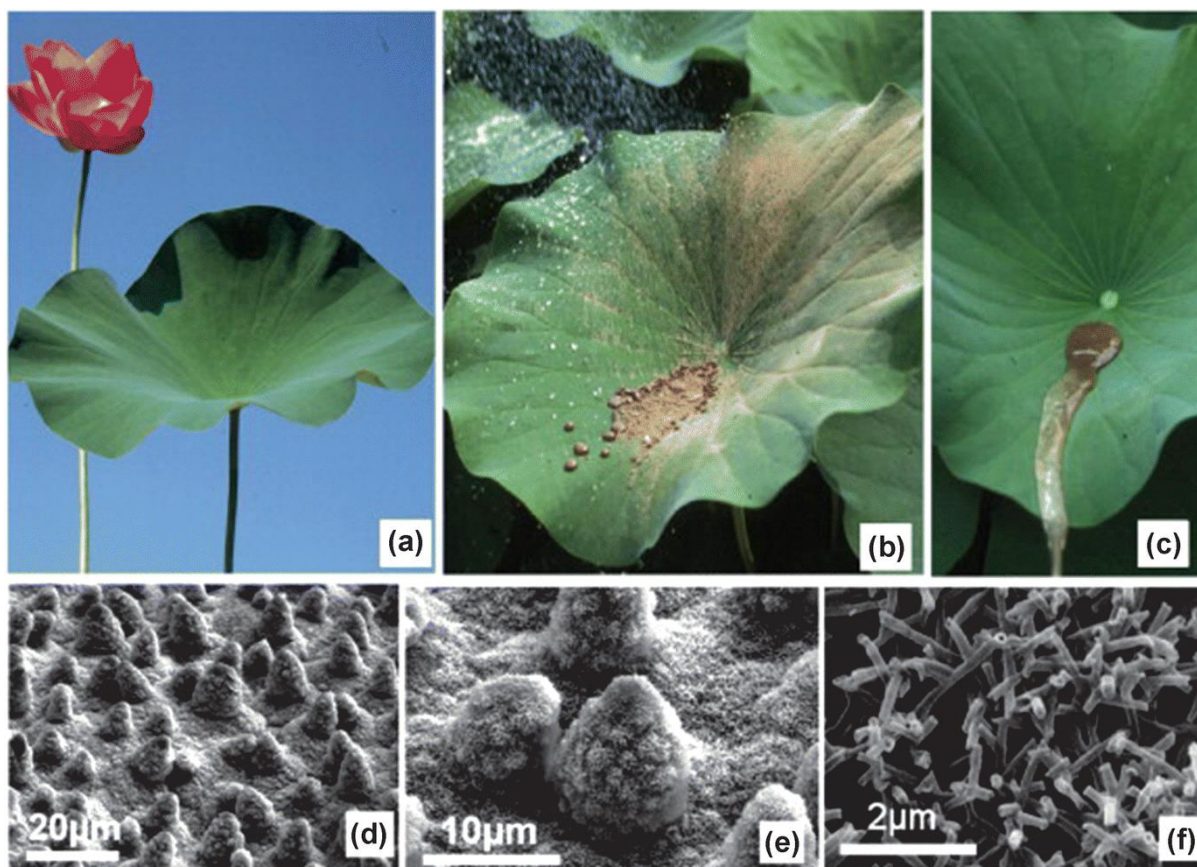
- i. **τραχιά**, λόγω των ξεχωριστών μοριακών γεωμετρικών δομών αλλά και των ξεχωριστών μαγνητικών, ηλεκτρονικών, οπτικών και μηχανικών ιδιοτήτων, που εμφανίζονται λόγω κβαντισμού [πχ. ένα σύρμα νανοκλίμακας δε θα παρουσιάσει γραμμική σχέση μεταξύ τάσης και ρεύματος αλλά βήμα σκάλας ή «ανώμαλο» ρεύμα]
- ii. **κολλώδης**, λόγω των διαμοριακών αλληλεπιδράσεων [ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις: αλληλεπιδράσεις van der Waal, δεσμός υδρογόνου, υδρόφοβες αλληλεπιδράσεις] που κυριαρχούν εις βάρος της βαρύτητας σε αυτές τις αποστάσεις
- iii. **αικίνητη**, λόγω της διάχυτης επίδρασης της θερμικής ενέργειας στα μόρια.

Τα υλικά της νανοκλίμακας παρουσιάζουν σημαντικά διαφορετικές φυσικές, χημικές, ηλεκτρικές και οπτικές ιδιότητες σε σύγκριση με τις ιδιότητές τους στη μακροσκοπική κλίμακα (Yetter, Risha, & Son, 2009). Για παράδειγμα, ο χρυσός στην μακροκλίμακα είναι γνωστός ως λαμπερό, κίτρινο και ευγενές μέταλλο. Ωστόσο, ένα δείγμα του ίδιου χρυσού είναι αρκετά διαφορετικό εφόσον είναι αρκετά μικροσκοπικό: Στα 10 nm τα σωματίδια χρυσού είναι κόκκινα. Στα 2-3nm ο χρυσός παύει να είναι ευγενής και μετατρέπεται σε εξαιρετικό καταλύτη. Σε ακόμη μικρότερα μεγέθη ο χρυσός χάνει και τις μεταλλικές του ιδιότητες και είναι πλέον μονωτής (Roduner, 2006). Οι μοναδικές αυτές ιδιότητες των υλικών στη νανοκλίμακα εμφανίζονται κυρίως λόγω υψηλής αναλογίας της επιφάνειας προς τον όγκο [s/v] και λόγω κβαντικών φαινομένων (Kumar & Kumbhat, 2016).

1.1.1.1. Το φαινόμενο του λωτού

Πολλά φυτά και έντομα έχουν υπερυδρόφοβες επιφάνειες [super-hydrophobic surfaces], με χαρακτηριστικό παράδειγμα το φύλλο του λωτού, ο οποίος στις ασιατικές χώρες είναι σύμβολο αγνότητας λόγω της ικανότητάς του να αυτοκαθαρίζεται (Neinhuis & Barthlott, 1997· Samaha, Tafreshi, & Gad-el-Hak, 2012· Uchida et al., 2010). Η φυσική αυτή υπερυδροφοβικότητα έχει πρόσφατα τραβήξει το ενδιαφέρον πολλών ερευνητών (Carre & Mittal, 2009) και έχει εμπνεύσει πολλές προσπάθειες μίμησης (Feng et al., 2002· Gu et al., 2011· He, Patankar, & Lee, 2003· Hejazi, 2014· Li, Hu, Li, & Huang, 2008· Kazemi, Ghamari, & Neshanifam, 2016· Liu et al., 2007· Marmur, 2004· Qu et al., 2011· Shiu, Kuo, Chen, & Mou, 2004).

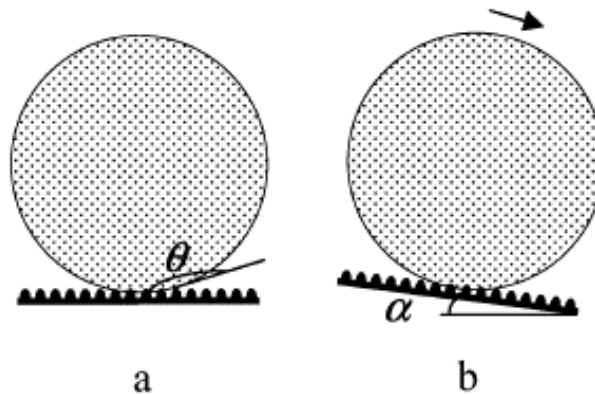
Οι πρώτοι που ερμήνευσαν την ιδιότητα αυτή ήταν δύο βοτανολόγοι, ο Christophe Neinhuis και ο Wilhelm Barthelot (1997). Για την επίτευξη αυτού του στόχου έλαβαν εικόνες διάφορων υδρόφοβων φυτών μέσω ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης [SEM] και εξέτασαν τα μικρομορφολογικά χαρακτηριστικά 200 διαφορετικών ειδών. Έδειξαν ότι τα επιδερμικά [ή εξώτατα] κύτταρα των φύλλων του λωτού δημιουργούν εξογκώματα [papillae], τα οποία λειτουργούν ως τραχύτητα μικροκλίμακας. Τα μικροεξογκώματα καλύπτονται από ένα πολύ πυκνό στρώμα επιφανειακών κηροειδών σωλήνων [wax tubules], τα οποία λειτουργούν ως τραχύτητα νανοκλίμακας. Οι κρύσταλλοι αυτοί αναφέρονται επίσης ως τριχοειδής δομές (Cheng, Rodak, Wong, & Hayden, 2006), τραχύτητα νανοδομής (Koch, Bhushan, Jung, & Barthlott, 2009) ή νανοπροεξοχές (Μάνου & Σπύρτου, 2013).



Εικόνα 2: (a) ανθισμένο φυτό λωτού, (b) φύλλο λωτού λερωμένο με λάσπη, (c) αυτοκαθαρισμός του ίδιου φύλλου του λωτού, (d)εξογκώματα [papillae] της επιφάνειας του φύλλου του λωτού, (e) λεπτομέρειες των εξογκωμάτων, (f) κηροειδείς σωλήνες [wax tubules] της επιφάνειας των εξογκωμάτων (Li, Ren, & He, 2016). Οι τρεις τελευταίες φωτογραφίες λήφθηκαν με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο [SEM].

Τα μικρομορφολογικά χαρακτηριστικά του φύλλου του λωτού, που παρουσιάστηκαν παραπάνω, είναι υπεύθυνα για τις ιδιότητες που παρουσιάζει (Neinhuis & Barthlott, 1997). Πιο συγκεκριμένα, η υπερυδροφοβικότητα του φύλλου του λωτού, αλλά και όλων των άλλων υπερυδροφοβών επιφανειών, σχετίζεται με δύο παράγοντες (Feng et al., 2002· Marmur, 2004):

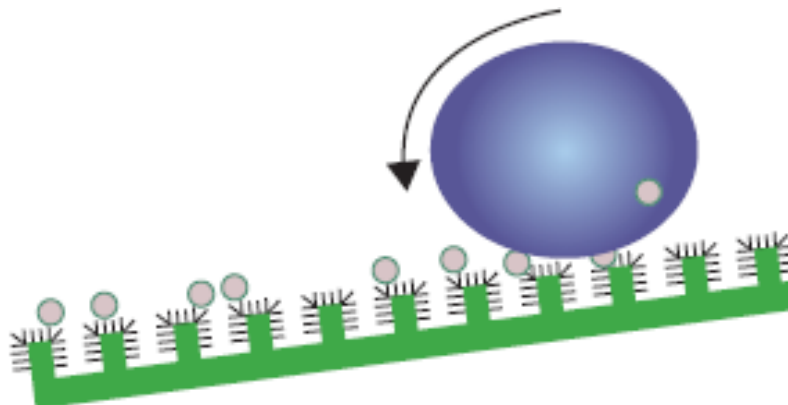
- την **πολύ μεγάλη γωνία επαφής** με το νερό, που ορίζεται ως η γωνία που σχηματίζει η επαπτόμενη της σταγόνας του νερού με το επίπεδο,
- την **πολύ μικρή γωνία κύλισης**, που ορίζεται ως η γωνία κλίσης στην οποία μια σταγόνα νερού κυλά εκτός της επιφάνειας.



Εικόνα 3: (a) γωνία επαφής – θ , (b) γωνία κύλισης – α (Marmur, 2004)

Σύμφωνα τον Feng και τους συνεργάτες του (2002), ως πολύ μεγάλες γωνίες **επαφής** ορίζονται αυτές οι μεγαλύτερες των 150.0° , οι οποίες οφείλονται στις νανοπροεξοχές, ενώ ως πολύ μικρές γωνίες **κύλισης** ορίζονται οι μικρότερες των 5.0° , οι οποίες οφείλονται στις ιεραρχικές δομές δύο κλιμάκων [multiscale hierarchical structures], δηλαδή στον συνδυασμό της ύπαρξης μικροεξογκωμάτων και νανοπροεξοχών. Για παράδειγμα, η σταγόνα σχηματίζει γωνία επαφής $161.0^\circ \pm 2.7^\circ$ με το φύλλο του λωτού (Gu et al., 2003· Neinhuis & Barthlott, 1997).

Όπως, προαναφέρθηκε οι υπερυδροφοβες επιφάνειες [πχ. φύλλο λωτού] έχουν την ιδιότητα να αυτοκαθαρίζονται. Το φαινόμενο του αυτοκαθαρισμού είναι αποτέλεσμα των δύο προαναφερθεισών ιδιοτήτων, δηλαδή της πολύ μεγάλης γωνίας επαφής και της πολύ μικρής γωνίας κύλισης (Feng et al., 2002). Όπως παρουσιάζεται και στην εικόνα 4, καθώς η σταγόνα του νερού κυλά στην επιφάνεια του φύλλου συλλαμβάνει τα σωματίδια βρωμιάς που βρίσκονται εκεί (Kumar & Kumbhat, 2016).



Εικόνα 4: Το φαινόμενο του αυτοκαθαρισμού (Kumar & Kumbhat, 2016)

1.1.2. Εφαρμογές

Το επιστημονικό (Roco, 2003· Roco, 2011), το εκπαιδευτικό (Jones et al., 2013· Stevens et al., 2007) αλλά και το κοινωνικό ενδιαφέρον (Schummer, 2005), έχουν στραφεί στον τομέα της N-ET, καθώς αναμένεται να επιφέρει νέα βιομηχανική επανάσταση (National Science Technology Council, 2000). Ήδη μεγάλος αριθμός προϊόντων της N-ET είναι διαθέσιμα για τους καταναλωτές (Kumar & Kumbhat, 2016· Murty, Shankar, Raj, Rath, & Murday, 2012) ή χρησιμοποιούνται για εφαρμογές σε ιατρικά και επιστημονικά εργαστήρια (Jones et al., 2015· Kumar & Kumbhat, 2016· Winkelmann & Bhushan, 2016).

Η έρευνα η οποία σχετίζεται με την N-ET παρουσιάζει πληθώρα εφαρμογών στους ακόλουθους τομείς:

- i. ηλεκτρο-μηχανική [electromechanics], (Winkelmann & Bhushan, 2016)
- ii. ηλεκτρονική [electronics], (Winkelmann & Bhushan, 2016)
- iii. πληροφορική [information], (Winkelmann & Bhushan, 2016)
- iv. τηλεπικοινωνίες [communication], (Winkelmann & Bhushan, 2016)
- v. χημεία [chemistry], (Winkelmann & Bhushan, 2016)
- vi. βιολογία [biology], (Winkelmann & Bhushan, 2016)
- vii. ιατρική - φαρμακευτική [medicine], (Jones et al., 2015· Kumar & Kumbhat, 2016)
- viii. βιομηχανία τροφίμων [food industry], (Kumar & Kumbhat, 2016)
- ix. βιομηχανία υφασμάτων [textile industry], (Kumar & Kumbhat, 2016)
- x. βιομηχανία προϊόντων καλλωπισμού [cosmetics], (Kumar & Kumbhat, 2016)

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται συχνότερα στις εφαρμογές αυτές είναι τα νανοσωματίδια αργύρου, χρυσού, σιδήρου, οξειδίων του πυριτίου, αλουμινίου, τιτανίου, ψευδαργύρου και τα νανοϋλικά του άνθρακα, όπως νανοσωληνές άνθρακα (Kumar & Kumbhat, 2016).

1.1.2.1. Εφαρμογές υπερυδροφοβικότητας

Όπως προαναφέρθηκε, τα τελευταία χρόνια το φαινόμενο του λωτού έχει μελετηθεί εκτενώς (Carre & Mittal, 2009) και μεγάλο πλήθος εταιριών έχουν κατασκευάσει προϊόντα, τα οποία αναπαράγουν την επιφανειακή μορφολογία του φύλλου του λωτού (Kumar & Kumbhat, 2016). Παραδείγματα τέτοιων προϊόντων είναι τα εξής:

- i. χρώματα [paint]
- ii. γυάλινες επιφάνειες [glass surface]
- iii. κεραμικά πλακάκια [ceramic tiles]
- iv. επιστρώσεις – σπρέι [coatings]
- v. κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα [textiles]
- vi. υφάσματα πολυεστέρα [polyester fabrics]

Τα προϊόντα αυτά απωθούν το νερό, τη βρωμιά και σε μερικές περιπτώσεις μπορεί να παρουσιάζουν βιοκτόνο [biocidal] δράση, οπότε παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τη κατασκευή πανιών, ομπρελών, τεντών, ρούχων και φωτοβολταϊκών και για την επίστρωση επιφανειών σε χώρους εστίασης και στο σπίτι [πχ. πλακάκια] (Kumar & Kumbhat, 2016).

1.1.3. Μεγάλες Ιδέες

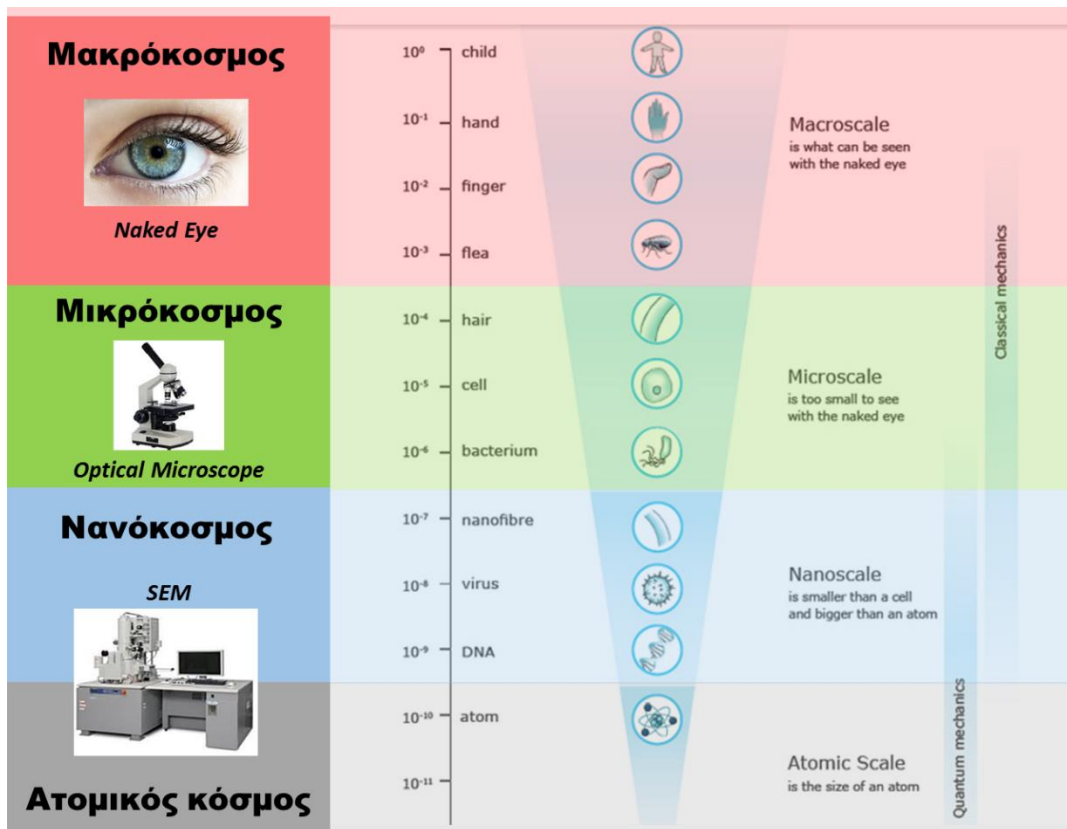
Στις ΗΠΑ έχουν ήδη γίνει συστηματικές προσπάθειες για τον εντοπισμό των κύριων εννοιών που πρέπει να αποκτήσουν οι μαθητές για να κατανοήσουν την Ν-ΕΤ (Stevens, Sutherland, Schank, & Krajcik, 2007· Stevens, Sutherland, & Krajcik, 2009). Μετά από πολλές αναθεωρήσεις κατέληξαν στις «Μεγάλες Ιδέες» [M.I.] [Big Ideas] της νανοτεχνολογίας.

1.1.3.1. M.I.1: Μέγεθος και κλίμακα

Ως μέγεθος ορίζεται η έκταση ή η ποσότητα [bulk amount] ενός υλικού. Κάθε αντικείμενο έχει ένα μέγεθος, το οποίο μπορεί να οριστεί σε μία, δύο ή τρεις διαστάσεις. Η σύγκριση ενός αντικείμενου με ένα αντικείμενο αναφοράς ή με ένα πρότυπο αναφοράς [π.χ. συμβατικές μονάδες μέτρησης] ορίζει το μέγεθος του αντικείμενου καθορίζοντας την κλίμακα γεωμετρικών ιδιοτήτων όπως το μήκος [π.χ., μέτρα, πόδια, μίλια], την περιοχή [π.χ. τετραγωνικά μέτρα, τετραγωνικές ίντσες, στρέμματα] ή τον όγκο [π.χ. κυβικά μέτρα, κυβικά πόδια, λίτρα, γαλόνια]. Κάθε μία από αυτές τις γεωμετρικές ιδιότητες μπορεί να έχει τιμές που διαφέρουν κατά πολλές τάξεις μεγέθους (AAAS, 1993).

Η Stevens και οι συνεργάτες της (2009) προτείνουν τη διαίρεση αυτής της μεγάλης ποικιλίας μεγεθών σε κλίμακες ή «κόσμους» [π.χ. μακρόκοσμος, μικρόκοσμος, νανόκοσμος, ατομικός κόσμος], καθένας από τους οποίους χαρακτηρίζεται από:

- i. τις αντίστοιχες **μονάδες μέτρησης**
- ii. τα αντίστοιχα **αντικείμενα αναφοράς**
- iii. τα αντίστοιχα **εργαλεία και όργανα παρατήρησης**
- iv. τα αντίστοιχα **μοντέλα περιγραφής** της συμπεριφοράς της ύλης



Σχήμα 1: Η διαίρεση της κλίμακας σε κόσμους και η αντιστοίχσή τους με αντικείμενα αναφοράς και όργανα παρατήρησης. Η δεξιά στήλη του σχήματος δημιουργήθηκε από το University of Waikato (2013)

Η σύνδεση του καθημερινού κόσμου με τη νανοκλίμακα είναι πιθανόν να είναι αδύνατη χωρίς τη χρήση εννοιών που σχετίζονται με το μέγεθος και την κλίμακα, οπότε αυτές αποτελούν ένα σημαντικό μέρος του γνωστικού πλαισίου για την κατανόηση του νανόκοσμου (Stevens et al., 2009).

Φυσικά, παρόλο που η εννοιολογική διαίρεση του σύμπαντος σε αυτούς τους κόσμους μπορεί να είναι χρήσιμη ως οδηγός, είναι ακριβέστερο να θεωρούμε τους κόσμους ως ένα συνεχές, όπου οι διαιρέσεις μεταξύ τους είναι κάπως θολές και όχι σαφώς καθορισμένες (Stevens et al., 2009). Για την αποφυγή της δημιουργίας κατακερματισμένων [fragmented] αντιλήψεων για το μέγεθος και την κλίμακα (Swarat, Light, Park, & Drane, 2011), υποστηρίζεται ότι είναι σημαντικό οι τρεις κόσμοι να μη διδάσκονται αποσπασματικά, αλλά να αναδεικνύεται η αλληλεπίδρασή τους (Meijer, 2011· Stevens et al., 2009).

1.1.3.2. M.I.2: Δομή της ύλης

Η ατομική θεωρία περιγράφει ένα μοντέλο στο οποίο η ύλη αποτελείται από ξεχωριστές οντότητες που ονομάζονται άτομα. Λίγο περισσότεροι από 100 τύποι ατόμων αποτελούν όλες τις ουσίες. Ο τύπος των ατόμων και η διάταξή τους καθορίζουν την ταυτότητα και επηρεάζουν τις ιδιότητες ενός υλικού. Για παράδειγμα, οι υδρογονάνθρακες είναι μια κατηγορία ουσιών που αποτελούνται από συνδυασμούς μόνο ατόμων άνθρακα και υδρογόνου.

Επειδή όλοι οι υδρογονάνθρακες αποτελούνται από τον ίδιο τύπο ατόμων, τα υλικά αυτής της κατηγορίας ενώσεων μοιράζονται πολλές ιδιότητες. Ωστόσο, η διάταξη των ατόμων παίζει επίσης σημαντικό ρόλο στις ιδιότητες του υλικού. Με τον ίδιο τρόπο η ταυτότητα και η διάταξη των δομικών στοιχείων μιας δομής νανοκλίμακας επηρεάζουν τη λειτουργία και τις ιδιότητές της (Stevens et al., 2009).

1.1.3.3. M.I.3: Δυνάμεις και αλληλεπιδράσεις

Τέσσερις θεμελιώδεις δυνάμεις περιγράφουν όλες τις αλληλεπιδράσεις: βαρυτική, ηλεκτρομαγνητική, ισχυρή πυρηνική και ασθενής πυρηνική. Η βαρυτική δύναμη κυριαρχεί στη μακροκλίμακα. Η ηλεκτρομαγνητική δύναμη κυριαρχεί γενικά στην νανοκλίμακα και στις ατομικές κλίμακες. Η ισχυρή πυρηνική δύναμη είναι υπεύθυνη για τη διατήρηση των πυρήνων των ατόμων μαζί, οπότε κυριαρχεί στην υποατομική κλίμακα [$\sim 10^{-15}$ m]. Τέλος, η ασθενής δύναμη εμπλέκεται επίσης σε φαινόμενα υποατομικής κλίμακας όπως στην βήτα αποσύνθεση [beta decay] και άλλες πυρηνικές αντιδράσεις (Stevens et al., 2009).

1.1.3.4. M.I.4: Κβαντικά φαινόμενα

Σύμφωνα με τον Stevens και τους συνεργάτες του (2009), η ανάπτυξη μιας θεμελιώδους κατανόησης πολλών φαινομένων νανοκλίμακας [π.χ. κβαντικές κουκίδες] δεν απαιτεί βαθιά κατανόηση της κβαντικής μηχανικής. Θεωρούν ότι είναι επαρκής μια γενική, ποιοτική κατανόηση των παρακάτω θεμελιωδών κβαντομηχανικών εννοιών:

- i. Η φύση της ύλης είναι διττή, δηλαδή έχει ταυτόχρονα και κυματικό και σωματιδιακό χαρακτήρα. Από τα παραπάνω προκύπτει η αρχή της απροσδιοριστίας, δηλαδή ότι δεν μπορούμε ταυτόχρονα να καθορίσουμε τη θέση και την ορμή ενός σωματιδίου.

- ii. Μόνο διακριτές ποσότητες, κβάντα, ενέργειας μπορούν να εισέλθουν ή να βγουν από ορισμένα συστήματα [π.χ., άτομα, μόρια, κβαντικές κουκίδες], καθώς η ενέργεια είναι κβαντισμένη. Αυτό δεν ισχύει μόνο για τα ατομικά και υποατομικά συστήματα αλλά και για πολλά συστήματα νανοκλίμακας.
- iii. Λόγω της διττής φύσης της ύλης δεν μπορούμε να προβλέψουμε ακριβώς τι θα συμβεί σε συγκεκριμένες κλίμακες [ατομική, υποατομική και συχνά νανοκλίμακα]. Αντ' αυτού, μπορεί να υπολογιστεί μόνο η πιθανότητα ενός δεδομένου αποτελέσματος, το οποίο έχει συνέπειες για τη συμπεριφορά ηλεκτρονίων μέσα στα άτομα, τους χημικούς δεσμούς και τις διαμοριακές αλληλεπιδράσεις.
- iv. Μια προσέγγιση της απαγορευτικής αρχής του Pauli για τους μη-ειδικούς είναι ότι δύο ηλεκτρόνια δεν μπορούν να βρίσκονται στην ίδια ακριβώς κβαντική κατάσταση μέσα στο ίδιο σύστημα [άτομο], γεγονός το οποίο σχετίζεται με τη διάταξη των στοιχείων στον περιοδικό πίνακα.

Πολλοί εκπαιδευτικοί θεωρούν ότι οι ιδέες για την κβαντομηχανική δεν είναι κατάλληλες για να εισαχθούν στο δευτεροβάθμιο πρόγραμμα σπουδών (Stevens et al., 2009). Όμως τα πρότυπα επιστήμης των ΗΠΑ, που ορίζουν τον επιστημονικό γραμματισμό, περιέχουν τουλάχιστον μερικές από τις παραπάνω ιδέες (AAAS 1993, NRC, 1996).

1.1.3.5. M.I.5: Ιδιότητες που εξαρτώνται από το μέγεθος

Οι ιδιότητες της ύλης μπορούν να αλλάξουν καθώς αλλάζει η κλίμακα. Πιο συγκεκριμένα, μεταξύ της μετάβασης από το χύδην υλικό [bulk material] στα μόρια και τα άτομα, συνήθως στην περιοχή της νανοκλίμακας, τα υλικά συχνά παρουσιάζουν μη αναμενόμενες ιδιότητες που οδηγούν σε νέες πιθανές τεχνολογικές εφαρμογές (Roduner 2006). Αυτό συμβαίνει διότι οι διατομικές αλληλεπιδράσεις και άλλοι παράγοντες που είναι ασήμαντοι στην μακροκλίμακα καθίστανται κυρίαρχοι στην νανοκλίμακα και πολλές παράμετροι του υλικού αλλάζουν σημαντικά καθώς είναι εξαρτώμενες από το μέγεθος αλλά και την τοπογραφία (Cortie, 2004).

Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι τα νανοσωματίδια χρυσού, που παρουσιάζουν μερικές ενδιαφέρουσες οπτικές ιδιότητες και χρησιμοποιήθηκαν από τον Μεσαίωνα για την δημιουργία βιτρό διαφορετικών χρωμάτων [εικόνα 5]. Τα κολλοειδή διαλύματά τους έχουν διαφορετικά χρώματα ανάλογα με το μέγεθος των σωματιδίων χρυσού που έχουν διαλυθεί. Τα σωματίδια με διάμετρο από 10 έως 30 nm, δίνουν ένα κόκκινο χρώμα στο διάλυμα, τα σωματίδια με διάμετρο από 2 έως 5 nm δίνουν κίτρινο διάλυμα και όταν είναι πάνω από 100 nm το χρώμα μετακινείται προς το ιώδες (Haiss, Thanh, Aveyard, & Fernig, 2007).



Εικόνα 5: Τζάμια που κατασκευάστηκαν με την τεχνολογία βιτρό

Οι εξαρτώμενες από το μέγεθος ιδιότητες που παρατηρούνται στα υλικά της νανοκλίμακας μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ότι οφείλονται κυρίως είτε στην επιφάνεια είτε στο μέγεθος. Η δραματική αύξηση της αναλογίας της επιφάνειας προς τον όγκο $[S / V]$ που συμβαίνει όταν το μέγεθος του υλικού προσεγγίζει τη νανοκλίμακα σχετίζεται με ιδιότητες που εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την επιφάνεια όπως το σημείο τήξης, ο ρυθμός αντίδρασης, η τριχοειδής δράση και η προσκόλληση. Ενώ οι ιδιότητες που εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από το μέγεθος, όπως η αγωγιμότητα, η αντιδραστικότητα και οι οπτικές και μαγνητικές ιδιότητες, συνδέονται άμεσα με το μέγεθος ή τον αριθμό των ατόμων του αντικειμένου ή του υλικού (Stevens et al., 2009).

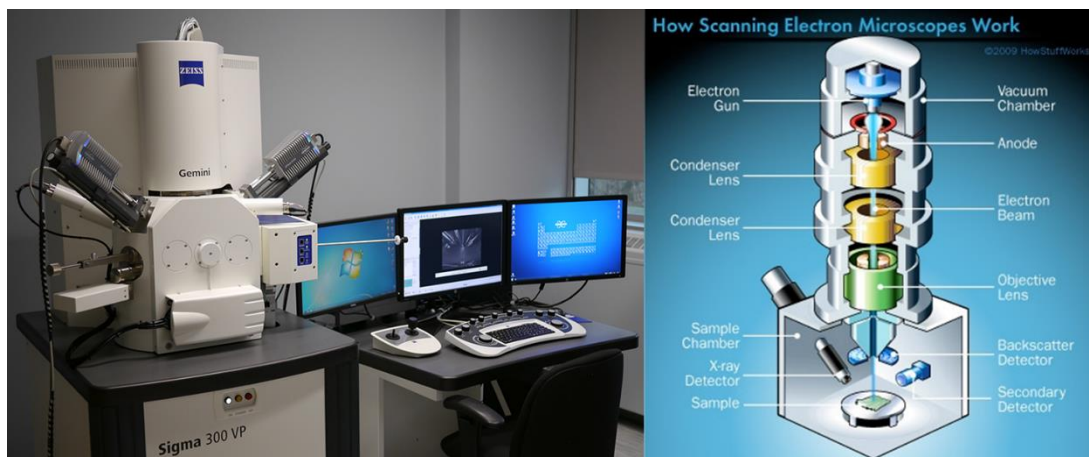
Ο λόγος S/V πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στην μελέτη των ιδιοτήτων που εξαρτώνται από το μέγεθος λόγω της μεγάλης σημασίας που αποκτά η ενέργεια των ατόμων της επιφάνειας καθώς οι διαστάσεις του υλικού συρρικνώνονται. Όταν οι διαστάσεις ενός υλικού φτάσουν στο επίπεδο της νανοκλίμακας ένα σημαντικό κλάσμα των ατόμων βρίσκεται σε αυτή την υψηλότερη ενεργειακή κατάσταση σε σχέση με το χυδόν υλικό. Ο αυξημένος αριθμός διαθέσιμων ατόμων σε μια επιφάνεια αυξάνει επίσης τον αριθμό των επαγόμενων διπολικών αλληλεπιδράσεων που μπορεί να εμφανιστούν, επηρεάζοντας τις ιδιότητες προσκόλλησης. Για παράδειγμα, ο μεγάλος λόγος επιφάνειας προς όγκο των πόρων σε υλικά κατασκευασμένα από υπεραπορροφητικά πολυμερή τους επιτρέπει να απορροφούν μεγάλες ποσότητες υγρού [έως 500 φορές το βάρος τους] (Kabiri, Omidian, Hashemi, & Zohuriaan-Mehr, 2003).

1.1.3.6. M.I.6: Αυτοοργάνωση

Κάτω από κατάλληλες συνθήκες, ορισμένα υλικά σχηματίζουν οργανωμένες δομές χωρίς εξωτερική παρέμβαση. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται αυτοοργάνωση και προσφέρει ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για την χειραγώγηση της ύλης στην νανοκλίμακα (Stevens et al., 2009).

1.1.3.7. M.I.7: Εργαλεία και όργανα παρατήρησης

Ένα από τα πρώτα σημαντικά όργανα ήταν το οπτικό μικροσκόπιο, το οποίο ανακαλύφθηκε στην σημερινή του μορφή τον 17ο αι. και βοήθησε τους επιστήμονες να γνωρίσουν τον μικρόκοσμο (Atherton, 1998). Η ανάπτυξη εργαλείων όπως το Μικροσκόπιο Σήραγγας [Scanning Probe Microscope] και το Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο [Scanning Electron Microscope] έδωσαν πρόσβαση και στο νανόκοσμο. Αυτά τα νέα όργανα επιτρέπουν στους επιστήμονες και τους μηχανικούς να χαρακτηρίζουν και να χειρίζονται υλικά νανοκλίμακας με σχετική ευκολία (Stevens et al., 2009).



Εικόνα 6: Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο [αριστερά] (University of Alberta.), Λειτουργικά στοιχεία [δεξιά] (Atteberry, 2015)

1.1.3.8. M.I.8: Μοντέλα και προσομοιώσεις

Οι επιστήμονες χρησιμοποιούν μοντέλα και προσομοιώσεις για να τους βοηθήσουν να απεικονίσουν, να εξηγήσουν, να προβλέψουν και να υποθέσουν σχετικά με τις δομές, τις ιδιότητες και τις συμπεριφορές των φαινομένων [π.χ. αντικείμενα, υλικά, διαδικασίες, συστήματα]. Το εξαιρετικά μικρό μέγεθος και η πολυπλοκότητα των φαινομένων στόχων της νανοκλίμακας καθιστούν τα μοντέλα και τις προσομοιώσεις χρήσιμα για τη μελέτη τους (Stevens et al., 2009).

1.1.3.9. M.I.9: Επιστήμη, τεχνολογία και κοινωνία

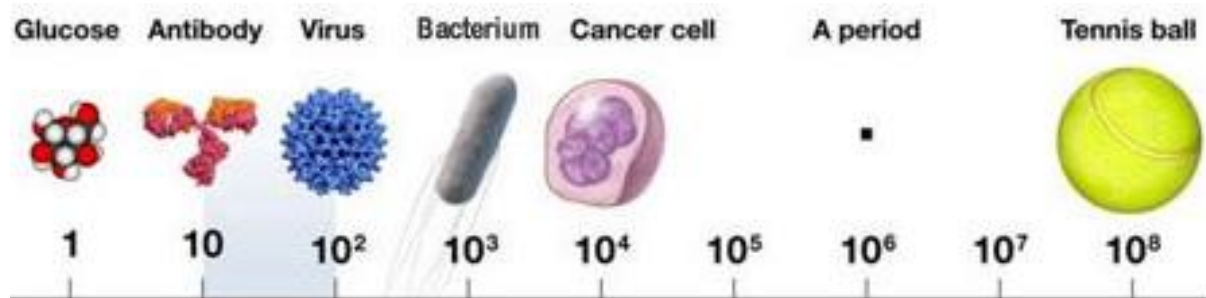
Η πρόοδος της επιστήμης συνεπάγεται την ανάπτυξη εξηγήσεων για το πώς και το γιατί τα πράγματα λειτουργούν και τη χρήση της τεχνολογίας για την εφαρμογή αυτής της γνώσης για την επίτευξη στόχων, την επίλυση προβλημάτων και την απάντηση ζητημάτων κοινωνικού ενδιαφέροντος. Επειδή η νανοτεχνολογία είναι μια αναδύομενη επιστήμη, παρέχει την ευκαιρία στον άνθρωπο του 21^{ου} αιώνα να παρακολουθήσει και να συμμετάσχει ενεργά στην επιστημονική πρόοδο και στη λήψη αποφάσεων σχετικά με τον τρόπο χρήσης των νέων τεχνολογιών (Stevens et al., 2009).

1.1.4. Εκπαιδευτικές προσεγγίσεις

Από την αποδελτίωση της σχετικής βιβλιογραφίας αναδείχθηκαν δύο βασικές εκπαιδευτικές προσεγγίσεις για την N-ET ως σύνολο, [α] η **διαίρεση της συνεχούς κλίμακας** σε υποκλίμακες [κόσμους] και η σύνδεση της καθεμίας με τις αντίστοιχες μονάδες μέτρησης, αντικείμενα αναφοράς, όργανα παρατήρησης και μοντέλα περιγραφής (Stevens et al., 2007· Stevens et al., 2009), [β] η περιγραφή της νανοκλίμακας και των φαινομένων της με τους όρους: **αικίνητη, κολλώδης και τραχιά** (Jones et al., 2013· Taylor, Jones, & Pearl, 2008).

Όσον αφορά το μέγεθος και την κλίμακα, εντοπίστηκαν τρεις καλά δομημένες διδακτικές προτάσεις:

- i. εκλέπτυνση των αντιλήψεων των μαθητών για το μέγεθος και την κλίμακα με την **χρήση αντικειμένων αναφοράς [landmarks]**. Πιο συγκεκριμένα, οι μαθητές κατασκευάζουν εννοιολογικές κατηγορίες μεγέθους με βάση τα σημεία αναφοράς και δημιουργούνται σιγά-σιγά ξεχωριστοί «κόσμοι» [π.χ. νανόκοσμος], που περιέχουν τα αντικείμενα που ανήκουν σε ένα εύρος μεγεθών και συχνά έχουν τη δική τους μονάδα μέτρησης (Tretter, Jones, Andre, Negishi, & Minogue, 2006a· Tretter, Jones, & Minogue, 2006b). Η συγκεκριμένη διδακτική πρόταση εμπνεύστηκε από τους Joram, Subrahmanyam, & Gelman (1998), οι οποίοι είχαν συμπεράνει ότι με την χρήση των σημείων αναφοράς [reference points] για γνωστά απόλυτα μεγέθη οι μαθητές αναπτύσσουν μία νοητή αριθμογραμμή με την οποία μπορούν να εκτιμούν καλύτερα.



Εικόνα 7: Αντικείμενα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως αντικείμενα αναφοράς [Μονάδα μέτρησης: nm]

- ii. **ολοκληρωμένο γνωστικό πλαίσιο για τον χαρακτηρισμό και την υποβοήθηση της γνώσης για το μέγεθος και την κλίμακα** [Integrated Knowledge Framework to Characterize and Scaffold Size and Scale Cognition] (Magana, 2014· Magana, Brophy, & Bryan, 2012), το οποίο βασίζεται στην ταξινόμια των Gagné & Glaser (1987), και περιλαμβάνει πέντε γνωστικές διαδικασίες: τη γενίκευση [generalization], τη διάκριση [discrimination], την λογική αναλογική σκέψη [logical proportional reasoning], την αριθμητική αναλογική σκέψη [numerical proportional reasoning] και την απόδοση του απόλυτου μεγέθους [absolute size]
- iii. **μαθησιακή πρόοδος για το μέγεθος και την κλίμακα** [Learning Progression for Size & Scale] για την οποία οι αντιλήψεις των μαθητών για το μέγεθος και την κλίμακα μπορούν να ταξινομηθούν σε έξι επίπεδα, ανάλογα με την δηλωτική τους γνώση, την συνέπεια των απαντήσεων μεταξύ των κατηγοριών και το επίπεδο σκέψης των μαθητών. Σύμφωνα με τον Delgado (2009), τα επίπεδα αυτά είναι τα εξής:

Επίπεδο 0 [κατώτερο επίπεδο]: οι περισσότεροι μαθητές ερχόμενοι στην 6η τάξη [Δημοτικού] θα βρίσκονται σε αυτό το επίπεδο. Οι μαθητές σε αυτό το επίπεδο δεν συνδέουν μεταξύ τους, τους διάφορους τύπους μεγέθους και κλίμακας. Το μόνο σημείο αναφοράς που έχουν δημιουργήσει είναι το ύψος του ανθρώπου και δεν γνωρίζουν την ύπαρξη των μικροσκοπικών αντικειμένων. Συνήθως μπορούν να σειροθετήσουν επιτυχώς μακροσκοπικά αντικείμενα, υπερεκτιμώντας όμως τις κάθετες αποστάσεις σε σχέση με τις οριζόντιες. Για τους μαθητές αυτού του επιπέδου η διδασκαλία θα πρέπει να επικεντρωθεί στο να τους βοηθήσει να γνωρίσουν τον μικρόκοσμο. Επίσης, θα πρέπει να παρατηρήσουν αντικείμενα του μικρόκοσμου σε σχέση με μικρά αντικείμενα τις μακροκλίμακας, ώστε να αρχίσουν να δημιουργούν κατάλληλα σημεία αναφοράς που θα τους ανοίξουν τις πόρτες του μικρόκοσμου.

Επίπεδο 1 [Συνέπεια μεταξύ ταξινόμησης και ομαδοποίησης]: οι μαθητές τις 6ης μπορούν να φτάσουν στο 1ο επίπεδο, αν δεχθούν επαρκή διδακτική υποστήριξη. Σε αυτό το επίπεδο, οι μαθητές έχουν συνδέσει την ταξινόμηση με την σειροθέτηση και είναι συνεπείς ανάμεσα στα δύο έργα. Αυτό μπορεί να βοηθήσει στη δημιουργία κόσμων διαφορετικού εύρους μεγεθών, καθώς όταν τα διάφορα αντικείμενα έχουν σειροθετηθεί σωστά δεν μπορούν να ταξινομηθούν με οποιονδήποτε τρόπο. Γνωρίζουν κάποια αντικείμενα του μικρόκοσμου, συνήθως μικρόβια ή κύτταρα. Τέλος, τους είναι άγνωστες οι υποδιαιρέσεις του μέτρου κάτω από το χιλιοστό τους και δεν έχουν πολλές γνώσεις πάνω στο σχετικό και το απόλυτο μέγεθος οποιουδήποτε αντικειμένου. Από το διδακτικό πείραμα φάνηκε ότι η σχέση μεταξύ της ταξινόμησης και της σειροθέτησης είναι ένα πολύ δυνατό εργαλείο για την βελτίωση των αντιλήψεων των μαθητών σε σχέση με το μέγεθος και την κλίμακα. Για παράδειγμα αν οι μαθητές ταξινομήσουν όλα τα αντικείμενα που γνωρίζουν σε δύο κατηγορίες, αυτά που φαίνονται με το γυμνό μάτι και αυτά που δεν φαίνονται, θα είναι ικανοί χρησιμοποιώντας την λογική σκέψη να σειροθετήσουν ορθά δύο αντικείμενα, ένα που μπορούμε να δούμε και ένα που δεν μπορούμε.

Επίπεδο 2 [Συνέπεια μεταξύ ταξινόμησης και σχετικού μεγέθους]: οι περισσότεροι μαθητές της 6ης τάξης μπορούν να φτάσουν και σε αυτό το επίπεδο μετά από κατάλληλη διδασκαλία. Σε αυτό το επίπεδο, οι μαθητές είναι συνεπείς και μεταξύ της σειροθέτησης και του σχετικού μεγέθους. Αυτό σημαίνει ότι οι εκτιμήσεις τους για το μέγεθος των αντικειμένων μεγάλωνουν [ή μικραίνουν] όσο απομακρυνόμαστε από το σημείο αναφοράς. Αυτό ίσως είναι η αρχή για

την δημιουργία μιας νοητής αριθμογραμμής, η οποία θα περιλαμβάνει διάφορα σημεία αναφοράς σειροθετημένα ορθώς. Οι μαθητές σε αυτό το επίπεδο ευνοούνται από δραστηριότητες, που τους ενθαρρύνουν να σκέφτονται για το πώς να εκφράζουν το μέγεθος αντικειμένων μικρότερων του 1 χιλιοστού και να κατανοήσουν ότι αντικείμενα που είναι μικρότερα από άλλα έχουν και μικρότερα απόλυτα μεγέθη. Επίσης, ο υπολογισμός των σχετικών μεγεθών πολύ μικρών και πολύ μεγάλων αντικειμένων δημιουργεί ευκαιρίες για αναστοχασμό πάνω στις διαφορές μεταξύ μεγάλων αλλά πεπερασμένων αριθμών και του άπειρου, το οποίο ίσως θα μπορούσε να συνδυαστεί με μια μαθηματική μαθησιακή σειρά.

Επίπεδο 3 [Συνέπεια μεταξύ ταξινόμησης – απόλυτου μεγέθους]: αυτό το επίπεδο μπορεί να είναι ένας λογικός στόχος για το τέλος του γυμνασίου. Εκτός από το ότι παρουσιάζουν συνέπεια μεταξύ σειροθέτησης - ταξινόμησης και σειροθέτησης - σχετικού μεγέθους, σε αυτό το επίπεδο οι μαθητές είναι συνεπείς και μεταξύ σειροθέτησης και απόλυτου μεγέθους. Οι μαθητές αυτού του επιπέδου γνωρίζουν τα μικρόμετρα και τα νανόμετρα και ταξινομούν όλα τα μικροσκοπικά αντικείμενα σαν μικρότερα από τα μακροσκοπικά. Έτσι, έχουν ένα ξεκάθαρο διαχωρισμό μεταξύ των κόσμων, κάθε ένας από τους οποίους χαρακτηρίζεται από κάποια χαρακτηριστικά αντικείμενα και μονάδες μέτρησης. Έτσι, η διδασκαλία σε μαθητές αυτού του επιπέδου θα πρέπει να εστιάζει στην κατανόηση της σχέσης μεταξύ του σχετικού μεγέθους και του απόλυτου μεγέθους, δηλαδή στην δημιουργία μιας μορφής αναλογικού συλλογισμού. Παράδειγμα δραστηριότητας που έχει αυτό το στόχο είναι ο υπολογισμός του απόλυτου μεγέθους από το σχετικό του μέγεθος σε σχέση με ένα άλλο ήδη γνωστό.

Επίπεδο 4 [Μερική συνέπεια μεταξύ σχετικού – απόλυτου μεγέθους]: αυτό το επίπεδο ίσως είναι ένας λογικός στόχος για τους μαθητές 1ης Λυκείου. Οι μαθητές αυτού του επιπέδου, πέρα από ότι είχαν κατακτήσει από το 3ο επίπεδο, αρχίζουν να συνδέουν το σχετικό με το απόλυτο μέγεθος, παράγοντας συνεπείς εκτιμήσεις για ορισμένα αντικείμενα. Κατανοούν ότι το σχετικό με το απόλυτο μέγεθος σχετίζονται αλλά δεν βλέπουν ότι θα πρέπει να είναι πάντα συνεπή μεταξύ τους. Από την ανάλυση των έργων φαίνεται ότι οι μαθητές αυτοί μπορούν να υπολογίσουν το απόλυτο μέγεθος ενός αντικειμένου, αν γνωρίζουν το μέγεθός του σε σχέση με κάποιο άλλο αντικείμενο του οποίου το απόλυτο μέγεθος τους είναι γνωστό. Αυτό σημαίνει ότι ουσιαστικά γνωρίζουν το πώς δημιουργείται μια κλίμακα μέτρησης, οπότε έχουν τα εφόδια για να κατασκευάσουν μια νοητή αριθμογραμμή.

Επίπεδο 5 [Απόλυτη συνέπεια μεταξύ σχετικού – απόλυτου μεγέθους]: το τελευταίο επίπεδο της μαθησιακής προόδου πρέπει να έχει κατακτηθεί κατά την αποφοίτηση από το λύκειο. Οι μαθητές αυτοί συνδέουν το σχετικό με το απόλυτο μέγεθος σε όλες τις περιπτώσεις. Έτσι, μπορούν να εκτιμήσουν επιτυχώς το απόλυτο μέγεθος αντικειμένων, τα οποία δεν είναι σημεία αναφοράς, αν γνωρίζουν ή μπορούν να εκτιμήσουν το σχετικό μέγεθος τους σε σχέση με κάποιο σημείο αναφοράς. Τέλος, μπορούν να υπολογίσουν την αναλογία μεταξύ δύο αντικειμένων [σχετικό μέγεθος], αν γνωρίζουν την αναλογία τους με ένα τρίτο. Για παράδειγμα αν γνωρίζουν ότι το λευκό αιμοσφαίριο είναι δύο φορές μεγαλύτερο από το ερυθρό και ότι ένα βακτήριο είναι δέκα φορές μικρότερο από το ερυθρό αιμοσφαίριο, μπορούν να υπολογίσουν ότι το λευκό είναι 20 φορές μεγαλύτερο από το βακτήριο. Αυτό τους επιτρέπει να φτιάξουν ένα ευρύ δίκτυο συνδέσεων μεταξύ των διάφορων αντικειμένων και έτσι να δημιουργήσουν μια καλά ενημερωμένη νοητή αριθμογραμμή.

Όσον αφορά το φαινόμενο του λωτού, προτείνεται η προσέγγισή του με την χρήση των **MI: 1, 5, 7, 8 & 9** (Πέικος, Μάνου, & Σπύρτου, 2015α· Πέικος, Μάνου, & Σπύρτου, 2016β· Μάνου & Σπύρτου, 2013) και με την χρήση της **τραχύτητας** από τις ιδιότητες της νανοκλίμακας (Jones et al., 2013· Taylor, Jones, & Pearl, 2008). Επιπλέον, έχουν αναπτυχθεί διάφορες δραστηριότητες από διάφορους οργανισμούς, που στοχεύουν στη διάχυση των γνώσεων για τη N-ET. Ενδεικτικά αναφέρονται οι εξής:

- i. το φαινόμενο του λωτού (NISE, n.d.)
- ii. το μυστήριο του λιμνάζοντος νερού (NNIN, 2014)
- iii. υπερυδροφοβα υλικά (NanoYou, 2010)
- iv. το μυστήριο του λωτού (Jones, Falvo, Taylor, & Broadwell, 2007).

Η τελευταία δραστηριότητα περιλαμβάνει τα εξής βήματα:

1. δημιουργία σκηνής εγκλήματος, είτε στην πλακέτα αφίσας είτε σε μια διαφάνεια του PowerPoint, στην οποία να απεικονίζεται ότι το αίμα ψεκάστηκε παντού αλλά δεν λέρωσε το μυστήριο φυτό
2. καθώς οι μαθητές μελετούν την εικόνα, κρατούν σημειώσεις και σκιαγραφούν τη σκηνή του εγκλήματος
3. οι μαθητές να συνοψίζουν τα σημαντικά γεγονότα
4. οι μαθητές ενημερώνονται ότι κάθε ομάδα εργάζεται για την κυρία Nan O'Meter για να διερευνήσει τη σκηνή του εγκλήματος και ότι πρέπει να χρησιμοποιούν το φύλλο εργασίας για να καθοδηγηθούν
5. οι μαθητές καλούνται να απαντήσουν στην ερώτηση: «Γιατί δεν ήταν καλυμμένο με αίμα το μυστήριο φυτό»;

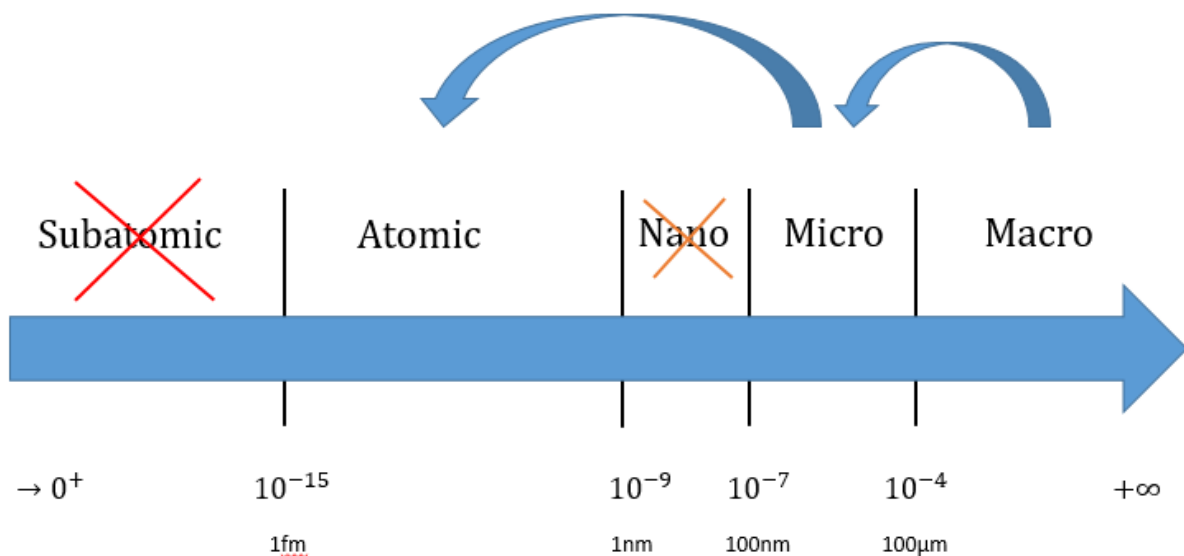
1.1.5. Ιδέες μαθητών

Οι περισσότερες έρευνες που αφορούν τις ιδέες για τη N-ET στόχευαν στην μελέτη της δημόσιας κατανόησης (Batt, Waldron, & Broadwater, 2008· Castellini et al., 2007· Cobb & Macoubrie, 2004· Lee, 2005· Scheufele, Corley, Shih, Dalrymple, & Ho, 2009· Spencer & Angelotti, 2004· Waldron et al., 2006) και στην διερεύνηση των αντιλήψεων για το μέγεθος και την κλίμακα (Delgado, Stevens, Shin, Yunker, & Krajcik, 2007· Jones et al., 2007· Jones et al., 2011· Swarat, Light, Park, & Drane, 2011· Taylor & Jones, 2009· Tretter et al., 2006a· Tretter et al., 2006b). Καθώς, οι ιδέες των μαθητών για το φαινόμενο του λωτού δεν έχουν ερευνηθεί θα παρουσιαστούν κάποιες μελέτες, που αφορούν τις αντιλήψεις για το μέγεθος και το κλίμακα, οι οποίες είναι οι βασικότερες έννοιες για την κατανόηση των ιδιοτήτων και των φαινομένων της νανοκλίμακας (Stevens et al., 2009).

Οι Swarat, Light, Park, & Drane (2011) προτείνουν μία κατηγοριοποίηση των αντιλήψεων για την κλίμακα, η οποία ξεκινά από τις πιο αφελείς (naïve realistic) αντιλήψεις για την κλίμακα και καταλήγει στις πιο εκλεπτυσμένες [sophisticated] αντιλήψεις. Κατέταξαν δηλαδή τις αντιλήψεις των μαθητών για την κλίμακα σε κατακερματισμένες [fragmented], γραμμικές [linear], αναλογικές [proportional] και λογαριθμικές [logarithmic]. Στην εμπειρική τους έρευνα εντόπισαν ότι ακόμα και φοιτητές τεχνολογικών τμημάτων επικεντρωμένων στην νανοεπιστήμη είχαν αφελείς αντιλήψεις [κατακερματισμένες & γραμμικές] γεγονός που τους εξέπληξε.

Η αδυναμία της κατανόησης της κλίμακας από μαθητές αλλά και ενήλικες καταδεικνύεται από πολλές ακόμη έρευνες (Tretter et al., 2006a· Light et al., 2007· Delgado, Stevens, Shin, Yunker, & Krajcik, 2007· Taylor & Jones, 2009). Για παράδειγμα στην μελέτη των Tretter et al. (2006a), πολλοί μαθητές θεωρούσαν ότι ο ιός είναι μικρότερος από το άτομο. Επίσης, σε μία άλλη έρευνα που πραγματοποιήθηκε σε μαθητές γυμνασίου και λυκείου, βρέθηκε ότι το μόνο το 5% μπορούσε να απαντήσει σωστά πόσες φορές μεγαλύτερα ή μικρότερα ήταν κάποια αντικείμενα που δεν φαίνονται με το μάτι από άλλα (Delgado et al., 2007).

Αυτά τα ευρήματα, ίσως μπορούν να εξηγηθούν από το «χάσμα» στην διδασκαλία φαινομένων διαφορετικών μεγεθών που παρατηρείται στα αναλυτικά προγράμματα των Φυσικών Επιστημών σε όλο τον κόσμο (Meijer, 2011· Stevens et al., 2009· Wiser & Smith, 2008), όπως και στην χώρα μας (Πέικος και συν, 2015β). Το χάσμα αυτό αναφέρεται στην διδασκαλία ατομικών και μοριακών φαινομένων πριν διδαχθούν οι μαθητές για φαινόμενα και αντικείμενα της νανοκλίμακας, όπως φαίνεται και στο σχήμα [2].



Σχήμα 2: Παρατηρούμενο χάσμα στην διδασκαλία αντικειμένων διαφορετικών μεγεθών (Meijer, 2011· Wiser & Smith, 2008). Παρεμφερές σχήμα έχει δημοσιευτεί (Πέικος, 2016)

Σύμφωνα με τους Wiser & Smith (2008), καθώς στα πλαίσια της τυπικής τους εκπαίδευσης οι μαθητές δεν διδάσκονται για την νανοκλίμακα είναι πολύ πιθανό να αναπτύξουν ενναλακτικές ιδέες για να εξηγήσουν φαινόμενα που παρατηρούν, τα οποία οφείλονται στην κλίμακα του νάνο.

Για την λύση αυτού του προβλήματος προτείνεται η εισαγωγή φαινομένων της νανοκλίμακας, και της N-ET γενικότερα, στην τυπική εκπαίδευση και μάλιστα πριν οι μαθητές διδαχθούν για τον ατομικό και τον υποατομικό κόσμο (Πέικος, Μάνου, & Σπύρτου, 2016· Wiser & Smith 2008). Αυτό συμφωνεί με τις περισσότερες εκπαιδευτικές προσεγγίσεις του μεγέθους και της κλίμακας, στις οποίες υποστηρίζεται ότι είναι σημαντικό οι «κόσμοι» να μη διδάσκονται αποσπασματικά, αλλά να αναδεικνύεται η αλληλεπίδρασή τους (Delgado, 2009· Meijer, 2011· Stevens et al., 2009).

1.2. Απτικές Διεπαφές

Οι ερευνητές που εισήγαγαν τον όρο «απτικές διεπαφές» [tangible interfaces] ήταν ο Hiroshi Ishii και ο Brygg Ullmer του MIT Media Lab, οι οποίοι χρησιμοποίησαν τη φράση:

«... μια προσπάθεια να γεφυρωθεί το χάσμα μεταξύ του κυβερνοχώρου και του φυσικού περιβάλλοντος κάνοντας τις ψηφιακές πληροφορίες απτές»

(Ishii & Ullmer, 1997, σελ. 2)

Παραδοσιακά, οι ψηφιακοί χώροι χειριζόντουσαν με απλές συσκευές εισόδου, όπως το πληκτρολόγιο και το ποντίκι, οι οποίες χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο και τον χειρισμό [συνήθως οπτικών] αναπαραστάσεων που εμφανίζονται σε συσκευές εξόδου, όπως οθόνες (O'Malley & Fraser, 2004· Ullmer and Ishii 2000). Οι απτικές διεπαφές είναι μια προσπάθεια κατάργησης αυτής της διάκρισης εξόδου – εισόδου και ανοίγουν νέες δυνατότητες αλληλεπίδρασης που συνδυάζουν τον φυσικό και τον ψηφιακό κόσμο (Ullmer and Ishii 2000). Επιπλέον, οι απτικές διεπαφές δίνουν έμφαση στην αφή και την φυσικότητα στην είσοδο και την έξοδο και συχνά είναι συνδεδεμένες με την φυσική αναπαράσταση αντικειμένων ή εννοιών (O'Malley & Fraser, 2004).

Πιο αναλυτικά, οι απτικές διεπαφές [και οι φυσικές αναπαραστάσεις τους] έχουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- i. συσχετίζονται με ψηφιακές πληροφορίες (Ullmer & Ishii, 2000)
- ii. ενσωματώνουν μηχανισμούς διαδραστικού ελέγχου (Ullmer & Ishii, 2000)
- iii. συσχετίζονται νοητικά με ενεργά μεσολαβούμενες ψηφιακές αναπαραστάσεις (Ullmer & Ishii, 2000)
- iv. ενσωματώνουν βασικές πτυχές της ψηφιακής κατάστασης του συστήματος (Ullmer & Ishii, 2000)
- v. επιτρέπουν περισσότερες παραμέτρους παράλληλης εισαγωγής από το χρήστη, βελτιώνοντας έτσι την εκφραστικότητα ή την δεξιότητα επικοινωνίας με τον υπολογιστή (Fitzmaurice, Ishii, & Buxton, 1995)
- vi. επωφελούνται από τις καλά αναπτυγμένες, καθημερινές δεξιότητες χειρισμού φυσικών αντικειμένων και χωρικής αντίληψης (MacKenzie & Iberall, 1994)
- vii. εξωτερικεύουν παραδοσιακά εσωτερικές αναπαραστάσεις υπολογιστών (Fitzmaurice et al., 1995)
- viii. επιτρέπουν την συνεργατική χρήση από πολλούς χρήστες (Fitzmaurice et al., 1995)

1.2.1. Ταξινομίες

Οι Holmquist, Redström, & Ljungstrand (1999), ταξινόμησαν τις απτικές διεπαφές σε τρεις κατηγορίες:

- i. δοχεία [containers], αντικείμενα που είναι πλήρως ενσωματωμένα
- ii. εργαλεία [tools], αντικείμενα που είναι σχεδόν ενσωματωμένα
- iii. σύμβολα [tokens], αντικείμενα παρόμοια με τις πληροφορίες που αντιπροσωπεύουν

Όσον αφορά την μάθηση, υπάρχουν πολλά διαφορετικά είδη εκπαιδευτικών υλικών που ενσωματώνουν απτικές διεπαφές (O'Malley & Fraser, 2004). Ενδεικτικά αναφέρονται τα εξής:

- i. ψηφιακά ενισχυμένα χαρτιά και βιβλία [digitally augmented paper and books]
- ii. «φεικόνες» [rhicons], δηλαδή η χρήση φυσικών αντικειμένων ως ψηφιακές εικόνες
- iii. ψηφιακά αντικείμενα [digital manipulatives]
- iv. αισθητήρες και ψηφιακοί ανιχνευτές [sensors and digital probes]

Όσον αφορά τα είδη αλληλεπίδρασης με τις απτικές διεπαφές, οι Marshall, Price, & Rogers (2003), αναφέρουν ότι υπάρχουν δύο: [α] η εκφραστική [expressive] δραστηριότητα, στην οποία το απτό αντιπροσωπεύει ή ενσωματώνει, φυσικά ή ψηφιακά, τη συμπεριφορά του μαθητή και [β] η διερευνητική [exploratory] δραστηριότητα, στην οποία ο μαθητής διερευνά την αναπαράσταση, που ενσωματώνεται στην απτική διεπαφή. Υποστηρίζεται ότι η αποτελεσματική μάθηση θα πρέπει να περιλαμβάνει τόσο την εκφραστική αλληλεπίδραση όσο και τη διερευνητική (O'Malley & Fraser, 2004).

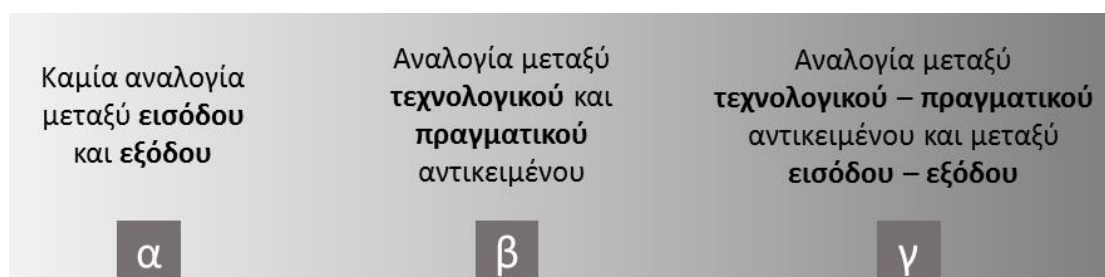
Τέλος, ο Fishkin (2004), σε μια προσπάθεια να ταξινομήσει και να αναλύσει τις απτικές διεπαφές, κατασκεύασε μια ταξινομία, η οποία αποτελείται από δύο διαστάσεις, την «μεταφορά» [metaphor] και την «ενσωμάτωση» [embodiment].

1.2.1.1. *Μεταφορά*

Η μεταφορά αναγνωρίζεται καθολικά ως ένα εξαιρετικά ισχυρό συστατικό στην σκέψη και στην σχεδίαση (Fishkin, 2004). Οι γνωστικοί ανθρωπολόγοι αναφέρουν ότι η δεξιότητα χρήσης μεταφορών είναι το καθοριστικό χαρακτηριστικό, το οποίο διαχωρίζει το μυαλό των πρωίμων ανθρώπων από αυτό των σύγχρονων (Mithen, 1996). Ενώ, η αξία τους στην ανάπτυξη της επιστήμης είχε ήδη αναγνωριστεί από τον 17^ο αιώνα (Galileo, 1623). Η μεταφορά είναι ιδιαίτερα κατάλληλη για τις απτικές διεπαφές, σε αντίθεση με άλλες διεπαφές, εξαιτίας της φυσικής τους απτότητας [tangibility] (Fishkin, 2004), λόγω της οποίας η σύνδεση μεταξύ των κατασκευασμάτων [artefacts] και των αναπαραστάσεων είναι μεγάλης σημασίας (Price, 2008).

Στα απτικά περιβάλλοντα, η δυνατότητα ευελιξίας στην σύνδεση του κατασκευάσματος με την αναπαράσταση υπόσχεται μεγάλη αναπαραστατική δύναμη. (Price, 2008). Πιο συγκεκριμένα, μόλις τα τμήματα μιας διεπαφής γίνουν απτά, ένα πλήθος φυσικά παρεχόμενων μεταφορών γίνεται διαθέσιμο, δηλαδή ένας σχεδιαστής μπορεί να χρησιμοποιήσει το σχήμα, το μέγεθος, το χρώμα, το βάρος και την υφή του αντικειμένου για να επικαλεσθεί οποιοδήποτε αριθμό μεταφορικών συνδέσεων (Fishkin, 2004).

Οι απτικές διεπαφές μπορούν να τοποθετηθούν σε ένα φάσμα με κριτήριο τη σχέση μεταξύ του κατασκευάσματος, της αναπαράστασης και της δράσης (Fishkin, 2004).



Σχήμα 3: Φάσμα των απτικών διεπαφών με κριτήριο την χρήση μεταφορών

[α] Στην μία άκρη του φάσματος, ο απτικός χειρισμός δεν έχει καμία αναλογία με το αποτέλεσμα (O'Malley & Fraser, 2004). Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι το Bit Ball (Resnick et al., 1998), στο οποίο η συμπίεση μιας μπάλας προσαρμόζει την έξοδο ήχου. [β] Σε άλλα συστήματα γίνεται μια αναλογία μεταξύ της εξωτερικής εμφάνισης του τεχνολογικού αντικειμένου με την εξωτερική εμφάνιση του πραγματικού αντικειμένου (O'Malley & Fraser, 2004). Για παράδειγμα, κύβοι του πραγματικού κόσμου, που χρησιμοποιούνται σαν συσκευές εισόδου, έχοντας συγκεκριμένη εικόνα πάνω τους, οι οποία σχετίζεται με το αποτέλεσμα (Camarata, Do, Gross, & Johnson, 2002). [γ] Αναλογία μεταξύ του τεχνολογικού και του πραγματικού αντικειμένου και μεταξύ του απτικού χειρισμού και του αποτελέσματος (O'Malley & Fraser, 2004). Παράδειγμα αντίστοιχης απτικής διεπαφής, είναι το Urp στο οποίο οι συσκευές εισόδου μοιάζουν με πραγματικά κτήρια και χρησιμοποιούνται για την μετακίνηση κτηρίων μέσα στον ψηφιακό κόσμο (Underkoffler & Ishii, 1999).

1.2.1.2. Ενσωμάτωση

Η δεύτερη διάσταση τη ταξινομίας, με βάση την οποία μπορούν να διαχωριστούν οι απτικές διεπαφές, είναι η ενσωμάτωση, η οποία αφορά το κατά πόσο είναι συνδεδεμένες η είσοδος με την έξοδο. Δηλαδή, σε ποιο βαθμό ο χρήστης πιστεύει ότι η διεπαφή βρίσκεται «μέσα» στο αντικείμενο που επεξεργάζονται και χρησιμοποιούν. Σύμφωνα με τον Fishkin (2004), υπάρχουν τέσσερα επίπεδα ενσωμάτωσης:

- i. Πλήρης [full]: η συσκευή εισόδου και εξόδου ταυτίζονται
- ii. Κοντινή [nearby]: η έξοδος συμβαίνει κοντά στον αντικείμενο εισόδου
- iii. Περιβαλλοντική [environmental]: η έξοδος γίνεται γύρω από τον χρήστη
- iv. Μακρινή [distant], η έξοδος είναι σε άλλη οθόνη ή ακόμη και σε άλλο δωμάτιο

Πλήρης		Είσοδος: Ρομποτικό χέρι Έξοδος: Ρομποτικό χέρι
Κοντινή		Είσοδος: Ειδικό στυλό Έξοδος: Οθόνη τάμπλετ
Περιβαλλοντική		Είσοδος: Τηλεκοντρόλ Έξοδος: Ηχεία
Μακρινή		Είσοδος: Τηλεκοντρόλ Έξοδος: Οθόνη

Σχήμα 4: Βαθμός ενσωμάτωσης

1.2.2. Εκπαιδευτικές προσεγγίσεις

Στην σχετική βιβλιογραφία δεν βρέθηκε κάποια απτική διεπαφή, που να στόχευε στην μάθηση για τη Ν-ΕΤ αλλά εντοπίστηκαν πληθώρα εκπαιδευτικών προσπαθειών στο πεδίο των μαθηματικών και των ΦΕ. Μερικά χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι τα εξής:

- i. **Έξυπνοι Κόβοι** [Smart Blocks], οι οποίοι είναι ενισχυμένα φυσικά αντικείμενα για την εξερεύνηση των γεωμετρικών εννοιών (Girouard et al., 2007)



Εικόνα 8: Έξυπνοι Κόβοι

- ii. **Διαδραστικός Πάγκος Εργασίας** [Interactive Workbench], που στοχεύει στην κατανόηση εννοιών της χημείας (Fjeld & Voegtli, 2002)



Εικόνα 9: Διαδραστικός Εκπαιδευτικός Πάγκος Εργασίας

- iii. **Απτική Διαδραστική Μικροβιολογία** [Interactive Microbiology], η οποία επιτρέπει την αλληλεπίδραση με μικροοργανισμούς (Lee, Chung, Cira, & Riedel-Kruse, 2015)



Εικόνα 10: Εργαλείο Απτικής Διαδραστικής Μικροβιολογίας

- iv. **Δυναμικοί Κόβοι** [Dynamic Blocks], που στοχεύει στην ανάπτυξη εκπαιδευτικών δραστηριοτήτων προσχολικής αγωγής (Roberto, Freitas, Simoes, & Teichrieb, 2013)



Εικόνα 11: Χαρακτηριστική εφαρμογή των Δυναμικών Κόβων: «Ενεργό Ηφαίστειο» πάνω σε διαδραστικό βιβλίο

1.2.3. Εκπαιδευτική αξία

Ο Resnick και οι συνεργάτες του (1998) επέκτειναν την έννοια των απτικών διεπαφών στον τομέα της εκπαίδευσης χρησιμοποιώντας τον όρο «ψηφιακά αντικείμενα» [digital manipulatives], τα οποία όρισαν ως οικεία φυσικά αντικείμενα ενισχυμένα με υπολογιστική δύναμη, που στοχεύουν στην υποβοήθηση της μάθησης των παιδιών.

Στην σχετική βιβλιογραφία αναφέρεται ότι οι απτικές διεπαφές μπορούν να υποστηρίξουν τη μάθηση για διάφορους αλληλένδετους λόγους (Antle & Wise, 2013):

- i. προσφέρουν φυσικές και άμεσες μορφές αλληλεπιδράσεων οι οποίες είναι προσβάσιμες στους χρήστες (Marshall, 2007· O'Malley & Fraser, 2004· Shaer & Hornecker, 2009)
- ii. προωθούν τον ενεργό και απτικό χειρισμό (Marshall et al., 2003· Price et al 2003· Resnick et al., 1998· Shaer & Hornecker, 2009)
- iii. επιτρέπουν την αναζήτηση, την έκφραση, την διερεύνηση και τον αναστοχασμό (Marshall et al., 2003· O'Malley & Fraser, 2004· Price et al 2003).
- iv. παρέχουν στους μαθητές εργαλεία σκέψης (Resnick et al., 1998), τα οποία ευνοούν την μάθηση αφηρημένων εννοιών μέσω απτικών αναπαραστάσεων (Antle, 2007· O'Malley & Fraser, 2004)
- v. έχουν απήχηση σε μεγάλο εύρος χρηστών (Shaer & Hornecker, 2009)
- vi. δημιουργούν ευκαιρίες συνεργατικής δραστηριότητας μεταξύ των μαθητών (Antle, 2007· Price, Falcão, Sheridan, & Roussos, 2009)

Οι διαφορετικές μορφές αναπαράστασης παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στην γνωστική λειτουργία (Price, 2008), με τις απτικές αναπαραστάσεις, όπως τα αντικείμενα, να είναι ευκολότερα στην κατανόηση από τις συμβολικές (Manches, O'Malley, & Benford, 2010). Οι McNeil & Jarvin (2007) αναγνώρισαν τρεις λόγους για να το εξηγήσουν: [α] παρέχουν ένα επιπλέον κανάλι για την μεταβίβαση πληροφοριών, [β] ενεργοποιούν την γνώση του πραγματικού κόσμου και [γ] συνδέονται καλύτερα με την μνήμη μέσω της σωματικής δράσης.

Σύμφωνα με τους Cramer & Antle (2015), υπάρχουν δύο τρόποι για την προώθηση της μάθησης με απτικές διεπαφές (Manches et al., 2010), [α] ο τονισμός των εννοιολογικά σχετικών φυσικών στοιχείων και [β] ο αναστοχασμός για τις σχέσεις μεταξύ των φυσικών και των συμβολικών αναπαραστάσεων (Ullmer & Ishii, 2000).

Για την δημιουργία ποιοτικών αναπαραστάσεων προτείνεται η χρήση απτών και οπτικών υλικών και η ενσωμάτωση και η προώθηση της ενσωμάτωσης μεταξύ φυσικών αντικειμένων και συμβόλων (Cramer & Antle, 2015). Η ιδανική αναπαράσταση επιτρέπει στους μαθητές να κατανοήσουν το φαινόμενο χρησιμοποιώντας γνώσεις που έχουν ήδη, χωρίς να παραλείπονται κάποιες έννοιες του φαινομένου ή να εισάγονται νέες μη απαραίτητες (Manches et al., 2010).

Βέβαια, η σύνδεση μεταξύ της αναπαράστασης, του κατασκευάσματος και της δράσης του χρήστη έχει τεράστιο αριθμό μεταβλητών, με συνέπεια να μην γνωρίζουμε ακόμη το πώς οι διαφορετικοί συνδυασμοί αναπαράστασης – κατασκευάσματος επηρεάζουν την αλληλεπίδραση, την δράση και την γνωστική λειτουργία (Price, 2008).

1.3. Ενσώματη Μάθηση

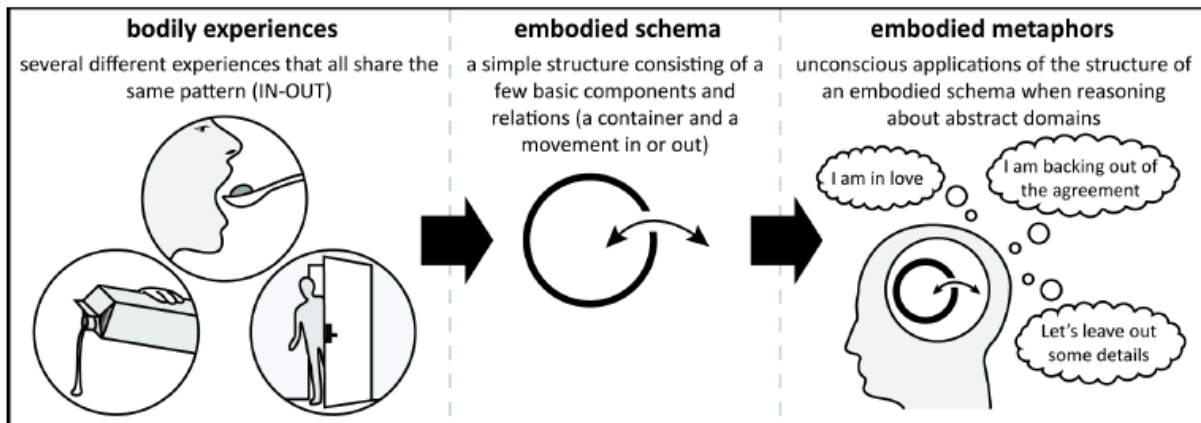
Οι πρόσφατες τεχνολογικές εξελίξεις προκάλεσαν την εισαγωγή ηλεκτρονικών μαθημάτων, εικονικών εργαστηρίων και απτικών διεπαφών στην εκπαίδευση των ΦΕ (Kontra, Lyons, Fischer, & Beilock, 2015). Βέβαια ακόμα και στα ενεργά περιβάλλοντα μάθησης, που επικεντρώνονται γύρω από τη συνεργασία μικρών ομάδων και την επίλυση προβλημάτων, συχνά οι μαθητές παρατηρούν τα φαινόμενα αντί να τα βιώνουν με το σώμα τους (Freeman et al., 2014· Kontra et al., 2015· Singer, Nielsen, & Schweingruber, 2012). Οπότε προκύπτει η ανάγκη να μελετηθεί η σχέση μεταξύ της μάθησης για τις ΦΕ και της άμεσης εμπειρίας με τον φυσικό κόσμο, ώστε να εισαχθούν οι αρχές της ενσώματης μάθησης στα ψηφιακά περιβάλλοντα μάθησης (de Jong, Linn, & Zacharia, 2013· Lindgren, Tscholl, Wang, & Johnson, 2016).

Παρόλο που η παραδοσιακή θεώρηση της γνωστικής ψυχολογίας τείνει να περιγράφει τις νοητικές διαδικασίες ως συγκεντρωμένες στον εγκέφαλο και ανεξάρτητες από το υπόλοιπο σώμα, μια πιο σύγχρονη οπτική, αυτή της ενσώματης γνωστικής λειτουργίας [embodied cognition], αναγνωρίζει τη σχέση μεταξύ του νου, του υπόλοιπου σώματος και του κοινού φυσικού τους περιβάλλοντος (Castro-Alonso, Ayres, & Paas, 2015). Σύμφωνα με τον Wilson (2002), οι άνθρωποι εξέλιξαν την ενσώματη γνωστική λειτουργία, επειδή αρχικά έπρεπε να πραγματοποιούν συνεχείς αλληλεπιδράσεις μεταξύ του μυαλού τους, του σώματός τους και του περιβάλλοντος, ώστε να επιβιώσουν.

Πρόσφατες μελέτες στον τομέα της νευροεπιστήμης έδειξαν ότι κάποια είδη οπτικο-χωρικών [visuo-spatial] μετατροπών (Wexler, 2002), αλλά και η σκέψη [ανάκληση μνημών, λογική, εξαγωγή συμπερασμάτων] γενικότερα (Barsalou, Simmons, Barbey, & Wilson, 2003· Niedenthal, 2007), συνδέονται με τις κινητικές [motor] και τις αισθητηριακές [sensory] διεργασίες (Barsalou et al., 2003· Niedenthal, 2007) και πολύ πιθανόν να ελέγχονται από το αισθησιοκινητικό σύστημα (Wexler, 2002).

Στα πλαίσια της ενσώματης μάθησης, οι διαδικασίες αντίληψης, γνώσης και δράσης θεωρούνται αλληλένδετες, συνιστώντας μια ενιαία δυναμική ολότητα. Η αντίληψη καθοδηγεί την δράση και η δράση με την σειρά της πληροφορεί την αντίληψη, οπότε αλληλεξαρτώνται σε πολύ μεγάλο βαθμό. Μέσω της ενσώματης προσέγγισης δίνεται στον μαθητή την δυνατότητα να δράσει μέσα στο πλαίσιο της εκπαίδευσής του και συγχρόνως του δίνεται η ευκαιρία να αποσπάσει τις υπάρχουσες πληροφορίες του περιβάλλοντός του και να αξιοποιήσει τις προσφερόμενες δυνατότητες σε αυτό (Πουρκός, 2015).

Έρευνες τόσο στο πεδίο της ενσώματης αλληλεπίδρασης (Dourish, 2004), όσο και στο πεδίο των απτικών διεπαφών (Ullmer & Ishii, 2000), έχουν εντοπίσει πιθανά οφέλη αυτών των μορφών αλληλεπίδρασης για την μάθηση και την ανάπτυξη (Marshall et al., 2003· Mazalek & van den Hoven, 2009· O'Malley & Fraser, 2004). Πιο συγκεκριμένα, η σωματική δραστηριότητα υποστηρίζει την κατασκευή αναπαραστατικών δικτύων, τα οποία προάγουν την κατανόηση των αφηρημένων εννοιών (O'Malley & Fraser, 2004) και την γνωστική ανάπτυξη γενικότερα (Antle, 2007). Επιπλέον, η εφαρμογή ενσώματων μεταφορών μπορεί να επιτρέψει στους μαθητές να σκέφτονται για αφηρημένες έννοιες σε ένα αλληλεπιδραστικό περιβάλλον αξιοποιώντας ή εφαρμόζοντας την ενσωματωμένη γνώση τους, η οποία είχε διαμορφωθεί μέσω εμπειριών τους στον φυσικό κόσμο (Antle, Droumeva, & Corness, 2008).



Σχήμα 5: Σχέση μεταξύ των σωματικών εμπειριών, των ενσώματων σχημάτων και των ενσώματων μεταφορών (Bakker, Antle, & van den Hoven, 2012)

Όπως φαίνεται και στο σχήμα [5], οι ενσώματες μεταφορές δημιουργούνται μετά από μια σειρά επαναλαμβανόμενων δράσεων και νοητικών αφαιρέσεων. Πιο συγκεκριμένα, αρχικά ομαδοποιούνται οι σωματικές εμπειρίες [bodily experiences], οι οποίες έχουν κάποιο κοινό στοιχείο. Στη συνέχεια, ο νους δημιουργεί ενσώματα σχήματα [embodied schema], τα οποία περιλαμβάνουν τα κοινά χαρακτηριστικά των σωματικών εμπειριών και τις σχέσεις μεταξύ τους. Τέλος, κατασκευάζονται οι ενσώματες μεταφορές [embodied metaphors], οι οποίες είναι υποσυνείδητες εφαρμογές της δομής των ενσώματων σχημάτων για την κατανόηση αφηρημένων εννοιών (Bakker, Antle, & van den Hoven, 2012).

1.4. Μάθηση μέσω Μικρών Ερευνών

Η ενεργός συμμετοχή στη διαδικασία εκμάθησης από τους μαθητές μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα τα ακόλουθα οφέλη: [α] αύξηση της πνευματικής ισχύος, ώστε να καταστούν οι πληροφορίες που αποκτώνται πιο εύκολα προσβάσιμες για την επίλυση προβλημάτων, [β] ενεργοποίηση της μάθησης από την άποψη της εγγενούς ανταμοιβής, δηλαδή της ίδιας της ανακάλυψης [σε αντίθεση με το συμπεριφοριστικό μοντέλο μάθησης], [γ] εκμάθηση των ευρετικών της ανακάλυψης και [δ] ευκολότερη πρόσβαση στις πληροφορίες, που βρίσκονται αποθηκευμένες στη μνήμη (Bruner, 1961).

Η ενεργή συμμετοχή των μαθητών είναι από τις βασικότερες αρχές της μάθησης μέσω μικρών ερευνών [inquiry based learning], όπως αναφέρει η Scardamalia (2002). Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με την προαναφερθείσα ερευνήτρια, η μάθηση μέσω μικρών ερευνών είναι μια διδακτική προσέγγιση, στα πλαίσια της οποίας τα ερωτήματα, οι ιδέες και οι παρατηρήσεις των μαθητών τοποθετούνται στο κέντρο της μαθησιακής εμπειρίας. Οι εκπαιδευτικοί διαδραματίζουν ενεργό ρόλο σε όλη τη διαδικασία με τη δημιουργία μιας κουλτούρας στην οποία οι ιδέες αμφισβητούνται, δοκιμάζονται, επαναπροσδιορίζονται και θεωρούνται ως αναπόδεικτες. Στη βάση αυτής της προσέγγισης είναι η ιδέα ότι τόσο οι εκπαιδευτικούς όσο και οι μαθητές μοιράζονται την ευθύνη για τη μάθηση.

Η μάθηση μέσω μικρών ερευνών είναι μια μέθοδος διδασκαλίας που συνδυάζει την περιέργεια των μαθητών και την επιστημονική μέθοδο για την ενίσχυση της ανάπτυξης των δεξιοτήτων κριτικής σκέψης και την εκμάθηση των επιστημονικών εννοιών. Καθώς οι μαθητές αναζητούν απαντήσεις και βαθύτερη κατανόηση, ακολουθούν πιστά τη γενικά αποδεκτή επιστημονική μέθοδο (Warner & Myers, 2008).

Η μάθηση μέσω μικρών ερευνών μπορεί να εφαρμοστεί σε όλα τα επίπεδα εκπαίδευσης και σε όλους τους τύπους εκπαίδευσης [τυπική, μη-τυπική και άτυπη] και παρόλο που δεν υπάρχει κάποιο καθιερωμένη στρατηγική χρήσης της μεθόδου αυτής, θεωρείται βασικό της στοιχείο η εκκίνηση από μια ερώτηση που μπορεί να τεθεί είτε από μαθητή είτε από τον ίδιο τον καθηγητή (Χαλκιά, 2012).

Σύμφωνα με το Ερευνητικό Συμβούλιο των Η.Π.Α. (Olson & Loucks-Horsley, NRC, 2000), οι σημαντικότερες διαδικασίες που πρέπει να χρησιμοποιήσουν οι μαθητές όταν πραγματοποιούν μικρές έρευνες είναι οι εξής:

- i. να κάνουν ερωτήσεις για αντικείμενα και γεγονότα του περιβάλλοντός του
- ii. να σχεδιάζουν και να διεξάγουν μια απλή έρευνα
- iii. να χρησιμοποιούν απλά εργαλεία για να συγκεντρώσουν δεδομένα
- iv. να χρησιμοποιούν δεδομένα για την κατασκευή μιας περιγραφής ή εξήγησης ενός φαινομένου
- v. να παρουσιάζουν την έρευνά τους και να αιτιολογούν τα συμπεράσματά τους

Πιο συγκεκριμένα για το τελευταίο, έχει παρατηρηθεί ότι η κοινοποίηση των συμπερασμάτων της έρευνάς τους σε συνδυασμό με την αιτιολόγησή τους, βοηθά τους μαθητές να αναπτύξουν τον επιστημονικό τους λόγο και να κατανοήσουν καλύτερη τη φύση της επιστήμης (Olson & Loucks-Horsley, 2000).

Η μάθηση μέσω των μικρών ερευνών στις ΦΕ έχει αποδείξει την αποτελεσματικότητά της στο επίπεδο της πρωτοβάθμιας για την αύξηση του ενδιαφέροντος και των επιδόσεων των μαθητών, ενώ την ίδια στιγμή κινητοποιεί τους εκπαιδευτικούς και είναι αποτελεσματική με όλα τα είδη των μαθητών από τον πιο αδύναμο ως τον πιο ικανό (Rocard, 2007).

Τέλος, ένα ακόμη βασικό στοιχείο για τον χαρακτηρισμό των διερευνητικών αυτών προσεγγίσεων είναι ο βαθμός της αυτονομίας των μαθητών (Alake-Tuenter et al., 2012). Ο Windschitl (2003), χρησιμοποιώντας ως κριτήριο τον βαθμό αυτονομίας των μαθητών ταξινομήσε τις διερευνητικές δραστηριότητες ως εξής:

1. **παραδοσιακή εργαστηριακή επιβεβαίωση** [traditional laboratory confirmation], ο εκπαιδευτικός παρέχει στους μαθητές δομημένες βήμα προς βήμα διαδικασίες για την επαλήθευση ήδη γνωστών αρχών
2. **δομημένη διερεύνηση** [structured inquiry], ο εκπαιδευτικός εισάγει μια ερώτηση και παρέχει τον εργαστηριακό εξοπλισμό και τις διαδικασίες, ώστε οι μαθητές να ανακαλύψουν μια άγνωστη απάντηση
3. **καθοδηγούμενη διερεύνηση** [guided inquiry], ο εκπαιδευτικός επιτρέπει στους μαθητές να διερευνήσουν ένα καθορισμένο πρόβλημα χρησιμοποιώντας τις δικές τους μεθόδους συλλογής και ανάλυσης δεδομένων και εξαγωγής συμπερασμάτων
4. **μερικώς ανοιχτή διερεύνηση** [student-directed inquiry], ο εκπαιδευτικός παρουσιάζει ένα θέμα και επιτρέπει στους μαθητές να αναπτύξουν τις δικές τους ερωτήσεις και να σχεδιάσουν τις δικές τους έρευνες
5. **ανοιχτή διερεύνηση** [open inquiry], οι μαθητές σχηματίζουν τις δικές τους ερωτήσεις και διεξάγουν ανεξάρτητες έρευνες

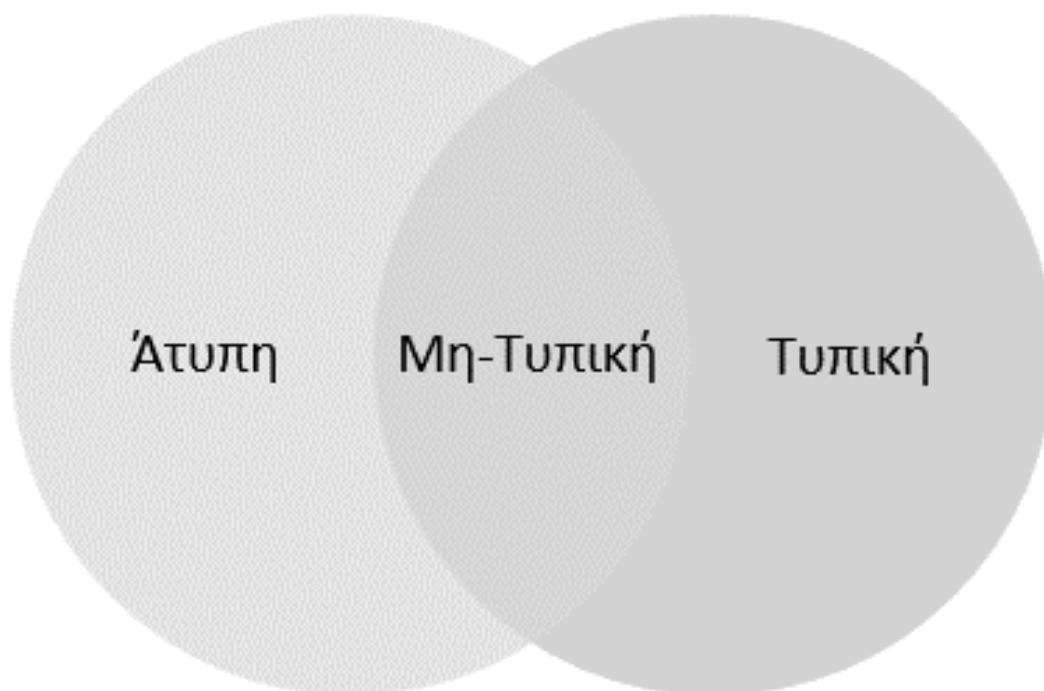
1.5. Μη-Τυπική Εκπαίδευση

Στη βιβλιογραφία δεν υπάρχουν πολλοί σαφείς ορισμοί των μορφών της άτυπης εκπαίδευσης [άτυπη και μη-τυπική], καθώς συνήθως ορίζονται ως «ότι δεν είναι τυπική εκπαίδευση», το οποίο υποτιμά τις εκπαιδευτικές προσεγγίσεις άτυπης εκπαίδευσης, στα πλαίσια της οποίας εμφανίζονται πολλοί πλούσιοι και πολύπλοκοι τρόποι μάθησης (Moyer, 2016). Καθώς η μη-τυπική εκπαίδευση περιγράφεται συχνά ως μη επίσημη εκπαίδευση, είναι χρήσιμο να διευκρινιστούν οι βασικές αρχές της επίσημης ή τυπικής εκπαίδευσης.

Με τον όρο τυπική εκπαίδευση [formal education], αναφερόμαστε στην εκπαίδευση, η οποία λαμβάνει χώρα σε θεσμοθετημένα εκπαιδευτικά ιδρύματα ενός κράτους, τα οποία λειτουργούν συστηματικά και οργανωμένα σε όλα τα επίπεδα (Χαλκιά, 2012). Σύμφωνα με τον Eraut (2000), η τυπική εκπαίδευση έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

- i. ορισμένο πλαίσιο μάθησης
- ii. οργανωμένες μαθησιακές πράξεις ή πακέτα
- iii. παρουσία ενός καθορισμένου εκπαιδευτικού ή εκπαιδευτή
- iv. απόκτηση πτυχίου ή πιστοποιητικού
- v. εξωτερική περιγραφή των αποτελεσμάτων

Σε αντίθεση με την τυπική, η άτυπη εκπαίδευση [informal education] δεν πραγματοποιείται στα πλαίσια κάποιου οργανωμένου συστήματος, αλλά εφαρμόζεται σε καθημερινό επίπεδο μέσα από εξωσχολικά βιβλία εκλαϊκευμένης επιστήμης, ντοκιμαντέρ στην τηλεόραση, άρθρα σε εφημερίδες, στο διαδίκτυο, κ.λπ. (McComas, 2006).



Σχήμα 6: Οι τύποι της εκπαίδευσης

Παρόλο που υπάρχουν ποικίλες εμπειρίες άτυπης μάθησης, οι περισσότερες έρευνες μελετούν τον τομέα της μη-τυπικής εκπαίδευσης [non-formal education], και πιο συγκεκριμένα την μάθηση που λαμβάνει χώρα σε μουσεία και σε κέντρα τεχνο-επιστήμης, τα οποία προσφέρουν ευνοϊκές συνθήκες για την διεξαγωγή τέτοιων επιστημονικών ερευνών (Χαλκιά, 2012).

Μη-τυπική είναι η εκπαίδευση, η οποία προσφέρεται μέσα από ένα πρόγραμμα, που συνήθως δεν αξιολογείται και τυπικά δεν οδηγεί σε πιστοποίηση (Werquin, 2010). Η μη-τυπική εκπαίδευση δεν παρέχεται από ένα ίδρυμα εκπαίδευσης ή κατάρτισης, ωστόσο, είναι διαρθρωμένη από άποψη μαθησιακών στόχων, χρόνου μάθησης ή διδακτικής υποστήριξης και είναι σκόπιμη από την πλευρά του εκπαιδευόμενου (Χαλκιά, 2012).

Η μη-τυπική εκπαίδευση λαμβάνει χώρα όταν οι μαθητές επιλέγουν να αποκτήσουν περαιτέρω γνώσεις ή δεξιότητες, μελετώντας εθελοντικά με έναν δάσκαλο ο οποίος υποστηρίζει την αναζήτηση των ενδιαφερόντων τους, χρησιμοποιώντας ένα οργανωμένο πρόγραμμα σπουδών, όπως συμβαίνει σε πολλά μαθήματα και εργαστήρια εκπαίδευσης ενηλίκων (Livingstone, 2001). Οι διαστάσεις της μη-τυπικής μάθησης, κατά τον Eraut (2000), είναι οι εξής:

- i. η χρονική στιγμή του ερεθίσματος
- ii. ο βαθμός στον οποίο η μάθηση είναι σιωπηρή [σιωπηρή, αντιδραστική ή διαβουλευτική]
- iii. ο βαθμός στον οποίο η μάθηση είναι ατομική ή κοινωνική
- iv. ο βαθμός στον οποίο η μάθηση είναι υπονοούμενη ή σαφής

Μια ουσιώδης διαφορά ανάμεσα στην άτυπη και στη μη-τυπική εκπαίδευση είναι ότι η άτυπη αφορά τις προσωπικές εμπειρίες που αποκτώνται μέσω της ατομικής αναζήτησης για μάθηση, αξιοποιώντας μια γνώριμη πηγή σε ένα ουδέτερο, από άποψη εκπαιδευτικής οργάνωσης, περιβάλλον. Ενώ, η μη-τυπική εκπαίδευση, εφαρμόζεται σε προκαθορισμένα, κατάλληλα σχεδιασμένα μέρη, τα οποία πιθανότατα να μην είναι γνώριμα στους μαθητές οπότε συχνότερα τους προκαλούν έκπληξη ή περιέργεια (Bultitude & Sardo, 2012).

2. Σχεδιασμός και Ανάπτυξη Εκπαιδευτικού Υλικού

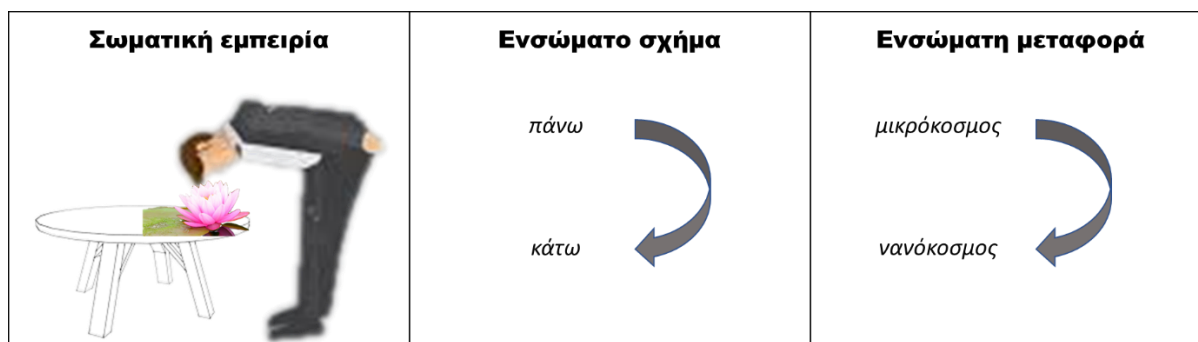
Όπως προαναφέρθηκε, έχει μεγάλη αξία η δημιουργία επιστημονικά εγγράμματων πολιτών, που θα μπορούν να συμμετέχουν ενεργά σε ηθικά, κοινωνικοπολιτικά και περιβαλλοντικά ζητήματα που αφορούν την ναυτεχνολογία (Bryan et al., 2012· Cheng et al., 2014· Delgado, 2009· Ghattas & Carver, 2012· Jones et al., 2013· Jones et al., 2015· Laherto, 2012· Macoubrie, 2004· Stevens et al., 2007· Wells, 2013). Για τον λόγο αυτό σχεδιάστηκε, αναπτύχθηκε και αξιολογήθηκε εκπαιδευτικό υλικό, που στόχευε στην ανάπτυξη του γραμματισμού και του ενδιαφέροντος των μαθητών για τη Ν-ΕΤ, μέσα από το φαινόμενο του λωτού.

Για την προσέγγιση του φαινομένου αυτού χρησιμοποιήθηκαν τέσσερις μεγάλες ιδέες [MI: 1,5,7&9], οι οποίες κρίθηκαν απαραίτητες για την κατανόησή του και συμπίπτουν με τις MI, που έχουν προταθεί στην βιβλιογραφία (Πέικος και συν., 2015α· Πέικος, Μάνου, & Σπύρτου, 2015β· Μάνου & Σπύρτου, 2013). Πρέπει να σημειωθεί ότι επιλέχθηκε να παραληφθεί η MI8, που επίσης προτεινόταν, καθώς κρίθηκε ότι θα επιβάρυνε αρκετά τον φόρτο εργασίας των συμμετεχόντων για τα πλαίσια της μη-τυπικής εκπαίδευσης, όπου και θα εφαρμοζόταν το εκπαιδευτικό υλικό. Επιπλέον, σημαντικό ρόλο στην παρούσα προσέγγιση έπαιξε και η ιδιότητα της τραχύτητας (Jones et al., 2013· Taylor et al., 2008).

Κατά τον σχεδιασμό και την ανάπτυξη του εκπαιδευτικού υλικού έγινε προσπάθεια να ενσωματώνει πλήρως [full embodiment] τις απτικές διεπαφές, που περιλαμβάνει και να παρουσιάζει υψηλό επίπεδο μεταφοράς, σύμφωνα με την ταξινόμια του Fishkin (2004). Το κεντρικό στοιχείο του εκπαιδευτικού υλικού [πύργος διερεύνησης] ήταν μία μεταφορά στον πραγματικό κόσμο της διαίρεσης της κλίμακας σε κόσμους. Πιο συγκεκριμένα, το ανώτερο επίπεδο του πύργου διερεύνησης αναπαριστούσε τον μακρόκοσμο, το μεσαίο τον μικρόκοσμο και το κατώτερο τον νανόκοσμο. Πρέπει να σημειωθεί ότι δόθηκε έμφαση στα εννοιολογικά σχετικά στοιχεία, δηλαδή στους «κόσμους» και τα αντίστοιχα αντικείμενα αναφοράς και όργανα παρατήρησης, σύμφωνα με την πρόταση των Manches et al. (2010).

Επιπλέον, μεταφορές πραγματοποιήθηκαν και όσον αφορά την εμφάνιση των απτικών διεπαφών σε σύγκριση με τα αντικείμενα του πραγματικού κόσμου που αναπαριστούσαν [δείγματα και μικροσκοπία], αλλά και όσον αφορά την είσοδο [πχ. εισαγωγή δείγματος στον πύργο διερεύνησης] και την έξοδο [εμφάνιση της αντίστοιχης εικόνας στο μικροσκόπιο], οι οποίες ήταν ανάλογες με αυτές ενός πραγματικού μικροσκοπίου. Χρησιμοποιήθηκαν απτικές αναπαραστάσεις καθώς είναι ευκολότερες στην κατανόηση από τις συμβολικές (Manches et al., 2010· McNeil & Jarvin, 2007).

Τέλος, χρησιμοποιήθηκε ενσώματη μεταφορά [embodied metaphor], η οποία χρησιμοποιούσε τα ενσώματα σχήματα [embodied schema] που είχαν ήδη οι μαθητές για να υποστηρίξει την ανάπτυξη πιο εκλεπτυσμένων αντιλήψεων για τις έννοιες μέγεθος και κλίμακα. Πιο συγκεκριμένα, υποτέθηκε ότι οι μαθητές έχουν ήδη συνδέσει την κίνηση του σώματος προς τα κάτω με την μεγαλύτερη μεγέθυνση [ενσώματο σχήμα], καθώς όταν θέλουν να παρατηρήσουν ένα αντικείμενο καλύτερα σκύβουν το σώμα τους προς αυτό [σωματική εμπειρία]. Όποτε, επιδιώχθηκε η κίνηση του σώματος των μαθητών προς τα κάτω καθώς πήγαιναν σε μικρότερες κλίμακες, για να ενεργοποιηθούν τα προϋπάρχοντα σχήματά τους και να κατανοήσουν ευκολότερα ότι καθώς κατεβαίνουν τα επίπεδα του πύργου διερεύνησης παρατηρούν με μεγαλύτερη μεγέθυνση την ύλη [Σχήμα 7].



Σχήμα 7: Η ενσώματη μεταφορά του παρόντος εκπαιδευτικού υλικού

Η χρήση της προαναφερθείσας ενσώματης αναφοράς επιλέχθηκε καθώς έχει προταθεί ότι η εφαρμογή ενσώματων μεταφορών μπορεί να υποβοηθήσει τους μαθητές στην κατανόηση αφηρημένων εννοιών μέσω των εμπειριών τους στον φυσικό κόσμο (Antle et al., 2008· Bakker et al., 2012) και πιο συγκεκριμένα εννοιών που σχετίζονται με το χωρικό μέγεθος (Kosslyn & Koenig, 1995· Tretter et al., 2006a). Ενώ ο συνδυασμός των απτικών διεπαφών με τις μεταφορές χρησιμοποιήθηκε καθώς ενεργοποιεί την ενσωματωμένη γνώση (Bakker et al., 2012). Για την καλύτερη αποτελεσματικότητα αυτών των μεταφορών χρησιμοποιήθηκαν, όσο ήταν δυνατό, γνώσεις που έχουν ήδη οι μαθητές, χωρίς να παραλείπονται κάποιες έννοιες του φαινομένου ή να εισάγονται νέες μη απαραίτητες (Manches et al., 2010).

Το εκπαιδευτικό υλικό πλαισιώθηκε από μια δραστηριότητα, η οποία περιείχε στοιχεία από το μυστήριο του λωτού (Jones et al., 2007). Η δραστηριότητα ακολουθούσε τις αρχές της μάθησης μέσω μικρών ερευνών, δίνοντας έμφαση στην αιτιολόγηση και γνωστοποίηση των επιστημονικών συμπερασμάτων και πραγματοποιούνταν σε περιβάλλον μη-τυπικής εκπαίδευσης. Επιλέχθηκε μαθητοκεντρική και παιγνιώδης δραστηριότητα καθώς έχει υποστηριχθεί ότι αναπτύσσει το ενδιαφέρον των μαθητών για τη Ν-ΕΤ, χωρίς να μετριάξει την επίδραση της γνωστοποίησης των επιστημονικών ιδεών (Blonder & Sakhnini, 2012· Blonder & Dinur, 2012· Lin, Lin, Lee, & Yore, 2015).



Σχήμα 8: Το θεωρητικό πλαίσιο του παρόντος εκπαιδευτικού υλικού

Στα πλαίσια της διαδικασίας ανάπτυξης και αξιολόγησης του εκπαιδευτικού υλικού πραγματοποιήθηκαν δύο έρευνες. Η πρώτη ήταν η πιλοτική έρευνα για τον έλεγχο του εκπαιδευτικού υλικού με στόχο την εξαγωγή συμπερασμάτων για την βελτίωσή του. Η δεύτερη είχε ως στόχο την διερεύνηση της αποτελεσματικότητας του υλικού.

2.1. Πιλοτική Εφαρμογή

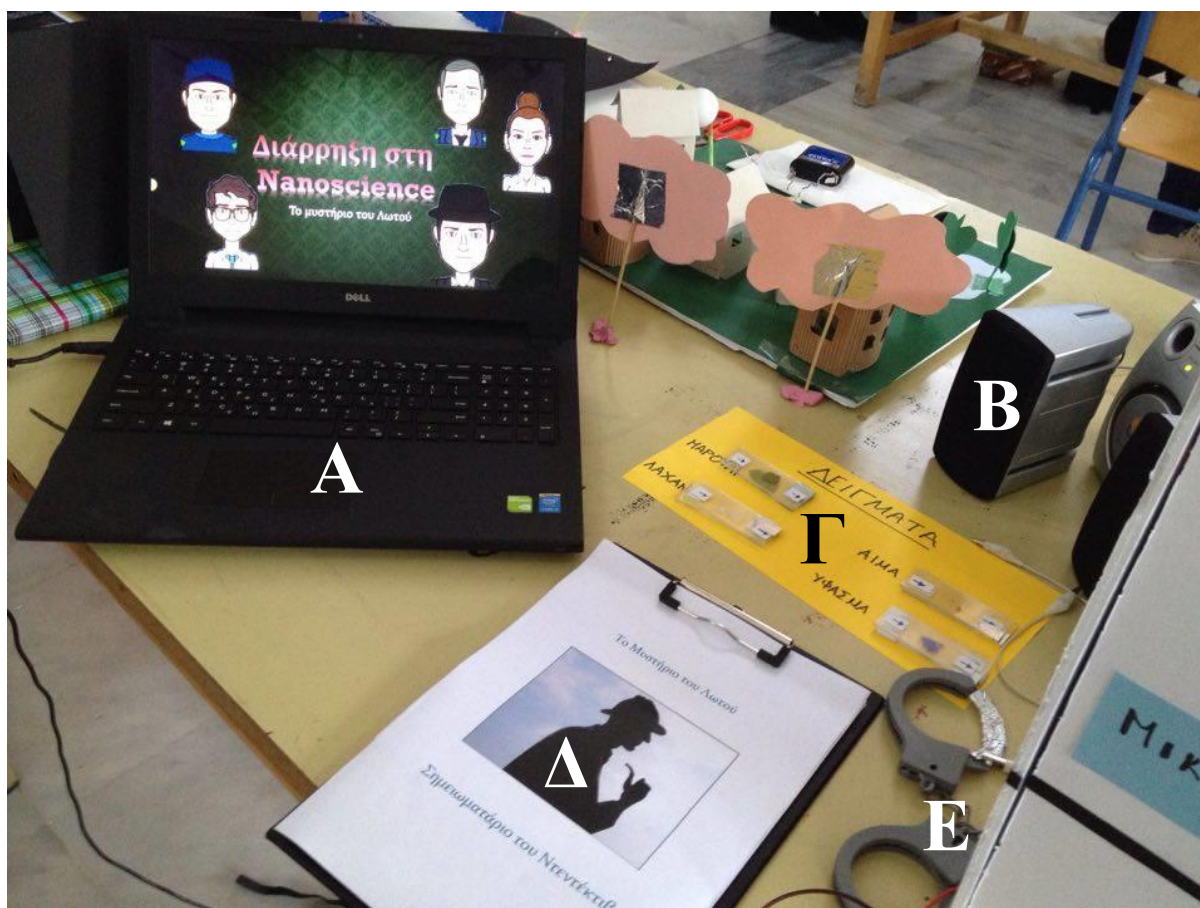
2.1.1. Εκπαιδευτικό υλικό

Το εκπαιδευτικό υλικό περιλαμβάνει ηλεκτρονικές συσκευές αλλά και φυσικά αντικείμενα τροποποιημένα έτσι ώστε να αλληλεπιδρούν με ηλεκτρονικό υπολογιστή (απτικές διεπαφές). Πιο αναλυτικά τα μέρη από τα οποία αποτελείται το εκπαιδευτικό υλικό είναι τα εξής:



Εικόνα 12: Πύργος διερεύνησης

- 1) Ο πύργος της διερεύνησης (εικόνα 12), που περιλαμβάνει από πάνω προς κάτω:
 - Την βάση πειραμάτων (Α)
 - Το «οπτικό μικροσκόπιο» (Β) και την αντίστοιχη υποδοχή δειγμάτων (Γ)
 - Το «ηλεκτρονικό μικροσκόπιο» (Δ) και την αντίστοιχη υποδοχή δειγμάτων (Ε)
 - Την πλακέτα MaKey MaKey και τον φορητό υπολογιστή στο εσωτερικό του
- 2) Ο δεύτερος φορητός υπολογιστής (Α) και τα ηχεία (Β), (εικόνα 13)
- 3) Τα δείγματα (Γ), (εικόνα 2):
 - 2 δείγματα φύλλου μαρουλιού
 - 2 δείγματα φύλλου λάχανου
 - 2 δείγματα ανθρώπινου αίματος
 - 2 δείγματα υφάσματος
- 4) Το διαδραστικό σημειωματάριο (Δ) και τις χειροπέδες (Ε), (εικόνα 13)
- 5) Διάφορα υλικά (αναλώσιμα, φύλλα φυτών, ύφασμα, γράμμα)



Εικόνα 13: Φορητός υπολογιστής (Α), ηχεία (Β), δείγματα (Γ), διαδραστικό σημειωματάριο (Δ) και χειροπέδες (Ε)

2.1.1.1. Πύργος διερεύνησης

Ο πύργος διερεύνησης είναι μια τεχνολογική μεταφορά της κατηγοριοποίησης των αντικειμένων σε διάφορους κόσμους ανάλογα με το μέγεθος τους και της σύνδεσης του κάθε κόσμου με ένα όργανο παρατήρησης. Το επάνω επίπεδο του πύργου αναπαριστά τον μακρόκοσμο, ο οποίος γίνεται αντιληπτός με το γυμνό μάτι. Το μεσαίο επίπεδο αναπαριστά τον μικρόκοσμο, ο οποίος μπορεί να παρατηρηθεί με το οπτικό μικροσκόπιο. Το κάτω επίπεδο αναπαριστά τον νανόκοσμο, ο οποίος μπορεί να παρατηρηθεί με το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο.

2.1.1.2. Απτικές διεπαφές

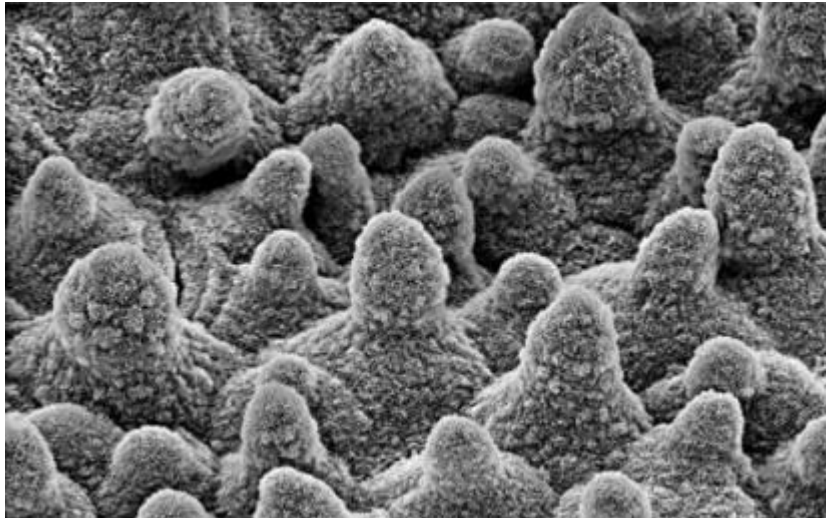
Η λειτουργία των απτικών διεπαφών του εκπαιδευτικού υλικού βασίζεται σε μια πλακέτα MaKey MaKey συνδεδεμένη σε ένα φορητό υπολογιστή, ο οποίος τρέχει το πρόγραμμα scratch. Στην πλακέτα καταλήγουν καλώδια από τις υποδοχές, το οπτικό μικροσκόπιο και το διαδραστικό σημειωματάριο. Με αυτόν τον τρόπο γίνεται δυνατή η αναγνώριση του κάθε δείγματος, όταν αυτό εισάγεται σε μία από τις υποδοχές, η επιλογή μιας από τις δύο διαθέσιμες απαντήσεις του διαδραστικού σημειωματάριου και η αναγνώριση της επαφής του ματιού των χρηστών στον προσοφθάλμιο του οπτικού μικροσκοπίου. Πρέπει να σημειωθεί ότι η πλακέτα και ο φορητός υπολογιστής βρίσκονται μέσα στον πύργο διερεύνησης.

2.1.1.3. Βάση πειράματος

Η βάση πειράματος βρίσκεται στην επάνω επιφάνεια του πύργου διερεύνησης, πάνω της βρίσκονται υλικά, τα οποία δίνουν στους συμμετέχοντες την δυνατότητα πραγματοποίησης πειραμάτων για την μελέτη της υδροφοβικότητας διάφορων φύλλων φυτών και υφασμάτων.

2.1.1.4. Υλικά

Τα διαφορά υλικά περιλαμβάνουν φύλλα φυτών, κομμάτια υφάσματος, αναλώσιμα, φάκελο και φωτογραφίες. Πιο συγκεκριμένα, για τα πειράματα απαραίτητα ήταν τα φύλλα μαρουλιού και λάχανου, τα κομμάτια υφάσματος που είχαν ψεκαστεί με ειδικό σπρέι ώστε να αποκτήσουν υδροφοβικές ιδιότητες, ένα πλαστικό πιάτο, ένα πλαστικό ποτήρι που περιείχε μαύρη νερομπογιά διαλυμένη σε νερό και μία πιπέτα. Επίσης, στα υλικά περιλαμβάνεται και ένας φάκελος, ο οποίος παρουσιάζεται στην ιστορία ως γράμμα που στάλθηκε στους μαθητές από τα κεντρικά του FBI και περιέχει μια φωτογραφία της επιφάνειας του φύλλου λωτού που λήφθηκε από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (εικόνα 14).



Εικόνα 14: Η φωτογραφία της επιφάνειας του φύλλου λωτού

2.1.1.5. Δείγματα

Τα δείγματα που περιλαμβάνονται στο παρόν εκπαιδευτικό υλικό αποτελούνται από δύο σλάιντς κολλημένα μεταξύ τους τα οποία περιέχουν ανάμεσα τους ένα δείγμα που έχει ληφθεί από πραγματικά αντικείμενα. Υπάρχουν τέσσερα είδη δειγμάτων: 1) φύλλου μαρουλιού, 2) φύλλου λάχανου, 3) αίματος και 4) υφάσματος και ο συνολικός αριθμός των δειγμάτων είναι οχτώ (8), δύο από το κάθε είδος. Το κάθε είδος δείγματος έχει κολλημένη ταινία αλουμινίου σε διαφορετικό σημείο ώστε να κλείνει διαφορετικό κύκλωμα όταν τοποθετείται στις υποδοχές και έτσι να μπορεί να αναγνωριστεί από τον υπολογιστή. Για παράδειγμα το δείγμα του υφάσματος έχει ταινία αλουμινίου στην κάτω δεξιά γωνία του από την μπροστά πλευρά, έτσι ώστε όταν εισάγεται στην υποδοχή να κάνει επαφή με συγκεκριμένο καλώδιο της υποδοχής (στο σημείο A, εικόνα 15) και το καλώδιο της γείωσης (στο σημείο B, εικόνα 15) και έτσι να κλείνει συγκεκριμένο κύκλωμα.

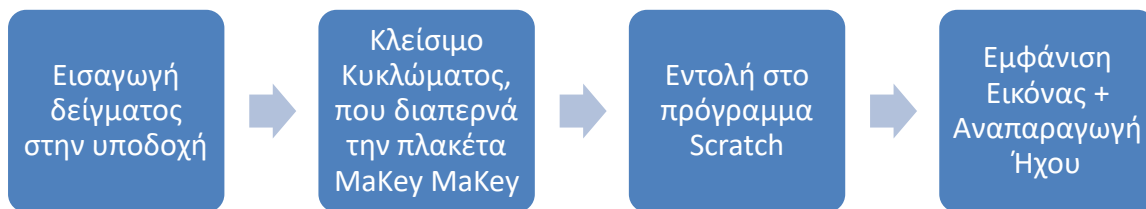


Εικόνα 15: Δείγμα υφάσματος

2.1.1.6. Μικροσκόπια

Τα μικροσκόπια του εκπαιδευτικού υλικού δεν είναι πραγματικά μικροσκόπια αλλά προσομοιώσεις μικροσκοπιών και συγκεκριμένα οπτικού και ηλεκτρονικού μικροσκοπίου. Οι οπτικοί σωλήνες του εκπαιδευτικού υλικού (B & Δ στην εικόνα 1) δεν περιέχουν οπτικούς φακούς με τους οποίους γίνεται η μεγέθυνση των αντικειμένων αλλά από πίσω τους (μέσα στον πύργο διερεύνησης) υπάρχει φορητός ηλεκτρονικός υπολογιστής ο οποίος προβάλλει εικόνες που έχουν ληφθεί από πραγματικά μικροσκόπια.

Η οθόνη του υπολογιστή έχει χωριστεί στα δύο, ώστε να είναι δυνατό να προβάλλονται εικόνες και για τα δύο «μικροσκόπια». Το (πάνω) μισό της οθόνης του υπολογιστή προβάλλει εικόνες για το οπτικό μικροσκόπιο και το (κάτω) μισό για το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο. Η αρχική εικόνα που φαίνεται και στα δύο μικροσκόπια είναι κενή (λευκή οθόνη) και ανάλογα με τα ερεθίσματα που δέχεται ο υπολογιστής από τις υποδοχές δείχνει τις αντίστοιχες εικόνες μέσω του προγράμματος scratch.



Σχήμα 9: Λειτουργία των «μικροσκοπίων»

Πιο συγκεκριμένα, όταν τοποθετείται ένα δείγμα σε μία από τις υποδοχές κλείνει ένα συγκεκριμένο κύκλωμα (διαφορετικό για κάθε δείγμα και κάθε υποδοχή) και αυτό δίνει την εντολή στον φορητό υπολογιστή να εμφανίσει μια εικόνα στο ανάλογο μισό της οθόνης του και ταυτόχρονα να αναπαραχθεί ήχος (σχήμα 9). Εκτός, από την εισαγωγή των δειγμάτων στις υποδοχές, στέλνει σήμα στον υπολογιστή και η επαφή με το οπτικό μικροσκόπιο, δηλαδή αν ένας μαθητής ακουμπήσει (με το μάτι του) το οπτικό μικροσκόπιο κλείνει κύκλωμα που διαπερνά την πλακέτα, το οποίο ο υπολογιστής το αναγνωρίζει και αναπαράγει έναν ήχο.

2.1.1.7. Διαδραστικό σημειωματάριο

Το διαδραστικό σημειωματάριο (εικόνα 16) αποτελείται από ένα μπλοκ, το οποίο περιλαμβάνει ένα φύλλο εργασίας. Οι απαντήσεις στο φύλλο εργασίας δίνονται με το πάτημα ενός κουμπιού (A ή B) με το ένα χέρι και το ταυτόχρονο άγγιγμα με το άλλο χέρι των χειροπεδών, οι οποίες καταλήγουν στην γείωση. Όταν ένας μαθητής ακουμπήσει ένα από τα κουμπιά και την χειροπέδα το σώμα κλείνει ένα κύκλωμα το οποίο διαρρέει την πλακέτα, η οποία στέλνει σήμα στον υπολογιστή.



Εικόνα 16: Διαδραστικό σημειωματάριο

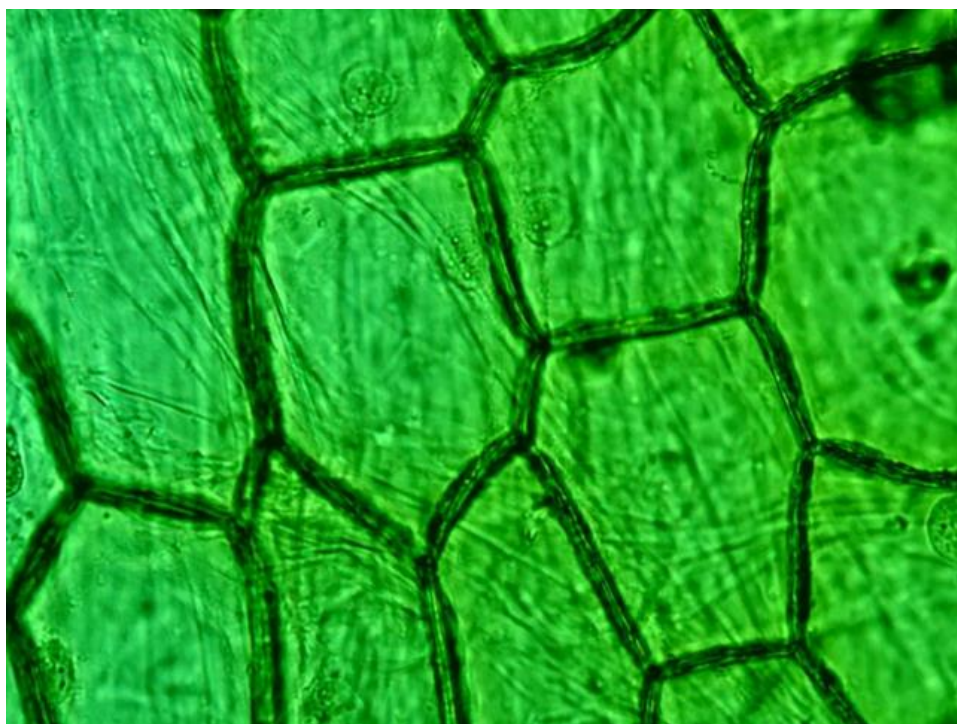
2.1.1.8. Δεύτερος φορητός υπολογιστής

Ο δεύτερος φορητός υπολογιστής χρησιμοποιήθηκε για την παρουσίαση της εισαγωγής της αφήγησης (πλαισίου) στους μαθητές και για την πλοήγηση τους μέσα στο σενάριο κατά τη διάρκεια της δραστηριότητας. Η ιστορία παρουσιάζεται με ένα βίντεο, που δημιουργήθηκε με το πρόγραμμα Camtasia και με διαφάνειες σε μορφή κόμιξ, οι οποίες δημιουργήθηκαν και προβάλλονταν με το πρόγραμμα Microsoft Power Point.

2.1.2. Αλληλεπίδραση μαθητών με το εκπαιδευτικό υλικό

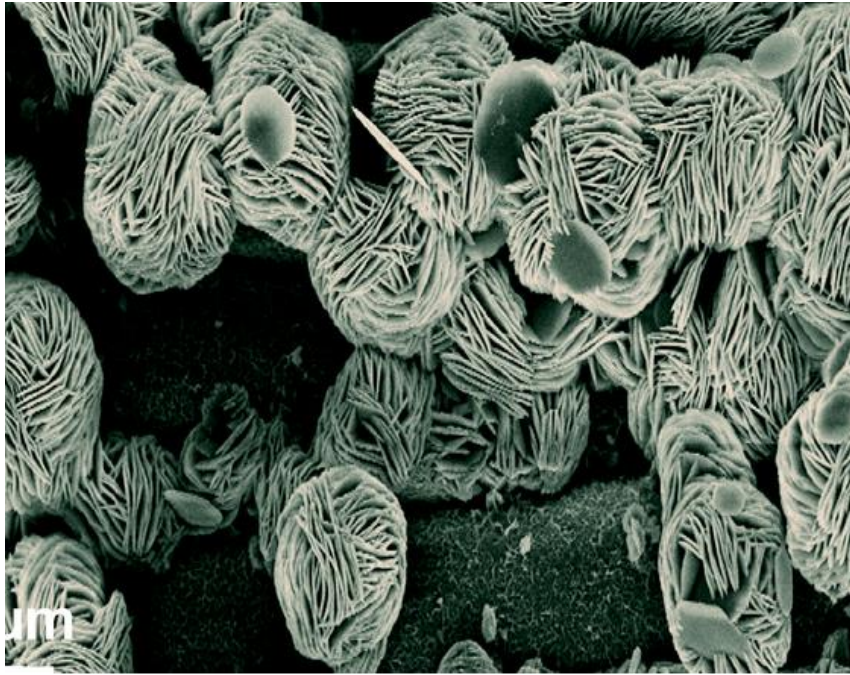
Το εκπαιδευτικό υλικό δίνει την ελευθερία στους μαθητές να αλληλεπιδράσουν μαζί του με πολλούς και διαφορετικούς τρόπους. Πιο συγκεκριμένα, οι μαθητές μπορούν να πραγματοποιήσουν πειράματα για την εξακρίβωση της υδροφοβικότητας διαφόρων αντικείμενων και να τα επαναλάβουν όσες φορές και οποιαδήποτε στιγμή το θεωρούν σκόπιμο. Επίσης, έχουν την δυνατότητα να μελετήσουν οποιοδήποτε από τα δείγματα με το οπτικό μικροσκόπιο εισάγοντας το στην υποδοχή του οπτικού μικροσκοπίου. Μόλις εισαχθεί ένα δείγμα στην υποδοχή εμφανίζεται η αντίστοιχη εικόνα (πχ εικόνα 6) στο πάνω μέρος της οθόνης του υπολογιστή, την οποία μπορούν να παρατηρήσουν μέσα από την οπή του οπτικού μικροσκοπίου. Ταυτόχρονα τους δίνεται και ηχητική επιβεβαίωση της εισόδου του δείγματος με την αναπαραγωγή του ήχου «Sample inserted» από τον ΗΥ.

Η αίσθηση της χρήσης ενός πραγματικού μικροσκοπίου συμβάλλει στην αυθεντικότητα της δραστηριότητας και στην χρήση του σώματος των μαθητών, καθώς για να παρατηρήσουν την εικόνα πρέπει να σκύψουν πάνω από την οπή του μικροσκοπίου. Η ηχητική επιβεβαίωση επίσης βοηθά στην αυθεντικότητα της δραστηριότητας και πληροφορεί για το αν έχει γίνει επιτυχώς η αναγνώριση του δείγματος από τον ΗΥ. Επιπλέον, όταν οι μαθητές ακουμπούν το μάτι τους στην οπή του «οπτικό μικροσκοπίου» τους δίνονται πληροφορίες αναφορικά με την εικόνα που παρατηρούν. Για παράδειγμα, στην περίπτωση του φύλλου μαρουλιού (εικόνα 17) πληροφορούνται ότι τα ακανόνιστα πολύγωνα που παρατηρούν είναι τα κύτταρα του μαρουλιού.



Εικόνα 17: Φωτογραφία οπτικού μικροσκοπίου της επιφάνειας φύλλου μαρουλιού

Τέλος οι μαθητές τοποθετώντας ένα από τα δείγματα στην υποδοχή δειγμάτων του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου, μπορούν να χρησιμοποιήσουν το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο και να παρατηρήσουν την επιφάνεια του αντικειμένου με μεγαλύτερη ακρίβεια (εικόνα 18).



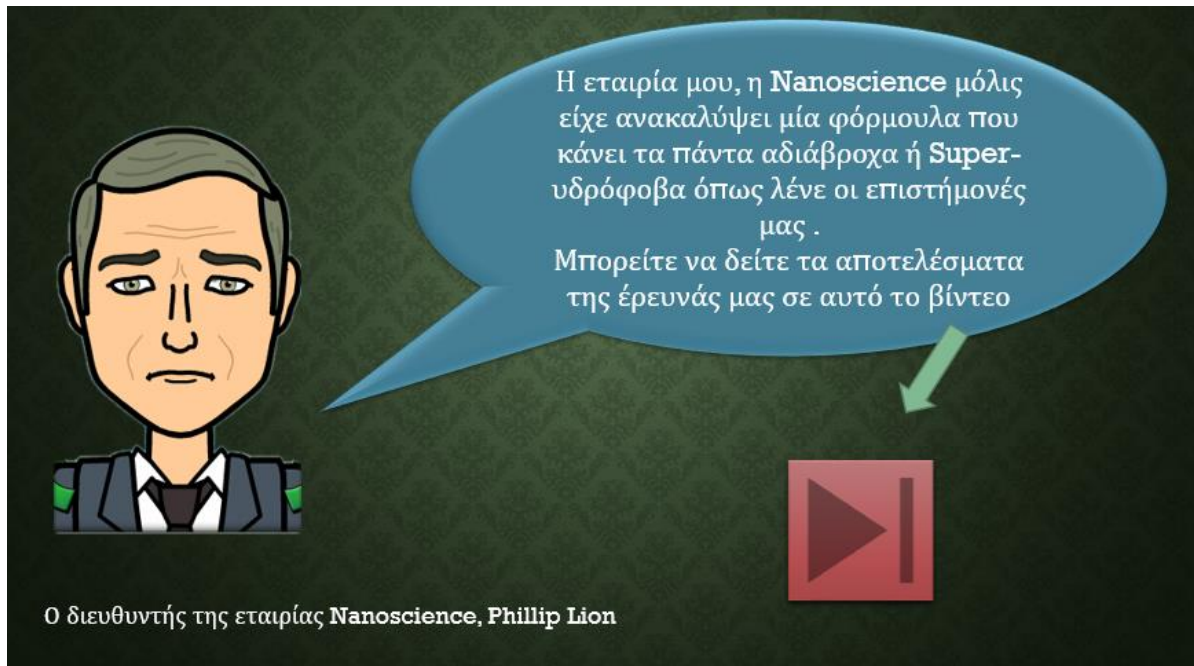
Εικόνα 18: Φωτογραφία ηλεκτρονικού μικροσκοπίου της επιφάνειας φύλλου λάχανου

Στον σχεδιασμό του εκπαιδευτικού υλικού και της δραστηριότητας λήφθηκε υπόψη η αλληλεπίδραση των μαθητών με τα αντικείμενα και η κίνηση του σώματος τους κατά την αλληλεπίδραση αυτή, σύμφωνα με την θεωρία της ενσώματης μάθησης. Οι τρεις κόσμοι τοποθετήθηκαν ο ένας κάτω από το άλλο, με τον νανόκοσμο στο κατώτερο επίπεδο, ώστε οι μαθητές να αναγκάζονται να κινούν το σώμα τους με συγκεκριμένο τρόπο. Πιο συγκεκριμένα, ήταν επιθυμητό οι μαθητές καθώς πηγαίνουν πιο «βαθιά» στο υλικό [δηλαδή παρατηρούν περισσότερες λεπτομέρειες] να σκύβουν και να πηγαίνουν ολόκληρο το σώμα τους πιο χαμηλά. Αυτό είχε ως σκοπό την σύνδεση της φυσικής ανθρώπινης κίνησης του σκυψίματος πάνω σε ένα αντικείμενο για να παρατηρηθεί καλύτερα, με τη μεγαλύτερη μεγέθυνση που τους προσφέρεται καθώς κατεβαίνουν προς τα κάτω στον πύργο διερεύνησης. Η σύνδεση αυτή επιδιώχθηκε καθώς αν επιτευχθεί προσφέρει περισσότερες πιθανότητες συγκράτησης των γνώσεων που θα προσκομίσουν οι μαθητές, αφού θα τις συνδέσουν με προηγούμενη γνώση.

Όπως προκύπτει από τα παραπάνω, οι μαθητές έχουν τη δυνατότητα να μελετήσουν ενδελεχώς ένα υλικό (πχ. φύλλο λάχανου), διαπιστώνοντας πρώτα το πώς συμπεριφέρεται στον μακρόκοσμο, στη συνέχεια πως είναι η δομή του στον μικρόκοσμο και τέλος στον νανόκοσμο. Δηλαδή να εξετάζουν το κάθε υλικό κατεβαίνοντας σταδιακά πιο χαμηλά στα επίπεδα του πύργου διερεύνησης. Με αυτόν τον τρόπο είναι δομημένη και η δραστηριότητα, όπως παρουσιάζεται στην παρακάτω ενότητα (2.1.1.3.).

Εκτός από τον πύργο διερεύνησης οι μαθητές αλληλεπιδρούν και με το διαδραστικό σημειωματάριο. Για να απαντήσουν στις ερωτήσεις του διαδραστικού σημειωματάρου πρέπει να πιέσουν το πλήκτρο A ή B ανάλογα με την απάντηση που θέλουν να δώσουν και ταυτόχρονα να αγγίζουν τις χειροπέδες [γείωση]. Η ανατροφοδότηση που λαμβάνουν είναι ένας ηχογραφημένος ήχος που αναπαράγεται από τον ΗΥ (π.χ. πολύ σωστά, πήγαινε στην επόμενη σελίδα). Πρέπει να σημειωθεί ότι ένα από τα πλεονεκτήματα σε σχέση με ένα συμβατικό φύλλο εργασίας είναι ότι δίνεται στους μαθητές η δυνατότητα να κάνουν λάθος αλλά και να το διορθώσουν άμεσα αφού λάβουν την ανατροφοδότηση από τον ΗΥ.

Για την εισαγωγή στην δραστηριότητα οι μαθητές μπορούν να διαβάσουν τις διαφάνειες και να χρησιμοποιήσουν έναν υπερσύνδεσμο για να παρακολουθήσουν το βίντεο, το οποίο επίσης δημιουργήθηκε στα πλαίσια της παρούσας εργασίας. Οι διαφάνειες είναι σε μορφή κόμιξ και περιλαμβάνουν διάφορους χαρακτήρες, που εξηγούν στους μαθητές το πλαίσιο της ιστορίας (εικόνα 19) και τους βοηθούν να λύσουν το μυστήριο (εικόνα 9). Το βίντεο παρουσιάζει διάφορα προϊόντα νανοτεχνολογίας με υδροφοβικές εφαρμογές. Κατά τη διάρκεια της δραστηριότητας οι διαφάνειες παίζουν υποστηρικτικό ρόλο και βοηθούν τους μαθητές να πλοηγηθούν στην αφήγηση και να συνδέσουν με αυτή τα ευρήματά τους, στα οποία κατέληξαν με την πραγματοποίηση πειραμάτων και τη χρήση των μικροσκοπίων (εικόνα 20).



Εικόνα 19: Διαφάνεια της παρουσίασης στην οποία ο διευθυντής δίνει πληροφορίες για την εταιρία του (Youtube Link του βίντεο: <https://www.youtube.com/watch?v=6Rz8UOadmOg>)



Εικόνα 20: Διαφάνεια της παρουσίασης στην οποία ο ντετέκτιβ ζητά την γνώμη των μαθητών για την γραμματέα

2.1.3. Σχεδιασμός διδακτικής παρέμβασης

Όπως, προαναφέρθηκε, η αλληλεπίδρασή των μαθητών με την εκπαιδευτικό υλικό πραγματοποιήθηκε μέσα στα πλαίσια ενός μυστηρίου. Το μυστήριο του λωτού, όπως ονομάστηκε, αφορά μια διάρρηξη που συνέβη σε μια εταιρία νανοτεχνολογίας, η οποία παράγει προϊόντα στεγανοποίησης υλικών.

Οι χαρακτήρες της ιστορίας είναι: 1) ο διευθυντής, του οποίου το γραφείο διαρρήχθηκε, 2) η γραμματέας, η οποία ήταν η πρώτη που ανακάλυψε την διάρρηξη και κάλεσε την αστυνομία, 3) ο υποδιευθυντής, ο οποίος έλλειπε την προηγούμενη μέρα από την εταιρία, 4) ο φύλακας, που είχε βάρδια το βράδυ της διάρρηξης και 5) ο ντετέκτιβ, ο οποίος είναι αστυνομικός που ερευνά την υπόθεση. Οι μαθητές παίρνουν το ρόλο του επιστήμονα του FBI και πρέπει να βοηθήσουν τον ντετέκτιβ να ανακαλύψει ποιος από τους τρεις υπόπτους [γραμματέας, υποδιευθυντής, φύλακας] ήταν τελικά ο διαρρήκτης.

Αρχικά, οι μαθητές εισάγονται στην ιστορία [φάση 1] και καθοδηγούνται αναφορικά με τα βήματα που θα ακολουθήσουν για να λύσουν το μυστήριο. Η εισαγωγή στην δραστηριότητα επιτυγχάνεται μέσω μιας παρουσίασης, η οποία αφηγείται στους μαθητές την ιστορία και προσφέρει κάποιες πληροφορίες για το τι είναι νανοτεχνολογία και εταιρία νανοτεχνολογίας. Πληροφορίες για την εταιρία προσφέρει και το βίντεο, το οποίο παρουσιάζει διάφορα προϊόντα νανοτεχνολογίας με υδροφοβικές εφαρμογές και μπορεί να προβληθεί με την χρήση υπερσυνδέσμου στην παρουσίαση [εικόνα 19]. Το βίντεο, που περιλαμβάνει και υπότιτλους, μπορεί να συμβάλει στην κατανόηση από τους μαθητές του είδους των προϊόντων που παράγει η εταιρία νανοτεχνολογίας της αφήγησης. Ο σχετικά μεγάλος βαθμός καθοδήγησης επιλέχθηκε καθώς αποδίδει πολύ καλύτερα από την ελάχιστη καθοδήγηση όσον αφορά τις διδασκαλίες σε αρχάριους μαθητές (Kirschner, Sweller, & Clark, 2006).

Πίνακας 1: Φάσεις δραστηριότητας

A/A Φάσεων Δραστηριότητας	Περιεχόμενο	Είδος Διερεύνησης
1 ^η	Εμπλοκή του μαθητή σε ένα πρόβλημα	Δομημένη (structured)
2 ^η	Εξέταση φύλλων φυτών (για να εξακριβωθεί αν είναι υδρόφοβα)	Δομημένη (structured)
3 ^η	Εξέταση δείγματος αίματος (για να εξακριβωθεί αν έχει ιό)	Καθοδηγούμενη (guided)
4 ^η	Εξέταση δείγματος υφάσματος (για να εξακριβωθεί αν είναι υδρόφοβο)	Μερικώς-ανοιχτή (student-directed)

Το κύριο μέρος της δραστηριότητα αποτελείται από τρεις φάσεις (φάσεις 2, 3 & 4), όσοι είναι δηλαδή και οι ύποπτοι της ιστορίας, όπως φαίνεται στον πίνακα 1. Σε κάθε φάση δίνεται σταδιακά λιγότερη καθοδήγηση στους μαθητές, μέσω του PowerPoint και του σημειωματάριου. Επιλέχθηκε η μέθοδος αυτή της σκαλωσιάς (scaffolding), καθώς οι μαθητές που θα χρησιμοποιούσαν το υλικό πιθανώς να μην ήταν εξοικειωμένοι με την διερεύνηση αλλά και την χρήση απτικών διεπαφών.

Στην δεύτερη φάση, οι μαθητές πρέπει να ερευνήσουν την εγκυρότητα της κατάθεσης της γραμματέα όσον αφορά το φυτό του λωτού που βρισκόταν στο γραφείο, το οποίο κατά ένα περίεργο τρόπο δεν λερώθηκε από το μελάνι που έριξε κατά λάθος ο διαρρήκτης (εικόνα 21). Καθώς δεν έχουν διαθέσιμο φύλλο λωτού στο εργαστήριο πρέπει να μελετήσουν πρώτα το φύλλο του μαρουλιού και στη συνέχεια του λάχανου ως προς την υδροφοβικότητά τους και την δομή της επιφάνειάς στον μικρόκοσμο και τον νανόκοσμο.

Στην συνέχεια, πρέπει να χρησιμοποιήσουν τη φωτογραφία της επιφάνειας του φύλλου του λωτού που τους στάλθηκε με γράμμα από τα κεντρικά του FBI για να την συγκρίνουν με αυτή του μαρουλιού και του λάχανου και να συμπεράνουν αν τελικά ο λωτός είναι υδρόφιλος ή super-υδρόφοβος. Τέλος, χρησιμοποιώντας τα συμπεράσματα που εξήγαγαν πρέπει να ενημερώσουν τον ντετέκτιβ για την εγκυρότητα της κατάθεσης της γραμματέα. Οι οδηγίες που λαμβάνουν σε αυτήν τη φάση οι μαθητές είναι λεπτομερείς και οι ερωτήσεις του διαδραστικού σημειωματάριου τους καθοδηγούν σε μεγάλο βαθμό.



Εικόνα 21: Φωτογραφία του τόπου εγκλήματος

Στην τρίτη φάση, εξετάζεται η δήλωση του υποδιευθυντή, ο οποίος είπε ότι είναι άρρωστος και για αυτό έλλειπε από την εταιρία. Οι μαθητές παίρνουν ένα δείγμα αίματος του υποδιευθυντή και με τη χρήση του εκπαιδευτικού υλικού πρέπει να εξακριβώσουν αν είναι όντως άρρωστος. Σε αυτό το σημείο οι ερωτήσεις που τίθενται στους μαθητές στο διαδραστικό σημειωματάριο γίνονται πιο γενικές και δεν δίνονται οδηγίες για τον τρόπο χρήσης της απτικής διεπαφής, καθώς οι μαθητές αναμένεται να έχουν εξοικειωθεί με αυτή στην προηγούμενη φάση.

Τέλος, στην τέταρτη φάση οι μαθητές πρέπει να ελέγξουν τη δήλωση του φύλακα ότι δεν φορούσε αδιάβροχα ρούχα. Τους δίνεται ένα δείγμα υφάσματος από τα ρούχα που φορούσε και πρέπει μόνοι τους να επιλέξουν τη μεθοδολογία με την οποία θα καταλήξουν σε συμπέρασμα. Αφού, αποδείξουν ότι το ρούχο του φύλακα ήταν αδιάβροχο, το αναφέρουν στον ντετέκτιβ, ο οποίος τους συγχαίρει και συλλαμβάνει τον φύλακα.

2.1.4. Υλοποίηση διδακτικής παρέμβασης

Η διδακτική παρέμβαση της πιλοτικής εφαρμογής πραγματοποιήθηκε σε τρεις ομάδες των πέντε μαθητών, οι οποίοι δεν είχαν διδαχθεί το αντικείμενο της Νανοεπιστήμης - Νανοτεχνολογίας στα πλαίσια της τυπικής εκπαίδευσης. Οι μαθητές αυτοί φοιτούσαν στην ΣΤ' τάξη δημοτικού σχολείου της περιοχής Αλμωπίας και επισκέφτηκαν την Παιδαγωγική Σχολή Φλώρινας λόγω εκπαιδευτικής εκδρομής, στα πλαίσια της οποίας συμμετείχαν στην πιλοτική εφαρμογή της παρούσας έρευνας.

Τρεις ερευνητές παρατηρούσαν την κάθε ομάδα καθώς πραγματοποιούσε την δραστηριότητα και αλληλοεπιδρούσε με το εκπαιδευτικό υλικό. Ένας από τους ερευνητές ήταν υπεύθυνος για την αφήγηση της ιστορίας και την ομαλή διεξαγωγή της παρέμβασης. Η συλλογή των δεδομένων με παρατήρηση πραγματοποιήθηκε από τους άλλους δύο ερευνητές, οι οποίοι καθόντουσαν στην άκρη της αίθουσας, συμπλήρωναν τους πίνακες που παρουσιάζονται παρακάτω και δεν αλληλοεπιδρούσαν με τους μαθητές κατά την διάρκεια της δραστηριότητας.

Οι σημειώσεις του ερευνητή είχαν την μορφή πινάκων, με την κάθε γραμμή να αντιστοιχεί στην εκάστοτε ομάδα και την κάθε στήλη στην εκάστοτε φάση της παρέμβασης. Οι σημειώσεις αυτές αφορούσαν παραμέτρους της παρέμβασης, και πιο συγκεκριμένα τον χρόνο ολοκλήρωσής της κάθε φάσης και την συμμετοχή των μαθητών σε κάθε φάση της παρέμβασης. Επιπλέον, είχε προβλεφθεί και χώρος ώστε να μπορούν οι ερευνητές να κρατήσουν ελεύθερες σημειώσεις για ότι εκείνοι θεωρούσαν σημαντικό.

2.1.4.1. Χρόνος

Τα δεδομένα που αφορούν τον χρόνο που χρειάστηκαν οι μαθητές για να ολοκληρώσουν την κάθε φάση της παρέμβασης παρουσιάζονται στον πίνακα 2. Πρέπει να σημειωθεί ότι στην πιλοτική εφαρμογή λόγω του περιορισμένου διαθέσιμου χρόνου οι μαθητές είχαν 22 λεπτά στην διάθεση τους για να ολοκληρώσουν τη δραστηριότητα σε αντίθεση με την τελική εφαρμογή στην οποία είχαν 45 λεπτά στη διάθεσή τους.

Πίνακας 2: Χρονική διάρκεια της κάθε φάσης της παρέμβασης ανά ομάδα

Ομάδα	Φάση 1 ^η	Φάση 2 ^η	Φάση 3 ^η		Σύνολο
			Φάση 3 ^η	Φάση 4 ^η	
1	5'	11'	3'	3'	22'
2	6'	12'	1'	3'	22'
3	3'	14'	2'	3'	22'
MO	4,7'	12,3'	2,0'	3,0'	22,0'

Οι μαθητές χρειάστηκαν περισσότερο χρόνο για να ολοκληρώσουν την δεύτερη φάση της δραστηριότητας, που αφορούσε τη διερεύνηση των ιδιοτήτων φύλλων φυτών, όπως φαίνεται και στον πίνακα (2). Στην συνέχεια, ακολουθεί η εισαγωγή της δραστηριότητας και τέλος τον λιγότερο χρόνο χρειάστηκαν για να ολοκληρώσουν τα δύο τελευταία μέρη, δηλαδή την εξέταση του αίματος για ιούς και του υφάσματος για να διαπιστωθεί αν είναι υπερυδρόφοβο.

2.1.4.2. Συμμετοχή

Έκτος από τον χρόνο ολοκλήρωσης της κάθε φάσης μετρήθηκε και η ενεργός συμμετοχή των μαθητών. Αν κάποιος μαθητής μιλούσε ή αλληλοεπιδρούσε με το εκπαιδευτικό υλικό (πχ εισήγαγε κάποιο δείγμα στην υποδοχή ή κοίταξε στο μικροσκόπιο) σημειώνονταν ότι συμμετείχε ενεργά στην αντίστοιχη φάση που το έπραξε. Στον παρακάτω πίνακα (3), παρουσιάζεται ο αριθμός των μαθητών που συμμετείχε σε κάθε φάση της παρέμβασης.

Πίνακας 3: Αριθμός μαθητών που συμμετείχαν ανά φάση

Ομάδα	Αριθμός μαθητών ομάδας	Φάση 1 ^η	Φάση 2 ^η	Φάση 3 ^η	Φάση 4 ^η	ΜΟ
1	5	2	3	4	3	3
2	5	3	4	3	3	3,25
3	5	2	3	3	3	2,75

Όπως φαίνεται και στον πίνακα, κατά μέσο όρο συμμετείχαν ενεργά περίπου 3 από τους 5 μαθητές της κάθε ομάδας, λόγω αυτού του δεδομένου στην τελική εφαρμογή οι ομάδες αποτελούνταν από τρεις ή τέσσερις.

2.1.4.3. Παρατηρήσεις

Εκτός από τον χρόνο και τη συμμετοχή των μαθητών, θεωρήθηκε σημαντικό να σημειωθούν κάποιες αδυναμίες, τεχνικές και διδακτικές, του εκπαιδευτικού υλικού και της παρέμβασης. Οι σημαντικότερες από αυτές ήταν οι εξής:

- i. Ο διαθέσιμος χρόνος (20΄) δεν ήταν επαρκής για την ομαλή ολοκλήρωση της παρέμβασης, καθώς για την ολοκλήρωσή της χρειάστηκε καθοδήγηση και πίεση των μαθητών από τον υπεύθυνο ερευνητή, το οποίο δεν ήταν συμβατό με τον διερευνητικό χαρακτήρα της δραστηριότητας
- ii. Κάποιοι όροι (π.χ. επίπεδο, τριδιάστατο, αναισθητικό υγρό) και κάποιες εικόνες (π.χ. ύφασμα στον μικρόκοσμο) δυσκόλεψαν τους μαθητές
- iii. Οι απτικές διεπαφές δεν λειτούργησαν πολύ καλά, καθώς ο υπεύθυνος ερευνητής χρειάστηκε να επέμβει πολλές φορές
- iv. Οι μαθητές δεν χρησιμοποίησαν τους όρους μακρόκοσμος, μικρόκοσμος και νανόκοσμος
- v. Όταν οι μαθητές καλούνταν να εφαρμόσουν τα συμπεράσματα που είχαν βγάλει νωρίτερα πολλές φορές δεν τα θυμόντουσαν ή δεν μπορούσαν να τα εκφράσουν με επιστημονικούς όρους

Μετά την υλοποίηση της παρέμβασης, πραγματοποιήθηκε συζήτηση μεταξύ των ερευνητών πάνω στις παρατηρήσεις τους και λήφθηκαν αποφάσεις για την βελτίωση του εκπαιδευτικού υλικού και της παρέμβασης, ώστε να λειτουργούν καλύτερα. Οι βελτιώσεις και οι αλλαγές αυτές παρουσιάζονται στην ενότητα «2.2 Τελική Εφαρμογή».

2.1.5. Ερευνητικά ερωτήματα

Σκοπός της πιλοτικής έρευνας ήταν να αξιολογηθεί το εκπαιδευτικό υλικό αλλά και η παρέμβαση συνολικά ως προς τα μαθησιακά αποτελέσματά τους. Για την ερμηνεία αυτών των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε παρόμοια μεθοδολογία με συναφή μεταπτυχιακή εργασία (Πέικος, 2016). Στην προαναφερθείσα έρευνα χρησιμοποιήθηκαν οι Μεγάλες Ιδέες της N-ET (Stevens et al., 2009; Πέικος κ.α., 2015), το FS2 πλαίσιο (Magana et al., 2012) και έρευνες για τις ιδέες των μαθητών για τη N-ET [ενότητα 1.1.5]. Ο γενικός σκοπός της έρευνας μπορεί να διατυπωθεί ως εξής:

2.1.5.1. E.E.Π.1: Ποιες ήταν οι αντιλήψεις των μαθητών σχετικά με την Νανοεπιστήμη - Νανοτεχνολογία μετά την αλληλεπίδρασή τους με το εκπαιδευτικό υλικό;

Το ερευνητικό ερώτημα της πιλοτικής εφαρμογής [E.E.Π.] επιμερίστηκε στα ακόλουθα υποερωτήματα:

E.E.Π.1.1: Τι νόημα απέδιδαν οι μαθητές στον όρο «Νανοτεχνολογία»;

E.E.Π.1.2: Ποιο ήταν το μικρότερο αντικείμενο που γνώριζαν οι μαθητές;

E.E.Π.1.3: Με ποιο όργανο παρατήρησης πίστευαν οι μαθητές ότι μπορούσαν να παρατηρήσουν το μικρότερο αντικείμενο που γνώριζαν;

E.E.Π.1.4: Πόσο συνεπείς ήταν οι μαθητές στην επιλογή οργάνου παρατήρησης για το μικρότερο αντικείμενο που γνώριζαν;

E.E.Π.1.5: Πόσο ικανοί ήταν οι μαθητές στην ταξινόμηση αντικειμένων διαφορετικών μεγεθών με κριτήριο το όργανο παρατήρησης;

E.E.Π.1.6: Πόσο ικανοί ήταν οι μαθητές στην σειροθέτηση αντικειμένων διαφορετικών μεγεθών;

E.E.Π.1.7: Πόσο ικανοί ήταν οι μαθητές στην περιγραφή του φαινομένου του λωτού;

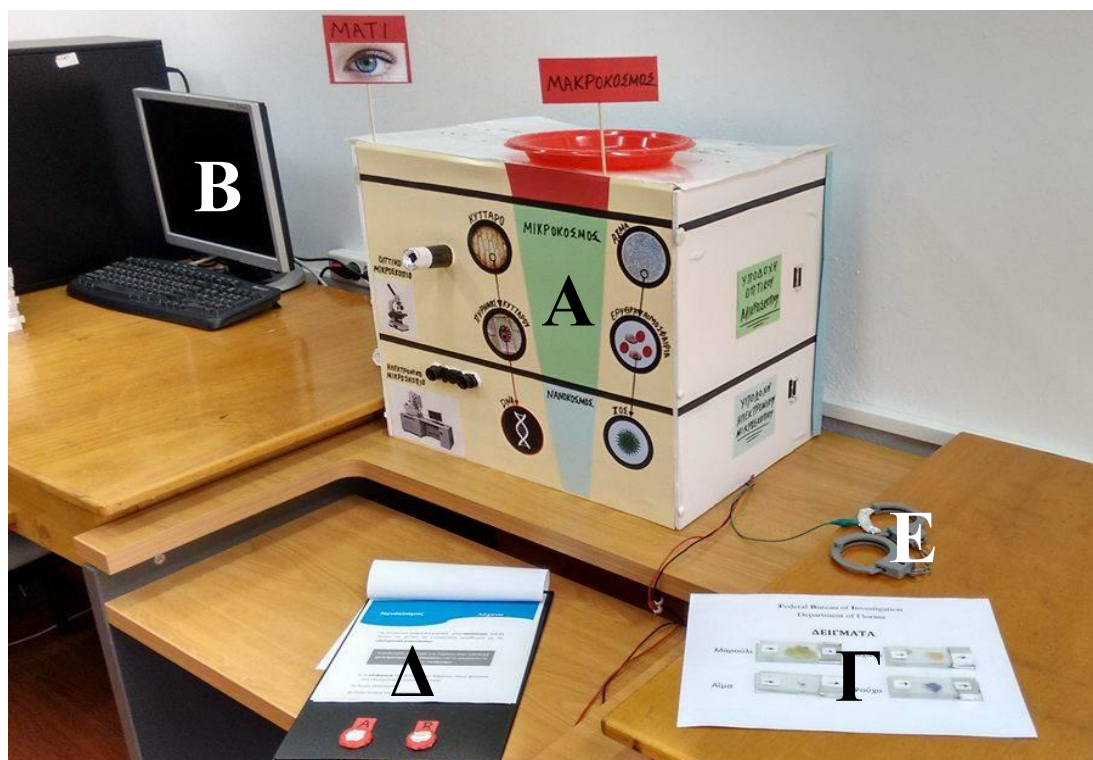
2.2. Τελική Εφαρμογή

Σύμφωνα με τα συμπεράσματα που εξήχθησαν μετά την υλοποίηση της πιλοτικής εφαρμογής (2.1.4) και την αποτίμηση των μαθησιακών αποτελεσμάτων της (5.1.1) πραγματοποιήθηκαν βελτιωτικές αλλαγές στο εκπαιδευτικό υλικό αλλά και στην παρέμβαση. Παρακάτω παρουσιάζονται λεπτομερώς το νέο εκπαιδευτικό υλικό και η παρέμβαση μετά τις αλλαγές και τις προσθήκες που πραγματοποιήθηκαν και τέλος συνοψίζονται οι διαφοροποιήσεις που εμφανίζει σε σχέση με την πιλοτική εφαρμογή.

2.2.1. Εκπαιδευτικό υλικό

Το εκπαιδευτικό υλικό περιλαμβάνει ηλεκτρονικές συσκευές και φυσικά αντικείμενα, μερικά από τα οποία ήταν τροποποιημένα έτσι ώστε να αλληλεπιδρούν με ηλεκτρονικό υπολογιστή. Πιο αναλυτικά τα μέρη από τα οποία αποτελείται είναι τα εξής:

- 1) Ο πύργος της διερεύνησης (Α)
- 2) Ο δεύτερος ηλεκτρονικός υπολογιστής (Β)
- 3) Τα δείγματα (Γ)
- 4) Το διαδραστικό σημειωματάριο (Δ) και τις χειροπέδες (Ε)
- 5) Το σημειωματάριο του ερευνητή
- 6) Η ερευνητική αναφορά
- 7) Η διακόσμηση της αίθουσας
- 8) Τα καρτελάκια ταυτότητας
- 9) Διάφορα υλικά (αναλώσιμα, φύλλα φυτών, ύφασμα, γράμμα)



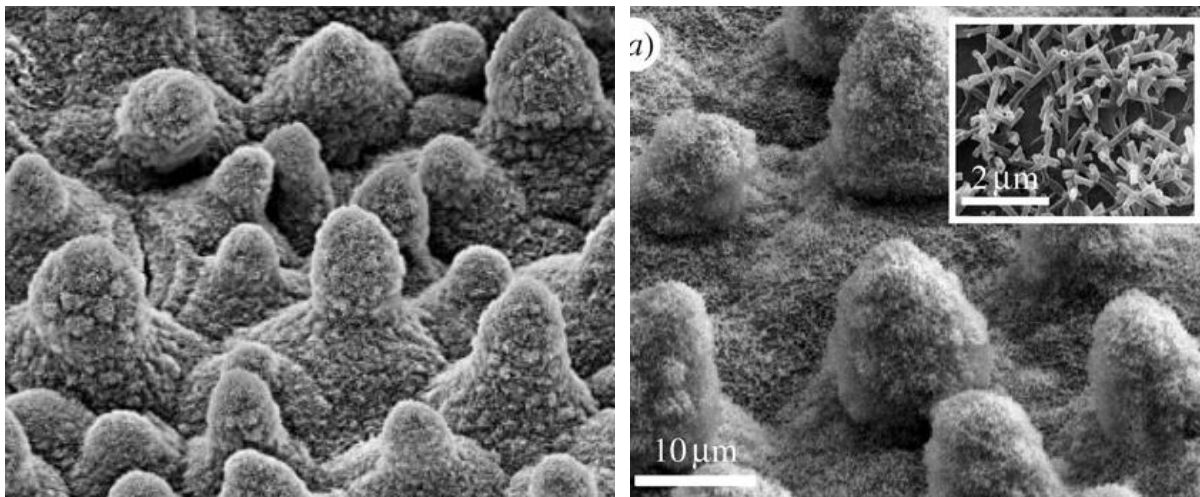
Εικόνα 22: Πύργος διερεύνησης (Α), Δεύτερος ΗΥ (Β), Δείγματα (Γ), Διαδραστικό σημειωματάριο (Δ) & χειροπέδες (Ε)

2.2.1.1. Πύργος διερεύνησης

Η βασική ιδέα πίσω από τον πύργο διερεύνησης, παρέμεινε ίδια σε σχέση με την πιλοτική εφαρμογή, όμως πραγματοποιήθηκαν αρκετές αλλαγές. Τα επίπεδα έγιναν πιο διακριτά μεταξύ τους (Manches et al., 2010) με τη χρήση χρωμάτων, κόκκινο για τον μακρόκοσμο, πράσινο για τον μικρόκοσμο και γαλάζιο για τον νανόκοσμο. Επιπλέον, προστέθηκαν φωτογραφίες των οργάνων παρατήρησης του κάθε κόσμου και εικόνες κάποιων αντικειμένων αναφοράς, για να βοηθήσουν του μαθητές να ταξινομήσουν ευκολότερα τα αντικείμενα στην κλίμακα και να τα ομαδοποιήσουν σε κόσμους (Stevens et al., 2009· Tretter et al., 2006a). Τέλος, αυτές οι αλλαγές συνέβαλαν και στην βελτίωση της εμφάνισής του πύργου διερεύνησης, έγινε δηλαδή πιο ελκυστικός για τους χρήστες.

2.2.1.2. Υλικά

Τα διαφορά υλικά που χρησιμοποιήθηκαν στην τελική εφαρμογή ήταν τα ίδια με αυτά της πιλοτικής. Η μόνη διαφορά ήταν ότι στον φάκελο είχαν τοποθετηθεί δύο φωτογραφίες της επιφάνειας του λωτού στο νανοεπίπεδο [εικόνα 23] και όχι μία.



Εικόνα 23: Οι δύο φωτογραφίες που περιλαμβάνονταν στο γράμμα

2.2.1.3. Δείγματα

Τα δείγματα που χρησιμοποιήθηκαν στην τελική εφαρμογή ήταν τα ίδια με αυτά της πιλοτικής, τα οποία δέχτηκαν όμως κάποιες τροποποιήσεις για να κάνουν πιο εύκολα επαφή όταν εισάγονταν στην υποδοχή και έτσι να είναι πιο εύχρηστα. Τοποθετήθηκε περισσότερη ταινία αλουμινίου με τέτοιο τρόπο ώστε τα καλώδια της υποδοχής να κάνουν επαφή στο σημείο A και σε οποιαδήποτε από τα δύο καλώδια της γείωσης της υποδοχής στα σημεία B [εικόνα 24].

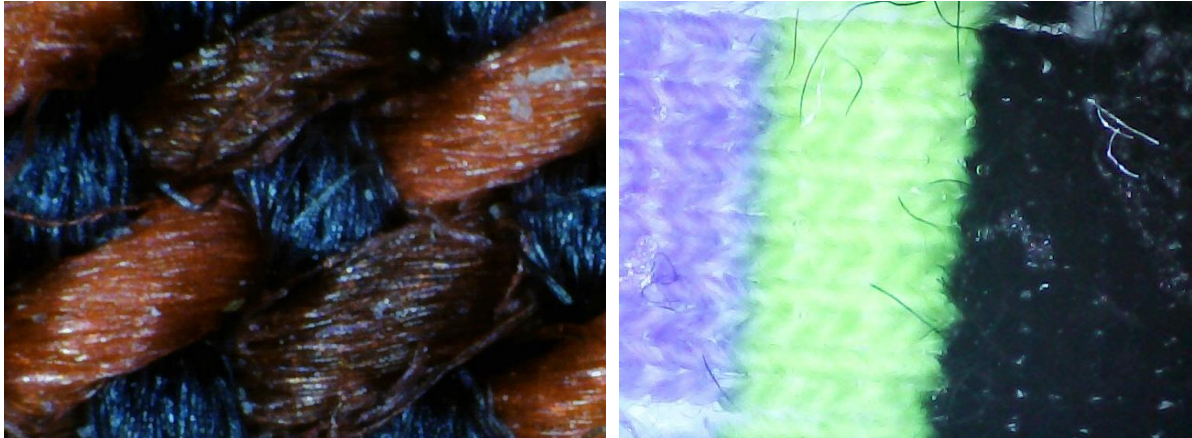


Εικόνα 24: Δείγμα υφάσματος

2.2.1.4. Μικροσκόπια

Τα μικροσκόπια λειτουργούν με τον ίδιο ακριβώς τρόπο, όπως και στην πιλοτική εφαρμογή. Κάποιες από τις φωτογραφίες που εμφανίζονται στην πιλοτική εφαρμογή αντικαταστάθηκαν με καλύτερες. Παράδειγμα η φωτογραφία του πραγματικού υφάσματος που χρησιμοποιούνταν στα πειράματα στον μικρόκοσμο που λήφθηκε από οπτικό μικροσκόπιο στο εργαστήριο του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας (εικόνα 25), που αντικατέστησε την φωτογραφία που χρησιμοποιούνταν προηγουμένως, η οποία όπως αποδείχθηκε στην πιλοτική εφαρμογή προκαλούσε δυσκολίες τους μαθητές.

Εικόνα 25: Φωτογραφία υφάσματος, που λήφθηκε από οπτικό μικροσκόπιο

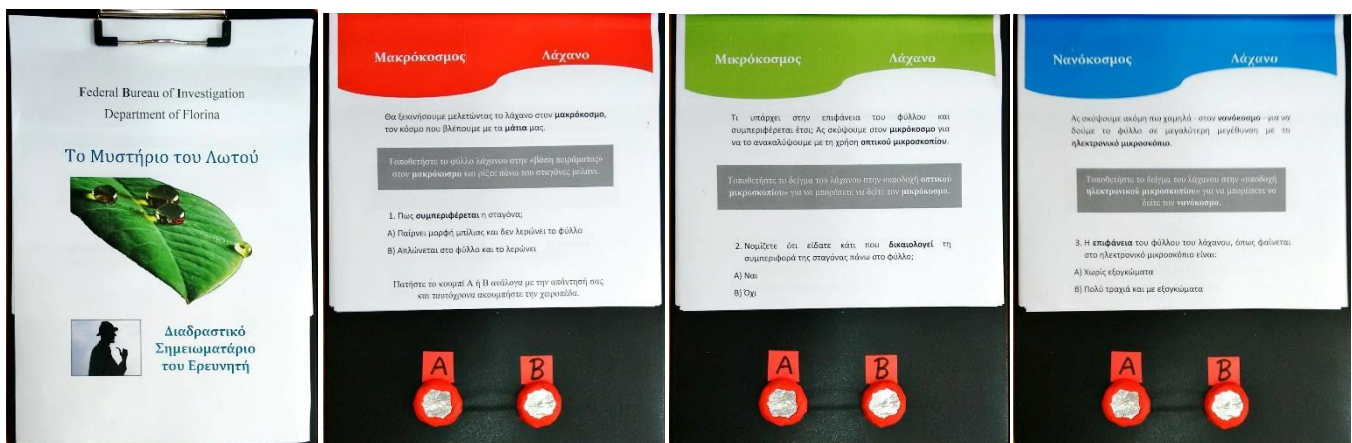


Εικόνα 25α: Πιλοτική εφαρμογή

Εικόνα 25β: Τελική εφαρμογή

2.2.1.5. Διαδραστικό σημειωματάριο

Το διαδραστικό σημειωματάριο λειτουργεί με τον ίδιο τρόπο, όπως και στην πιλοτική εφαρμογή σε σχέση με την οποία πραγματοποιήθηκαν κάποιες βελτιώσεις στην εμφάνισή του και στο περιεχόμενό του (Εικόνα 26). Πιο συγκεκριμένα, βελτιώθηκε γραφιστικά η εμφάνιση του εξωφύλλου, των κουμπιών και του εσωτερικού του, στο οποίο προστέθηκαν χρώματα που σηματοδοτούν τον κάθε κόσμο όπως ακριβώς και στον πύργο διερεύνησης (κόκκινο – μακρόκοσμος, πράσινο – μικρόκοσμος, γαλάζιο – νανόκοσμος). Οι αλλαγές που πραγματοποιήθηκαν στο περιεχόμενο του διαδραστικού σημειωματαρίου παρουσιάζονται παρακάτω (Ενότητες 2.1.2.3 & 2.1.2.4).



Εικόνα 26: Οι τέσσερις πρώτες σελίδες του διαδραστικού σημειωματαρίου

2.2.1.6. Δεύτερος ηλεκτρονικός υπολογιστής

Ο δεύτερος ηλεκτρονικός υπολογιστής χρησιμοποιήθηκε στην τελική εφαρμογή για την παρουσίαση της ιστορίας με διαφάνειες και βίντεο, όπως και στην πιλοτική εφαρμογή. Παρόλα αυτά πραγματοποιήθηκαν κάποιες αλλαγές στις διαφάνειες και στο βίντεο, οι οποίες θα αναφερθούν παρακάτω (2.2.3.).

2.2.1.7. Σημειωματάριο του ερευνητή

Το σημειωματάριο του ερευνητή είναι ένα φύλλο εργασίας στο οποίο οι μαθητές μπορούν να κρατούν συνοπτικές σημειώσεις για όλα τα στάδια της δραστηριότητας. Αφού συγκεντρώνονται σε αυτό όλα τα ευρήματα τους μπορεί να τους βοηθήσει να βγάλουν συμπεράσματα και μπορούν να ανατρέξουν σε αυτό αν ξεχάσουν κάτι.

2.2.1.8. Ερευνητική αναφορά

Η ερευνητική αναφορά αποτελεί και αυτή ένα φύλλο εργασίας στο οποίο οι μαθητές καταγράφουν τα συμπεράσματα που εξήγαγαν στο τέλος της δραστηριότητας. Εισήχθη για την ενίσχυση της αιτιολόγησης των απαντήσεων τους, η οποία συμβάλλει στην ανάπτυξη της λογικής τους σκέψης και του επιστημονικού τους λόγου (Olson & Loucks-Horsley, 2000).

Όνοματεπώνυμο Ερευνητή: _____
Ημερομηνία: _____

Είναι πολύ σημαντικό να κρατάς σημειώσεις, ώστε να έχεις αρκετά δεδομένα για να βρεις ποιος είναι ο ένοχος

► Τι παρατηρείς σε κάθε κόσμο για το μαρούλι και το λάχανο; Σημείωσε με λόγια ή/και σχέδια.

Επίπεδο	Τι παρατηρώ;	Λάχανο	Μαρούλι
Μακρόκοσμος	Σε σχέση με την συμπεριφορά της σταγόνας πάνω στο φύλλο.		
Μικρόκοσμος	Σε σχέση με την επιφάνεια του φύλλου		
Νανόκοσμος	Σε σχέση με την επιφάνεια του φύλλου		

Εικόνα 27α: Μέρος του σημειωματαρίου του ερευνητή

Department of Florina

Nanoscience Report

Ερευνητική Αναφορά για την Διάρρηξη στην εταιρία Nanoscience

1. Συμπληρώστε τον πίνακα σύμφωνα με το παράδειγμα (Διευθυντής). Θα πρέπει να εξηγήσετε τους χαρακτηρισμούς σας (Είναι ύποπτος – Δεν είναι ύποπτος) σαν πραγματικοί επιστήμονες βασιζόμενοι σε δεδομένα.

Κύριοι Υπόπτοι	Χαρακτηρισμός	Αιτιολόγηση
Philip Lion (Διευθυντής)	Δεν είναι ύποπτος	Συνεργάστηκε άψογα με τους αστυνομικούς και σύμφωνα με τα τωρινά δεδομένα μας είπε μόνο την αλήθεια.
George Black (Γραμματέας)		
Sally Jones (Υποδιευθύντρια)		
Bill White (Φύλακας)		

Εικόνα 27β: Μέρος της ερευνητικής αναφοράς

2.2.1.9. Διακόσμηση της αίθουσας

Στην τελική εφαρμογή διακοσμήθηκε η αίθουσα καθώς σε σχέση με την πιλοτική εφαρμογή, δόθηκε πολύ μεγαλύτερη έμφαση στην αυθεντικότητα της δραστηριότητας, ώστε να γίνει πιο ελκυστική για τα παιδιά. Πιο συγκεκριμένα, το εσωτερικό και το εξωτερικό της αίθουσας διακοσμήθηκαν έτσι ώστε να παραπέμπει σε εργαστήριο του FBI. Στην πόρτα της αίθουσας από την έξω πλευρά ήταν αναρτημένη μια κόλλα Α4, που έπαιζε τον ρόλο της πινακίδας της αίθουσας - εργαστηρίου ανάλυσης δειγμάτων (εικόνα 17). Τα έπιπλα της αίθουσας είχαν ταξινομηθεί κατάλληλα έτσι ώστε να παραπέμπει σε εργαστήριο και στους τοίχους της αίθουσας είχαν αναρτηθεί πόστερ με καταζητούμενους από το FBI.

Federal Bureau of Investigation
Department of Florina

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ

- ΟΡΓΑΝΑ:**
1. Βάση Πειραμάτων
 2. Οπτικό Μικροσκόπιο
 3. Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο

ΜΟΝΟ ΕΞΟΥΣΙΟΔΟΤΗΜΕΝΟ ΠΡΟΣΩΠΙΚΟ

Εικόνα 28: Πινακίδα της πόρτας της αίθουσας

2.2.1.10. Καρτελάκια

Τα καρτελάκια χρησιμοποιήθηκαν μόνο στην τελική εφαρμογή και ήταν θήκες κάρτας που στερεώνονται στο στήθος με κλιπ. Οι θήκες είχαν μέσα τους μια κάρτα ταυτοποίησης επιστημόνων του FBI, το οποίο όπως και η διακόσμηση της αίθουσας στόχευε στην βελτίωση της αυθεντικότητας της εμπειρίας.



Εικόνα 29: Κάρτες ερευνητών

2.2.2. Αλληλεπίδραση μαθητών με το εκπαιδευτικό υλικό

Οι δυνατότητες που δινόταν στους μαθητές για να αλληλεπιδράσουν με το εκπαιδευτικό υλικό είναι οι ίδιες που τους δινόταν και στην πιλοτική εφαρμογή, οι οποίες αναλύθηκαν παραπάνω (ενότητα 2.2.1). Οι αλλαγές που πραγματοποιήθηκαν αφορούν τον τρόπο που οργανώθηκαν αυτές οι αλληλεπιδράσεις μέσα στην δραστηριότητα, όπως παρουσιάζεται στην επόμενη ενότητα (2.2.3).

2.2.3. Σχεδιασμός διδακτικής παρέμβασης

Όπως και στην πιλοτική εφαρμογή, το πλαίσιο της δραστηριότητας ήταν το μυστήριο του λωτού. Οι χαρακτήρες τις ιστορίας παρέμειναν οι ίδιοι με μια μικρή αλλαγή, στη θέση της γραμματέα τοποθετήθηκε άντρας γραμματέας και στη θέση του υποδιευθυντή γυναίκα υποδιευθύντρια για την αποφυγή της προώθησης σεξιστικών στερεοτύπων. Επίσης, κάποιες αλλαγές έγιναν και στην αφήγηση, η οποία έγινε πιο σύντομη, πιο απλή και χωρίς δύσκολους όρους, που οι μαθητές μπορεί να μην είχαν ξανασυναντήσει. Τέλος, στο βίντεο (**YouTube Link:** <https://www.youtube.com/watch?v=LoGzGx6ciie>) προστέθηκε ακουστική αφήγηση και επεκτάθηκε έτσι ώστε πριν την παρουσίαση των προϊόντων ναυτοτεχνολογίας με υδροφοβικές εφαρμογές να παρουσιάζεται σύντομα ο τρόπος εργασίας των επιστημόνων της εταιρίας και να εξηγείται ότι αυτά τα προϊόντα είναι εμπνευσμένα από τη φύση (αντιγράφουν την μικροσκοπική και ναυτοσκοπική δομή των υπερυδροφωβων φυτών).

Πίνακας 4: Σύγκριση φάσεων πιλοτικής – τελικής

Φάσεις Δραστηριότητας	Πιλοτική Εφαρμογή	Τελική Εφαρμογή
1 ^η) Εισαγωγή	✓	Βελτιώσεις (μικρή αλλαγή χαρακτήρων, βελτίωση αφήγησης και βίντεο)
2 ^η) Εξέταση φύλλων φυτών	✓	Βελτιώσεις (αλλαγή της σειράς, βελτίωση των ερωτήσεων του διαδραστικού σημειωματάριου)
3 ^η) Εξέταση δείγματος αίματος	✓	✓
4 ^η) Εξέταση δείγματος υφάσματος	✓	✓
5 ^η) Συμπλήρωση ερευνητικής αναφοράς	-	✓

Όσον αφορά τη μέθοδο σκαλωσιάς, τη μέθοδο διερεύνησης και το κύριο μέρος της δραστηριότητας αυτά παρέμειναν ως είχαν με κάποιες αλλαγές στην πρώτη φάση και την προσθήκη μιας ακόμη φάσης στο τέλος της δραστηριότητας.

Στην δεύτερη φάση άλλαξε η σειρά της δραστηριότητας έτσι ώστε οι μαθητές να μελετούν πρώτα το λάχανο και μετά το μαρούλι. Αυτό προήλθε από τα αποτελέσματα της πιλοτικής και είχε ως στόχο την εξοικείωση των μαθητών με τον όρο τραχιά επιφάνεια στον νανόκοσμο (καθώς το λάχανο έχει πολύ τραχιά) ώστε να έχουν μέτρο σύγκρισης και να μπορούν να απαντήσουν ευκολότερα για το μαρούλι στην συνέχεια.

Επίσης, πραγματοποιήθηκαν αλλαγές στο σημειωματάριο στο μέρος του που αντιστοιχεί στη δεύτερη φάση. Πιο συγκεκριμένα, βελτιώθηκαν κάποιες ερωτήσεις και αφαιρέθηκαν κάποιες άλλες, ώστε αυτή η φάση της δραστηριότητας να έχει περισσότερη συνοχή, να είναι πιο σύντομη και να είναι ευκολότερο για τους μαθητές να απαντήσουν στις ερωτήσεις και να βγάλουν συμπεράσματα. Αυτές οι αλλαγές παρουσιάζονται αναλυτικά στην εικόνα (32) στην επόμενη ενότητα.

Η τρίτη και η τέταρτη φάση της δραστηριότητας παρέμειναν ίδιες, ενώ μικρές αλλαγές πραγματοποιήθηκαν στις διατυπώσεις των αντίστοιχων ερωτήσεων του διαδραστικού σημειωματάριου. Μετά από αυτές προστέθηκε μία ακόμη μια φάση (5), στην οποία οι μαθητές συμπληρώνουν την ερευνητική αναφορά. Στην ερευνητική αναφορά τους ζητείται να επιλέξουν ποιον από τους χαρακτήρες θεωρούν πιο ύποπτο αιτιολογώντας με επιχειρήματα που βασίζονται στα ευρήματά και τα συμπεράσματά τους. Αυτό έρχεται σε αντίθεση με την πιλοτική εφαρμογή, στην οποία μόλις ανακάλυπταν ότι το ρούχο του φρουρού ήταν αδιάβροχο αυτός συλλαμβανόταν από τον ντετέκτιβ.

2.2.4. Υλοποίηση διδακτικής παρέμβασης

Η διδακτική παρέμβαση της τελικής εφαρμογής πραγματοποιήθηκε σε συνολικά οκτώ ομάδες, τέσσερις των τριών μαθητών και τέσσερις των τεσσάρων, οι οποίοι δεν είχαν διδαχθεί το αντικείμενο της Νανοεπιστήμης - Νανοτεχνολογίας στα πλαίσια της τυπικής εκπαίδευσης. Οι μαθητές αυτοί φοιτούσαν στην ΣΤ' τάξη δημοτικών σχολείων της ευρύτερης περιοχής Φλώρινας και επισκέφτηκαν την Παιδαγωγική Σχολή Φλώρινας στα πλαίσια του Φεστιβάλ Φυσικών Διεπαφών μέσω του οποίου συμμετείχαν και στην τελική εφαρμογή της παρούσας έρευνας.

Στην αίθουσα παρευρίσκονταν δύο ερευνητές, οι οποίοι είχαν διαφορετικούς ρόλους. Ο ένας ερευνητής ήταν υπεύθυνος για την ομαλή διεξαγωγή της παρέμβασης υπό το ρόλο του ντετέκτιβ της ιστορίας (σε αντίθεση με την πιλοτική εφαρμογή όπου είχε τον ρόλο του αφηγητή), ενώ ο δεύτερος ήταν υπεύθυνος για την ηχογράφηση των συνομιλιών της ομάδας κατά την διάρκεια της παρέμβασης και της βιντεοσκόπησης των μαθητών. Από τα δεδομένα αυτά εξήχθησαν οι παρακάτω πίνακες που αφορούν τον χρόνο ολοκλήρωσης της κάθε φάσης της παρέμβασης και την ενεργή συμμετοχή των μαθητών σε αυτή.

2.2.4.1. Χρόνος

Τα δεδομένα που αφορούν τον χρόνο που χρειάστηκαν οι μαθητές για να ολοκληρώσουν την κάθε φάση της παρέμβασης παρουσιάζονται στον πίνακα 5. Όπως προαναφέρθηκε στην τελική εφαρμογή οι μαθητές είχαν 45 λεπτά στη διάθεσή τους.

Πίνακας 5: Χρονική διάρκεια της κάθε φάσης της παρέμβασης ανά ομάδα

Ομάδα	Φάση 1 ^η	Φάση 2 ^η	Φάση 3 ^η	Φάση 4 ^η	Φάση 5 ^η	Σύνολο
Χρόνος (min)						
1	6'	16'	5'	4'	4'	35'
2	7'	14'	3'	4'	7'	35'
3	5'	17'	6'	3'	5'	36'
4	7'	18'	4'	4'	3'	36'
5	8'	19'	5'	6'	7'	45'
6	7'	20'	6'	5'	5'	43'
7	6'	19'	6'	8'	5'	44'
8	6'	19'	7'	5'	2'	39'
ΜΟ	6,50'	17,75'	5,25'	4,86'	4,75'	39,13'

Οι μαθητές χρειάστηκαν τον περισσότερο χρόνο για να ολοκληρώσουν την δεύτερη φάση της παρέμβασης, που αφορούσε τη διερεύνηση των ιδιοτήτων φύλλων φυτών, όπως φαίνεται και στον πίνακα (ΜΟ=17,75'). Στην συνέχεια, ακολουθούσε η εισαγωγή της δραστηριότητας (6,50') και τέλος τον λιγότερο χρόνο χρειάστηκαν για να ολοκληρώσουν τα τρία τελευταία μέρη, δηλαδή την εξέταση του αίματος για ιούς (Φάση 3), του υφάσματος για να διαπιστωθεί αν είναι υπερυδροφόβο (Φάση 4) και την συμπλήρωση της ερευνητικής αναφοράς (Φάση 5).

2.2.4.2. Συμμετοχή

Όπως και στην πιλοτική εφαρμογή, εκτός από τον χρόνο ολοκλήρωσης της κάθε φάσης μετρήθηκε και η ενεργός συμμετοχή των μαθητών. Αν κάποιος μαθητής μιλούσε ή αλληλοεπιδρούσε με το εκπαιδευτικό υλικό (π.χ. εισήγαγε κάποιο δείγμα στην υποδοχή ή κοίταζε στο μικροσκόπιο) σημειώνονταν ότι συμμετείχε ενεργά στην αντίστοιχη φάση που το έπραξε. Στον παρακάτω πίνακα (6), παρουσιάζεται ο αριθμός των μαθητών που συμμετείχε σε κάθε φάση της παρέμβασης.

Πίνακας 6: Αριθμός μαθητών που συμμετείχαν ανά φάση

Ομάδα	Αριθμός μαθητών ομάδας	Φάση 1 ^η	Φάση 2 ^η	Φάση 3 ^η	Φάση 4 ^η	Φάση 5 ^η	ΜΟ
1	3	3	3	3	3	3	3
2	3	3	3	3	3	3	3
3	3	3	3	3	3	3	3
4	3	3	3	3	3	3	3
5	4	4	4	4	4	4	4
6	4	4	4	4	4	4	4
7	4	4	4	4	4	4	4
8	4	4	4	4	4	4	4

Όπως φαίνεται και στον πίνακα (6), στην τελική εφαρμογή συμμετείχαν ενεργά όλοι μαθητές και των οκτώ ομάδων.

2.2.5. Διαφορές σε σχέση με την πιλοτική εφαρμογή

Οι διαφορές του εκπαιδευτικού υλικού της τελικής εφαρμογής σε σχέση με την πιλοτική εφαρμογή παρουσιάζονται στον πίνακα (7).

Πίνακας 7: Σύγκριση του εκπαιδευτικού υλικού της πιλοτικής και της τελικής εφαρμογής

	Πιλοτική Εφαρμογή	Τελική Εφαρμογή
Πύργος Διερεύνησης	✓	Βελτιωμένος (τεχνική βελτίωση της διεπαφής, προσθήκη φωτογραφιών οργάνων και αντικειμένων αναφοράς για τον κάθε κόσμο, προσθήκη χρωμάτων)
Δείγματα	✓	Βελτιωμένα (τεχνική βελτίωση των δειγμάτων ώστε να κάνουν καλύτερη επαφή με τις υποδοχές)
Διαδραστικό Σημειωματάριο	✓	Βελτιωμένο (ως προς χρηστικότητα, περιεχόμενο, εμφάνιση και οπτικός διαχωρισμός του κάθε κόσμου με χρώματα)
Διαφάνειες Αφήγησης	✓	Βελτιωμένες (βελτίωση της πλοκής, πιο σύντομοι διάλογοι, καλύτερα διατυπωμένες ερωτήσεις)
Βίντεο	✓	Βελτιωμένο (προσθήκη ακουστικής περιγραφής, προσθήκη σύντομης επεξήγησης του τι είναι εταιρία νανοτεχνολογίας)
Φάκελος/ Γράμμα	✓	Προσθήκη μιας ακόμη φωτογραφίας
Φορητός Υπολογιστής	✓	✓
Πλακέτα MaKey MaKey	✓	✓
Δεύτερος ΗΥ	✓	✓
Ηχεία	✓	✓
Υλικά Πειραμάτων	✓	✓
Σημειωματάριο Ερευνητή	-	✓
Αναφορά Ερευνητή	-	✓
Διακόσμηση Αίθουσας	-	✓
Καρτελάκια/ Ταυτότητες	-	✓

Εικόνα 30: Πύργος διερεύνησης



Εικόνα 30α: Πιλοτική εφαρμογή

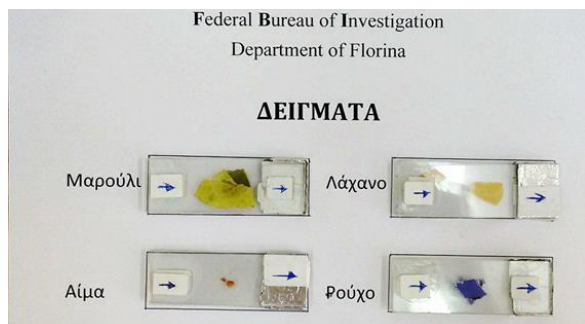


Εικόνα 30β: Τελική εφαρμογή

Εικόνα 31: Δείγματα

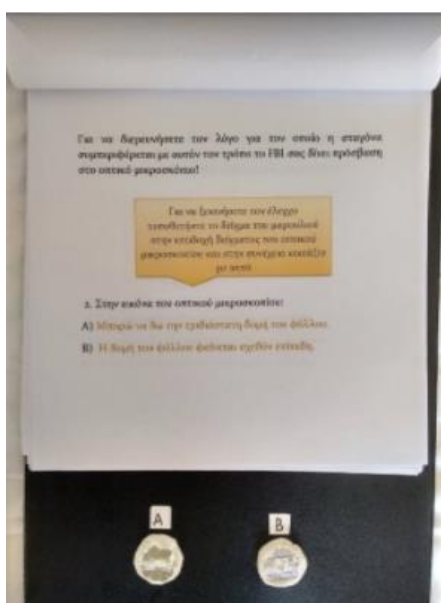


Εικόνα 31α: Πιλοτική εφαρμογή

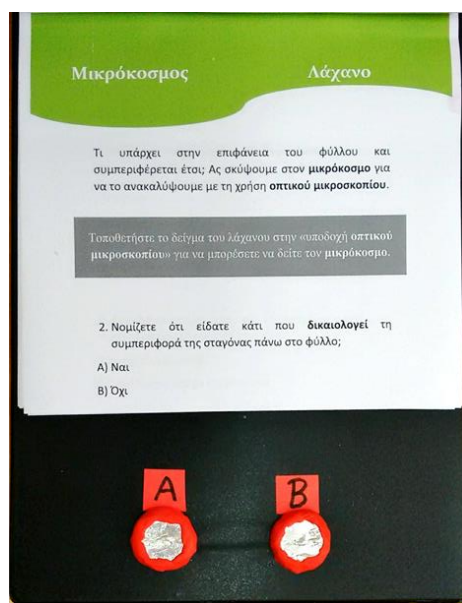


Εικόνα 31β: Τελική εφαρμογή

Εικόνα 32: Διαδραστικό σημειωματάριο



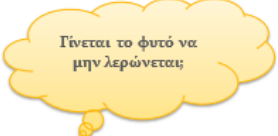
Εικόνα 32α: Πιλοτική εφαρμογή



Εικόνα 32β: Τελική εφαρμογή

Εικόνα 33: Περιεχόμενο διαδραστικού σημειωματάριου

1. Διερεύνηση κατάθεσης της Γραμματέως



Οδηγίες

Για την διερεύνηση του ερωτήματος αυτού, αρχικά, τοποθετήστε το φύλλο μαρουλιού στην «βάση πειράματος» και ρίξτε πάνω του τις σταγόνες με το μελάνι.

1. Πως συμπεριφέρεται η σταγόνα;

A) Παίρνει μορφή μπίλιας, κυλά γρήγορα και δεν λερώνει το φύλλο

B) Απλώνεται στο φύλλο, κυλά αργά και το λερώνει

Εικόνα 33α: Σελίδα 1, Πιλοτική εφαρμογή

Μακρόκοσμος Λάχανο

Θα ξεκινήσουμε μελετώντας το λάχανο στον **μακρόκοσμο**, τον κόσμο που βλέπουμε με τα **μάτια** μας.

Τοποθετήστε το φύλλο λάχανου στην «βάση πειράματος» στον **μακρόκοσμο** και ρίξτε πάνω του σταγόνες μελάνι.

1. Πως συμπεριφέρεται η σταγόνα;

A) Παίρνει μορφή μπίλιας και δεν λερώνει το φύλλο

B) Απλώνεται στο φύλλο και το λερώνει

Πατήστε το κουμπί A ή B ανάλογα με την απάντησή σας και ταυτόχρονα ακουμπήστε την χειροπέδα.

Εικόνα 33β: Σελίδα 1, Τελική εφαρμογή

Για να διερευνήσετε τον λόγο για τον οποίο η σταγόνα συμπεριφέρεται με αυτόν τον τρόπο το FBI σας δίνει πρόσβαση στο οπτικό μικροσκόπιο!

Για να ξεκινήσετε τον έλεγχο τοποθετήστε το δείγμα του μαρουλιού στην υποδοχή δείγματος του οπτικού μικροσκοπίου και στην συνέχεια κοιτάξτε με αυτό

2. Στην εικόνα του οπτικού μικροσκοπίου:

A) Μπορώ να δω την τριδιάστατη δομή του φύλλου.

B) Η δομή του φύλλου φαίνεται σχεδόν επίπεδη.

Εικόνα 33γ: Σελίδα 2, Πιλοτική εφαρμογή

Μικρόκοσμος Λάχανο

Τι υπάρχει στην επιφάνεια του φύλλου και συμπεριφέρεται έτσι; Ας σκύψουμε στον **μικρόκοσμο** για να το ανακαλύψουμε με τη χρήση **οπτικού μικροσκοπίου**.

Τοποθετήστε το δείγμα του λάχανου στην «υποδοχή οπτικού μικροσκοπίου» για να μπορέσετε να δείτε τον **μικρόκοσμο**.

2. Νομίζετε ότι είδατε κάτι που **δικαιολογεί** τη συμπεριφορά της σταγόνας πάνω στο φύλλο;

A) Ναι

B) Όχι

Εικόνα 33δ: Σελίδα 2, Τελική εφαρμογή

Επομένως, με το οπτικό μικροσκόπιο δεν μπορούμε να δούμε καθαρά την τριδιάστατη δομή του φύλλου. Για τον λόγο αυτόν θα σας δοθεί πρόσβαση στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο.

Για να ξεκινήσετε τον έλεγχο τοποθετήστε το δείγμα του μαρουλιού στην υποδοχή δείγματος του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου και στην συνέχεια κοιτάξτε με αυτό

3. Στην εικόνα του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου:

A) Μπορώ να δω την τριδιάστατη δομή του φύλλου.

B) Η δομή του φύλλου φαίνεται σχεδόν επίπεδη.

Εικόνα 33ε: Σελίδα 3, Πιλοτική εφαρμογή

Νανόκοσμος Λάχανο

Αφού στον μικρόκοσμο δεν βγάλαμε συμέρασμα, ας σκύψουμε ακόμη πιο χαμηλά - στον **νανόκοσμο** - για να δούμε το φύλλο σε μεγαλύτερη μεγέθυνση με το **ηλεκτρονικό μικροσκόπιο**.

Τοποθετήστε το δείγμα του λάχανου στην «υποδοχή ηλεκτρονικού μικροσκοπίου» για να μπορέσετε να δείτε τον **νανόκοσμο**.

3. Η **επιφάνεια** του φύλλου του λάχανου, όπως φαίνεται στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο είναι:

A) Χωρίς εξογκώματα

B) Πολύ τραχιά και με εξογκώματα

Εικόνα 33στ: Σελίδα 3, Τελική εφαρμογή

2.2.6. Ερευνητικά ερωτήματα

Σκοπός της τελικής μελέτης ήταν να αξιολογηθεί το εκπαιδευτικό υλικό και η παρέμβαση, ως προς τα μαθησιακά αποτελέσματά τους αλλά και τις απόψεις που δημιούργησαν στους μαθητές. Για την ερμηνεία των μαθησιακών αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε παρόμοια μεθοδολογία με συναφή μεταπτυχιακή εργασία (Πέικος, 2016). Στην προαναφερθείσα έρευνα χρησιμοποιήθηκαν οι Μεγάλες Ιδέες της N-ET (Stevens et al., 2009; Πέικος κ.α., 2015α), το FS2 πλαίσιο (Magana et al., 2012) και έρευνες για τις ιδέες των μαθητών για τη N-ET [ενότητα 1.1.5]. Ο γενικός σκοπός της έρευνας μπορεί να μετατραπεί σε δύο ερευνητικά ερωτήματα ως εξής:

2.2.6.1. E.E.T.1: Μεταβλήθηκαν οι αντιλήψεις των μαθητών σχετικά με την Νανοεπιστήμη – Νανοτεχνολογία μετά την αλληλεπίδρασή τους με το εκπαιδευτικό υλικό;

2.2.6.2. E.E.T.2: Ποιες ήταν οι απόψεις των μαθητών για το εκπαιδευτικό υλικό μετά την αλληλεπίδραση μαζί του;

Τα ερευνητικά ερωτήματα της πιλοτικής εφαρμογής [E.E.T.] επιμερίστηκαν στα ακόλουθα υποερωτήματα:

E.E.T.1.1: Μεταβλήθηκε η νοηματοδότηση που απέδιδαν στον όρο «Νανοτεχνολογία»;

E.E.T.1.2: Μεταβλήθηκαν οι ιδέες των μαθητών για το μικρότερο αντικείμενο που γνώριζαν;

E.E.T.1.3: Μεταβλήθηκε η γνώση των μαθητών για το όργανο παρατήρησης με το οποίο πίστευαν πως μπορούσαν να παρατηρήσουν το μικρότερο αντικείμενο που γνώριζαν;

E.E.T.1.4: Μεταβλήθηκε η συνέπεια των μαθητών στην επιλογή οργάνου παρατήρησης για το μικρότερο αντικείμενο που γνώριζαν;

E.E.T.1.5: Μεταβλήθηκε η δεξιότητα των μαθητών στην ταξινόμηση αντικειμένων διαφορετικών μεγεθών με κριτήριο το όργανο παρατήρησης;

E.E.T.1.6: Μεταβλήθηκε η δεξιότητα των μαθητών στην σειροθέτηση αντικειμένων διαφορετικών μεγεθών;

E.E.T.1.7: Μεταβλήθηκε η δεξιότητα των μαθητών στην περιγραφή του φαινομένου του λωτού;

E.E.T.1.8: Πόσο ικανοί ήταν οι μαθητές στην αιτιολόγηση;

E.E.T.2.1: Πόσο ενδιαφέρουσα βρήκαν οι μαθητές την παρέμβαση;

E.E.T.2.2: Πόσο ενδιαφέροντα βρήκαν οι μαθητές τα επιμέρους στοιχεία της παρέμβασης;

E.E.T.2.3: Πως αξιολόγησαν την παρέμβαση σε σχέση με τον παραδοσιακό τρόπο μάθησης;

E.E.T.2.4: Θα ήθελαν οι μαθητές να τους προσφέρονται ανάλογες παρεμβάσεις στα πλαίσια της τυπικής τους εκπαίδευσης;

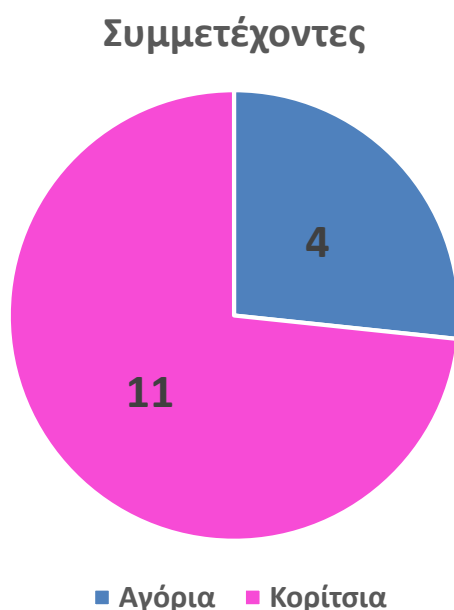
E.E.T.2.5: Θα ήθελαν οι μαθητές να διαφοροποιηθεί κάποιο στοιχείο της παρέμβασης;

3. Μέθοδος

3.1. Πιλοτική Εφαρμογή

3.1.1. Συμμετέχοντες

Οι μαθητές που συμμετείχαν ήταν δεκαπέντε (15), έντεκα (11) εκ των οποίων ήταν κορίτσια και τέσσερεις (4) αγόρια. Οι συμμετέχοντες δεν είχαν διδαχθεί το αντικείμενο της Νανοεπιστήμης - Νανοτεχνολογίας στα πλαίσια της τυπικής εκπαίδευσης. Φοιτούσαν στην ΣΤ' τάξη δημοτικού σχολείου της περιοχής Αλμωπίας και επισκέφτηκαν την Παιδαγωγική Σχολή Φλώρινας λόγω εκπαιδευτικής εκδρομής, στα πλαίσια της οποίας συμμετείχαν στην πιλοτική εφαρμογή της παρούσας έρευνας.



Γράφημα 1: Το φύλλο των συμμετεχόντων της πιλοτικής εφαρμογής

3.1.2. Μέσα συλλογής δεδομένων

Τα δεδομένα της πιλοτικής έρευνας συλλέχθηκαν μέσω γραπτού ερωτηματολογίου, το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την αποτίμηση των μαθησιακών αποτελεσμάτων των μαθητών του δείγματος μετά την παρέμβαση.

Το ερωτηματολόγιο άντλησε το περιεχόμενό του από τα πρώτα έξι έργα του ερωτηματολογίου πρότερης εργασίας (Πέικος, 2016), το οποίο με τη σειρά του βασίστηκε στη διεθνή βιβλιογραφία της διδακτικής της N-ET (Castellini et al., 2007· Delgado, 2009· Knobel, Murriello, & Contier, 2006· Magana, Brophy, & Bryan, 2012· Stevens et al., 2009· Tretter et al., 2006a· Tretter et al., 2006b· Waldron, Spencer, & Batt, 2006).

Στο προαναφερθέν ερωτηματολόγιο πραγματοποιήθηκαν ορισμένες τροποποιήσεις, όπως για παράδειγμα η αλλαγή ενός αντικειμένου [μυρμήγκι αντί για κόκκο άμμου, καθώς έχει μικρότερο εύρος μεγεθών, που ανήκουν αποκλειστικά στον μακρόκοσμο], η εισαγωγή της φράσης «μπορείς να χρησιμοποιήσεις όσα κουτιά θέλεις» και η προσθήκη ονόματος του κάθε κουτιού στο έργο 4. Στον πίνακα 8, παρουσιάζεται ο σκοπός των έργων του ερωτηματολογίου σε σύνδεση με τις μεγάλες ιδέες της νανοτεχνολογίας με τις οποίες σχετίζονται.

Πίνακας 8: Περιεχόμενο και σκοπός των έργων του ερωτηματολογίου της N-ET

Έργα	Περιεχόμενο – Μεγάλη Ιδέα	Σκοπός
1	Νοηματοδότηση της N-ET	Να καταγραφούν οι αντιλήψεις των μαθητών σε σχέση με τον όρο «νανοτεχνολογία»
2	Μέγεθος	Να καταγραφούν οι ιδέες των μαθητών για το μικρότερο αντικείμενο
3	Εργαλεία και Όργανα	Να καταγραφούν τα όργανα τα οποία οι μαθητές γνωρίζουν για την παρατήρηση μη ορατών αντικειμένων.
4	Μέγεθος και Κλίμακα, Εργαλεία και Όργανα	Να καταγραφεί η δεξιότητα ταξινόμησης αντικειμένων διαφορετικών μεγεθών σε κόσμους με βάση το όργανο παρατήρησης τους.
5	Μέγεθος και Κλίμακα	Να καταγραφεί η δεξιότητα σειροθέτησης αντικειμένων διαφορετικών μεγεθών.
6	Μέγεθος και Κλίμακα, Ιδιότητες εξαρτώμενες από το μέγεθος	Να καταγραφούν οι ιδέες των μαθητών για το φαινόμενο της υδροφοβικότητας.

Υποσημείωση: Ο πίνακας (8) έχει εμπνευστεί από πρότερη έρευνα (Πέικος, 2016, Σελ. 144)

Όπως φαίνεται και στον πίνακα, το ερωτηματολόγιο περιλάμβανε 6 έργα, με τα οποία καταγράφηκαν οι ιδέες των μαθητών σε σχέση με την έννοια της N-ET και των επιμέρους στοιχείων της [βλέπε Άξονα N-ET του Ερωτηματολογίου στο Παράρτημα].

Το πρώτο έργο αφορούσε το νόημα που αποδίδουν οι μαθητές στον όρο «νανοτεχνολογία». Το δεύτερο ερευνούσε τις ιδέες των μαθητών για το μικρότερο αντικείμενο που γνωρίζουν και το τρίτο τα όργανα με τα οποία οι μαθητές πιστεύουν ότι μπορεί να παρατηρηθούν αυτά τα αντικείμενα. Το τέταρτο έργο εξέταζε την δεξιότητα των μαθητών να ταξινομούν αντικείμενα διαφορετικών μεγεθών σε κόσμους [μακρόκοσμος, μικρόκοσμος, νανόκοσμος] με βάση το όργανο παρατήρησης [μάτι, οπτικό μικροσκόπιο, ηλεκτρονικό μικροσκόπιο] και το πέμπτο την δεξιότητα να σειροθετούν τέτοια αντικείμενα. Τέλος, το έκτο έργο μελετούσε τις ιδέες των μαθητών σχετικά με το φαινόμενο της υδροφοβικότητας.

3.1.3. Διαδικασία συλλογής δεδομένων

Οι συμμετέχοντες χωρίστηκαν σε τρεις ομάδες των πέντε ατόμων. Οι ομάδες εισάγονταν στην αίθουσα με τη σειρά έχοντας στην διάθεσή τους είκοσι λεπτά (20΄) για να ολοκληρώσουν την παρέμβαση. Τρεις ερευνητές παρατηρούσαν την κάθε ομάδα καθώς αλληλοεπιδρούσε με το εκπαιδευτικό υλικό. Ένας από τους ερευνητές ήταν υπεύθυνος για την αφήγηση της ιστορίας και την ομαλή διεξαγωγή της παρέμβασης. Οι άλλοι δύο ερευνητές ήταν υπεύθυνοι για τη συλλογή των δεδομένων. Όσον αφορά το ερωτηματολόγιο της N-ET, αυτό συμπληρώθηκε από τους μαθητές περίπου ένα μήνα μετά την πιλοτική εφαρμογή.

3.1.4. Διαδικασία ανάλυσης δεδομένων

Τα δεδομένα του ερωτηματολογίου, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την αποτίμηση των μαθησιακών αποτελεσμάτων, υπέστησαν δύο διαφορετικές αναλύσεις (Elo & Kyngäs, 2008), ονομαστικά ποιοτική (Πείκος, 2016), και ποσοτική (Magana et al., 2012). Εκτός, από την χρήση αυτών των αναλύσεων [top-down], όπου κρίθηκε αναγκαίο εφαρμόστηκε και ανάλυση από κάτω προς τα πάνω [bottom - up], λόγω της οποίας τροποποιήθηκε ο τρόπος ανάλυσης κάποιων έργων (Sabatier, 1986).

Η ποιοτική ανάλυση, που αφορούσε όλα τα δεδομένα του ερωτηματολογίου και η ποσοτική ανάλυση, που αφορούσε τις κατευθύνσεις ανάλυσης 1.5 & 1.6 πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση του προγράμματος Microsoft Excel. Οι κατευθύνσεις ανάλυσης αυτές [1.5 & 1.6] ενδεικνύονταν και για τα δύο είδη ανάλυσης, λόγω του τύπου των δεδομένων [ταξινόμηση και σειροθέτηση] αλλά και επειδή το κάθε είδος ανάλυσης προσέφερε μια διαφορετική οπτική, οι οποίες αλληλοσυμπληρώνονταν. Το γεγονός αυτό ήταν σύμφωνο με τη φιλοσοφία του τριγωνισμού, η οποία αναλύθηκε στην επόμενη ενότητα [3.1.5 Εγκυρότητα και αξιοπιστία]. Τελικό στάδιο ήταν η σύγκριση των επεξεργασμένων δεδομένων για την εξαγωγή συμπερασμάτων, που πραγματοποιήθηκε με το στατιστικό πακέτο SPSS [23^η έκδοση].

3.1.4.1. Ποιοτική ανάλυση δεδομένων ερωτηματολογίου N-ET

Υιοθετήθηκε η ποιοτική ανάλυση δεδομένων του Πείκου (2016), η οποία ακολούθησε την μεθοδολογία της θεμελιωμένης θεωρίας (Strauss & Corbin, 1994). Για την ανάλυση των δεδομένων δημιουργήθηκαν επίπεδα στα οποία μπορούσαν να ενταχθούν οι απαντήσεις των μαθητών στα έργα του ερωτηματολογίου. Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε συνολικά σε επτά κατευθύνσεις ανάλυσης [Κ.Α.], κάθε μία από τις οποίες περιείχε 4 επίπεδα απαντήσεων, το επίπεδο 3 [ΕΠ3], το επίπεδο 2 [ΕΠ2], το επίπεδο 1 [ΕΠ1] και το επίπεδο 0 [ΕΠ0]. Η Κ.Α.1.5 & η Κ.Α.1.6 περιλάμβαναν και την ποσοτική ανάλυση των δεδομένων [βλέπε ενότητα 3.1.4.2].

Το ΕΠ3 ήταν το ανώτερο επίπεδο, το οποίο αντιπροσωπεύει στις περισσότερες περιπτώσεις την επιστημονική άποψη, το ΕΠ2 και το ΕΠ1 ήταν τα ενδιάμεσα επίπεδα και τέλος το ΕΠ0 ήταν το κατώτερο, το οποίο περιλάμβανε την απουσία απάντησης και τις ταυτολογίες. Οι κατευθύνσεις ανάλυσης σχετίστηκαν με τα έργα του ερωτηματολογίου τις απαντήσεις του οποίου επεξεργάστηκαν. Στις περισσότερες περιπτώσεις οι κατευθύνσεις ανάλυσης αντιστοιχούν μία προς μία με τα έργα του ερωτηματολογίου, με εξαίρεση την Κ.Α.1.4 στην οποία κατηγοριοποιήθηκαν οι απαντήσεις των μαθητών στο έργο 2 σε συνδυασμό με το έργο 3, όπως φαίνεται και στον πίνακα [9].

Πίνακας 9: Αντιστοίχιση των έργων του ερωτηματολογίου της N-ET με τις κατευθύνσεις ανάλυσης

Έργα	Κατευθύνσεις Ανάλυσης	
Έργο 1	Κ.Α.1.1	
Έργο 2	Κ.Α.1.2	Κ.Α.1.4
Έργο 3	Κ.Α.1.3	
Έργο 4	Κ.Α.1.5	
Έργο 5	Κ.Α.1.6	
Έργο 6	Κ.Α.1.7	

K.A.1.1: Νοηματοδότηση της νανοτεχνολογίας

Τα δεδομένα της Κ.Α.1.1 προήλθαν από το πρώτο έργο του ερωτηματολογίου. Τα δεδομένα αυτά αφορούσαν το νόημα που προσέδωσαν οι μαθητές στην έννοια της νανοτεχνολογίας και κατατάχθηκαν σε 4 επίπεδα απαντήσεων (ΕΠ3, ΕΠ2, ΕΠ1, ΕΠ0).

Στο ΕΠ3 εντάχθηκαν απαντήσεις που περιείχαν την επιστημονική άποψη. Πιο συγκεκριμένα στις απαντήσεις αυτές εντοπίστηκαν μονάδες ανάλυσης, οι οποίες συνδέθηκαν με σαφήνεια με τις Μεγάλες Ιδέες «μέγεθος» ή/και «εργαλεία και όργανα». Ένα παράδειγμα τέτοιας απάντησης ήταν η εξής: *«Μαθητής 7, Πιλοτική Εφαρμογή (Μ7, ΠΕ): Η νανοτεχνολογία είναι μια επιστήμη που ασχολείται με τα πολύ, πολύ μικρά πράγματα (νανόκοσμος)».*

Το ΕΠ2 αποτελούσε το επόμενο επίπεδο και περιλάμβανε μερικώς επιστημονικές απαντήσεις. Στο επίπεδο αυτό κατατάχθηκαν απαντήσεις στις οποίες ανιχνεύθηκαν μονάδες ανάλυσης που συνδεόντουσαν με τις Μεγάλες Ιδέες στόχο (μέγεθος & εργαλεία και όργανα) αλλά η σύνδεση αυτή δεν ήταν σαφής. Π.χ. *«Μ3, ΠΕ: Η νανοτεχνολογία μια επιστήμη που ασχολείται με τα πολύ μικρά πράγματα».*

Το ΕΠ1 αντιπροσώπευε την κατηγορία «μακριά από την επιστημονική άποψη». Στο ΕΠ1 εντάχθηκαν απαντήσεις α) στις οποίες δεν ανιχνεύθηκαν μονάδες ανάλυσης που να συνδέονται με καμία από τις Μεγάλες Ιδέες ή β) ανιχνεύθηκαν μονάδες ανάλυσης σχετικές με μια ανθρωποκεντρική προσέγγιση της νανοτεχνολογίας. Π.χ. *«Μ22, Τελική Εφαρμογή - Πριν (ΤΕ-Π): είναι η τεχνολογία για τους νάνους».*

Τέλος, στο ΕΠ0 εντάχθηκαν απαντήσεις οι οποίες δήλωναν άγνοια, περιείχαν ταυτολογίες ή οι μαθητές δεν έδωσαν καμία απάντηση, π.χ. *«Μ18, ΤΕ-Π: δεν γνωρίζω».*

K.A.1.2: Ιδέες των μαθητών για το μικρότερο αντικείμενο

Τα δεδομένα της κατεύθυνσης ανάλυσης 1.2 αφορούσαν το μικρότερο αντικείμενο που γνωρίζαν οι μαθητές (Έργο 2). Τα δεδομένα αυτά κατατάχθηκαν σε 4 επίπεδα απαντήσεων (ΕΠ3, ΕΠ2, ΕΠ1, ΕΠ0). Στο ΕΠ3 κατατάχθηκαν απαντήσεις των μαθητών στις οποίες έγινε αναφορά σε αντικείμενα που ανήκουν στον νανόκοσμο και σε μικρότερα αντικείμενα (ατομική – υποατομική κλίμακα). Για παράδειγμα, στο επίπεδο αυτό ανήκαν οι εξής απαντήσεις: *«Μ10, Τελική Εφαρμογή – Μετά (ΤΕ-Μ): ιός», «Μ4, ΤΕ-Π: DNA».* Το ΕΠ2 περιλάμβανε απαντήσεις που αφορούσαν αντικείμενα του μικρόκοσμου, π.χ. *«Μ3, ΠΕ: κύτταρο», «Μ19, ΤΕ-Μ: ερυθρό αιμοσφαίριο».* Στο ΕΠ1 ταξινομήθηκαν οι απαντήσεις των μαθητών που ανέφεραν αντικείμενα του μακρόκοσμου, π.χ. *«Μ18: ΤΕ-Π: ψίχουλο ψωμιού».* Τέλος, στο ΕΠ0 περιλήφθηκαν ασαφείς απαντήσεις ή καμία απάντηση, π.χ. *«Μ1, ΠΕ: μικιτες»*

K.A.1.3: Ιδέες των μαθητών για τα όργανα παρατήρησης, με τα οποία μπορούν να παρατηρήσουν το μικρότερο αντικείμενο που γνωρίζουν

Η κατεύθυνση ανάλυσης 1.3 αφορούσε τα όργανα παρατήρησης που γνωρίζαν οι μαθητές, όπως απάντησαν στο τρίτο έργο του ερωτηματολογίου. Όπως και στις άλλες κατευθύνσεις ανάλυσης τα δεδομένα κατατάχθηκαν σε 4 επίπεδα απαντήσεων (ΕΠ3, ΕΠ2, ΕΠ1, ΕΠ0).

Στο ΕΠ3 εντάχθηκαν οι απαντήσεις των μαθητών που ανέφεραν το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (ηλεκτροσκόπιο, ισχυρά μικροσκόπια), στο ΕΠ2 το (οπτικό) μικροσκόπιο, στο ΕΠ1 το μάτι ή τον μεγεθυντικό φακό και στο ΕΠ0 καταχωρήθηκαν οι κενές απαντήσεις και οι δηλώσεις άγνοιας. Στις περιπτώσεις που οι μαθητές ανέφεραν δύο όργανα παρατήρησης, οι απαντήσεις τους ταξινομήθηκαν με βάση το ισχυρότερο από τα δύο.

Κ.Α.1.4: Συνέπεια μεταξύ οργάνου παρατήρησης και μικρότερου αντικειμένου

Στην κατεύθυνση ανάλυσης 1.4 έγινε προσπάθεια συσχέτισης των αντικειμένων που οι μαθητές θεωρούσαν τα μικρότερα με τα όργανα παρατήρησης με τα οποία υποστήριζαν ότι μπορούν να παρατηρηθούν αυτά τα αντικείμενα. Οπότε για αυτήν την κατεύθυνση ανάλυσης χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα του δεύτερου και του τρίτου έργου του ερωτηματολογίου. Στην συγκεκριμένη κατεύθυνση ανάλυσης εξετάστηκε εάν το αντικείμενο που ανέφεραν οι μαθητές μπορεί να παρατηρηθεί με το αντίστοιχο όργανο παρατήρησης. Αυτό αποτελεί διαφοροποίηση από την αντίστοιχη κατεύθυνση ανάλυσης της έρευνας του Πείκου (2016), όπου εξεταζόταν αν ο κόσμος στον οποίο ανήκε το αντικείμενο που ανέφερε ο μαθητής αντιστοιχούσε με τον κόσμο που αντιπροσώπευε το όργανο παρατήρησης που επίσης ανέφερε. Για την Κ.Α.1.4 αναδείχθηκαν 4 επίπεδα (ΕΠ3, ΕΠ2, ΕΠ1, ΕΠ0).

Το ΕΠ3 περιλάμβανε τις απαντήσεις των μαθητών που ανέφεραν ένα αντικείμενο του νανόκοσμου και ένα όργανο παρατήρησης με το οποίο αυτό μπορεί να παρατηρηθεί, δηλαδή το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο. Στο ΕΠ2 κατατάχθηκαν οι απαντήσεις των μαθητών στις οποίες αναφερόταν ένα αντικείμενο του μικρόκοσμου και ένα όργανο με το οποίο ήταν δυνατό να παρατηρηθεί, δηλαδή το οπτικό μικροσκόπιο ή το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο. Το ΕΠ1 συγκέντρωνε τις απαντήσεις των μαθητών που περιλάμβαναν ένα αντικείμενο του μακρόκοσμου και ένα όργανο με το οποίο μπορεί να παρατηρηθεί (γυμνό μάτι, μεγεθυντικός φακός, οπτικό μικροσκόπιο ή ηλεκτρονικό μικροσκόπιο). Στο ΕΠ0 ταξινομήθηκαν οι απαντήσεις στις οποίες οι μαθητές ανέφεραν ένα όργανο παρατήρησης με το οποίο δεν ήταν δυνατό να παρατηρηθεί το αντικείμενο που είχαν επιλέξει. Π.χ. «M5, TE-Π: DNA-μικροσκόπιο» καθώς το DNA δεν μπορεί να παρατηρηθεί με απλό μικροσκόπιο. Επιπλέον, στο ΕΠ0 συμπεριλήφθηκαν όλες οι απαντήσεις που είχαν καταταχθεί στην ΕΠ0 της Κ.Α.2. ή της Κ.Α.3., καθώς δεν είχε νόημα να αναλυθούν (ο μαθητής δεν είχε αναφέρει είτε αντικείμενο είτε όργανο παρατήρησης).

Κ.Α.1.5: Ταξινόμηση με κριτήριο το όργανο παρατήρησης

Η κατεύθυνση ανάλυσης 1.5 αφορούσε την ταξινόμηση αντικειμένων διαφορετικών μεγεθών με κριτήριο το όργανο παρατήρησης. Η σωστή ταξινόμηση των αντικειμένων χρησιμοποιούσε τρία κουτιά ως εξής: «κουτί 1: άνθρωπος, μπάλα, μυρμήγκι, κουτί 2: ερυθρό αιμοσφαίριο, κύτταρο κρεμμυδιού, πυρήνας κυττάρου, κουτί 3: ιός, DNA» και τα σωστά όργανα παρατήρησης για το κάθε κουτί ήταν τα εξής: «κουτί 1: γυμνό μάτι ή μεγεθυντικός φακός, κουτί 2: μικροσκόπιο, κουτί 3: ηλεκτρονικό μικροσκόπιο».

Τα δεδομένα που αναλύθηκαν προέρχονται από το έργο 4 και η ποιοτική τους ανάλυση περιλάμβανε την ταξινόμησή τους σε τέσσερα επίπεδα (ΕΠ3, ΕΠ2, ΕΠ1, ΕΠ0). Προϋπόθεση για να ταξινομηθούν οι απαντήσεις των μαθητών στα 3 ανώτερα επίπεδα ήταν να έχουν αναφέρει τα σωστά όργανα παρατήρησης για κάθε κουτί.

Στο ΕΠ3 κατατάχθηκαν οι απαντήσεις στις οποίες οι μαθητές είχαν ταξινομήσει τουλάχιστον 6 από τα 8 αντικείμενα στο σωστό κουτί και είχαν επιλέξει τα σωστά όργανα παρατήρησης για το κάθε κουτί. Το ΕΠ2 περιλαμβάνει τις απαντήσεις που περιλάμβαναν 3 έως 5 αντικείμενα στο σωστό κουτί και ταυτόχρονα όλα τα όργανα παρατήρησης ήταν σωστά. Στο ΕΠ1 εντάχθηκαν οι απαντήσεις που περιείχαν μέχρι δύο αντικείμενα στην σωστή τους θέση και τα όργανα παρατήρησης ήταν σωστά.

Τέλος, στο ΕΠ0 περιλήφθηκαν οι απαντήσεις που είχαν έστω ένα λάθος στα όργανα παρατήρησης ανεξάρτητα από το πώς τα πήγαν οι μαθητές στην ταξινόμηση αυτή καθαυτή. Επιπλέον, στο ΕΠ0 περιλήφθηκαν και οι απαντήσεις που χρησιμοποιούσαν διαφορετικό αριθμό κουτιών από τρία που ήταν το επιστημονικά ορθότερο. Στην αξιολόγηση της ταξινόμησης χωρίς να λαμβάνεται ως κριτήριο το όργανο παρατήρησης στοχεύει η ποσοτική ανάλυση της Κ.Α.1.5, που παρουσιάζεται στην επόμενη ενότητα (2.2.4.2).

Κ.Α.1.6: Σειροθέτηση

Τα δεδομένα της Κ.Α.1.6 αφορούν την σειροθέτηση αντικειμένων διαφορετικών μεγεθών από το μεγαλύτερο προς το μικρότερο (μπάλα ποδοσφαίρου > μυρμήγκι > κύτταρο κρεμμυδιού > πυρήνας κυττάρου > ιός > DNA) (Έργο 5). Η ποιοτική ανάλυση αυτών των δεδομένων περιλάμβανε την κατάταξή τους σε 4 επίπεδα απαντήσεων (ΕΠ3, ΕΠ2, ΕΠ1, ΕΠ0).

Στο ΕΠ3 καταχωρήθηκαν οι απαντήσεις των μαθητών που είχαν απαντήσει σωστά για τα αντικείμενα του μακρόκοσμου, του μικρόκοσμου και του νανόκοσμου, δηλαδή η απάντησή τους ταυτιζόταν απόλυτα με την σωστή. Στο ΕΠ2 εντάχθηκαν οι απαντήσεις που περιλάμβαναν σωστή σειροθέτηση των αντικειμένων του μακρόκοσμου και του μικρόκοσμου, δηλαδή των τεσσάρων πρώτων αντικειμένων. Στο ΕΠ1 περιλήφθηκαν οι απαντήσεις σωστής σειροθέτησης των αντικειμένων του μακρόκοσμου, δηλαδή μόνο των δύο πρώτων αντικειμένων. Τέλος, στο ΕΠ0 κατατάχθηκαν οι απαντήσεις που περιλάμβαναν τουλάχιστον ένα λάθος στην σειροθέτηση των αντικειμένων του μακρόκοσμου.

Κ.Α.1.7: Το φαινόμενο της υδροφοβικότητας

Η κατεύθυνση ανάλυσης 1.7 αφορούσε το φαινόμενο της υδροφοβικότητας. Τα δεδομένα που αναλύθηκαν προέρχονται από το έργο 6 και κατατάχθηκαν σε τέσσερα επίπεδα (ΕΠ3, ΕΠ2, ΕΠ1, ΕΠ0). Στο ΕΠ3 καταχωρήθηκαν οι απαντήσεις των μαθητών που συμφωνούσαν με την επιστημονική άποψη. Πιο συγκεκριμένα, αυτές οι απαντήσεις περιλάμβαναν την εξήγηση του φαινομένου με παραπομπές στην δομή της επιφάνειας του λάχανου στον νανόκοσμο ή/και την λειτουργία της επιφάνειας αυτής, όπως τραχιά επιφάνεια στον νανόκοσμο, νανοεξογκώματα (βουναλάκια, τραχιά επιφάνεια), υδροφοβικότητα. Π.χ. «M4, TE-M: *Το φύλλο του λάχανου είναι υδροφοβικό αυτό γίνεται επειδή έχει κάποια εξογκώματα που ονομάζονται νανοπροεξοχές*».

Το ΕΠ2 εξέφραζε την μερικώς επιστημονική άποψη. Σε αυτό το επίπεδο ταξινομήθηκαν οι απαντήσεις στις οποίες περιγραφόταν το εν λόγω φαινόμενο, χωρίς να αναφέρεται ο καθοριστικός ρόλος της νανοκλίμακας στο φαινόμενο αυτό. Επιπλέον, σε αυτό το επίπεδο εντάχθηκαν οι απαντήσεις που συνέκριναν τις ιδιότητες της επιφάνειας του λάχανου με άλλες επιφάνειες που είχαν ψεκαστεί με σπρέι νανοτεχνολογίας. Π.χ. «M4, ΠΕ: *Είναι αδιάβροχο! Οπότε το νερό που πέφτει μαζεύεται σε στρογγυλές μπίλιες*», «M21, TE-M: *το λάχανο είναι σαν να το έχουν ψεκάσει με νανοσπρέι του ρίχνεις πχ μελάνι και αυτό δεν λερώνει το λάχανο, αυτό συμβαίνει και με το νερό*».

Στο ΕΠ1 κατατάχθηκαν οι απαντήσεις οι οποίες βρίσκονταν μακριά από την επιστημονική άποψη και συνήθως εξέφραζαν κάποια εναλλακτική ιδέα για το φαινόμενο. Π.χ. «M7, ΠΕ: *Οι σταγόνες έπεφταν επάνω στο λάχανο και γινόντουσαν στρογγυλές είναι επειδή το φύλλο του μαρουλιού είναι λείο και όχι τραχιά*». Τέλος, στο ΕΠ0 καταχωρήθηκαν οι απαντήσεις οι οποίες ήταν ασαφείς, αποτελούσαν ταυτολογία ή ήταν δηλώσεις άγνοιας, όπως και οι κενές απαντήσεις (απουσία απάντησης). Π.χ. «M21, TE-Π: *δεν μπορώ να εξηγήσω*».

3.1.4.2. Ποσοτική ανάλυση δεδομένων ερωτηματολογίου N-ET

Η ποσοτική ανάλυση αφορούσε τα έργα 4 (Κ.Α.1.5) και 5 (Κ.Α.1.6) και ήταν συμπληρωματική στην ποιοτική ανάλυση, που πραγματοποιήθηκε σε αυτά τα έργα.

Κ.Α.1.5: Ταξινόμηση

Το έργο 4 περιλάμβανε την ταξινόμηση αντικειμένων διαφορετικών μεγεθών σε τρία κουτιά ανάλογα με το μέγεθός τους. Αυτή η ταξινόμηση μετατράπηκε σε κανονικοποιημένο σφάλμα (εύρους 0 – 1) με τη χρήση του παρακάτω τύπου (1) και στη συνέχεια σε βαθμολογία (εύρους 0 -100) με την χρήση του τύπου (5), όπως περιγράφεται παρακάτω.

$$\varepsilon = \frac{1}{\Delta_j} \sum_{i=1}^8 \delta_i \quad (1)$$

ε = το κανονικοποιημένο σφάλμα, ($0 \leq \varepsilon \leq 1$)

Δ_j = η μέγιστη τιμή του αθροίσματος των πραγματικών αποκλίσεων του κάθε αντικειμένου

j = ο αριθμός των κουτιών που χρησιμοποιήσε ο κάθε μαθητής ($0 \leq j \leq 3$, αφού τρία είναι ο μέγιστος αριθμός των κουτιών που χρησιμοποίησαν οι μαθητές)

δ_i = η πραγματική απόκλιση για το κάθε αντικείμενο ($0 \leq \delta_i \leq 2$, η μεγαλύτερη πραγματική απόκλιση από το σωστό κουτί γίνεται να είναι 2 καθώς έχουμε 3 κουτιά)

i = ο αριθμός που αποδόθηκε σε κάθε αντικείμενο που έπρεπε να ταξινομήσουν οι μαθητές, άνθρωπος – 1, μπάλα – 2, ..., DNA – 8. ($0 \leq i \leq 8$, καθώς τα αντικείμενα του έργου ήταν 8)

Οι μαθητές είχαν την δυνατότητα να ταξινομήσουν τα αντικείμενα σε όσα κουτιά ήθελαν, όμως καθώς όλοι οι συμμετέχοντες ταξινόμησαν τα αντικείμενα χρησιμοποιώντας το πολύ 3 κουτιά περιγράφηκε η ανάλυση των δεδομένων τα οποία είχαν ταξινομηθεί σε τρία ή λιγότερα κουτιά.

1η περίπτωση: 3 κουτιά

Η σωστή ταξινόμηση των αντικειμένων σε τρία κουτιά ήταν η εξής: «κουτί 1: άνθρωπος, μπάλα, μυρμήγκι, κουτί 2: ερυθρό αιμοσφαίριο, κύτταρο κρεμμυδιού, πυρήνας κυττάρου, κουτί 3: ιός, DNA» (α) 3 αντικείμενα του μακρόκοσμου, καθένα από τα οποία μπορούσε να πάρει μέγιστη τιμή απόκλισης το δύο, αν τοποθετούνταν λανθασμένα στο τρίτο κουτί, (β) 3 αντικείμενα του μικρόκοσμου, που το καθένα τους μπορούσε να πάρει μέγιστη τιμή απόκλισης το ένα, αν τοποθετούνταν λανθασμένα στο πρώτο ή τρίτο κουτί και (γ) 2 αντικείμενα του νανόκοσμου, καθένα από τα οποία μπορούσε να πάρει μέγιστο τιμή λάθους το δύο, αν τοποθετούνταν λανθασμένα στο πρώτο κουτί. Οπότε η μέγιστη τιμή του αθροίσματος των αποκλίσεων του κάθε αντικειμένου σε αυτήν την περίπτωση ήταν 13 (τύπος 2).

$$\Delta_3 = (2 + 2 + 2)_{macro} + (1 + 1 + 1)_{micro} + (2 + 2)_{nano} = 13 \quad (2)$$

Ως απολύτως σωστή απάντηση οριζόταν η ταξινόμηση όλων των αντικειμένων σε τρία κουτιά και στη σωστή τους θέση. Η απολύτως σωστή απάντηση λάμβανε τιμή σφάλματος μηδέν ($\varepsilon = 0$) καθώς ο μαθητής δεν πραγματοποίησε κανένα λάθος.

Ως απολύτως λανθασμένη απάντηση ορίστηκε η ταξινόμηση όλων των αντικειμένων σε τρία κουτιά με την ακριβή απόκλιση (δ_i) του κάθε αντικειμένου να είναι η μέγιστη δυνατή, δηλαδή για τα αντικείμενα του μακρόκοσμου και του νανόκοσμου να παίρνει την τιμή δύο (2) και για τα αντικείμενα του μικρόκοσμου να παίρνει την τιμή ένα (1). Η απολύτως λανθασμένη απάντηση λάμβανε τιμή σφάλματος ένα ($\varepsilon = 1$), καθώς το άθροισμα των πραγματικών αποκλίσεων ήταν ίσο με το άθροισμα των μέγιστων αποκλίσεων ($\sum_{i=1}^8 \delta_i = \Delta_3$).

2η περίπτωση: 2 κουτιά

Η ταξινόμηση των αντικειμένων σύμφωνα με το μέγεθός τους με την χρήση δύο κουτιών δεν συμφωνούσε με την επιστημονική άποψη. Για αυτό το λόγο οι απαντήσεις αυτές δεν μπορούσαν να πάρουν μηδενική τιμή σφάλματος ακόμη και αν ήταν σωστές, δηλαδή αν ταξινομούσαν στο κουτί 1 τα ορατά με γυμνό μάτι αντικείμενα (άνθρωπος, μπάλα, μυρμήγκι) και στο κουτί 2 τα αντικείμενα που είναι αδύνατο να παρατηρηθούν με γυμνό μάτι (ερυθρό αιμοσφαίριο, κύτταρο κρεμμυδιού, πυρήνας κυττάρου, ιός, DNA). Με βάση αυτήν την κατηγοριοποίηση, η μέγιστη τιμή της του αθροίσματος των αποκλίσεων του κάθε αντικειμένου σε αυτήν την περίπτωση ήταν το 8 (τύπος 3).

$$\Delta_2 = (1 + 1 + 1)_{\text{ορατά}} + (1 + 1 + 1 + 1 + 1)_{\text{αόρατα}} = 8 \quad (3)$$

Όμως, για να βαθμολογηθούν σωστά οι απαντήσεις σε σύγκριση με την προηγούμενη περίπτωση που ήταν η επιστημονικά ορθή, οι απαντήσεις που χρησιμοποιούσαν μόνο δύο κουτιά έπαιρναν ένα ποσοστό τιμωρίας. Αφού τα κουτιά που χρησιμοποιήθηκαν ήταν 2, η τιμωρία πήρε την τιμή $\frac{1}{2}$. Έτσι, η μέγιστη τιμή της του αθροίσματος των αποκλίσεων του κάθε αντικειμένου πήρε τελικά την τιμή 12 (τύπος 4).

$$\Delta'_2 = \Delta_2 + \frac{1}{2}\Delta_2 = 12 \quad (4)$$

Ως καλύτερη δυνατή απάντηση ορίστηκε η ταξινόμηση όλων των αντικειμένων σε δύο κουτιά και στη σωστή τους θέση. Η καλύτερη δυνατή απάντηση έλαβε τιμή σφάλματος ($\varepsilon = 0,333$), παρόλο που ο μαθητής δεν πραγματοποίησε κανένα λάθος, καθώς δεν ακολούθησε την πιο εκλεπτυσμένη μορφή ταξινόμησης, δηλαδή την επιστημονική.

Ως απολύτως λανθασμένη απάντηση ορίστηκε η ταξινόμηση όλων των αντικειμένων σε λάθος κουτί, δηλαδή τα αντικείμενα του κουτιού 1 στο κουτί 2 και το αντίστροφο. Η απολύτως λανθασμένη απάντηση έλαβε τιμή σφάλματος ένα ($\varepsilon = 1$), καθώς το άθροισμα των πραγματικών αποκλίσεων του κάθε αντικειμένου ήταν ίσο με το άθροισμα των μέγιστων αποκλίσεων τους ($\sum_{i=1}^8 \delta_i = \Delta_2'$).

3η περίπτωση: 1 κουτί ή 0 κουτιά

Στην περίπτωση που χρησιμοποιήθηκε μόνο ένα κουτί ή κανένα κουτί δεν ήταν απαραίτητη η χρήση του τύπου για την εύρεση του κανονικοποιημένου σφάλματος των μαθητών, καθώς δεν έγινε προσπάθεια ταξινόμησης των αντικειμένων. Οι απαντήσεις αυτές υπολογίστηκαν ως απολύτως λανθασμένες ($\varepsilon=1$).

Στο τέλος, τα κανονικοποιημένα σφάλματα (ε) μετατράπηκαν σε βαθμολογίες (B), με την χρήση του τύπου (5), ώστε να είναι δυνατόν να διαβαστούν πιο εύκολα. Η βαθμολογία αυτή είχε εύρος 0-100, με άριστα το 100 και το μηδέν να σημαίνει ότι ο μαθητής έδωσε την χειρότερη δυνατή απάντηση.

$$B = 100(1 - \varepsilon) \quad (5)$$

K.A.1.6: Σειροθέτηση

Το έργο 5 περιλάμβανε την σειροθέτηση αντικειμένων διαφορετικών μεγεθών ανάλογα με το μέγεθός τους. Τα δεδομένα αυτά, όπως και του έργου 4, μετατράπηκαν σε κανονικοποιημένο σφάλμα (εύρους 0 – 1) με τη χρήση του παρακάτω τύπου (6) και στη συνέχεια σε βαθμολογία (εύρους 0 -100) με την χρήση του τύπου (5).

$$\varepsilon = \frac{1}{\Delta} \sum_{i=1}^6 \delta_i \quad (6)$$

ε = το κανονικοποιημένο σφάλμα, ($0 \leq \varepsilon \leq 1$)

Δ = η μέγιστη τιμή του αθροίσματος των πραγματικών αποκλίσεων του κάθε αντικειμένου

δ_i = η πραγματική απόκλιση για το κάθε αντικείμενο ($0 \leq \delta_i \leq 5$, η μεγαλύτερη πραγματική απόκλιση από τη σωστή θέση γίνεται να είναι 5, καθώς έχουμε 6 θέσεις)

i = ο αριθμός που αποδόθηκε σε κάθε αντικείμενο που έπρεπε να ταξινομήσουν οι μαθητές, μπάλα – 1, μυρμήγκι – 2, ..., DNA – 6. ($0 \leq i \leq 6$, καθώς τα αντικείμενα του έργου ήταν 6)

Η σωστή απάντηση σε αυτό το έργο ήταν η εξής: μπάλα ποδοσφαίρου > μυρμήγκι > κύτταρο κρεμμυδιού > πυρήνας κυττάρου > ιός > DNA. Η μέγιστη τιμή του αθροίσματος των αποκλίσεων του κάθε αντικειμένου εμφανίστηκε όταν τα αντικείμενα τοποθετήθηκαν με την αντίθετη σειρά και υπολογίστηκε ως εξής:

$$\Delta = 5 + 3 + 1 + 1 + 3 + 5 = 16 \quad (7)$$

Ως απολύτως σωστή απάντηση ορίστηκε η σειροθέτηση όλων των αντικειμένων με τη σωστή σειρά από το μεγαλύτερο προς το μικρότερο. Η απολύτως σωστή απάντηση έλαβε τιμή σφάλματος μηδέν ($\varepsilon = 0$), καθώς σε αυτήν την περίπτωση δεν πραγματοποιήθηκε λάθος.

Ως απολύτως λανθασμένη απάντηση ορίστηκε η σειροθέτηση όλων των αντικειμένων με τον πιο λανθασμένο τρόπο, δηλαδή αντίστροφα από την προηγούμενη περίπτωση. Η απολύτως λανθασμένη απάντηση έλαβε τιμή σφάλματος ίση με ένα ($\varepsilon = 1$), καθώς το άθροισμα των πραγματικών αποκλίσεων ήταν ίσο με το άθροισμα των μέγιστων αποκλίσεων ($\sum_{i=1}^6 \delta_i = \Delta$).

Όπως και στην προηγούμενη κατεύθυνση ανάλυσης τα κανονικοποιημένα σφάλματα (ε) μετατράπηκαν σε βαθμολογίες (B), με την χρήση του τύπου (5).

3.1.5. Εγκυρότητα και αξιοπιστία

Σύμφωνα με την επισκόπηση του Winter (2000) η εγκυρότητα και η αξιοπιστία είναι δύο όροι για τους οποίους έχει γραφτεί πληθώρα διαφορετικών ορισμών στην βιβλιογραφία. Η εγκυρότητα συνήθως σχετίζεται με την ακρίβεια των μέσω συλλογής δεδομένων, δηλαδή του κατά πόσο μετράνε στην πραγματικότητα αυτό που προορίζονταν να μετρήσουν, ενώ η αξιοπιστία με τον βαθμό της επαναληψιμότητας της έρευνας.

Με στόχο την εγκυρότητα της έρευνας, κατά τον σχεδιασμό και την υλοποίησή της αλλά και κατά την ανάλυση και την παρουσίαση των δεδομένων ακολουθήθηκαν, όσο ήταν δυνατό, οι εξής πρακτικές:

- i. Η χρήση περιγραφών που δεν μπορούν να δεχτούν πολλές και διαφορετικές ερμηνείες (LeCompte, Tesch, & Goetz, 1993)
- ii. Ο έλεγχος των προκαταλήψεων του ερευνητή (Ιωσηφίδης, 2008)
- iii. Η περιεκτική επεξεργασία των δεδομένων, δηλαδή η συμπερίληψη όλων των δεδομένων στην ανάλυση και όχι μόνο αυτών που οδηγούν σε επιθυμητές ερμηνείες και συμπεράσματα (Ιωσηφίδης, 2008)
- iv. Η συμμετοχή πολλών ερευνητών στην συλλογή και ανάλυση των δεδομένων (LeCompte et al., 1993· Ιωσηφίδης, 2008)
- v. Η εξέταση των δεδομένων και η ανάλυσή τους από ανεξάρτητους ερευνητές (LeCompte et al., 1993· Ιωσηφίδης, 2008)
- vi. Η χρήση μηχανικών μέσων για την καταγραφή, αποθήκευση και ανάκτηση των δεδομένων (LeCompte et al., 1993)
- vii. Ο τριγωνισμός στην συλλογή και την ανάλυση των δεδομένων (Ιωσηφίδης, 2008)

Στην παρούσα έρευνα επιλέχθηκε ο μεθοδολογικός τριγωνισμός, δηλαδή η χρήση διαφορετικών μεθόδων στο ίδιο αντικείμενο μελέτης, ο οποίος είναι αυτός που χρησιμοποιείται πιο συχνά και που πιθανόν έχει τα περισσότερα να προσφέρει (Cohen, Manion, & Morrison, 2007). Η πρακτική αυτή ακολουθήθηκε στις κατευθύνσεις ανάλυσης 1.5 και 1.6 καθώς η καθιερωμένη προσέγγιση, δηλαδή η ποιοτική ανάλυση σύμφωνα με την μεθοδολογία του Πέικου (2016), δεν ήταν επαρκής. Πιο συγκεκριμένα, σε μερικές περιπτώσεις δεν διαφοροποιούνταν μεταξύ τους μαθητές που είχαν δώσει διαφορετικές απαντήσεις.

Για παράδειγμα, στο έργο της σειροθέτησης [έργο 6 – Κ.Α.1.5], ένας μαθητής που είχε σειροθετήσει σωστά τα αντικείμενα του μακρόκοσμου, είχε κάνει ένα μικρό λάθος στα αντικείμενα του μικρόκοσμου [τα είχε σειροθετήσει ανάποδα] και είχε σειροθετήσει σωστά τα αντικείμενα του νανόκοσμου θα κατατασσόταν στην κατηγορία 1 [σωστή σειροθέτηση των αντικειμένων του μακρόκοσμου]. Στην ίδια κατηγορία θα κατατασσόταν και ένας μαθητής, ο οποίος είχε σειροθετήσει και αυτός σωστά τα αντικείμενα του μακρόκοσμου, αλλά είχε μπερδέψει εντελώς τα αντικείμενα του μικρόκοσμου και του νανόκοσμου.

Σύμφωνα με τους (Cohen et al., 2007) οι τριγωνικές τεχνικές είναι κατάλληλες για να αναζητηθεί μια πιο ολιστική άποψη των εκπαιδευτικών αποτελεσμάτων, όταν μια καθιερωμένη προσέγγιση αποφέρει μια περιορισμένη και συχνά παραμορφωμένη εικόνα. Για αυτό το λόγο τα συγκεκριμένα δεδομένα αναλύθηκαν και με τη χρήση μιας διαφορετικής μεθόδου, η οποία είχε περισσότερο ποσοτικό χαρακτήρα [3.1.4.2].

Με την ποσοτική ανάλυση οι μαθητές του προηγούμενου παραδείγματος έλαβαν διαφορετικές βαθμολογίες, καθώς σε αυτήν λαμβάνονταν υπόψη ο αριθμός των λάθος απαντήσεων και το πόσο λάθος ήταν. Γενικότερα, στην βαθμολογία που λάμβαναν οι μαθητές μετά την ποσοτική ανάλυση, αποτυπωνόταν ο αριθμός των σωστών απαντήσεων αλλά και το «πόσο λάθος» ήταν οι λανθασμένες τους απαντήσεις, όμως δεν προσφερόταν πληροφορίες για το που ακριβώς είχαν κάνει λάθος οι μαθητές. Οπότε, με την ταυτόχρονη χρήση και των δύο αυτών μεθόδων έγινε δυνατό να εξεταστούν πιο ολιστικά τα δεδομένα, καθώς η μία μέθοδος συμπλήρωνε την άλλη (Ιωσηφίδης, 2008).

Η εξέταση των δεδομένων και η ανάλυσή τους από ανεξάρτητους ερευνητές (LeCompte et al., 1993· Ιωσηφίδης, 2008), που αναφέρθηκε προηγουμένως ως πρακτική για την εγκυροποίηση της έρευνας μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για τον έλεγχο της αξιοπιστίας των μέσων συλλογής δεδομένων και της μεθοδολογίας ανάλυσής τους (Cohen et al., 2007).

Για την εξυπηρέτηση αυτού του σκοπού, μετά την καταχώριση των απαντήσεων των μαθητών σε επίπεδα, πραγματοποιήθηκε διασταύρωση των απαντήσεων από έναν άλλο ανεξάρτητο ερευνητή. Ο ανεξάρτητος ερευνητής δεν ήταν ενήμερος για τον τρόπο με τον οποίο ταξινόμησε ο πρώτος ερευνητής τις απαντήσεις και καταχώρισε τις απαντήσεις των μαθητών στα ίδια επίπεδα κατανόησης χρησιμοποιώντας τις κατευθύνσεις ανάλυσης, όπως παρουσιάστηκαν παραπάνω [3.1.4.1].

Στην συνέχεια, πραγματοποιήθηκε έλεγχος της συμφωνίας μεταξύ των δύο ταξινομήσεων με την χρήση του δείκτη Cohen's Kappa, ο οποίος περιλαμβάνει περισσότερες πληροφορίες από το ποσοστό συμφωνίας των δύο ερευνητών. Πιο συγκεκριμένα, κατά τον υπολογισμό του συγκεκριμένου δείκτη λαμβάνεται υπόψη και η πιθανότητα τυχαίας συμφωνίας μεταξύ των δύο ερευνητών (Wood, 2007).

Πίνακας 10: Διασταύρωση της ταξινόμησης των απαντήσεων της πιλοτικής εφαρμογής μεταξύ των δύο ερευνητών

Κατεύθυνση Ανάλυσης	Τιμή Δείκτη (Cohen's Kappa)
1.1	0,826
1.2	1,000
1.3	1,000
1.4	1,000
1.5	1,000
1.6	1,000
1.7	0,857

Σύμφωνα με τον πίνακα (10), σε όλες τις κατευθύνσεις ανάλυσης η συμφωνία μεταξύ των ερευνητών ήταν υψηλή [$Kappa > 0,8$] (Wood, 2007). Οι κατευθύνσεις ανάλυσης 1.1 και 1.7 τροποποιήθηκαν κατάλληλα, μετά από συζήτηση μεταξύ των δύο ερευνητών, ώστε να γίνουν πιο συγκεκριμένες. Αφότου πραγματοποιήθηκαν οι αλλαγές αυτές, επήλθε συμφωνία της τάξης του 100% μεταξύ των δύο ερευνητών.

Τέλος, ανατέθηκε σε μία τρίτη ανεξάρτητη ερευνήτρια να αναλύσει ένα τυχαίο δείγμα, που περιλάμβανε το 1/3 των δεδομένων χρησιμοποιώντας τις περιγραφές των κατηγοριών, όπως αυτές είχαν διαμορφωθεί μετά την συζήτηση των δύο ερευνητών. Πρέπει να σημειωθεί ότι η συγκεκριμένη ερευνήτρια είχε πολυετή εμπειρία στην ανάλυση περιεχομένου σχετικού με την διδακτική της Ν-ΕΤ. Η ταξινόμηση της συγκεκριμένης ερευνήτριας συμφωνούσε πλήρως με την τελική ταξινόμηση των δύο ερευνητών [Cohen's Kappa=1,000].

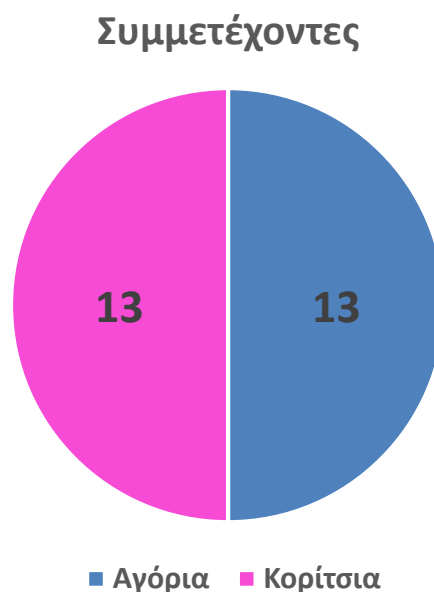
Πέρα από τον παραπάνω έλεγχο αξιοπιστίας, πρότερη έκδοση του ερευνητικού εργαλείου έχει ήδη χρησιμοποιηθεί σε συναφείς μεταπτυχιακές εργασίες (Πέικος, 2016· Τασσοπούλου 2017). Επιπλέον, τον παρόν ερωτηματολόγιο, μετά τις μικρές βελτιωτικές αλλαγές που υπέστη κατά την πραγματοποίηση της παρούσας μελέτης, χρησιμοποιήθηκε σε έρευνες της ομάδας των φυσικών επιστημών του ΠΤΔΕ Φλώρινας [Florinano], οι οποίες βρίσκονται στη διαδικασία συγγραφής.

Στον μεγάλο αριθμό δείγματος και στην μεγαλύτερη πληθυσμιακή κάλυψη [νομοί: Θεσσαλονίκης, Φλώρινας, Κοζάνης, Καστοριάς & Έδεσσας], που περιλάμβαναν αυτές οι έρευνες παρατηρήθηκε παρόμοια κατανομή των απαντήσεων και των μετρήσεων αξιοπιστίας και εγκυρότητας. Από αυτό το γεγονός γίνεται εμφανής η επαναληψιμότητα της παρούσας έρευνας, που είναι το σημαντικότερο κριτήριο της αξιοπιστίας της (Winter, 2000).

3.2. Τελική Εφαρμογή

3.2.1. Συμμετέχοντες

Οι μαθητές που συμμετείχαν ήταν εικοσιέξι (26), εκ των οποίων οι μισοί (13) ήταν κορίτσια και οι άλλοι μισοί (13) αγόρια. Οι συμμετέχοντες δεν είχαν διδαχθεί το αντικείμενο της Νανοεπιστήμης - Νανοτεχνολογίας στα πλαίσια της τυπικής εκπαίδευσης. Φοιτούσαν στην ΣΤ' τάξη δημοτικών σχολείων της ευρύτερης περιοχής Φλώρινας και επισκέφτηκαν την Παιδαγωγική Σχολή Φλώρινας στα πλαίσια του Φεστιβάλ Φυσικών Διεπαφών μέσω του οποίου συμμετείχαν και στην τελική εφαρμογή της παρούσας έρευνας.



Γράφημα 2: Το φύλλο των συμμετεχόντων της τελικής εφαρμογής

3.2.2. Μέσα συλλογής δεδομένων

Τα δεδομένα της έρευνας συλλέχθηκαν μέσω γραπτού ερωτηματολογίου, το οποίο χωριζόταν σε δύο άξονες. Ο πρώτος άξονας περιείχε οκτώ έργα, που χρησιμοποιήθηκαν για την συλλογή δεδομένων σχετικά με την αρχική και τελική γνωστική κατάσταση και τις δεξιότητες των 22 μαθητών του δείγματος, ενώ ο δεύτερος άξονας περιείχε δύο έργα, που αφορούσαν τις απόψεις τους για την παρέμβαση.

Τα πρώτα επτά έργα του πρώτου άξονα του ερωτηματολογίου ήταν πανομοιότυπα με το ερωτηματολόγιο που χρησιμοποιήθηκε στην πιλοτική εφαρμογή [βλέπε Άξονα N-ET του Ερωτηματολογίου στο Παράρτημα], ενώ το όγδοο έργο ήταν το δεύτερο ερώτημα της ερευνητικής αναφοράς [βλέπε Ερευνητική Αναφορά στο Παράρτημα].

Ο δεύτερος άξονας του ερωτηματολογίου αποτελούνταν από δύο έργα και ήταν μια προσαρμοσμένη, στις ανάγκες της παρούσας έρευνας, εκδοχή του ερωτηματολογίου καταγραφής των απόψεων των μαθητών, που αναπτύχθηκε στα πλαίσια του μαθήματος «Αρχές Διαμόρφωσης και Αξιολόγησης Εκπαιδευτικού Λογισμικού». Το πρώτο έργο αποτελείται από 9 κλειστές ερωτήσεις 5βάθμιας κλίμακας Likert, που αφορούν τα διάφορα μέρη της δραστηριότητας και την συγκρίνουν με την παραδοσιακή διδασκαλία και το δεύτερο αποτελεί μια ανοιχτή ερώτηση για την περιθώρια βελτίωσης της δραστηριότητας, σύμφωνα με την γνώμη των μαθητών [βλέπε Άξονα Απόψεων του Ερωτηματολογίου στο Παράρτημα].

3.2.3. Διαδικασία συλλογής δεδομένων

Οι μαθητές χωρίστηκαν σε τέσσερις ομάδες των τριών και τέσσερις ομάδες των τεσσάρων ατόμων. Η κάθε ομάδα είχε στην διάθεση της 45' στην ειδικά διαμορφωμένη αίθουσα. Στην αίθουσα παρευρίσκονταν δύο ερευνητές, οι οποίοι είχαν διαφορετικούς ρόλους. Ο ένας ερευνητής ήταν υπεύθυνος για την ομαλή διεξαγωγή της παρέμβασης, έχοντας το ρόλο του ντετέκτιβ της ιστορίας [σε αντίθεση με την πιλοτική εφαρμογή όπου είχε τον ρόλο του αφηγητή]. Ο δεύτερος ερευνητής ήταν υπεύθυνος για τη συλλογή των παραμέτρων της υλοποίησης της παρέμβασης και των δεδομένων [ηχογράφηση, βίντεο, ερευνητική αναφορά].

Σε αντίθεση με την πιλοτική εφαρμογή, στην οποία λήφθηκαν μόνο τελικές μετρήσεις στην τελική εφαρμογή συλλέχθηκαν δεδομένα τόσο πριν την εφαρμογή όσο και μετά. Όσον αφορά την αρχική μέτρηση, τα προ-ερωτηματολόγια [pre-questionnaires] συμπληρώθηκαν από τους μαθητές στο σχολείο τους λίγες μέρες πριν την εφαρμογή, ενώ όσον αφορά την τελική, τα μετά-ερωτηματολόγια [post-questionnaires] συμπληρώθηκαν 10-12 μέρες μετά την εφαρμογή.

3.2.4. Διαδικασία ανάλυσης δεδομένων

Για την ανάλυση των δεδομένων του ερωτηματολογίου ακολουθήθηκε διαφορετική μεθοδολογία για τον κάθε άξονά του. Στον πρώτο άξονα περιλαμβάνεται η ανάλυση των έργων που αφορούν το πρώτο ερευνητικό ερώτημα [E.E.T.1]. Η ανάλυση αυτών των δεδομένων πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με την μεθοδολογία που αναλύθηκε λεπτομερώς στην μέθοδο της πιλοτικής εφαρμογής [3.1]. Καθώς, όμως το όγδοο έργο δεν χρησιμοποιήθηκε στην πιλοτική εφαρμογή, η διαδικασία ανάλυσής του περιγράφεται παρακάτω [K.A.1.8]. Στον δεύτερο άξονα του ερωτηματολογίου περιλαμβάνεται η ανάλυση των έργων που αφορούν το δεύτερο ερευνητικό ερώτημα [E.E.T.2], όπως παρουσιάζεται στη συνέχεια [K.A.2.1–K.A.2.5].

3.2.4.1. Ποιοτική ανάλυση δεδομένων ερευνητικής αναφοράς

Κ.Α.1.8: Αιτιολόγηση ως μέρος της διερεύνησης

Η κατεύθυνση ανάλυσης 1.8 αφορούσε την αιτιολόγηση ως μέρος της διερεύνησης. Τα δεδομένα που αναλύθηκαν προέρχονται από τις απαντήσεις που έδωσαν οι μαθητές στο δεύτερο ερώτημα της ερευνητικής αναφοράς. Μετά την ανάλυση των δεδομένων αυτών σύμφωνα με την μεθοδολογία που έχει αναφερθεί προηγουμένως (ενότητα 3.1.4) προέκυψαν 4 επίπεδα απαντήσεων (ΕΠ3, ΕΠ2, ΕΠ1, ΕΠ0).

Στο ΕΠ3 εντάχθηκαν απαντήσεις που περιείχαν σωστή αναγνώριση του υπόπτου, η οποία συνοδευόταν από σωστή αιτιολόγηση με όρους, οι οποίοι συνδέονται με σαφήνεια με τις Μεγάλες Ιδέες «δομή της ύλης», «ιδιότητες που εξαρτώνται από το μέγεθος» ή/και «εργαλεία και όργανα» (δηλαδή εξογκώματα, ηλεκτρονικό μικροσκόπιο, σουπερ-υδρόφοβο/αδιάβροχο σπρέι, κ.λπ.). Ένα παράδειγμα τέτοιας απάντησης ήταν η εξής: «*Μαθητής 8, Τελική Εφαρμογή (Μ8, ΤΕ): Θεωρώ ύποπτο τον φύλακα γιατί ... φορούσε αδιάβροχο μπουφάν, που είχε εξογκώματα*».

Στο ΕΠ2 ταξινομήθηκαν απαντήσεις που περιείχαν σωστή αναγνώριση του υπόπτου με σωστή αιτιολόγηση, η οποία όμως στερούνταν επιστημονικού λεξιλογίου. Παραδείγματα τέτοιων απαντήσεων ήταν τα εξής: «*Μ3, ΤΕ: ηνε ο φύλακας γιατί τα ρούχα του ήταν αδιάβροχα*» & «*Μ10, ΤΕ: γιατί είπε ψέματα στον ντετέκτιβ*».

Στο ΕΠ1 κατατάχθηκαν απαντήσεις που περιείχαν σωστή απάντηση με λανθασμένη αιτιολόγηση. Για παράδειγμα: «*Μ18, ΤΕ: τον bill white επειδή φαίνεται από τα μάτια του*». Τέλος, στο ΕΠ0 εντάχθηκαν οι κενές απαντήσεις.

3.2.4.2. Ποσοτική ανάλυση δεδομένων ερωτηματολογίου απόψεων

Τα υποερωτήματα του ερωτηματολογίου απόψεων αναλύθηκαν σύμφωνα με τις ακόλουθες κατευθύνσεις ανάλυσης, όπως παρουσιάζεται στον πίνακα (11).

Πίνακας 11: Αντιστοίχιση των έργων του ερωτηματολογίου απόψεων με τις κατευθύνσεις ανάλυσης

Έργα	Υποερωτήματα	Κατευθύνσεις Ανάλυσης
Έργο 1	1.1	Κ.Α.2.1
	1.2	
	1.3	
	1.4	Κ.Α.2.2
	1.5	
	1.6	
	1.7	Κ.Α.2.3
	1.9	
	1.8	Κ.Α.2.4
Έργο 2	2	Κ.Α.2.5

Όσον αφορά τις απαντήσεις των μαθητών στο δεύτερο έργο ταξινομήθηκαν σε τρεις κατηγορίες, όπως παρουσιάζεται στην επόμενη ενότητα (3.2.4.3). Οι απαντήσεις των μαθητών σε όλα τα υποερωτήματα του πρώτου έργου κωδικοποιήθηκαν ως εξής:

- i. Συμφωνώ απόλυτα → 5
- ii. Συμφωνώ → 4
- iii. Ούτε συμφωνώ, ούτε διαφωνώ → 3
- iv. Διαφωνώ → 2
- v. Διαφωνώ απόλυτα → 1

K.A.2.1: Συνολική άποψη για την παρέμβαση

Τα δεδομένα της κατεύθυνσης ανάλυσης 2.1 προέρχονται από το πρώτο υποερώτημα του πρώτου έργου του ερωτηματολογίου. Στα δεδομένα αυτά χρησιμοποιήθηκε περιγραφική στατιστική και δεν υπέστησαν κάποια περεταίρω στατιστική ανάλυση.

K.A.2.2: Απόψεις για τα επιμέρους στοιχεία της παρέμβασης

Τα δεδομένα της κατεύθυνσης ανάλυσης 2.2 αφορούν το πόσο ενδιαφέροντα βρήκαν οι μαθητές τα επιμέρους στοιχεία της δραστηριότητας (υποερωτήματα 1.2, 1.3, 1.4 & 1.5). Με τη χρήση του στατιστικού προγράμματος S.P.S.S. (έκδοση 23) έγινε σύγκριση μεταξύ των απαντήσεων των μαθητών.

K.A.2.3: Απόψεις για την παρέμβαση σε σύγκριση με τον παραδοσιακό τρόπο διδασκαλίας

Η κατεύθυνση ανάλυσης 2.3 αφορά τις απόψεις των μαθητών για την παρούσα παρέμβαση σε σχέση με τον παραδοσιακό τρόπο διδασκαλίας (υποερωτήματα 1.6, 1.7 & 1.9). Με τη χρήση του στατιστικού προγράμματος S.P.S.S. 21 έγινε σύγκριση μεταξύ των απαντήσεων των μαθητών.

K.A.2.4: Άποψη για την χρήση παρόμοιου υλικού από τους δασκάλους τους

Στην κατεύθυνση ανάλυσης 2.4 αναλύονται τα δεδομένα του όγδοου υποερωτήματος του πρώτου έργου (1.8), του ερωτηματολογίου απόψεων. Στα δεδομένα αυτά χρησιμοποιήθηκε περιγραφική στατιστική και δεν υπέστησαν κάποια περεταίρω στατιστική ανάλυση.

3.2.4.3. Ποιοτική ανάλυση δεδομένων ερωτηματολογίου απόψεων

K.A.2.5: Προτάσεις για βελτίωση

Τα δεδομένα της κατεύθυνσης ανάλυσης 2.5 προέρχονται από το δεύτερο έργο του άξονα δραστηριότητας του ερωτηματολογίου. Από την ποιοτική ανάλυση αυτών των δεδομένων προέκυψαν 3 κατηγορίες (K0, K1, K2).

Η κατηγορία 2 (K2) συμπεριλήφθηκαν τις απαντήσεις των μαθητών που περιείχαν προτάσεις βελτίωσης της δραστηριότητας. Π.χ. «M14, TE-M: ήταν καταπληκτική το μόνο που θα άλλαζα να ήταν ο φόνος», «M16, TE-M: να ήταν πιο αληθινά».

Στην κατηγορία 1 (K1) καταχωρήθηκαν οι απαντήσεις των μαθητών που ανέφεραν ότι δεν θα ήθελαν να αλλάξει τίποτα στην δραστηριότητα. Π.χ. «M5, TE-M: δε θα ήθελα να αλλάξω τίποτα. Μου ήταν πολύ ευχάριστο να συμμετέχω σε αυτή την καλή δουλειά και καλό παιχνίδι», «M9, TE-M: τίποτα επειδή όλα τα πράγματα εκεί μου άρεσαν όλα ήταν μαγικά».

Τέλος στην μηδενική κατηγορία (K0) ταξινομήθηκαν οι κενές απαντήσεις.

3.2.5. Εγκυρότητα και αξιοπιστία

Όσον αφορά την εγκυρότητα και την αξιοπιστία, κατά τον σχεδιασμό και την υλοποίηση της τελικής εφαρμογής και κατά την ανάλυση και παρουσίαση των δεδομένων λήφθηκαν υπόψη οι ίδιες αρχές και ακολουθήθηκαν οι ίδιες πρακτικές, που αναφέρθηκαν προηγουμένως [3.1.5].

Τα δεδομένα που σχετίζονταν με την γνωστική κατάσταση των μαθητών αλλά και τα δεδομένα της κατεύθυνσης ανάλυσης 2.5 [προτάσεις για βελτίωση] ταξινομήθηκαν σε επίπεδα ή κατηγορίες και από δεύτερο ερευνητή, όπως συνέβη και στην πιλοτική εφαρμογή. Στον πίνακα 12 παρουσιάζονται οι τιμές του δείκτη Cohen's Kappa, που απεικονίζουν τη συμφωνία μεταξύ των ταξινομήσεων των δύο ανεξάρτητων ερευνητών.

Πίνακας 12: Διασταύρωση της ταξινόμησης των απαντήσεων της τελικής εφαρμογής μεταξύ των δύο ερευνητών

Κατεύθυνση Ανάλυσης	Αρχική Μέτρηση Τιμή Δείκτη (Cohen's Kappa)	Τελική Μέτρηση Τιμή Δείκτη (Cohen's Kappa)
1.1	0,816	0,843
1.2	0,942	0,936
1.3	1,000	1,000
1.4	1,000	0,947
1.5	1,000	1,000
1.6	1,000	1,000
1.7	0,852	0,838
1.8	-	0,856
2.5	-	1,000

Σύμφωνα με τον πίνακα [12], σε όλες τις κατευθύνσεις ανάλυσης η συμφωνία μεταξύ των ερευνητών ήταν υψηλή [$Kappa > 0,8$] (Wood, 2007). Οπότε, με την χρήση της ίδιας μεθοδολογίας μετά από συζήτηση και τροποποίηση των κατευθύνσεων ανάλυσης που χρειάστηκε (1.1, 1.7 & 1.8) επήλθε συμφωνία της τάξης του 100% μεταξύ των δύο ερευνητών.

Τέλος, ανατέθηκε πάλι στην τρίτη ανεξάρτητη ερευνήτρια να αναλύσει ένα τυχαίο δείγμα, που περιλάμβανε το 1/3 των δεδομένων χρησιμοποιώντας τις περιγραφές των κατηγοριών, όπως αυτές είχαν διαμορφωθεί μετά την συζήτηση των δύο ερευνητών. Όπως, στην πιλοτική εφαρμογή η ταξινόμηση της συγκεκριμένης ερευνήτριας συμφωνούσε πλήρως με την τελική ταξινόμηση των δύο ερευνητών [$Cohen's Kappa=1,000$].

Στα δεδομένα που περιλάμβαναν τις απόψεις των μαθητών για την παρέμβαση [Κ.Α.2.1 – Κ.Α.2.4] πραγματοποιήθηκε διαφορετικός έλεγχος αξιοπιστίας καθώς ήταν ποσοτικά. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης εσωτερικής συνέπειας Cronbach's Alpha, ο οποίος απεικονίζει την μέση συσχέτιση μεταξύ των απαντήσεων και ελέγχει το αν οι συμμετέχοντες συμπλήρωσαν το ερωτηματολόγιο με ακρίβεια, ειλικρίνεια και σωστό τρόπο (Cohen et al., 2007). Μεταξύ των δεδομένων των υποερωτημάτων της Κ.Α.2.3 βρέθηκε Alpha = 0,841, το οποίο υποδήλωνε υψηλή αξιοπιστία (Cohen et al., 2007) και καθώς Alpha > 0,8 τα δεδομένα του ερωτηματολογίου ήταν αποδεκτά (Bryman & Cramer, 2011).

4. Αποτελέσματα

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας σε αντιστοιχία με τα ερευνητικά ερωτήματα που τέθηκαν πριν την πραγματοποίηση της έρευνας. Πρώτα παρουσιάζονται τα ευρήματα της πιλοτικής εφαρμογής (Ε.Ε.Π.) και στη συνέχεια τα ευρήματα της τελικής εφαρμογής (Ε.Ε.Τ.).

4.1. Πιλοτική Εφαρμογή

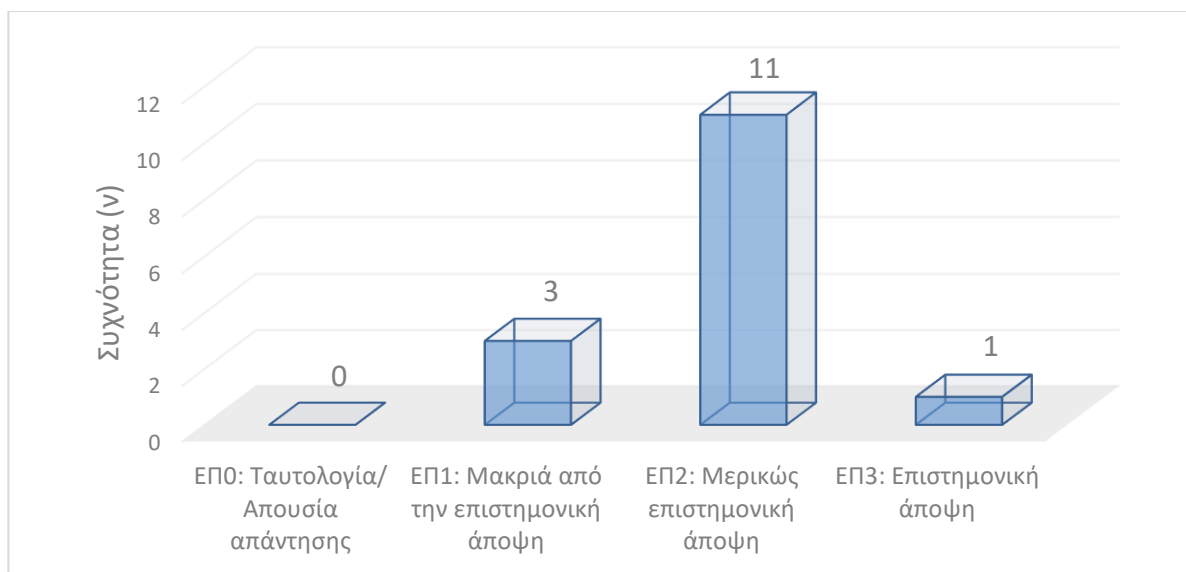
Τα αποτελέσματα της πιλοτικής έρευνας παρουσιάζονται με τη μορφή γραφημάτων συχνοτήτων, όπως διαμορφώθηκαν μετά την ταξινόμησή τους σε κατηγορίες. Τα γραφήματα αυτά δημιουργήθηκαν με τη χρήση του προγράμματος Microsoft Excel 2016.

4.1.1. Ε.Ε.Π.1: Ποιες ήταν οι αντιλήψεις των μαθητών σχετικά με την N-ET μετά την αλληλεπίδρασή τους με το εκπαιδευτικό υλικό;

Όπως αναφέρθηκε στην ενότητα (2.1.5) το ερευνητικό ερώτημα της πιλοτικής εφαρμογής επιμερίστηκε σε επτά υποερωτήματα.

4.1.1.1. Ε.Ε.Π.1.1: Τι νόημα αποδίδουν οι μαθητές στον όρο «Νανοτεχνολογία»;

Το πρώτο υποερώτημα της πιλοτικής εφαρμογής (Ε.Ε.Π.1.1) αφορά τα δεδομένα του πρώτου έργου του ερωτηματολογίου της N-ET, το οποίο στόχευε στην εξακρίβωση της νοηματοδότησης, που είχαν αποδώσει οι μαθητές στην έννοια της νανοτεχνολογίας μετά την πιλοτική εφαρμογή.

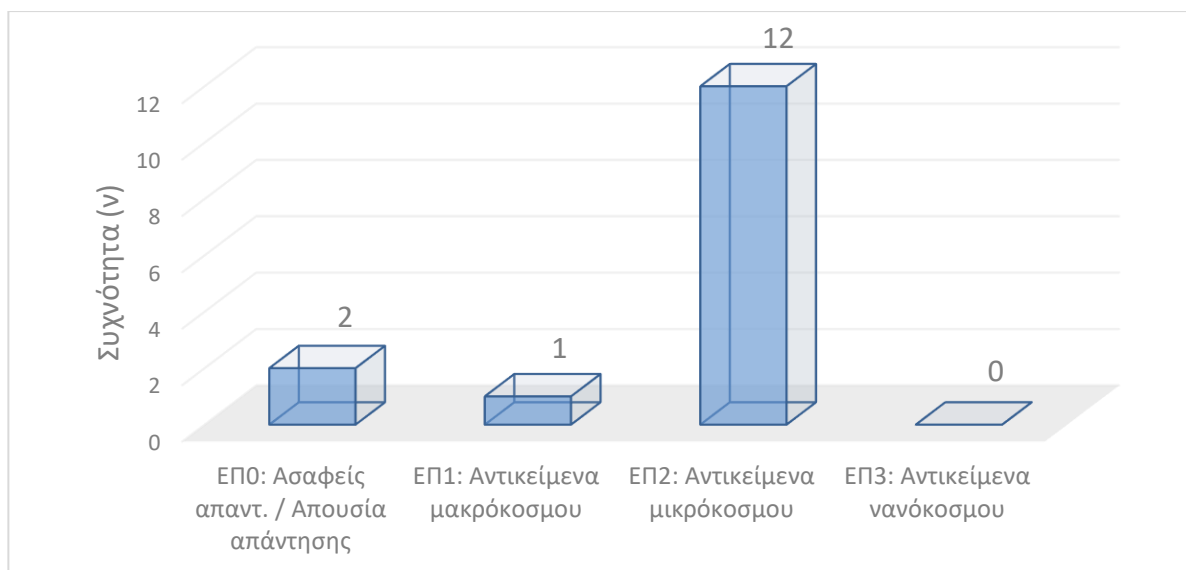


Γράφημα 3: Νοηματοδότηση του όρου «Νανοτεχνολογία»

Σύμφωνα με το γράφημα 3, οι περισσότερες απαντήσεις των μαθητών κατατάχθηκαν στο επίπεδο 2, που αντιπροσώπευε την μερικώς επιστημονική άποψη. Παραδείγματα τέτοιων απαντήσεων ήταν τα εξής: «Μ6, Με τη βοήθεια της νανοτεχνολογίας μπορούμε να βλέπουμε τα μικρά αντικείμενα», «Μ11, Η νανοτεχνολογία ασχολείται με πολύ πολύ μικρά πράγματα». Οι απαντήσεις τριών μαθητών κατατάχθηκαν ως μακριά από την επιστημονική άποψη (επίπεδο 1). Π.χ. «Μ7, Νανοτεχνολογία είναι ένα υλικό που κάνει τα αντικείμενα αδιάβροχα». Τέλος, ένας μαθητής καταχωρήθηκε στο επίπεδο 3, καθώς απάντησε ως εξής: «Μ17, Η νανοτεχνολογία είναι μια επιστήμη που ασχολείτε με τα πολύ, πολύ μικρά πράγματα (νανόκοσμος)».

4.1.1.2. E.E.Π.1.2: Ποιο ήταν το μικρότερο αντικείμενο που γνώριζαν;

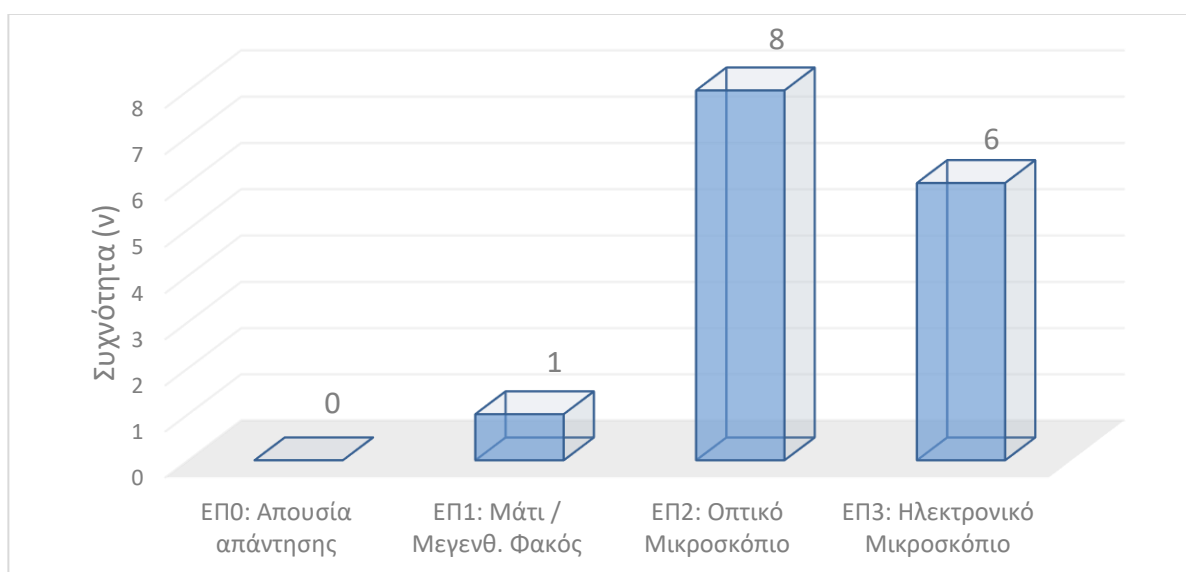
Το δεύτερο υποερώτημα της πιλοτικής εφαρμογής (E.E.Π.1.2) απαντήθηκε από την ανάλυση των δεδομένων του δεύτερου έργου του ερωτηματολογίου.



Γράφημα 4: Ιδέες των μαθητών για το μικρότερο αντικείμενο που γνώριζαν

Όπως παρουσιάζεται στο γράφημα 4, η συντριπτική πλειοψηφία των απαντήσεων των μαθητών αφορούσε αντικείμενα του μικρόκοσμου, οπότε κατατάχθηκαν στο επίπεδο 2. Ενδεικτικές απαντήσεις ήταν οι εξής: «Μ3, κύτταρο» & «Μ10, πυρήνας κυττάρου». Οι απαντήσεις δύο μαθητών κατατάχθηκαν στο επίπεδο 0 ως ασαφείς, π.χ. «Μ1, μικίτες». Ένας μαθητής έδωσε την εξής απάντηση: «Μ12, ψύρες», η οποία ταξινομήθηκε στο επίπεδο 1, καθώς αναφερόταν σε αντικείμενο του μακρόκοσμου. Τέλος, δεν καταχωρήθηκε καμία απάντηση στο επίπεδο 3, δηλαδή κανένας από τους 15 μαθητές δεν ανέφερε ένα αντικείμενο του νανόκοσμου.

4.1.1.3. E.E.Π.1.3: Με ποιο όργανο παρατήρησης πίστευαν οι μαθητές ότι μπορούσαν να παρατηρήσουν το μικρότερο αντικείμενο που γνώριζαν;

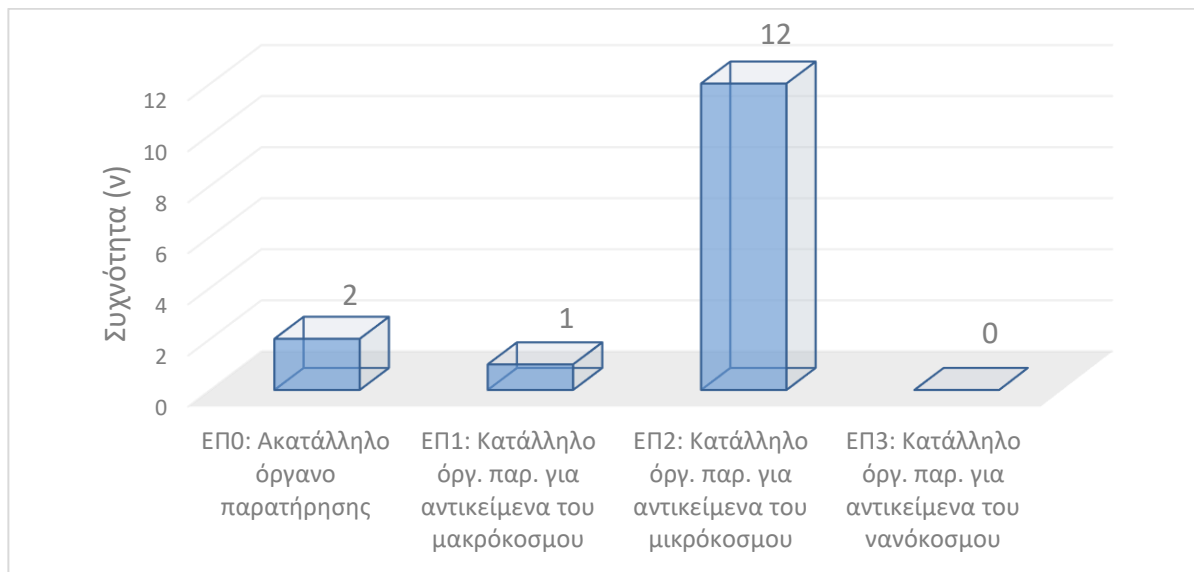


Γράφημα 5: Όργανα παρατήρησης

Σύμφωνα με το γράφημα 5, οι περισσότερες απαντήσεις των μαθητών ταξινομήθηκαν στο επίπεδο 2, ανέφεραν δηλαδή το οπτικό μικροσκόπιο. Ακολουθεί το επίπεδο 3, στο οποίο καταχωρήθηκαν οι απαντήσεις έξι μαθητών. Οι μαθητές αυτοί υποστήριξαν ότι με το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο μπορεί να παρατηρηθεί το μικρότερο αντικείμενο που γνώριζαν. Ένας μαθητής ανέφερε τον μεγεθυντικό φακό, οπότε και κατατάχθηκε στο επίπεδο 1.

4.1.1.4. E.E.Π.1.4: Πόσο συνεπείς ήταν οι μαθητές στην επιλογή οργάνου παρατήρησης για το μικρότερο αντικείμενο που γνώριζαν;

Για την απάντηση του τέταρτου υποερωτήματος της πιλοτικής εφαρμογής (E.E.Π.1.4) λήφθηκαν υπόψη οι απαντήσεις των μαθητών στα έργα 2 και 3.

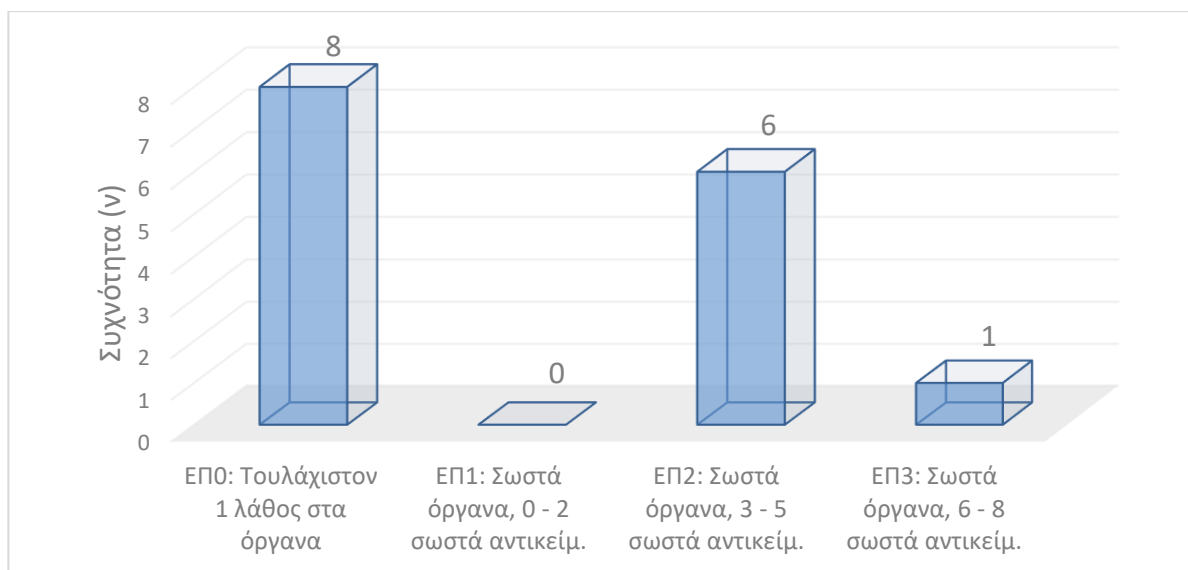


Γράφημα 6: Συνέπεια μεταξύ οργάνου παρατήρησης και μικρότερου αντικειμένου που γνώριζαν

Όπως φαίνεται στο γράφημα 6, η συντριπτική πλειοψηφία των απαντήσεων των μαθητών κατατάχθηκε στο επίπεδο 2, δηλαδή ανέφεραν αντικείμενο του μικρόκοσμου και παράλληλα ένα όργανο παρατήρησης κατάλληλο για να παρατηρηθεί αυτό το αντικείμενο. Για παράδειγμα ο Μ11 απάντησε στο έργο 2 «κύτταρο» και στο έργο 3 «μικροσκόπιο». Δύο μαθητές καταχωρήθηκαν στο επίπεδο 0, καθώς δεν είχαν δώσει σαφή απάντηση στο δεύτερο έργο. Π.χ. «Μ8, μονάδα μέτρησης». Τέλος, η απάντηση ενός μαθητή ταξινομήθηκε στο επίπεδο 1, καθώς ανέφερε αντικείμενο του μακρόκοσμου και κατάλληλο όργανο για να παρατηρηθεί: Μ12 «ψύρες» - «μεγεθυντικό φακό».

4.1.1.5. E.E.Π.1.5: Πόσο ικανοί ήταν οι μαθητές στην ταξινόμηση αντικειμένων διαφορετικών μεγεθών με κριτήριο το όργανο παρατήρησης;

Το πέμπτο υποερώτημα της πιλοτικής εφαρμογής (E.E.Π.1.5) αφορά τα δεδομένα του τέταρτου έργου του ερωτηματολογίου, δηλαδή την ταξινόμηση αντικειμένων διαφορετικών μεγεθών σε κουτιά και την αντιστοίχιση του κάθε κουτιού με ένα όργανο παρατήρησης. Όπως, προαναφέρθηκε τα δεδομένα αυτά υπέστησαν δύο διαφορετικά είδη ανάλυσης. Στο γράφημα 7 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ποιοτικής ανάλυσης και στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ποσοτικής.



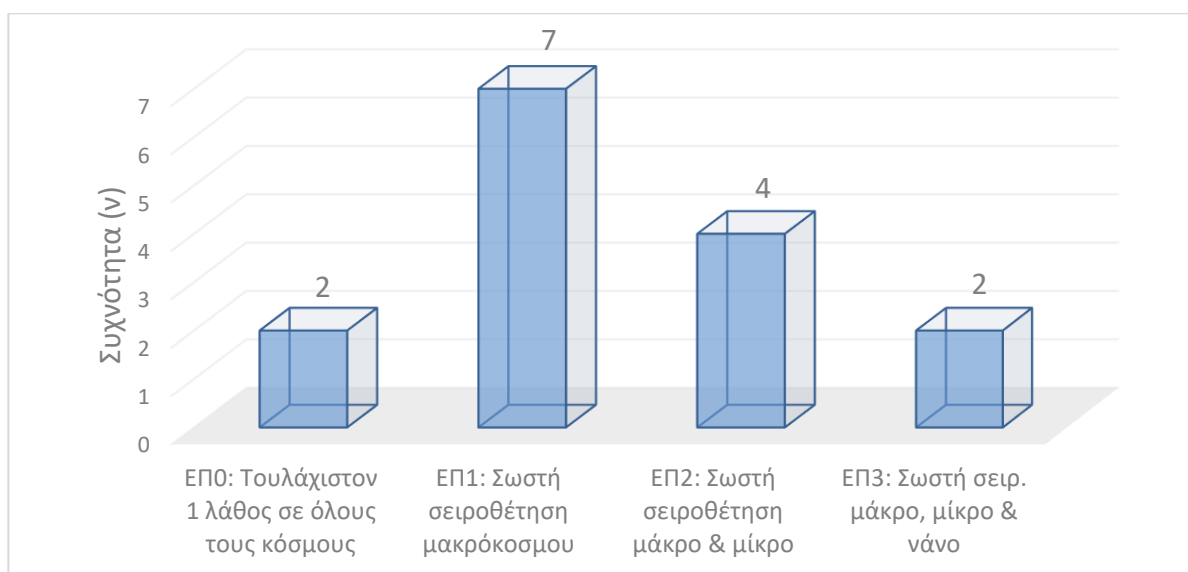
Γράφημα 7: Δεξιότητα ταξινόμησης αντικειμένων διαφορετικών μεγεθών

Σύμφωνα με το γράφημα 7, οκτώ μαθητές καταχωρήθηκαν στο επίπεδο μηδέν καθώς είχαν τουλάχιστον ένα λάθος στα όργανα παρατήρησης. Έξι μαθητές συμπεριλήφθηκαν στο επίπεδο δύο, δηλαδή ταξινόμησαν σωστά τρία έως πέντε αντικείμενα και ταυτόχρονα διάλεξαν σωστά όργανα παρατήρησης. Στο ανώτερο επίπεδο (3^ο) κατατάχθηκε μία απάντηση, ενώ δεν στο επίπεδο ένα καμία.

Όσον αφορά την ποσοτική ανάλυση βρέθηκε ότι η μέση βαθμολογία των μαθητών ήταν $B = 69,7$ με τυπική απόκλιση = 6,8 και εύρος = 31,8.

4.1.1.6. Ε.Ε.Π.1.6: Πόσο ικανοί ήταν οι μαθητές στην σειροθέτηση αντικειμένων διαφορετικών μεγεθών;

Το έκτο υποερώτημα της πιλοτικής εφαρμογής (Ε.Ε.Π.1.6) αφορά τα δεδομένα του πέμπτου έργου του ερωτηματολογίου, δηλαδή την σειροθέτηση αντικειμένων διαφορετικών μεγεθών. Στο γράφημα 8 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ποιοτικής ανάλυσης και στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ποσοτικής.



Γράφημα 8: Δεξιότητα σειροθέτησης αντικειμένων διαφορετικών μεγεθών

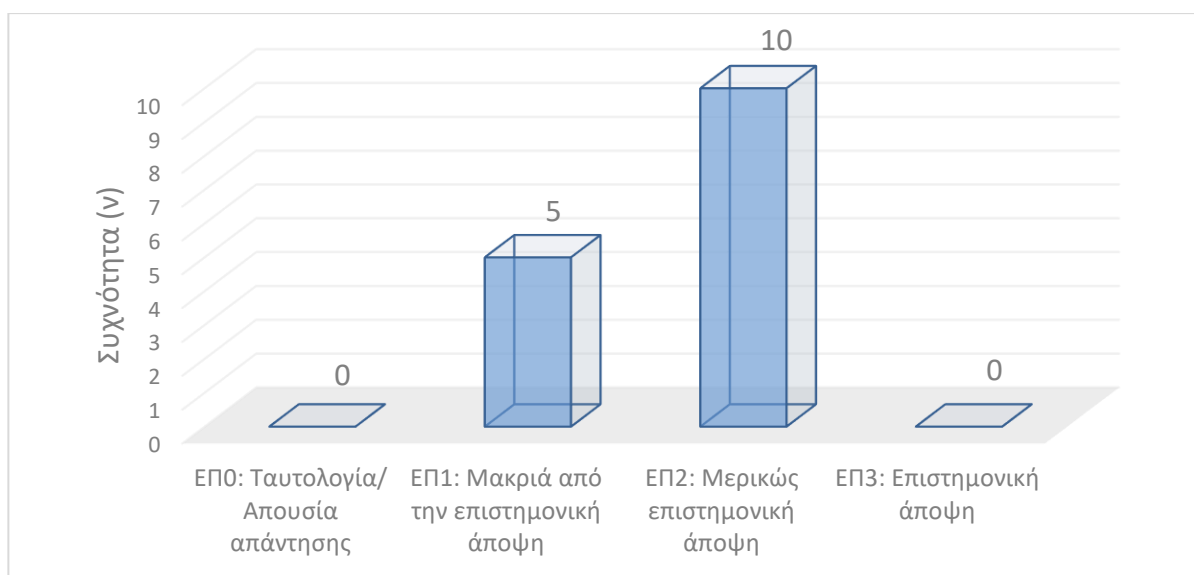
Σύμφωνα με το γράφημα (8), επτά μαθητές καταχωρήθηκαν στο επίπεδο ένα, δηλαδή σειροθέτησαν σωστά τα αντικείμενα του μακρόκοσμου (μπάλα > μυρμήγκι). Τέσσερις μαθητές ταξινομήθηκαν στο επίπεδο δύο, δηλαδή σειροθέτησαν σωστά τα αντικείμενα του μακρόκοσμου και του μικρόκοσμου (μπάλα > μυρμήγκι > κύτταρο > πυρήνας κυττάρου).

Στο επίπεδο τρία κατατάχθηκαν δύο απαντήσεις, οι οποίες ήταν απολύτως σωστές (μπάλα > μυρμήγκι > κύτταρο > πυρήνας κυττάρου > ιός > DNA). Τέλος στο μηδενικό επίπεδο κατατάχθηκαν άλλες δύο απαντήσεις, οι οποίες είχαν τουλάχιστον ένα λάθος στα αντικείμενα του μακρόκοσμου.

Όσον αφορά την ποσοτική ανάλυση βρέθηκε ότι η μέση βαθμολογία των μαθητών ήταν $B = 82,2$ με τυπική απόκλιση = 11,7 και εύρος = 44,4.

4.1.1.7. E.E.Π.1.7: Πόσο ικανοί ήταν οι μαθητές στην περιγραφή του φαινομένου του λωτού;

Το έβδομο υποερώτημα (E.E.Π.1.7) απαντήθηκε με βάση το έκτο έργο του ερωτηματολογίου της πιλοτικής εφαρμογής. Στο έργο αυτό οι μαθητές κλήθηκαν να περιγράψουν το φαινόμενο του λωτού με αφορμή δύο φωτογραφίες που το απεικόνιζαν.



Γράφημα 9: Δεξιότητα περιγραφής του φαινομένου του λωτού

Όπως παρουσιάζεται στο γράφημα (9), οι περισσότερες απαντήσεις των μαθητών κατατάχθηκαν στο επίπεδο δύο, δηλαδή εξέφρασαν μερικώς επιστημονικές απόψεις. Για παράδειγμα: «M1, Το λάχανο είναι αδιάβροχο για αυτό αντί οι σταγόνες να απλώνονται πέφτουν βουλίτσες βουλίτσες πάνω στο λάχανο», «M14, οι σταγόνες έπεφταν πάνω στο λάχανο γινόντουσαν στρογγυλές σαν μπίλιες ... γινόντουσαν έτσι γιατί το λάχανο είναι τραχίο και αδιάβροχο».

Οι απαντήσεις πέντε μαθητών ταξινομήθηκαν στο επίπεδο ένα καθώς απείχαν αρκετά από την επιστημονική άποψη. Χαρακτηριστικά παραδείγματα ήταν τα εξής: «M3, γιατί το λάχανο δεν μπορεί να αποροφήσει το νερό είναι σαν το ζαλατίνα...», «M15, Το λάχανο έχει λεία επιφάνεια έτσι οι σταγόνες γίνονται σαν μπίλιες».

4.2. Τελική Εφαρμογή

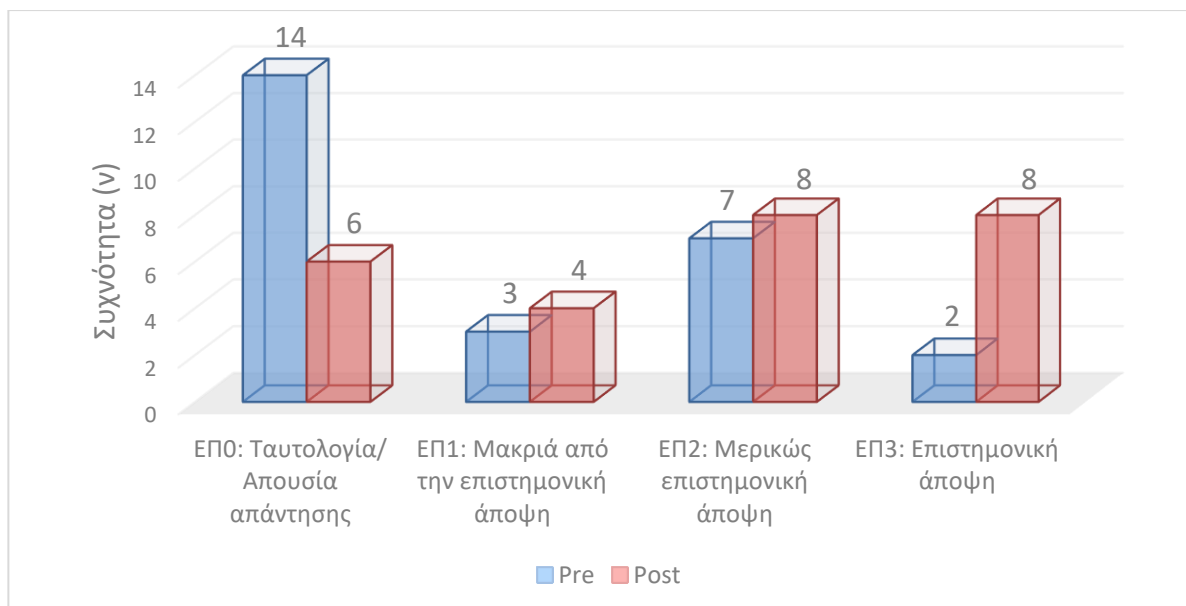
Τα αποτελέσματα της τελικής μελέτης παρουσιάζονται με τη μορφή γραφημάτων συχνότητας, όπως διαμορφώθηκαν μετά την ταξινόμησή τους σε κατηγορίες. Τα γραφήματα αυτά δημιουργήθηκαν με τη χρήση του προγράμματος Microsoft Excel 2016. Επιπλέον στα ερωτήματα τα οποία μελετάται η μεταβολή των αντιλήψεων των μαθητών, δηλαδή στα ερωτήματα για τα οποία έχουμε αποτελέσματα από την αρχική και την τελική μέτρηση, καταγράφονται τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης Wilcoxon σχετικά με την ύπαρξη ή όχι στατιστικά σημαντικής διαφοράς της αρχικής με την τελική γνωστική κατάσταση των μαθητών. Χρησιμοποιήθηκε μη παραμετρική διαδικασία, καθώς το μέγεθος του δείγματος ήταν πολύ μικρό για να παρουσιάζει κανονική κατανομή.

4.2.1. Ε.Ε.Τ.1: Μεταβλήθηκαν οι αντιλήψεις των μαθητών σχετικά με την Νανοεπιστήμη – Νανοτεχνολογία μετά την αλληλεπίδρασή τους με το εκπαιδευτικό υλικό;

Όπως αναφέρθηκε στην ενότητα (2.2.6) το πρώτο ερευνητικό ερώτημα της τελικής εφαρμογής επιμερίστηκε σε οκτώ υποερωτήματα.

4.2.1.1. Ε.Ε.Τ.1.1: Μεταβλήθηκε η νοηματοδότηση που απέδιδαν οι μαθητές στον όρο «Νανοτεχνολογία»;

Το πρώτο υποερώτημα της τελικής εφαρμογής (Ε.Ε.Τ.1.1) αφορά την μεταβολή της νοηματοδότησης που απέδιδαν στην έννοια της νανοτεχνολογίας οι μαθητές στην τελική μέτρηση σε σχέση με την αρχική.



Γράφημα 10: Μεταβολή της νοηματοδότησης της Ν-ΕΤ

Σύμφωνα με το γράφημα (10), η μεγαλύτερη μεταβολή παρατηρήθηκε στο επίπεδο μηδέν, το οποίο περιλάμβανε τις ταυτολογίες και την απουσία απάντησης. Πριν την πραγματοποίηση της δραστηριότητας 14 από τους μαθητές κατατάχθηκαν στο ΕΠ0, ενώ μετά την πραγματοποίηση 6 μαθητές καταχωρήθηκαν στο ίδιο επίπεδο. Ενδεικτικές απαντήσεις του ΕΠ0 ήταν οι εξής: «Μ18 – Πριν, δεν γνωρίζω», «Μ24 – Μετά, μικρή τεχνολογία».

Η επόμενη μεγαλύτερη μεταβολή εντοπίστηκε στο επίπεδο τρία, δηλαδή στις απαντήσεις που συμφωνούσαν με την επιστημονική άποψη. Καθώς πριν την εφαρμογή 2 μαθητές ταξινομήθηκαν εδώ, μετά την εφαρμογή ο αριθμός τους αυξήθηκε στους 8. Παράδειγμα απάντησης του ΕΠ3 ήταν το εξής: «Μ14 – Μετά, ...βλέπουμε με το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο και όλα φαίνονται ασπρόμαυρα...».

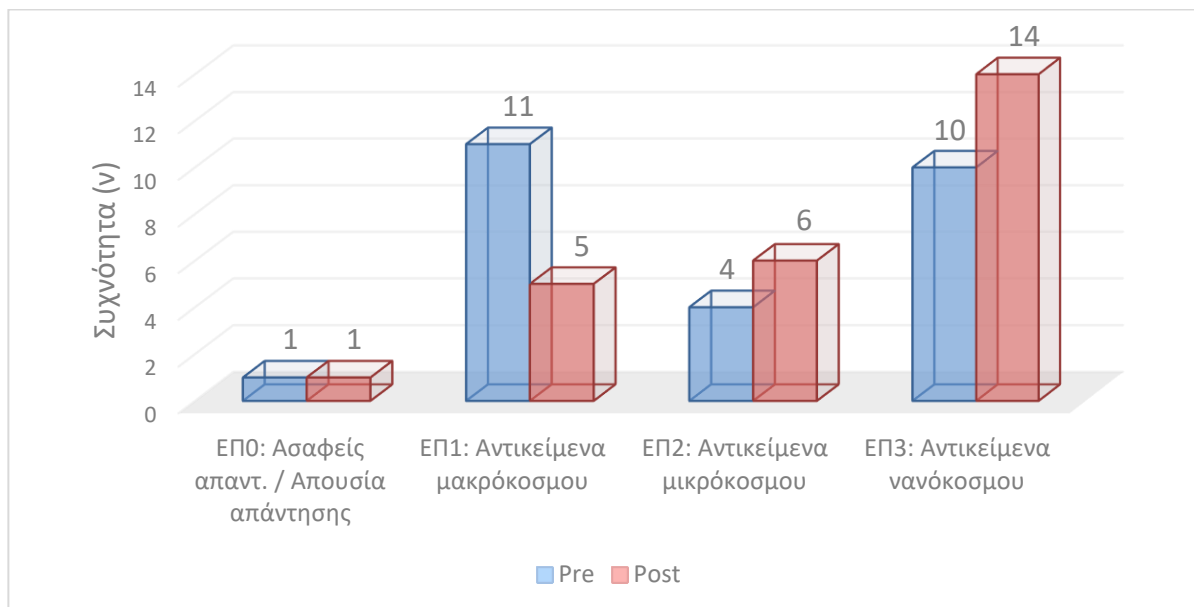
Μικρή μεταβολή πραγματοποιήθηκε στο πρώτο και το δεύτερο επίπεδο. Στο πρώτο επίπεδο, πριν την εφαρμογή καταχωρήθηκαν 3 μαθητές, ενώ μετά ο αριθμός αυξήθηκε στους 4. Χαρακτηριστικό παράδειγμα απάντησης του ΕΠ1 ήταν το εξής: «Μ2 - Μετά, η ετερία επισκέβασε ένα σπρειτ το οποίο το ψεκάξεις στο ρούχο και μετά γίνεται αδιάβροχο».

Στο δεύτερο επίπεδο μετά την εφαρμογή ταξινομήθηκαν 8 απαντήσεις, σε σχέση με τις 7 που είχαν ταξινομηθεί πριν την πραγματοποίηση της δραστηριότητας. Παράδειγμα για το ΕΠ2 ήταν το παρακάτω: «Μ14 - Πριν, είναι η τεχνολογία που είναι σε μικρά κύτταρα και δεν μπορείς να τα δεις με γυμνό μάτι».

Τέλος, βρέθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ της αρχικής και της τελικής γνωστικής κατάστασης των μαθητών ($z = -2,870$, $p = 0,004$).

4.2.1.2. E.E.T.1.2: Μεταβλήθηκαν οι ιδέες των μαθητών για το μικρότερο αντικείμενο που γνώριζαν;

Το δεύτερο υποερώτημα (E.E.T.1.2) απαντήθηκε από την ανάλυση των απαντήσεων του δεύτερου έργου, το οποίο αφορούσε το μικρότερο αντικείμενο που γνώριζαν οι μαθητές.



Γράφημα 11: Μεταβολή των ιδεών των μαθητών για το μικρότερο αντικείμενο που γνώριζαν

Όπως φαίνεται στο γράφημα (11), η μεγαλύτερη μεταβολή παρατηρήθηκε στο πρώτο επίπεδο, το οποίο περιλάμβανε τις απαντήσεις με αντικείμενα του μακρόκοσμου. Πριν την πραγματοποίηση της δραστηριότητας 11 από τους μαθητές κατατάχθηκαν σε αυτό το επίπεδο ενώ μετά ο αριθμός αυτός μειώθηκε στους 5 μαθητές. Ενδεικτικές απαντήσεις του ΕΠ1 ήταν οι εξής: «Μ12 – Πριν, ψύχουλο», «Μ15 – Μετά, κόκος της άμμου».

Η επόμενη μεγαλύτερη μεταβολή εντοπίστηκε στο επίπεδο τρία, δηλαδή στις απαντήσεις που περιείχαν αντικείμενα του νανόκοσμου. Ο αριθμός των μαθητών που ταξινομήθηκαν εδώ πριν την εφαρμογή ήταν 10, μετά την εφαρμογή ο αριθμός τους αυξήθηκε στους 14. Παραδείγματα απαντήσεων του ΕΠ3 ήταν οι εξής: «Μ6 – Πριν, DNA», «Μ13 – Μετά, ιός».

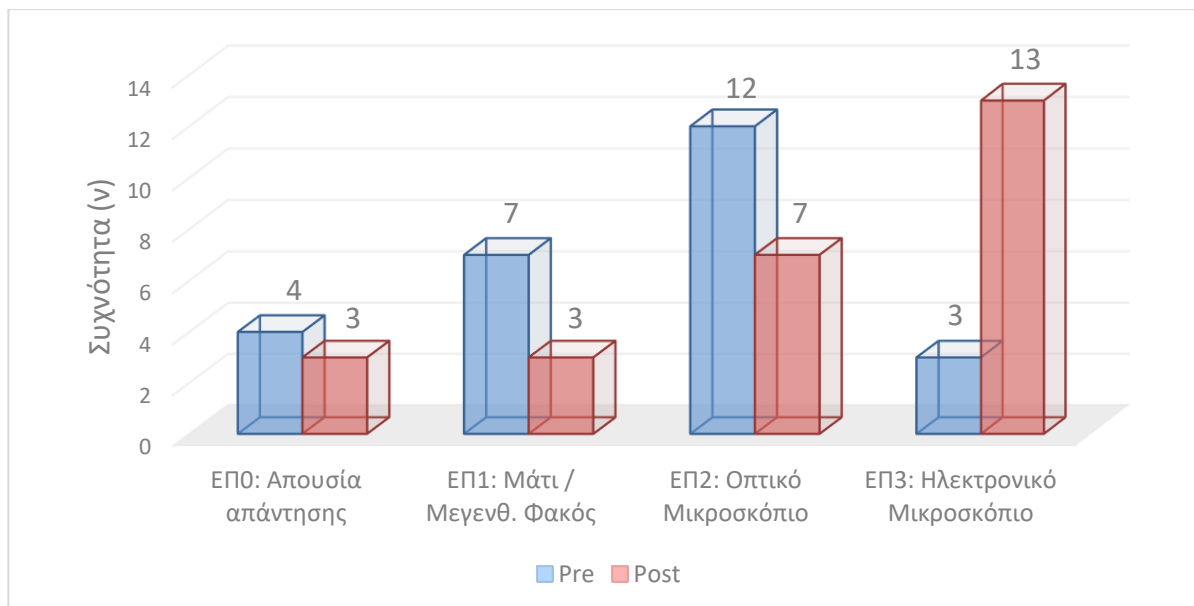
Μικρή μεταβολή πραγματοποιήθηκε στο δεύτερο επίπεδο, που αφορούσε τα αντικείμενα του μικρόκοσμου. Πριν την εφαρμογή οι απαντήσεις που κατατάχθηκαν στο ΕΠ2 ήταν 4, ενώ μετά ο αριθμός αυξήθηκε στις 6. Χαρακτηριστικά παραδείγματα απαντήσεων του ΕΠ2: «Μ20 - Πριν, κύτταρο», «Μ19 - Μετά, αιμοσφαίριο».

Τέλος, στο ΕΠ0 δεν παρατηρήθηκε καμία μεταβολή, αφού πριν και μετά την εφαρμογή ταξινομήθηκε σε αυτό μία μόνο απάντηση. Παράδειγμα για το ΕΠ0 ήταν το παρακάτω: «Μ14 - Πριν, μικρόβια».

Δεν παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ της αρχικής και της τελικής γνωστικής κατάστασης των μαθητών όσον αφορά το μικρότερο αντικείμενο που αυτοί γνώριζαν ($z = -1,637, p = 0,102$).

4.2.1.3. E.E.T.1.3: Μεταβλήθηκαν η γνώση των μαθητών για το όργανο παρατήρησης με το οποίο πίστευαν πως μπορούσαν να παρατηρήσουν το μικρότερο αντικείμενο που γνώριζαν;

Το τρίτο υποερώτημα (E.E.T.1.3) απαντήθηκε μέσα από την επεξεργασία των απαντήσεων των μαθητών στο τρίτο έργο, το οποίο αφορούσε το όργανο παρατήρησης με το οποίο πίστευαν οι μαθητές ότι μπορούν να παρατηρήσουν το μικρότερο αντικείμενο που γνώριζαν.



Γράφημα 12: Μεταβολή των γνώσεων των μαθητών αναφορικά με τα όργανα παρατήρησης

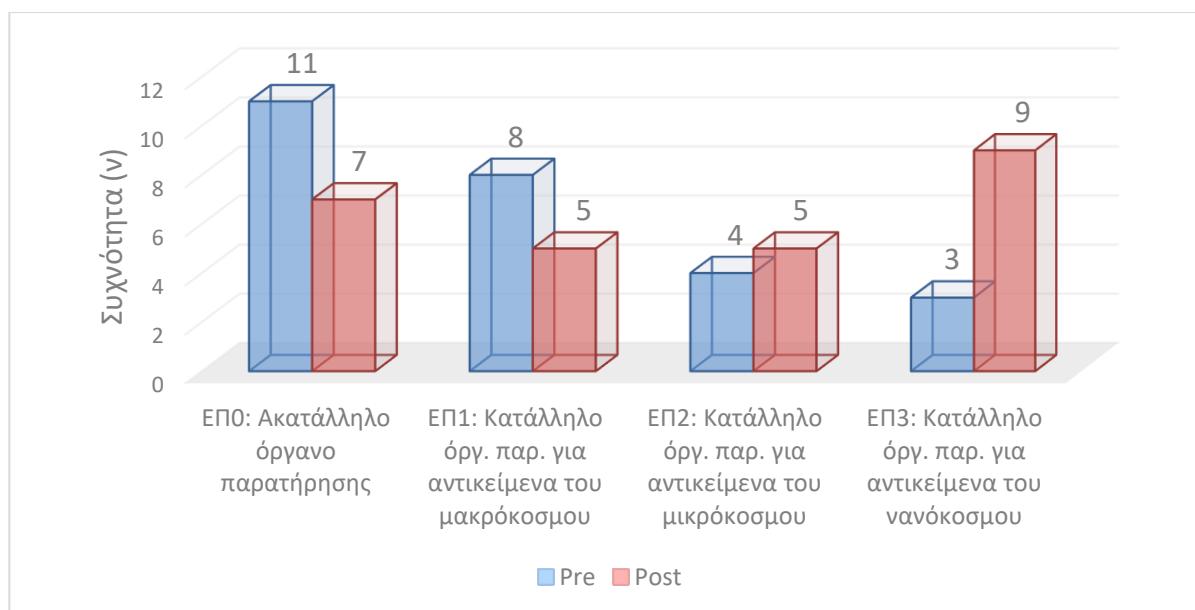
Σύμφωνα με το γράφημα (12), η μεγαλύτερη μεταβολή παρατηρήθηκε στο επίπεδο τρία, το οποίο περιλάμβανε τις απαντήσεις που ανέφεραν το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο. Πριν την πραγματοποίηση της δραστηριότητας κατατάχθηκαν σε αυτό το επίπεδο τρεις (3) μαθητές, ενώ μετά ο αριθμός αυτός αυξήθηκε στους 13 μαθητές.

Η επόμενη μεγαλύτερη μεταβολή εντοπίστηκε στο επίπεδο δύο, στο οποίο κατατάχθηκαν οι μαθητές που απάντησαν «οπτικό μικροσκόπιο». Πριν την εφαρμογή οι απαντήσεις που κατατάχθηκαν στο ΕΠ2 ήταν 12, ενώ μετά ο αριθμός μειώθηκε στις 7. Ακολουθεί το πρώτο επίπεδο, το οποίο περιλάμβανε τις απαντήσεις «μάτι» ή «μεγεθυντικός φακός». Ο αριθμός των μαθητών που ταξινομήθηκαν εδώ πριν την εφαρμογή ήταν 7, ενώ μετά την εφαρμογή ο αριθμός τους μειώθηκε στους 3.

Μικρή μεταβολή πραγματοποιήθηκε στο ΕΠ0, στο οποίο ταξινομήθηκαν οι μαθητές που δεν απάντησαν σε αυτό το έργο. Πριν την εφαρμογή της δραστηριότητας καταχωρήθηκαν σε αυτό 4 απαντήσεις ενώ μετά την εφαρμογή 3. Πρέπει να σημειωθεί ότι, όσον αφορά τα όργανα παρατήρησης, παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ της αρχικής και της τελικής γνωστικής κατάστασης των μαθητών ($z = -2,610$, $p = 0,009$).

4.2.1.4. E.E.T.1.4: Μεταβλήθηκε η συνέπεια των μαθητών στην επιλογή οργάνου παρατήρησης για το μικρότερο αντικείμενο που γνώριζαν;

Η απάντηση στο τέταρτο υποερώτημα (E.E.T.1.4) δόθηκε από την ανάλυση των απαντήσεων που έδωσαν οι μαθητές στο δεύτερο και το τρίτο έργο.



Γράφημα 13: Μεταβολή της συνέπειας των μαθητών μεταξύ οργάνου παρατήρησης και μικρότερου αντικειμένου που γνώριζαν

Όπως φαίνεται στο γράφημα (13), η μεγαλύτερη μεταβολή παρατηρήθηκε στο επίπεδο τρία, το οποίο περιλάμβανε τις απαντήσεις που ανέφεραν αντικείμενο του νανόκοσμου και ταυτόχρονα κάποιο κατάλληλο όργανο για να παρατηρηθεί (πχ. ηλεκτρονικό μικροσκ.). Πριν την πραγματοποίηση της δραστηριότητας κατατάχθηκαν σε αυτό το επίπεδο τρεις (3) μαθητές, ενώ μετά ο αριθμός αυτός αυξήθηκε στους 9 μαθητές. Παράδειγμα συνδυασμού απαντήσεων που ανήκε στο ΕΠ3 ήταν το εξής: «Μ6 – Πριν, α) DNA, β) ηλεκτρονικό μικροσκόπιο».

Η επόμενη μεγαλύτερη μεταβολή εντοπίστηκε στο ΕΠ0, στο οποίο ταξινομήθηκαν οι μαθητές που ανέφεραν όργανο παρατήρησης με το οποίο δεν ήταν δυνατό να παρατηρηθεί το αντικείμενο που είχαν αναφέρει. Πριν την εφαρμογή της δραστηριότητας οι απαντήσεις του ΕΠ0 ήταν 11 ενώ μετά την εφαρμογή ήταν 7. Παράδειγμα για το ΕΠ0 ήταν το παρακάτω: «Μ2 - Πριν, α) μπάλα ποδοσφαίρου, β) μυρμήγκι».

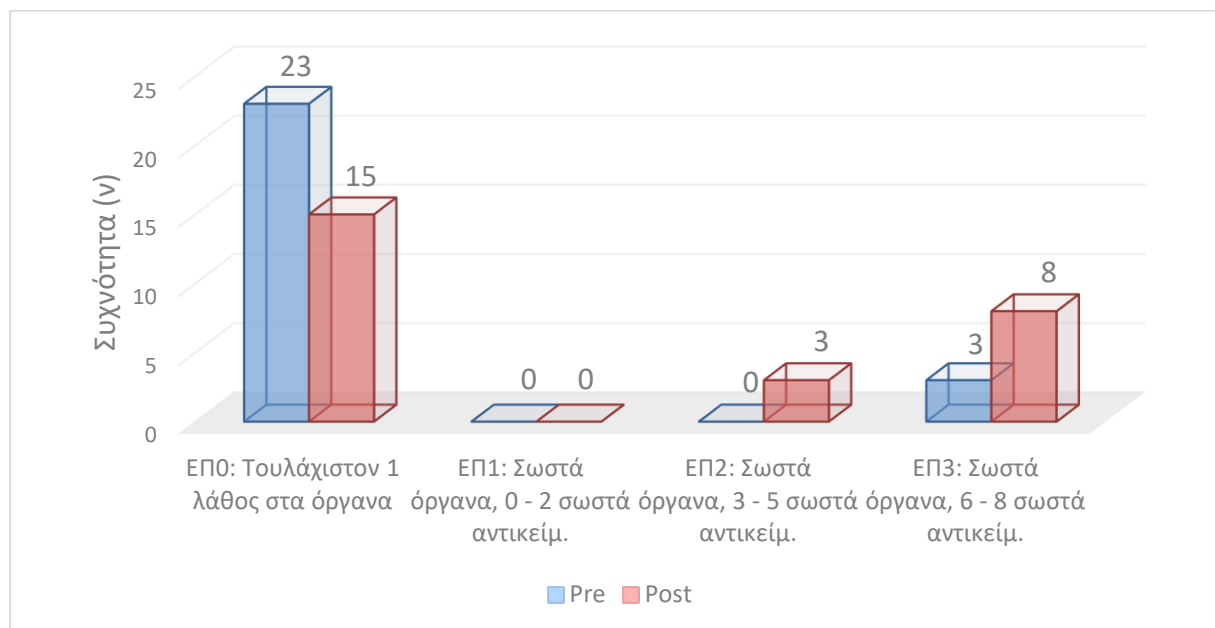
Ακολουθεί το πρώτο επίπεδο, το οποίο περιλάμβανε αντικείμενα του μακρόκοσμου και το κατάλληλο όργανο για να παρατηρηθούν. Ο αριθμός των μαθητών που ταξινομήθηκαν εδώ πριν την εφαρμογή ήταν 8, ενώ μετά την εφαρμογή ο αριθμός τους μειώθηκε στους 5. Ενδεικτική απάντηση του ΕΠ1 ήταν η εξής: «Μ12 – Μετά, α) ψύχουλο», β) *μεγεθυντικό φακό*».

Μικρή μεταβολή παρατηρήθηκε στο επίπεδο δύο, στο οποίο κατατάχθηκαν οι μαθητές που ανέφεραν αντικείμενο του μικρόκοσμου και κατάλληλο όργανο παρατήρησης (οπτικό ή ηλεκτρονικό μικροσκόπιο). Πριν την εφαρμογή οι απαντήσεις του ΕΠ2 ήταν 12, ενώ μετά ο αριθμός μειώθηκε στις 7. Π.χ. «Μ19 - Μετά, α) *αιμοσφαίριο* β) *ηλεκτρονικό μικροσκόπιο*».

Στα δεδομένα αυτά παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ της αρχικής και της τελικής γνωστικής κατάστασης των μαθητών ($z = -2,223$, $p = 0,026$).

4.2.1.5. E.E.T.1.5: Μεταβλήθηκε η δεξιότητα των μαθητών στην ταξινόμηση αντικειμένων διαφορετικών μεγεθών με κριτήριο το όργανο παρατήρησης;

Το πέμπτο ερευνητικό υποερώτημα (E.E.T.1.5) απαντήθηκε με την χρήση και την ανάλυση των δεδομένων που λήφθηκαν από το τέταρτο έργο του ερωτηματολογίου, το οποίο στόχευε στην εξακρίβωση της δεξιότητας της ταξινόμησης των μαθητών πριν και μετά από την τελική εφαρμογή.



Γράφημα 14: Μεταβολή της δεξιότητας ταξινόμησης αντικειμένων διαφορετικών μεγεθών

Σύμφωνα με το γράφημα (14), η μεγαλύτερη μεταβολή παρατηρήθηκε στο επίπεδο μηδέν, το οποίο περιλάμβανε απαντήσεις με τουλάχιστον ένα λάθος στα όργανα παρατήρησης. Πριν την πραγματοποίηση της δραστηριότητας, κατατάχθηκαν στο ΕΠ0 οι 23 από τους 26 μαθητές, ενώ μετά την πραγματοποίηση ο αριθμός αυτός μειώθηκε στους 15.

Η επόμενη μεγαλύτερη μεταβολή εντοπίστηκε στο επίπεδο τρία, δηλαδή στις απαντήσεις που είχαν έξι έως οκτώ σωστά αντικείμενα και ταυτόχρονα σωστό όργανο παρατήρησης. Ο αριθμός των μαθητών που ταξινομήθηκαν εδώ πριν την εφαρμογή ήταν 3 και μετά αυξήθηκε στους 8.

Μικρή μεταβολή πραγματοποιήθηκε στο δεύτερο επίπεδο, το οποίο συμπεριλάμβανε απαντήσεις που οι μαθητές ταξινόμησαν σωστά τρία έως πέντε αντικείμενα και ταυτόχρονα διάλεξαν σωστά όργανα παρατήρησης. Στο ΕΠ2 πριν την εφαρμογή δεν καταχωρήθηκε κανένας μαθητής, ενώ μετά καταχωρήθηκαν 3. Στο πρώτο επίπεδο δεν πραγματοποιήθηκε καμία μεταβολή, καθώς δεν κατατάχθηκε σε αυτό κάποια απάντηση ούτε πριν, ούτε μετά την εφαρμογή.

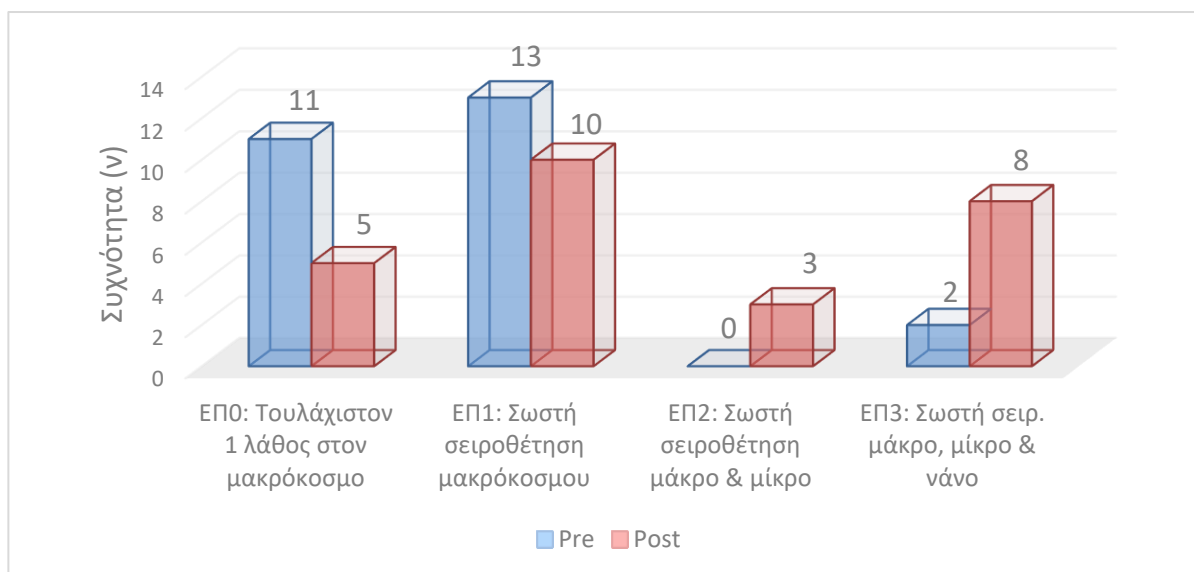
Στα ποιοτικά δεδομένα παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ της αρχικής και της τελικής γνωστικής κατάστασης των μαθητών ($z = -2,598$, $p = 0,009$).

Όσον αφορά τα ποσοτικά δεδομένα, βρέθηκε ότι η μέση βαθμολογία των μαθητών πριν την εφαρμογή της δραστηριότητας ήταν $B = 61,6$ με τυπική απόκλιση $= 16,6$ και εύρος $= 69,2$. Μετά την εφαρμογή η βαθμολογία τους αυξήθηκε, $B = 77,7$ με τυπική απόκλιση $= 15,3$ και εύρος $= 46,2$.

Στα ποσοτικά δεδομένα, όπως και στα ποιοτικά, βρέθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ της αρχικής και της τελικής βαθμολογίας ($z = -4,132$, $p = 0,000$).

4.2.1.6. E.E.T.1.6: Μεταβλήθηκε η δεξιότητα των μαθητών στην σειροθέτηση αντικειμένων διαφορετικών μεγεθών;

Η απάντηση στο έκτο υποερώτημα (E.E.T.1.6) δόθηκε από την ανάλυση των δεδομένων του πέμπτου έργου, το οποίο περιλάμβανε σειροθέτηση αντικειμένων διαφορετικών μεγεθών.



Γράφημα 15: Μεταβολή της δεξιότητας σειροθέτησης αντικειμένων διαφορετικών μεγεθών

Όπως παρουσιάζεται στο γράφημα (15), η μεγαλύτερη μεταβολή παρατηρήθηκε στα επίπεδα μηδέν και τρία. Το επίπεδο μηδέν περιλάμβανε όλες τις απαντήσεις που είχαν τουλάχιστον ένα λάθος στην σειροθέτηση των αντικειμένων του μακρόκοσμου. Πριν την πραγματοποίηση της δραστηριότητας, κατατάχθηκαν στο επίπεδο αυτό 11 μαθητές, ενώ μετά την πραγματοποίηση ο αριθμός αυτός μειώθηκε στους 5. Στο επίπεδο τρία, καταχωρήθηκαν οι απαντήσεις που είχαν σωστή σειροθετημένα τα αντικείμενα του μακρόκοσμου, του μικρόκοσμου και του νανόκοσμου. Ο αριθμός των μαθητών που ταξινομήθηκαν εδώ πριν την εφαρμογή ήταν 2 και μετά αυξήθηκε στους 8.

Σχετικά μικρή μεταβολή πραγματοποιήθηκε στα άλλα δύο επίπεδα, ονομαστικά το πρώτο και το δεύτερο. Το πρώτο περιλάμβανε απαντήσεις που οι μαθητές είχαν σειροθετήσει σωστά μόνο τα αντικείμενα του μακρόκοσμου. Πριν την πραγματοποίηση της δραστηριότητας καταχωρήθηκαν σε αυτό το επίπεδο 13 μαθητές, ενώ μετά την πραγματοποίηση 10 μαθητές. Στο δεύτερο επίπεδο κατατάχθηκαν οι μαθητές που είχαν σειροθετήσει σωστά τα αντικείμενα του μικρόκοσμου και του νανόκοσμου. Στο ΕΠ2 πριν την εφαρμογή δεν καταχωρήθηκε κανένας μαθητής, ενώ μετά την εφαρμογή καταχωρήθηκαν 3.

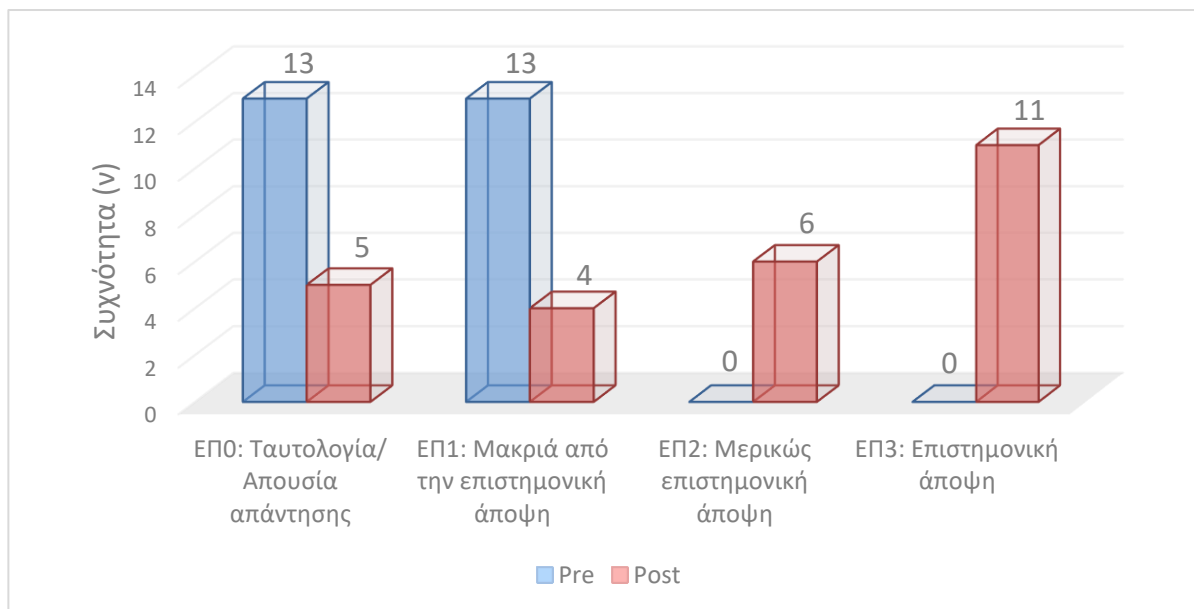
Στα ποιοτικά δεδομένα παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ της αρχικής και της τελικής γνωστικής κατάστασης των μαθητών ($z = -3,109$, $p = 0,002$).

Όσον αφορά τα ποσοτικά δεδομένα, βρέθηκε ότι η μέση βαθμολογία των μαθητών πριν την πραγματοποίηση της δραστηριότητας ήταν $B = 56,2$ με τυπική απόκλιση $= 25,0$ και εύρος $= 88,9$. Μετά την πραγματοποίηση της δραστηριότητας, η μέση βαθμολογία των μαθητών ήταν $B = 83,4$ με τυπική απόκλιση $= 16,4$ και εύρος $= 44,4$.

Στα ποσοτικά δεδομένα, όπως και στα ποιοτικά, βρέθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ της αρχικής και της τελικής βαθμολογίας ($z = -4,106$, $p = 0,000$).

4.2.1.7. E.E.T.1.7: Μεταβλήθηκε η δεξιότητα των μαθητών στην περιγραφή του φαινομένου του λωτού;

Το έβδομο υποερώτημα (E.E.T.1.7) απαντήθηκε με βάση την ανάλυση των δεδομένων του έκτου έργου, το οποίο στόχευε στην εξακρίβωση της δεξιότητας των μαθητών να περιγράφουν το φαινόμενο του λωτού πριν και μετά την τελική εφαρμογή.



Γράφημα 16: Μεταβολή της δεξιότητας περιγραφής του φαινομένου του λωτού

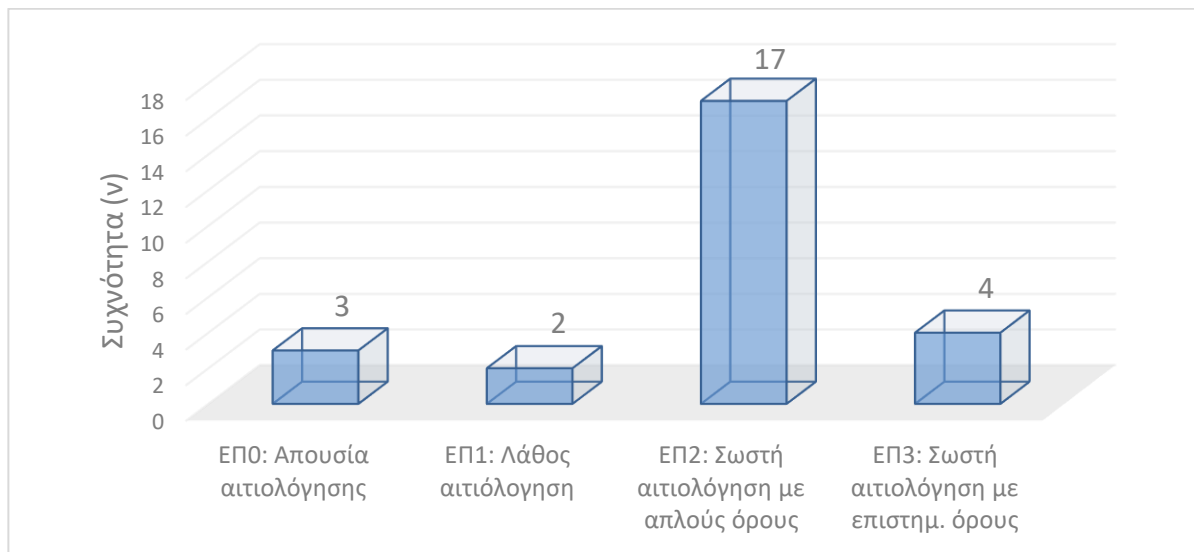
Σύμφωνα με το γράφημα (16), η μεγαλύτερη μεταβολή παρατηρήθηκε στο επίπεδο τρία, το οποίο αντιπροσώπευε την επιστημονική άποψη. Πριν την πραγματοποίηση της δραστηριότητας δεν κατατάχθηκε σε αυτό το επίπεδο κάποιος μαθητής, ενώ μετά κατατάχθηκαν 11 μαθητές. Παράδειγμα απάντησης του ΕΠ3 ήταν η εξής: «M23 – Μετά, γιατί όπως είδαμε στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο στο λάχανο υπάρχουν εξογκώματα ...».

Ακολουθεί το πρώτο επίπεδο, που περιλάμβανε απαντήσεις οι οποίες βρίσκονταν μακριά από την επιστημονική άποψη και συνήθως εκφράζουν κάποια ενναλακτική ιδέα για το φαινόμενο. Ο αριθμός των μαθητών που ταξινομήθηκαν εδώ πριν την εφαρμογή ήταν 13, ενώ μετά την εφαρμογή ο αριθμός τους μειώθηκε στους 4. Ενδεικτική απάντηση του ΕΠ1 ήταν η εξής: «Μ11 – Μετά, το νερό γίνεται έτσι επειδή το λάχανο είναι υδρόφυλο». Η επόμενη μεγαλύτερη μεταβολή εντοπίστηκε στο ΕΠ0, στο οποίο ταξινομήθηκαν οι μαθητές που απάντησαν με ταυτολογία, απάντησαν ότι δεν γνωρίζουν ή δεν απάντησαν καθόλου. Πριν την εφαρμογή της δραστηριότητας οι απαντήσεις του ΕΠ0 ήταν 13 ενώ μετά την εφαρμογή ο αριθμός τους μειώθηκε στις 5.

Τέλος, η μικρότερη μεταβολή παρατηρήθηκε στο επίπεδο δύο, στο οποίο κατατάχθηκαν οι απαντήσεις των μαθητών στις οποίες περιγραφόταν το εν λόγω φαινόμενο, χωρίς να αναφέρεται ο καθοριστικός ρόλος της ναυτοκλίμακας στο φαινόμενο αυτό. Πριν την εφαρμογή δεν καταχωρήθηκαν απαντήσεις στο ΕΠ2, ενώ μετά την εφαρμογή καταχωρήθηκαν 6 απαντήσεις. Π.χ. «Μ19 - Μετά, γιατί η επιφάνεια του λάχανου είναι τραχιά και οι σταγόνες κάθονται εκεί και προσαρμόζονται». Στα δεδομένα αυτά παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ της αρχικής και της τελικής γνωστικής κατάστασης των μαθητών ($z = -3,671$, $p = 0,000$).

4.2.1.8. E.E.T.1.8: Πόσο ικανοί ήταν οι μαθητές στην αιτιολόγηση;

Η απάντηση στο όγδοο υποερώτημα (E.E.T.1.8) δόθηκε από την ανάλυση των απαντήσεων των μαθητών στο δεύτερο ερώτημα της ερευνητικής αναφοράς.



Γράφημα 17: Δεξιότητα αιτιολόγησης

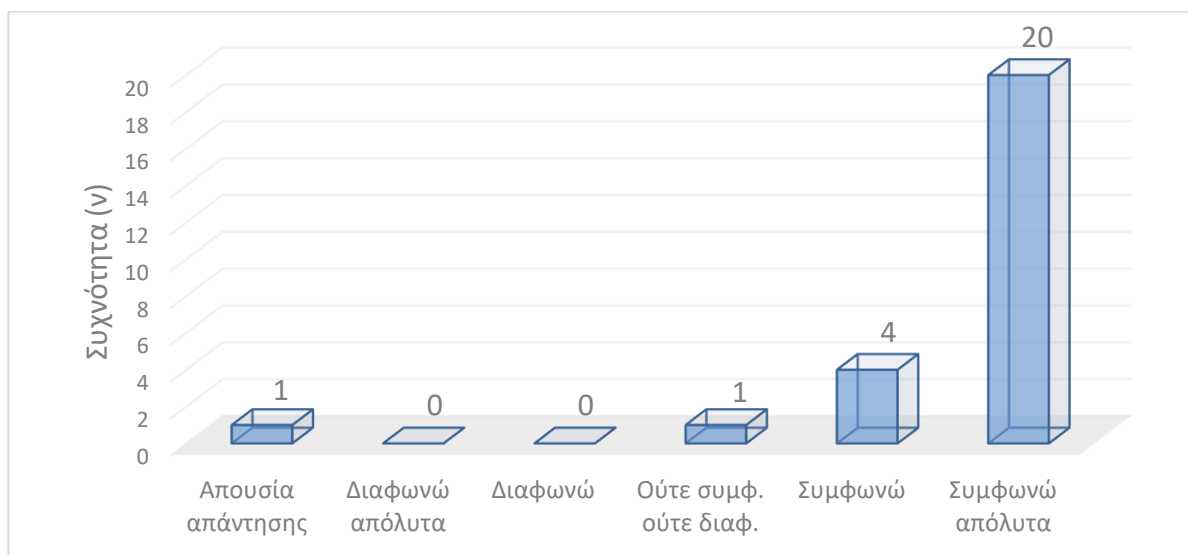
Σύμφωνα με το γράφημα (17), οι περισσότερες απαντήσεις των μαθητών κατατάχθηκαν στο επίπεδο 2, δηλαδή αιτιολόγησαν σωστά χωρίς όμως την χρήση επιστημονικών όρων. Παράδειγμα τέτοιας απάντησης ήταν η εξής: «Μ21, τον φύλακα γιατί μπορούσε να μπει επειδή είχε αδιάβροχη φόρμα...». Οι απαντήσεις τεσσάρων μαθητών κατατάχθηκαν στο ανώτερο επίπεδο. Π.χ. «Μ13, Νομίζω ότι ο Bill White είναι ο πιο ύποπτος διότι είπε ψέματα ότι είναι αδύνατον να μπει στο γραφείο. Επίσης η φόρμα του ήταν ψεκασμένη από το αδιάβροχο σπρεϊ οστε να μην λυποθυμάει από το ανεστιακό υγρό». Τέλος, τρεις μαθητές δεν απάντησαν στην ερώτηση και δύο μαθητές καταχωρήθηκαν στο επίπεδο 1, καθώς απάντησαν ως εξής: «Μ5, τον φύλακα γιατί ... και μόνο που μήλισε και είπε τα μυστικά του γραφείου φαίνεται».

4.2.2. Ε.Ε.Τ.2: Ποιες ήταν οι απόψεις των μαθητών για το εκπαιδευτικό υλικό μετά την αλληλεπίδραση μαζί του;

Όπως αναφέρθηκε στην ενότητα (2.2.6) το δεύτερο ερευνητικό ερώτημα της τελικής εφαρμογής επιμερίστηκε σε πέντε υποερωτήματα.

4.2.2.1. Ε.Ε.Τ.2.1: Πόσο ενδιαφέρουσα βρήκαν οι μαθητές την παρέμβαση;

Η απάντηση στο Ε.Ε.Τ.2.1 δόθηκε από το πρώτο υποερώτημα (1.1) του πρώτου έργου του ερωτηματολογίου απόψεων.

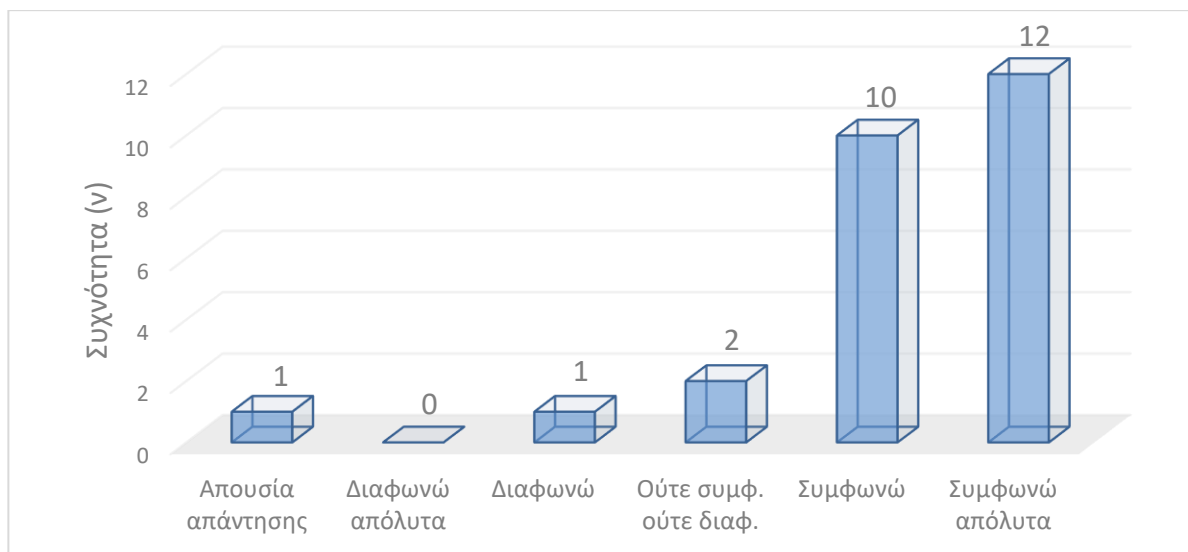


Γράφημα 18: Απόψεις των μαθητών για την παρέμβαση

Σύμφωνα με το γράφημα 18, η πλειοψηφία των απαντήσεων των μαθητών συμφωνούσε απόλυτα με την πρόταση του ερωτηματολογίου «Η δραστηριότητα συνολικά ήταν ευχάριστη και μου άρεσε η ενασχόληση μαζί της». Τέσσερις μαθητές συμφωνούσαν με τη πρόταση αυτή, ένας μαθητής ούτε συμφωνούσε ούτε διαφωνούσε και τέλος ένας μαθητής δεν απάντησε.

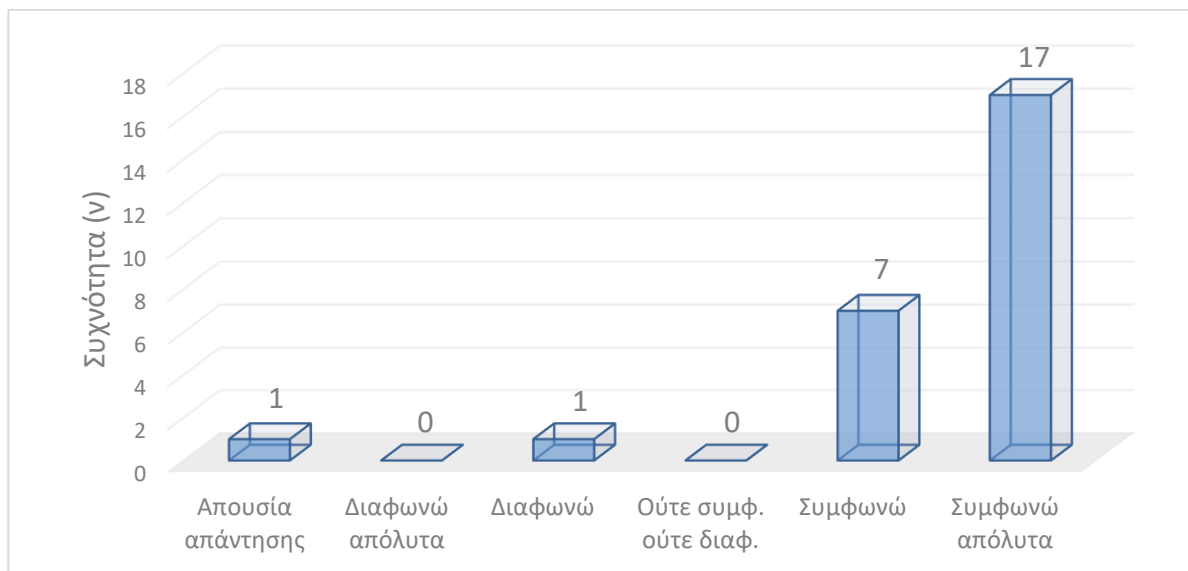
4.2.2.2. Ε.Ε.Τ.2.2: Πόσο ενδιαφέροντα βρήκαν οι μαθητές τα επιμέρους στοιχεία της παρέμβασης;

Το Ε.Ε.Τ.2.2 απαντήθηκε από τέσσερα υποερωτήματα του πρώτου έργου (1.2, 1.3, 1.4 & 1.5).



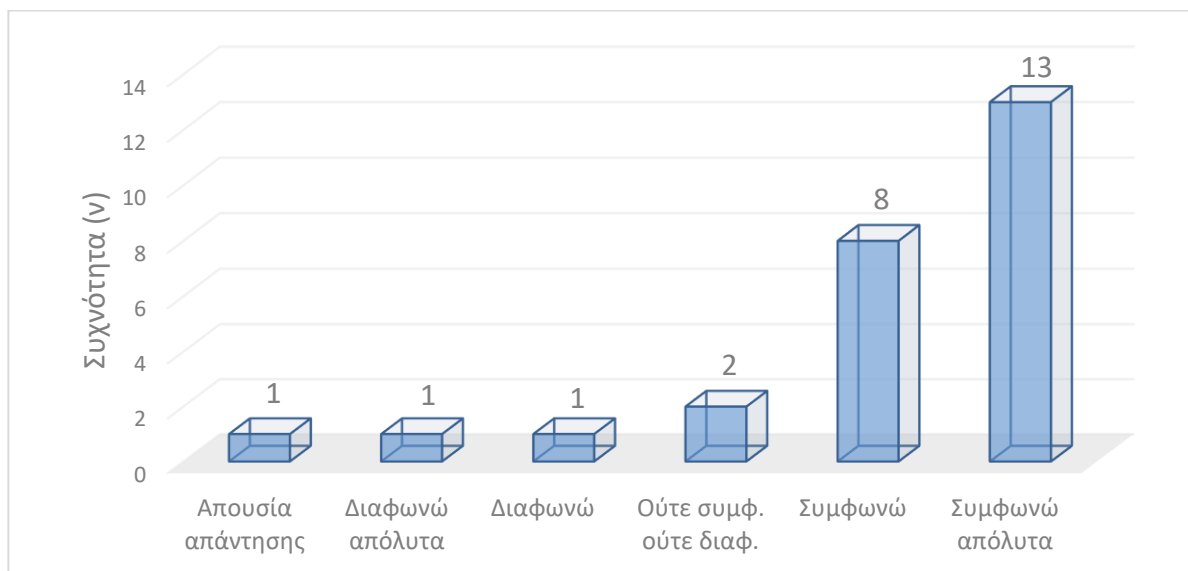
Γράφημα 19: Απόψεις των μαθητών για το περιεχόμενο της δραστηριότητας

Στο γράφημα 19 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του δεύτερου υποερωτήματος του πρώτου έργου που αποτελούνταν από την πρόταση «*Βρήκα ενδιαφέρον ότι έμαθα για την ναυοτεχνολογία*». Οι περισσότεροι μαθητές συμφωνούσαν απόλυτα ή συμφωνούσαν με αυτήν την πρόταση. Δύο μαθητές ούτε συμφωνούσαν ούτε διαφωνούσαν, ένας μαθητής διαφωνούσε και ένας άλλος δεν έδωσε καμία απάντηση.



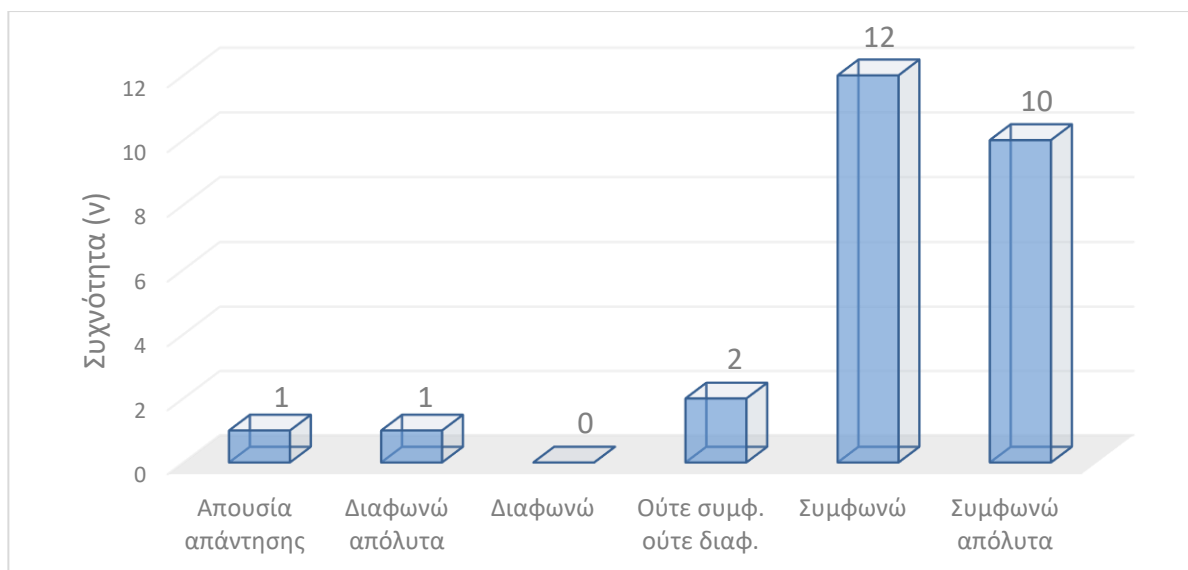
Γράφημα 20: Απόψεις των μαθητών για το πλαίσιο της δραστηριότητας

Το τρίτο υποερώτημα του πρώτου έργου περιείχε την εξής πρόταση: «*Βρήκα ενδιαφέρον ότι έπαιξα τον ρόλο του ντεντέκτιβ*». Σύμφωνα με το γράφημα 20, οι περισσότεροι μαθητές συμφωνούσαν απόλυτα ή συμφωνούσαν με αυτήν την πρόταση. Ένας μαθητής διαφωνούσε και ένας μαθητής δεν έδωσε καμία απάντηση.



Γράφημα 21: Απόψεις των μαθητών για τα πειράματα που πραγματοποίησαν

Τα αποτελέσματα του τέταρτου υποερωτήματος του πρώτου έργου, «*Βρήκα ενδιαφέρον ότι εκτέλεσα πειράματα*» παρουσιάζονται στο γράφημα (21). Οι περισσότεροι μαθητές συμφωνούσαν απόλυτα ή συμφωνούσαν με την πρόταση αυτή. Δύο μαθητές ούτε συμφωνούσαν ούτε διαφωνούσαν, δύο άλλοι μαθητές είτε διαφωνούσαν είτε διαφωνούσαν απόλυτα και τέλος ένας μαθητής δεν έδωσε καμία απάντηση.

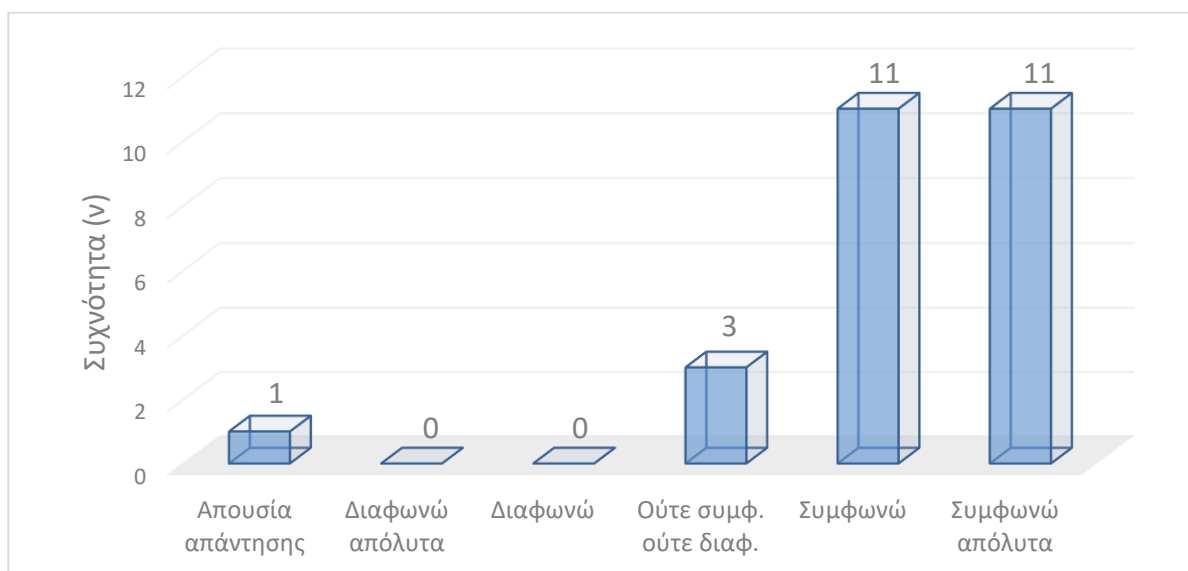


Γράφημα 22: Απόψεις των μαθητών για την αλληλεπίδρασή τους με τις απτικές διεπαφές

Στο γράφημα (22) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του πέμπτου υποερωτήματος του πρώτου έργου: «*Βρήκα ενδιαφέρον ότι αλληλοεπιδρούσα με τον ΗΥ με τη χρήση του σώματός μου*». Οι περισσότεροι μαθητές συμφωνούσαν απόλυτα ή συμφωνούσαν με την πρόταση αυτή. Δύο μαθητές ούτε συμφωνούσαν ούτε διαφωνούσαν, ένας μαθητής διαφωνούσε απόλυτα και τέλος ένας μαθητής δεν έδωσε καμία απάντηση.

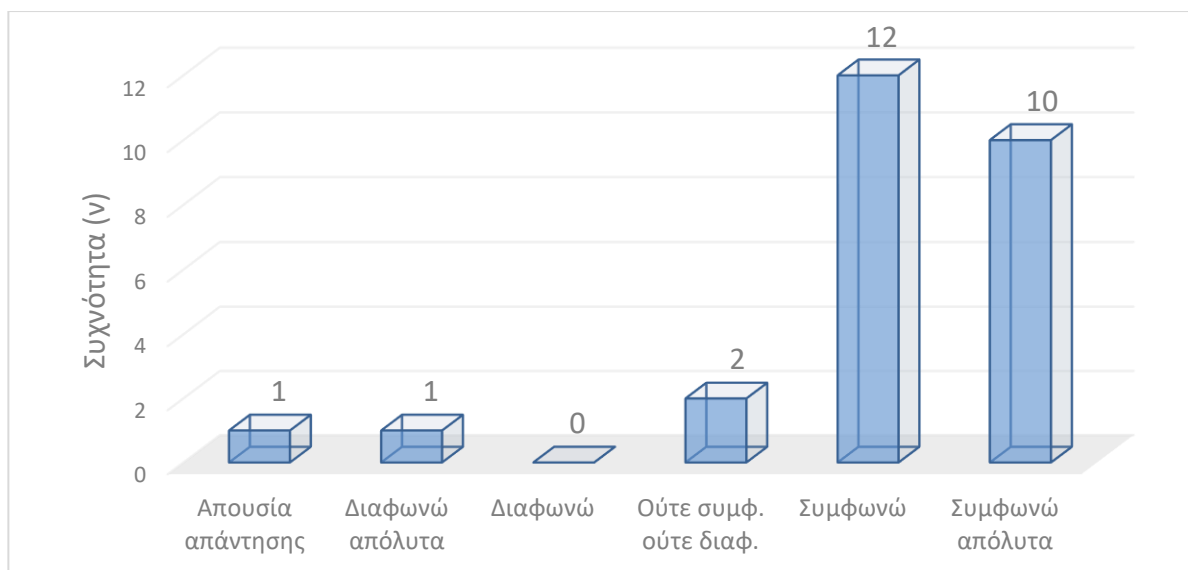
4.2.2.3. E.E.T.2.3: Πως αξιολόγησαν την παρέμβαση σε σχέση με τον παραδοσιακό τρόπο μάθησης;

Η απάντηση στο E.E.T.2.3 δόθηκε από τρία υποερωτήματα του πρώτου έργου του ερωτηματολογίου απόψεων (1.6, 1.7 & 1.9).



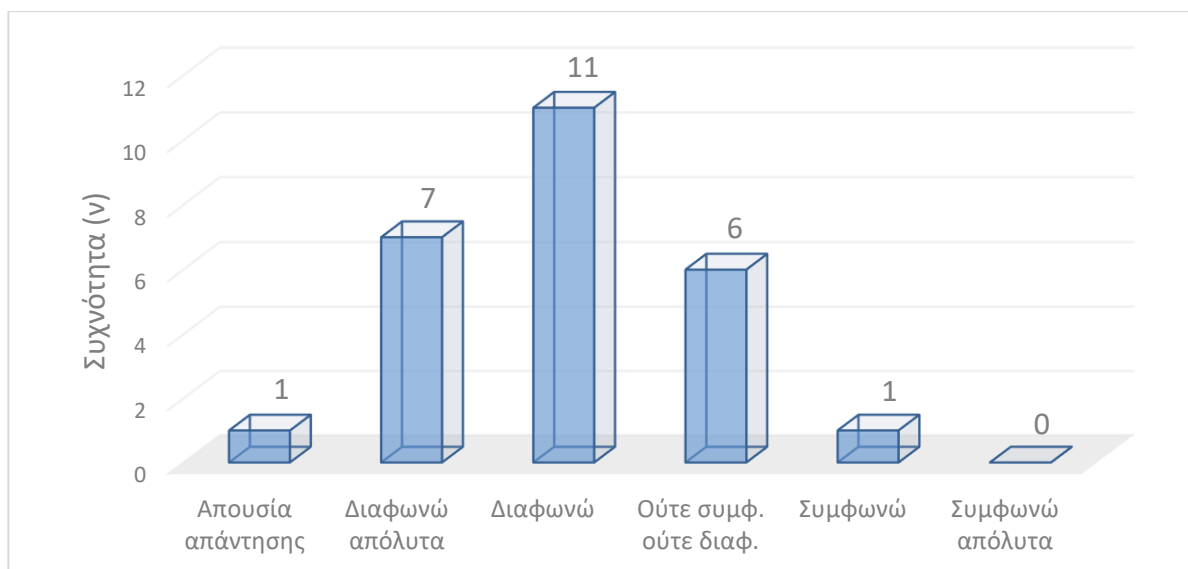
Γράφημα 23: Απόψεις των μαθητών για την ευκολία εκμάθησης μέσω της παρέμβασης σε σχέση με παραδοσιακή διδασκαλία

Στο γράφημα (23) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του υποερωτήματος 1.6: «*Η δραστηριότητα συνολικά προσφέρει ένα πιο εύκολο τρόπο μάθησης από τον παραδοσιακό*». Οι περισσότεροι μαθητές συμφωνούσαν απόλυτα ή συμφωνούσαν με αυτήν την πρόταση. Δύο μαθητές ούτε συμφωνούσαν ούτε διαφωνούσαν, ένας μαθητής διαφωνούσε και ένας άλλος δεν έδωσε καμία απάντηση.



Γράφημα 24: Απόψεις των μαθητών για την ταχύτητα εκμάθησης μέσω της παρέμβασης σε σχέση με παραδοσιακή διδασκαλία

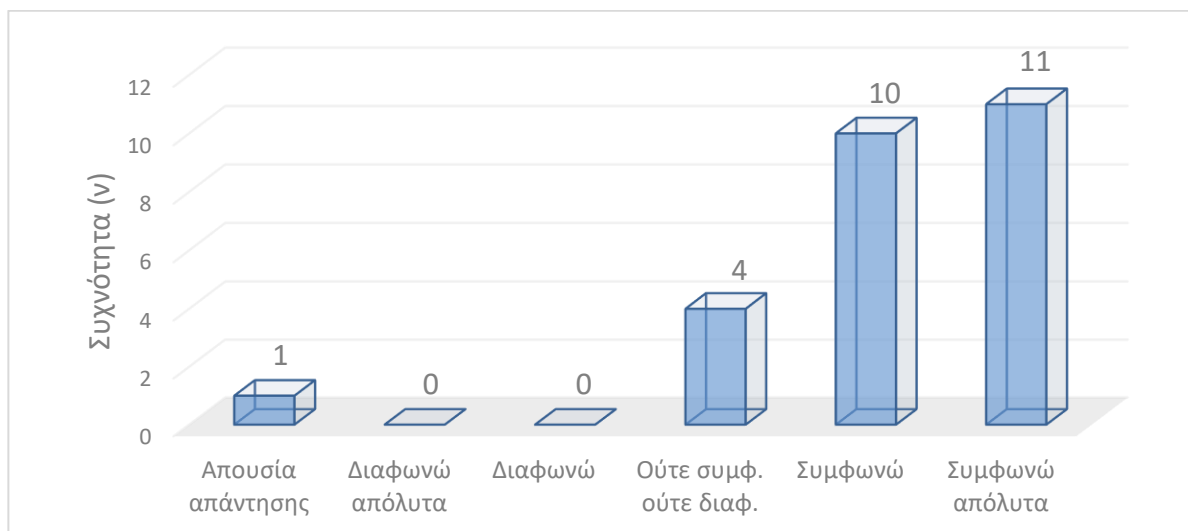
Στο γράφημα (24) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του υποερωτήματος 1.7, το οποίο αποτελούνταν από την πρόταση «*Η δραστηριότητα συνολικά με βοήθησε να μάθω πιο γρήγορα από τον παραδοσιακό τρόπο*». Οι περισσότεροι μαθητές συμφωνούσαν απόλυτα ή συμφωνούσαν με την πρόταση αυτή. Δύο μαθητές ούτε συμφωνούσαν ούτε διαφωνούσαν, ένας μαθητής διαφωνούσε απόλυτα και τέλος ένας μαθητής δεν έδωσε καμία απάντηση.



Γράφημα 25: Απόψεις των μαθητών για την μάθηση μέσω της παρέμβασης σε σχέση με την παραδοσιακή διδασκαλία

Στο γράφημα (25) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του υποερωτήματος 1.9, που αποτελούνταν από την πρόταση «*Προτιμώ τον παραδοσιακό τρόπο μάθησης γιατί μαθαίνω περισσότερα με αυτόν*». Οι περισσότεροι μαθητές διαφωνούσαν απόλυτα ή διαφωνούσαν με αυτήν την πρόταση. Έξι μαθητές ούτε συμφωνούσαν ούτε διαφωνούσαν, ένας μαθητής συμφωνούσε και ένας άλλος δεν έδωσε καμία απάντηση.

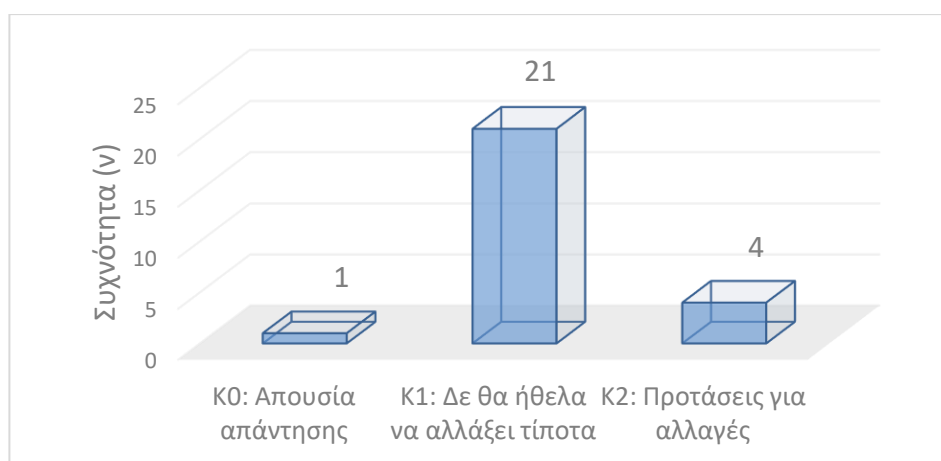
4.2.2.4. E.E.T.2.4: Θα ήθελαν οι μαθητές να τους προσφέρονται ανάλογες παρεμβάσεις στα πλαίσια της τοπικής τους εκπαίδευσης;



Γράφημα 26: Απόψεις των μαθητών για το ενδεχόμενο ανάλογων παρεμβάσεων στα πλαίσια της τοπικής τους εκπαίδευσης

Τα αποτελέσματα του υποερωτήματος 1.8, «Θα ήθελα οι δάσκαλοι μου να μου προσφέρουν αντίστοιχες δραστηριότητες για να μάθω», παρουσιάζονται στο γράφημα (26). Οι περισσότεροι μαθητές συμφωνούσαν απόλυτα ή συμφωνούσαν με αυτήν την πρόταση. Τέσσερις μαθητές ούτε συμφωνούσαν ούτε διαφωνούσαν και ένας μαθητής δεν απάντησε.

4.2.2.5. E.E.T.2.5: Θα ήθελαν οι μαθητές να διαφοροποιηθεί κάποιο στοιχείο της παρέμβασης;



Γράφημα 27: Απόψεις των μαθητών για βελτιωτικές αλλαγές στην παρούσα παρέμβαση

Όπως παρουσιάζεται στο γράφημα (27), οι περισσότερες απαντήσεις των μαθητών κατατάχθηκαν στην κατηγορία ένα, δηλαδή υποστήριζαν ότι δεν ήθελαν να αλλάξουν τίποτα στην παρέμβαση. Χαρακτηριστικές τέτοιες απαντήσεις ήταν οι εξής: «M2, δε θα ήθελα να αλλάξω κάτι γιατί μου άρεσε», «M20, τίποτα όλα τέλεια και καταπληκτικά». Οι απαντήσεις τεσσάρων μαθητών ταξινομήθηκαν στην δεύτερη κατηγορία, καθώς περιείχαν κάποια πρόταση για αλλαγή. Χαρακτηριστικό παράδειγμα ήταν το εξής: «M15, ... θα πρόσθετα κάτι! Όταν έλεγαν τις δικαιολογίες των υπόπτων να ερχόντουσαν μέσα σαν άνθρωποι και να λέγαμε στον διαρκή ότι θα μπει φυλακή». Τέλος, ένας μαθητής δεν απάντησε στο συγκεκριμένο ερώτημα.

5. Συζήτηση

Τα αποτελέσματα της έρευνας συζητήθηκαν σε σύγκριση με τη διεθνή βιβλιογραφία με στόχο τη βελτίωση των γνώσεων για τη μάθηση σχετικά με το φαινόμενο του λωτού αλλά και με τη νανοτεχνολογία γενικότερα. Τα συμπεράσματα που εξήχθησαν για την πιλοτική εφαρμογή χρησιμοποιήθηκαν για τη βελτίωση πολλών πτυχών του εκπαιδευτικού υλικού και της παρέμβασης, ενώ τα συμπεράσματα της τελικής μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την περαιτέρω βελτίωση του υλικού αλλά και την επέκτασή του και σε άλλα αντικείμενα της N-ET αλλά και της επιστήμης γενικότερα.

5.1. Πιλοτική Εφαρμογή

5.1.1. Αποτίμηση μαθησιακών αποτελεσμάτων (Ε.Ε.Π.1)

Η αποτίμηση των μαθησιακών αποτελεσμάτων των μαθητών έγινε με την χρήση των αποτελεσμάτων του γραπτού ερωτηματολογίου, το οποίο συμπληρώθηκε από τους μαθητές μετά την συμμετοχή τους στην πιλοτική έρευνα. Οι επιδόσεων των μαθητών στην πιλοτικής εφαρμογής συγκρίθηκαν με τις επιδόσεις των μαθητών στην τελική αλλά και με άλλες αντίστοιχες έρευνες (Πείκος, 2016· Τασσοπούλου, 2017). Παρατηρήθηκε ότι σε γενικές γραμμές οι μαθητές είχαν καλύτερη κατανόηση του περιεχομένου της N-ET από μαθητές που δεν είχαν διδαχθεί για αυτό το περιεχόμενο, όμως δεν είχαν κατανοήσει το περιεχόμενο το ίδιο καλά με μαθητές που το είχαν διδαχθεί. Πρέπει να αναφερθεί ότι παρατηρήθηκαν πολύ μεγάλες ομοιότητες μεταξύ των απαντήσεων των μαθητών, όσον αφορά την πιλοτική εφαρμογή και καθώς ο ερευνητής δεν ήταν παρών κατά τη συλλογή των δεδομένων της πιλοτικής εφαρμογής, τίθεται σε ερώτημα η ακεραιότητα της διαδικασίας συλλογής δεδομένων. Τα επιμέρους στοιχεία της N-ET που μελετηθήκαν θα συζητηθούν αναλυτικά παρακάτω.

5.1.1.1. Νοηματοδότηση του όρου «Νανοτεχνολογία» (Ε.Ε.Π.1.1)

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, η πλειοψηφία των μαθητών συνέδεσε τον όρο «νανοτεχνολογία» με μία από τις Μεγάλες Ιδέες τις N-ET [Μ.Ι.1: Μέγεθος και Κλίμακα ή Μ.Ι.7: Εργαλεία και Όργανα Παρατήρησης]. Οι περισσότερες απαντήσεις συνδέθηκαν με την Μ.Ι.1, γεγονός το οποίο συμβαδίζει με τα αποτελέσματα αντίστοιχων ερευνών που πραγματοποιήθηκαν στην Ελλάδα (Πείκος, 2016· Τασσοπούλου, 2017), όμως όχι και με έρευνες που πραγματοποιήθηκαν στο εξωτερικό [ΗΠΑ] (Castellini et al., 2007· Spencer & Angelotti, 2004· Waldron et al., 2006). Ένας παράγοντας που θα μπορούσε να ευθύνεται για αυτήν την απόκλιση είναι η γλώσσα. Το πρώτο συνθετικό της λέξης «νανοτεχνολογία» [νανο] είναι ελληνικής προέλευσης και συνδέεται με το μέγεθος, το οποίο μπορεί να επηρέασε τους μαθητές, όπως έχει ήδη προταθεί (Πείκος, 2016).

Επιπλέον, παρατηρήθηκε ότι μόλις ένας μαθητής χρησιμοποίησε επιστημονικούς όρους στην απάντησή του. Αυτό ίσως συνέβη επειδή στην παρέμβαση της πιλοτικής εφαρμογής δεν διδάχθηκε ο διαχωρισμός της κλίμακας σε κόσμους [μακρόκοσμος, μικρόκοσμος, νανόκοσμος] και η σύνδεσή τους με τα αντίστοιχα αντικείμενα αναφοράς και όργανα παρατήρησης (Stevens et al., 2009· Tretter et al., 2006a). Η συγκεκριμένη ερμηνεία λήφθηκε υπόψη στον σχεδιασμό του εκπαιδευτικού υλικού της τελικής εφαρμογής, όπως αναφέρεται στο 2^ο κεφάλαιο [2.2].

5.1.1.2. Μικρότερο αντικείμενο (E.E.Π.1.2)

Όπως παρουσιάστηκε στα αποτελέσματα, οι περισσότεροι μαθητές ανέφεραν κάποιο αντικείμενο του μικρόκοσμου, ως το μικρότερο αντικείμενο που γνώριζαν. Πιο συγκεκριμένα, και οι 12 μαθητές ανέφεραν κάποιο αντικείμενο του βιολογικού μικρόκοσμου [κύτταρο, πυρήνας κυττάρου], εύρημα το οποίο συμφωνεί με την πλειοψηφία των σχετικών ερευνών (Castellini et al., 2007· Πέικος, 2016· Τασσοπούλου, 2017· Spencer & Angelotti, 2004· Waldron et al., 2006). Διαφορετικά αποτελέσματα ανακοινώθηκαν από τον Delgado (2009), στην έρευνα του οποίου οι μαθητές [ηλικίας 12-15 ετών] ανέφεραν κυρίως αντικείμενα του ατομικού κόσμου. Αυτό το γεγονός ίσως να οφείλεται στο ότι οι νεαροί μαθητές [12 ετών] που συμμετείχαν παρακολουθούσαν κάθε χρόνο επιστημονική κατασκήνωση (Delgado, 2009).

Αξιοπρόσεκτο είναι το γεγονός ότι κανένας μαθητής δεν ανέφερε κάποιο αντικείμενο της νανοκλίμακας μετά την πιλοτική εφαρμογή. Το γεγονός αυτό συμφωνεί με τα ευρήματα της νοηματοδότησης του όρου «νανοτεχνολογία» [5.1.1.1] και ίσως μπορεί να ερμηνευτεί με τον ίδιο τρόπο.

5.1.1.3. Όργανα παρατήρησης (E.E.Π.1.3)

Μετά την πιλοτική εφαρμογή, οι περισσότεροι μαθητές ανέφεραν το οπτικό μικροσκόπιο ως κατάλληλο όργανο για να παρατηρήσουν το μικρότερο αντικείμενο που γνώριζαν. Το ίδιο φαινόμενο παρατηρήθηκε σε μαθητές που δεν είχαν διδαχθεί για τη N-ET (Πέικος, 2016· Πέικος, Μάνου, & Σπύρτου, 2016· Πέικος, Παπαδοπούλου, & Μάνου, 2016· Τασσοπούλου, 2017).

Μετά όμως την πραγματοποίηση διδακτικών μαθησιακών ακολουθιών για την N-ET παρατηρήθηκε ότι η πλειοψηφία των μαθητών ανέφεραν το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (Πέικος, 2016· Τασσοπούλου, 2017), σε αντίθεση με την παρούσα πιλοτική μελέτη. Το γεγονός αυτό ήταν ένας από τους παράγοντες που λήφθηκαν υπόψη στο σχεδιασμό του εκπαιδευτικού υλικού της τελικής εφαρμογής, καθώς η σύνδεση των διαφορετικών κλιμάκων με τα αντίστοιχα όργανα παρατήρησης είναι σημαντικό στοιχείο για την κατανόηση του νανόκοσμου (Stevens et al., 2009).

5.1.1.4. Συνέπεια μικρότερου αντικειμένου με όργανο παρατήρησης (E.E.Π.1.4)

Η πλειοψηφία των μαθητών ανέφερε κάποιο όργανο παρατήρησης με το οποίο μπορούσε να παρατηρηθεί το αντικείμενο που είχαν αναφέρει. Καθώς όμως δεν είχαν απαντήσει με αντικείμενα της νανοκλίμακας οι απαντήσεις τους δεν κατατάχθηκαν στο ανώτερο επίπεδο. Πρέπει να σημειωθεί ότι αρκετοί μαθητές [6 από τους 15] ανέφεραν το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο για την παρατήρηση αντικειμένων του μικρόκοσμου. Οι απαντήσεις αυτές δεν ήταν λανθασμένες, ήταν όμως ενδείξεις ότι οι μαθητές δεν είχαν συνδέσει τα αντικείμενα αναφοράς του μικρόκοσμου με τα αντίστοιχα [καταλληλότερα] όργανα παρατήρησης, το οποίο έχει ήδη υποδειχθεί από την συζήτηση των παραπάνω αποτελεσμάτων.

Καθώς ο τρόπος ανάλυσης των δεδομένων [Κ.Α.4] διέφερε από τις πρότερες συναφείς εργασίες (Πέικος, 2016· Τασσοπούλου, 2017) δεν μπορεί να γίνει απευθείας σύγκριση των αποτελεσμάτων τους με την παρούσα μελέτη. Έτσι, απλά θα αναφερθεί ότι η πλειοψηφία των μαθητών των παραπάνω ερευνών, ανέφεραν το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο για την παρατήρηση αντικειμένων της νανοκλίμακας αφότου διδάχθηκαν για τη N-ET.

5.1.1.5. Ταξινόμηση με κριτήριο το όργανο παρατήρησης (E.E.Π.1.5)

Όσον αφορά την ταξινόμηση των αντικειμένων ανάλογα με το μέγεθός τους, οι περισσότερες απαντήσεις των μαθητών κατατάχθηκαν στο κατώτερο επίπεδο, δηλαδή έκαναν ένα τουλάχιστον λάθος στα όργανα παρατήρησης με τα οποία μπορούν να παρατηρηθούν τα αντικείμενα της κάθε κατηγορίας. Σε αντίθεση με πρόσφατες έρευνες (Πέικος, 2016· Τασσοπούλου, 2017), όπου μετά την διδακτική μαθησιακή ακολουθία οι περισσότεροι μαθητές κρίθηκαν ικανοί να ταξινομήσουν αντικείμενα διαφορετικών μεγεθών με κριτήριο το όργανο παρατήρησης.

Πρέπει να σημειωθεί ότι οι μαθητές έδωσαν τίτλους στα κουτιά με βάση το μέγεθος ή τα όργανα παρατήρησης και δεν χρησιμοποίησαν τους όρους: μακρόκοσμος, μικρόκοσμος και νανόκοσμος, που αφορούν τον διαχωρισμό της κλίμακας σε υποκλίμακες ή κόσμους [τα δεδομένα αυτά προέκυψαν από την αλλαγή αυτού του έργου του ερωτηματολογίου σε σχέση με την πρότερη εργασία (Πέικος, 2016) - βλέπε ενότητα 3.1.2]. Τα παραπάνω αποτελέσματα δείχνουν ότι σε γενικές γραμμές οι μαθητές δεν κατάφεραν να κατασκευάσουν εννοιολογικές κατηγορίες για τον κάθε κόσμο, ούτε να τους συνδέσουν με τα αντίστοιχα αντικείμενα αναφοράς και όργανα παρατήρησης.

5.1.1.6. Σειροθέτηση (E.E.Π.1.6)

Όπως παρουσιάστηκε στα αποτελέσματα, οι επιδόσεις των μαθητών στο έργο της σειροθέτησης αντικειμένων διαφορετικών μεγεθών ήταν σημαντικά καλύτερες από αυτές στο έργο της ταξινόμησης. Το εύρημα αυτό συμφωνεί με τα αποτελέσματα αρκετών συναφών ερευνών (Delgado et al., 2007· Πέικος, 2016· Τασσοπούλου, 2017), όμως έρχεται σε αντίθεση με τα αποτελέσματα μιας διδακτορικής διατριβής (Delgado, 2009), οι συμμετέχοντες της οποίας δυσκολεύτηκαν περισσότερο στη σειροθέτηση από ότι στην ταξινόμηση. Το τελευταίο ίσως οφείλεται στο διαφορετικό ηλικιακό εύρος του δείγματος της διατριβής [12-22 ετών] και στο γεγονός ότι δεν δόθηκε ένας συγκεκριμένος αριθμός κουτιών, οπότε οι συμμετέχοντες ταξινόμησαν τα αντικείμενα χωρίς να επηρεαστούν από την εκφώνηση.

Παρόλο που οι επιδόσεις των μαθητών ήταν καλύτερες σε σύγκριση με την ταξινόμηση, πολύ λίγοι μαθητές σειροθέτησαν σωστά τα αντικείμενα όλων των «κόσμων». Οι περισσότεροι σειροθέτησαν σωστά μόνο τα αντικείμενα του μακρόκοσμου, ενώ κάποιοι έφτασαν ως και τον μικρόκοσμο. Οι επιδόσεις αυτές των μαθητών ήταν αρκετά χειρότερες σε σύγκριση με τις προαναφερθείσες έρευνες (Πέικος, 2016· Τασσοπούλου, 2017), μετά τις παρεμβάσεις των οποίων, οι περισσότεροι μαθητές σειροθέτησαν σωστά όλα τα αντικείμενα.

5.1.1.7. Φαινόμενο του λωτού (E.E.Π.1.7)

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, οι περισσότερες απαντήσεις των μαθητών αξιολογήθηκαν ως μερικώς επιστημονικές, δηλαδή οι μαθητές περιέγραψαν το εν λόγω φαινόμενο αλλά χωρίς να αναφερθούν στον καθοριστικό ρόλο της νανοκλίμακας σε αυτό. Ενώ οι υπόλοιπες απαντήσεις κρίθηκαν ως μακριά από την επιστημονική άποψη. Σε αντίστοιχες έρευνες (Πέικος, 2016· Τασσοπούλου, 2017), παρατηρήθηκε ότι μετά την εφαρμογή η πλειοψηφία των μαθητών απάντησε χρησιμοποιώντας επιστημονικούς όρους [πχ. νανοεξογκώματα], οπότε και κατατάχθηκαν στο υψηλότερο επίπεδο.

Πρέπει να σημειωθεί, ότι βρέθηκαν απαντήσεις στις οποίες η υδροφοβικότητα του λάχανου αποδόθηκε στη χρήση αδιαβροχοποιητικού σπρέι [νανοσπρέι], δηλαδή οι συγκεκριμένοι μαθητές συγγέουν την φυσική ιδιότητα του φυτού με την τεχνολογική της εφαρμογή. Το ίδιο παρατηρήθηκε και στα αποτελέσματα μιας διδακτικής μαθησιακής ακολουθίας, που ασχολήθηκε με τεχνητά υπερυδρόφοβα υλικά (Τασσοπούλου, 2017).

Τα παραπάνω ευρήματα λήφθηκαν υπόψη στο σχεδιασμό του εκπαιδευτικού υλικού της τελικής εφαρμογής και αποτέλεσαν τη βάση για τις βελτιωτικές αλλαγές, που πραγματοποιήθηκαν στο υλικό της πιλοτικής εφαρμογής. Ένα παράδειγμα τέτοιας αλλαγής είναι ότι στο εισαγωγικό βίντεο εισήχθησαν πληροφορίες για τους επιστήμονες της νανοτεχνολογίας, οι οποίοι μιμούνται τις ιδιότητες των υπερυδρόφοβων φυτών και κατασκευάζουν αντίστοιχα τεχνητά προϊόντα, ώστε να αποφευχθεί η σύγχυση του φυσικού φαινομένου με την τεχνολογική εφαρμογή.

5.1.1.8. Σύνοψη

Όπως αναλύθηκε παραπάνω, οι επιδόσεις των μαθητών μετά την συμμετοχή τους στην πιλοτική εφαρμογή [α] ήταν χαμηλότερες από αυτές των μαθητών των συναφών ερευνών (Πέικος, 2016· Τασσοπούλου, 2017) [β]. Το γεγονός αυτό μπορεί να οφείλεται σε έναν ή περισσότερους από τους παρακάτω παράγοντες:

- i. **χρόνος:** [α] περίπου 20', [β] 12 διδακτικές ώρες. Ο παράγοντας χρόνος είναι πολύ πιθανό να έπαιξε ρόλο στις διαφοροποιήσεις ειδικά αν ληφθεί υπόψη ότι η εννοιολογική αλλαγή είναι μια αργή και σταδιακή διαδικασία (Vosniadou, 1994)
- ii. **μοντέλο διδασκαλίας:** [α] μάθηση μέσω μικρών ερευνών, [β] συνδυασμός μεταφοράς και διερεύνησης. Στις διδακτικές μαθησιακές ακολουθίες δόθηκε μεγαλύτερη έμφαση σε κάποια στοιχεία του περιεχομένου με τη χρήση του μοντέλου της μεταφοράς
- iii. **περιεχόμενο:** [α] φαινόμενο λωτού, [β] τι είναι η N-ET, κλίμακα, φαινόμενο ίωσης, φαινόμενο λωτού
- iv. **μαθησιακό περιβάλλον:** [α] μη-τυπική εκπαίδευση, [β] τυπική εκπαίδευση
- v. **ερευνητικό εργαλείο:** μικρές διαφοροποιήσεις [βλέπε ενότητα 3.1.2]
- vi. **πλαίσιο:** [α] φεστιβάλ φυσικών διεπαφών στο ΠΤΔΕ, [β] πειραματική διδασκαλία
- vii. **σύνδεση κόσμων με αντίστοιχα αντικείμενα αναφοράς και όργανα παρατήρησης:** [α] μόνο στο σχεδιασμό της τεχνολογικής μεταφοράς, [β] ρητά

5.2. Τελική Εφαρμογή

Τα αποτελέσματα της τελικής εφαρμογής παρουσιάστηκαν σε δύο άξονες, οι οποίοι ήταν αντίστοιχοι με τα ερευνητικά ερωτήματα της τελικής εφαρμογής. Ο πρώτος άξονας αφορούσε την μεταβολή των αντιλήψεων των μαθητών για τη Ν-ΕΤ και τις δεξιότητες που αποκόμισαν μετά την εφαρμογή, ενώ ο δεύτερος τις απόψεις τους για το εκπαιδευτικό υλικό μετά την αλληλεπίδρασή τους με αυτό. Τα αποτελέσματα συζητήθηκαν ξεχωριστά για τον κάθε άξονα.

5.2.1. Μεταβολή των αντιλήψεων των μαθητών (E.E.T.1)

Η εκτίμηση της μεταβολής των αντιλήψεων των μαθητών έγινε με την χρήση των αποτελεσμάτων του πρώτου άξονα του ερωτηματολογίου, ο οποίος περιλάμβανε ένα επιπλέον έργο σε σχέση με την πιλοτική εφαρμογή και συμπληρώθηκε από τους μαθητές πριν και μετά την συμμετοχή τους στην τελική έρευνα. Η μεταβολή των αντιλήψεων των μαθητών κινήθηκε σε γενικές γραμμές στα ίδια επίπεδα με την μεταβολή που παρατηρήθηκε σε άλλες αντίστοιχες έρευνες (Πέικος, 2016· Τασσοπούλου, 2017). Τα επιμέρους στοιχεία της Ν-ΕΤ αλλά και η δεξιότητα αιτιολόγησης των μαθητών συζητήθηκαν αναλυτικά παρακάτω.

5.2.1.1. Νοηματοδότηση του όρου «Νανοτεχνολογία» (E.E.T.1.1)

Στα αποτελέσματα αναφέρθηκε, ότι παρατηρήθηκε σημαντική διαφορά μεταξύ των αρχικών και τελικών επιδόσεων των μαθητών. Το ίδιο αποτέλεσμα πέτυχαν μετά την εφαρμογή τους και οι δύο συναφείς διδακτικές μαθησιακές ακολουθίες (Πέικος, 2016· Τασσοπούλου, 2017).

Όπως και στην πιλοτική εφαρμογή και τις προαναφερθείσες έρευνες (Πέικος, 2016· Τασσοπούλου, 2017) οι περισσότερες απαντήσεις συνδέθηκαν με την Μ.Ι.1 [Μέγεθος και Κλίμακα], σε αντίθεση με έρευνες που πραγματοποιήθηκαν στο εξωτερικό [ΗΠΑ] (Castellini et al., 2007· Spencer & Angelotti, 2004· Waldron et al., 2006). Το φαινόμενο αυτό έχει αποδοθεί στην σημασία του όρου «νανο» στην ελληνική γλώσσα (Πέικος, 2016).

Επιπλέον, παρατηρήθηκε ότι πολλοί μαθητές χρησιμοποίησαν επιστημονικούς όρους στην απάντησή τους, το οποίο δεν είχε επιτευχθεί μετά την πιλοτική εφαρμογή. Αυτό ίσως συνέβη επειδή στο τελικό εκπαιδευτικό υλικό δόθηκε μεγαλύτερη έμφαση στον διαχωρισμό της κλίμακας σε κόσμους [μακρόκοσμος, μικρόκοσμος, νανόκοσμος] και στη σύνδεσή τους με τα αντίστοιχα αντικείμενα αναφοράς και όργανα παρατήρησης, σύμφωνα με την πρόταση των Tretter et al., (2006a) και των Stevens et al., (2009).

5.2.1.2. Μικρότερο αντικείμενο (E.E.T.1.2)

Όπως παρουσιάστηκε στα αποτελέσματα, η γνωστική κατάσταση των μαθητών δεν βελτιώθηκε σημαντικά, όσον αφορά το μικρότερο αντικείμενο που αυτοί γνώριζαν, σε αντίθεση με τις αντίστοιχες έρευνες (Πέικος, 2016· Τασσοπούλου, 2017). Αυτό μπορεί να οφείλεται στο ότι οι αρκετοί μαθητές είχαν κατατάχθηκαν στο ανώτερο επίπεδο πριν από την εφαρμογή και στο ότι ο πρωτεύων στόχος του παρόντος εκπαιδευτικού υλικού ήταν η κατανόηση του φαινομένου του λωτού.

Σε αντίθεση με τα αποτελέσματα της πιλοτικής εφαρμογής και της διεθνούς βιβλιογραφίας, όπου έχει καταγραφεί ότι τα συνηθέστερα αντικείμενα που αναφέρουν οι μαθητές είναι αυτά του βιολογικού μικρόκοσμου (Castellini et al., 2007· Πέικος, 2016· Τασσοπούλου, 2017· Spencer & Angelotti, 2004· Waldron et al., 2006), οι περισσότεροι μαθητές ανέφεραν κάποιο αντικείμενο του μακρόκοσμου ή του νανόκοσμου.

Τα αποτελέσματα αυτά συμφωνούν περισσότερο με αυτά του Delgado (2009), στην έρευνα του οποίου οι μαθητές [ηλικίας 12-15 ετών] ανέφεραν κυρίως αντικείμενα του νανόκοσμου και του ατομικού κόσμου. Το εύρημα αυτό ίσως μπορεί να εξηγηθεί από το γεγονός ότι οι συμμετέχοντες της τελικής εφαρμογής φοιτούσαν σε δημοτικά σχολεία του νομού Φλώρινας, στον οποίο έχουν ήδη εφαρμοστεί πολυάριθμα εκπαιδευτικά προγράμματα για την N-ET από την ομάδα φυσικών επιστημών του ΠΤΔΕ Φλώρινας [σε αντίθεση με τους συμμετέχοντες της πιλοτικής, που φοιτούσαν σε σχολείο του νομού Έδεσσας]. Οπότε, υπάρχει μεγαλύτερη πιθανότητα κάποιοι μαθητές να είχαν έρθει σε επαφή με τη N-ET πριν την εφαρμογή, στα πλαίσια της μη-τυπικής και της άτυπης εκπαίδευσης.

5.2.1.3. Όργανα παρατήρησης (E.E.T.1.3)

Μετά την τελική εφαρμογή, σημαντικά περισσότεροι μαθητές ανέφεραν το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο ως κατάλληλο όργανο για να παρατηρήσουν το μικρότερο αντικείμενο που γνώριζαν, όπως και στις αντίστοιχες συναφείς μελέτες (Πέικος, 2016· Τασσοπούλου, 2017).

Στην αρχική μέτρηση, οι περισσότεροι μαθητές ανέφεραν το οπτικό μικροσκόπιο, το οποίο έχει παρατηρηθεί ήδη σε μαθητές που δεν έχουν διδαχθεί για τη N-ET (Πέικος, 2016· Πέικος, Μάνου, & Σπύρτου, 2015β· Πέικος, Παπαδοπούλου, & Μάνου, 2015· Τασσοπούλου, 2017). Όμως, κάποιοι μαθητές ανέφεραν το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο πριν την παρέμβαση, το οποίο δεν παρατηρήθηκε στις πρότερες έρευνες (Πέικος, 2016· Τασσοπούλου, 2017). Αυτό το εύρημα ενισχύει την προηγούμενη ερμηνεία, ότι δηλαδή οι μαθητές του νομού Φλώρινας ίσως έχουν έρθει σε επαφή με την N-ET στα πλαίσια της μη-τυπικής και της άτυπης μάθησης.

Πρέπει να σημειωθεί ότι παρουσιάστηκε βελτίωση σε σχέση με την πιλοτική εφαρμογή, όπου οι περισσότεροι μαθητές ανέφεραν το οπτικό μικροσκόπιο. Το γεγονός αυτό ίσως συνέβη επειδή στο τελικό εκπαιδευτικό υλικό δόθηκε μεγαλύτερη έμφαση στα όργανα παρατήρησης, όπως είχε αναφερθεί παραπάνω.

5.2.1.4. Συνέπεια μικρότερου αντικειμένου με όργανο παρατήρησης (E.E.T.1.4)

Οι μαθητές ήταν σημαντικά πιο συνεπείς στην επιλογή οργάνου παρατήρησης σε σχέση με το μικρότερο αντικείμενο που γνώριζαν μετά την τελική εφαρμογή. Καθώς ο τρόπος ανάλυσης των δεδομένων [K.A.4] διέφερε από τις πρότερες συναφείς εργασίες (Πέικος, 2016· Τασσοπούλου, 2017) δεν μπορεί να γίνει απευθείας σύγκριση των αποτελεσμάτων τους με την παρούσα μελέτη. Έτσι, απλά θα αναφερθεί ότι η πλειοψηφία των μαθητών των παραπάνω ερευνών, ήταν επίσης συνεπείς, καθώς ανέφεραν το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο για την παρατήρηση αντικειμένων της νανοκλίμακας αφότου διδάχθηκαν για τη N-ET.

5.2.1.5. Ταξινόμηση με κριτήριο το όργανο παρατήρησης (E.E.T.1.5)

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, μετά την παρέμβαση κατατάχθηκε στο ανώτερο επίπεδο της ανάλυσης σημαντικά μεγαλύτερος αριθμός μαθητών σε σχέση με πριν, όπως αναφέρθηκε και στις αντίστοιχες έρευνες (Πέικος, 2016· Τασσοπούλου, 2017). Πιο συγκεκριμένα, αρκετοί μαθητές πραγματοποίησαν σωστά την ταξινόμηση των αντικειμένων με βάση το μέγεθος και αντιστοίχησαν το κατάλληλο όργανο παρατήρησης για την κάθε κατηγορία.

Βέβαια, η πλειοψηφία των μαθητών παρέμεινε στο κατώτερο επίπεδο της ανάλυσης και μετά την εφαρμογή, καθώς έδωσε τουλάχιστον μία λανθασμένη απάντηση για τα κατάλληλα όργανα παρατήρησης. Οι ταξινομήσεις τους όμως μετά την τελική εφαρμογή ήταν σημαντικά πιο ακριβείς, όπως βρέθηκε από την ποσοτική ανάλυση [$B_{\text{πριν}} = 61.6$, $B_{\text{μετά}} = 77.7$].

Επιπλέον, αρκετοί μαθητές χρησιμοποίησαν τους όρους: μακρόκοσμος, μικρόκοσμος και νανόκοσμος, ως τίτλους στις κατηγορίες που δημιούργησαν. Τα καλύτερα μαθησιακά αποτελέσματα σε σχέση με την πιλοτική εφαρμογή και η χρήση των παραπάνω όρων είναι ένδειξη ότι οι αλλαγές, που πραγματοποιήθηκαν στο εκπαιδευτικό υλικό μετά την πιλοτική εφαρμογή, με οδηγό τις προτάσεις των Tretter et al., (2006) και των Stevens et al., (2009), ήταν στη σωστή κατεύθυνση.

5.2.1.6. Σειροθέτηση (E.E.T.1.6)

Όπως παρουσιάστηκε στα αποτελέσματα, παρατηρήθηκε σημαντική βελτίωση των σειροθετήσεων των μαθητών μετά την παρέμβαση, γεγονός το οποίο συμφωνεί με τα αποτελέσματα των πρότερων ερευνών (Πέικος, 2016· Τασσοπούλου, 2017). Αυτή η βελτίωση παρατηρήθηκε στα αποτελέσματα της ποιοτικής ανάλυσης αλλά ήταν ακόμη πιο εμφανής σε αυτά της ποσοτικής [$B_{\text{πριν}} = 56.2$, $B_{\text{μετά}} = 83.4$].

Όσον αφορά τις αρχικές μετρήσεις, οι μαθητές τα πήγαν καλύτερα στην ταξινόμηση από ότι στη σειροθέτηση, το οποίο συμφωνεί με τα αποτελέσματα της διατριβής του Delgado (2009), και βρίσκεται σε διαφωνία με τα αποτελέσματα της πιλοτικής και των περισσότερων συναφών μελετών (Delgado et al., 2007· Πέικος, 2016· Τασσοπούλου, 2017).

Το εύρημα αυτό ίσως οφείλεται στη μικρή διαφοροποίηση του έργου της ταξινόμησης σε σχέση με το αρχικό της πρότερης έρευνας (Πέικος, 2016) και πιο συγκεκριμένα με το γεγονός ότι προστέθηκε στο τέλος της εκφώνησης η φράση «μπορείς να χρησιμοποιήσεις όσα κουτιά νομίζεις», το οποίο ήταν πιο κοντινό στο έργο της έρευνας του Delgado (2009), ο οποίος δεν τους έδινε καν συγκεκριμένο αριθμό κουτιών και τους άφηνε να επιλέξουν σε πόσες κατηγορίες θα ταξινομήσουν τα αντικείμενα μόνοι τους.

Η διαφορά με την πιλοτική εφαρμογή [στην οποία χρησιμοποιήθηκε το ίδιο εργαλείο με την τελική] ίσως προκλήθηκε σχετίζεται με τη διαδικασία συλλογής δεδομένων της πιλοτικής, η ακεραιότητα της οποίας βρίσκεται υπό αμφιβολία, καθώς παρατηρήθηκαν πολλές παρόμοιες απαντήσεις και το έργο της σειροθέτησης ήταν πιο εύκολο να αντιγραφεί από της ταξινόμησης.

Οι επιδόσεις των μαθητών στην σειροθέτηση ήταν καλύτερες σε σχέση με την πιλοτική εφαρμογή. Αυτό το γεγονός βρίσκεται σε συμφωνία με τα προηγούμενα ευρήματα, τα οποία συνηγορούν στην θετική επίδραση που είχαν οι βελτιωτικές αλλαγές του εκπαιδευτικού υλικού στα μαθησιακά αποτελέσματα.

5.2.1.7. Φαινόμενο του λωτού (E.E.T.1.7)

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, όλες οι απαντήσεις των μαθητών πριν την τελική εφαρμογή κατατάχθηκαν στα δύο κατώτερα επίπεδα. Ενώ μετά την τελική εφαρμογή οι περισσότεροι κατατάχθηκαν στο ανώτερο επίπεδο, δηλαδή περιέγραψαν το φαινόμενο χρησιμοποιώντας επιστημονικούς όρους [πχ. νανοεξογκώματα]. Η διαφορά μεταξύ της αρχικής και της τελικής γνωστικής κατάστασης των μαθητών βρέθηκε σημαντική. Παρόμοια αποτελέσματα παρουσίασε ο Πέικος (2016), ενώ η Τασσοπούλου (2017), δεν βρήκε σημαντική διαφορά μεταξύ των αρχικών και των τελικών επιδόσεων των μαθητών.

Πρέπει να σημειωθεί, ότι στην τελική εφαρμογή πολύ λίγες απαντήσεις ανέφεραν το αδιαβροχοποιητικό σπρέι [νανοσπρέι], ως αιτία του φαινομένου. Το γεγονός αυτό όπως και τα παραπάνω ευρήματα είναι ενδείξεις ότι οι αλλαγές, που πραγματοποιήθηκαν στο εκπαιδευτικό υλικό μετά την πιλοτική εφαρμογή ήταν στη σωστή κατεύθυνση.

5.2.1.8. Αιτιολόγηση (E.E.T.1.8)

Όπως παρουσιάστηκε στα αποτελέσματα, η πλειοψηφία των μαθητών κατατάχθηκε στο δεύτερο επίπεδο. Πιο συγκεκριμένα, οι μαθητές αυτοί αιτιολόγησαν σωστά την επιλογή του υπόπτου που έκαναν, χωρίς όμως να χρησιμοποιήσουν επιστημονικούς όρους στην αιτιολόγησή τους. Επιπλέον, σχεδόν όλοι οι μαθητές [εκτός από αυτούς που δεν απάντησαν στην ερώτηση] εντόπισαν τον σωστό ύποπτο της ιστορίας, το οποίο είναι θετική ένδειξη για την παρούσα παρέμβαση.

Το γεγονός ότι οι απαντήσεις των μαθητών δεν ταξινομήθηκαν στο ανώτερο επίπεδο ήταν αναμενόμενο, καθώς στην τυπική τους εκπαίδευση συνήθως δεν τους ζητείται να πραγματοποιήσουν τέτοιου είδους διαδικασίες. Για την ανάπτυξη του επιστημονικού τους λόγου και την καλύτερη κατανόηση της φύσης της επιστήμης καλό θα ήταν να εμπλέκονται σε τέτοιου είδους παρεμβάσεις συχνότερα (Olson & Loucks-Horsley, NRC, 2000).

5.2.1.9. Σύνοψη

Όπως παρουσιάστηκε αναλυτικά παραπάνω, η μεταβολή των επιδόσεων των μαθητών μετά την τελική εφαρμογή ήταν παρόμοια με αυτή που παρατηρήθηκε σε άλλες αντίστοιχες έρευνες (Πέικος, 2016· Τασσοπούλου, 2017). Αυτό δίνει θετικό πρόσημο στο εκπαιδευτικό υλικό αλλά και στην παρέμβαση συνολικά, ειδικά αν αναλογιστεί κανείς τους διαφορετικούς παράγοντες μεταξύ των δύο προσεγγίσεων, οι οποίοι αναφέρθηκαν σε προηγούμενη ενότητα του κεφαλαίου [5.1.1.8] και το γεγονός ότι κάποιοι μαθητές πιθανόν είχαν ήδη έρθει σε επαφή με τη N-ET και είχαν υψηλές επιδόσεις ήδη από την αρχική μέτρηση.

Επιπλέον, παρατηρήθηκε σημαντική βελτίωση σε σχέση με τα αποτελέσματα της πιλοτικής εφαρμογής. Πιο συγκεκριμένα πολλοί μαθητές χρησιμοποίησαν επιστημονικούς όρους στην απάντησή τους, το οποίο δεν είχε επιτευχθεί μετά την πιλοτική εφαρμογή. Αυτό ίσως συνέβη επειδή στο τελικό εκπαιδευτικό υλικό δόθηκε μεγαλύτερη έμφαση στον διαχωρισμό της κλίμακας σε κόσμους [μακρόκοσμος, μικρόκοσμος, νανόκοσμος] και στη σύνδεσή τους με τα αντίστοιχα αντικείμενα αναφοράς και όργανα παρατήρησης, σύμφωνα με την πρόταση των Tretter et al., (2006) και των Stevens et al. (2009). Επίσης, στην τελική εφαρμογή πολύ λίγες απαντήσεις περιείχαν την εναλλακτική αντίληψη ότι το φυτό είχε υπερυδροφώβες ιδιότητες λόγω του αδιαβροχοποιητικού σπρέι [νανοσπρέι].

Από τα παραπάνω ευρήματα προκύπτει ότι οι κρισιμότερες βελτιώσεις που ίσως βοήθησαν την βελτίωση των επιδόσεων των μαθητών στην τελική εφαρμογή σε σχέση με πιλοτική ήταν οι εξής:

- i. **Διαίρεση** της κλίμακας σε υποκλίμακες [Μάκρο, Μίκρο, Νάνο]
- ii. **Όργανα παρατήρησης**
- iii. **Τεχνητά προϊόντα**

5.2.2. Αποτίμηση των απόψεων των μαθητών (E.E.T.2)

Η αποτίμηση των απόψεων των μαθητών έγινε με την χρήση των αποτελεσμάτων του δεύτερου άξονα του γραπτού ερωτηματολογίου, το οποίο συμπληρώθηκε από τους μαθητές μετά την συμμετοχή τους στην τελική έρευνα. Παρατηρήθηκε ότι οι μαθητές σχημάτισαν θετική άποψη για τη παρέμβαση και τα επιμέρους στοιχεία της. Οι επιμέρους απόψεις των μαθητών που μελετηθήκαν συζητήθηκαν αναλυτικά παρακάτω.

5.2.2.1. Παρέμβαση (E.E.T.2.1)

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, η συντριπτική πλειοψηφία των μαθητών αποκόμισε θετικές απόψεις για την παρέμβαση, καθώς συμφωνούσαν με την πρόταση: «*Η δραστηριότητα συνολικά ήταν ευχάριστη και μου άρεσε η ενασχόληση μαζί της*». Από το οποίο μπορούμε να συμπεράνουμε ότι τους κίνησε το ενδιαφέρον και τους άφησε θετικές εντυπώσεις. Όπως, προαναφέρθηκε η πρόκληση του ενδιαφέροντος των μαθητών για αυτό το καινοτόμο περιεχόμενο [N-ET] ήταν από τις βασικές επιδιώξεις της παρούσας παρέμβασης.

5.2.2.2. Μέρη της παρέμβασης (E.E.T.2.2)

Όπως παρουσιάστηκε στα αποτελέσματα, η συντριπτική πλειοψηφία των μαθητών είχε θετική άποψη για όλα τα επιμέρους στοιχεία της δραστηριότητας.

Από τα δεδομένα φάνηκε ότι οι μαθητές βρήκαν ενδιαφέρουσα την N-ET και τις εφαρμογές της, γεγονός το οποίο συμφωνεί με την διεθνή βιβλιογραφία (Blonder & Sakhnini, 2012· Blonder & Sakhnini, 2015). Πρέπει να σημειωθεί, ότι οι μαθητές βρήκαν πιο ενδιαφέρον από όλα το παιχνίδι ρόλων στο οποίο συμμετείχαν.

5.2.2.3. Παρέμβαση σε σχέση με παραδοσιακή διδασκαλία (E.E.T.2.3)

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των τριών σχετικών υποερωτημάτων του ερωτηματολογίου των απόψεων, οι μαθητές προτίμησαν την παρέμβαση σε σχέση με την διδασκαλία, την οποία λαμβάνουν στα πλαίσια της τυπικής εκπαίδευσης. Το γεγονός αυτό ενισχύει τα προηγούμενα ευρήματα, δηλαδή ότι οι μαθητές βρήκαν ενδιαφέρουσα την παρέμβαση.

5.2.2.4. Ανάλογες παρεμβάσεις και στην τυπική εκπαίδευση (E.E.T.2.4)

Οι περισσότεροι μαθητές θα ήθελαν ανάλογες παρεμβάσεις με ανάλογο εκπαιδευτικό υλικό και στην τυπική τους εκπαίδευση, το οποίο συμφωνεί απόλυτα με τα παραπάνω ευρήματα και είναι ελπιδοφόρο όσον αφορά την εισαγωγή εκπαιδευτικού υλικού για τη N-ET με την χρήση απτικών διεπαφών στην τυπική εκπαίδευση.

5.2.2.5. Βελτιωτικές προτάσεις (E.E.T.2.5)

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ανάλυσης των απαντήσεων των μαθητών, η συντριπτική πλειοψηφία τους δε θα ήθελε να αλλάξει κάτι στη παρούσα δραστηριότητα. Πιο συγκεκριμένα, οι περισσότεροι μαθητές ανέφεραν ότι δεν θα ήθελαν να αλλάξει τίποτα στην παρούσα παρέμβαση, καθώς τους άρεσε πολύ. Γεγονός το οποίο είχε ήδη σκιαγραφηθεί από τις προηγούμενες ερωτήσεις.

5.2.3. Διάφορες παρατηρήσεις – Προτάσεις για βελτίωση

Παρατηρήθηκε ότι το εκπαιδευτικό υλικό λειτούργησε πολύ καλύτερα από ότι στην πιλοτική εφαρμογή, τόσο σε διδακτικά όσο και σε τεχνικά ζητήματα, λόγω των βελτιώσεων που πραγματοποιήθηκαν. Αν υπήρχε περισσότερος διαθέσιμος χρόνος θα μπορούσε να είναι λιγότερο καθοδηγούμενο, πχ. αν βρισκόταν σε ένα μουσείο τεχνολογίας.

Στα αρνητικά του ότι είναι δύσκολο να κατασκευαστεί από άλλους εκπαιδευτικούς προς το παρόν, όμως αυτό το γεγονός όμως αναμένεται να αλλάξει με την εισαγωγή νέων τεχνολογιών, όπως ασύρματων απτικών διεπαφών.

Μια πιθανή επέκταση του υλικού θα ήταν να προστεθεί και ένα άλλο συναφές περιεχόμενο της N-ET πχ. σαύρα Gecko, με την εισαγωγή της πιθανότητας κάποιος ύποπτος να μπήκε από το παράθυρο χρησιμοποιώντας την τεχνολογία αυτή.

Αν το εκπαιδευτικό υλικό προσαρμοστεί κατάλληλα μπορεί να χρησιμοποιηθεί αυτή η ενσώματη μεταφορά και σε άλλα φαινόμενα της φυσικής και αν χρειαστεί να προστεθεί και ο ατομικός κόσμος στο κατώτερο επίπεδο. Αυτό πιθανόν να βοηθήσει στην σύνδεση των κόσμων και στην αντιμετώπιση του «χάσματος» της ναοκλίμακας που παρατηρείται αυτή τη στιγμή στην υποχρεωτική εκπαίδευση, όπως είναι αποτυπωμένο στη βιβλιογραφία.

5.3. Περιορισμοί της έρευνας

Αρχικά, θα υπογραμμίζαμε ότι στην πιλοτική εφαρμογή, δεν κατέστη δυνατός ο έλεγχος της συλλογής δεδομένων από τον ερευνητή, οπότε δεν είναι τόσο έγκυρα και αξιόπιστα. Επιπλέον, κάποια έργα του ερωτηματολογίου της N-ET [3, 4 & 5] είχαν μεθοδολογικά προβλήματα, τα οποία έγιναν εμφανή μετά την ανάλυση των δεδομένων και αν είχαν αποφευχθεί θα παρείχαν πλουσιότερα δεδομένα.

Ακόμη, δεν κατέστη δυνατό να μετρηθούν οι ενδιάμεσες μεταβλητές, δηλαδή το ποιες ακριβώς επηρέασαν τα μαθησιακά αποτελέσματα, οπότε δεν είναι δυνατή η εξαγωγή συμπερασμάτων για την εκπαιδευτική προσέγγιση που εφαρμόστηκε. Βέβαια, καθώς χρησιμοποιήθηκαν απτικές αναπαραστάσεις και ενσώματες αναφορές η σύνδεση μεταξύ της αναπαράστασης, του αντικειμένου και της δράσης περιλαμβάνει τεράστιο αριθμό μεταβλητών, συνεπώς δεν είναι εύκολα μετρήσιμες (Price, 2008).

5.4. Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Καθώς, η παρούσα έρευνα είχε κάποιες αδυναμίες προτείνεται να πραγματοποιηθούν περαιτέρω έρευνες, οι οποίες θα αντιμετωπίσουν τους παραπάνω περιορισμούς. Πιο συγκεκριμένα, οι νέες έρευνες θα πρέπει να χρησιμοποιήσουν βελτιωμένο γραπτό ερωτηματολόγιο της N-ET, στους άξονες που τονίστηκαν παραπάνω. Επίσης, θα πρέπει να έχουν επιπλέον διαδικασίες και ερευνητικά εργαλεία και να εφαρμοστούν σε μεγαλύτερο δείγμα, ώστε να γίνει προσπάθεια να αποδοθεί σε κάθε μεταβλητή η επίδραση της στο φαινόμενο.

Μια ενδιαφέρουσα μεταβλητή είναι η επίδραση της ενσώματης μεταφοράς στην μάθηση για το μέγεθος και την κλίμακα, καθώς αν διαπιστωθεί η επίδρασή της αυτό θα έχει επιπτώσεις στην διδασκαλία όλων των φυσικών φαινομένων, τα οποία είτε λαμβάνουν χώρα σε μικρότερες κλίμακες, είτε εξαρτώνται από αυτές.

Βιβλιογραφία

- Alake-Tuenter, E., Biemans, H. J. A., Tobi, H., Wals, A. E. J., Oosterheert, I., & Mulder, M. (2012). Inquiry-Based Science Education Competencies of Primary School Teachers: A literature study and critical review of the American National Science Education Standards. *International Journal of Science Education*, 34(17), 2609–2640. <https://doi.org/10.1080/09500693.2012.669076>
- American Association for the Advancement of Science. (1993). Benchmarks for science literacy.
- Antle, A. N. (2007). The CTI framework: informing the design of tangible systems for children (p. 195). ACM Press. <https://doi.org/10.1145/1226969.1227010>
- Antle, A. N., Droumeva, M., & Corness, G. (2008). Playing with the sound maker: do embodied metaphors help children learn? (pp. 178–185). Presented at the Proceedings of the 7th international conference on Interaction design and children, ACM.
- Antle, A. N., & Wise, A. F. (2013). Getting Down to Details: Using Theories of Cognition and Learning to Inform Tangible User Interface Design. *Interacting with Computers*, 25(1), 1–20. <https://doi.org/10.1093/iwc/iws007>
- Atherton, M. (1998). *The Invisible World: Early Modern Philosophy and the Invention of the Microscope* Catherine Wilson Princeton, NJ: Princeton University Press, 1995, x + 280 pp., \$39.50. *Dialogue*, 37(03), 650. <https://doi.org/10.1017/S0012217300020795>
- Atteberry, J. (2015). How Scanning Electron Microscopes Work. Retrieved from <http://science.howstuffworks.com/scanning-electron-microscope2.htm>
- Bainbridge, W. S. (2003). Religious opposition to cloning. *Journal of Evolution and Technology*, 13(2).
- Bakker, S., Antle, A. N., & van den Hoven, E. (2012). Embodied metaphors in tangible interaction design. *Personal and Ubiquitous Computing*, 16(4), 433–449. <https://doi.org/10.1007/s00779-011-0410-4>
- Barsalou, L. W., Simmons, W. K., Barbey, A. K., & Wilson, C. D. (2003). Grounding conceptual knowledge in modality-specific systems. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(2), 84–91.
- Batt, C. A., Waldron, A. M., & Broadwater, N. (2008). Numbers, scale and symbols: the public understanding of nanotechnology. *Journal of Nanoparticle Research*, 10(7), 1141–1148. <https://doi.org/10.1007/s11051-007-9344-1>
- Bensaude-Vincent, B. (2010). Opening the field of nanoethics. *International Journal for Philosophy Of Chemistry*, 16(1), 1–2.
- Bhushan, B. (2010). Introduction to nanotechnology. In *Springer handbook of nanotechnology* (pp. 1–13). Springer.

- Blonder, R., & Dinur, M. (2012). Teaching nanotechnology using student-centered pedagogy for increasing students' continuing motivation. *Journal of Nano Education*, 3(1–2), 51–61.
- Blonder, R., & Sakhnini, S. (2012). Teaching two basic nanotechnology concepts in secondary school by using a variety of teaching methods. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 13(4), 500–516. <https://doi.org/10.1039/C2RP20026K>
- Blonder, R., & Sakhnini, S. (2015). The making of nanotechnology: exposing high-school students to behind-the-scenes of nanotechnology by inviting them to a nanotechnology conference. *Nanotechnology Reviews*, 4(1). <https://doi.org/10.1515/ntrev-2014-0016>
- Bruner, J. S. (1961). *The Act of Discovery*. *Harvard Educational Review*.
- Bryan, L. A., Sederberg, D., Daly, S., Sears, D., & Giordano, N. (2012). Facilitating teachers' development of nanoscale science, engineering, and technology content knowledge. *Nanotechnology Reviews*, 1(1), 85–95.
- Bryman, A., & Cramer, D. (2011). *Quantitative data analysis with IBM SPSS 17, 18 and 19: a guide for social scientists*. London: Routledge.
- Bultitude, K., & Sardo, A. M. (2012). Leisure and Pleasure: Science events in unusual locations. *International Journal of Science Education*, 34(18), 2775–2795. <https://doi.org/10.1080/09500693.2012.664293>
- Camarata, K., Do, E. Y.-L., Gross, M. D., & Johnson, B. R. (2002). Navigational blocks: tangible navigation of digital information (pp. 752–753). Presented at the CHI'02 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, ACM.
- Carre, A., & Mittal, K. L. (2009). *Superhydrophobic Surfaces*. Hoboken: CRC Press.
- 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. <https://doi.org/10.1007/s11051-006-9160-z>
- Castro-Alonso, J. C., Ayres, P., & Paas, F. (2015). The Potential of Embodied Cognition to Improve STEAM Instructional Dynamic Visualizations. In X. Ge, D. Ifenthaler, & J. M. Spector (Eds.), *Emerging Technologies for STEAM Education* (pp. 113–136). Cham: Springer International Publishing. Retrieved from http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-02573-5_7
- Cheng, J.-C., Hung, J.-F., & Huang, T.-C. (2014). Promoting Middle School Students' Understanding and Situational Interest in Integrating Nanotechnology Into Science Curriculum. *US-China Education Review*, 4(1), 48–53.
- Cheng, Y. T., Rodak, D., Wong, C., & Hayden, C. (2006). Effects of micro-and nano-structures on the self-cleaning behaviour of lotus leaves. *Nanotechnology*, 17(5), 1359.

- Cobb, M. D., & Macoubrie, J. (2004). Public perceptions about nanotechnology: Risks, benefits and trust. *Journal of Nanoparticle Research*, 6(4), 395–405. <https://doi.org/10.1007/s11051-004-3394-4>
- Cohen, L., Manion, L., & Morrison, K. (2007). *Research methods in education* (6th ed). London ; New York: Routledge.
- Cortie, M. B. (2004). The weird world of nanoscale gold. *Gold Bulletin*, 37(1), 12–19.
- Cramer, E. S., & Antle, A. N. (2015). Button Matrix: How Tangible Interfaces can Structure Physical Experiences for Learning (pp. 301–304). ACM Press. <https://doi.org/10.1145/2677199.2680566>
- de Jong, T., Linn, M. C., & Zacharia, Z. C. (2013). Physical and Virtual Laboratories in Science and Engineering Education. *Science*, 340(6130), 305–308. <https://doi.org/10.1126/science.1230579>
- Delgado, Cesar. (2009). *Development of a Research-based Learning Progression for Middle School through Undergraduate Students' Conceptual Understanding of Size and Scale* (Unpublished Doctoral Dissertation). University of Michigan, Ann Arbor. Retrieved from http://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/handle/2027.42/64794/delgadoz_1.pdf?sequence=1
- Delgado, César, Stevens, S. Y., Shin, N., Yunker, M., & Krajcik, J. (2007). The development of students' conceptions of size. Presented at the annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching, New Orleans.
- Dourish, P. (2004). *Where the action is: the foundations of embodied interaction* (1. MIT Press paperback ed). Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Dowling, A., Clift, R., Grobert, N., Hutton, D., Oliver, R., O'Neill, O., ... Ryan, J. (2004). Nanoscience and nanotechnologies: opportunities and uncertainties. Royal Society and Royal Academy of Engineering, London. *There Is No Corresponding Record for This Reference*.
- Elo, S., & Kyngäs, H. (2008). The qualitative content analysis process. *Journal of Advanced Nursing*, 62(1), 107–115. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2648.2007.04569.x>
- Eraut, M. (2000). Non-formal learning and tacit knowledge in professional work. *British Journal of Educational Psychology*, 70(1), 113–136.
- Feng, L., Li, S., Li, Y., Li, H., Zhang, L., Zhai, J., ... Zhu, D. (2002). Super-Hydrophobic Surfaces: From Natural to Artificial. *Advanced Materials*, 14(24), 1857–1860. <https://doi.org/10.1002/adma.200290020>
- Fishkin, K. (2004). A taxonomy for and analysis of tangible interfaces. *Personal and Ubiquitous Computing*, 8(5). <https://doi.org/10.1007/s00779-004-0297-4>
- Fitzmaurice, G. W., Ishii, H., & Buxton, W. A. (1995). Bricks: laying the foundations for graspable user interfaces (pp. 442–449). Presented at the Proceedings of the

- SIGCHI conference on Human factors in computing systems, ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co.
- Fjeld, M., & Voegtli, B. M. (2002). Augmented Chemistry: an interactive educational workbench (pp. 259–321). IEEE Comput. Soc. <https://doi.org/10.1109/ISMAR.2002.1115100>
- Freeman, S., Eddy, S. L., McDonough, M., Smith, M. K., Okoroafor, N., Jordt, H., & Wenderoth, M. P. (2014). Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *111*(23), 8410–8415. <https://doi.org/10.1073/pnas.1319030111>
- Gagné, R. M., & Glaser, R. (1987). Foundations in learning research. *Instructional Technology: Foundations*, 49–83.
- Galileo, G. (1623). A Letter to the Illustrious and Very Reverend Don Virginio Cesarini. Translated by Stillman Drake (1957). Retrieved from <http://www.princeton.edu/~hos/h291/assayer.htm>
- Gardner, G., & Jones, M. G. (2009). Bacteria buster: testing antibiotic properties of silver nanoparticles. *The American Biology Teacher*, *71*(4), 231–234.
- Gardner, G., Jones, M. G., & Falvo, M. (2009). “New Science” and Societal Issues. *The Science Teacher*, *76*(7), 49.
- Gatchair, S. (2010). Potential Implications for Equity in the Nanotechnology Workforce in the US. In *Nanotechnology and the Challenges of Equity, Equality and Development* (pp. 47–68). Springer.
- Ghattas, 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. <https://doi.org/10.1080/02635143.2012.732058>
- Girouard, A., Solovey, E. T., Hirshfield, L. M., Ecott, S., Shaer, O., & Jacob, R. J. K. (2007). Smart Blocks: a tangible mathematical manipulative (p. 183). ACM Press. <https://doi.org/10.1145/1226969.1227007>
- Grieneisen, M. L., & Zhang, M. (2011). Nanoscience and nanotechnology: evolving definitions and growing footprint on the scientific landscape. *Small*, *7*(20), 2836–2839.
- Gu, C., Huang, J., Wu, Y., Zhai, M., Sun, Y., & Liu, J. (2011). Preparation of porous flower-like ZnO nanostructures and their gas-sensing property. *Journal of Alloys and Compounds*, *509*(13), 4499–4504. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2010.11.078>
- Gu, Z., Uetsuka, H., Takahashi, K., Nakajima, R., Onishi, H., Fujishima, A., & Sato, O. (2003). Structural color and the lotus effect. *Angewandte Chemie International Edition*, *42*(8), 894–897.
- Haiss, W., Thanh, N. T. K., Aveyard, J., & Fernig, D. G. (2007). Determination of Size and Concentration of Gold Nanoparticles from UV–Vis Spectra. *Analytical Chemistry*, *79*(11), 4215–4221. <https://doi.org/10.1021/ac0702084>

- He, B., Patankar, N. A., & Lee, J. (2003). Multiple Equilibrium Droplet Shapes and Design Criterion for Rough Hydrophobic Surfaces. *Langmuir*, 19(12), 4999–5003. <https://doi.org/10.1021/la0268348>
- Hejazi, V. (2014). *Wetting, superhydrophobicity, and icephobicity in biomimetic composite materials* (Unpublished Doctoral Dissertation). University of Wisconsin, Milwaukee.
- 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.
- Ho, S. S., Scheufele, D. A., & Corley, E. A. (2010). Making sense of policy choices: understanding the roles of value predispositions, mass media, and cognitive processing in public attitudes toward nanotechnology. *Journal of Nanoparticle Research*, 12(8), 2703–2715. <https://doi.org/10.1007/s11051-010-0038-8>
- Holmquist, L. E., Redström, J., & Ljungstrand, P. (1999). Token-based access to digital information (pp. 234–245). Presented at the International Symposium on Handheld and Ubiquitous Computing, Springer.
- Hugo, V. (1862). *Les misérables* (Translated by Porter, L. & Wilbour, E. in 2003). New York: Barnes & Noble Classics.
- Ishii, H., & Ullmer, B. (1997). Tangible bits: towards seamless interfaces between people, bits and atoms (pp. 234–241). Presented at the Proceedings of the ACM SIGCHI Conference on Human factors in computing systems, ACM.
- Ιωσηφίδης, Θ. (2008). *Ποιοτικές μέθοδοι έρευνας στις κοινωνικές επιστήμες*. Αθήνα: Εκδόσεις Κρητική.
- 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. <https://doi.org/10.1080/09500693.2013.771828>
- Jones, M. G., Falvo, M., Taylor, A., & Broadwell, B. (Eds.). (2007). *Nanoscale science: activities for grades 6-12*. Arlington, VA: NSTA Press.
- Jones, M. G., Gardner, G. E., Falvo, M., & Taylor, A. (2015). Precollege nanotechnology education: a different kind of thinking. *Nanotechnology Reviews*, 4(1). <https://doi.org/10.1515/ntrev-2014-0014>
- Jones, M. G., Paechter, M., Yen, C.-F., Gardner, G., Taylor, A., & Tretter, T. (2011). Teachers' Concepts of Spatial Scale: An international comparison. *International Journal of Science Education*, 35(14), 2462–2482. <https://doi.org/10.1080/09500693.2011.610382>
- Jones, M. G., Taylor, A., Minogue, J., Broadwell, B., Wiebe, E., & Carter, G. (2007). Understanding Scale: Powers of Ten. *Journal of Science Education and Technology*, 16(2), 191–202. <https://doi.org/10.1007/s10956-006-9034-2>

- Joram, E., Subrahmanyam, K., & Gelman, R. (1998). Measurement Estimation: Learning to Map the Route From Number to Quantity and Back. *Review of Educational Research*, 68(4), 413–449. <https://doi.org/10.3102/00346543068004413>
- Kabiri, K., Omidian, H., Hashemi, S. A., & Zohuriaan-Mehr, M. J. (2003). Synthesis of fast-swelling superabsorbent hydrogels: effect of crosslinker type and concentration on porosity and absorption rate. *European Polymer Journal*, 39(7), 1341–1348. [https://doi.org/10.1016/S0014-3057\(02\)00391-9](https://doi.org/10.1016/S0014-3057(02)00391-9)
- Kazemi, E., Ghamari, M. A. K., & Neshanifam, S. (2016). The Application of Nanotechnology against Humidity in the Building Preservation of Tabriz Historical and Traditional City, Case Study: Blue Mosque, Tabriz. *Armanshahr Architecture & Urban Development*, 9(16), 29–38.
- Kirschner, P. A., Sweller, J., & Clark, R. E. (2006). Why Minimal Guidance During Instruction Does Not Work: An Analysis of the Failure of Constructivist, Discovery, Problem-Based, Experiential, and Inquiry-Based Teaching. *Educational Psychologist*, 41(2), 75–86. https://doi.org/10.1207/s15326985ep4102_1
- Knobel, M., Murriello, S., & Contier, D. (2006). Challenges of an exhibit on nanoscience and nanotechnology. *Journal of Science Communication*, 4(5), 1–10.
- Koch, K., Bhushan, B., Jung, Y. C., & Barthlott, W. (2009). Fabrication of artificial Lotus leaves and significance of hierarchical structure for superhydrophobicity and low adhesion. *Soft Matter*, 5(7), 1386. <https://doi.org/10.1039/b818940d>
- Kontra, C., Lyons, D. J., Fischer, S. M., & Beilock, S. L. (2015). Physical Experience Enhances Science Learning. *Psychological Science*, 26(6), 737–749. <https://doi.org/10.1177/0956797615569355>
- Kosslyn, S. M., & Koenig, O. (1995). *Wet mind: the new cognitive neuroscience* (1st Free Press pbk. ed). New York: Free Press.
- Kumar, N., & Kumbhat, S. (2016). *Essentials in Nanoscience and Nanotechnology*. John Wiley & Sons.
- Laherto, A. (2012). Nanoscience education for scientific literacy: Opportunities and challenges in secondary school and in out-of-school settings.
- LeCompte, M. D., Tesch, R., & Goetz, J. P. (1993). *Ethnography and qualitative design in educational research*. Academic Press.
- Lee, C.-J. (2005). Public Attitudes toward Emerging Technologies: Examining the Interactive Effects of Cognitions and Affect on Public Attitudes toward Nanotechnology. *Science Communication*, 27(2), 240–267. <https://doi.org/10.1177/1075547005281474>
- Lee, S. A., Chung, A. M., Cira, N., & Riedel-Kruse, I. H. (2015). Tangible Interactive Microbiology for Informal Science Education (pp. 273–280). ACM Press. <https://doi.org/10.1145/2677199.2680561>

- Li, F., Hu, L., Li, Z., & Huang, X. (2008). Influence of temperature on the morphology and luminescence of ZnO micro and nanostructures prepared by CTAB-assisted hydrothermal method. *Journal of Alloys and Compounds*, 465(1–2), L14–L19. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2007.11.009>
- Li, T., Ren, T., & He, J. (2016). Chapter 1. The Inspiration of Nature: Natural Counterparts with Self-cleaning Functions. In J. He (Ed.), *Self-cleaning Coatings* (pp. 1–24). Cambridge: Royal Society of Chemistry. <https://doi.org/10.1039/9781782623991-00001>
- Light, G., Swarat, S., Park, E. J., Drane, D., Tevaarwerk, E., & Mason, T. (2007). Understanding undergraduate students' conceptions of a core nanoscience concept: Size and scale. Presented at the Proceedings of the First International Conference on Research in Engineering Education.
- Lin, S.-F., Lin, H., Lee, L., & Yore, L. D. (2015). Are Science Comics a Good Medium for Science Communication? The Case for Public Learning of Nanotechnology. *International Journal of Science Education, Part B*, 5(3), 276–294. <https://doi.org/10.1080/21548455.2014.941040>
- Lindgren, R., Tscholl, M., Wang, S., & Johnson, E. (2016). Enhancing learning and engagement through embodied interaction within a mixed reality simulation. *Computers & Education*, 95, 174–187. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.01.001>
- Liu, Y., Tang, J., Wang, R., Lu, H., Li, L., Kong, Y., ... Xin, J. H. (2007). Artificial lotus leaf structures from assembling carbon nanotubes and their applications in hydrophobic textiles. *J. Mater. Chem.*, 17(11), 1071–1078. <https://doi.org/10.1039/B613914K>
- Livingstone, D. W. (2001). Adults' Informal Learning: Definitions, Findings, Gaps, and Future Research. NALL Working Paper# 21.
- MacKenzie, C. L., & Iberall, T. (1994). *The grasping hand*. Amsterdam ; New York: North-Holland.
- Macoubrie, J. (2004). Public perceptions about nanotechnology: Risks, benefits and trust. *Journal of Nanoparticle Research*, 6(4), 395–405.
- Magana, A. J. (2014). Learning strategies and multimedia techniques for scaffolding size and scale cognition. *Computers & Education*, 72, 367–377. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.11.012>
- Magana, A. J., Brophy, S. P., & Bryan, L. A. (2012). An Integrated Knowledge Framework to Characterize and Scaffold Size and Scale Cognition (FS2C). *International Journal of Science Education*, 34(14), 2181–2203. <https://doi.org/10.1080/09500693.2012.715316>
- Manches, A., O'Malley, C., & Benford, S. (2010). The role of physical representations in solving number problems: A comparison of young children's use of physical and virtual materials. *Computers & Education*, 54(3), 622–640. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2009.09.023>

- Μάνου, Λ., & Σπύρτου, Ά. (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. In Δ. Βαβουγιός & Σ. Παρασκευόπουλος (Eds.), *Πρακτικά του 8ου Πανελληνίου Συνεδρίου της Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση* (σελ. 658–665). Βόλος: Παιδαγωγικό Τμήμα Ειδικής Αγωγής.
- Marmur, A. (2004). The Lotus Effect: Superhydrophobicity and Metastability. *Langmuir*, 20(9), 3517–3519. <https://doi.org/10.1021/la036369u>
- Marshall, P. (2007). Do tangible interfaces enhance learning? (p. 163). ACM Press. <https://doi.org/10.1145/1226969.1227004>
- Marshall, P., Price, S., & Rogers, Y. (2003). Conceptualising tangibles to support learning (pp. 101–109). Presented at the Proceedings of the 2003 conference on Interaction design and children, ACM.
- Mazalek, A., & van den Hoven, E. (2009). Framing tangible interaction frameworks. *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing*, 23(03), 225–235. <https://doi.org/10.1017/S0890060409000201>
- McComas, W. F. (2006). Science Teaching beyond the Classroom. *Science Teacher*, 73(1), 26–30.
- McNeil, N., & Jarvin, L. (2007). When Theories Don't Add Up: Disentangling the Manipulatives Debate. *Theory Into Practice*, 46(4), 309–316. <https://doi.org/10.1080/00405840701593899>
- Meijer, M. . (2011). *Macro-meso-micro thinking with structure-property relations for chemistry education: an explorative design based study* (Unpublished Doctoral Dissertation). Utrecht University, Utrecht.
- Mithen, S. (1996). The prehistory of the mind: a search for the origins of art, science and religion. *London and New York: Thames and Hudson.[SM]*.
- Moyer, L. (2016). *Engaging Students in 21st Century Skills through Non-Formal Learning* (Unpublished Doctoral Dissertation). Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia.
- Murty, B. S., Shankar, P., Raj, B., Rath, B. B., & Murday, J. (Eds.). (2012). *Textbook of nanoscience and nanotechnology*. Berlin: Springer.
- NanoYou. (2010). Experiment D: Superhydrophobic Materials. Retrieved from http://nanoyou.eu/attachments/502_EXPERIMENT%20D1_Teacher%20document%2014-18.pdf
- National Informal Stem Education Network. (n.d.). Lotus Leaf Effect. Retrieved from <http://www.nisenet.org/catalog/lotus-leaf-effect>
- National Nanotechnology Infrastructure Network. (2014). How Dry Am I? Exploring Biomimicry and Nanotechnology: Mystery of the Pooled Water. Retrieved from http://www.nnin.org/sites/default/files/files/How%20dry%20am%20I_TG_0.pdf

- National Research Council. (1996). *National science education standards*. National Academies Press.
- National Science Technology Council. (2000). National nanotechnology initiative: Leading to the next industrial revolution. *The White House, Office of the Press Secretary, Washington, DC*.
- Neinhuis, C., & Barthlott, W. (1997). Characterization and distribution of water-repellent, self-cleaning plant surfaces. *Annals of Botany*, 79(6), 667–677.
- Niedenthal, P. M. (2007). Embodying Emotion. *Science*, 316(5827), 1002–1005. <https://doi.org/10.1126/science.1136930>
- Olson, S., & Loucks-Horsley, S. (2000). *Inquiry and the National Science Education Standards: a Guide for Teaching and Learning*. Washington: National Academies Press. Retrieved from <http://public.eblib.com/choice/publicfullrecord.aspx?p=3375585>
- O'Malley, C., & Fraser, D. S. (2004). Literature review in learning with tangible technologies.
- Palmberg, C., Dernis, H., & Miguet, C. (2009). Nanotechnology: an overview based on indicators and statistics.
- Πέικος, Γ. (2016). *Σχεδιασμός, Ανάπτυξη και Αξιολόγηση Διδακτικής Μαθησιακής Ακολουθίας για τη Διδασκαλία Περιεχομένου Νανοεπιστήμης - Νανοτεχνολογίας στο Δημοτικό Σχολείο* (Μεταπτυχιακή Εργασία). Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας, Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας.
- Πέικος, Γ., Μάνου, Λ., & Σπύρτου, Ά. (2015α). Ανάπτυξη και αξιολόγηση Διδακτικής Μαθησιακής Σειράς για την διδασκαλία της Νανοεπιστήμης - Νανοτεχνολογίας στο δημοτικό σχολείο. In Στο Δ. Ψύλλος, Α. Μολοχίδης & Μ. Καλλέρη (Επιμ.), *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* (σελ. 279–286). Θεσσαλονίκη: Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο.
- Πέικος, Γ., Μάνου, Λ., & Σπύρτου, Ά. (2015β). Σχεδιασμός και ανάπτυξη εκπαιδευτικού υλικού για τη διδασκαλία της Νανοτεχνολογίας στο δημοτικό σχολείο: Πιλοτική εφαρμογή. In Χ. Σκουμπούρη & Μ. Σκουμιάς (Επιμ.) *Πρακτικά του 1ου Πανελληνίου Συνεδρίου με Διεθνή Συμμετοχή “Ανάπτυξη Εκπαιδευτικού Υλικού στα Μαθηματικά και τις Φυσικές Επιστήμες”* (σελ. 327–346). Ρόδος: Σχολή Ανθρωπιστικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Αιγαίου.
- Πέικος, Γ., Παπαδοπούλου, Χ., & Μάνου, Λ. (2015). Ιδέες και γνώσεις των μαθητών για τη Νανοεπιστήμη - Νανοτεχνολογία στο δημοτικό σχολείο. In Στο Δ. Ψύλλος, Α. Μολοχίδης & Μ. Καλλέρη (Επιμ.), *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* (σελ. 1047–1052). Θεσσαλονίκη: Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο.

- Πουρκός, Μ. (2015). Σύγχρονες προσεγγίσεις του σώματος/σωματοποίησης και ο ρόλος του σώματος και του βιώματος στις διαδικασίες εκπαίδευσης, μάθησης, ανάπτυξης και γνώσης – η οίκο – σωματικό – βιοματική προοπτική και η Βιοματική Ευρετική και Αφηγηματική – Διαλογική Ψυχοπαιδαγωγική. In *Η απύσαστα παρουσία του σώματος και του βιώματος στις διαδικασίες εκπαίδευσης, μάθησης και ανάπτυξης* (σελ. 27–125). Αθήνα: Τόπος.
- Price, S. (2008). A representation approach to conceptualizing tangible learning environments (p. 151). ACM Press. <https://doi.org/10.1145/1347390.1347425>
- Price, S., Falcão, T. P., Sheridan, J. G., & Roussos, G. (2009). The effect of representation location on interaction in a tangible learning environment (p. 85). ACM Press. <https://doi.org/10.1145/1517664.1517689>
- Qu, B., Li, H., Zhang, M., Mei, L., Chen, L., Wang, Y., ... Wang, T. (2011). Ternary Cu₂SnS₃ cabbage-like nanostructures: large-scale synthesis and their application in Li-ion batteries with superior reversible capacity. *Nanoscale*, 3(10), 4389. <https://doi.org/10.1039/c1nr10784d>
- Ratner, M. A., & Ratner, D. (2003). *Nanotechnology: A gentle introduction to the next big idea*. Prentice Hall Professional.
- Resnick, M., Martin, F., Berg, R., Borovoy, R., Colella, V., Kramer, K., & Silverman, B. (1998). Digital manipulatives: new toys to think with (pp. 281–287). Presented at the Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems, ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co.
- Roberto, R. A., Freitas, D. Q. de, Simoes, F. P. M., & Teichrieb, V. (2013). A Dynamic Blocks Platform Based on Projective Augmented Reality and Tangible Interfaces for Educational Activities (pp. 1–9). IEEE. <https://doi.org/10.1109/SVR.2013.11>
- Rocard, M. (Ed.). (2007). *Science education now: A renewed pedagogy for the future of Europe*. Brussels: European Commission.
- Roco, M. C. (2003). Broader Societal Issues of Nanotechnology. *Journal of Nanoparticle Research*, 5(3–4), 181–189. <https://doi.org/10.1023/A:1025548512438>
- Roco, M. C. (2011). The long view of nanotechnology development: the National Nanotechnology Initiative at 10 years.
- Roco, M. C, Williams, R. S., & Alivisatos, P. (1999). *Nanotechnology Research Directions: IWGN Workshop Report. Vision for Nanotechnology R&D in the Next Decade*. DTIC Document.
- Rodríguez, H., Fisher, E., & Schuurbiens, D. (2013). Integrating science and society in European Framework Programmes: Trends in project-level solicitations. *Research Policy*, 42(5), 1126–1137.
- Roduner, E. (2006). Size matters: why nanomaterials are different. *Chemical Society Reviews*, 35(7), 583. <https://doi.org/10.1039/b502142c>

- Sabatier, P. A. (1986). Top-Down and Bottom-Up Approaches to Implementation Research: a Critical Analysis and Suggested Synthesis. *Journal of Public Policy*, 6(01), 21. <https://doi.org/10.1017/S0143814X00003846>
- Samaha, M. A., Tafreshi, H. V., & Gad-el-Hak, M. (2012). Superhydrophobic surfaces: From the lotus leaf to the submarine. *Comptes Rendus Mécanique*, 340(1–2), 18–34. <https://doi.org/10.1016/j.crme.2011.11.002>
- 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.
- Scheufele, D. A., Corley, E. A., Shih, T., Dalrymple, K. E., & Ho, S. S. (2009). Religious beliefs and public attitudes toward nanotechnology in Europe and the United States. *Nature Nanotechnology*, 4(2), 91–94. <https://doi.org/10.1038/nnano.2008.361>
- Schummer, J. (2005). Reading nano: the public interest in nanotechnology as reflected in purchase patterns of books. *Public Understanding of Science*, 14(2), 163–183. <https://doi.org/10.1177/0963662505050111>
- Shaer, O., & Hornecker, E. (2009). Tangible User Interfaces: Past, Present, and Future Directions. *Foundations and Trends® in Human–Computer Interaction*, 3(1–2), 1–137. <https://doi.org/10.1561/11000000026>
- Shiu, J. Y., Kuo, C. W., Chen, P., & Mou, C. Y. (2004). Fabrication of Tunable Superhydrophobic Surfaces by Nanosphere Lithography. *Chemistry of Materials*, 16(4), 561–564. <https://doi.org/10.1021/cm034696h>
- Singer, S. R., Nielsen, N. R., & Schweingruber, H. A. (2012). Discipline based education research. *Washington, DC: The National Academies*.
- Spencer, D., & Angelotti, V. (2004). Findings from a Summative Study. Retrieved from <https://pdfs.semanticscholar.org/4291/d4a98f2069127b0bc8f70d1ae0688aa3d139.pdf>
- Stevens, S., Sutherland, L., & Krajcik, J. S. (2009). *The big ideas of nanoscale science & engineering: a guidebook for secondary teachers*. Arlington, Va: NSTA Press.
- Stevens, S., Sutherland, L., Schank, P., & Krajcik, J. (2007). The big ideas of nanoscience. *Unpublished Document, University of Michigan, Http://Www.Hice.Org/Projects/Nano/Index.Html*.
- Strauss, A., & Corbin, J. (1994). Grounded theory methodology. *Handbook of Qualitative Research*, 17, 273–85.
- Swarat, S., Light, G., Park, E. J., & Drane, D. (2011). A typology of undergraduate students' conceptions of size and scale: Identifying and characterizing conceptual variation. *Journal of Research in Science Teaching*, 48(5), 512–533. <https://doi.org/10.1002/tea.20403>

- Sweeney, A. E. (2006). Social and ethical dimensions of nanoscale science and engineering research. *Science and Engineering Ethics*, 12(3), 435–464.
- Τασσοπούλου, Σ. (2017). *Αξιολόγηση Διδακτικής Μαθησιακής Ακολουθίας για την Εισαγωγή του Περιεχομένου της Νανοεπιστημής - Νανοτεχνολογίας και των Μοντέλων: Μια Μελέτη Περίπτωσης σε Μαθητές Δημοτικού Σχολείου* (Μεταπτυχιακή Εργασία). Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας, Φλώρινα.
- Taylor, A., & Jones, G. (2009). Proportional Reasoning Ability and Concepts of Scale: Surface area to volume relationships in science. *International Journal of Science Education*, 31(9), 1231–1247. <https://doi.org/10.1080/09500690802017545>
- Taylor, A., Jones, G., & Pearl, T. P. (2008). Bumpy, Sticky, and Shaky: Nanoscale Science and the Curriculum. *Science Scope*, 31(7), 28–35.
- Tretter, T. R., Jones, M. G., Andre, T., Negishi, A., & Minogue, J. (2006a). Conceptual boundaries and distances: Students' and experts' concepts of the scale of scientific phenomena. *Journal of Research in Science Teaching*, 43(3), 282–319.
- Tretter, T. R., Jones, M. G., & Minogue, J. (2006b). Accuracy of scale conceptions in science: Mental maneuverings across many orders of spatial magnitude. *Journal of Research in Science Teaching*, 43(10), 1061–1085. <https://doi.org/10.1002/tea.20155>
- Uchida, K., Nishikawa, N., Izumi, N., Yamazoe, S., Mayama, H., Kojima, Y., ... Irie, M. (2010). Phototunable Diarylethene Microcrystalline Surfaces: Lotus and Petal Effects upon Wetting. *Angewandte Chemie International Edition*, 49(34), 5942–5944. <https://doi.org/10.1002/anie.201000793>
- Ullmer, B., & Ishii, H. (2000). Emerging frameworks for tangible user interfaces. *IBM Systems Journal*, 39(3.4), 915–931. <https://doi.org/10.1147/sj.393.0915>
- Underkoffler, J., & Ishii, H. (1999). Urp: a luminous-tangible workbench for urban planning and design (pp. 386–393). Presented at the Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in Computing Systems, ACM.
- University of Alberta. (n.d.). Scanning Electron Microscope. Retrieved from <https://www.eas.ualberta.ca/sem/>
- University of Waikato. (2013). Scale ladder – from macro to atomic. Retrieved from <https://www.sciencelearn.org.nz/images/2063-scale-ladder-from-macro-to-atomic>
- Vosniadou, S. (1994). Capturing and modeling the process of conceptual change. *Learning and Instruction*, 4(1), 45–69. [https://doi.org/10.1016/0959-4752\(94\)90018-3](https://doi.org/10.1016/0959-4752(94)90018-3)
- 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. <https://doi.org/10.1007/s11051-006-9112-7>

- Warner, A. J., & Myers, B. E. (2008). What is inquiry—based instruction. *Florida, USA: University of Florida*.
- Wells, J. G. (2013). *Negotiating the Inclusion of Nanoscience Content and Technology in Science Curriculum: An Examination of Secondary Teachers' Thinking in a Professional Development Project* (Unpublished Doctoral Dissertation). Portland State University, Portland. Retrieved from http://pdxscholar.library.pdx.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2423&context=open_access_etds
- Werquin, P. (2010). *Recognition of non-formal and informal learning: Country practices*. OECD publishing. Retrieved from <http://www.oecd.org/education/skills-beyond-school/44600408.pdf>
- Wexler, M. (2002). More to 3-D vision than meets the eye. *Trends in Cognitive Sciences*, 6(12), 497–498.
- Wilson, M. (2002). Six views of embodied cognition. *Psychonomic Bulletin & Review*, 9(4), 625–636.
- Windschitl, M. (2003). Inquiry projects in science teacher education: What can investigative experiences reveal about teacher thinking and eventual classroom practice? *Science Education*, 87(1), 112–143. <https://doi.org/10.1002/sce.10044>
- Winkelmann, K., & Bhushan, B. (2016). *Global Perspectives of Nanoscience and Engineering Education*. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-31833-2>
- Winter, G. (2000). A comparative discussion of the notion of “validity” in qualitative and quantitative research. *The Qualitative Report*, 4(3), 1–14.
- Wiser, M., & Smith, C. L. (2008). Learning and teaching about matter in grades K-8: When should the atomic-molecular theory be introduced. In *International handbook of research on conceptual change* (pp. 205–239). New York: Routledge.
- Wood, J. M. (2007). Understanding and Computing Cohen's Kappa: A Tutorial. *WebPsychEmpiricist. Web Journal at Http://Wpe. Info/*.
- Χαλκιά, Κ. (2012). *Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες: Θεωρητικά Ζητήματα, Προβληματισμοί, Προτάσεις*. Αθήνα: Πατάκης.
- Yetter, R. A., Risha, G. A., & Son, S. F. (2009). Metal particle combustion and nanotechnology. *Proceedings of the Combustion Institute*, 32(2), 1819–1838.
- Yokel, R. A., & MacPhail, R. C. (2011). Engineered nanomaterials: exposures, hazards, and risk prevention. *Journal of Occupational Medicine and Toxicology*, 6(1), 7. <https://doi.org/10.1186/1745-6673-6-7>

Παράρτημα
Ερωτηματολόγιο

Άξονας Ν-ΕΤ



Όνοματεπώνυμο: _____

Ημερομηνία: _____

Σχολείο: _____

Τάξη: _____



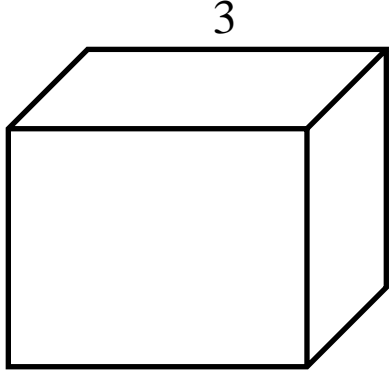
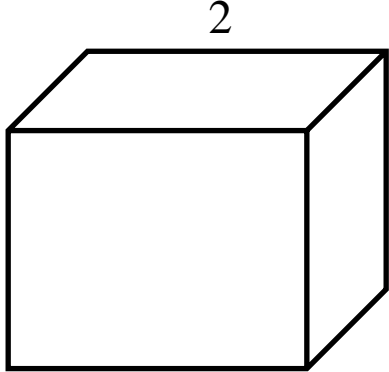
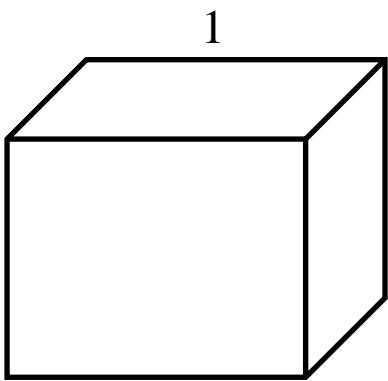
Απάντηση στις παρακάτω ερωτήσεις:

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

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

4. Ομαδοποίησε τα παρακάτω αντικείμενα στα κουτιά με **βάση το μέγεθός τους**. Μπορείς να χρησιμοποιήσεις όσα κουτιά θέλεις.

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



Δώσε ένα όνομα σε κάθε κουτί που χρησιμοποίησες.

Όνομα: _____

Γιατί έβαλες αυτά τα αντικείμενα στο 1^ο κουτί;
Απάντηση:

Όνομα: _____

Γιατί έβαλες αυτά τα αντικείμενα στο 2^ο κουτί;
Απάντηση:

Όνομα: _____

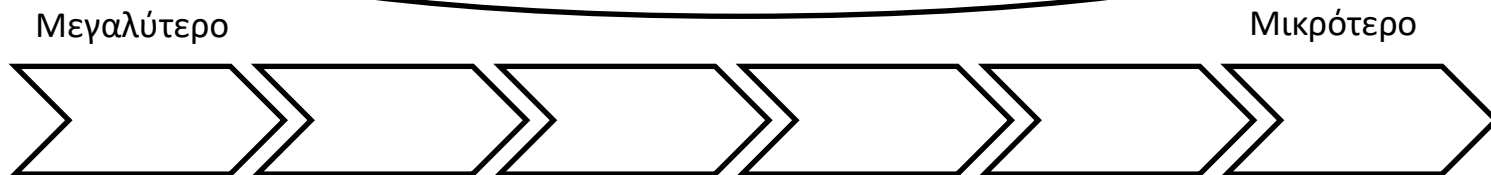
Γιατί έβαλες αυτά τα αντικείμενα στο 3^ο κουτί;
Απάντηση:

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

κουτιού 1	
κουτιού 2	
κουτιού 3	

5. Τοποθέτησε τα παρακάτω αντικείμενα κατά σειρά μεγέθους από το μεγαλύτερο προς το μικρότερο.

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



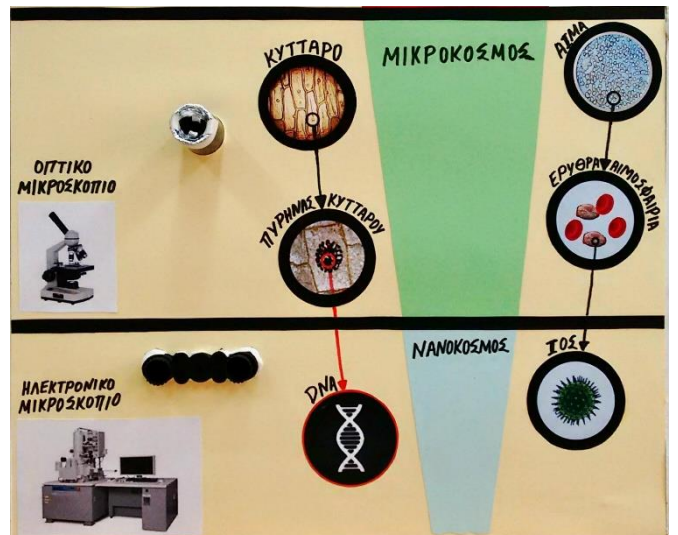
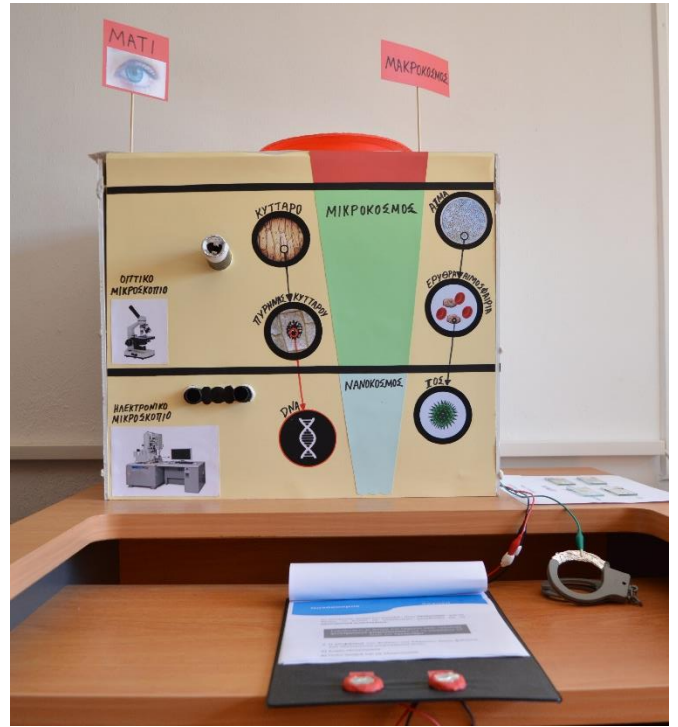
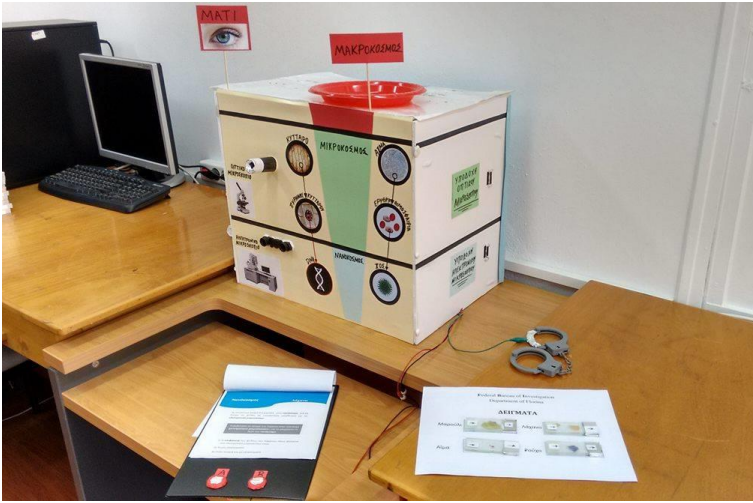
6. Δυο αδέρφια, αφού έπλυναν ένα κομμάτι λάχανο παρατήρησαν το εξής: «οι σταγόνες μόλις έπεφταν πάνω στο λάχανο γίνονταν στρογγυλες σαν μπίλιες»



Εξήγησε με σχέδιο και με λόγια για ποιο λόγο νομίζεις ότι συμβαίνει

Εκπαιδευτικό Υλικό Τελικής Εφαρμογής

Πύργος διερεύνησης



Διαδραστικό σημειωματάριο

Federal Bureau of Investigation
Department of Florina

Το Μυστήριο του Λωτού



**Διαδραστικό
Σημειωματάριο
του Ερευνητή**

Θα ξεκινήσουμε μελετώντας το λάχανο στον **μακρόκοσμο**, τον κόσμο που βλέπουμε με τα **μάτια** μας.

Τοποθετήστε το φύλλο λάχανου στην «βάση πειράματος» στον **μακρόκοσμο** και ρίξτε πάνω του σταγόνες μελάني.

1. Πως **συμπεριφέρεται** η σταγόνα;

A) Παίρνει μορφή μπίλιας και δεν λερώνει το φύλλο

B) Απλώνεται στο φύλλο και το λερώνει

Πατήστε το κουμπί A ή B ανάλογα με την απάντησή σας και ταυτόχρονα ακουμπήστε την χειροπέδα.

Μικρόκοσμος

Λάχανο

Τι υπάρχει στην επιφάνεια του φύλλου και συμπεριφέρεται έτσι; Ας σκύψουμε στον **μικρόκοσμο** για να το ανακαλύψουμε με τη χρήση **οπτικού μικροσκοπίου**.

Τοποθετήστε το δείγμα του λάχανου στην «υποδοχή οπτικού μικροσκοπίου» για να μπορέσετε να δείτε τον **μικρόκοσμο**.

2. Νομίζετε ότι είδατε κάτι που **δικαιολογεί** τη συμπεριφορά της σταγόνας πάνω στο φύλλο;

A) Ναι

B) Όχι

Αφού στον μικρόκοσμο δεν βγάλαμε συμπέρασμα, ας σκύψουμε ακόμη πιο χαμηλά - στον **νανόκοσμο** - για να δούμε το φύλλο σε μεγαλύτερη μεγέθυνση με το **ηλεκτρονικό μικροσκόπιο**.

Τοποθετήστε το δείγμα του λάχανου στην «υποδοχή ηλεκτρονικού μικροσκοπίου» για να μπορέσετε να δείτε τον **νανόκοσμο**.

3. Η **επιφάνεια** του φύλλου του λάχανου, όπως φαίνεται στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο είναι:

A) Χωρίς εξογκώματα

B) Πολύ τραχιά και με εξογκώματα

Θα ξεκινήσουμε μελετώντας το μαρούλι στον **μακρόκοσμο**, τον κόσμο που βλέπουμε με τα μάτια μας.

Τοποθετήστε το φύλλο μαρουλιού στην «βάση πειράματος» στον **μακρόκοσμο** και ρίξτε πάνω του σταγόνες μελάνι.

1. Πως **συμπεριφέρεται** η σταγόνα;
A) Παίρνει μορφή μπίλιας και δεν λερώνει το φύλλο
B) Απλώνεται στο φύλλο και το λερώνει

Μικρόκοσμος

Μαρούλι

Τι υπάρχει στην επιφάνεια του φύλλου και συμπεριφέρεται έτσι; Ας σκύψουμε στον **μικρόκοσμο** για να το ανακαλύψουμε με τη χρήση **οπτικού μικροσκοπίου**.

Τοποθετήστε το δείγμα του μαρουλιού στην «υποδοχή **οπτικού μικροσκοπίου**» για να μπορέσετε να δείτε τον **μικρόκοσμο**.

2. Νομίζετε ότι είδατε κάτι που **δικαιολογεί** τη συμπεριφορά της σταγόνας πάνω στο φύλλο;

A) Ναι

B) Όχι

Αφού στον μικρόκοσμο δεν βγάλαμε συμπέρασμα, ας σκύψουμε ακόμη πιο χαμηλά - **στον νανόκοσμο** - για να δούμε το φύλλο σε μεγαλύτερη μεγέθυνση με το **ηλεκτρονικό μικροσκόπιο**.

Τοποθετήστε το δείγμα του μαρουλιού στην «υποδοχή ηλεκτρονικού μικροσκοπίου» για να μπορέσετε να δείτε τον **νανόκοσμο**.

3. Η **επιφάνεια** του φύλλου του μαρουλιού, όπως φαίνεται στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο είναι:

A) Πολύ τραχιά και με εξογκώματα

B) Χωρίς εξογκώματα

Αφού τελειώσατε με τα δύο φυτά πρέπει να σκεφτείτε ποιο ήταν το όργανο που σας βοήθησε περισσότερο για να βρείτε διαφορές ως προς την μορφή της επιφάνειας μεταξύ μαρουλιού και λάχανου.

1. Με ποιο **όργανο** – σε ποιον **κόσμο** βρήκατε περισσότερα στοιχεία για να εξηγήσετε τη διαφορά των φύλλων του μαρουλιού και του λάχανου;

A) Οπτικό Μικροσκόπιο – Μικρόκοσμο

B) Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο – Νανόκοσμος

Βρήκατε ότι για να εξηγήσουμε την **συμπεριφορά** της σταγόνας πάνω στο φύλλο χρειαζόμαστε το **ηλεκτρονικό μικροσκόπιο**. Έτσι, το εργαστήριο της Πασαντίνα σας έστειλε μία φωτογραφία του φύλλου του Λωτού, η οποία λήφθηκε από **ηλεκτρονικό μικροσκόπιο**.

Παρατηρήστε προσεκτικά τη **μορφή της επιφάνειας** του φύλλου του λωτού στον **νανόκοσμο**.

2. Από την σύγκριση των φύλλων συμπεραίνεις ότι:

A) η επιφάνεια του λωτού μοιάζει με αυτή του λάχανου και άρα είναι super – υδρόφοβη [αδιάβροχη].

B) η επιφάνεια του λωτού μοιάζει με αυτή του μαρουλιού και άρα είναι υδρόφιλη [δεν είναι αδιάβροχη].

Όπως και πριν, θα ξεκινήσουμε μελετώντας το αίμα στον μακρόκοσμο.

Πάρτε στα χέρια σας το δείγμα του αίματος και κοιτάξτε το προσεκτικά με τα **μάτια** σας.

1. Με το μάτι:

- A) Μπορώ να δω τον ιό
- B) Δεν μπορώ να δω τον ιό

Μικρόκοσμος

Αίμα

Ας σκύψουμε στον **μικρόκοσμο** για να «ψάξουμε» τον **ιό** με το **οπτικό μικροσκόπιο**.

Τοποθετήστε το δείγμα του αίματος στην «υποδοχή **οπτικού μικροσκοπίου**» για να μπορέσετε να δείτε τον **μικρόκοσμο**.

2. Με το οπτικό μικροσκόπιο:

A) Μπορώ να δω τον **ιό**

B) Δεν μπορώ να δω τον **ιό**

Ας σκύψουμε ακόμη πιο χαμηλά - **στον νανόκοσμο** - για να δούμε με μεγαλύτερη μεγέθυνση με το **ηλεκτρονικό μικροσκόπιο**.

Τοποθετήστε το δείγμα του αίματος στην «υποδοχή ηλεκτρονικού μικροσκοπίου» για να **μπορέσετε να δείτε τον νανόκοσμο**.

3. Με το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο:

A) Μπορώ να δω τον ιό

B) Δεν μπορώ να δω τον ιό

Μακρόκοσμος

Μικρόκοσμος

Νανόκοσμος

Τώρα πρέπει να διερευνήσετε αν το ρούχο του φύλακα είναι αδιάβροχο.

Ακολουθήστε όποιες από τις προηγούμενες διαδικασίες σας φάνηκαν χρήσιμες!

1. Τελικά το ρούχο:

A) είναι αδιάβροχο [super-υδρόφοβο]

B) δεν είναι αδιάβροχο [υδρόφιλο]

Σημειωματάριο ερευνητή

Federal Bureau of Investigation Department of Florina



Σημειωματάριο Ερευνητή

Όνοματεπώνυμο Ερευνητή: _____

Ημερομηνία: _____

Είναι πολύ σημαντικό να κρατάς σημειώσεις, ώστε να έχεις αρκετά δεδομένα για να βρεις ποιος είναι ο ένοχος

- Τι παρατηρείς σε κάθε κόσμο για το μαρούλι και το λάχανο; Σημείωσε με λόγια ή/και σχέδια.

Επίπεδο	Τι παρατηρώ;	Λάχανο	Μαρούλι
Μακρόκοσμος	Σε σχέση με την συμπεριφορά της σταγόνας πάνω στο φύλλο.		
Μικρόκοσμος	Σε σχέση με την επιφάνεια του φύλλου		
Νανόκοσμος	Σε σχέση με την επιφάνεια του φύλλου		

- Τι παρατηρείς στον νανόκοσμο για τον λωτό; Σημείωσε με λόγια ή/και σχέδια.

Επίπεδο	Τι παρατηρώ;	Λωτός
Νανόκοσμος	Σε σχέση με την επιφάνεια του φύλλου	

- Από την σύγκριση των τριών φύλλων (μαρούλι, λάχανο, λωτός) στον νανόκοσμο συμπεράνετε ότι η επιφάνεια του φύλλου του λωτού μοιάζει με αυτή του:

Μαρουλιού

Λάχανου

- Τι παρατηρείς σε κάθε κόσμο για το αίμα; Σημείωσε με λόγια ή/και σχέδια.

Επίπεδο	Τι παρατηρώ;	Αίμα
Μακρόκοσμος	Ποια αντικείμενα παρατηρείς;	
Μικρόκοσμος	Ποια αντικείμενα παρατηρείς;	
Νανόκοσμος	Ποια αντικείμενα παρατηρείς;	

- Τι παρατηρείς στον νανόκοσμο για το ύφασμα; Σημείωσε με λόγια ή/και σχέδια.

Επίπεδο	Τι παρατηρώ;	Ύφασμα
Νανόκοσμος	Σε σχέση με την επιφάνεια του υφάσματος	

Federal Bureau of Investigation

Department of Florina

Nanoscience Report

Ερευνητική Αναφορά για την Διάρρηξη στην εταιρία Nanoscience

1. Συμπληρώστε τον πίνακα σύμφωνα με το παράδειγμα (Διευθυντής). Θα πρέπει να εξηγήσετε τους χαρακτηρισμούς σας (Είναι ύποπτος – Δεν είναι ύποπτος) σαν πραγματικοί επιστήμονες βασιζόμενοι σε δεδομένα.

Κύριοι Υποπτοι	Χαρακτηρισμός	Αιτιολόγηση
Philip Lion (Διευθυντής)	Δεν είναι ύποπτος	Συνεργάστηκε άψογα με τους αστυνομικούς και σύμφωνα με τα τωρινά δεδομένα μας είτε μόνο την αλήθεια.
George Black (Γραμματέας)		
Sally Jones (Υποδιευθύντρια)		
Bill White (Φύλακας)		

2. Ποιον θεωρείτε πιο ύποπτο από όλους και γιατί; Εξηγήστε όσο πιο αναλυτικά γίνεται.



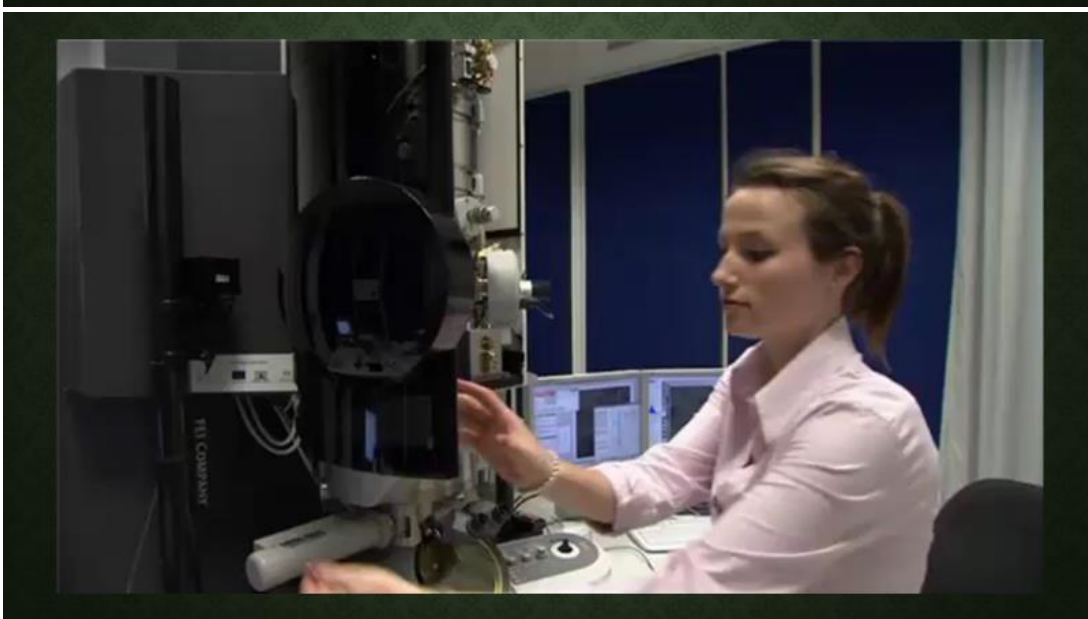
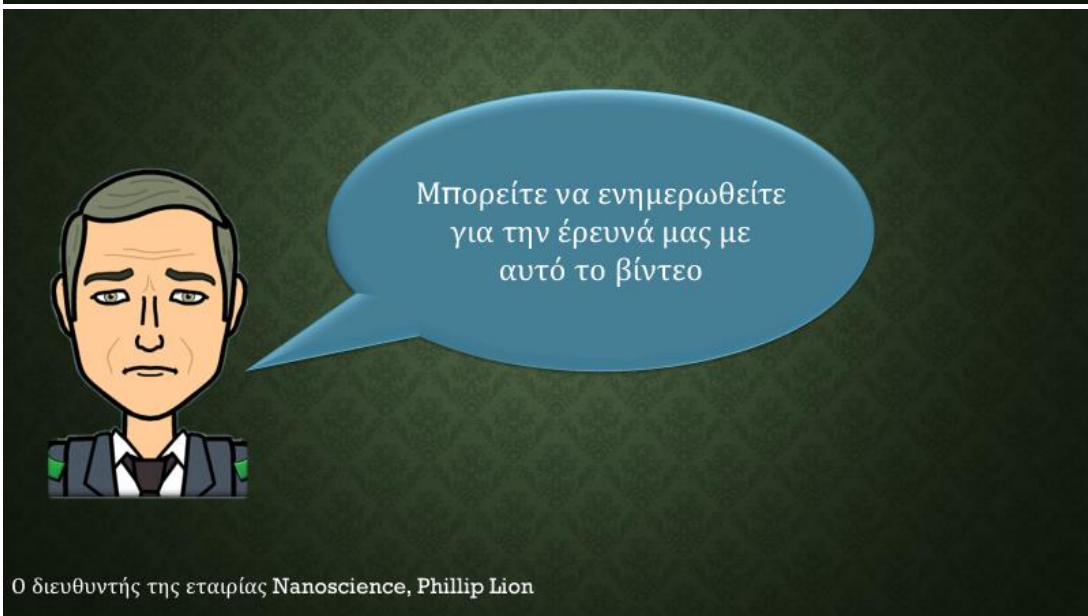
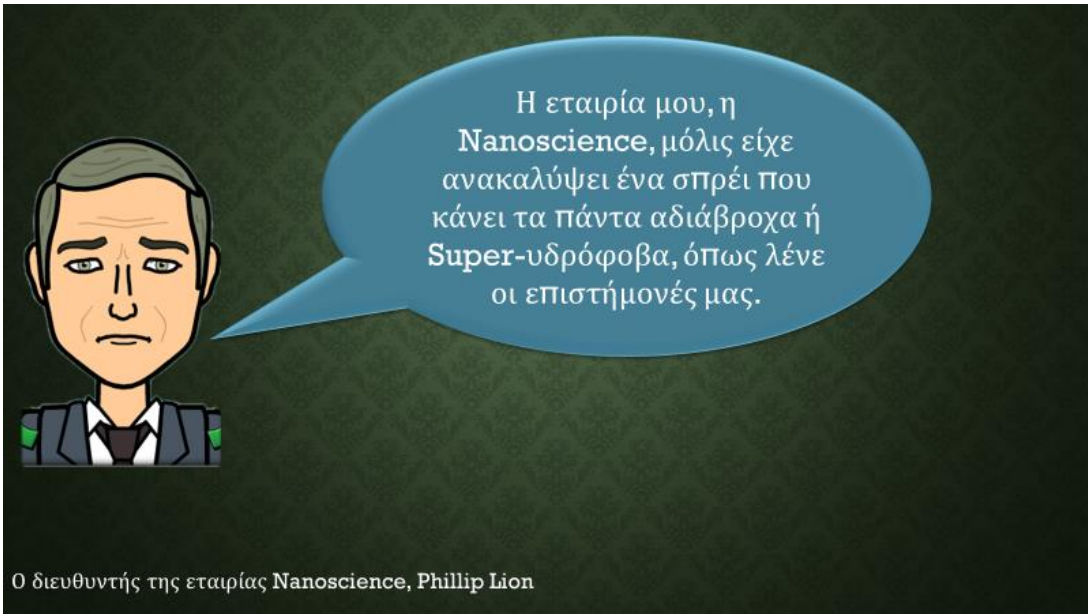
ΑΝΑΦΟΡΑ ΤΗΣ ΑΣΤΥΝΟΜΙΑΣ

Χτες το βράδυ διέρρηξαν το γραφείο του Διευθυντή της εταιρίας Nanoscience.

- Την διάρρηξη ανέφερε στην αστυνομία ο γραμματέας της εταιρίας κος George Black.
- Το βράδυ της διάρρηξης είχε βάρδια ο φύλακας της εταιρίας κος Bill White.
- Η υποδιευθύντρια της εταιρίας κ. Sally Jones έλειπε από την εταιρία όλη την χθεσινή μέρα.

Αυτοί οι τρεις είναι και οι βασικοί μας ύποπτοι!!





YouTube link για το βίντεο: <https://www.youtube.com/watch?v=LoGzGx6ciic>



Μετά τη χθεσινή διάρρηξη
μια αντίπαλη εταιρία, η
Ultra Ever Dry, δημοσίευσε
την έρευνά μας.

Ο διευθυντής της εταιρίας Nanoscience, Phillip Lion



Βοηθήστε μας να βρούμε
ποιος διέρρηξε το γραφείο
μου, για να αποδείξουμε ότι
η έρευνα ήταν δική μας!!

Ο διευθυντής της εταιρίας Nanoscience, Phillip Lion



Προτείνω να
ξεκινήσετε από τον
Γραμματέα μου!

Ο διευθυντής της εταιρίας Nanoscience, Phillip Lion



Ναι, εγώ ήμουν ο πρώτος που μπήκα στο γραφείο του διευθυντή σήμερα το πρωί και πήρα τηλέφωνο την αστυνομία

Ο Γραμματέας της εταιρίας κος George Black



Ο διαρρήκτης έριξε το μελάνι που υπήρχε πάνω στο γραφείο του διευθυντή, με αποτέλεσμα ο χώρος γύρω του είναι λερωμένος εκτός από μία γλάστρα Λωτού, που δεν λερώθηκε από το μελάνι .



Για ποιο λόγο τοποθετήσατε σήμερα εκεί το φυτό;







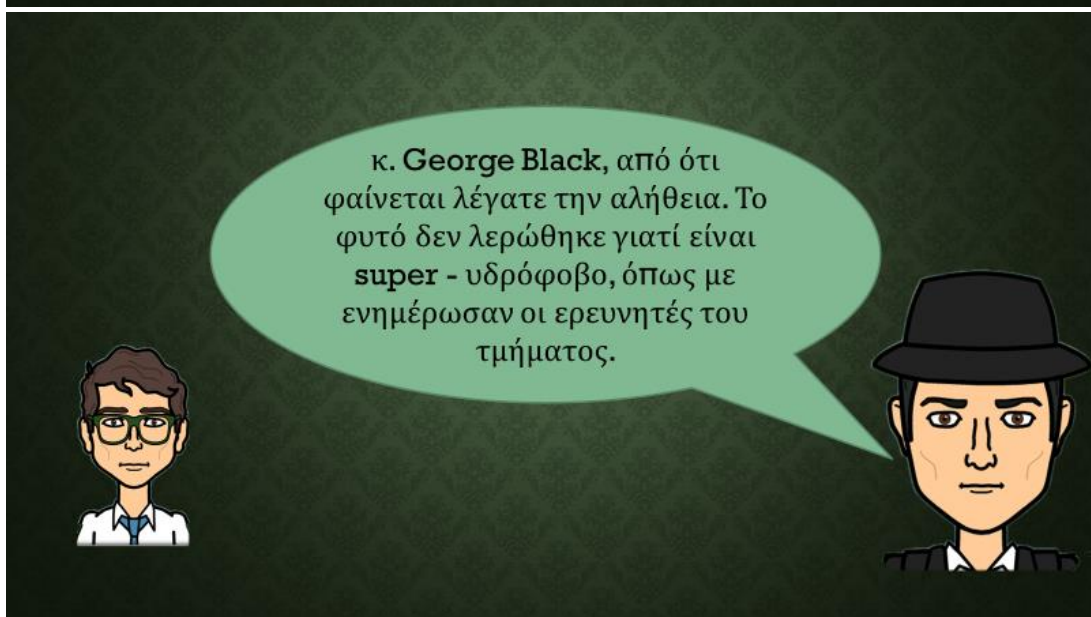
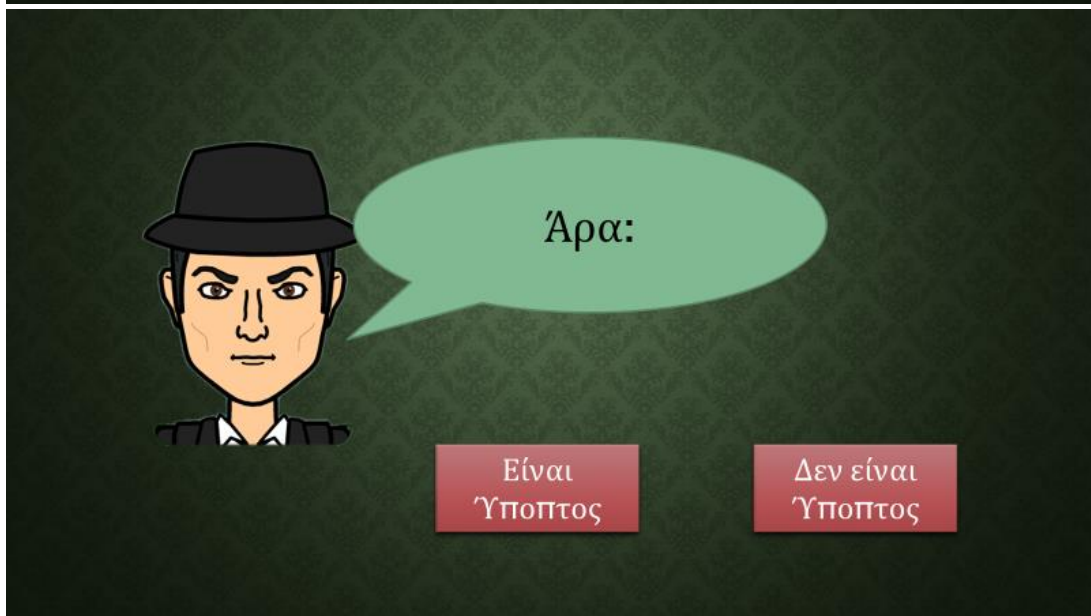
Επίσης, θα έχετε πρόσβαση στα Μικροσκόπια του FBI και θα σας δοθούν διάφορα έγγραφα! Εκεί περιέχονται όλες οι πληροφορίες που χρειάζεστε!

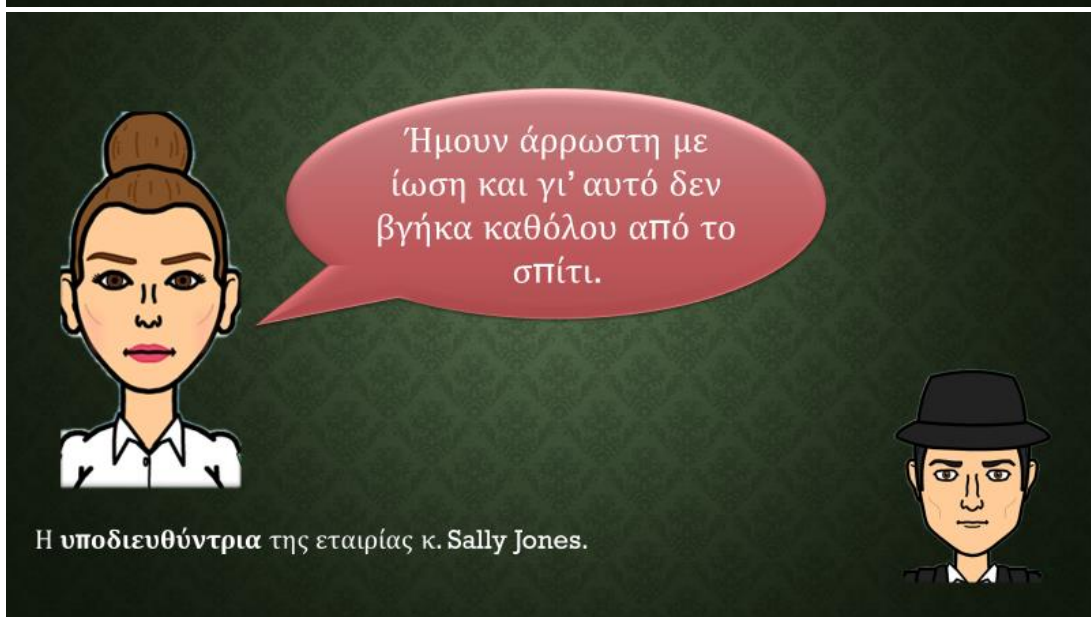
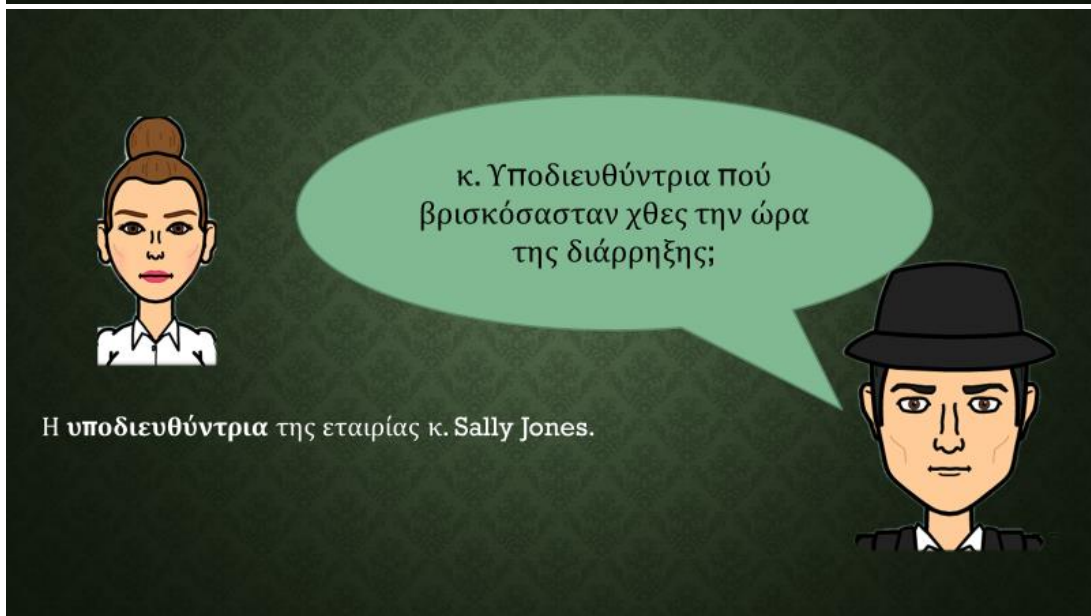
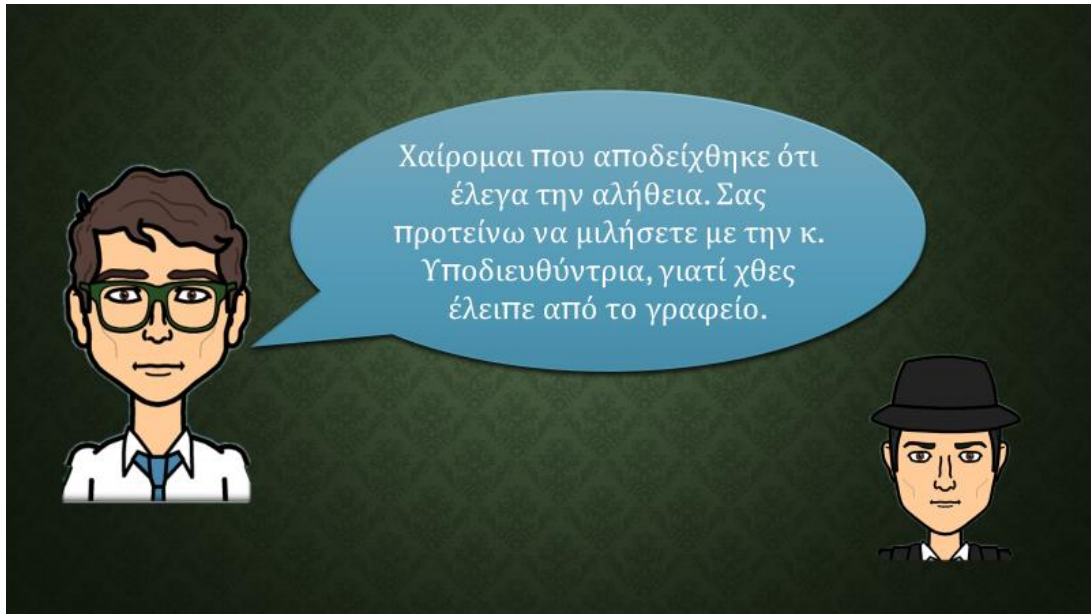


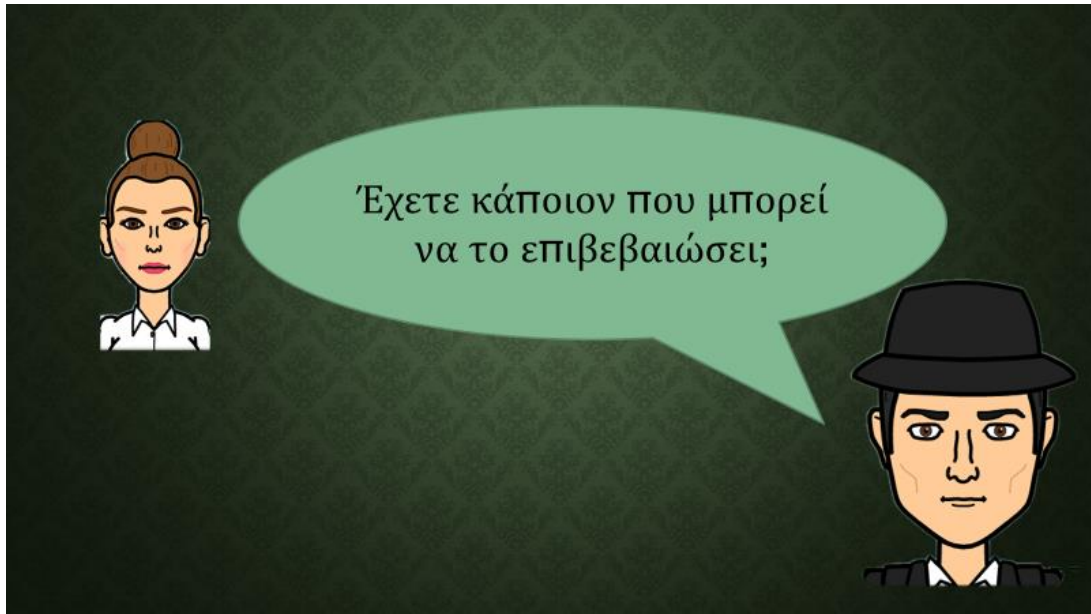
Συμβουλή: Είναι πολύ σημαντικό να κρατάτε σημειώσεις, ώστε να έχετε αρκετά δεδομένα για να βρείτε ποιος είναι ο ένοχος.



Καλή επιτυχία και περιμένω τα νέα σας !!









Για να ελέγξουμε αν η
υποδιευθύντρια ήταν όντως
άρρωστη πήρα δείγμα
αίματός της και θέλω να το
ελέγξετε!!



Τελικά ήταν όντως
άρρωστη;

Όχι

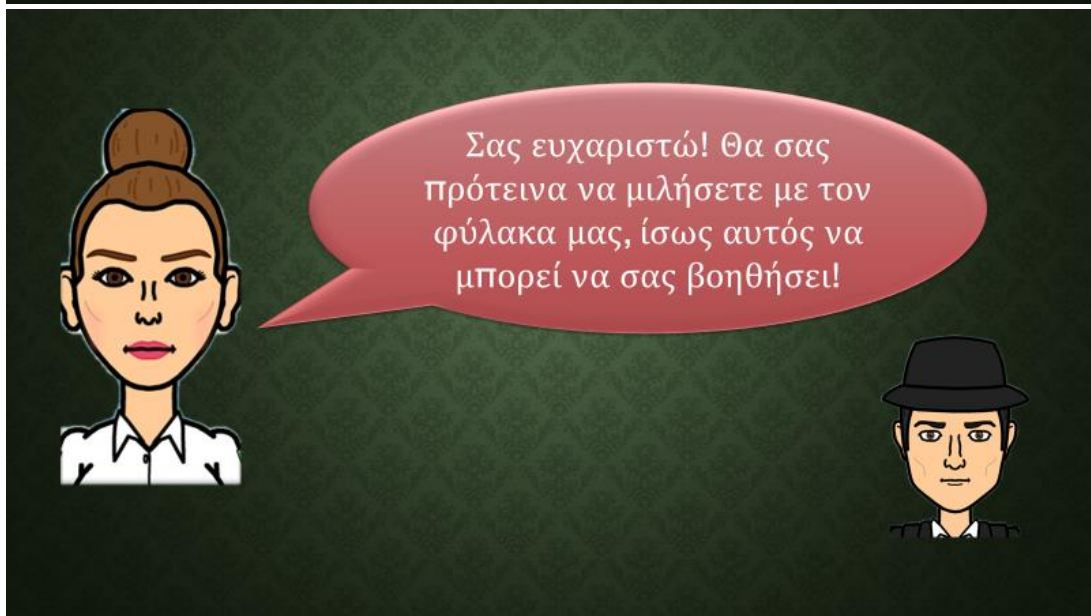
Ναι

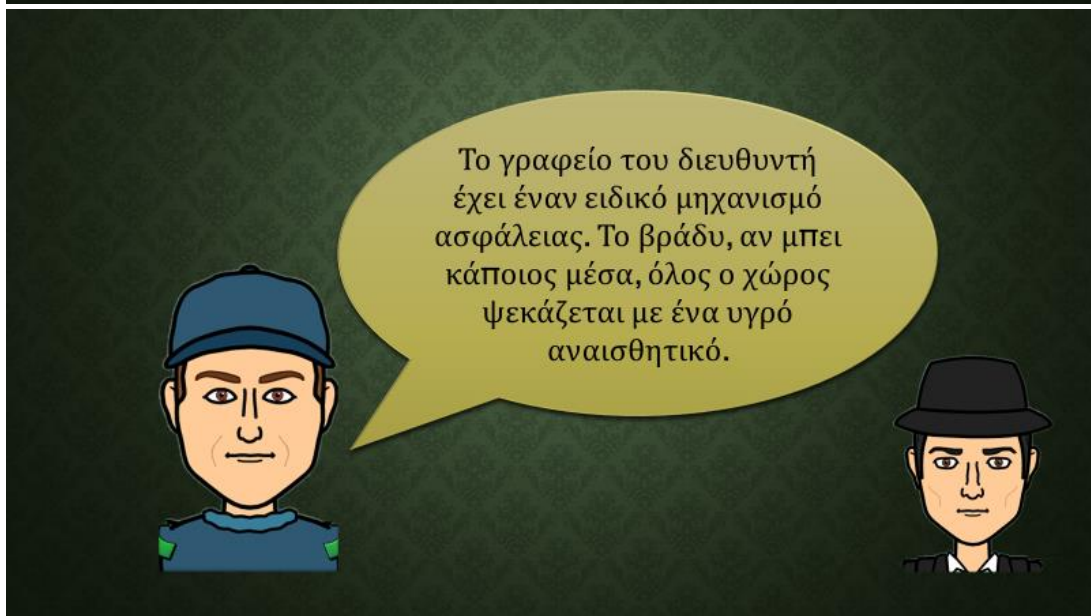


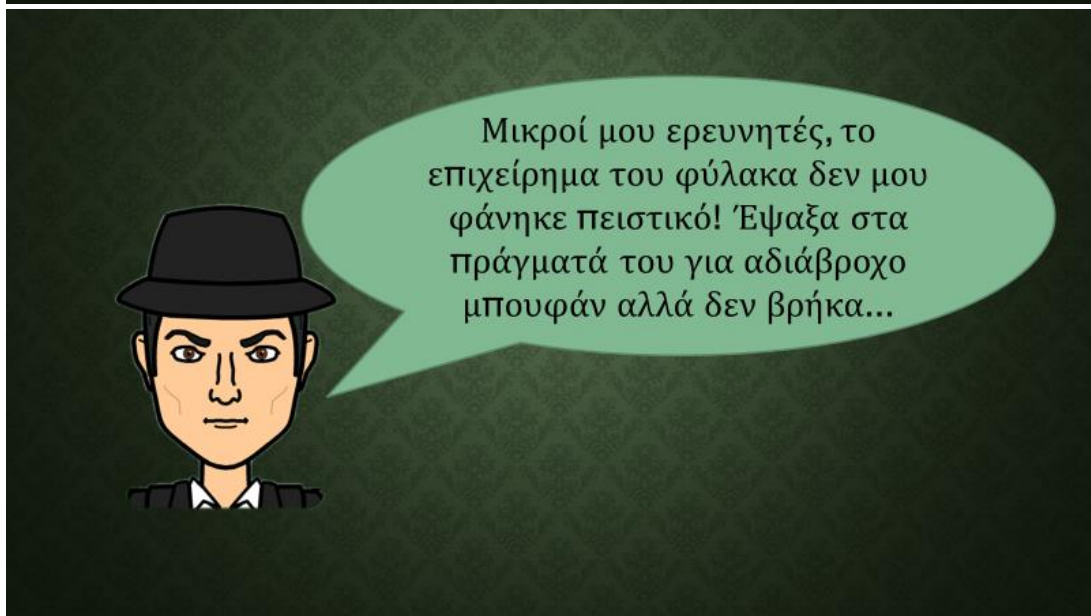
Άρα:

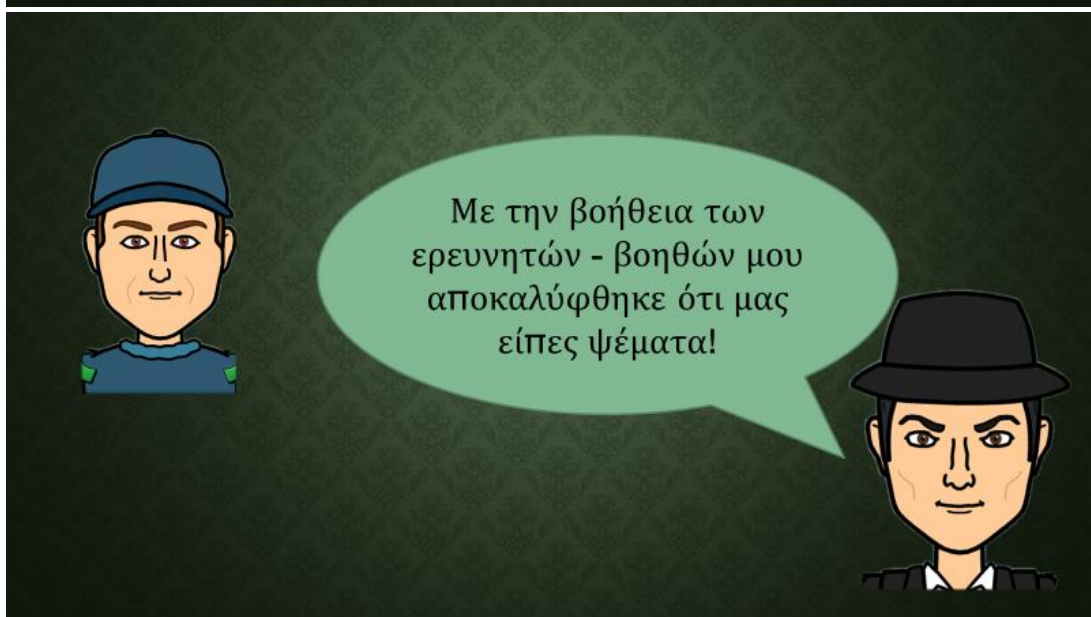
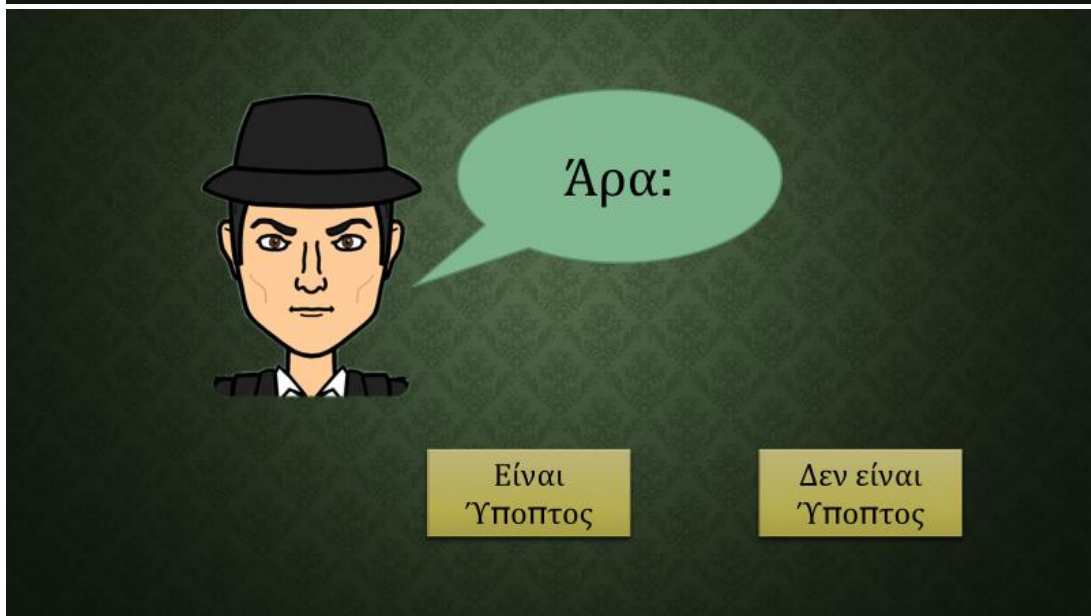
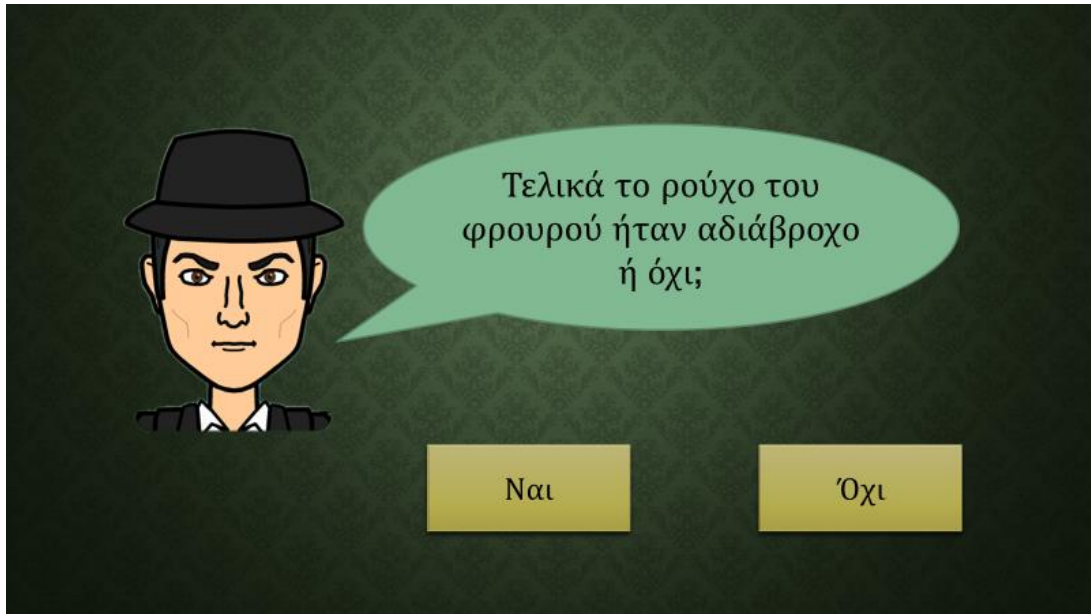
Είναι
Υπόπτη

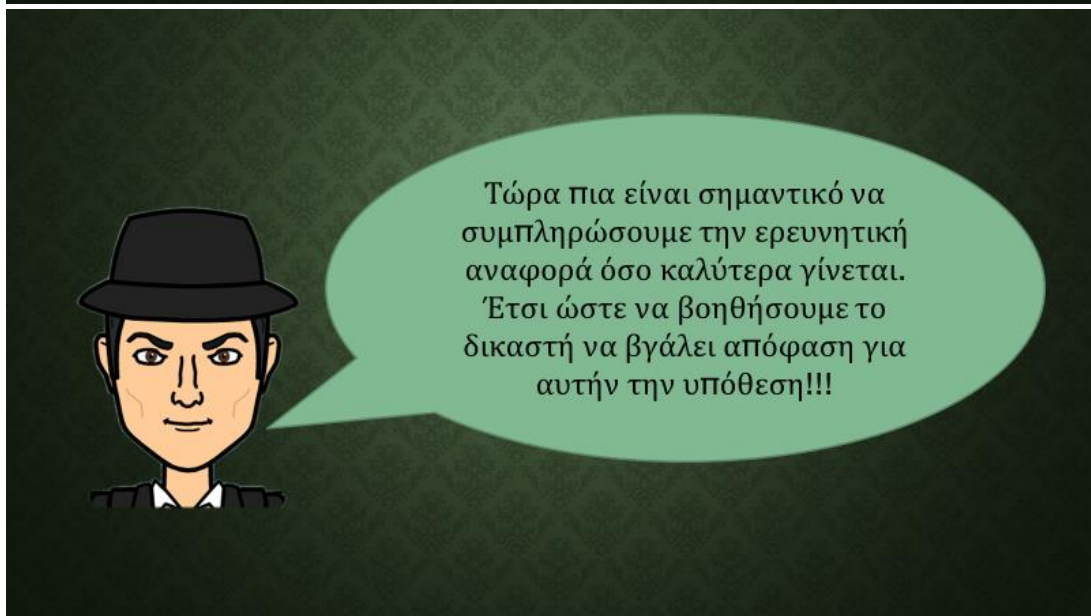
Δεν είναι
Υπόπτη











Διακόσμηση αίθουσας

Federal Bureau of Investigation
Department of Florina

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ

- ΟΡΓΑΝΑ:
1. Βάση Πειραμάτων
 2. Οπτικό Μικροσκόπιο
 3. Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο

ΜΟΝΟ ΕΞΟΥΣΙΟΔΟΤΗΜΕΝΟ ΠΡΟΣΩΠΙΚΟ

Federal Bureau of Investigation
Department of Florina



Lotus Mystery
Suspect: George Black



Federal Bureau of Investigation
Department of Florina



Lotus Mystery
Suspect: Sally Jones



Federal Bureau of Investigation
Department of Florina



Lotus Mystery
Suspect: Bill White



Federal Bureau of Investigation
Department of Florina



Holmes Homicide
Prime Suspect: James Rodriguez



Federal Bureau of Investigation
Department of Florina



Dorothy Homicide
Prime Suspect: George Mayweather



Federal Bureau of Investigation
Department of Florina



Claris Homicide
Prime Suspect: Hannibal "King" Lecter

